การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

นายกำธน ชวนะเวสน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A FEATURE-ORIENTED TRACEABILITY FOR SOFTWARE PRODUCT LINE EVOLUTION

Mr. Kamthon Chavanaves

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Software Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
โดย	นายกำธน ชวนะเวสน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมซอฟต์แวร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ หมื่นไชยศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

………………………………………….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…………………………………………… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์)

………………………………………….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ หมื่นไชยศรี)

…………………………………………… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นครทิพย์ พร้อมพูล)

…………………………………………… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรชัย ลลิตโรจน์วงศ์)

กำธน ชวนะเวสน์ : การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์. (A FEATURE-ORIENTED TRACEABILITY FOR SOFTWARE PRODUCT LINE EVOLUTION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี, 148 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือ ปัญหาการขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ งานวิจัยนี้มีการนำเสนอฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้แสดงให้เห็นว่า ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ รวมถึงมีการทดสอบความสามารถของเครื่องมือในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย

ภาควิชา : ....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต : ....
สาขาวิชา : ......วิศวกรรมซอฟต์แวร์........ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ....
ปีการศึกษา : ..2554.............................

5170218521 : MAJOR SOFTWARE ENGINEERING

KEYWORDS: TRACEABILITY / FEATURE MODEL / SOFTWARE PRODUCT LINE

KAMTHON CHAVANAVES : A FEATURE-ORIENTED TRACEABILITY FOR SOFTWARE PRODUCT LINE EVOLUTION. ADVISOR : ASSOC. PROF. PORNSIRI MUENCHAISRI, Ph.D., 148 pp.

The objective of this thesis is to design a method for a feature-oriented traceability for software product line evolution by proposing a solution for a problem that can occur in feature-oriented traceability for software product line evolution. A problem of a feature-oriented traceability for software product line evolution is a problem of a lack of management in changing of trace links between feature and software artifact component. This research proposes Possible Trace Link Function in order to solve this problem. The Possible Trace Link Function can find new trace links that can occur between feature and software artifact component after software product line evolution by using the relationship between feature and software artifact component. The result of evaluation of Possible Trace Link Function shows that this function is suitable for using as a function for finding new trace links that can occur between feature and software artifact component after software product line evolution. Moreover, this research develops a tool for a feature-oriented traceability for software product line evolution and also tests the ability of tool for a feature-oriented traceability for software product line evolution.

Department : .....Computer Engineering.......... Student's Signature : ....

Field of Study : .....Software Engineering......... Advisor's Signature : ………………………

Academic Year : ...2011..................................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ หมื่นไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ แนะนำแนวทางการวิจัย ตรวจสอบให้คำแนะนำ และสนับสนุนเป็นอย่างดี จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จออกมาด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นครทิพย์ พร้อมพูล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรชัย ลลิตโรจน์วงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเสียสละเวลา ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านและเพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการเรียน และการทำวิจัย

ท้ายที่สุด ผู้เสนอวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ ในการทำงานที่ต้องใช้ความมานะและอดทน แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 6

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย 7

1.8 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์..... 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 8

2.1.1 การตามรอย (Traceability) 8

2.1.2 วิธีการวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (Software Product Line Engineering Approach) 12

2.1.3 การจัดการความผันแปร (Variability Management)..... 13

2.1.3.1 ประเภทของความผันแปร 14

2.1.3.2 การแทนความผันแปร (Variability Representation) 15

2.1.4 วิธีการวิเคราะห์โดเมนเชิงฟีเจอร์ (Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) method)..... 17

2.1.5 การตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (Traceability in Software Product Line) 19

หน้า

2.1.5.1 มิติการตามรอยสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
(Traceability Dimensions for Software Product Line)......... 19
2.1.5.2 เทคนิคที่สนับสนุนการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์...... 21
2.1.5.2.1 การวิเคราะห์ความครอบคลุม (Covering
Analysis) 21
2.1.5.2.2 การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง
(Change Impact Analysis)................................ 22
2.1.5.2.3 การตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์
(Detection of Feature Interaction) 23
2.1.5.3 วิธีการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 24
2.1.5.3.1 วิธีการความผันแปรด้านบน (Variability on
Top Approach) 24
2.1.5.3.2 วิธีการตามรอยระดับสิ่งประดิษฐ์ (Artifact
Level Traceability Approach) 25
2.1.5.3.3 วิธีการตามรอยระดับละเอียด (Fine-Grained
Traceability Approach)...................................... 25
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง... 25
2.2.1 Orthogonal Variability Model (OVM) โดย Klaus Pohl,
Günter Böckle และ Frank van der Linden.. 26
2.2.2 Tracing Software Product Line Variability – From Problem to
Solution Space โดย Kathrin Berg และ Judith Bishop........................ 27
2.2.3 Supporting the Evolution of Software Product Lines โดย
Ralf Mitschke และ Michael Eichberg 28
บทที่ 3 การออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 30
3.1 ภาพรวมของวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์
ซอฟต์แวร์ 30
3.2 ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์
สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 31
3.3 ปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์....................... 32

หน้า

3.3.1 เวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้.......................................32
3.3.2 การที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร..36
3.4 วิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์..38
3.4.1 วิธีการแก้ปัญหาเวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้โดยใช้เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์............................38
3.4.1.1 ความหมายของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ 39
3.4.1.2 ค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ 40
3.4.1.3 ตัวอย่างของวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ 40
3.4.1.4 เวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component Version)..41
3.4.1.5 การควบคุมเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ 41
3.4.2 วิธีการแก้ปัญหาการที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรโดยใช้การประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์...42
3.4.2.1 หลักการของการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ 42
3.4.2.2 ตัวอย่างของการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ 43

หน้า

3.4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์แต่ละประเภทใน
แบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์
ที่มาทำการตามรอย....... 44
3.4.2.4 จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน (Virtual Variation Point) 45
3.4.2.5 ตัวอย่างของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน....... 46
3.5 การออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ 47
3.5.1 ประโยชน์ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้....... 47
3.5.2 วิธีการของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ 48
3.5.2.1 หลักการเบื้องต้นของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้....... 48
3.5.2.2 เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์ (Branch of Product technique) 49
3.5.2.3 ตัวอย่างของการใช้งานเทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์โดย
ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ 49
3.5.2.4 หลักการเพิ่มเติมของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้....... 54
3.5.3 อัลกอริทึมของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ 55
3.5.4 ข้อจำกัดของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้....... 56
บทที่ 4 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการ
สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 60
4.1 ภาพรวมของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการ
สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์....... 60
4.2 การวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการ
สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์....... 62
4.2.1 ความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับ
วิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์....... 62
4.2.2 แผนภาพยูสเคสแสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่ใช้ใน
การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
กับผู้ใช้ของเครื่องมือ....... 64
4.2.2.1 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Create Trace Data 65
4.2.2.2 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Maintain Trace Data....... 66
4.2.2.3 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Query Trace Data 67

หน้า

4.2.2.4 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส View Trace Data.................. 69
4.2.3 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 70
4.2.4 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 71
4.3 การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์... 73
4.3.1 การออกแบบตารางฟีเจอร์การตามรอย 73
4.3.2 การออกแบบตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย 75
4.3.3 การออกแบบตารางลิงค์การตามรอย.. 77
4.3.4 การออกแบบการสอบถามข้อมูลการตามรอย 79
4.3.4.1 การสอบถามข้อมูลการตามรอยทั่วไป 79
4.3.4.2 การสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอย.................... 80
4.3.5 การออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์......... 80
4.4 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์.. 82
4.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 82
4.4.2 การใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 83
4.5 การทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์.. 85
บทที่ 5 การประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์........ 86
5.1 การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว 87

หน้า

5.1.1 วิธีการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว 87
5.1.2 ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว 91
5.1.3 อภิปรายผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว 92
5.2 การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ 95
5.2.1 วิธีการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ 95
5.2.2 ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ 99
5.2.3 อภิปรายผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ 103
5.3 วิเคราะห์ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพิ่มเติม 106
บทที่ 6 บทสรุป 108
6.1 บทสรุป 108
6.2 สิ่งที่ได้จากการวิจัย (Contribution) 109
6.3 ข้อจำกัด 110
6.4 แนวทางการวิจัยต่อ 111
รายการอ้างอิง 113
ภาคผนวก 115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 148

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้.................... 34
ตารางที่ 3.2 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์.. 52
ตารางที่ 3.3 ลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด ภายหลังการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและคลาสที่ยังไม่ถูกตามรอย... 53
ตารางที่ 3.4 ลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด ภายหลังการใช้เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์เข้าช่วยในการค้นหา โดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้.............. 54
ตารางที่ 4.1 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Create Trace Data.. 65
ตารางที่ 4.2 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Maintain Trace Data 66
ตารางที่ 4.3 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Query Trace Data 68
ตารางที่ 4.4 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส View Trace Data 69
ตารางที่ 5.1 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ..................................... 89
ตารางที่ 5.2 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ(ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน)... 91
ตารางที่ 5.3 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ............... 98
ตารางที่ 5.4 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 1 เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ (ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน)............ 100

หน้า

ตารางที่ 5.5 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ (ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน)............ 102

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ข้อมูลการตามรอยทั้ง 4 ประเภท 9
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของตารางการตามรอย 9
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างของลิสต์การตามรอยแบบ “depends-on” 10
ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างของลิสต์การตามรอยแบบ “dependents-off” 10
ภาพที่ 2.5 ความคิดรวบยอดพื้นฐานของการตามรอย 12
ภาพที่ 2.6 แบบจำลองวงจรชีวิต 2 วงจรของวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 13
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของความผันแปรประเภทต่างๆ 14
ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก 15
ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก 16
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างของต้นไม้ฟีเจอร์สำหรับรถยนต์ 18
ภาพที่ 2.11 มิติการตามรอยทั้ง 4 มิติ ใน 2 กระบวนการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 20
ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความครอบคลุมในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 21
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 22
ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 24
ภาพที่ 2.15 วิธีการความผันแปรด้านบน 24
ภาพที่ 2.16 วิธีการตามรอยระดับสิ่งประดิษฐ์ 25
ภาพที่ 2.17 วิธีการตามรอยระดับละเอียด 25
ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างของการตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากกับสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ 26
ภาพที่ 2.19 การตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิดกับสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์ 27
ภาพที่ 2.20 เวอร์ชันเริ่มต้นของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์และการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ 29
ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 31
ภาพที่ 3.2 ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 32

หน้า

ภาพที่ 3.3 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาต ให้เข้าได้ (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น เวอร์ชันด้านบนคือ เวอร์ชันเชิงตรรกะ เวอร์ชันด้านล่างคือ เวอร์ชันเชิงบรรจุ)........... 33
ภาพที่ 3.4 แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ 33
ภาพที่ 3.5 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาต ให้เข้าได้ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ ซอฟต์แวร์ (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น เวอร์ชันด้านบนคือ เวอร์ชันเชิงตรรกะ เวอร์ชันด้านล่างคือ เวอร์ชันเชิงบรรจุ)........... 35
ภาพที่ 3.6 แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 35
ภาพที่ 3.7 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุก (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น) 37
ภาพที่ 3.8 แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุก 37
ภาพที่ 3.9 ค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบเก่า (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของ เวอร์ชันรูปแบบใหม่ (ภาพขวา) ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ 40
ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เวอร์ชันรูปแบบเก่า (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เวอร์ชันรูปแบบใหม่ (ภาพขวา) ของฟีเจอร์ใน แบบจำลองฟีเจอร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์............. 41
ภาพที่ 3.11 แบบจำลองฟีเจอร์ระบบความปลอดภัยของบ้าน (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น) 43
ภาพที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์แต่ละประเภทในแบบจำลองฟีเจอร์กับ ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย 44
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างของการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคสใน แผนภาพยูสเคส 46
ภาพที่ 3.14 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบสังเกตสภาพอากาศ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น) 51
ภาพที่ 3.15 แผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ภายหลังการเกิด วิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ คลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่)......... 51

หน้า

ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก) 57
ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก) 58
ภาพที่ 4.1 ภาพรวมของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 61
ภาพที่ 4.2 ความสามารถหลักของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ทั้ง 4 มอดูล 62
ภาพที่ 4.3 แผนภาพยูสเคสแสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์กับผู้ใช้ของเครื่องมือ 64
ภาพที่ 4.4 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 70
ภาพที่ 4.5 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 72
ภาพที่ 4.6 ตารางฟีเจอร์การตามรอย 73
ภาพที่ 4.7 ตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย 76
ภาพที่ 4.8 ตารางลิงค์การตามรอย 78
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างตารางต่างๆ ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยในฐานข้อมูล 82
ภาพที่ 4.10 ข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออกของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 84
ภาพที่ 5.1 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ตัวขีดเส้นใต้คือ ฟีเจอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น) 88

หน้า

ภาพที่ 5.2 แผนภาพยูสเคสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ยูสเคสหรือแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ตัวขีดเส้นใต้คือ แอคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง) 89
ภาพที่ 5.3 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือฟีเจอร์จำเป็น) 96
ภาพที่ 5.4 แผนภาพยูสเคสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ตัวขีดเส้นใต้คือ ยูสเคสที่มีการเปลี่ยนแปลง) 97
ภาพที่ 1 หน้าต่างของการเข้าสู่ระบบ 116
ภาพที่ 2 หน้าต่างของการลงทะเบียน 117
ภาพที่ 3 ตัวอย่างของตารางฟีเจอร์การตามรอย 117
ภาพที่ 4 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียด 118
ภาพที่ 5 ตัวอย่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย 119
ภาพที่ 6 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด 119
ภาพที่ 7 ตัวอย่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์........... 120
ภาพที่ 8 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด 121
ภาพที่ 9 ตัวอย่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 121
ภาพที่ 10 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด 122
ภาพที่ 11 ตัวอย่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย 123
ภาพที่ 12 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด 123
ภาพที่ 13 หน้าต่างของการเพิ่มฟีเจอร์ 124
ภาพที่ 14 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์........ 125

หน้า

ภาพที่ 15 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 126
ภาพที่ 16 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 127
ภาพที่ 17 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 128
ภาพที่ 18 หน้าต่างของการลบฟีเจอร์..... 128
ภาพที่ 19 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 129
ภาพที่ 20 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 130
ภาพที่ 21 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 131
ภาพที่ 22 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 131
ภาพที่ 23 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้..... 132
ภาพที่ 24 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้..... 133
ภาพที่ 25 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้..... 134
ภาพที่ 26 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้..... 135

หน้า

ภาพที่ 27 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้ 137
ภาพที่ 28 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์ที่ถูกเลือก 137
ภาพที่ 29 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก 138
ภาพที่ 30 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก 139
ภาพที่ 31 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก 140
ภาพที่ 32 ตัวอย่างของลิสต์ของการสอบถาม 140
ภาพที่ 33 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ 141
ภาพที่ 34 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ 141
ภาพที่ 35 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่าหนึ่งส่วนประกอบ 142
ภาพที่ 36 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกัน 143
ภาพที่ 37 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์ 144
ภาพที่ 38 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกัน 145
ภาพที่ 39 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 146
ภาพที่ 40 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 147

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนำนี้จะแบ่งเป็นแปดหัวข้อย่อย กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ วิธีดำเนินการวิจัย ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย และผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ ตามลำดับ ดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์สมัยใหม่ มีสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ (Software Artifact) จำนวนมากมายที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาซอฟต์แวร์ ความเข้าใจของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการพัฒนาซอฟต์แวร์เป็นหลักการสำคัญที่ช่วยให้เกิดความมั่นใจได้ว่า ซอฟต์แวร์ที่ส่งมอบให้ลูกค้าจะตรงตามความต้องการของลูกค้าทั้งหมด [1] ซอฟต์แวร์ที่ดีควรมีความสามารถในการเชื่อมโยงความต้องการกับสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ที่พัฒนาตามความต้องการ และการเชื่อมโยงความต้องการกับแหล่งของความต้องการ การเชื่อมโยงนี้เรียกว่าการตามรอย (Traceability)

การปราศจากวิธีการตามรอยอย่างเหมาะสม การเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นในความต้องการของระบบ อาจจะนำไปสู่ความไม่สามารถในการตรวจสอบได้ว่าความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปได้รับการพัฒนาอย่างถูกต้องหรือไม่ เช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นในสิ่งประดิษฐ์ที่พัฒนาตามความต้องการของระบบ อาจจะนำไปสู่ความไม่สามารถในการตรวจสอบได้ว่าสิ่งประดิษฐ์ได้รับการพัฒนาตามความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ปัญหาการตามรอย (Traceabiltiy Problem) สามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อสิ่งประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาให้กับระบบไม่สามารถเชื่อมโยงกับกลุ่มของปัญหาที่จะถูกแก้ไขได้ [2] ปัญหาการตามรอยต้องการวิธีการแก้ไข ซึ่งทำให้ผู้พัฒนาสามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของพื้นที่ที่แตกต่างกันคือพื้นที่ปัญหาและพื้นที่การแก้ปัญหาได้อย่างสมเหตุสมผล เพื่อที่จะบำรุงรักษาและปรับเปลี่ยนระบบซอฟต์แวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (Software Product Line) คือ กลุ่มของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ซึ่งใช้ลักษณะทั่วไปร่วมกัน แต่แตกต่างกันไปในบางลักษณะ ปัญหาการตามรอยจะมีความซับซ้อนมากขึ้นในการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ เนื่องมาจากความผันแปร (Variability) ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ที่สนับสนุนต่อการพัฒนากลุ่มของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้

เกิดความหลากหลายในการพัฒนาขึ้น การตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จึงไม่เพียงแต่เป็นการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงการตามรอยความผันแปรภายในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์เหล่านั้นด้วย

ความผันแปรในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองความผันแปร (Variability Model) การตามรอยความผันแปรภายในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถทำได้ด้วยการตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรและสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ แบบจำลองฟีเจอร์ (Feature Model) มักถูกใช้เป็นแบบจำลองความผันแปร เพราะสามารถแสดงได้ถึงคุณลักษณะที่มีในทุกซอฟต์แวร์และคุณลักษณะที่มีในบางซอฟต์แวร์ได้เป็นอย่างดี การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เป็นการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

อย่างไรก็ตาม การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน เป็นเพียงการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ปัจจุบันเท่านั้น ยังคงขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ อันเนื่องมาจากวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ การเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ตามไปด้วย งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ (Possible Trace Link Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และฟังก์ชันนี้จะส่งผลให้การตามรอยเชิงฟีเจอร์มีลักษณะเป็นการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ในการออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ งานวิจัยนี้ต้องมีการใช้ความรู้พื้นฐานของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ อย่างไรก็ตาม การตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในปัจจุบันยังพบว่ามีปัญหาอยู่ดังนี้ ปัญหาแรกคือ เวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้ และปัญหาที่สองคือ การที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร งานวิจัยนี้จึงมีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาทั้ง 2 ปัญหาดังนี้ วิธีการแก้ปัญหาแรกคือ การนำเสนอเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ และวิธีการแก้ปัญหาที่สองคือ การประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้ง

ฉาก (Orthogonal Variability Model) มาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์ และงานวิจัยนี้ยังนำวิธีการแก้ปัญหาเหล่านี้มาเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และได้มีการทดสอบความสามารถของเครื่องมือในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย รวมถึงมีการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
2. ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ครอบคลุมการออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งใช้แบบจำลองฟีเจอร์เป็นศูนย์กลางในการตามรอยไปยังสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เท่านั้น ไม่ได้รวมถึงการตามรอยในลักษณะอื่น เช่น การตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ เป็นต้น
2. งานวิจัยนี้ครอบคลุมการตามรอยที่เกิดขึ้นในสินทรัพย์หลัก (Core Asset) ไม่ได้รวมถึงการตามรอยที่เกิดขึ้นที่ผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่งในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ นั่นคือเป็นการตามรอยเฉพาะในวิศวกรรมโดเมน (Domain Engineering) ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เท่านั้น
3. ข้อมูลนำเข้าของวิธีการตามรอยนี้ ได้แก่
    - 3.1 ส่วนประกอบของคำอธิบายยูสเคส (Use Case Description Component) ส่วนประกอบของยูสเคสซีนาริโอ (Use Case Scenario Component) และส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram Component)
    - 3.2 ส่วนประกอบของแผนภาพคลาส (Class Diagram Component) และส่วนประกอบของการ์ดความร่วมมือความรับผิดชอบของคลาส (Class

Responsibility Collaboration Cards Component – CRC Cards Component)

3.3 ส่วนประกอบของแผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram Component)

3.4 ฟีเจอร์ (Feature) ในแบบจำลองฟีเจอร์ (Feature Model)

3.5 การสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ซึ่งประกอบด้วยการสอบถามการตรวจสอบการตามรอย (Trace Check Query) การสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุม (Covering Analysis Query) การสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง (Change Impact Analysis Query) การสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ (Detection of Feature Interaction Query) และการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ (Possible Trace Link Query)

4. ข้อมูลส่งออกของวิธีการตามรอยนี้คือ ผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ซึ่งประกอบด้วยผลของการสอบถามการตรวจสอบการตามรอย ผลของการสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุม ผลของการสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง ผลของการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ และผลของการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

5. การประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ มีการนำกรณีศึกษาที่อยู่ในรูปแบบของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นจริงและมีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์กับสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์มาใช้ในการประเมิน โดยที่แบบจำลองฟีเจอร์จะมีระดับชั้นของต้นไม้ฟีเจอร์อย่างน้อย 3 ระดับชั้น แต่ไม่เกิน 6 ระดับชั้น และแต่ละระดับชั้น (ยกเว้นราก) ต้องมีฟีเจอร์รวมกันอย่างน้อย 2 ฟีเจอร์ แต่ไม่เกิน 15 ฟีเจอร์ ซึ่งจะทำการประเมินว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้มากน้อยเพียงใด โดยเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด ข้อมูลส่งออก คือ ผลลัพธ์ของการประเมินในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ของลิงค์การตามรอยที่สามารถค้นพบได้ด้วยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่นำเสนอขึ้น

6. เครื่องมือที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ถูกพัฒนาขึ้นในลักษณะของเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลได้ภายในเครือข่ายที่กำหนดขึ้น โดยมีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ผ่านทางหน้าเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลนำเข้าได้ตามต้องการ และเครื่องมือสามารถแสดงข้อมูลส่งออกกลับไปยังผู้ใช้ได้ โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ต้องมีความสามารถในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เพื่อที่จะได้จัดเก็บข้อมูลที่ผู้ใช้นำเข้า รวมถึงการค้นคืนข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการ
7. เครื่องมือที่ได้รับการพัฒนาขึ้น มีความสามารถ ได้แก่
    7.1 สามารถจัดการกับข้อมูลการตามรอยพื้นฐาน ได้แก่ การเรียกดู เพิ่ม ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอย ผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ได้
    7.2 สามารถให้ผู้ใช้ทำการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่ผู้ใช้ต้องการ ผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ได้
    7.3 สามารถแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอย ผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ได้
    7.4 สามารถสนับสนุนการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ อันเนื่องมาจากวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. ความผันแปร (Variability) หมายถึง ลักษณะใดๆ ที่แสดงคุณลักษณะในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์
2. ฟีเจอร์ (Feature) หมายถึง ลักษณะใดๆ ที่แสดงคุณลักษณะของระบบ
3. สิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ (Software Artifact) หมายถึง สิ่งที่ได้จากการพัฒนาซอฟต์แวร์ ตั้งแต่ขั้นตอนของการระบุความต้องการ ไปจนถึงขั้นตอนของการทดสอบ
4. วิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (Software Product Line Engineering) หมายถึง กระบวนการของการพัฒนาสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
5. วิศวกรรมโดเมน (Domain Engineering) หมายถึง กระบวนการของวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่มีการระบุและพัฒนาโดเมนของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

6. วิศวกรรมแอปพลิเคชัน (Application Engineering) หมายถึง กระบวนการของวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่มีการพัฒนาแอปพลิเคชันในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์โดยการนำสินทรัพย์หลักกลับมาใช้ใหม่
7. ระบบเดี่ยว (Single System) หมายถึง ระบบซอฟต์แวร์ระบบใดระบบหนึ่งเพียงระบบเดียว
8. สินทรัพย์หลัก (Core Asset) หมายถึง สิ่งที่ได้จากกระบวนการวิศวกรรมโดเมนในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนา ตั้งแต่ขั้นตอนของการระบุความต้องการ ไปจนถึงขั้นตอนของการทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ได้แก่

1. ได้วิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
2. สามารถนำเครื่องมือไปใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งเครื่องมือประกอบด้วยการสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอยคือ การสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นการสอบถามว่า มีลิงค์การตามรอยใหม่ ลิงค์ใดบ้าง ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย ถูกแบ่งเป็นห้าขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยวิธีการวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ การตามรอย และแบบจำลองฟีเจอร์ รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
2. ออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
3. ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

4. ประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ รวมถึงทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย
5. สรุปผลการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ดังต่อไปนี้ บทที่ 1 เป็นบทนำ ซึ่งกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา รวมถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ บทที่ 5 กล่าวถึงการประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และบทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปของการวิจัย

1.8 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ระหว่างดำเนินงานวิทยานิพนธ์ได้ตีพิมพ์ผลงานวิจัย หัวข้องานวิจัยชื่อ “A Feature-Oriented Traceability for Software Product Line Evolution” ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 4 (The 2011 4th IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT2011)) ซึ่งจัดขึ้นที่เมืองเฉิงตู มณฑลเสฉวน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ระหว่างวันที่ 10-12 มิถุนายน พ.ศ.2554

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎี รวมทั้งเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการทำการวิจัย แบ่งเป็นห้าส่วน ได้แก่

2.1.1 การตามรอย (Traceability)

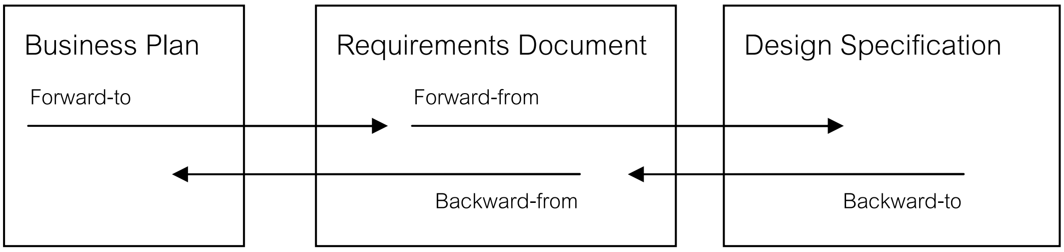
การเพิ่มขึ้นของจำนวนความต้องการที่มีในแต่ละซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน ส่งผลให้วิศวกรซอฟต์แวร์ได้ตระหนักถึงการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของความต้องการหนึ่ง ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการที่เหลืออยู่ในระบบ [2] เมื่อความต้องการของระบบความต้องการหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลง อาจจะนำไปสู่ความขัดแย้งกับความต้องการอื่นๆ ที่เหลืออยู่ในระบบ เช่น ถ้าระบบมีความต้องการที่จะเพิ่มความปลอดภัย อาจจะขัดแย้งกับความต้องการเรื่องเวลาการตอบสนองกลับ

ถ้าความขัดแย้งเหล่านี้ไม่ถูกตรวจพบ จะนำไปสู่ระบบที่มีความล้มเหลวจากความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบ (Stakeholder) ซึ่งหมายความว่าระบบซอฟต์แวร์อาจจะไม่ดีพอสำหรับการใช้งานที่คาดหวังไว้ [3] จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องมีงานที่ทำการตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของความต้องการที่มีต่อกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในความต้องการใดๆ หรือเกิดขึ้นในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ใดๆ ก็จะมีความเป็นไปได้ที่จะประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับส่วนที่เหลืออยู่ของระบบซอฟต์แวร์ งานที่ทำการตรวจสอบผลกระทบเหล่านี้ เรียกว่าการตามรอย ข้อมูลการตามรอยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท [4] ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลการตามรอยแบบย้อนกลับจากความต้องการ (Backward-from Traceability) เป็นข้อมูลการตามรอยที่เชื่อมโยงจากความต้องการกลับไปยังแหล่งของความต้องการซึ่งอยู่ในรูปแบบของเอกสารอื่นๆ หรือผู้คน
2. ข้อมูลการตามรอยแบบไปข้างหน้าจากความต้องการ (Forward-from Traceability) เป็นข้อมูลการตามรอยที่เชื่อมโยงจากความต้องการไปยังส่วนประกอบของการออกแบบและการพัฒนา
3. ข้อมูลการตามรอยแบบย้อนกลับถึงความต้องการ (Backward-to Traceability) เป็นข้อมูลการตามรอยที่เชื่อมโยงจากส่วนประกอบของการออกแบบและการพัฒนากลับไปยังความต้องการ

4. ข้อมูลการตามรอยแบบไปข้างหน้าถึงความต้องการ (Forward-to Traceability) เป็นข้อมูลการตามรอยที่เชื่อมโยงจากเอกสารอื่นๆ ซึ่งมีมาก่อนเอกสารความต้องการ ไปยังเอกสารความต้องการที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลการตามรอยทั้ง 4 ประเภทสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ข้อมูลการตามรอยทั้ง 4 ประเภท [5]

วิธีการที่จะระบุลิงค์การตามรอยที่ถูกใช้โดยทั่วไปมากที่สุดคือ ตารางการตามรอย (Traceability Table) [5] ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของตารางการตามรอยของระบบที่มีความต้องการ 6 อย่าง แต่ละความต้องการจะถูกเรียงในแนวตั้งและแนวนอนของตาราง ในแต่ละช่องของตารางสามารถที่จะระบุเครื่องหมายเพื่อที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการในแถว (Row) และความต้องการในสดมภ์ (Column) นั้นได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะมีการเพิ่มความต้องการที่ต้องการตามรอยเข้าไปยังทั้ง 2 ด้านของตาราง

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1			*	*		
R2					*	*
R3				*	*	
R4		*				
R5						*
R6						

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของตารางการตามรอย [5]

วิธีการอ่านตารางคือ การดูที่แต่ละช่องของตารางและแปลความหมายของข้อมูลที่ขึ้นอยู่กัน ในแต่ละแถวจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ความต้องการในแถวนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการในสดมภ์ที่ได้มีการทำเครื่องหมายระบุไว้ เช่น ความต้องการ R3 ขึ้นอยู่กับความต้องการ R4 และความต้องการ R5 ในทางกลับกัน ในแต่ละสดมภ์จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ว่ามีความต้องการใดบ้าง ที่ขึ้นอยู่กับความต้องการในสดมภ์นั้น เช่น ความต้องการ R2 มีความต้องการ R4 ขึ้นอยู่ด้วย ด้วยวิธีการนี้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง

(Change Impact Analysis) โดยการดูที่สดมภ์ของความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ความต้องการ R5 เมื่อมองลงไปที่สดมภ์ R5 จะเห็นได้ว่าความต้องการ R2 และความต้องการ R3 ขึ้นอยู่กับความต้องการ R5 ดังนั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นกับความต้องการ R2 และความต้องการ R3 เมื่อความต้องการ R5 มีการเปลี่ยนแปลงจะต้องทำการประเมินด้วย

ตารางการตามรอยยากต่อการต่อขยายและเหมาะสำหรับความต้องการจำนวนน้อยเท่านั้น แต่สำหรับความต้องการจำนวนมาก จะไม่สามารถใช้ตารางการตามรอยในการระบุลิงค์การตามรอยได้ เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ จึงมีการใช้ลิสต์การตามรอย (Traceability List) [5] แทนที่การใช้ตารางการตามรอย โดยจะมีการแสดงลิสต์ทั้งหมด 2 ลิสต์คือ ลิสต์ “depends-on” และลิสต์ “dependents-off” ภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของลิสต์เหล่านี้

	Depends-on
R1	R3, R4
R2	R5, R6
R3	R4, R5
R4	R2
R5	R6

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างของลิสต์การตามรอยแบบ “depends-on” [5]

	Dependents-off
R2	R4
R3	R1
R4	R1, R3
R5	R2, R3
R6	R2, R5

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างของลิสต์การตามรอยแบบ “dependents-off” [5]

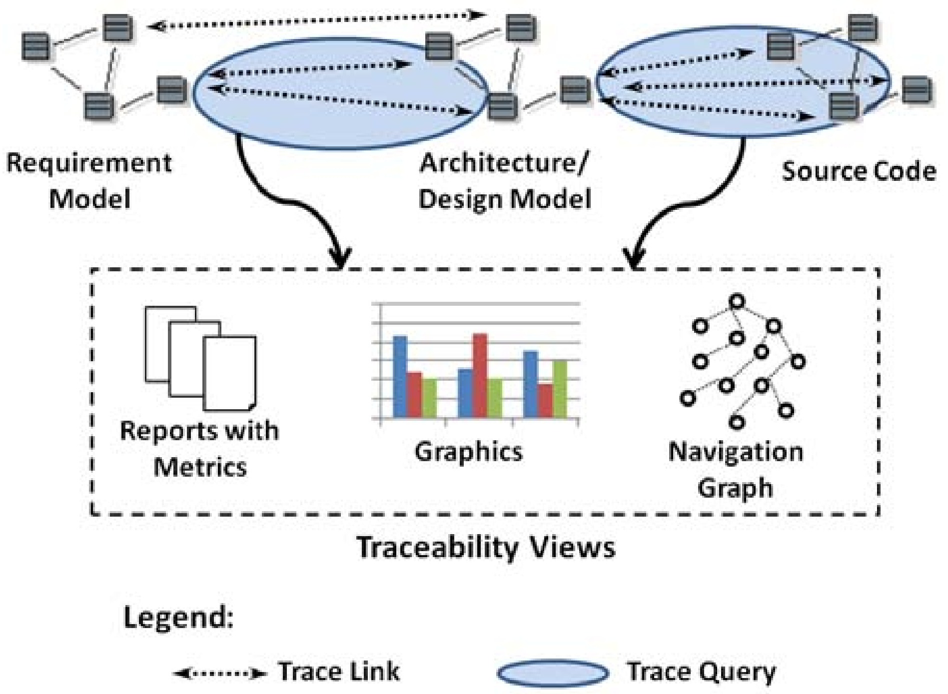
ลิสต์การตามรอยมีข้อดีคือ มีความกระชับมากกว่าตารางการตามรอย ถ้าต้องการหาความต้องการที่ขึ้นอยู่กับความต้องการที่ระบุไว้ สามารถหาได้จาก ลิสต์ “dependents-off” ตัวอย่างเช่น สามารถเห็นได้โดยง่ายว่าความต้องการ R3 มีความต้องการ R1 ขึ้นอยู่ด้วย ในทางกลับกัน เมื่อดูที่ลิสต์ “depends-on” จะแสดงให้เห็นว่าความต้องการนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการใดบ้าง เช่น ความต้องการ R5 ขึ้นอยู่กับความต้องการ R6 ข้อเสียอย่างเดียวของการใช้ลิสต์การตามรอยคือ การมีข้อมูล 2 ชุดที่ซ้ำซ้อนกันคือ ข้อมูลในลิสต์ “depends-on” และข้อมูลในลิสต์ “dependents-off” ซึ่งนำไปสู่ปัญหาของการบำรุงรักษาลิสต์ทั้งคู่ให้มีความสอดคล้องต้องกัน

มุมมองที่สำคัญอื่นๆ ของการตามรอยคือ การสอบถาม (Query) ข้อมูลการตามรอย และการเรียกดู (Viewing) ผลลัพธ์ของการสอบถามที่ส่งกลับมา การสอบถามข้อมูลการตามรอยสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ระดับ ได้แก่

1. Inter-level เป็นการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ที่ระดับการพัฒนาที่แตกต่างกัน เช่น ความต้องการกับสิ่งประดิษฐ์ของการออกแบบ หรือสิ่งประดิษฐ์ของการออกแบบกับโค้ดโปรแกรม เป็นต้น
2. Intra-level เป็นการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ที่ระดับการพัฒนาเดียวกัน เช่น แบบจำลองความต้องการกับเอกสารความต้องการ เป็นต้น

ประเภทของการสอบถามข้อมูลการตามรอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทการสอบถามอย่างง่ายและประเภทการสอบถามที่ซับซ้อน ประเภทการสอบถามอย่างง่ายจะเกี่ยวกับการเลือกสิ่งประดิษฐ์หรือกลุ่มของสิ่งประดิษฐ์ที่สนใจและเรียกดูสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังสิ่งประดิษฐ์นั้น ประเภทของข้อมูลการตามรอยควรที่จะถูกเลือกได้ว่าเป็นข้อมูลการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ประเภทใด ประเภทการสอบถามที่ซับซ้อน เป็นการสอบถามที่มีให้กับผู้พัฒนาระบบ ซึ่งมีอยู่หลากหลายการสอบถาม เช่น การวิเคราะห์ความครอบคลุมความต้องการเป็นการวิเคราะห์เพื่อให้แน่ใจว่า สิ่งประดิษฐ์ของสถาปัตยกรรม การออกแบบ และการพัฒนาครอบคลุมความต้องการที่ระบุไว้ ซึ่งมีประโยชน์ในการแสดงให้เห็นว่าระบบได้รับการพัฒนาขึ้นตรงตามความต้องการที่ระบุไว้โดยผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบอย่างครบถ้วน เป็นต้น ผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยสามารถถูกแสดงได้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น รายงานข้อความธรรมดา กราฟ หรือ ตาราง

ภาพที่ 2.5 แสดงภาพรวมของความคิดรวบยอด (Concept) พื้นฐานของการตามรอย จากภาพที่ 2.5 จะแสดงให้เห็นถึงการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ โดยมีการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เหล่านั้น ดังแสดงด้วยเส้นประมีหัวลูกศรทั้ง 2 ด้าน เช่น การสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของแบบจำลองความต้องการกับส่วนประกอบของแบบจำลองการออกแบบ เป็นต้น การสอบถามข้อมูลการตามรอยจะถูกแสดงด้วยเครื่องหมายวงรีครอบลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ เช่น เครื่องหมายวงรีครอบลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของแบบจำลองความต้องการกับส่วนประกอบของแบบจำลองการออกแบบ เป็นต้น ซึ่งผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยจะถูกแสดงได้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น รายงานด้วยตาราง แผนภูมิ กราฟ เป็นต้น ดังแสดงในกรอบสี่เหลี่ยมที่เป็นเส้นประ



ภาพที่ 2.5 ความคิดรวบยอดพื้นฐานของการตามรอย [6]

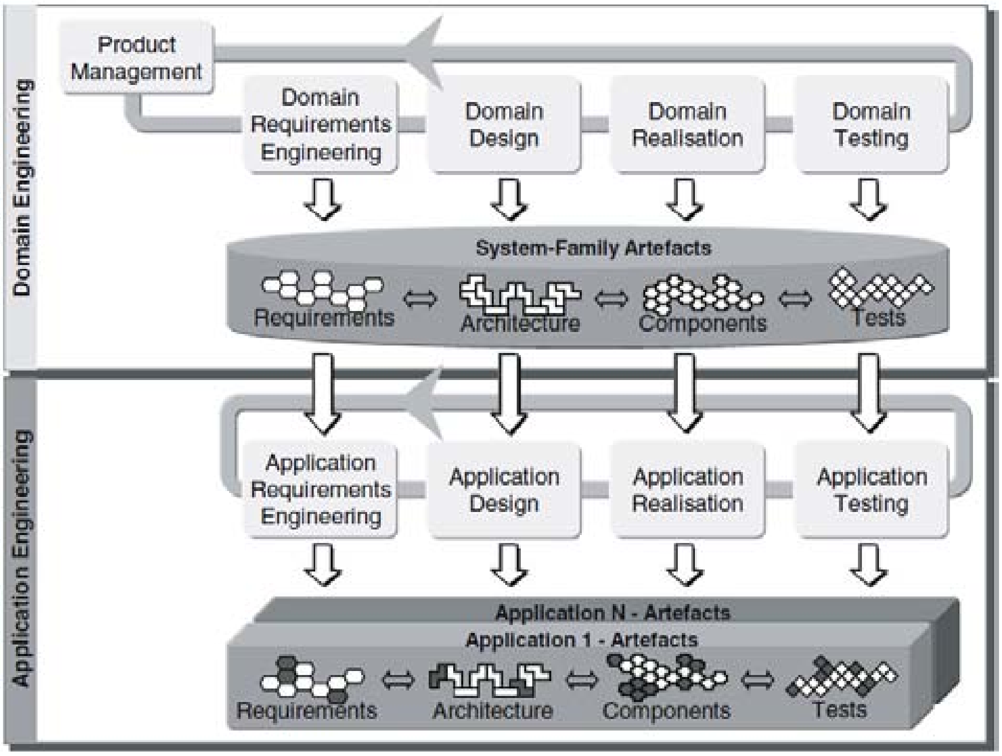
2.1.2 **วิธีการวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์** (Software Product Line Engineering Approach) [7]

ความแตกต่างระหว่างการพัฒนาระบบเดี่ยวกับวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือมุมมองของการพัฒนาที่แตกต่างกันจากระบบเดี่ยวไปสู่สายผลิตภัณฑ์ วิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนาที่แตกต่างกัน 2 อย่างคือ การพัฒนาเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่และการพัฒนาด้วยการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ในวิศวกรรมโดเมน (Domain Engineering) คือ การพัฒนาเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ จะมีการพัฒนาองค์ประกอบพื้นฐานในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนา เพื่อใช้องค์ประกอบเหล่านั้นในการพัฒนาของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่แบบดั้งเดิมที่เน้นการพัฒนาเฉพาะองค์ประกอบที่เป็นโค้ดเท่านั้น โครงสร้างพื้นฐานของวิศวกรรมโดเมนของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จะแสดงถึงสินทรัพย์ (Asset) ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกันผ่านวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ สินทรัพย์ที่หลากหลายครอบคลุมจากขั้นตอนของความต้องการ ไปสู่ขั้นตอนของสถาปัตยกรรม รวมถึงขั้นตอนของการสร้างและการทดสอบ นอกจากนี้ ในแต่ละสินทรัพย์ยังประกอบด้วยความผันแปรอีกด้วย

สินทรัพย์ในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาในวิศวกรรมโดเมน จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเหมือนสินทรัพย์ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ทั่วไป ซึ่งทำให้มีการตามรอยระหว่างสินทรัพย์ในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาตามความต้องการเดียวกัน สินทรัพย์หลัก (Core Asset) ในสายผลิตภัณฑ์

ซอฟต์แวร์หมายถึง สิ่งที่ได้จากกระบวนการวิศวกรรมโดเมนในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนา ตั้งแต่ขั้นตอนของการระบุความต้องการ ไปจนถึงขั้นตอนของการทดสอบ ซึ่งสินทรัพย์หลักเหล่านี้สามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ในขั้นของวิศวกรรมแอปพลิเคชัน ตัวอย่างของสินทรัพย์หลัก เช่น เอกสารความต้องการทั่วไป โค้ดที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นต้น

วิศวกรรมแอปพลิเคชัน (Application Engineering) คือ การพัฒนาด้วยการนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการพัฒนาเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์บนพื้นฐานของสินทรัพย์หลักในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ วิศวกรรมแอปพลิเคชันถูกขับเคลื่อนโดยสินทรัพย์หลักที่ได้จากกระบวนการวิศวกรรมโดเมนของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งประกอบด้วยความสามารถเชิงฟังก์ชันจำนวนมากสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ ความผันแปรในสินทรัพย์หลักจะแสดงถึงพื้นฐานของการถ่ายทอดไปยังแต่ละผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์ใหม่ถูกพัฒนาขึ้น โครงการ (Project) ก็จะถูกสร้างขึ้น เริ่มด้วยการเก็บความต้องการของผู้ใช้และทำการแบ่งประเภทของความต้องการว่าเป็นส่วนหนึ่งของสายผลิตภัณฑ์ หรือเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์นั้น หลังจากนั้น สินทรัพย์หลักในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาก็จะถูกถ่ายทอดไปในขั้นตอนต่างๆ ของการพัฒนาซอฟต์แวร์



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองวงจรชีวิต 2 วงจรของวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [7]

2.1.3 **การจัดการความผันแปร** (Variability Management) [7]

วิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ มีจุดมุ่งหมายที่จะสนับสนุนกลุ่มของผลิตภัณฑ์ กลุ่มของผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสนับสนุนกลุ่มของลูกค้าที่มีความต้องการที่แตกต่างกัน และเพื่อที่จะ

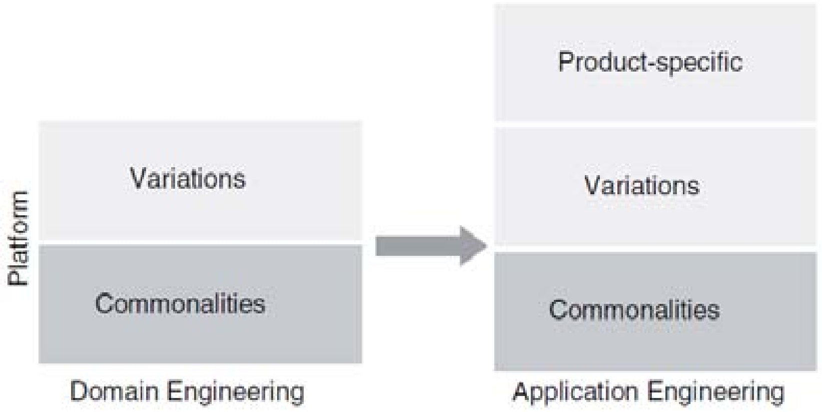
รองรับต่อส่วนแบ่งทางการตลาดที่มีความหลากหลาย เป็นผลให้ความผันแปรเป็นแนวคิดสำคัญของวิธีการนี้ แทนที่จะเข้าใจระบบเดี่ยวแต่ละระบบ วิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จะมองสายผลิตภัณฑ์ในภาพรวม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวน (Variation) ระหว่างระบบเดี่ยว ความผันแปรต้องมีการระบุ นำเสนอ พัฒนา และปรับปรุง ซึ่งเรียกกระบวนการทั้งหมดเหล่านี้รวมกันว่าการจัดการความผันแปร

2.1.3.1 **ประเภทของความผันแปร** [7]

เมื่อมีการจัดการความผันแปรในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จะต้องมีการแบ่งความผันแปรออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. คอมมอนนอลลิตี (Commonality) เป็นลักษณะใดๆ ที่แสดงคุณลักษณะที่มีในทุกผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ความผันแปรประเภทนี้จะถูกสร้างให้เป็นส่วนหนึ่งของสินทรัพย์หลัก
2. แวริอบิลิตี (Variability) เป็นลักษณะใดๆ ที่แสดงคุณลักษณะที่มีในบางผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์แต่ไม่ทั้งหมด ความผันแปรประเภทนี้จะถูกสร้างให้เป็นส่วนหนึ่งของสินทรัพย์หลัก ในแนวทางที่อนุญาตให้มีการเลือกความผันแปรประเภทนี้ในบางผลิตภัณฑ์ได้
3. โปรดักท์สเปซิฟิก (Product-Specific) เป็นลักษณะใดๆ ที่แสดงคุณลักษณะที่มีเฉพาะในผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ คุณลักษณะเฉพาะเหล่านี้จะไม่เป็นที่ต้องการในทางการตลาดโดยทั่วไป แต่เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ เท่านั้น ความผันแปรประเภทนี้จะไม่ถูกสร้างให้เป็นส่วนหนึ่งของสินทรัพย์หลัก

ในขณะที่คอมมอนนอลลิตีและแวริอบิลิตี โดยปกติจะถูกจัดการในวิศวกรรมโดเมน ส่วนของโปรดักท์สเปซิฟิกจะถูกจัดการในวิศวกรรมแอปพลิเคชัน ดังแสดงในภาพที่ 2.7



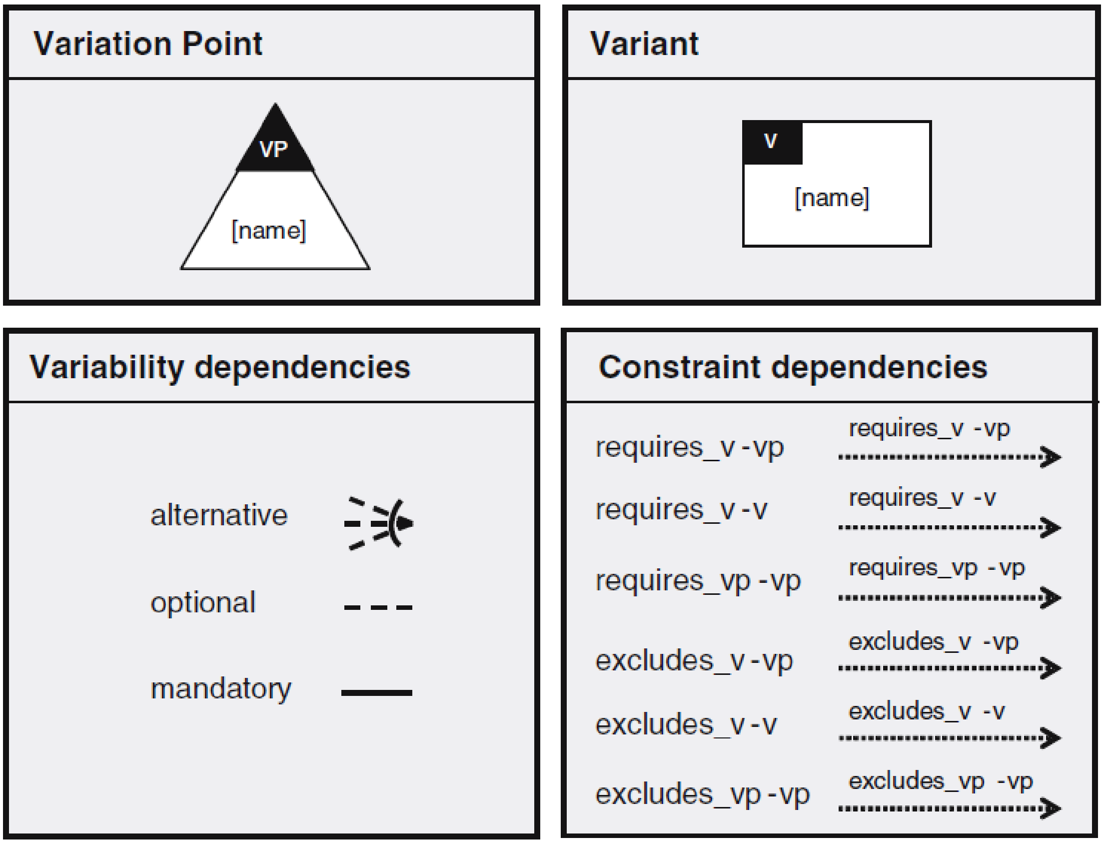
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของความผันแปรประเภทต่างๆ [7]

ในระหว่างวงจรชีวิตของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ความผันแปรหนึ่งๆ อาจจะเปลี่ยนประเภทได้ ยกตัวอย่างเช่น ความผันแปรประเภทโปรดักท์สเปซิฟิกอาจจะเปลี่ยนประเภทเป็นความผันแปรประเภทแวริอบิลิตีได้ ในทางกลับกัน ความผันแปรประเภทคอมมอนนอลลิตีอาจจะเปลี่ยนประเภทเป็นความผันแปรประเภทแวริอบิลิตีได้เช่นเดียวกัน ตัวอย่างการเปลี่ยนประเภทเหล่านี้ เช่น ถ้าเวลาผ่านไปนานๆ อาจจะมีการตัดสินใจที่จะสนับสนุนคุณลักษณะที่มีเฉพาะในผลิตภัณฑ์หนึ่งเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของสินทรัพย์หลักได้

2.1.3.2 **การแทนความผันแปร** (Variability Representation) [7]

การแทนความผันแปรสามารถทำได้โดยการใช้แบบจำลองความผันแปร ภายในแบบจำลองความผันแปรจะมีการใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ในการนำเสนอความผันแปร วัตถุประสงค์หลักของการแทนความผันแปรคือ การนำเสนอถึงคุณลักษณะที่หลากหลายของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยเน้นที่ความแตกต่างระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

แบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก (Orthogonal Variability Model) เป็นแบบจำลองรูปแบบหนึ่งที่สามารถใช้เป็นแบบจำลองความผันแปรได้ สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากแสดงได้ดังภาพที่ 2.8

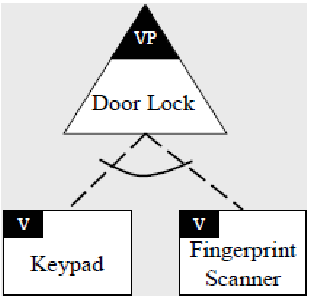


ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก [7]

สัญลักษณ์ต่างๆ ในภาพที่ 2.8 มีความหมายดังต่อไปนี้

- จุดที่เกิดความแปรปรวน (Variation Point) คือ สิ่งที่มีความแตกต่างกันในการพัฒนาแต่ละผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
- ตัวแปร (Variant) คือ ตัวเลือกที่แตกต่างกันในการพัฒนาแต่ละผลิตภัณฑ์ ณ จุดที่เกิดความแปรปรวนต่างๆ
- ความขึ้นอยู่กันของความผันแปร (Variability Dependencies) คือ สัญลักษณ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เกิดความแปรปรวนและตัวแปร มีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่
    1. เลือกอย่างใดอย่างหนึ่ง (Alternative) ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง เพียงตัวแปรเดียวในกลุ่มของตัวแปรของจุดที่เกิดความแปรปรวนนั้นจะต้องถูกเลือก
    2. ทางเลือก (Optional) ตัวแปรของจุดที่เกิดความแปรปรวนนั้นสามารถถูกเลือกหรือไม่เลือกก็ได้
    3. จำเป็น (Mandatory) ตัวแปรของจุดที่เกิดความแปรปรวนนั้นจำเป็นจะต้องถูกเลือกเสมอ
- ความขึ้นอยู่กันของข้อจำกัด (Constraint Dependencies) คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงถึงความขึ้นอยู่กันของการเลือกตัวแปรหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนต่างๆ มีอยู่ 2 รูปแบบคือ
    1. ต้องการ (Requires) การเลือกตัวแปรหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนหนึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการเลือกอีกตัวแปรหรืออีกจุดที่เกิดความแปรปรวนหนึ่งด้วยเสมอ ถึงจะสามารถเลือกตัวแปรหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนนั้นได้
    2. ยกเว้น (Excludes) การเลือกตัวแปรหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนหนึ่งจำเป็นที่จะต้องไม่เลือกอีกตัวแปรหรืออีกจุดที่เกิดความแปรปรวนหนึ่งด้วยเสมอ ถึงจะสามารถเลือกตัวแปรหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนนั้นได้

ตัวอย่างของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากแสดงได้ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก [8]

จากภาพที่ 2.9 สามารถอธิบายได้ว่าสิ่งที่มีความแตกต่างกันในการพัฒนาแต่ละผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือ การล็อคประตู ซึ่งถูกแสดงโดยจุดที่เกิดความแปรปรวน Door Lock และแต่ละผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถทำการเลือกรูปแบบในการล็อคประตูได้จากตัวเลือก 2 ตัวเลือกคือ การล็อคประตูด้วยระบบแผงแป้นพิเศษและการล็อคประตูด้วยระบบสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งถูกแสดงโดยตัวแปร Keypad และตัวแปร Fingerprint Scanner ตามลำดับ โดยในแต่ละผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จะสามารถทำการเลือกรูปแบบในการล็อคประตูได้เพียงรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถูกแสดงโดยความขึ้นอยู่กันของความผันแปรประเภท alternative

การจัดการความผันแปรเป็นสิ่งที่ต้องทำการพิจารณาในวิธีการวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ เพราะว่าการจัดการเหล่านี้จะครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยเริ่มต้นจากขั้นตอนของการระบุขอบเขตความต้องการไปจนถึงขั้นตอนของการพัฒนาและการทดสอบ รวมไปถึงขั้นตอนของวิวัฒนาการ (Evolution) ซึ่งส่งผลให้ความผันแปรเกี่ยวข้องกับสินทรัพย์ทั้งหมดตลอดการพัฒนาซอฟต์แวร์

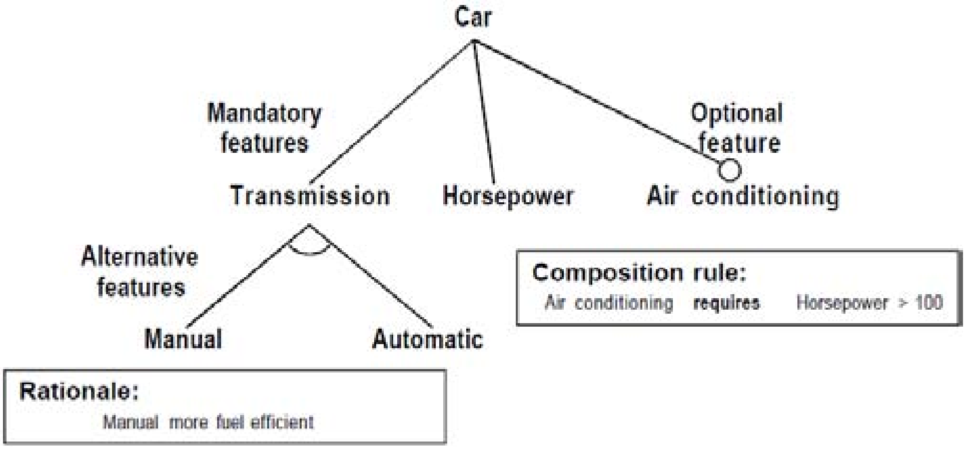
2.1.4 **วิธีการวิเคราะห์โดเมนเชิงฟีเจอร์** (Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) method) [9]

วิธีการวิเคราะห์โดเมนเชิงฟีเจอร์จะมีการสนับสนุนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ที่ระดับฟังก์ชันและระดับสถาปัตยกรรม ผลิตภัณฑ์โดเมน (Domain Product) ซึ่งนำเสนอฟังก์ชันและสถาปัตยกรรมทั่วไปของแอปพลิเคชันในโดเมน จะถูกสร้างจากการวิเคราะห์โดเมน ในขณะที่แต่ละแอปพลิเคชันในโดเมน จะพัฒนาในลักษณะของการเลือกผลิตภัณฑ์โดเมนให้เหมาะสมกับแอปพลิเคชันของตน

การวิเคราะห์โดเมนเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความต้องการและการออกแบบระดับสูง (High-Level Design) แต่ถูกแสดงในขอบเขตที่กว้างกว่าและให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์โดเมนจะเป็นการวิเคราะห์ระบบทั้งหมดที่อยู่ภายในโดเมนเดียวกัน ไม่ใช่การวิเคราะห์ระบบใดระบบหนึ่งภายในโดเมน ผลของการวิเคราะห์โดเมนจะถูกแสดงด้วยรูปแบบของแบบจำลองโดเมน (Domain Model) ที่แสดงถึงสถาปัตยกรรมมาตรฐานที่ใช้ในการพัฒนาส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ในโดเมน และแบบจำลองโดเมนสามารถระบุค่าพารามิเตอร์ (Parameterization) เพื่อที่จะแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละซอฟต์แวร์ในโดเมน ขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองโดเมนประกอบด้วย 3 กิจกรรมหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ฟีเจอร์ (Feature Analysis) การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์เอนทิตี (Entity-Relationship Modeling) และการวิเคราะห์เชิงฟังก์ชัน (Functional Analysis)

การวิเคราะห์ฟีเจอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจกับลูกค้าเกี่ยวกับความสามารถทั่วไปของแอปพลิเคชันในโดเมน วิธีการวิเคราะห์ฟีเจอร์ จะเน้นไปที่มุมมองของลูกค้าเกี่ยวกับฟังก์ชันของแอปพลิเคชัน ซึ่งได้แก่ การบริการ (Service) ที่แอปพลิเคชันมีให้และสิ่งแวดล้อมของการปฏิบัติการ (Operating Environment) ที่แอปพลิเคชันรันอยู่ เนื่องจากความสนใจในเบื้องต้นของลูกค้าคือ คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มแอปพลิเคชัน แบบจำลองฟีเจอร์ (Feature Model) จึงได้มีการแสดงถึงคุณลักษณะที่ใช้ร่วมกันและคุณลักษณะที่แตกต่างของแอปพลิเคชันในโดเมน

ฟีเจอร์คือ ลักษณะใดๆ ที่แสดงคุณลักษณะของระบบ วิธีการสร้างแบบจำลองฟีเจอร์สามารถถูกสร้างได้ในรูปแบบของต้นไม้ฟีเจอร์ (Feature Tree) ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของต้นไม้ฟีเจอร์สำหรับรถยนต์



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างของต้นไม้ฟีเจอร์สำหรับรถยนต์ [9]

ฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท เพื่อที่จะระบุความผันแปรของฟีเจอร์นั้น ว่าเป็นความผันแปรประเภทใด ประเภทของฟีเจอร์ทั้ง 3 ประเภทสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ฟีเจอร์จำเป็น (Mandatory Feature) คือ ฟีเจอร์ที่จำเป็นจะต้องถูกเลือกเสมอ
2. ฟีเจอร์ทางเลือก (Optional Feature) คือ ฟีเจอร์ที่สามารถถูกเลือกหรือไม่เลือกก็ได้
3. ฟีเจอร์เลือกอย่างใดอย่างหนึ่ง (Alternative Feature) คือ ฟีเจอร์ในกลุ่มของฟีเจอร์ซึ่งอนุญาตให้มีการเลือกฟีเจอร์ใดฟีเจอร์หนึ่งจากกลุ่มของฟีเจอร์ได้เพียงฟีเจอร์เดียวเท่านั้น

ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ในโดเมนจะทำการเลือกฟีเจอร์ที่มีอยู่ในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งผู้ใช้จะต้องเข้าใจความหมายของฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์เพื่อที่จะเลือกฟีเจอร์ได้อย่างถูกต้องตรงตามความต้องการของตน ยกตัวอย่างเช่น ฟีเจอร์ Automatic คือ ฟีเจอร์ที่แสดงถึงระบบเกียร์อัตโนมัติ และฟีเจอร์ Manual คือ ฟีเจอร์ที่แสดงถึงระบบเกียร์ใช้มือ ซึ่งทั้ง 2 ฟีเจอร์เป็นฟีเจอร์ประเภทฟีเจอร์

เลือกอย่างใดอย่างหนึ่งของฟีเจอร์ Transmission ซึ่งก็คือฟีเจอร์ที่แสดงถึงระบบส่งกำลังในรถยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 เมื่อมีผู้มาซื้อรถยนต์ ผู้ซื้อรถยนต์จะต้องทำการตัดสินใจว่าจะเลือกระบบส่งกำลังในรถยนต์เป็นระบบใด ระหว่างระบบเกียร์อัตโนมัติกับระบบเกียร์ใช้มือ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะเลือกระบบส่งกำลังในรถยนต์ทั้ง 2 ระบบพร้อมกัน โดยผู้ซื้อรถยนต์ก็จะทำการเลือกฟีเจอร์ Automatic หรือฟีเจอร์ Manual ฟีเจอร์ใดฟีเจอร์หนึ่งจากแบบจำลองฟีเจอร์ เป็นต้น แต่ละฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ต้องมีการตั้งชื่อที่แตกต่างกัน และนิยามของชื่อเหล่านั้นจะมีการระบุอยู่ในพจนานุกรมศัพท์บัญญัติโดเมน (Domain Terminology Dictionary)

นอกจากนี้ ภายในแบบจำลองฟีเจอร์ ยังสามารถที่จะทำการระบุกฎในการเลือกฟีเจอร์ (Composition Rule) ที่จะบ่งบอกถึงข้อจำกัดในการเลือกฟีเจอร์ได้อีกด้วย เช่น ฟีเจอร์ Air conditioning ซึ่งก็คือฟีเจอร์ที่แสดงถึงระบบปรับอากาศ จะถูกเลือกโดยผู้ใช้ได้ก็ต่อเมื่อฟีเจอร์ Horsepower ซึ่งก็คือฟีเจอร์ที่แสดงถึงกำลังม้า มีค่ามากกว่า 100 เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.10 เป็นต้น ในขณะเดียวกัน ในการตัดสินใจเลือกฟีเจอร์นั้น อาจมีข้อความที่แสดงถึงเหตุผลที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกฟีเจอร์ของผู้ใช้เพิ่มเติมเข้าไปด้วยในแบบจำลองฟีเจอร์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกฟีเจอร์ของผู้ใช้ เช่น ถ้าผู้ใช้ตระหนักถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง (Fuel Efficient) ผู้ใช้ก็จะเลือกฟีเจอร์ Manual ซึ่งก็คือฟีเจอร์ที่แสดงถึงระบบเกียร์ใช้มือ แทนที่จะเลือกฟีเจอร์ Automatic ซึ่งก็คือฟีเจอร์ที่แสดงถึงระบบเกียร์อัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 เป็นต้น

2.1.5 **การตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์** (Traceability in Software Product Line)

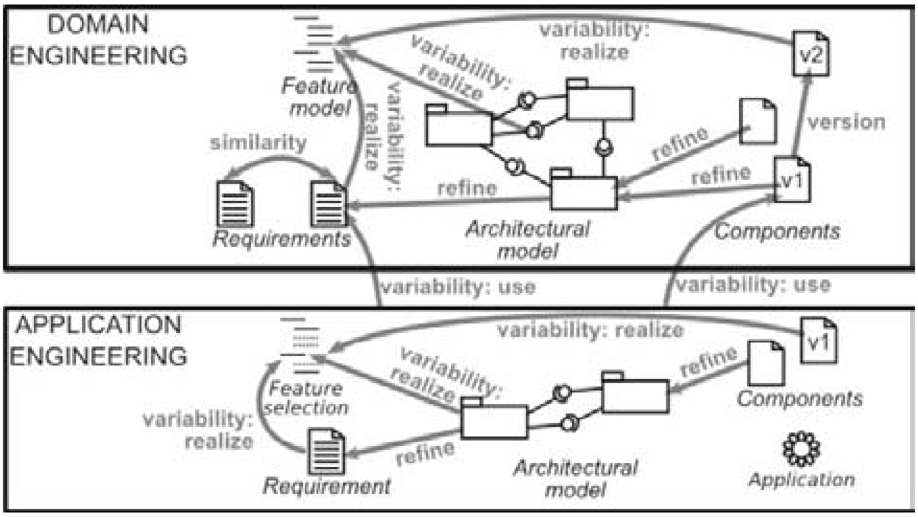
การตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จะมีความซับซ้อนมากกว่าการตามรอยในผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ทั่วไป เพราะการพัฒนาสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เป็นการพัฒนาใน 2 ระดับ คือ ระดับวิศวกรรมโดเมนและระดับวิศวกรรมแอปพลิเคชัน ประกอบกับความผันแปรในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์มีความซับซ้อนมากขึ้นด้วย

2.1.5.1 **มิติการตามรอยสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์** (Traceability Dimensions for Software Product Line) [10]

มิติการตามรอยสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 2.11 มิติการตามรอยสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ทั้ง 4 มิติ ประกอบด้วย

1. การตามรอยการแบ่งละเอียด (Refinement Traceability) เป็นการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ที่มีระดับของนามธรรม (Level of Abstaction) แตกต่างกัน โดยเป็นการตามรอยจากสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นนามธรรมไปยังสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การตามรอยจากเอกสารความต้องการของ

ซอฟต์แวร์ไปยังแบบจำลองของการออกแบบ (Design Model) การตามรอยสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 กระบวนการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์



ภาพที่ 2.11 มิติการตามรอยทั้ง 4 มิติ ใน 2 กระบวนการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [10]

2. การตามรอยความคล้ายคลึงกัน (Similarity Traceability) เป็นการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ที่มีระดับของนามธรรมเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น การตามรอยระหว่างแผนภาพส่วนประกอบ (Component Diagram) และแผนภาพการส่งมอบ (Deployment Diagram) ซึ่งอยู่ในระดับของนามธรรมเดียวกัน (ระดับของการออกแบบซอฟต์แวร์) การตามรอยสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 กระบวนการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
3. การตามรอยความผันแปร (Variability Traceability) มีอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่
   3.1 แบบทำให้เป็นจริง (Realization) เป็นการตามรอยระหว่างความผันแปรในแบบจำลองความผันแปรกับสิ่งประดิษฐ์ที่ทำการพัฒนาความผันแปรนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น การตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์กับแบบจำลองยูสเคส เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงความต้องการเชิงฟังก์ชัน (Functional Requirement) ที่มีการพัฒนาตามฟีเจอร์ต่างๆ ในแบบจำลองฟีเจอร์ การตามรอยรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในระดับวิศวกรรมโดเมนเท่านั้น
   3.2 แบบใช้ (Use) เป็นการตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ในระดับวิศวกรรมแอปพลิเคชันกับสิ่งประดิษฐ์ในระดับวิศวกรรมโดเมนที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยสิ่งประดิษฐ์ในระดับวิศวกรรมแอปพลิเคชันนั้น การตามรอยรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นระหว่างระดับวิศวกรรมโดเมนกับระดับวิศวกรรมแอปพลิเคชัน

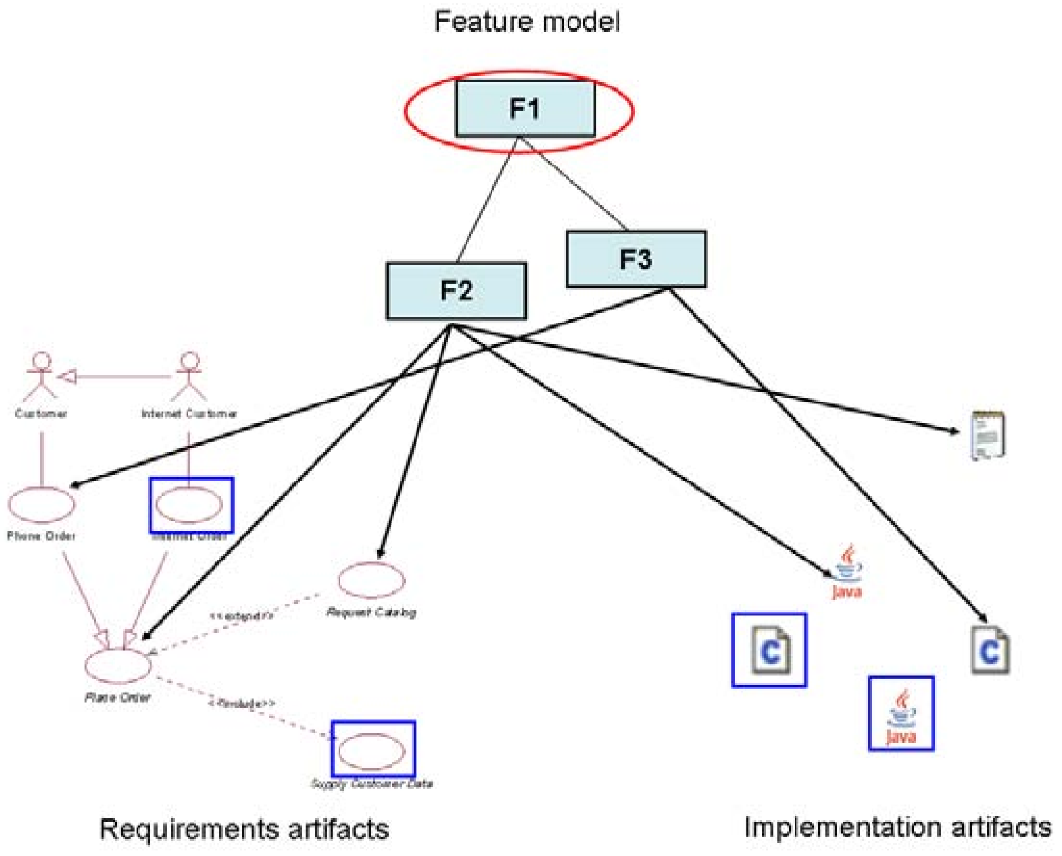
4. การตามรอยเวอร์ชัน (Versioning Traceability) เป็นการตามรอยระหว่าง 2 เวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์เดียวกัน การตามรอยสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 กระบวนการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

2.1.5.2 **เทคนิคที่สนับสนุนการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์** [11]

เทคนิคที่สนับสนุนการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์มีอยู่หลากหลายเทคนิค เทคนิคที่สำคัญที่ใช้ในการสนับสนุนการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์มีอยู่ 3 เทคนิค ประกอบด้วย

2.1.5.2.1 **การวิเคราะห์ความครอบคลุม** (Covering Analysis)

วิธีการวิเคราะห์ความครอบคลุมจะทำการตรวจสอบการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ และตรวจหาว่ามีฟีเจอร์ใดบ้างที่ยังไม่ถูกพัฒนา และมีส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ไหนที่พัฒนาเกินความต้องการ ภาพที่ 2.12 แสดงแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความครอบคลุม

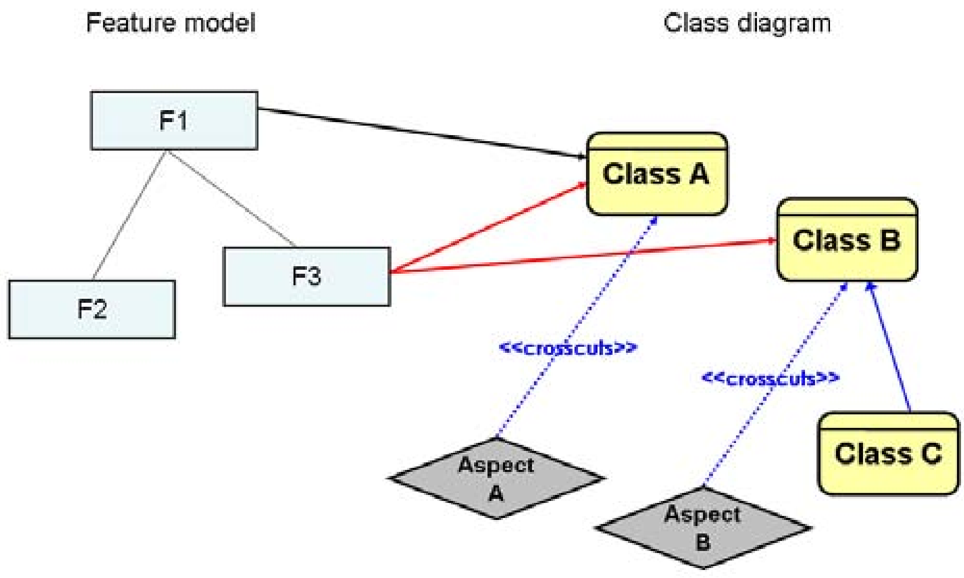


ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความครอบคลุมในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [11]

ในภาพที่ 2.12 ประกอบด้วย แบบจำลองฟีเจอร์ แผนภาพยูสเคส สิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนา (เช่น ไฟล์ คลาสจาวา เป็นต้น) และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ลิงค์การตามรอยจะเริ่มที่ฟีเจอร์และสิ้นสุดที่ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ด้วยการค้นหาที่แบบจำลองฟีเจอร์ก็จะพบฟีเจอร์ที่ไม่มีลิงค์การตามรอยเชื่อมต่อไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ ซึ่งก็คือฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกพัฒนา ดังแสดงด้วยเครื่องหมายวงรีในภาพที่ 2.12 ในทางกลับกัน เมื่อทำการค้นหาที่สิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังแบบจำลองฟีเจอร์ก็จะพบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่มีลิงค์การตามรอยเชื่อมต่อไปยังฟีเจอร์ใดๆ ซึ่งก็คือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่พัฒนาเกินความต้องการ ดังแสดงด้วยกรอบสี่เหลี่ยมในภาพที่ 2.12

2.1.5.2.2 **การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง** (Change Impact Analysis)

การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะทำการค้นหาที่ข้อมูลการตามรอยในที่เก็บข้อมูลการตามรอย โดยจะทำการค้นหาลิงค์การตามรอยที่เริ่มต้นจากฟีเจอร์เดียวกันและสิ้นสุดที่ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่แตกต่างกัน ภาพที่ 2.13 แสดงแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง จากภาพที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่ามีลิงค์การตามรอยที่เชื่อมโยงจากฟีเจอร์ F3 ไปยังคลาส A และคลาส B ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่คลาส A หรือคลาส B คลาสใดคลาสหนึ่ง อาจจะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอีกคลาสหนึ่งด้วย เนื่องจากคลาสทั้งสองมีการตามรอยไปยังฟีเจอร์เดียวกัน



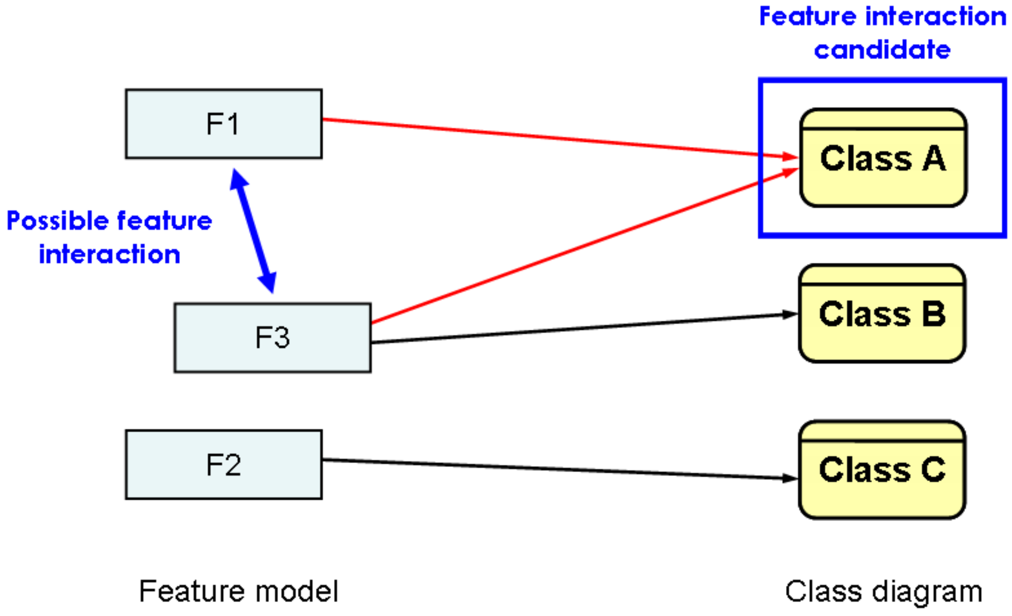
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [11]

ในขั้นตอนที่ 2 จะทำการค้นหาที่สิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ เพื่อหาผลกระทบอื่นๆ เพิ่มเติมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง สังเกตที่ภาพที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าคลาส B ถูกถ่ายทอดไปยังคลาส C เนื่องจากคลาส B เป็นคลาสแม่ (Superclass) ของคลาส C และถูกแบ่งโดยลักษณะ B (Aspect B) ในขณะที่คลาส A ถูกแบ่งโดยลักษณะ A ความสัมพันธ์เหล่านี้จะถูกใช้ในการค้นหาส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับผลกระทบเพิ่มเติมจากการเปลี่ยนแปลง ในภาพที่ 2.13 สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่คลาส A อาจจะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในคลาส C ด้วย เนื่องจากคลาส C เป็นคลาสลูก (Subclass) ของคลาส B (ลูกศรเชื่อมโยงจากคลาส C ไปยังคลาส B ในภาพที่ 2.13)

2.1.5.2.3 **การตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์** (Detection of Feature Interaction)

เทคนิคที่ใช้ในการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์โดยการตามรอย คือ การค้นหาที่ข้อมูลการตามรอยในที่เก็บข้อมูลการตามรอยเพื่อที่จะค้นหาตัวแทนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ (Feature Interaction Candidate) โดยจะทำการค้นหาลิงค์การตามรอยที่มีการเชื่อมโยงจากส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่งไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์ ภาพที่ 2.14 แสดงแนวคิดเกี่ยวกับการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ ภายในภาพประกอบด้วยแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพคลาสซึ่งถูกระบุขึ้นในระหว่างการพัฒนาสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์และลิงค์การตามรอยบางลิงค์ระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์และคลาสในแผนภาพคลาส การตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์จะมีการค้นหาลิงค์การตามรอยที่มีการเชื่อมโยงจากคลาสหนึ่งไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์และกำหนดให้คลาสนั้นเป็นตัวแทนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ ในภาพที่ 2.14 คลาส A เป็นตัวแทนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ เนื่องจากมีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์คือ ฟีเจอร์ F1 และฟีเจอร์ F3 และสามารถกำหนดได้ว่าฟีเจอร์ F1 และฟีเจอร์ F3 เป็นฟีเจอร์ที่เป็นไปได้ที่จะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน

ด้วยผลลัพธ์จากการวิเคราะห์นี้ ผู้พัฒนาสามารถที่จะสนใจการพัฒนาคลาส A เป็นพิเศษ นอกจากนี้ อาจจะต้องมีการระบุข้อจำกัดบางอย่างระหว่างฟีเจอร์ F1 และฟีเจอร์ F3 ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ฟีเจอร์นี้ อย่างไรก็ตาม การตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์นั้น จะทำได้เพียงการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ที่เป็นไปได้เท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว อาจจะไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์เหล่านั้นเลย ยกตัวอย่างเช่น ในภาพที่ 2.14 ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ F1 และฟีเจอร์ F3 จะมีการพัฒนาซ้ำกันในคลาส A แต่อาจมีการเชื่อมโยงไปยังส่วนประกอบภายในคลาสที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ F1 และฟีเจอร์ F3 เลย



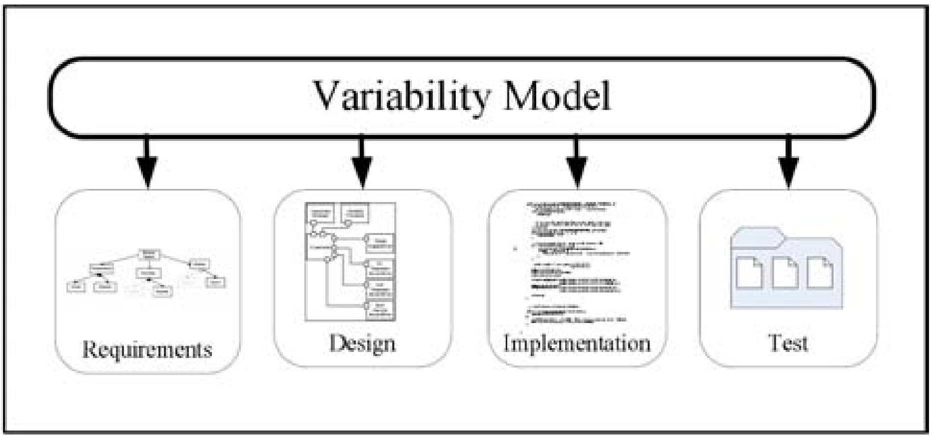
ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [11]

2.1.5.3 **วิธีการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์**

วิธีการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังต่อไปนี้ [12]

2.1.5.3.1 **วิธีการความผันแปรด้านบน** (Variability on Top Approach)

วิธีการความผันแปรด้านบน เป็นวิธีการที่ใช้แบบจำลองความผันแปรเป็นตัวอ้างอิงหลักสำหรับการตามรอยทั้งหมด แบบจำลองความผันแปรจะถูกตั้งอยู่บนสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์อื่นๆ ที่มีอยู่ในทุกๆ ขั้นตอนของการพัฒนา และทุกๆ สิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ก็จะถูกเชื่อมต่อเข้าไปยังแบบจำลองความผันแปร วิธีการความผันแปรด้านบนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.15

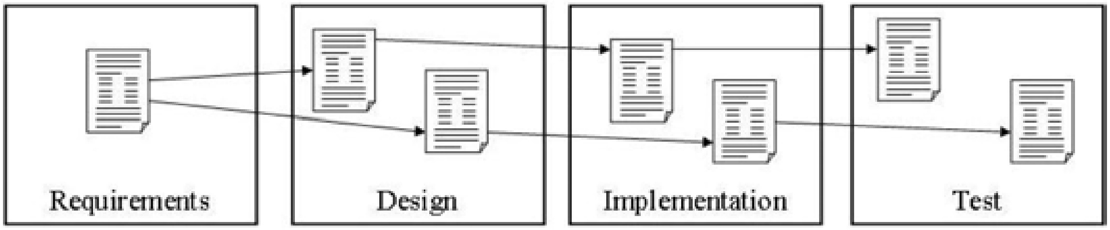


ภาพที่ 2.15 วิธีการความผันแปรด้านบน [8]

ลิงค์การตามรอยจะทำการเชื่อมโยงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ไปยังความผันแปรในแบบจำลองความผันแปร ซึ่งทำให้เกิดการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระหว่างความผันแปรกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่พัฒนาความผันแปรนั้น ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองความผันแปร

2.1.5.3.2 **วิธีการตามรอยระดับสิ่งประดิษฐ์** (Artifact Level Traceability Approach)

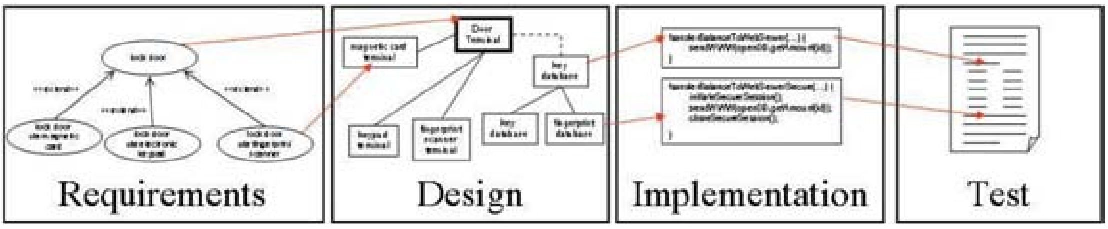
วิธีการตามรอยระดับสิ่งประดิษฐ์ เป็นวิธีการที่มีการระบุลิงค์การตามรอยระหว่างสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ที่ระดับของสิ่งประดิษฐ์ วิธีการนี้แสดงได้ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 วิธีการตามรอยระดับสิ่งประดิษฐ์ [8]

2.1.5.3.3 **วิธีการตามรอยระดับละเอียด** (Fine-Grained Traceability Approach)

วิธีการตามรอยระดับละเอียด เป็นวิธีการที่มีการระบุลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ อย่างละเอียด วิธีการนี้แสดงได้ดังภาพที่ 2.17



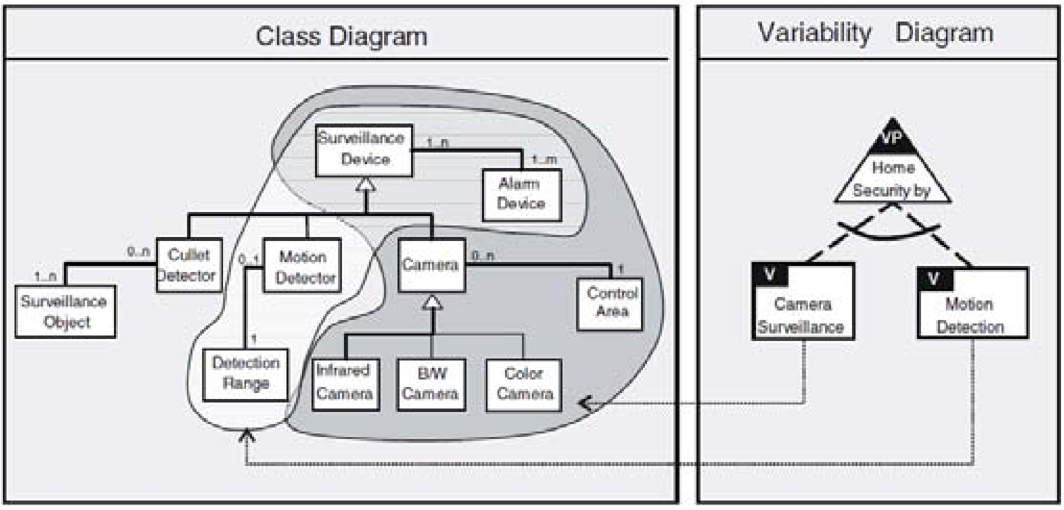
ภาพที่ 2.17 วิธีการตามรอยระดับละเอียด [8]

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ เป็นเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการตามรอยในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วยวิธีการความผันแปรด้านบน รวมถึงเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองฟีเจอร์และวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

2.2.1 Orthogonal Variability Model (OVM) โดย Klaus Pohl, Günter Böckle และ Frank van der Linden [8]

แบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก (Orthogonal Variability Model) ถูกนำเสนอขึ้นในหนังสือ Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques ผู้เขียนได้มีการระบุความผันแปรของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งก็คือแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก ลิงค์การตามรอยจะถูกสร้างขึ้นระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์หรือสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ เช่น คลาสในแผนภาพคลาส แผนภาพยูสเคส เป็นต้น เข้ากับตัวแปร (Variant) หรือจุดที่เกิดความแปรปรวน (Variation Point) ที่อยู่ภายในแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่พัฒนาตามความผันแปร ความสัมพันธ์เหล่านี้มีระดับความละเอียด (Granularity) ได้มากน้อยตามแต่ที่จะระบุ ยกตัวอย่างเช่น จุดที่เกิดความแปรปรวนสามารถที่จะเชื่อมโยงกับแผนภาพคลาสทั้งหมด หรือเชื่อมโยงกับคลาสในแผนภาพคลาสเพียงคลาสเดียวก็ได้ ตัวอย่างของการตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากและสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ แสดงได้ดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างของการตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากกับสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ [8]

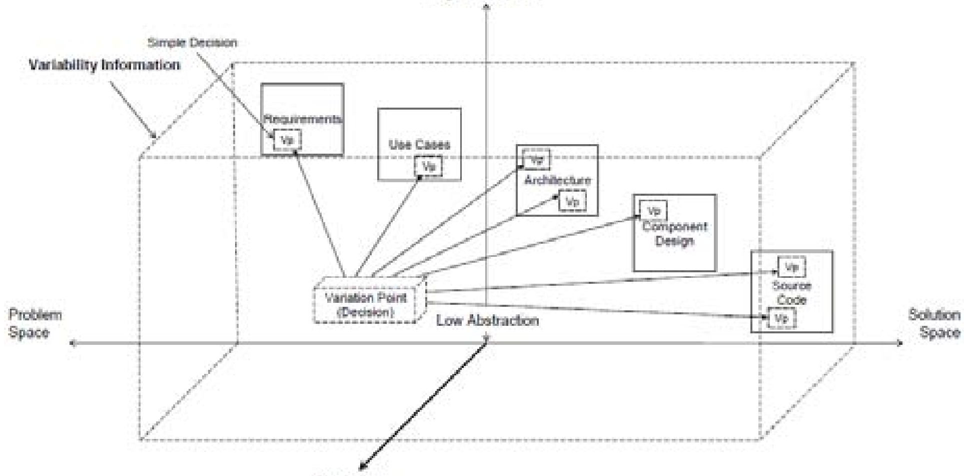
ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉาก กับสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ที่ผู้เขียนได้ทำการระบุไว้ มีดังต่อไปนี้

- สิ่งประดิษฐ์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถที่จะเชื่อมโยงไปยังตัวแปร 1 ตัว หรือตัวแปรหลายตัว หรือไม่มีการเชื่อมโยงเลยก็ได้ (0..n)
- ตัวแปรต้องมีการเชื่อมโยงไปยังสิ่งประดิษฐ์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อย่างน้อย 1 สิ่งประดิษฐ์หรือ 1 ส่วนประกอบ (1..n)

- สิ่งประดิษฐ์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถที่จะเชื่อมโยงไปยังจุดที่เกิดความแปรปรวน 1 จุด หรือหลายจุด หรือไม่มีการเชื่อมโยงเลยก็ได้ (0..n)
- จุดที่เกิดความแปรปรวนสามารถที่จะเชื่อมโยงไปยังสิ่งประดิษฐ์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 1 สิ่งประดิษฐ์หรือ 1 ส่วนประกอบ หรือหลายสิ่งประดิษฐ์หรือหลายส่วนประกอบ หรือไม่มีการเชื่อมโยงเลยก็ได้ (0..n)

2.2.2 Tracing Software Product Line Variability – From Problem to Solution Space โดย Kathrin Berg และ Judith Bishop [13]

ผู้วิจัยมีการนำเสนอวิธีการจัดการความผันแปรในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยมีการแบ่งวิศวกรรมระบบเดี่ยว (Single-System Engineering) ออกเป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติกระบวนการพัฒนา (Development Process Dimension) ซึ่งแสดงถึงขั้นตอนของการพัฒนาซอฟต์แวร์ และมิติระดับของนามธรรม (Level of Abstraction Dimension) ซึ่งแสดงถึงระดับของนามธรรมของการพัฒนาซอฟต์แวร์ สิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์ทั้งหมดสามารถถูกแสดงให้อยู่ใน 2 มิตินี้ได้ ในขณะที่ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ความผันแปรจะถูกเพิ่มเข้าไปเป็นมิติที่ 3 เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลความผันแปรของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ผู้วิจัยได้มีการนำเสนอความผันแปรของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในรูปแบบของแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิด (Conceptual Variability Model) ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองขึ้นในมิติที่ 3 และมีการระบุข้อมูลความผันแปรในลักษณะของจุดที่เกิดความแปรปรวนในแบบจำลอง รวมถึงมีการตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิดกับสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์ การตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิดกับสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 การตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิดกับสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์ [13]

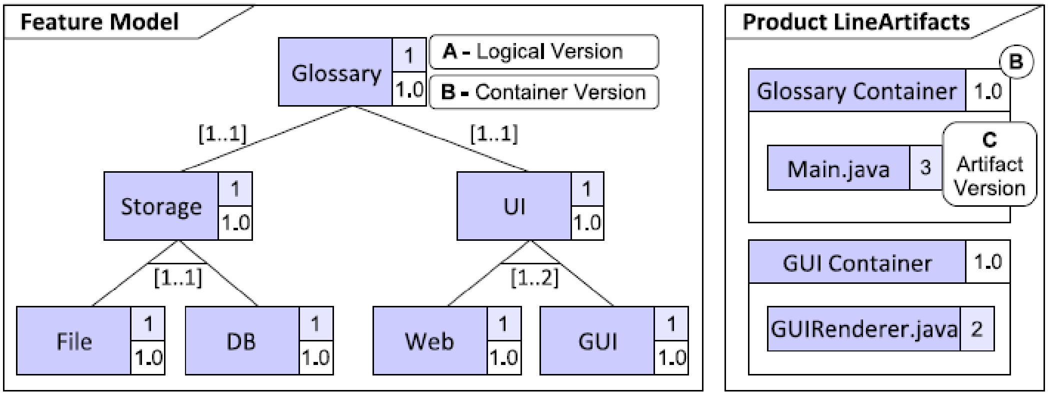
การตามรอยระหว่างแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิดกับสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์สามารถทำได้โดยการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างจุดที่เกิดความแปรปรวนในแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิดกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่อยู่ใน 2 มิติก่อนหน้านี้ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและมีความสัมพันธ์กับจุดที่เกิดความแปรปรวนในแบบจำลองความผันแปรเชิงแนวคิด

2.2.3 Supporting the Evolution of Software Product Lines **โดย** Ralf Mitschke **และ** Michael Eichberg [14]

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอแนวคิดในการใช้แบบจำลองฟีเจอร์เป็นศูนย์กลางในการจัดการกับสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ต่างๆ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และกำหนดให้มีการตามรอยจากแบบจำลองฟีเจอร์ไปยังสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ โดยที่มีการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์แต่ละเวอร์ชัน เข้ากับฟีเจอร์เวอร์ชันใดเวอร์ชันหนึ่ง เพื่อที่จะแสดงความสัมพันธ์ว่าส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เวอร์ชันใดที่มีความสัมพันธ์กับฟีเจอร์ในเวอร์ชันที่สนใจอยู่ ผู้วิจัยได้มีการแบ่งเวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ออกเป็น 2 เวอร์ชัน เพื่อที่จะแสดงถึงผลของวิวัฒนาการในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่มีต่อฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ทั้ง 2 เวอร์ชันประกอบด้วย

1. เวอร์ชันเชิงตรรกะ (Logical Version) เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้น เช่น ฟีเจอร์ลูก (Child Feature) ของฟีเจอร์นั้นถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น
2. เวอร์ชันเชิงบรรจุ (Container Version) เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้นเพียงฟีเจอร์เดียว

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้มีการระบุเวอร์ชันของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Version) ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ด้วย ตัวอย่างของการระบุเวอร์ชันทั้ง 2 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์และการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์แสดงได้ดังภาพที่ 2.20 จากภาพจะเห็นได้ว่า มีการระบุเวอร์ชันทั้ง 2 เวอร์ชันให้กับฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ โดยเป็นการระบุเวอร์ชันเริ่มต้นของทั้ง 2 เวอร์ชัน และมีการตามรอยจากฟีเจอร์ Glossary เวอร์ชันเชิงบรรจุ 1.0 ไปยังไฟล์ Main.java เวอร์ชัน 3 รวมถึงมีการตามรอยจากฟีเจอร์ GUI เวอร์ชันเชิงบรรจุ 1.0 ไปยังไฟล์ GUIRenderer.java เวอร์ชัน 2 ด้วย



ภาพที่ 2.20 เวอร์ชันเริ่มต้นของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์และการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ [14]

บทที่ 3
การออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

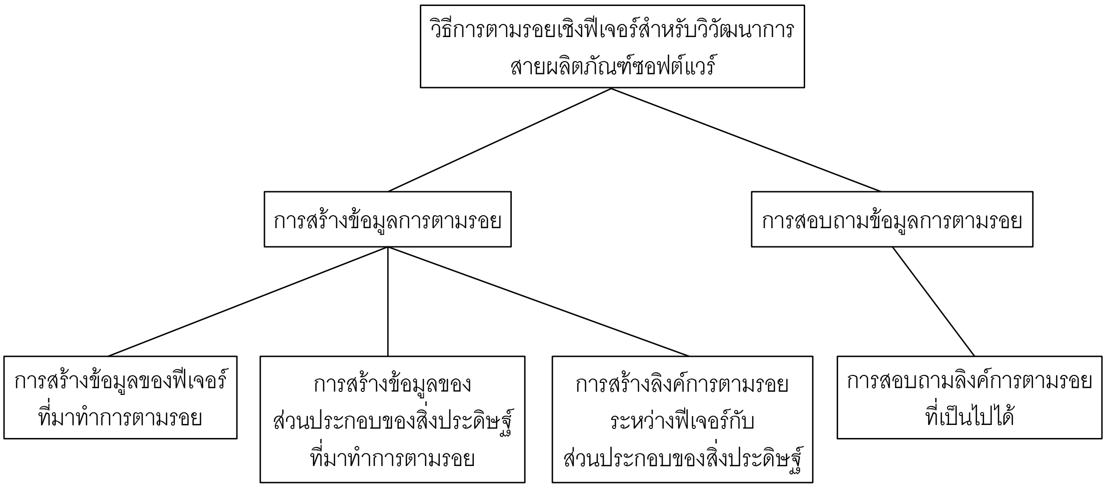
งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ซึ่งมีลักษณะเป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ เพราะวิธีการแก้ปัญหานี้จะส่งผลให้การตามรอยเชิงฟีเจอร์มีลักษณะเป็นการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

เนื่องจากการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน เป็นเพียงการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ปัจจุบันเท่านั้น ยังคงขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ อันเนื่องมาจากวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ การขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยถือเป็นปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหานี้ด้วยการนำเสนอฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และฟังก์ชันนี้จะส่งผลให้การตามรอยเชิงฟีเจอร์มีลักษณะเป็นการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

3.1 ภาพรวมของวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ภาพรวมของวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.1 วิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ประกอบด้วย การสร้างข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์และการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ สำหรับการสร้างข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ได้แก่ การสร้างข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย การสร้างข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย และการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ สำหรับการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ได้แก่ การสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นการสอบถามว่ามีลิงค์การตามรอยใหม่ ลิงค์ใดบ้าง ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ เมื่อมีการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ จะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

3.2 ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือ ปัญหาการขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอย ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ต้องใช้ความรู้พื้นฐานของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ แต่พบว่าการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ยังคงมีปัญหาอยู่ 2 ปัญหา งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาเหล่านี้ ปัญหาแรกคือ เวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้ ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ และปัญหาที่สองคือ การที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาได้โดยการประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์ วิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เหล่านี้จะเป็นพื้นฐานของการออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

ภาพที่ 3.2 ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

3.3 ปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์มีอยู่ 2 ปัญหา ประกอบด้วย

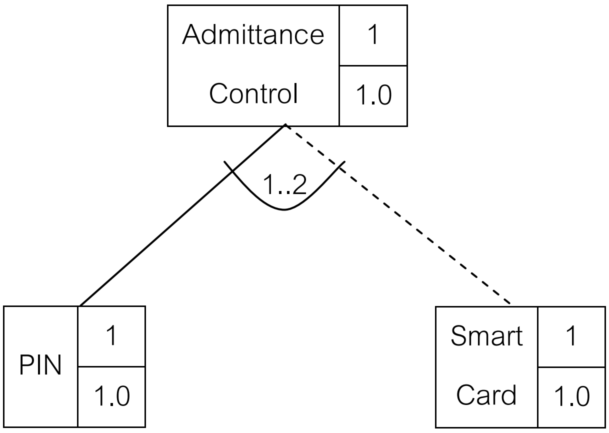
3.3.1 เวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้

การเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์มีอยู่หลากหลายประเภทประกอบด้วย การเพิ่มฟีเจอร์เข้าไปใหม่ การลดฟีเจอร์เดิมที่มีอยู่ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ การเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์สามารถถูกแสดงได้ด้วยเวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ Ralf Mitschke และ Michael Eichberg ได้นำเสนอเวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งประกอบด้วยเวอร์ชันเชิงตรรกะ (Logical Version) ที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้น และเวอร์ชันเชิงบรรจุ (Container Version) ที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้นเพียงฟีเจอร์เดียว อย่างไรก็ตาม เวอร์ชันทั้ง 2 เวอร์ชันไม่สามารถที่จะบ่งบอกถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นได้

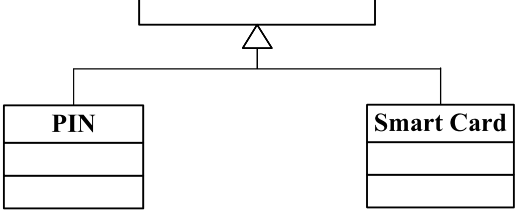
การที่เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ไม่สามารถบ่งบอกถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นได้ จะส่งผลต่อการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของฟีเจอร์นั้นที่มีต่อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์นั้น เพราะจะไม่สามารถทราบได้ว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นใน

สิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์นั้นหรือไม่ เช่น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของฟีเจอร์ 2 ฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นแล้วมีการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 2 ส่วนประกอบที่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์นั้นตามไปด้วยหรือไม่ เป็นต้น

เพื่อความเข้าใจ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอตัวอย่างของการที่เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ไม่สามารถบ่งบอกถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์นั้น ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างของการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ (Admittance Control) โดยแบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.3 และแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น เวอร์ชันด้านบนคือ เวอร์ชันเชิงตรรกะ เวอร์ชันด้านล่างคือ เวอร์ชันเชิงบรรจุ)



ภาพที่ 3.4 แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้

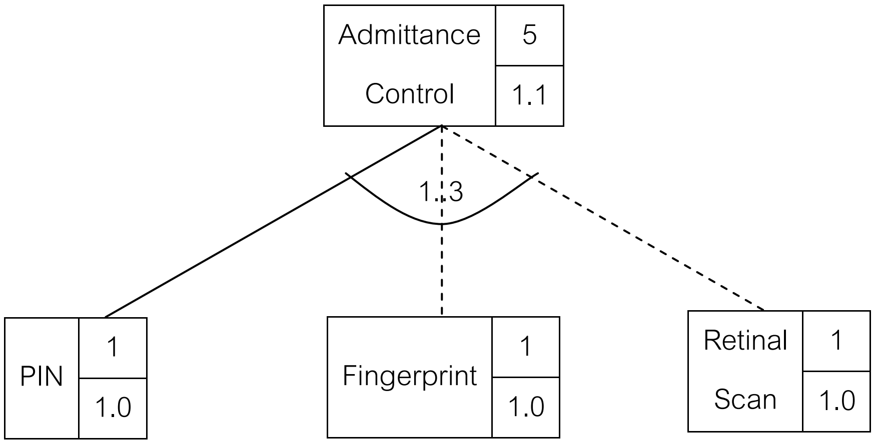
ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้สามารถที่จะแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของคลาส
Admittance Control	Admittance Control
PIN	PIN
Smart Card	Smart Card

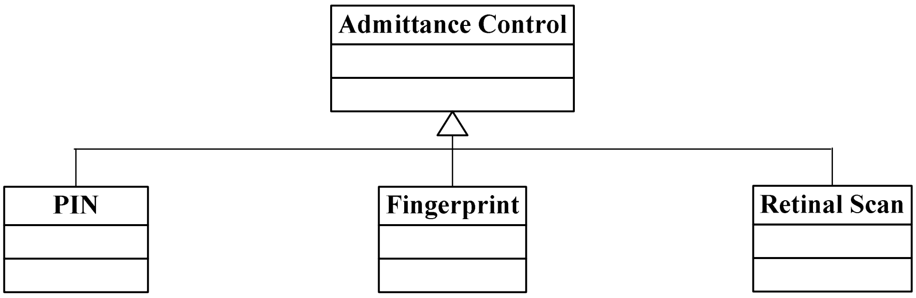
จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่ามีการตามรอยกันระหว่างฟีเจอร์ Admittance Control กับคลาส Admittance Control และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพคลาส อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ส่งผลให้ฟีเจอร์ลูก (Child Feature) ของฟีเจอร์ Admittance Control ถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ 2 ฟีเจอร์ ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ Admittance Control ถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ 1 ฟีเจอร์ รวมถึงฟีเจอร์ Admittance Control มีการเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง จะเห็นได้ว่ามีจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control จำนวน 4 ครั้งด้วยกัน ซึ่งสามารถถูกแสดงได้ด้วยเวอร์ชันเชิงตรรกะของฟีเจอร์ Admittance Control ในขณะที่ มีจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์ Admittance Control จำนวน 1 ครั้ง ซึ่งสามารถถูกแสดงได้ด้วยเวอร์ชันเชิงบรรจุของฟีเจอร์ Admittance Control แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.5

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าเวอร์ชันทั้ง 2 เวอร์ชันของฟีเจอร์ Admittance Control ไม่สามารถที่จะแสดงถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับคลาส Admittance Control ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์ Admittance Control โดยไม่สามารถทราบได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในแผนภาพคลาสที่ส่งผลกระทบต่อคลาส Admittance Control เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control หรือไม่ เช่น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ Admittance Control 2 ฟีเจอร์ คลาสลูก (Subclass) ของคลาส Admittance Control มีการเพิ่มขึ้น 2 คลาสตามไปด้วยหรือไม่ เป็นต้น



ภาพที่ 3.5 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น เวอร์ชันด้านบนคือ เวอร์ชันเชิงตรรกะ เวอร์ชันด้านล่างคือ เวอร์ชันเชิงบรรจุ)

แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

จากภาพที่ 3.6 เห็นได้อย่างชัดเจนว่า มีการเพิ่มคลาสลูกของคลาส Admittance Control เข้ามาในแผนภาพคลาส 2 คลาส และมีการลบคลาสลูกของคลาส Admittance Control ออกไปจากแผนภาพคลาส 1 คลาส ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภาพคลาสที่ส่งผลกระทบต่อคลาส Admittance Control ในแนวทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control แต่เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ทั้งเวอร์ชันเชิงตรรกะและเวอร์ชันเชิงบรรจุไม่สามารถที่จะบ่งบอกถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control ได้เลย เพราะไม่สามารถบ่งบอก

ถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับคลาส Admittance Control ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในแนวทางเดียวกันกับฟีเจอร์ Admittance Control

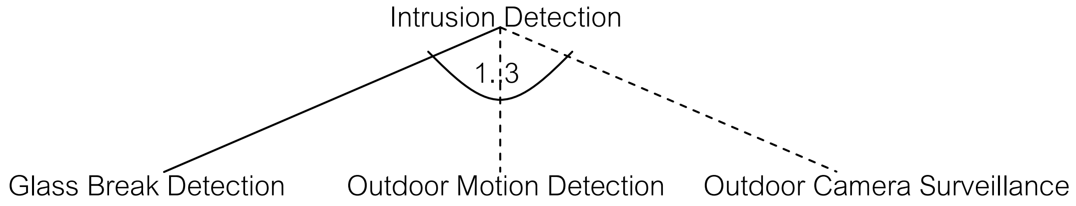
เนื่องจากเวอร์ชันเชิงตรรกะและเวอร์ชันเชิงบรรจุของฟีเจอร์ Admittance Control ไม่สามารถบ่งบอกถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ Admittance Control ได้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในแนวทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงในแผนภาพคลาสที่ส่งผลกระทบต่อคลาส Admittance Control ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์ Admittance Control จึงควรมีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์เพื่อที่จะให้เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์สามารถที่จะระบุถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันหรือไม่

3.3.2 การที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร

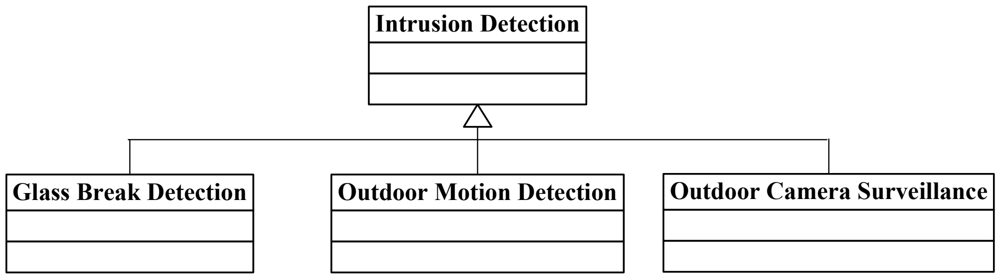
แบบจำลองฟีเจอร์สามารถแสดงได้ถึงภาพรวมของความผันแปรของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ถ้ามีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ จะต้องมีการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวน และฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรเพื่อที่จะตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรตามลำดับ โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ว่าส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ได้มีการพัฒนาตามฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์จึงควรมีคุณลักษณะของความแปรปรวนเหมือนกับคุณลักษณะของความแปรปรวนของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ อย่างไรก็ตาม แบบจำลองฟีเจอร์ในปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร

เพื่อความเข้าใจของการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรในแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอตัวอย่างของการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรในแบบจำลอง

ฟีเจอร์ เมื่อมีการตามรอยไปยังคลาสในแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุก (Intrusion Detection) แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุกสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.7 และแผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุกสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุก (เส้นประคือฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น)



ภาพที่ 3.8 แผนภาพคลาสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การตรวจพบการบุกรุก

เมื่อมีการตามรอยกันระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพคลาส จะต้องมีการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเพื่อที่จะทำการตามรอยไปยังคลาสที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวน และค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรเพื่อที่จะทำการตามรอยไปยังคลาสที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนภาพคลาสพบว่า คลาส Intrusion Detection มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวน คลาส Glass Break Detection คลาส Outdoor Motion Detection และคลาส Outdoor Camera Surveillance มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร เมื่อทำการตามรอยจากคลาส Intrusion Detection ไปยังฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ จะต้องทำการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งจะต้องทำการค้นหาจากฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ทั้ง 4 ฟีเจอร์ เพราะไม่ได้มีการกำหนดฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนไว้ในแบบจำลองฟีเจอร์ และทำการวิเคราะห์ฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเหล่านั้นว่าฟีเจอร์ใดควรที่จะมีการตามรอยมายังคลาส Intrusion Detection ซึ่งในตัวอย่างนี้คือฟีเจอร์ Intrusion Detection

เช่นเดียวกัน เมื่อทำการตามรอยจากคลาส Glass Break Detection คลาส Outdoor Motion Detection และคลาส Outdoor Camera Surveillance ไปยังฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ จะต้องทำการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งจะต้องทำการค้นหาจากฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ทั้ง 4 ฟีเจอร์ เพราะไม่ได้มีการกำหนดฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรไว้ในแบบจำลองฟีเจอร์ และทำการวิเคราะห์ฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรเหล่านั้นว่าฟีเจอร์ใดควรที่จะมีการตามรอยมายังคลาส Glass Break Detection คลาส Outdoor Motion Detection และคลาส Outdoor Camera Surveillance ซึ่งในตัวอย่างนี้คือฟีเจอร์ Glass Break Detection ฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection และฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance ตามลำดับ

การที่แบบจำลองฟีเจอร์ในปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร จะส่งผลให้ในการตามรอยจากส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวน และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรไปยังฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ จะต้องมีการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวน และฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร จากฟีเจอร์ทุกฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ ในทุกๆ ครั้งของการตามรอย จึงควรมีหลักการในการกำหนดฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรในแบบจำลองฟีเจอร์ เพื่อที่จะประหยัดเวลาในการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร เมื่อมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์

3.4 วิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

วิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์มี 2 วิธี ประกอบด้วย

3.4.1 วิธีการแก้ปัญหาเวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้โดยใช้เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ เพื่อที่จะแก้ปัญหาเวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้ โดยได้มีการแบ่งเวอร์ชันเชิงตรรกะ (Logical Version) ออกเป็น 3 เวอร์ชัน เพื่อใช้ในการแสดงถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผล

กระทบต่อฟีเจอร์นั้น ซึ่งจะมีประโยชน์ในการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์นั้น ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นหรือไม่ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้มีการปรับเปลี่ยนเวอร์ชันเชิงบรรจุ (Container Version) เพื่อให้สามารถแสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้นได้อย่างชัดเจนอีกด้วย

3.4.1.1 **ความหมายของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์**

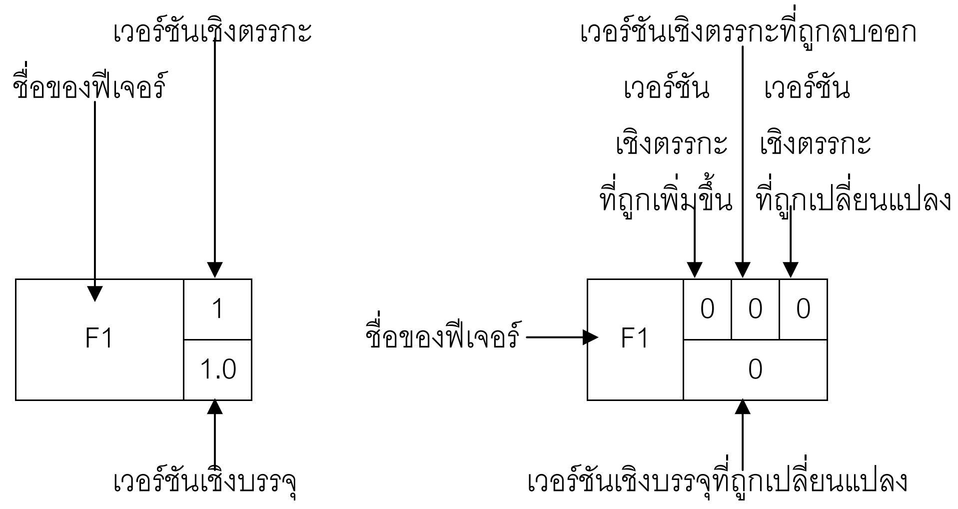
เวอร์ชันทั้ง 4 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ได้มีการนำเสนอขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. เวอร์ชันเชิงตรรกะที่ถูกเพิ่มขึ้น (Added Logical Version) เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของฟีเจอร์ลูก (Child Feature) ของฟีเจอร์นั้นที่ถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง
2. เวอร์ชันเชิงตรรกะที่ถูกลบออก (Removed Logical Version) เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นที่ถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง
3. เวอร์ชันเชิงตรระกะที่ถูกเปลี่ยนแปลง (Changed Logical Version) เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้น หรือฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้น เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง
4. เวอร์ชันเชิงบรรจุที่ถูกเปลี่ยนแปลง (Changed Container Version) เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้น เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง

ประโยชน์ของการสร้างเวอร์ชันรูปแบบใหม่ทั้ง 4 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์คือ การที่สามารถระบุถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ได้ ซึ่งฟีเจอร์เหล่านั้นมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ด้วย เพราะจะสามารถทราบได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์แล้ว ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์กี่ฟีเจอร์ ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์กี่ฟีเจอร์ ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงรวมกันกี่ครั้ง และฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงกี่ครั้ง ซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์

3.4.1.2 ค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์

งานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ทั้ง 4 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ โดยค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันทั้ง 4 เวอร์ชันคือ 0 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่ายังไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์นั้นเลย ค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ทั้ง 4 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ เปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบเก่า 2 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ที่มีผู้วิจัยท่านอื่นนำเสนอมาในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [14] สามารถแสดงได้จากฟีเจอร์ F1 ในภาพที่ 3.9

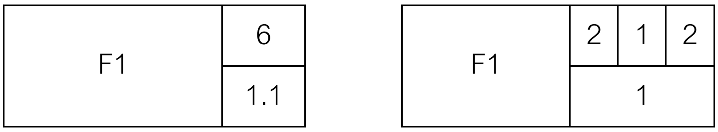


ภาพที่ 3.9 ค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบเก่า (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของเวอร์ชันรูปแบบใหม่ (ภาพขวา) ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์

3.4.1.3 ตัวอย่างของวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์

เพื่อความเข้าใจในการระบุเวอร์ชันรูปแบบใหม่ทั้ง 4 เวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอตัวอย่างของวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเวอร์ชันของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ขึ้น ตัวอย่างของวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ก็คือจากภาพที่ 3.9 หลังจากเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่มีฟีเจอร์ F1 อยู่ การเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ F1 ประกอบด้วย มีฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ F1 2 ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ มีฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ F1 1 ฟีเจอร์ที่ถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ F1 ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงรวมกัน 1 ครั้ง และฟีเจอร์ F1 มีการเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ F1 เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงที่

เกิดขึ้นที่เวอร์ชันรูปแบบเก่าของฟีเจอร์ F1 ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เวอร์ชันรูปแบบเก่า (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เวอร์ชันรูปแบบใหม่ (ภาพขวา) ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

จากภาพที่ 3.10 สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เวอร์ชันรูปแบบเก่าไม่สามารถที่จะแสดงถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ F1 ได้ แต่เวอร์ชันรูปแบบใหม่สามารถทำได้ โดยสามารถแสดงได้ถึงจำนวนของฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ F1 ที่ถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ และจำนวนของฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ F1 ที่ถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ รวมถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์ F1 และฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์ F1 ด้วย

3.4.1.4 **เวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์** (Artifact Component Version)

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอแนวคิดในการสร้างเวอร์ชันของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแต่ละสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ เวอร์ชันของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถที่จะถูกแสดงได้ด้วยเวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เป็นเวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น เมื่อสิ่งประดิษฐ์มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการติดตามสถานะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังแบบจำลองฟีเจอร์ เพราะสามารถบ่งบอกได้ว่าส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ส่วนประกอบใดที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในสิ่งประดิษฐ์ อันเนื่องมาจากวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

3.4.1.5 **การควบคุมเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์**

ในทางปฏิบัติ มีเวอร์ชันจำนวนมากมายของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิง

ซอฟต์แวร์ และเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์สามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่แบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ได้

งานวิจัยนี้กำหนดให้มีการควบคุมเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ โดยกำหนดให้มีเวอร์ชันเดียวกันกับเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาเป็นสินทรัพย์โดเมนในช่วงเวลาเดียวกัน (Release Version) และการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ สามารถที่จะเกิดขึ้นได้ระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์เวอร์ชันเดียวกัน ซึ่งก็คือเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาเป็นสินทรัพย์โดเมนในช่วงเวลาเดียวกันนั่นเอง นอกจากนี้ ยังสามารถเปรียบเทียบเวอร์ชันปัจจุบันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์กับเวอร์ชันก่อนหน้านั้นได้ เพื่อติดตามสถานะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ โดยใช้เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์และเวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เข้าช่วยในการติดตามสถานะของการเปลี่ยนแปลง

3.4.2 วิธีการแก้ปัญหาการที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรโดยใช้การประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอการประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์ เพื่อที่จะแก้ปัญหาการที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร โดยเป็นการประยุกต์หลักการของการกำหนดจุดที่เกิดความแปรปรวนและตัวแปรของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์ ประโยชน์ของการประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์คือ การที่สามารถประหยัดเวลาในการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรในแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ และยังสามารถแสดงได้ถึงภาพรวมของความแปรปรวนในแบบจำลองฟีเจอร์ได้อีกด้วย

3.4.2.1 หลักการของการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์

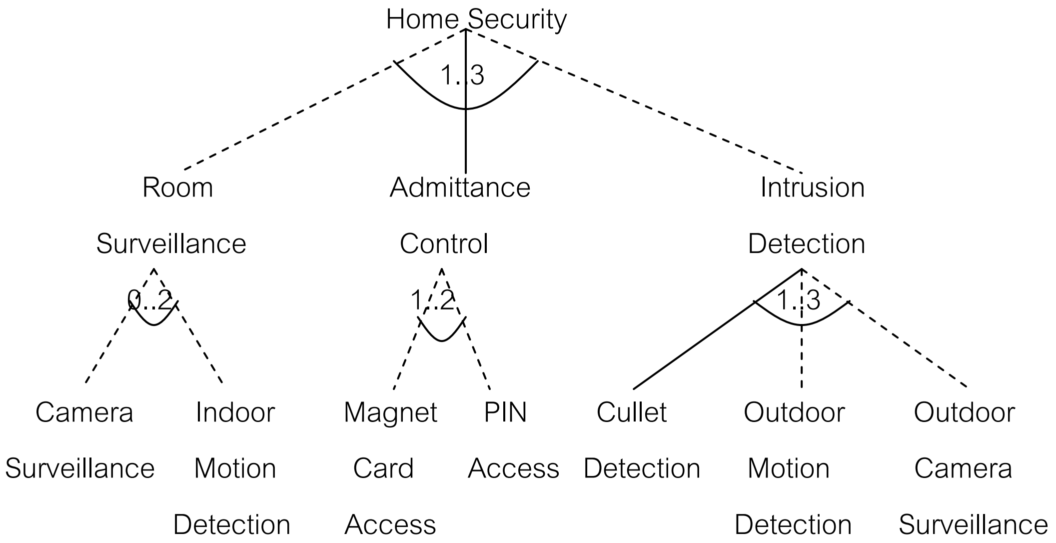
การประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์คือ การแบ่งฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวน (variation point) ซึ่งแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ประเภทตัวแปร (variant) ซึ่งแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร ฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนคือ ฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นพ่อแม่ (Parent) ในต้นไม้ฟีเจอร์ กล่าวคือ

เป็นฟีเจอร์ที่มีฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นด้วย ในขณะที่ฟีเจอร์ประเภทตัวแปรคือ ฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นใบไม้ (Leaf) ในต้นไม้ฟีเจอร์ ฟีเจอร์ทุกฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์จะต้องเป็นฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนหรือฟีเจอร์ประเภทตัวแปรประเภทใดประเภทหนึ่ง

ฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์สามารถที่จะเปลี่ยนประเภทของฟีเจอร์เป็นอีกประเภทหนึ่งได้ในอนาคต ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ อันเนื่องมาจากวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และด้วยการแบ่งฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ออกเป็น 2 ประเภท จะส่งผลให้สามารถตามรอยจากส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนไปยังฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนได้ และยังสามารถตามรอยจากส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรไปยังฟีเจอร์ประเภทตัวแปรได้ด้วยเช่นกัน

3.4.2.2 ตัวอย่างของการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์

เพื่อความเข้าใจในการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอตัวอย่างของการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ของแบบจำลองฟีเจอร์ระบบความปลอดภัยของบ้าน แบบจำลองฟีเจอร์ระบบความปลอดภัยของบ้านแสดงได้ดังภาพที่ 3.11



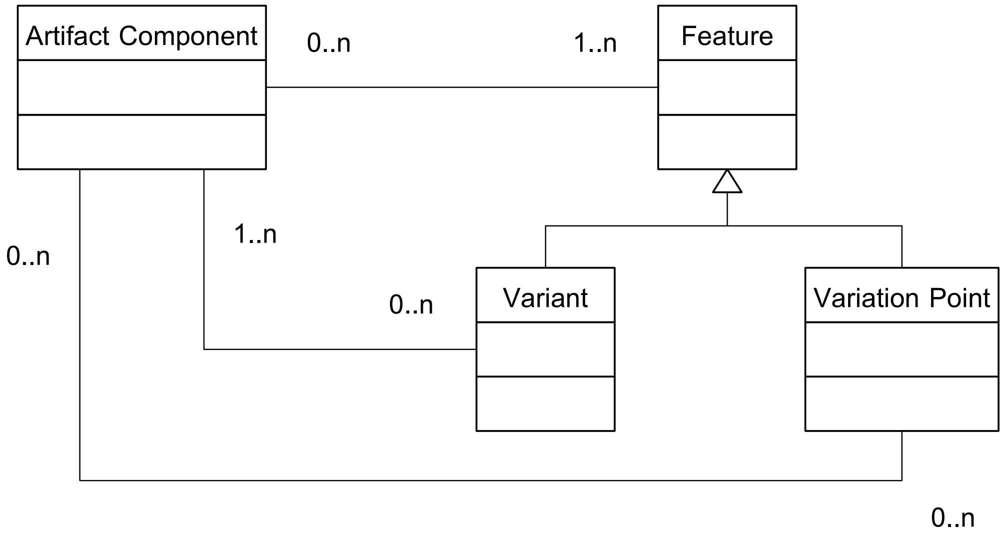
ภาพที่ 3.11 แบบจำลองฟีเจอร์ระบบความปลอดภัยของบ้าน (เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น) [8]

จากแบบจำลองฟีเจอร์ระบบความปลอดภัยของบ้านจะสามารถแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ออกเป็น 2 ประเภท ได้ดังต่อไปนี้

- ฟีเจอร์ Home Security, ฟีเจอร์ Room Surveillance, ฟีเจอร์ Admittance Control และฟีเจอร์ Intrusion Detection เป็นฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวน
- ฟีเจอร์ Camera Surveillance, ฟีเจอร์ Indoor Motion Detection, ฟีเจอร์ Magnet Card Access, ฟีเจอร์ PIN Access, ฟีเจอร์ Cullet Detection, ฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection และฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance เป็นฟีเจอร์ประเภทตัวแปร

3.4.2.3 **ความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์แต่ละประเภทในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย**

เมื่อมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์แต่ละประเภทในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยแล้ว จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์แต่ละประเภทในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย

จากภาพที่ 3.12 จะสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยได้ดังต่อไปนี้

- ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบจะต้องมีการตามรอยไปยังฟีเจอร์อย่างน้อย 1 ฟีเจอร์ (1..n)
- ฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์สามารถที่จะมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 1 ส่วนประกอบ หรือหลายส่วนประกอบ หรือไม่มีการตามรอยเลยก็ได้ (0..n)

- ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบสามารถที่จะมีการตามรอยไปยังฟีเจอร์ประเภทตัวแปร 1 ฟีเจอร์ หรือหลายฟีเจอร์ หรือไม่มีการตามรอยเลยก็ได้ (0..n)
- ฟีเจอร์ประเภทตัวแปรแต่ละฟีเจอร์จะต้องมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อย่างน้อย 1 ส่วนประกอบ (1..n)
- ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบสามารถที่จะมีการตามรอยไปยังฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวน 1 ฟีเจอร์ หรือหลายฟีเจอร์ หรือไม่มีการตามรอยเลยก็ได้ (0..n)
- ฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนแต่ละฟีเจอร์สามารถที่จะมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ 1 ส่วนประกอบ หรือหลายส่วนประกอบ หรือไม่มีการตามรอยเลยก็ได้ (0..n)

เนื่องด้วยความสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์แต่ละประเภทในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยมีลักษณะเป็นเช่นนี้ เทคนิคการวิเคราะห์ความครอบคลุมจะต้องถูกปรับเปลี่ยนเพื่อให้มีความเหมาะสมกับแบบจำลองฟีเจอร์ที่มีการแบ่งประเภทของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งได้แก่ ฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ประเภทตัวแปร เทคนิคการวิเคราะห์ความครอบคลุมจะทำการตรวจสอบแต่เพียงฟีเจอร์ประเภทตัวแปรว่ามีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ครบถ้วนหรือไม่ โดยทำการตรวจสอบว่ามีฟีเจอร์ประเภทตัวแปรฟีเจอร์ใดบ้างที่ไม่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ เลย ซึ่งจะแตกต่างจากเทคนิคการวิเคราะห์ความครอบคลุมแบบเดิมที่ทำการตรวจสอบฟีเจอร์ทุกๆ ฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ โดยตรวจสอบว่ามีพีเจอร์ใดบ้างที่ไม่มีการตามรอยไปยังส่วนของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ เลย ในขณะที่การตรวจสอบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย ยังคงเป็นการตรวจสอบว่ามีส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดบ้างที่ไม่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ เลยเหมือนเดิม

3.4.2.4 **จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน** (Virtual Variation Point)

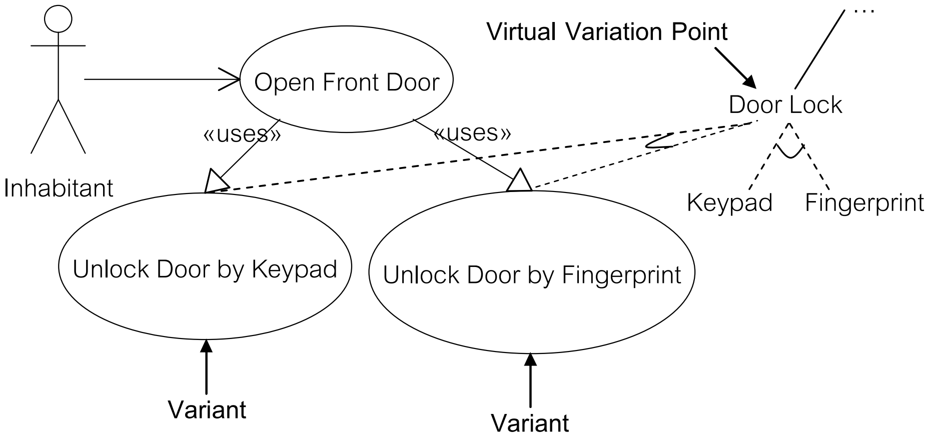
งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ และค้นพบว่าในบางกรณีจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ไม่สามารถที่จะระบุให้เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อื่นได้ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน ซึ่งก็คือฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ทำหน้าที่เหมือนกับเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนจะถูกระบุขึ้นก็ต่อเมื่อ มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์แล้วพบว่า

จุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ไม่สามารถกำหนดให้เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อื่นได้ ก็จะทำการระบุฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนฟีเจอร์ใดฟีเจอร์หนึ่งในแบบจำลองฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น ให้เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น

จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนมีประโยชน์ในการช่วยแสดงความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่มีการตามรอยไปยังแบบจำลองฟีเจอร์ นอกจากนี้ จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนยังสามารถที่จะใช้เป็นพื้นฐานในวิธีการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้อีกด้วย

3.4.2.5 ตัวอย่างของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน

เพื่อความเข้าใจในการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอตัวอย่างของการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคส ตัวอย่างของการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคสในแผนภาพยูสเคสแสดงได้ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างของการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคสในแผนภาพยูสเคส

จากภาพที่ 3.13 จะสามารถเห็นได้ถึงตัวอย่างของการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ เมื่อมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนภาพยูสเคสพบว่า ยูสเคส Unlock Door by Keypad และยูสเคส Unlock Door by Fingerprint มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร อย่างไรก็ตาม พบว่าไม่สามารถที่จะระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนของทั้ง 2 ยูสเคสนี้ เป็นยูสเคสอื่นหรือส่วนประกอบอื่นของแผนภาพยูสเคสได้ จึงได้มีการพิจารณาฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งมีประเภทของฟีเจอร์เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและมีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของทั้ง 2 ยูสเคสนี้ และระบุให้เป็นจุดที่เกิดความ

แปรปรวนเสมือนของทั้ง 2 ยูสเคสนี้ สำหรับตัวอย่างนี้ ฟีเจอร์ Door Lock ซึ่งเป็นฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนในแบบจำลองฟีเจอร์ เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Unlock Door by Keypad และยูสเคส Unlock Door by Fingerprint

3.5 การออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

งานวิจัยนี้มีการออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ การเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ตามไปด้วย ปัญหาการขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถที่จะแก้ปัญหาได้โดยการใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เพราะฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะช่วยในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ นอกจากนี้ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ยังส่งผลให้การตามรอยเชิงฟีเจอร์มีลักษณะเป็นการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย

3.5.1 ประโยชน์ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะช่วยในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่ยังไม่ถูกระบุขึ้นแต่ควรที่จะมีการระบุขึ้นระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่จะมีการระบุขึ้นและผู้ใช้ฟังก์ชันนี้จะทำการตัดสินใจที่จะระบุหรือไม่ระบุลิงค์การตามรอยแต่ละลิงค์ที่ค้นพบโดยฟังก์ชันนี้ ฟังก์ชันนี้จะถูกประยุกต์เพื่อใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยใช้หลักการที่ว่า ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ มีฟีเจอร์ใหม่และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใหม่ถูกเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ แต่ยังไม่มีลิงค์การตามรอยใดๆ ถูกระบุจากฟีเจอร์ใหม่หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใหม่เลย ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะช่วยในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่ควรจะถูกระบุขึ้นเหล่านี้

นอกจากนี้ ถ้าวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ส่งผลให้ฟีเจอร์บางฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์บางส่วนประกอบในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ถูกลบออกไปจากแบบจำลองฟีเจอร์หรือสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ จะส่งผลให้ลิงค์การตามรอยที่ถูกระบุจากฟีเจอร์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกลบออกไปนั้นถูกลบตามไปด้วย และมีผลกระทบไปยังฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีลิงค์การตามรอยเชื่อมโยงมายังฟีเจอร์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกลบออกไปนั้น ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ สามารถที่จะใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ จากฟีเจอร์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ที่ยังคงมีอยู่ในแบบจำลองฟีเจอร์หรือสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ แต่ลิงค์การตามรอยที่ถูกระบุจากฟีเจอร์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นถูกลบออกไปจนหมดได้

3.5.2 วิธีการของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

วิธีการของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ สามารถที่จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.5.2.1 หลักการเบื้องต้นของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ มีวิธีการที่เริ่มต้นด้วยการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ยังไม่ถูกตามรอย โดยใช้หลักการที่ว่า ก่อนการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ มีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ กล่าวคือไม่มีฟีเจอร์ใดเลยในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและไม่มีส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดเลยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ก็สามารถที่จะใช้การค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ยังไม่ถูกตามรอย ในการค้นหาฟีเจอร์ใหม่หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่ถูกเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองฟีเจอร์หรือสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ รวมไปถึงฟีเจอร์เดิมหรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เดิมที่ลิงค์การตามรอยที่ระบุจากฟีเจอร์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นถูกลบออกไปจนหมดด้วย อย่างไรก็ตาม พบว่าถ้ามีการสร้างลิงค์การตามรอยจากฟีเจอร์ที่ถูกค้นพบเหล่านี้ไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกค้นพบทั้งหมด จะมีลิงค์การตามรอยจำนวนมากมายที่สามารถเกิดขึ้นได้ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จึงได้มีการใช้เทคนิคเพิ่มเติมที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอย เพื่อที่จะตัดลิงค์การตามรอยที่ไม่น่าจะเกิดขึ้นใหม่ออกไป เหลือแต่ลิงค์การตามรอยที่น่าจะเกิดขึ้นจริง

3.5.2.2 **เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์** (Branch of Product technique)

เทคนิคที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ใช้ภายหลังจากมีการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ยังไม่ถูกตามรอยมีชื่อว่า เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีการสร้างเทคนิคนี้ขึ้นจากคุณลักษณะของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ มีสินทรัพย์หลักจำนวนมากที่สามารถเกิดขึ้นในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และในแต่ละสินทรัพย์หลักก็มีความแปรปรวนประกอบอยู่ด้วย ในแต่ละสินทรัพย์หลักสามารถที่จะประกอบด้วยกลุ่มของส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักมากกว่า 1 กลุ่ม ซึ่งแบ่งกลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสินทรัพย์หลักโดยผู้จัดการสินทรัพย์โดเมน (Domain Asset Manager) ในแต่ละกลุ่มของส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักประกอบด้วยส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร จากการสังเกตพบว่า ถ้าส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในสินทรัพย์หลักหนึ่ง มีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในอีกสินทรัพย์หลักหนึ่ง ส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรของกลุ่มของส่วนประกอบของสินทรัพย์หลักเหล่านั้นควรที่จะมีความสัมพันธ์กันด้วย

งานวิจัยนี้มีการประยุกต์เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์มาใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับกลุ่มของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ โดยความสัมพันธ์แสดงออกมาในรูปแบบของการตามรอยระหว่างกัน โดยจะทำการวิเคราะห์ว่า ถ้าฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของฟีเจอร์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในแบบจำลองฟีเจอร์มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรของกลุ่มของฟีเจอร์ที่มีการตามรอยอยู่นั้นควรที่จะมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรของกลุ่มของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยอยู่ด้วย

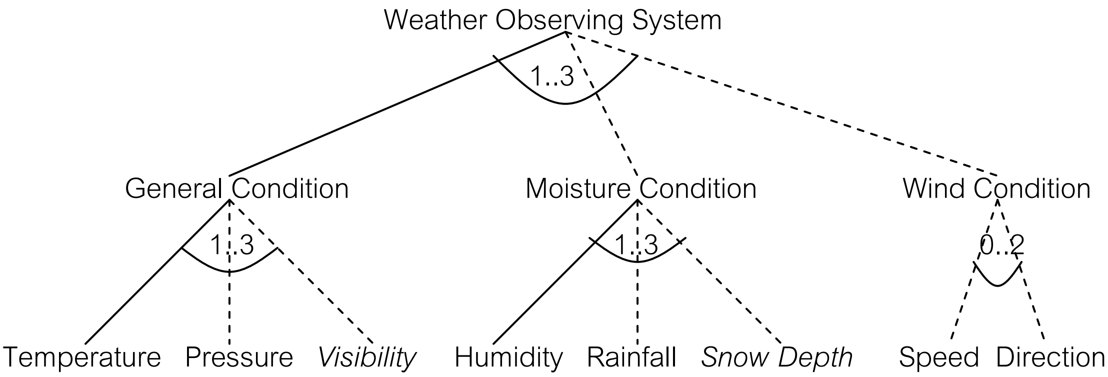
3.5.2.3 **ตัวอย่างของการใช้งานเทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์โดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้**

เพื่อความเข้าใจในการใช้งานเทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์โดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ งานวิจัยนี้มีการนำเสนอตัวอย่างของการใช้งานเทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์โดย

ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ภายหลังจากการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ยังไม่ถูกตามรอย

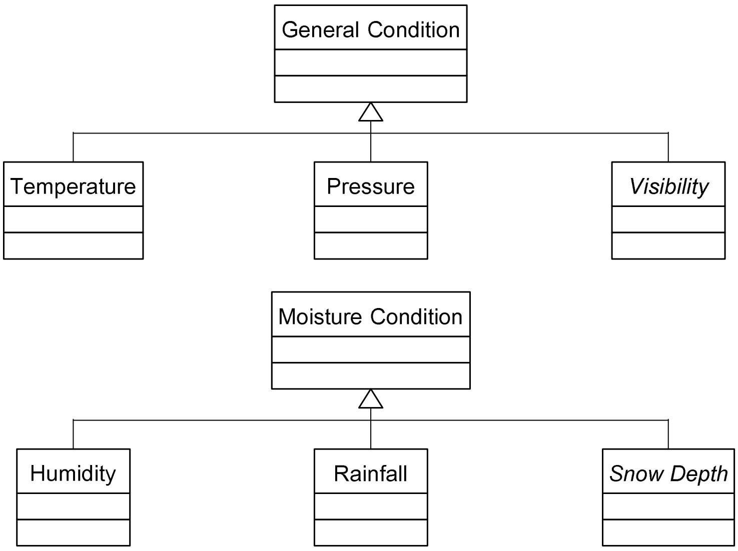
ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบสังเกตสภาพอากาศ (Weather Observing System (WOS)) ซอฟต์แวร์ของระบบนี้จะทำการสังเกตสภาพอากาศที่ตรวจพบได้ในปัจจุบัน และทำการแสดงข้อมูลของสภาพอากาศผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ไปยังผู้ใช้ของซอฟต์แวร์นี้ ความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบสังเกตสภาพอากาศระบุว่า สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้จะต้องมีการพัฒนาสินทรัพย์หลักสำหรับระบบสังเกตสภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วย การสังเกตสภาพอากาศทั่วไป (General Condition) การสังเกตสภาพความชื้นของอากาศ (Moisture Condition) และการสังเกตสภาพลม (Wind Condition) เริ่มแรกสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบสังเกตสภาพอากาศได้มีการพัฒนาสินทรัพย์หลักสำหรับการสังเกตสภาพอากาศทั่วไป 2 แบบคือ การสังเกตระดับอุณหภูมิของอากาศ (Temperature) และการสังเกตระดับความกดอากาศ (Pressure) สินทรัพย์หลักสำหรับการสังเกตสภาพความชื้นของอากาศ 2 แบบคือ การสังเกตระดับความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และการสังเกตระดับปริมาณน้ำฝน (Rainfall) และสินทรัพย์หลักสำหรับการสังเกตสภาพลม 2 แบบคือ การสังเกตความเร็วลม (Speed) และการสังเกตทิศทางลม (Direction)

เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยมีความต้องการที่จะสร้างสินทรัพย์หลักเพิ่มเติมจากสินทรัพย์หลักเดิมที่มีอยู่ โดยเป็นการสร้างสินทรัพย์หลักสำหรับการสังเกตสภาพอากาศทั่วไปเพิ่มอีก 1 แบบ ได้แก่ การสังเกตความสามารถที่จะมองเห็นได้ (Visibility) และสร้างสินทรัพย์หลักสำหรับการสังเกตสภาพความชื้นของอากาศเพิ่มอีก 1 แบบ ได้แก่ การสังเกตความลึกของหิมะ (Snow Depth) การเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองความผันแปร และเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นสินทรัพย์หลัก โดยมีการเพิ่มฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เข้าไปในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการตามรอยใดๆ เกิดขึ้นจากฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่เพิ่มเข้าไปใหม่เลย ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะทำการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบสังเกตสภาพอากาศ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบสังเกตสภาพอากาศ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น)

เมื่อมีการพิจารณาการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพคลาสจะต้องมีการพิจารณาคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ด้วย แผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 แผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ คลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่)

ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะทำการพิจารณาฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์และค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่จากฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่นั้น และเช่นเดียวกัน ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะทำการพิจารณาคลาสที่ถูกเพิ่ม

เข้าไปใหม่ในแผนภาพคลาสและค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่จากคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่นั้น ลิงค์การตามรอยที่มีอยู่เดิมก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของคลาส
General Condition	General Condition
Temperature	Temperature
Pressure	Pressure
Moisture Condition	Moisture Condition
Humidity	Humidity
Rainfall	Rainfall

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่ามีการตามรอยกันระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์กันอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ กล่าวคือไม่มีฟีเจอร์ใดเลยที่ยังไม่ถูกตามรอยและไม่มีคลาสใดเลยที่ยังไม่ถูกตามรอยเช่นเดียวกัน ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะทำการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่หลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยเริ่มต้นจากการค้นหาฟีเจอร์ใหม่และคลาสใหม่ที่ถูกเพิ่มเข้ามาหลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ผ่านการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและคลาสที่ยังไม่ถูกตามรอย ซึ่งในตัวอย่างนี้จะพบว่าหลังจากมีการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและคลาสที่ยังไม่ถูกตามรอย จะพบฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอย 2 ฟีเจอร์ ได้แก่ ฟีเจอร์ Visibility และฟีเจอร์ Snow Depth และพบคลาสที่ยังไม่ถูกตามรอย 2 คลาส ได้แก่ คลาส Visibility และ คลาส Snow Depth อย่างไรก็ตาม พบว่าถ้ามีการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยทั้งหมดกับคลาสที่ยังไม่ถูกตามรอยทั้งหมดจะได้ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด 4 ลิงค์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

เพื่อความถูกต้องที่มากยิ่งขึ้นของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่และลดจำนวนของลิงค์การตามรอยที่ไม่น่าจะเกิดขึ้นจริง ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จึงได้มีการใช้เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์เข้าช่วยในการค้นหาลิงค์การตามรอย โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไป

ใหม่ เพื่อทำการค้นหากลุ่มของฟีเจอร์และกลุ่มของคลาส ซึ่งจะมีการพิจารณากลุ่มของฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มฟีเจอร์เข้ามาใหม่และกลุ่มของคลาสที่มีการเพิ่มคลาสเข้ามาใหม่

ตารางที่ 3.3 ลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด ภายหลังการค้นหาฟีเจอร์ที่ยังไม่ถูกตามรอยและคลาสที่ยังไม่ถูกตามรอย

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของคลาส
Visibility	Visibility
Visibility	Snow Depth
Snow Depth	Visibility
Snow Depth	Snow Depth

เมื่อทำการพิจารณากลุ่มของฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มฟีเจอร์ Visibility เข้าไป จะพบว่ามีฟีเจอร์ General Condition ที่ทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์กลุ่มนี้ และจะทำการพิจารณาไปว่าฟีเจอร์ General Condition มีการตามรอยไปยังกลุ่มของคลาสใดบ้าง พบว่าฟีเจอร์ General Condition มีการตามรอยไปยังคลาส General Condition ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของคลาสที่มีการเพิ่มคลาส Visibility เข้าไป ดังนั้น ฟีเจอร์ Visibility และคลาส Visibility ควรที่จะมีการตามรอยกัน

เมื่อทำการพิจารณากลุ่มของฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มฟีเจอร์ Snow Depth เข้าไป จะพบว่ามีฟีเจอร์ Moisture Condition ที่ทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์กลุ่มนี้ และจะทำการพิจารณาไปว่าฟีเจอร์ Moisture Condition มีการตามรอยไปยังกลุ่มของคลาสใดบ้าง พบว่าฟีเจอร์ Moisture Condition มีการตามรอยไปยังคลาส Moisture Condition ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของคลาสที่มีการเพิ่มคลาส Snow Depth เข้าไป ดังนั้น ฟีเจอร์ Snow Depth และคลาส Snow Depth ควรที่จะมีการตามรอยกัน

เมื่อทำการพิจารณากลุ่มของคลาสที่มีการเพิ่มคลาส Visibility เข้าไป จะพบว่ามีคลาส General Condition ที่ทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของคลาสกลุ่มนี้ และจะทำการพิจารณาไปว่าคลาส General Condition มีการตามรอยไปยังกลุ่มของฟีเจอร์ใดบ้าง พบว่าคลาส General Condition มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์ General Condition ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มฟีเจอร์ Visibility เข้าไป ดังนั้น คลาส Visibility และฟีเจอร์ Visibility ควรที่จะมีการตามรอยกัน

เมื่อทำการพิจารณากลุ่มของคลาสที่มีการเพิ่มคลาส Snow Depth เข้าไป จะพบว่ามีคลาส Moisture Condition ที่ทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของคลาสกลุ่มนี้ และจะทำการพิจารณาไปว่าคลาส Moisture Condition มีการตามรอยไปยังกลุ่มของฟีเจอร์ใดบ้าง

พบว่าคลาส Moisture Condition มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์ Moisture Condition ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของกลุ่มของฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มฟีเจอร์ Snow Depth เข้าไป ดังนั้นคลาส Snow Depth และฟีเจอร์ Snow Depth ควรที่จะมีการตามรอยกัน

หลังจากนั้นทำการรวมลิงค์การตามรอยที่ควรจะเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด และตัดลิงค์การตามรอยที่พบว่าซ้ำกันออกไป ก็จะได้ลิงค์การตามรอยที่ควรจะเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับคลาสในแผนภาพคลาสบางส่วนซึ่งแสดงถึงคลาสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด ภายหลังการใช้เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์เข้าช่วยในการค้นหา โดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมด ภายหลังการใช้เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์เข้าช่วยในการค้นหา โดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของคลาส
Visibility	Visibility
Snow Depth	SnowDepth

จากตารางที่ 3.4 เห็นได้ว่า เมื่อมีการใช้เทคนิคกิ่งของผลิตภัณฑ์เข้าช่วยในการค้นหา จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

3.5.2.4 หลักการเพิ่มเติมของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

จากการสังเกตพบว่าในวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นจริงในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ การเพิ่มขึ้นของฟีเจอร์หนึ่งอาจจะไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของอีกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่งและเช่นเดียวกันการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่งก็อาจจะไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของอีกฟีเจอร์หนึ่งก็ได้ งานวิจัยนี้มีการค้นพบว่า ในบางกรณีการเพิ่มขึ้นของฟีเจอร์หนึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่เหลืออยู่หลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในฟีเจอร์ที่เหลืออยู่หลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับฟีเจอร์ที่เหลืออยู่และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่เหลืออยู่หลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์จะต้องถูกพิจารณาด้วยในฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์สามารถที่จะแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ และเวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ก็สามารถที่จะแสดงถึงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลังวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังนำเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ใน

แบบจำลองฟีเจอร์ที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้ มาใช้ในการระบุถึงฟีเจอร์ที่ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ และฟีเจอร์ที่ฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงอีกด้วย

ในบางกรณี พบว่าไม่สามารถที่จะค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ไปยังจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ เพราะว่าจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ไม่สามารถที่จะระบุให้เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อื่นได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการใช้จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งก็คือฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ แทนที่จุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ในกรณีที่ไม่สามารถระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อื่นได้ โดยเป็นการพิจารณาจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ซึ่งเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ แทนลิงค์การตามรอยระหว่างจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์และจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ กล่าวคือมีการนำจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนมาพิจารณาด้วยในฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

3.5.3 อัลกอริทึมของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ อัลกอริทึมของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถที่จะแสดงได้ดังต่อไปนี้

```
Function <possible trace link> {
    Find all F_NT and A_NT;
    for any F_NT {
        if VP (F_NT) has a trace link to VP (A_NT or A_C) or VP (F_NT) is VVP (A_NT or A_C) {
            define all trace links between F_NT and (A_NT or A_C);
        }
    }
    for any A_NT {
        if VP (A_NT) has a trace link to VP (F) or VVP (A_NT) is VP (F) {
            if (ALV (VP (F))^+ > 0) {
                define all trace links between A_NT and F_NT;
            }
```

if (CLV (VP (F))$^+$ > CCV (VP (F))$^+$) {

define all trace links between A_{NT} and F that CCV (F)$^+$ > 0;

}

}

}

display ((all trace links between F_{NT} and (A_{NT} or A_C))

U (all trace links between A_{NT} and F_{NT})

U (all trace links between A_{NT} and F that CCV (F)$^+$ > 0));

}

โดยที่ VP (F) คือ จุดที่เกิดความแปรปรวนของ F

F_{NT} คือ ฟีเจอร์ที่ไม่ถูกตามรอย

A_{NT} คือ ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่ถูกตามรอย

A_C คือ ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการเปลี่ยนแปลง (เวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มีการเพิ่มขึ้น)

VVP (F) คือ จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของ F

F คือ ฟีเจอร์

ALV (F)$^+$ คือ เวอร์ชันเชิงตรรกะที่ถูกเพิ่มขึ้นของฟีเจอร์ F ที่เพิ่มขึ้นจากเวอร์ชันก่อน

CLV (F)$^+$ คือ เวอร์ชันเชิงตรรกะที่ถูกเปลี่ยนแปลงของฟีเจอร์ F ที่เพิ่มขึ้นจากเวอร์ชันก่อน

CCV (F)$^+$ คือ เวอร์ชันเชิงบรรจุที่ถูกเปลี่ยนแปลงของฟีเจอร์ F ที่เพิ่มขึ้นจากเวอร์ชันก่อน

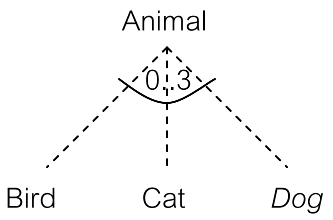
U คือ สัญลักษณ์ยูเนียน

3.5.4 ข้อจำกัดของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

จากการวิเคราะห์พบว่า ถ้าไม่สามารถระบุจุดที่เกิดความแปรปรวน หรือจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยได้ เพราะส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยนั้น ไม่ได้มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนหรือคุณลักษณะเป็นตัวแปร ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นจึงไม่มีจุดที่เกิดความแปรปรวนหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถระบุฟีเจอร์ที่ควรที่จะมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นได้ ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะเป็นผู้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นกับฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์และระบุลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นกับฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์เอง

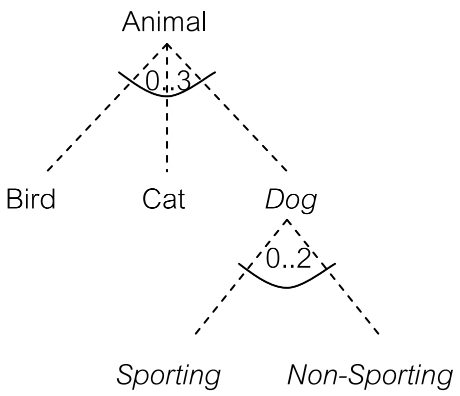
นอกจากนี้ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้ จะเหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ในลักษณะที่มีการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวเท่านั้น การเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวคือ การเพิ่มฟีเจอร์ที่มีความสูงของฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาคือ 0 ในต้นไม้ฟีเจอร์ ในขณะที่การเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์คือ การเพิ่มฟีเจอร์ที่มีความสูงของฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาคือตั้งแต่ 1 เป็นต้นไปในต้นไม้ฟีเจอร์ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้มีความเหมาะสมสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว เพราะว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทำการค้นหาลิงค์การตามรอยโดยใช้ความสัมพันธ์ของจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ ทำให้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่ทั้งหมดกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้

ถ้ามีการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถทำการค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ที่เป็นรากของกลุ่มฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ แต่จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ที่ไม่ใช่รากของกลุ่มฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ เพราะจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์เหล่านั้น ยังไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ เลย เพื่อความเข้าใจสำหรับการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ในลักษณะที่มีการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวและการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวและการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ ตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก)

จากภาพที่ 3.16 จะเห็นได้ว่า มีการเพิ่มฟีเจอร์ Dog เข้าไปในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งเป็นลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Dog กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ ตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างสำหรับการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก)

จากภาพที่ 3.17 จะเห็นได้ว่า มีการเพิ่มฟีเจอร์ Dog ฟีเจอร์ Sporting และฟีเจอร์ Non-Sporting เข้าไปในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งเป็นลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Dog ซึ่งเป็นรากของกลุ่มฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ แต่จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Sporting ซึ่งไม่ใช่รากของกลุ่มฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Non-Sporting ซึ่งไม่ใช่รากของกลุ่มฟีเจอร์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้

อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พบว่า ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Sporting กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Non-Sporting กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ ก็ต่อเมื่อ มีการระบุลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Dog ซึ่งเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Sporting และฟีเจอร์ Non-Sporting กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ครบถ้วนเสียก่อน และด้วยเหตุนี้เองความสูง (Height) ของกลุ่มฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มเข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนครั้งที่จะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ โดยจำนวนครั้งที่จะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะมีความสัมพันธ์กับความสูงของกลุ่มฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มเข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ ดังสมการต่อไปนี้

Number of Possible Trace Link function = Height of feature group + 1

โดยที่ Number of Possible Trace Link function คือ จำนวนครั้งที่จะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

Height of feature group คือ ความสูงของกลุ่มฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มเข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์

โดยมีเงื่อนไขว่า ในทุกๆ ครั้งที่จะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งถัดไป จะต้องมีการระบุลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทำการค้นหาในครั้งนั้นครบถ้วนเสียก่อน

สำหรับตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่าความสูงของกลุ่มฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มเข้ามาใหม่คือ 1 นั่นคือจะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพื่อค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ 2 ครั้งนั่นเอง โดยในการเรียกใช้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 จะต้องมีการระบุลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Dog กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทำการค้นหาในครั้งที่ 1 ครบถ้วนเสียก่อน

บทที่ 4
การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

เครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ถูกพัฒนาขึ้นในลักษณะของเว็บแอปพลิเคชันที่มีการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เพื่อที่จะสามารถจัดเก็บข้อมูลการตามรอยลงในฐานข้อมูลและสามารถที่จะค้นคืนข้อมูลการตามรอยจากฐานข้อมูลได้

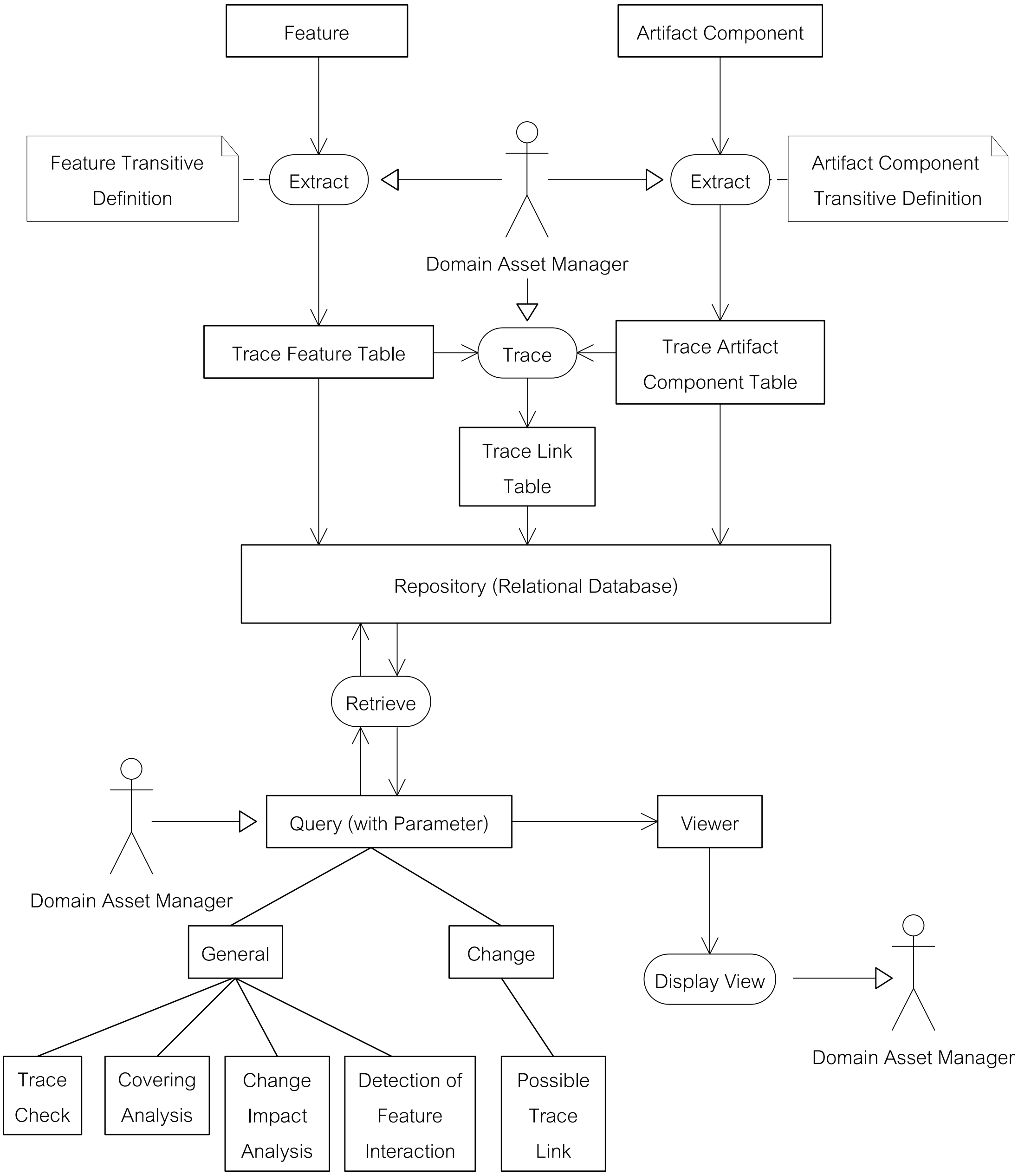
4.1 ภาพรวมของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ภาพรวมของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.1 สำหรับการสร้างข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมน (Domain Asset Manager) ทำการแปลงฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย (Trace Feature Table) ด้วยนิยามการถ่ายทอดฟีเจอร์ (Feature Transitive Definition) ที่ได้ออกแบบขึ้น
2. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการแปลงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ให้เป็นข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (Trace Artifact Component Table) ด้วยนิยามการถ่ายทอดส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component Transitive Definition) ที่ได้ออกแบบขึ้น
3. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยและส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และระบุลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ลงในตารางลิงค์การตามรอย (Trace Link Table)

ข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย ข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางลิงค์การตามรอย จะถูกจัดเก็บลงในที่เก็บข้อมูลการตามรอย (Repository) ในลักษณะของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ซึ่งผู้จัดการ

สินทรัพย์โดเมนสามารถทำการเพิ่ม ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอยในตารางทั้ง 3 ตารางได้ตามความต้องการ



ภาพที่ 4.1 ภาพรวมของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

สำหรับการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่ต้องการ ซึ่งอาจจะมีการระบุค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการสอบถามเข้าไปด้วย

2. เครื่องมือทำการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยและทำการค้นคืน (Retrieve) ข้อมูลการตามรอยซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยในที่เก็บข้อมูลการตามรอย
3. เครื่องมือส่งผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยไปยังหน่วยแสดงผล (Viewer) เพื่อให้หน่วยแสดงผลแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยกลับไปยังผู้จัดการสินทรัพย์โดเมน

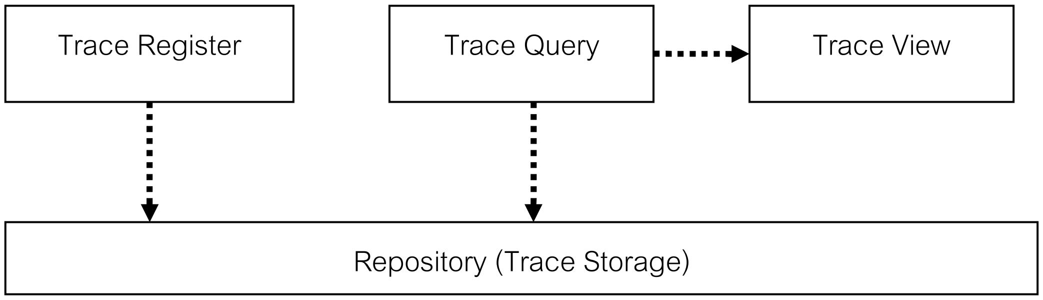
การสอบถามข้อมูลการตามรอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การสอบถามข้อมูลการตามรอยทั่วไป (General) และการสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอย (Change) สำหรับการสอบถามข้อมูลการตามรอยทั่วไปประกอบด้วย การสอบถามการตรวจสอบการตามรอย (Trace Check Query) การสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุม (Covering Analysis Query) การสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง (Change Impact Analysis Query) และการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ (Detection of Feature Interaction Query) สำหรับการสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอยได้แก่ การสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ (Possible Trace Link Query)

4.2 การวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

การวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 ความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

เครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์มีความสามารถหลักที่สามารถแบ่งออกเป็นมอดูลได้ 4 มอดูล ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสามารถหลักของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ทั้ง 4 มอดูล

ความสามารถหลักของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ทั้ง 4 มอดูล ประกอบด้วย

1. มอดูลเรจิสเตอร์การตามรอย (Trace Register Module) เป็นมอดูลที่แสดงความสามารถของเครื่องมือในการสร้าง ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอยทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ มอดูลนี้ถูกใช้ในการจัดการข้อมูลการตามรอยที่เก็บอยู่ในที่เก็บข้อมูลการตามรอย (Repository)
2. มอดูลการสอบถามการตามรอย (Trace Query Module) เป็นมอดูลที่แสดงความสามารถของเครื่องมือในการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่เก็บอยู่ในที่เก็บข้อมูลการตามรอย เพื่อที่จะรองรับต่อการสอบถามต่างๆ ของผู้ใช้ เช่น การสอบถามส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยกับฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สนใจ การสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุมระหว่างฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย เป็นต้น
3. มอดูลการมองการตามรอย (Trace View Module) เป็นมอดูลที่แสดงความสามารถของเครื่องมือในการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ โดยแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของมอดูลการสอบถามการตามรอยกลับไปยังผู้ใช้
4. มอดูลหน่วยเก็บการตามรอย (Trace Storage Module) เป็นมอดูลที่แสดงความสามารถของเครื่องมือในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยลงในที่เก็บข้อมูลการตามรอย

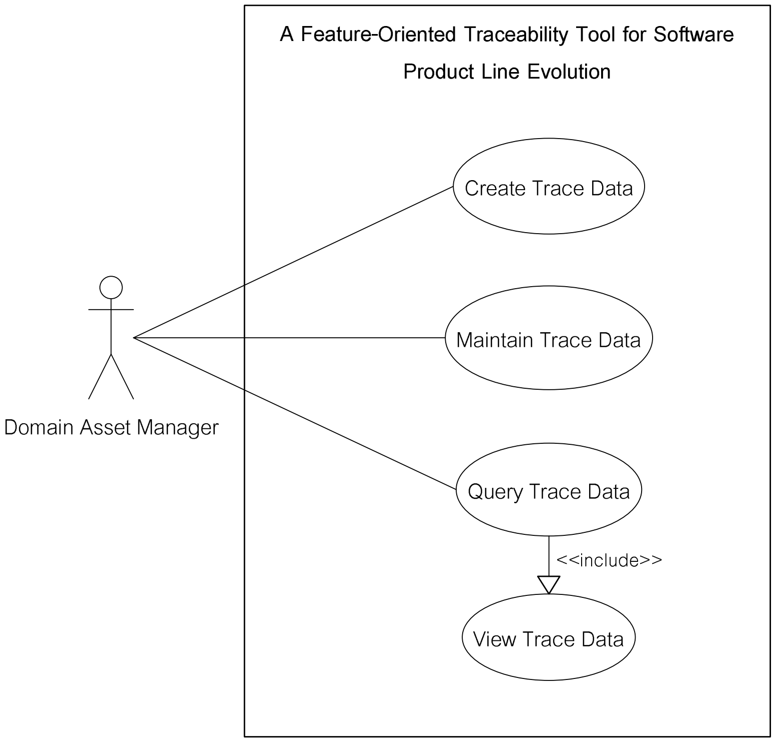
มอดูลทั้ง 4 มอดูล จะมีการทำงานที่เชื่อมต่อประสานกัน โดยขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้ของเครื่องมือมีความต้องการที่จะให้เครื่องมือแสดงความสามารถอะไรออกมา เช่น ผู้ใช้มีความต้องการที่จะสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เครื่องมือก็จะมีการเรียกใช้งานมอดูลเรจิสเตอร์การตามรอยเพื่อใช้ในการสร้างลิงค์การตามรอยที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อมีการสร้างลิงค์การตามรอยเสร็จเครื่องมือก็จะมีการเรียกใช้งานมอดูลหน่วยเก็บการตามรอยเพื่อใช้ในการจัดเก็บลิงค์การตามรอยที่สร้างขึ้นมาลงในที่เก็บข้อมูลการตามรอย เมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะสอบถามข้อมูลการตามรอย เครื่องมือจะมีการเรียกใช้งานมอดูลการสอบถามการตามรอยเพื่อใช้ในการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอย หลังจากการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยเสร็จเครื่องมือจะมีการเรียกใช้งานมอดูลการมองการตามรอยเพื่อใช้ในการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยกลับไปยังผู้ใช้ เป็นต้น

4.2.2 แผนภาพยูสเคสแสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์กับผู้ใช้ของเครื่องมือ

ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ของเครื่องมือ ซึ่งก็คือผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนสามารถทำการเรียกใช้ได้ประกอบด้วย 3 ฟังก์ชัน ดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถสร้างข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ได้
2. ผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถลบและแก้ไขข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ได้
3. ผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ได้

จากฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือที่ผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถที่จะเรียกใช้ได้ทั้ง 3 ฟังก์ชัน จะสามารถสร้างแผนภาพยูสเคสเพื่อที่จะแสดงถึงฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือที่ผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถที่จะเรียกใช้ได้ แผนภาพยูสเคสแสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์กับผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แผนภาพยูสเคสแสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์กับผู้ใช้ของเครื่องมือ

จากแผนภาพยูสเคสในภาพที่ 4.3 จะสามารถอธิบายยูสเคสแต่ละยูสเคสได้ด้วยคำอธิบายยูสเคสดังต่อไปนี้

4.2.2.1 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Create Trace Data

คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Create Trace Data สามารถแสดงได้ด้วยตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Create Trace Data

Use Case Name: Create Trace Data	ID: 1	Importance Level :High
Primary Actor: Domain Asset Manager	Use Case Type: Detail, Essential	
Stakeholders and Interests: Domain Asset Manager – ต้องการที่จะสร้างข้อมูลการตามรอย		
Brief Description: ยูสเคสนี้อธิบายว่าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะสามารถสร้างข้อมูลการตามรอยได้อย่างไร		
Trigger: ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนเข้าใช้เครื่องมือและแสดงความต้องการที่จะสร้างข้อมูลการตามรอย Type: External		
Relationships: Association: Domain Asset Manager Include: Extend: Generalization:		
Normal Flow of Events: 1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มเพิ่มข้อมูลการตามรอย 2. เครื่องมือมีการแสดงหน้าต่างของการเพิ่มข้อมูลการตามรอย 3. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกรอกรายละเอียดของข้อมูลการตามรอยที่ต้องการจะเพิ่ม เช่น ข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย ข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย ข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น 4. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อส่งรายละเอียดของข้อมูลการตามรอย 5. เครื่องมือทำการจัดเก็บรายละเอียดของข้อมูลการตามรอย 6. เครื่องมือแสดงหน้าต่างยืนยันว่าได้ทำการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยเรียบร้อยแล้ว		

ตารางที่ 4.1 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Create Trace Data (ต่อ)

7. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อรับทราบการยืนยันการจัดเก็บข้อมูลการตามรอย
Subflows:
Alternate/ Exceptional Flows: 4a. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มยกเลิกเพื่อยกเลิกการเพิ่มข้อมูลการตามรอย 6a. เครื่องมือแสดงหน้าต่างบ่งบอกถึงปัญหาในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอย 7a. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อรับทราบปัญหาในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอย

4.2.2.2 **คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส** Maintain Trace Data

คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Maintain Trace Data สามารถแสดงได้ด้วยตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Maintain Trace Data

Use Case Name: Maintain Trace Data	ID: 2	Importance Level : Medium
Primary Actor: Domain Asset Manager	Use Case Type: Detail, Essential	
Stakeholders and Interests: Domain Asset Manager – ต้องการที่จะลบหรือแก้ไขข้อมูลการตามรอย		
Brief Description: ยูสเคสนี้อธิบายว่าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะสามารถลบและแก้ไขข้อมูลการตามรอยได้อย่างไร		
Trigger: ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนเข้าใช้เครื่องมือและแสดงความต้องการที่จะลบหรือแก้ไขข้อมูลการตามรอย Type: External		
Relationships: Association: Domain Asset Manager Include: Extend: Generalization:		
Normal Flow of Events: 1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มลบหรือกดปุ่มแก้ไขข้อมูลการตามรอย ถ้าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มลบข้อมูลการตามรอย S-1: Subflow ลบข้อมูลการตามรอยจะถูกแสดง		

ตารางที่ 4.2 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Maintain Trace Data (ต่อ)

ถ้าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มแก้ไขข้อมูลการตามรอย S-2: Subflow แก้ไขข้อมูลการตามรอยจะถูกแสดง 2. เครื่องมือแสดงหน้าต่างยืนยันว่าได้ทำการลบหรือแก้ไขข้อมูลการตามรอยเรียบร้อยแล้ว 3. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อรับทราบการยืนยันการลบหรือแก้ไขข้อมูลการตามรอย
Subflows: S-1: ลบข้อมูลการตามรอย 1. เครื่องมือแสดงหน้าต่างให้ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนยืนยันว่าจะทำการลบข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ 2. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อยืนยันการลบข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ 3. เครื่องมือทำการลบรายละเอียดของข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ S-2: แก้ไขข้อมูลการตามรอย 1. เครื่องมืออนุญาตให้ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนสามารถทำการแก้ไขข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ได้ 2. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการแก้ไขรายละเอียดของข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ 3. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อบันทึกรายละเอียดของข้อมูลการตามรอยที่ได้ทำการแก้ไข 4. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มยืนยันเพื่อส่งรายละเอียดของข้อมูลการตามรอยที่ได้ทำการแก้ไข 5. เครื่องมือทำการจัดเก็บรายละเอียดของข้อมูลการตามรอยที่ได้ทำการแก้ไข
Alternate/ Exceptional Flows: S-1,2a. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มยกเลิกเพื่อยกเลิกการลบข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ S-2,3a. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มยกเลิกเพื่อยกเลิกการแก้ไขข้อมูลการตามรอยที่เลือกไว้ 2a. เครื่องมือแสดงหน้าต่างบ่งบอกถึงปัญหาในการลบหรือแก้ไขข้อมูลการตามรอย 3a. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกดปุ่มตกลงเพื่อรับทราบปัญหาในการลบหรือแก้ไขข้อมูลการตามรอย

4.2.2.3 **คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส** Query Trace Data

คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Query Trace Data สามารถแสดงได้ด้วยตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Query Trace Data

Use Case Name: Query Trace Data	ID: 3	Importance Level :High
Primary Actor: Domain Asset Manager	Use Case Type: Detail, Essential	
Stakeholders and Interests: Domain Asset Manager – ต้องการที่จะสอบถามข้อมูลการตามรอย		
Brief Description: ยูสเคสนี้อธิบายว่าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะสามารถสอบถามข้อมูลการตามรอยได้อย่างไร		
Trigger: ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนเข้าใช้เครื่องมือและแสดงความต้องการที่จะสอบถามข้อมูลการตามรอย Type: External		
Relationships: Association: Domain Asset Manager Include: View Trace Data Extend: Generalization:		
Normal Flow of Events: 1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการสอบถามข้อมูลการตามรอย ถ้าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการสอบถามการตรวจสอบการตามรอย S-1: Subflow การสอบถามการตรวจสอบการตามรอยจะถูกแสดง ถ้าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการสอบถามอื่นๆ ที่ไม่ใช่การสอบถามการตรวจสอบการตามรอย S-2: Subflow การสอบถามอื่นๆ ที่ไม่ใช่การสอบถามการตรวจสอบการตามรอยจะถูกแสดง 2. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการเรียกยูสเคส View Trace Data ให้ทำงาน		
Subflows: S-1: การสอบถามการตรวจสอบการตามรอย 1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการเลือกหน้าต่างที่ต้องการจะดูข้อมูลการตามรอย 2. เครื่องมือทำการประมวลผลข้อมูลการตามรอยที่จะแสดงในแต่ละหน้าต่างที่ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนเลือก S-2: การสอบถามอื่นๆ ที่ไม่ใช่การสอบถามการตรวจสอบการตามรอย		

ตารางที่ 4.3 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส Query Trace Data (ต่อ)

1. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการเลือกการสอบถามที่ต้องการจากลิสต์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอย 2. เครื่องมือทำการประมวลผลการสอบถามที่ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนเลือก
Alternate/ Exceptional Flows: S-1,1a. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลการตามรอยที่ต้องการจะดู S-1,2a. เครื่องมือทำการประมวลผลข้อมูลการตามรอยที่จะแสดงตามค่าพารามิเตอร์ที่ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนกำหนด

4.2.2.4 **คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส** View Trace Data

คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส View Trace Data สามารถแสดงได้ด้วยตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส View Trace Data

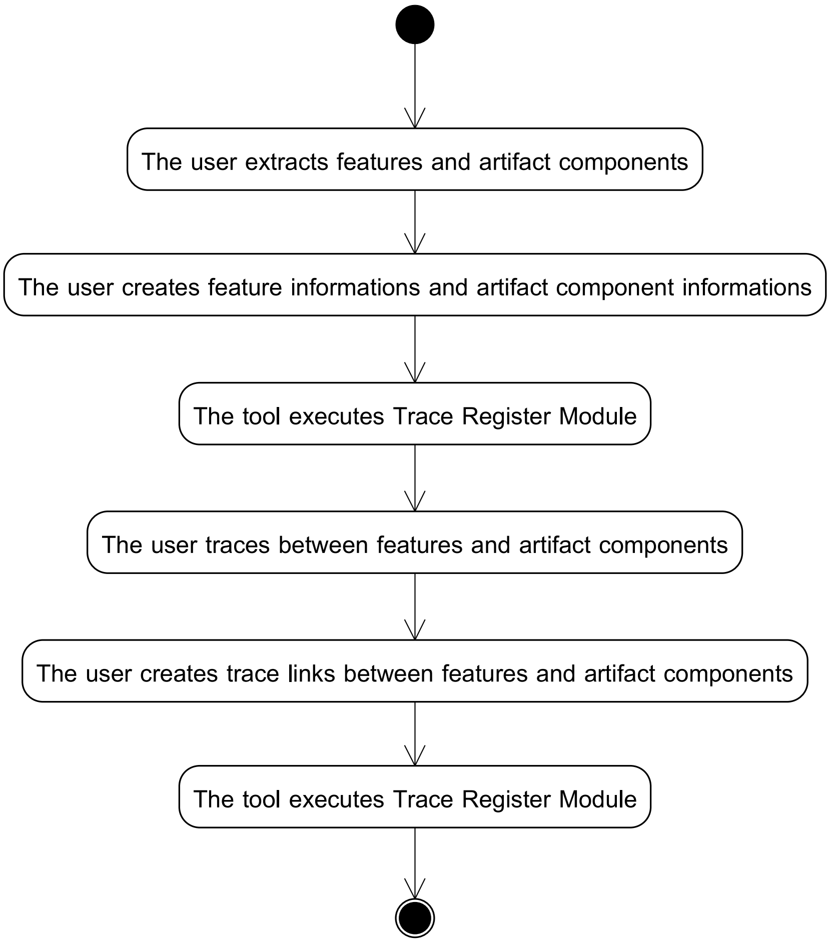
Use Case Name: View Trace Data	ID: 4	Importance Level :High
Primary Actor: Domain Asset Manager	Use Case Type: Detail, Essential	
Stakeholders and Interests: Domain Asset Manager – ต้องการที่จะดูผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอย		
Brief Description: ยูสเคสนี้อธิบายว่าผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะสามารถดูผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยได้อย่างไร		
Trigger: เครื่องมือทำการประมวลผลการสอบถามข้อมูลการตามรอยเสร็จ และต้องการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอย Type: Temporal		
Relationships: Association: Include: Extend: Generalization:		
Normal Flow of Events: 1. เครื่องมือทำการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่ได้ทำการประมวลผล		

ตารางที่ 4.4 คำอธิบายยูสเคสสำหรับยูสเคส View Trace Data (ต่อ)

ไว้ในหน้าต่างที่ได้กำหนดไว้ 2. ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนทำการดูผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่ได้ทำการสอบถามไว้
Subflows:
Alternate/ Exceptional Flows:

4.2.3 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.4



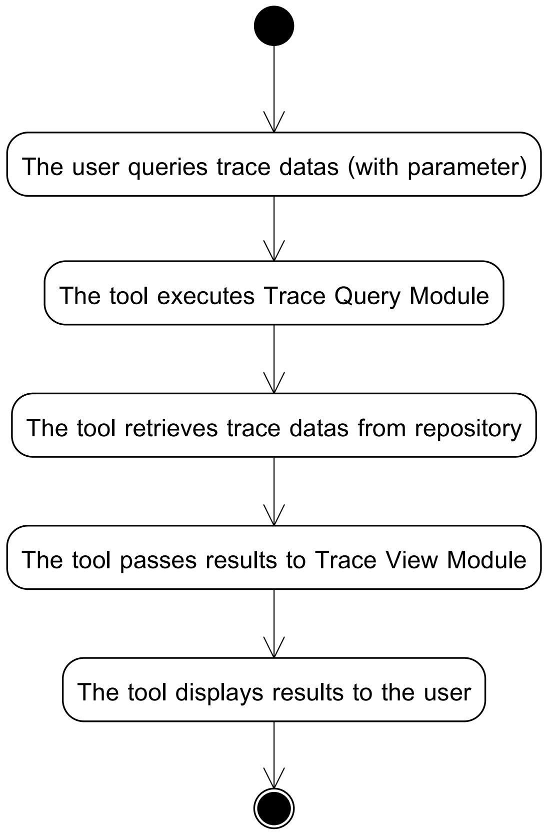
ภาพที่ 4.4 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

จากแผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในภาพที่ 4.4 จะสามารถสรุปลำดับขั้นตอนในการสร้างข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้ของเครื่องมือทำการแปลงฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย (Trace Feature Table) และทำการแปลงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ให้เป็นข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (Trace Artifact Component Table)
2. ผู้ใช้ของเครื่องมือทำการสร้างข้อมูลของฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยและข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอย
3. เครื่องมือทำการเรียกใช้งานมอดูลเรจิสเตอร์การตามรอย (Trace Register Module) เพื่อที่จะสร้างข้อมูลของฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยในตารางฟีเจอร์การตามรอยและสร้างข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอยในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย
4. ผู้ใช้ของเครื่องมือทำการตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย
5. ผู้ใช้ของเครื่องมือทำการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์
6. เครื่องมือทำการเรียกใช้งานมอดูลเรจิสเตอร์การตามรอยเพื่อที่จะสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางลิงค์การตามรอย (Trace Link Table)

4.2.4 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

จากแผนภาพกิจกรรมแสดงลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในภาพที่ 4.5 จะสามารถสรุปลำดับขั้นตอนในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยของผู้ใช้ของเครื่องมือและเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้ของเครื่องมือทำการสอบถามข้อมูลการตามรอย ซึ่งอาจจะมีการระบุค่าพารามิเตอร์ของการสอบถามเข้าไปด้วย
2. เครื่องมือทำการเรียกใช้งานมอดูลการสอบถามการตามรอย (Trace Query Module) เพื่อที่จะทำการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอย
3. เครื่องมือทำการค้นคืนข้อมูลการตามรอยจากที่เก็บข้อมูลการตามรอย ซึ่งข้อมูลการตามรอยนั้นเป็นผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอย

4. เครื่องมือทำการส่งผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยไปยังมอดูลการมองการตามรอย (Trace View Module) เพื่อให้มอดูลการมองการตามรอยทำการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอย
5. เครื่องมือทำการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยกลับไปยังผู้ใช้ของเครื่องมือ

4.3 การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 การออกแบบตารางฟีเจอร์การตามรอย

เมื่อผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนต้องการที่จะสร้างข้อมูลของฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอย ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะทำการแปลงฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย (Trace Feature Table) ซึ่งเป็นตารางที่ใช้ในการระบุข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย โดยในการแปลงจะใช้หลักการที่ได้ออกแบบขึ้นซึ่งมีชื่อว่า นิยามการถ่ายทอดฟีเจอร์ (Feature Transitive Definition) ในการออกแบบตารางฟีเจอร์การตามรอย ได้มีการพิจารณาคุณลักษณะที่สำคัญของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย และกำหนดคุณลักษณะเหล่านั้นให้เป็นฟิลด์ (Field) ในตารางฟีเจอร์การตามรอย โดยคำอธิบายของคุณลักษณะต่างๆ ของฟีเจอร์จะทำหน้าที่เป็นนิยามการถ่ายทอดฟีเจอร์ เพราะสามารถบ่งบอกถึงหลักการของการแปลงฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยได้ ตารางฟีเจอร์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.6

<table>
<tr><td>ID</td><td>Name</td><td>Variation Type</td><td>Variation Point</td><td>Variability Dependencies</td><td>Constraint Dependencies</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Added Logical Version</td><td>Removed Logical Version</td><td>Changed Logical Version</td><td>Changed Container Version</td><td>Former Version ID</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ภาพที่ 4.6 ตารางฟีเจอร์การตามรอย

นิยามการถ่ายทอดฟีเจอร์ ซึ่งเป็นคำอธิบายคุณลักษณะต่างๆ ของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- เอกลักษณ์ (Identity, ID) หมายถึง เอกลักษณ์ของฟีเจอร์นั้น
- ชื่อ (Name) หมายถึง ชื่อของฟีเจอร์นั้น
- ประเภทความแปรปรวน (Variation Type) หมายถึง ประเภทความแปรปรวนของฟีเจอร์นั้น ที่ถูกแบ่งโดยหลักการที่ได้ออกแบบขึ้น ประเภทความแปรปรวนของฟีเจอร์มี 2 ประเภท ได้แก่ จุดที่เกิดความแปรปรวน (variation point) และ ตัวแปร (variant)
- จุดที่เกิดความแปรปรวน (Variation Point) หมายถึง ฟีเจอร์ที่เป็นพ่อแม่ของฟีเจอร์นั้น ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์นั้น
- ความขึ้นอยู่กันของความผันแปร (Variability Dependencies) หมายถึง ความขึ้นอยู่กันของฟีเจอร์นั้นกับฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์นั้น ว่าเป็นความขึ้นอยู่กันประเภทใด เช่น ฟีเจอร์นั้นเป็นฟีเจอร์ประเภททางเลือก (optional) ของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์นั้น เป็นต้น
- ความขึ้นอยู่กันของข้อจำกัด (Constraint Dependencies) หมายถึง ความขึ้นอยู่กันของการเลือกฟีเจอร์นั้นกับการเลือกฟีเจอร์ต่างๆ เช่น การเลือกฟีเจอร์นั้น จำเป็นจะต้องมีการเลือกอีกฟีเจอร์หนึ่งประกอบด้วยเสมอ เป็นต้น
- เวอร์ชันเชิงตรรกะที่ถูกเพิ่มขึ้น (Added Logical Version) หมายถึง เวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นที่ถูกเพิ่มขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชัน
- เวอร์ชันเชิงตรรกะที่ถูกลบออก (Removed Logical Version) หมายถึง เวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้นที่ถูกลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชัน
- เวอร์ชันเชิงตรรระกะที่ถูกเปลี่ยนแปลง (Changed Logical Version) หมายถึง เวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้นหรือฟีเจอร์ลูกของฟีเจอร์นั้น เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชัน
- เวอร์ชันเชิงบรรจุที่ถูกเปลี่ยนแปลง (Changed Container Version) หมายถึง เวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ฟีเจอร์นั้น เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชัน
- เอกลักษณ์ของเวอร์ชันก่อนหน้า (Former Version Identity (Former Version ID)) หมายถึง เอกลักษณ์ของฟีเจอร์นั้น ในแบบจำลองฟีเจอร์เวอร์ชันก่อนหน้านั้น 1 เวอร์ชัน

ซึ่งถือเป็นฟีเจอร์เดียวกัน เพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์ จึงนำไปสู่การสร้างฟีเจอร์ใหม่ ในแบบจำลองฟีเจอร์เวอร์ชันใหม่

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังกำหนดให้มีการระบุเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์ด้วย เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของแบบจำลองฟีเจอร์ในแต่ละเวอร์ชัน โดยเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์ จะถูกกำหนดให้เป็นเวอร์ชันเดียวกันกับเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาเป็นสินทรัพย์โดเมนในช่วงเวลาเดียวกัน (Release Version) และกำหนดให้มีการระบุชื่อของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่แบบจำลองฟีเจอร์นั้นแสดงถึงเข้าไปด้วย เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยนั้น เป็นฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ใด งานวิจัยนี้ยังกำหนดให้มีการเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยได้อีกด้วย เพื่อที่จะสามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ให้ตรงกับข้อมูลของฟีเจอร์ที่มีอยู่จริง

4.3.2 การออกแบบตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

เมื่อผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนต้องการที่จะสร้างข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอย ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะทำการแปลงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ให้เป็นข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (Trace Artifact Component Table) ซึ่งเป็นตารางที่ใช้ในการระบุข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย โดยในการแปลงจะใช้หลักการที่ได้ออกแบบขึ้นซึ่งมีชื่อว่า นิยามการถ่ายทอดส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component Transitive Definition) ในการออกแบบตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย ได้มีการพิจารณาคุณลักษณะที่สำคัญของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยและกำหนดคุณลักษณะเหล่านั้นให้เป็นฟิลด์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะที่สำคัญของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอาจจะแตกต่างกันไปในแต่ละสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ซึ่งจะทำให้ตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยอาจจะแตกต่างกันไปในแต่ละสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ด้วย โดยคำอธิบายของคุณลักษณะต่างๆ ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์จะทำหน้าที่เป็นนิยามการถ่ายทอดส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เพราะสามารถบ่งบอกถึงหลักการของการแปลงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ให้เป็นข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยได้ ตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.7

ID	Name	Type	Variation Type	Variation Point	Virtual Variation Point	Artifact Component Version	Former Version ID

ภาพที่ 4.7 ตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

นิยามการถ่ายทอดส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งเป็นคำอธิบายคุณลักษณะต่างๆ ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- เอกลักษณ์ (Identity, ID) หมายถึง เอกลักษณ์ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น
- ชื่อ (Name) หมายถึง ชื่อของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น
- ประเภท (Type) หมายถึง ประเภทของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น
- ประเภทความแปรปรวน (Variation Type) หมายถึง ประเภทความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์ที่ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นประกอบอยู่ หลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะสามารถระบุประเภทความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น ได้เป็นประเภทใดประเภทหนึ่งใน 3 ประเภทดังต่อไปนี้
    1. จุดที่เกิดความแปรปรวน (variation point) หมายถึง ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นมีคุณลักษณะเป็นทางเลือก ที่สามารถแบ่งไปเป็นประเภทย่อยๆ ได้ต่อไปอีก
    2. ตัวแปร (variant) หมายถึง ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นมีคุณลักษณะเป็นประเภทใดประเภทหนึ่งของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งภายในสิ่งประดิษฐ์จะมีอยู่หลากหลายประเภท
    3. ทั่วไป (common) หมายถึง ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น ไม่สามารถถูกระบุประเภทความแปรปรวนเป็นประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนและประเภทตัวแปรได้ แต่มีความต้องการที่จะทำการตามรอยส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีต่อฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยด้วย
- จุดที่เกิดความแปรปรวน (Variation Point) หมายถึง ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น จุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อาจมีมากกว่า 1 จุดก็ได้

- จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน (Virtual Variation Point) หมายถึง ฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ทำหน้าที่เหมือนกับเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อาจมีมากกว่า 1 จุดก็ได้
- เวอร์ชันส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component Version) หมายถึง เวอร์ชันที่แสดงถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น เมื่อสิ่งประดิษฐ์มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชัน
- เอกลักษณ์ของเวอร์ชันก่อนหน้า (Former Version Identity (Former Version ID)) หมายถึง เอกลักษณ์ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้น ในสิ่งประดิษฐ์เวอร์ชันก่อนหน้านั้น 1 เวอร์ชัน ซึ่งถือเป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เดียวกัน เพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์ จึงนำไปสู่การสร้างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ในสิ่งประดิษฐ์เวอร์ชันใหม่

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังกำหนดให้มีการระบุเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ด้วย เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ในแต่ละเวอร์ชัน โดยเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ จะถูกกำหนดให้เป็นเวอร์ชันเดียวกันกับเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาเป็นสินทรัพย์โดเมนในช่วงเวลาเดียวกัน และกำหนดให้มีการระบุชื่อของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่สิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้นเป็นสินทรัพย์หลักเข้าไปด้วย เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยนั้น เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ใด งานวิจัยนี้ยังกำหนดให้มีการเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยได้อีกด้วย เพื่อที่จะสามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ให้ตรงกับข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีอยู่จริง

4.3.3 **การออกแบบตารางลิงค์การตามรอย**

นอกจากตารางฟีเจอร์การตามรอยและตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้มีการออกแบบตารางลิงค์การตามรอย (Trace Link Table) ซึ่งเป็นตารางที่ใช้ในการระบุลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนต้องการที่จะสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนจะทำการตามรอยระหว่างฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางลิงค์การตามรอย ในการออกแบบตารางลิงค์การ

ตามรอย ได้มีการพิจารณาคุณลักษณะที่สำคัญของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และกำหนดคุณลักษณะเหล่านั้นให้เป็นฟิลด์ในตารางลิงค์การตามรอย ลิงค์การตามรอยที่ระบุในตารางลิงค์การตามรอยจะต้องสามารถบ่งบอกได้ว่า เป็นลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ใดกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใด ตารางลิงค์การตามรอยจะทำหน้าที่เหมือนกับเป็นตารางการเชื่อมต่อระหว่างตารางฟีเจอร์การตามรอยและตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย ซึ่งทั้ง 3 ตารางก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูลเดียวกัน ตารางลิงค์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.8

Feature ID	Artifact Component ID	Trace Link Name

ภาพที่ 4.8 ตารางลิงค์การตามรอย

คำอธิบายของคุณลักษณะต่างๆ ของลิงค์การตามรอยในตารางลิงค์การตามรอย สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- เอกลักษณ์ฟีเจอร์ (Feature Identity (Feature ID)) หมายถึง เอกลักษณ์ของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นมีการเชื่อมโยงถึง
- เอกลักษณ์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component Identity (Artifact Component ID)) หมายถึง เอกลักษณ์ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นมีการเชื่อมโยงถึง
- ชื่อลิงค์การตามรอย (Trace Link Name) หมายถึง ชื่อของลิงค์การตามรอยนั้น ซึ่งจะถูกระบุอยู่ในลักษณะของชื่อของฟีเจอร์และชื่อของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นมีการเชื่อมโยงถึง

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังกำหนดให้มีการระบุเวอร์ชันของตารางลิงค์การตามรอยด้วย เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของตารางลิงค์การตามรอยในแต่ละเวอร์ชัน โดยเวอร์ชันของตารางลิงค์การตามรอย จะถูกกำหนดให้เป็นเวอร์ชันเดียวกันกับเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่มีการตามรอยกัน ซึ่งก็คือเวอร์ชันของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาเป็นสินทรัพย์โดเมนในช่วงเวลาเดียวกัน และกำหนดให้มีการระบุชื่อของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ตารางลิงค์การตามรอยนั้นแสดงถึงเข้าไปด้วย เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าตารางลิงค์การตามรอยนั้นเป็นของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ใด งานวิจัยนี้ยังกำหนดให้มีการเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลของลิงค์การตามรอยในตารางลิงค์การตามรอยได้อีกด้วย เพื่อที่จะสามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขข้อมูลของลิงค์การตามรอยให้ตรงกับข้อมูลของลิงค์การตามรอยที่มีอยู่จริง

4.3.4 การออกแบบการสอบถามข้อมูลการตามรอย

สำหรับการออกแบบการสอบถามข้อมูลการตามรอย งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบการสอบถามข้อมูลการตามรอย เพื่อที่จะให้ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนสามารถทำการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่ต้องการผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของเครื่องมือได้ โดยอาจจะมีการระบุค่าพารามิเตอร์ของการสอบถามประกอบไปด้วยกับการสอบถามก็ได้ และเครื่องมือจะทำการประมวลผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอย และแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลการตามรอยผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของเครื่องมือกลับไปยังผู้จัดการสินทรัพย์โดเมน การสอบถามข้อมูลการตามรอยในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การสอบถามข้อมูลการตามรอยทั่วไป (General) และการสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอย (Change)

4.3.4.1 การสอบถามข้อมูลการตามรอยทั่วไป

สำหรับการสอบถามข้อมูลการตามรอยทั่วไป ประกอบด้วยการสอบถามข้อมูลการตามรอย 4 การสอบถาม ดังต่อไปนี้

- การสอบถามการตรวจสอบการตามรอย (Trace Check Query) เป็นการสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ซึ่งประกอบด้วยการสอบถามว่ามีฟีเจอร์ใดบ้างที่มาทำการตามรอย มีส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดบ้างที่มาทำการตามรอย และมีลิงค์การตามรอยใดบ้างที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ นอกจากนี้การสอบถามการตรวจสอบการตามรอยยังรวมไปถึง การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการสอบถามเป็นฟีเจอร์ใดฟีเจอร์หนึ่งหรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่ง แล้วทำการตรวจสอบว่า มีส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดหรือว่าฟีเจอร์ใดที่มีการตามรอยอยู่กับฟีเจอร์หรือส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นบ้าง
- การสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุม (Covering Analysis Query) เป็นการสอบถามว่ามีการตามรอยระหว่างฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยครบถ้วนหรือไม่ โดยผลลัพธ์ของการสอบถามจะเป็นการแสดงถึงฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่มาทำการตามรอย แต่ยังไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ เลย และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย แต่ยังไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ เลย

- การสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง (Change Impact Analysis Query) เป็นการสอบถามว่ามีส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยใดบ้างที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์เดียวกัน โดยผลลัพธ์ของการสอบถามจะเป็นการแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่า 1 ส่วนประกอบ และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์เหล่านั้น ซึ่งส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกันได้ เพราะมีการตามรอยไปยังฟีเจอร์เดียวกัน
- การสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ (Detection of Feature Interaction Query) เป็นการสอบถามว่ามีฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยใดบ้างที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เดียวกัน โดยผลลัพธ์ของการสอบถามจะเป็นการแสดงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่า 1 ฟีเจอร์ และฟีเจอร์ทั้งหมดที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เหล่านั้น ซึ่งฟีเจอร์เหล่านี้เป็นฟีเจอร์ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกันได้ เพราะมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เดียวกัน

4.3.4.2 **การสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอย**

สำหรับการสอบถามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการตามรอย ประกอบด้วยการสอบถามข้อมูลการตามรอย 1 การสอบถาม ได้แก่

- การสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ (Possible Trace Link Query) เป็นการสอบถามว่ามีลิงค์การตามรอยใหม่ ลิงค์ใดบ้าง ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์อันเนื่องมาจากวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

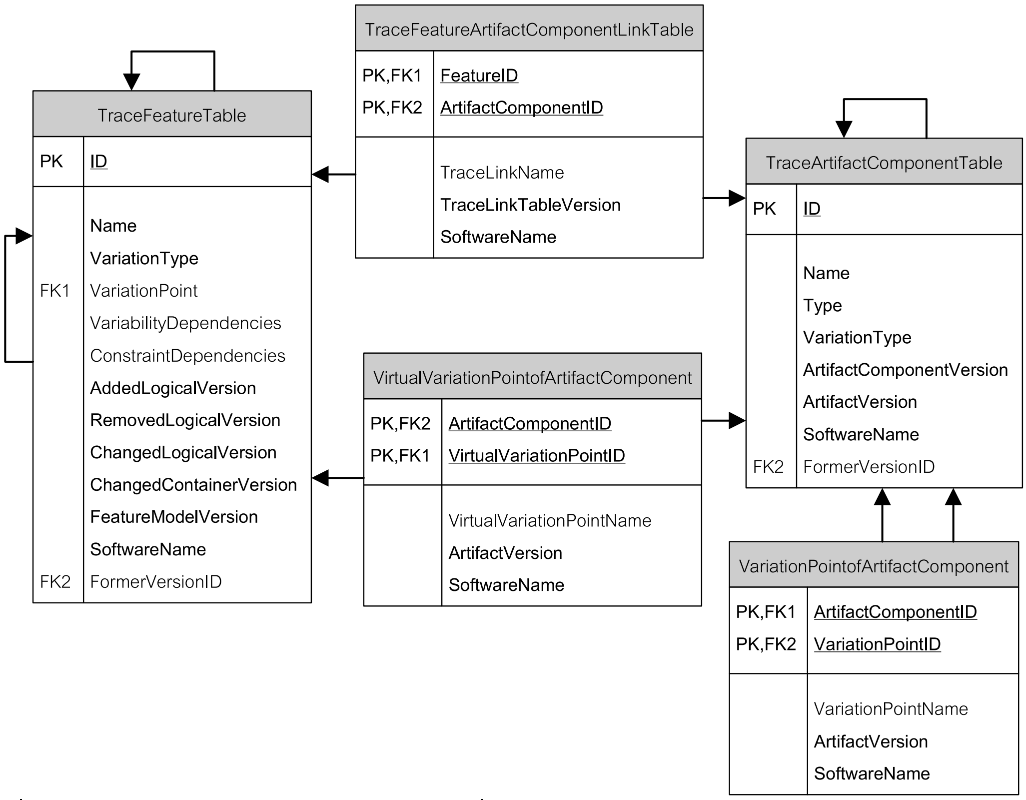
4.3.5 การออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่ใช้เป็นที่เก็บข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ได้รับการออกแบบขึ้นให้สอดคล้องกับข้อมูลการตามรอยที่ผู้จัดการสินทรัพย์โดเมนระบุขึ้น ภายหลังจากการแปลงฟีเจอร์ที่จะทำการตามรอยในแบบจำลองฟีเจอร์ให้

เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย และแปลงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ให้เป็นข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย รวมไปถึงการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางลิงค์การตามรอย ข้อมูลทั้ง 3 ตารางจะถูกจัดเก็บลงตารางในฐานข้อมูลที่ได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับข้อมูลการตามรอยในแต่ละตาราง

ตารางในฐานข้อมูลประกอบด้วย ตารางฟีเจอร์การตามรอย (TraceFeatureTable) ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย ตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (TraceArtifactComponentTable) ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย และตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (TraceFeatureArtifactComponentLinkTable) ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ นอกจากนี้ พบว่าจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่งๆ สามารถที่จะมีได้มากกว่า 1 จุด รวมไปถึงจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์หนึ่งๆ ก็สามารถที่จะมีได้มากกว่า 1 จุด เช่นเดียวกัน ส่งผลให้ในฐานข้อมูลที่ใช้เป็นที่เก็บข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ยังประกอบด้วยตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (VariationPointofArtifactComponent) ซึ่งใช้ในการจัดเก็บจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย และตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (VirtualVariationPointofArtifactComponent) ซึ่งใช้ในการจัดเก็บจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างตารางต่างๆ ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยในฐานข้อมูลสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.9

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ถึงความความสัมพันธ์ระหว่างตารางต่างๆ ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยในฐานข้อมูล รวมไปถึงความสัมพันธ์ภายในตารางเหล่านั้นด้วย จะพบว่าในการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์หนึ่งๆ จะต้องใช้ตารางในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยทั้งหมด 5 ตาราง อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้มีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ทั้งหมด 6 สิ่งประดิษฐ์ ซึ่งได้แก่ คำอธิบายยูสเคส ยูสเคสซีนาริโอ แผนภาพยูสเคส แผนภาพคลาส การ์ดความร่วมมือความรับผิดชอบของคลาส และแผนภาพกิจกรรรม จึงใช้ตารางในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ทั้งหมด 25 ตาราง



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างตารางต่างๆ ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลการตามรอยในฐานข้อมูล

4.4 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้มีรายละเอียด ดังนี้

- ไมโครคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลางชนิด Core 2 Duo ความเร็ว 1.83 กิกะเฮิรตซ์
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- ความจุจานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk) ขนาด 160 กิกะไบต์
- ความละเอียดของจอภาพขนาด 1,280 × 800 แสดงสี 32 ล้านสี

ซอฟต์แวร์ที่ใช้มีรายละเอียด ดังนี้

- ไมโครซอฟท์วินโดว์เอ็กซ์พี (Microsoft Window XP) ใช้เป็นระบบปฏิบัติการ

- โปรแกรมไมโครซอฟท์วิชวลสตูดิโอ 2010 (Microsoft Visual Studio 2010) ใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม
- โปรแกรมไมโครซอฟท์เอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ 2008 อาร์ทู (Microsoft SQL Server 2008 R2) ใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการฐานข้อมูลของโปรแกรม

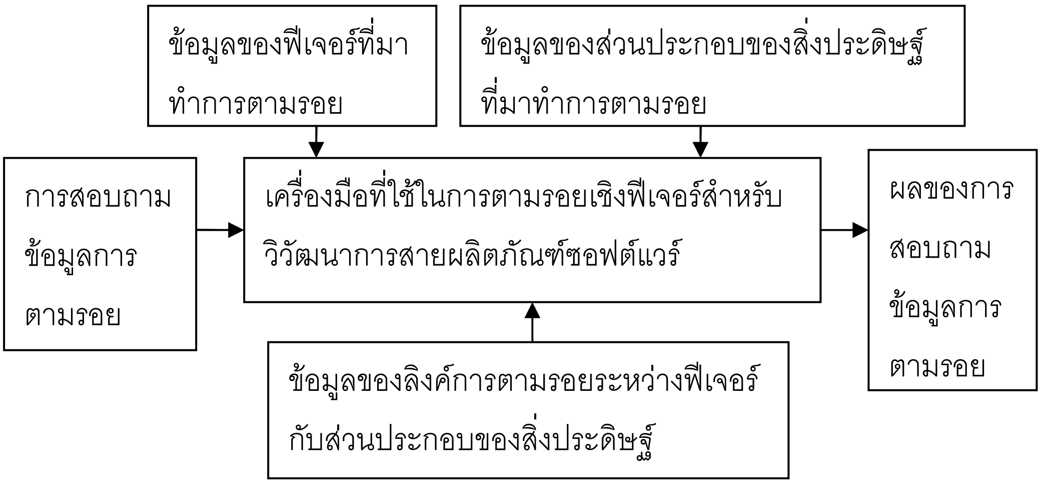
4.4.2 การใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ในการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ผู้ใช้เครื่องมือสามารถที่จะเรียกใช้งานเครื่องมือได้ใน 2 ลักษณะคือ การสร้าง ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอย และการสอบถามข้อมูลการตามรอย ในการสร้าง ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอย ผู้ใช้เครื่องมือสามารถทำได้ผ่านส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ โดยในการสร้างข้อมูลการตามรอย จะเริ่มจากการสร้างข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยในตารางฟีเจอร์การตามรอย โดยใช้การแปลงฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยด้วยนิยามการถ่ายทอดฟีเจอร์ ซึ่งข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยถือเป็นข้อมูลนำเข้าของเครื่องมือ เมื่อทำการแปลงเสร็จ ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยในตารางฟีเจอร์การตามรอยได้ โดยการกดปุ่มเพิ่มฟีเจอร์ และกรอกข้อมูลของฟีเจอร์ที่ต้องการจะเพิ่มในหน้าต่างของการเพิ่มฟีเจอร์

สำหรับการสร้างข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย สามารถทำได้โดยแปลงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ให้เป็นข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยด้วยนิยามการถ่ายทอดส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ โดยเครื่องมือนี้รองรับต่อการสร้างข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ 6 สิ่งประดิษฐ์ด้วยกัน ประกอบด้วย คำอธิบายยูสเคส ยูสเคสซีนาริโอ แผนภาพยูสเคส แผนภาพคลาส การ์ดความร่วมมือความรับผิดชอบของคลาส และแผนภาพกิจกรรรม ซึ่งข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ทั้ง 6 สิ่งประดิษฐ์นี้ ถือเป็นข้อมูลนำเข้าของเครื่องมือ เมื่อทำการแปลงเสร็จ ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยได้ โดยการกดปุ่มเพิ่มส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และกรอกข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะเพิ่มในหน้าต่างของการเพิ่มส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

สำหรับการสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางลิงค์การตามรอย สามารถทำได้โดยการกดปุ่มเพิ่มลิงค์การตามรอย และกรอกข้อมูลของลิงค์การตามรอยที่ต้องการจะเพิ่มในหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอย ซึ่งข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ถือเป็นข้อมูลนำเข้าของเครื่องมือ ในขณะที่ การลบข้อมูลการตามรอย สามารถทำได้โดยการเลือกข้อมูลการตามรอยที่ต้องการจะลบ และกดปุ่มลบข้อมูลการตามรอย เพื่อที่จะลบข้อมูลการตามรอยที่ได้เลือกไว้ และการแก้ไขข้อมูลการตามรอย สามารถทำได้โดยการเลือกข้อมูลการตามรอยที่ต้องการจะแก้ไข และกดปุ่มแก้ไขข้อมูลการตามรอย หลังจากนั้นก็ทำการแก้ไขข้อมูลการตามรอยที่ได้เลือกไว้

สำหรับการสอบถามข้อมูลการตามรอย ผู้ใช้เครื่องมือสามารถที่จะทำการสอบถามข้อมูลการตามรอย โดยการเลือกการสอบถามข้อมูลการตามรอยที่ต้องการระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ทั้ง 6 สิ่งประดิษฐ์ที่เครื่องมือนี้รองรับผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ การสอบถามข้อมูลการตามรอยที่เครื่องมือนี้มีให้กับผู้ใช้เครื่องมือมีอยู่ 5 การสอบถาม ประกอบด้วย การสอบถามการตรวจสอบการตามรอย การสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุม การสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง การสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ และการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ การสอบถามข้อมูลการตามรอยถือเป็นข้อมูลนำเข้าของเครื่องมือ หลังจากเครื่องมือทำการประมวลผลการสอบถามข้อมูลการตามรอยเสร็จ ก็จะแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้กลับไปยังผู้ใช้เครื่องมือ ผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยถือเป็นข้อมูลส่งออกของเครื่องมือ ข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออกของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออกของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

รายละเอียดของวิธีการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์อยู่ในภาคผนวก

4.5 การทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

การทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ได้มีการทดสอบความสามารถของเครื่องมือในการสร้าง ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ทั้ง 6 สิ่งประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วย คำอธิบายยูสเคส ยูสเคสซีนาริโอ แผนภาพยูสเคส แผนภาพคลาส การ์ดความร่วมมือความรับผิดชอบของคลาส และแผนภาพกิจกรรรม รวมไปถึงการทดสอบความสามารถของเครื่องมือในการสอบถามและการแสดงผลของการสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ทั้ง 6 สิ่งประดิษฐ์ด้วย

บทที่ 5
การประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

การประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ สามารถทำได้โดยการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เพราะว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เป็นวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้นี้จะส่งผลให้การตามรอยเชิงฟีเจอร์มีลักษณะเป็นการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้มีการนำกรณีศึกษาที่อยู่ในรูปแบบของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นจริงและมีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์มาใช้ในการประเมิน โดยเป็นการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

งานวิจัยนี้ได้มีการนำวิธีการวัดผลลัพธ์ด้วยค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความครบถ้วน (Recall) มาปรับใช้เข้ากับการวัดผลการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

ค่าความแม่นยำ = จำนวนของลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ / จำนวนของลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทั้งหมด

สำหรับค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

ค่าความครบถ้วน = จำนวนของลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ / จำนวนของลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด

การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้มีการนำกรณีศึกษามาใช้ในการประเมิน 2 กรณีศึกษา ซึ่งทั้ง 2 กรณีศึกษาจะแตกต่างกันที่ลักษณะของวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองฟีเจอร์ โดยกรณีศึกษาแรกจะมีการเพิ่มฟีเจอร์เข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ในลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว ในขณะที่กรณีศึกษาที่

สองจะมีการเพิ่มฟีเจอร์เข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ในลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วยวิธีการประเมิน ผลของการประเมิน อภิปรายผลของการประเมิน รวมไปถึงวิเคราะห์ผลของการประเมิน ดังนี้

5.1 การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว

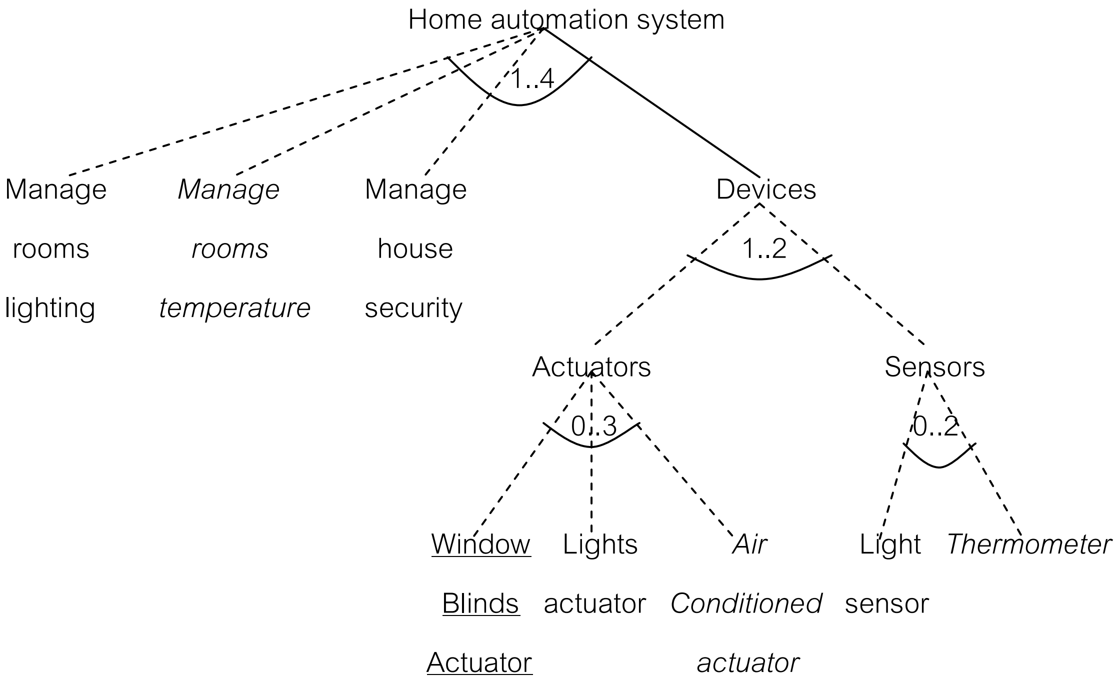
การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 วิธีการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว

กรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวที่นำมาใช้ในการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้คือ กรณีศึกษาระบบบ้านอัตโนมัติ (Home Automation system case study) [11] กรณีศึกษาระบบบ้านอัตโนมัติ เป็นกรณีศึกษาของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้มีการใช้แบบจำลองฟีเจอร์เป็นแบบจำลองความผันแปร และมีการสร้างสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์เพื่อเป็นสินทรัพย์หลักอยู่หลายสิ่งประดิษฐ์ รวมถึงมีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ด้วย งานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ เพื่อที่จะประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์

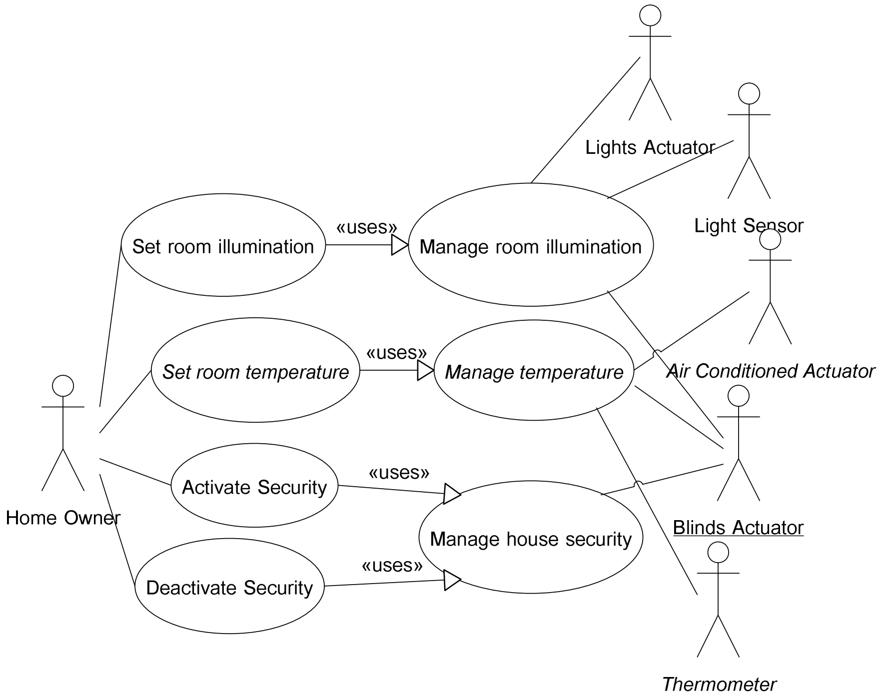
ก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติได้มีการพัฒนาแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคสเพื่อที่จะสนับสนุนต่อการจัดการแสงสว่างภายในห้อง (Room Lighting Management) การจัดการความปลอดภัยภายในบ้าน (House Security Management) รวมไปถึงอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการจัดการเหล่านั้น ต่อมามีการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยมีความต้องการที่จะให้สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สนับสนุนต่อการจัดการอุณหภูมิภายในห้อง (Room Temperature Management) ด้วย จึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคส

สำหรับแบบจำลองฟีเจอร์ มีฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ 3 ฟีเจอร์ ประกอบด้วย ฟีเจอร์ Manage rooms temperature ฟีเจอร์ Air Conditioned Actuator และ ฟีเจอร์ Thermometer ซึ่งมีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว และมีฟีเจอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง 1 ฟีเจอร์คือ ฟีเจอร์ Window Blinds Actuator แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ตัวขีดเส้นใต้คือ ฟีเจอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น)

สำหรับแผนภาพยูสเคส มียูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส 2 ยูสเคส ประกอบด้วย ยูสเคส Set room temperature และยูสเคส Manage temperature และมีแอคเตอร์ (Actor) ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส 2 แอคเตอร์ ประกอบด้วย แอคเตอร์ Air Conditioned Actuator และแอคเตอร์ Thermometer นอกจากนี้ มีแอคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง 1 แอคเตอร์คือ แอคเตอร์ Blinds actuator เพื่อที่จะสนับสนุนต่อการจัดการอุณหภูมิภายในห้อง แผนภาพยูสเคสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แผนภาพยูสเคสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ยูสเคสหรือแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ตัวขีดเส้นใต้คือ แอคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง)

จากภาพที่ 5.1 และภาพที่ 5.2 จะเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคส งานวิจัยนี้จะทำการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคส ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคส สำหรับลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของยูสเคสหรือแอคเตอร์
Manage rooms lighting	Home Owner
Manage rooms lighting	Set room illumination
Manage rooms lighting	Manage room illumination
Manage rooms lighting	Light Sensor
Manage rooms lighting	Lights Actuator

ตารางที่ 5.1 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ (ต่อ)

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของยูสเคสหรือแอคเตอร์
Manage rooms lighting	Blinds Actuator
Manage house security	Home Owner
Manage house security	Activate Security
Manage house security	Deactivate Security
Manage house security	Manage house security
Manage house security	Blinds Actuator
Window Blinds Actuator	Blinds Actuator
Lights actuator	Lights Actuator
Light sensor	Light Sensor

ในการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ของผู้ใช้ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จะเริ่มต้นด้วยการแปลงฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เพื่อที่จะสามารถระบุข้อมูลของฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในตารางฟีเจอร์การตามรอยได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน เช่นเดียวกัน จะต้องมีการแปลงยูสเคสและแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคสให้เป็นข้อมูลของยูสเคสหรือแอคเตอร์ในตารางส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสการตามรอย ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของยูสเคสและแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เพื่อที่จะสามารถระบุข้อมูลของยูสเคสและแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในตารางส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสการตามรอยได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของยูสเคสและแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่พบว่าจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Set room temperature และยูสเคส Manage temperature คือ ฟีเจอร์ Home automation system จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator คือ ฟีเจอร์ Actuators และจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Thermometer คือ ฟีเจอร์ Sensors นอกจากนี้ จะต้องมีการแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์และแอคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย

เมื่อมีการเพิ่มและแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย และมีการเพิ่มและแก้ไขข้อมูลของยูสเคสและแอคเตอร์ในตารางส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสการตามรอยเสร็จ

แล้ว ผู้ใช้ของเครื่องมือก็จะสามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพื่อที่จะค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคสหรือฟีเจอร์กับแอคเตอร์ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ ซึ่งผู้ใช้จะสามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ 1 ครั้ง เพราะแบบจำลองฟีเจอร์มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว ซึ่งฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ทั้งหมดภายในครั้งเดียว โดยงานวิจัยนี้จะทำการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ ด้วยการเปรียบเทียบลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้กับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

5.1.2 ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว

ผลของการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ (ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน)

ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง		ลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้	
ฟีเจอร์	ยูสเคสหรือแอคเตอร์	ฟีเจอร์	ยูสเคสหรือแอคเตอร์
Manage rooms temperature	Home Owner	*Manage rooms temperature*	*Set room temperature*
Manage rooms temperature	*Set room temperature*	*Manage rooms temperature*	*Manage temperature*
Manage rooms temperature	*Manage temperature*	Devices	Set room temperature
Manage rooms temperature	Thermometer	Devices	Manage temperature

ตารางที่ 5.2 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติ (ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน) (ต่อ)

ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง		ลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้	
ฟีเจอร์	ยูสเคสหรือแอคเตอร์	ฟีเจอร์	ยูสเคสหรือแอคเตอร์
Manage rooms temperature	Air Conditioned Actuator	*Air Conditioned actuator*	*Air Conditioned Actuator*
Manage rooms temperature	Blinds Actuator	Air Conditioned actuator	Blinds Actuator
Air Conditioned actuator	*Air Conditioned Actuator*	Window Blinds actuator	Air Conditioned Actuator
Thermometer	*Thermometer*	*Thermometer*	*Thermometer*

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคสหรือฟีเจอร์กับแอคเตอร์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบบ้านอัตโนมัติได้ทั้งหมด 8 ลิงค์ ซึ่ง 4 ลิงค์ใน 8 ลิงค์ที่ค้นพบเป็นลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคสหรือฟีเจอร์กับแอคเตอร์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ 4 ลิงค์ จากทั้งหมด 8 ลิงค์ที่เกิดขึ้นจริง ค่าความแม่นยำและค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 4/8 = 0.5 คิดเป็น 50%

ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 4/8 = 0.5 คิดเป็น 50%

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 ถือว่าอยู่ในระดับที่ดี (Good)(0.41-0.60) ในขณะที่ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 ถือว่าอยู่ในระดับที่ดี (Good)(0.41-0.60)

5.1.3 อภิปรายผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว

จากผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยว ซึ่งได้แก่กรณีศึกษาระบบบ้านอัตโนมัติ แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชัน

ลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคสหรือฟีเจอร์กับแอคเตอร์ได้ทั้งหมด 4 ลิงค์จากลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด 8 ลิงค์ ลิงค์การตามรอยทั้ง 4 ลิงค์ที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ จะสามารถอธิบายสาเหตุของการค้นพบได้ดังต่อไปนี้

- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Manage rooms temperature กับยูสเคส Set room temperature จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Set room temperature ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Set room temperature ซึ่งได้แก่ฟีเจอร์ Home automation system
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Manage rooms temperature กับยูสเคส Manage temperature จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Manage temperature ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Set room temperature ซึ่งได้แก่ฟีเจอร์ Home automation system
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Air Conditioned actuator กับแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Air Conditioned actuator เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator ก็เป็นแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Air Conditioned actuator เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator ซึ่งได้แก่ฟีเจอร์ Actuators
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Thermometer กับแอคเตอร์ Thermometer จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Thermometer เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และแอคเตอร์ Thermometer ก็เป็นแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส ประกอบกับจุดที่

เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Thermometer เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Thermometer ซึ่งได้แก่ฟีเจอร์ Sensors

สำหรับลิงค์การตามรอยที่ไม่ถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทั้ง 4 ลิงค์ จะสามารถอธิบายสาเหตุของการที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ไม่สามารถทำการค้นพบลิงค์การตามรอยเหล่านี้ได้ดังต่อไปนี้

- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Manage rooms temperature กับแอคเตอร์ Home Owner จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า แอคเตอร์ Home Owner มีประเภทความแปรปรวนเป็นประเภททั่วไป (common) ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนภาพยูสเคส ส่งผลให้แอคเตอร์ Home Owner ไม่มีจุดที่เกิดความแปรปรวนหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน และทำให้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างแอคเตอร์ Home Owner กับฟีเจอร์ใดๆ ได้
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Manage rooms temperature กับแอคเตอร์ Thermometer จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และแอคเตอร์ Thermometer ก็เป็นแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส แต่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Manage rooms temperature คือ ฟีเจอร์ Home automation system ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Thermometer ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Sensors
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Manage rooms temperature กับแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator ก็เป็นแอคเตอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส แต่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Manage rooms temperature คือ ฟีเจอร์ Home automation system ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Actuators
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Manage rooms temperature กับแอคเตอร์ Blinds Actuator จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ Manage rooms temperature เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้า

ไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และแอคเตอร์ Blinds Actuator เป็นแอคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Manage rooms temperature คือ ฟีเจอร์ Home automation system ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Blinds Actuator ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Actuators

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ลิงค์การตามรอยที่ไม่ถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยละเอียดพบว่า จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Thermometer ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Sensors และจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของแอคเตอร์ Air Conditioned Actuator และแอคเตอร์ Bilnds Actuator ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Actuators มีความสัมพันธ์กับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Manage rooms temperature ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Home automation system เพราะว่าจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Actuators และฟีเจอร์ Sensors คือ ฟีเจอร์ Devices และจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Devices คือ ฟีเจอร์ Home automation system ดังนั้น ความสัมพันธ์เหล่านี้ควรที่จะถูกพิจารณาด้วย เพื่อที่จะค้นหาลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่เพิ่มเติม จากลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ งานวิจัยถัดไปสามารถจะนำความสัมพันธ์เหล่านี้ไปใช้ในการปรับปรุงฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เพื่อที่จะให้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

5.2 การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์

การประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

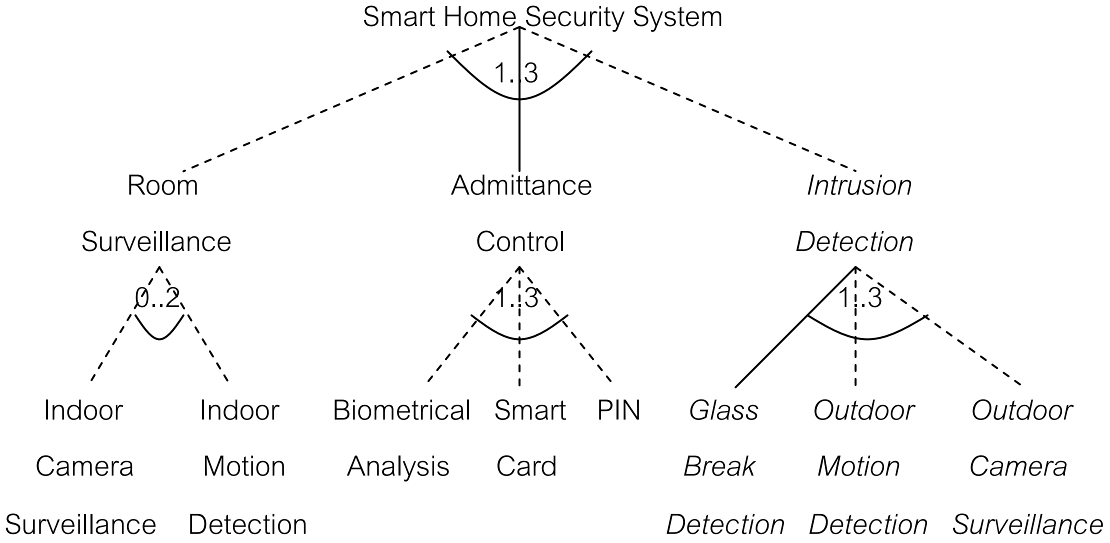
5.2.1 วิธีการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์

กรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ที่นำมาใช้ในการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้คือ กรณีศึกษาระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ (Smart Home security system case study) [15] กรณีศึกษาระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ เป็นกรณีศึกษาของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้มีการใช้แบบจำลองฟีเจอร์เป็นแบบจำลองความผันแปร และมีการสร้างสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์เพื่อเป็นสินทรัพย์หลักอยู่หลายสิ่งประดิษฐ์ รวมถึงมีการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์กับสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ด้วย งานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์

ซอฟต์แวร์ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ เพื่อที่จะประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์

ก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะได้มีการพัฒนาแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคสเพื่อที่จะสนับสนุนต่อการควบคุมการอนุญาตให้เข้าได้ (Admittance Control) และการตรวจตราภายในห้อง (Room Surveillance) ต่อมามีการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยมีความต้องการที่จะให้สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สนับสนุนต่อการตรวจพบการบุกรุก (Intrusion Detection) ด้วย จึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคส

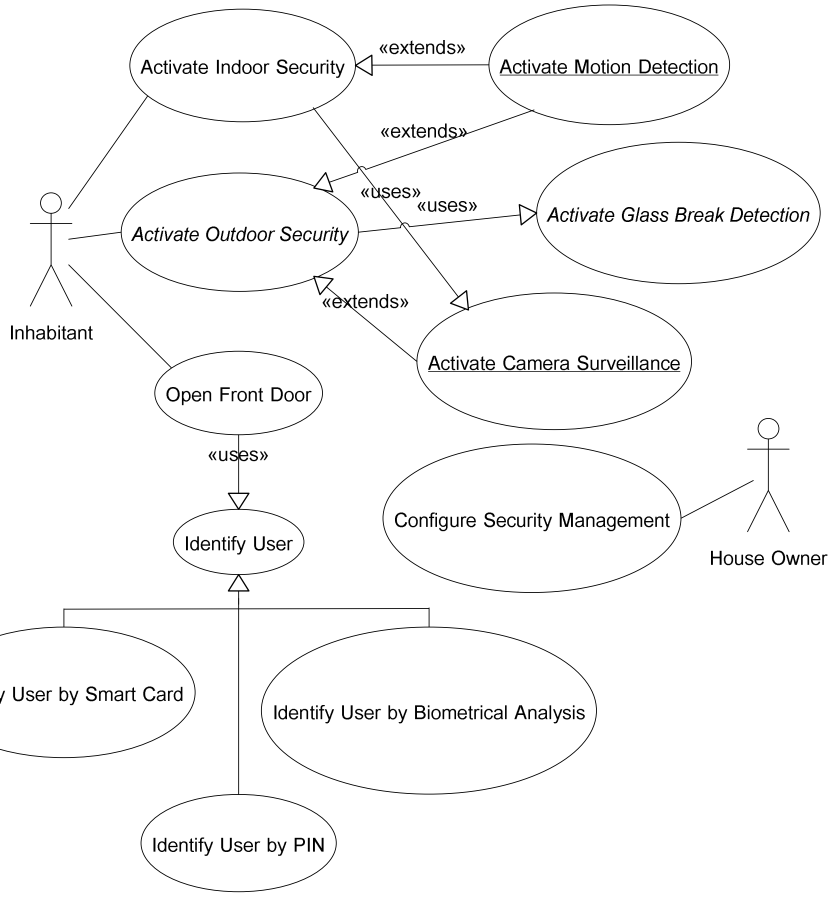
สำหรับแบบจำลองฟีเจอร์ มีฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ 4 ฟีเจอร์ ประกอบด้วย ฟีเจอร์ Intrusion Detection ฟีเจอร์ Glass Break Detection ฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection และฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance ซึ่งมีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 แบบจำลองฟีเจอร์ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เส้นประคือ ฟีเจอร์ทางเลือก เส้นทึบคือ ฟีเจอร์จำเป็น)

สำหรับแผนภาพยูสเคส มียูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส 2 ยูสเคส ประกอบด้วย ยูสเคส Activate Outdoor Security และยูสเคส Activate Glass Break Detection

และมียูสเคสที่มีการเปลี่ยนแปลง 2 ยูสเคส ประกอบด้วย ยูสเคส Activate Motion Detection และยูสเคส Activate Camera Surveillance ทั้ง 2 ยูสเคสมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะสนับสนุนต่อการตรวจพบการบุกรุก แผนภาพยูสเคสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 แผนภาพยูสเคสของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (ตัวเอียงคือ ยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ ตัวขีดเส้นใต้คือ ยูสเคสที่มีการเปลี่ยนแปลง)

จากภาพที่ 5.3 และภาพที่ 5.4 จะเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคส งานวิจัยนี้จะทำการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคส ภายหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์และแผนภาพยูสเคส สำหรับลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสก่อนวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ

ชื่อของฟีเจอร์	ชื่อของยูสเคส
Room Surveillance	Activate Indoor Security
Room Surveillance	Activate Motion Detection
Room Surveillance	Activate Camera Surveillance
Room Surveillance	Configure Security Management
Indoor Camera Surveillance	Activate Indoor Security
Indoor Camera Surveillance	Activate Camera Surveillance
Indoor Camera Surveillance	Configure Security Management
Indoor Motion Detection	Activate Indoor Security
Indoor Motion Detection	Activate Motion Detection
Indoor Motion Detection	Configure Security Management
Admittance Control	Identify User
Admittance Control	Open Front Door
Admittance Control	Configure Security Management
Biometrical Analysis	Identify User by Biometrical Analysis
Biometrical Analysis	Open Front Door
Biometrical Analysis	Configure Security Management
Smart Card	Identify User by Smart Card
Smart Card	Open Front Door
Smart Card	Configure Security Management
PIN	Identify User by PIN
PIN	Open Front Door
PIN	Configure Security Management

ในการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ของผู้ใช้ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จะเริ่มต้นด้วยการแปลงฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ให้เป็นข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เพื่อที่จะสามารถระบุข้อมูลของฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในตารางฟีเจอร์การตามรอยได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน เช่นเดียวกัน จะต้องมีการแปลง

ยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคสให้เป็นข้อมูลของยูสเคสในตารางส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสการตามรอย ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ เพื่อที่จะสามารถระบุข้อมูลของยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในตารางส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสการตามรอยได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่พบว่า จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Activate Outdoor Security คือ ฟีเจอร์ Smart Home Security System และจุดที่เกิดความแปรปรวนของยูสเคส Activate Glass Break Detection คือ ยูสเคส Activate Outdoor Security นอกจากนี้ จะต้องมีการแก้ไขข้อมูลของยูสเคสที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย ซึ่งพบว่ามีการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนของยูสเคส Activate Motion Detection และยูสเคส Activate Camera Surveillance เพิ่มเติม โดยจุดที่เกิดความแปรปรวนของยูสเคส Activate Motion Detection และยูสเคส Activate Camera Surveillance ที่ระบุเพิ่มเติมคือ ยูสเคส Activate Outdoor Security

เมื่อมีการเพิ่มข้อมูลของฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย และมีการเพิ่มและแก้ไขข้อมูลของยูสเคสในตารางส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสการตามรอยเสร็จแล้ว ผู้ใช้ของเครื่องมือก็จะสามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพื่อที่จะค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคส ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ ซึ่งผู้ใช้จะสามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ 2 ครั้ง เพราะแบบจำลองฟีเจอร์มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ ซึ่งความสูงของกลุ่มฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มเข้ามาใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์คือ 1 โดยงานวิจัยนี้จะทำการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ ด้วยการเปรียบเทียบลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้กับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

5.2.2 ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์

ผลของการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของแผนภาพยูสเคสภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ สามารถแสดงได้ในลักษณะของผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการเรียกใช้งานในแต่ละครั้ง จากการเรียกใช้งานทั้งหมด 2 ครั้ง ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการเรียกใช้งานในครั้งที่ 1 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 1 เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ (ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน)

ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง		ลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้	
ฟีเจอร์	ยูสเคส	ฟีเจอร์	ยูสเคส
Intrusion Detection	*Activate Outdoor Security*	*Intrusion Detection*	*Activate Outdoor Security*
Intrusion Detection	Configure Security Management		
Glass Break Detection	Activate Outdoor Security		
Glass Break Detection	Activate Glass Break Detection		
Glass Break Detection	Configure Security Management		
Outdoor Motion Detection	Activate Outdoor Security		
Outdoor Motion Detection	Activate Motion Detection		
Outdoor Motion Detection	Configure Security Management		
Outdoor Camera Surveillance	Activate Outdoor Security		
Outdoor Camera Surveillance	Activate Camera Surveillance		
Outdoor Camera Surveillance	Configure Security Management		

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าในการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 1 ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคส ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะได้ทั้งหมด 1 ลิงค์ ซึ่งเป็นลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคส อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ 1 ลิงค์ จากทั้งหมด 11 ลิงค์ที่เกิดขึ้นจริง ค่าความแม่นยำและค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการเรียกใช้งานในครั้งที่ 1 จะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 1/1 = 1 คิดเป็น 100%

ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 1/11 = 0.09 คิดเป็น 9%

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ถือว่าอยู่ในระดับที่ดีเยี่ยม (Excellent)(0.81-1.00) ในขณะที่ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.09 ถือว่าอยู่ในระดับที่แย่ (Poor)(0.00-0.20)

ก่อนที่จะมีการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 เพื่อที่จะค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคสเพิ่มเติมจากลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 1 จะต้องมีการระบุลิงค์การตามรอยที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทำการค้นหาในครั้งที่ 1 ให้ครบถ้วนเสียก่อน ซึ่งก็คือลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคสในแผนภาพยูสเคส พบว่ามีลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคสในแผนภาพยูสเคสอยู่ 2 ลิงค์ที่ต้องทำการระบุก่อนการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 ลิงค์การตามรอยทั้ง 2 ลิงค์ที่ต้องทำการระบุประกอบด้วย ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคส Activate Outdoor Security และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคส Configure Security Management

เมื่อมีการระบุลิงค์การตามรอยที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทำการค้นหาในครั้งที่ 1 ซึ่งก็คือลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคส Activate Outdoor Security และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคส Configure Security Management เสร็จ ก็จะสามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 ได้ ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการเรียกใช้งานในครั้งที่ 2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 เปรียบเทียบกับลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ (ตัวเอียงคือ ลิงค์การตามรอยที่เหมือนกัน)

ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง		ลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้	
ฟีเจอร์	ยูสเคส	ฟีเจอร์	ยูสเคส
Intrusion Detection	Activate Outdoor Security	*Glass Break Detection*	*Activate Glass Break Detection*
Intrusion Detection	Configure Security Management	Glass Break Detection	Activate Motion Detection
Glass Break Detection	Activate Outdoor Security	Glass Break Detection	Activate Camera Surveillance
Glass Break Detection	*Activate Glass Break Detection*	Outdoor Motion Detection	Activate Glass Break Detection
Glass Break Detection	Configure Security Management	*Outdoor Motion Detection*	*Activate Motion Detection*
Outdoor Motion Detection	Activate Outdoor Security	Outdoor Motion Detection	Activate Camera Surveillance
Outdoor Motion Detection	*Activate Motion Detection*	Outdoor Camera Surveillance	Activate Glass Break Detection
Outdoor Motion Detection	Configure Security Management	Outdoor Camera Surveillance	Activate Motion Detection
Outdoor Camera Surveillance	Activate Outdoor Security	*Outdoor Camera Surveillance*	*Activate Camera Surveillance*
Outdoor Camera Surveillance	*Activate Camera Surveillance*		
Outdoor Camera Surveillance	Configure Security Management		

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าในการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งที่ 2 ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคส ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะได้ทั้งหมด 9 ลิงค์ ซึ่ง 3 ลิงค์ใน 9 ลิงค์ที่ค้นพบเป็นลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคส อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดจะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ 3 ลิงค์ จากทั้งหมด 11 ลิงค์ที่เกิดขึ้นจริง ค่าความแม่นยำและค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการเรียกใช้งานในครั้งที่ 2 จะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 3/9 = 0.33 คิดเป็น 33%

ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 3/11 = 0.27 คิดเป็น 27%

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.33 ถือว่าอยู่ในระดับที่ปานกลาง (Average)(0.21-0.40) ในขณะที่ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.27 ถือว่าอยู่ในระดับที่ปานกลาง (Average)(0.21-0.40)

เมื่อมีการนำผลลัพธ์ของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน พบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะได้ทั้งหมด 10 ลิงค์ ซึ่ง 4 ลิงค์ใน 10 ลิงค์ที่ค้นพบเป็นลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดจะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ 4 ลิงค์ จากทั้งหมด 11 ลิงค์ที่เกิดขึ้นจริง ค่าความแม่นยำและค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการเรียกใช้งาน 2 ครั้งรวมกันจะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 4/10 = 0.40 คิดเป็น 40%

ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ = 4/11 = 0.36 คิดเป็น 36%

ค่าความแม่นยำของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.40 ถือว่าอยู่ในระดับที่ปานกลาง (Average)(0.21-0.40) ในขณะที่ค่าความครบถ้วนของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.36 ถือว่าอยู่ในระดับที่ปานกลาง (Average)(0.21-0.40)

5.2.3 อภิปรายผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์

จากผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยกรณีศึกษาที่มีลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ ซึ่งได้แก่กรณีศึกษาระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ แสดง

ให้เห็นว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับยูสเคสได้ทั้งหมด 4 ลิงค์จากลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด 11 ลิงค์ ลิงค์การตามรอยทั้ง 4 ลิงค์ที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ จะสามารถอธิบายสาเหตุของการค้นพบได้ดังต่อไปนี้

- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคส Activate Outdoor Security จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Intrusion Detection เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Outdoor Security ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Intrusion Detection เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Activate Outdoor Security ซึ่งได้แก่ฟีเจอร์ Smart Home Security System
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Glass Break Detection กับยูสเคส Activate Glass Break Detection จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Glass Break Detection เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Glass Break Detection ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Glass Break Detection ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Intrusion Detection มีลิงค์การตามรอยเชื่อมโยงไปยังจุดที่เกิดความแปรปรวนของยูสเคส Activate Glass Break Detection ซึ่งก็คือยูสเคส Activate Outdoor Security
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection กับยูสเคส Activate Motion Detection จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Motion Detection เป็นยูสเคสที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Intrusion Detection มีลิงค์การตามรอยเชื่อมโยงไปยังจุดที่เกิดความแปรปรวนของยูสเคส Activate Motion Detection ซึ่งก็คือยูสเคส Activate Outdoor Security
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance กับยูสเคส Activate Camera Surveillance จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่ม

เข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Camera Surveillance เป็นยูสเคสที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ประกอบกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Intrusion Detection มีลิงค์การตามรอยเชื่อมโยงไปยังจุดที่เกิดความแปรปรวนของยูสเคส Activate Camera Surveillance ซึ่งก็คือยูสเคส Activate Outdoor Security

สำหรับลิงค์การตามรอยที่ไม่ถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทั้ง 7 ลิงค์ จะสามารถอธิบายสาเหตุของการที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ไม่สามารถทำการค้นพบลิงค์การตามรอยเหล่านี้ได้ดังต่อไปนี้

- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Glass Break Detection กับยูสเคส Activate Outdoor Security จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ Glass Break Detection เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Outdoor Security ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส แต่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Glass Break Detection คือ ฟีเจอร์ Intrusion Detection ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Activate Outdoor Security ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Smart Home Security System
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection กับยูสเคส Activate Outdoor Security จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Outdoor Security ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส แต่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection คือ ฟีเจอร์ Intrusion Detection ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Activate Outdoor Security ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Smart Home Security System
- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance กับยูสเคส Activate Outdoor Security จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยนี้ได้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance เป็นฟีเจอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแบบจำลองฟีเจอร์ และยูสเคส Activate Outdoor Security ก็เป็นยูสเคสที่ถูกเพิ่มเข้าไปใหม่ในแผนภาพยูสเคส แต่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance คือ ฟีเจอร์ Intrusion Detection ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับ

จุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Activate Outdoor Security ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Smart Home Security System

- ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Intrusion Detection กับยูสเคส Configure Security Management, ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Glass Break Detection กับยูสเคส Configure Security Management, ลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection กับยูสเคส Configure Security Management และลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance กับยูสเคส Configure Security Management จะพบว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยเหล่านี้ได้ก็เพราะว่า ยูสเคส Configure Security Management มีประเภทความแปรปรวนเป็นประเภททั่วไป (common) ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนภาพยูสเคส ส่งผลให้ยูสเคส Configure Security Management ไม่มีจุดที่เกิดความแปรปรวนหรือจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน และทำให้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่าง ยูสเคส Configure Security Management กับฟีเจอร์ใดๆ ได้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ลิงค์การตามรอยที่ไม่ถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยละเอียดพบว่า จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Glass Break Detection, ฟีเจอร์ Outdoor Motion Detection และฟีเจอร์ Outdoor Camera Surveillance ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Intrusion Detection มีความสัมพันธ์กับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของยูสเคส Activate Outdoor Security ซึ่งก็คือฟีเจอร์ Smart Home Security System เพราะว่าจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ Intrusion Detection คือ ฟีเจอร์ Smart Home Security System ดังนั้น ความสัมพันธ์เหล่านี้ควรที่จะถูกพิจารณาด้วย เพื่อที่จะค้นหาลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่เพิ่มเติม จากลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ งานวิจัยถัดไปสามารถจะนำความสัมพันธ์เหล่านี้ไปใช้ในการปรับปรุงฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เพื่อที่จะให้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

5.3 วิเคราะห์ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพิ่มเติม

นอกจากการอภิปรายผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้แล้ว ยังสามารถวิเคราะห์ผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้เพิ่มเติมได้คือ จากผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะมีประโยชน์ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ก็ต่อเมื่อ ผู้ใช้ของฟังก์ชันทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์และระบุประเภทความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยเป็นประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนหรือประเภทตัวแปร ถ้าประเภทความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยเป็นประเภททั่วไปแล้ว ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะไม่สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นกับฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ได้

อย่างไรก็ตาม จากคุณลักษณะของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ จะประกอบด้วยความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์จำนวนมากมาย ซึ่งทำให้สิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ประกอบด้วยส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีประเภทความแปรปรวนเป็นประเภทจุดที่เกิดความแปรปรวนและประเภทตัวแปรเป็นส่วนมาก ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ ดังนั้นฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ก็จะมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

บทที่ 6
บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุป สิ่งที่ได้จากการวิจัย ข้อจำกัด และแนวทางการวิจัยต่อ ดังนี้

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือ ปัญหาการขาดการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหานี้ด้วยการนำเสนอฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะช่วยในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ต้องใช้ความรู้พื้นฐานของการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ แต่พบว่าการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ยังมีปัญหาอยู่ดังนี้ ปัญหาแรกคือ เวอร์ชันของฟีเจอร์ไม่สามารถระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์ได้ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหานี้ด้วยการนำเสนอเวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์จะช่วยในการระบุจำนวนของฟีเจอร์ลูกของแต่ละฟีเจอร์ที่มีการเพิ่มเข้ามาในแบบจำลองฟีเจอร์ และลบออกจากแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง รวมไปถึง จำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับฟีเจอร์ลูกของแต่ละฟีเจอร์และจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ เมื่อแบบจำลองฟีเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงด้วย

ปัญหาที่สองคือ การที่ต้องค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหานี้ด้วยการนำเสนอการประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์ การประยุกต์หลักการแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์คือการแบ่งฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ฟีเจอร์ประเภทจุดที่เกิดความ

แปรปรวนซึ่งแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวน และฟีเจอร์ประเภทตัวแปรซึ่งแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปร วิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เหล่านี้จะเป็นพื้นฐานของการออกแบบฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้

งานวิจัยนี้ได้มีการประเมินวิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยได้มีการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วยกรณีศึกษา 2 กรณีศึกษา จากผลของการประเมินฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแม่นยำและค่าครบถ้วนของการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้อยู่ในระดับปานกลางถึงระดับดี ทำให้สามารถสรุปได้ว่าฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญคือ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ประกอบอยู่ด้วย เพื่อที่ว่าผู้ใช้ของเครื่องมือจะสามารถใช้ฟังก์ชันนี้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้ และงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบความสามารถของเครื่องมือในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ด้วย

6.2 **สิ่งที่ได้จากการวิจัย** (Contribution)

สิ่งที่ได้จากการวิจัยนี้ ได้แก่

1. ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งฟังก์ชันนี้จะส่งผลให้การตามรอยเชิงฟีเจอร์มีลักษณะเป็นการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์
2. เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์ในแบบจำลองฟีเจอร์ เวอร์ชันรูปแบบใหม่ของฟีเจอร์นี้จะมีประโยชน์ในการระบุถึงประเภทของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองฟีเจอร์ที่ส่งผลกระทบต่อฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการติดตาม

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยอยู่ด้วยกับฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์

3. การประยุกต์หลักการของแบบจำลองความผันแปรเชิงตั้งฉากมาใช้ในแบบจำลองฟีเจอร์ ซึ่งการประยุกต์นี้มีประโยชน์คือ การประหยัดเวลาในการค้นหาฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนและฟีเจอร์ที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรในแบบจำลองฟีเจอร์ เมื่อมีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ รวมไปถึงหลักการของการระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อไม่สามารถระบุจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์อื่นได้

6.3 ข้อจำกัด

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่นำเสนอขึ้นในงานวิจัยนี้ มีความเหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ในลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบฟีเจอร์เดี่ยวเท่านั้น เพราะจะสามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ทั้งหมดภายในครั้งเดียว ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองฟีเจอร์ในลักษณะของการเพิ่มฟีเจอร์แบบกลุ่มฟีเจอร์ จะต้องมีการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้มากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งก่อนที่จะมีการเรียกใช้งานฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในครั้งถัดไป จะต้องมีการระบุลิงค์การตามรอยที่ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ทำการค้นหาในครั้งนั้นในครบถ้วนเสียก่อน จึงไม่เป็นการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน
2. ผู้ใช้ของเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองฟีเจอร์ และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์เป็นอย่างดี จึงจะสามารถทำการตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างถูกต้องตรงตามข้อมูลการตามรอยที่มีอยู่จริง
3. วิธีการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่งานวิจัยนี้นำเสนอขึ้นเป็นการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ในระดับของฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมถึงการตามรอยในระดับของกลุ่มของฟีเจอร์และกลุ่มของสิ่งประดิษฐ์ รวมถึงการตามรอยในระดับของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์

6.4 แนวทางการวิจัยต่อ

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ วิธีการแก้ปัญหาที่นำเสนอได้แก่ ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ อย่างไรก็ตาม จากผลการประเมินความสามารถของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พบว่า ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้บางส่วน จากลิงค์การตามรอยที่เกิดขึ้นใหม่จริงๆ ทั้งหมด

เมื่อมีการวิเคราะห์ลิงค์การตามรอยที่ไม่สามารถถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้พบว่า ลิงค์การตามรอยเหล่านั้นไม่สามารถถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เพราะว่าจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงไม่ได้มีการตามรอยกับจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึง และจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงก็ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงด้วย

อย่างไรก็ตาม เมื่อได้มีการวิเคราะห์ลิงค์การตามรอยที่ไม่สามารถถูกค้นพบโดยฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้โดยละเอียดพบว่า มีลิงค์การตามรอยบางลิงค์ที่จุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงมีความสัมพันธ์กับจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึง โดยฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงจะมีความสัมพันธ์กับฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงในลักษณะของความสัมพันธ์แบบบรรพบุรุษ-ลูกหลาน (Ancestor-Descendant) ในต้นไม้ฟีเจอร์ โดยความสัมพันธ์ที่ค้นพบมี 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

- ฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงเป็นบรรพบุรุษ (Ancestor) ของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึง หรืออาจกล่าวได้ว่าฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงเป็นลูกหลาน (Descendant) ของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึง

- ฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงเป็นบรรพบุรุษของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึง หรืออาจกล่าวได้ว่าฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึงเป็นลูกหลานของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ลิงค์การตามรอยนั้นเชื่อมโยงถึง

ความสัมพันธ์แบบบรรพบุรุษ-ลูกหลานของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์กับฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในต้นไม้ฟีเจอร์ ควรที่จะถูกพิจารณาเข้าไปด้วยในการค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งแนวทางในการวิจัยต่อของงานวิจัยนี้คือ การนำความสัมพันธ์แบบบรรพบุรุษ-ลูกหลานของฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนของฟีเจอร์กับฟีเจอร์ที่เป็นจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในต้นไม้ฟีเจอร์ มาปรับใช้เข้ากับอัลกอริทึมของฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เพื่อที่จะให้ฟังก์ชันลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้สามารถค้นหาลิงค์การตามรอยที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] Palmer, J.D. Traceability. In R. Thayer and M. Dorfman (2nd ed.), Software Requirements Engineering, pp.412-422. California : IEEE Computer Society Press, 2000.

[2] Greenfield, J., and Short, K. Software Factories: Assembling Applications with Patterns, Models, Frameworks, and Tools. Indianapolis : Wiley, 2004.

[3] Sommerville, I. Software Engineering. 8th ed. New York, USA: Addison-Wesley, 2007.

[4] Davis, A.M. Software Requirements: Objects, Functions and States. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 1993.

[5] Kotonya, G., and Sommerville, I. Requirements Engineering: Processes and Techniques. 1st ed. New York, USA: John Wiley & Sons, 1998.

[6] UNL/FCT. Traceability Requirements. Aspect-Oriented, Model-Driven, Product Line Engineering (AMPLE), AMPLE Internal Documentation, 2007.

[7] Schmid, K., van der Linden, F., and Rommes, E. Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering. Puducherry, India: Integra Software Services Pvt., 2007.

[8] Pohl, K., Böckle, G., and van der Linden, F. Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques. Berlin, Germany: Springer, 2005.

[9] Kang, K., Cohen, S., Hess, J., Novak, W., and Peterson, A. Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study. Software Engineering Institute, Technical report, CMU/SEI-90-TR-021, 1990.

[10] Anquetil, N., and others. A model-driven traceability framework for software product lines. Software and Systems Modeling, Springer Berlin/Heidelberg, 2009.

[11] Sousa, A. Traceability Support in Software Product Lines. Master's Thesis, Department of Informatics, Faculty of Sciences and Technology New University of Lisbon, 2008.

[12] Khan, S.S., and others. State-of-the-art for traceability in software product line development, with specific focus on aspect traceability in the software

development process. Evaluate the potential benefits of aspect oriented programming and model-driven engineering. Aspect-Oriented, Model-Driven, Product Line Engineering (AMPLE), Survey, M4.1, 2007.

[13] Berg, K., and Bishop, J. Tracing software product line variability: from problem to solution space. Proceedings of the 2005 annual research conference of the South African institute of computer scientists and information technologists on IT research in developing countries, pp.182-191. Republic of South Africa: South African Institute for Computer Scientists and Information Technologists, 2005.

[14] Mitschke, R., and Eichberg, M. Supporting the Evolution of Software Product Lines. ECMDA Traceability Workshop (ECMDA-TW) 2008 Proceedings, pp.87-96. Trondheim, Norway: SINTEF ICT, 2008.

[15] Alférez, M., Kulesza, U., Moreira, A., Araújo, J., and Amaral, V. Tracing between Features and Use Cases: A Model-Driven Approach. In Patrick Heymans, Kyo-Chul Kang, Andreas Metzger, and Klauss Pohl (eds.), Proceedings of the Second International Workshop on Variability Modelling of Software Intensive Systems, pp.81-88. Germany: Institute für Informatik und Wirtschaftsinformatik (ICB), 2008.

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

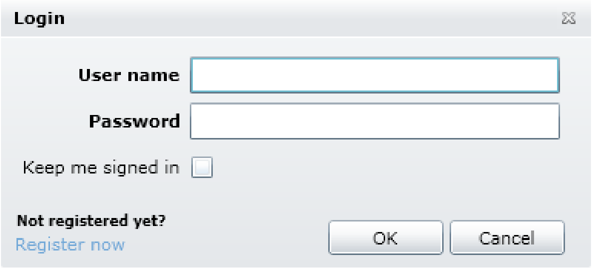
ในบทนี้จะอธิบายถึงการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ผู้ใช้ของเครื่องมือสามารถที่จะเรียกใช้งานเครื่องมือได้ใน 2 ลักษณะประกอบด้วย

- การสร้าง ลบ และแก้ไข ข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์
- การสอบถามข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์

การใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการตามรอยเชิงฟีเจอร์สำหรับวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

<u>การเข้าสู่ระบบ (Login)</u>

เมื่อผู้ใช้ของเครื่องมือทำการเรียกใช้งานเครื่องมือผ่านการเข้าใช้งานเว็บไซต์ที่กำหนดไว้ ผู้ใช้จะต้องทำการเข้าสู่ระบบเพื่อที่จะสามารถใช้งานเครื่องมือได้ในทุกฟังก์ชันการทำงาน เครื่องมือได้มีการกำหนดสิทธิในการเข้าใช้เครื่องมือ ซึ่งทำให้ผู้ใช้จะต้องยืนยันตัวตน (Authentication) ก่อนที่จะเข้าใช้เครื่องมือ เพื่อเป็นการกำหนดว่าผู้ใช้ที่มีสิทธิเท่านั้นถึงจะสามารถสร้าง ลบ และแก้ไขข้อมูลการตามรอยระหว่างแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ได้ การเข้าสู่ระบบของผู้ใช้สามารถทำได้โดยการคลิกคำว่า login ที่ด้านขวาบนของเว็บไซต์ในแถบสีเทาเข้ม เมื่อผู้ใช้คลิกคำว่า login เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการเข้าสู่ระบบดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หน้าต่างของการเข้าสู่ระบบ

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการกรอกชื่อผู้ใช้ (User name) และรหัสผ่าน (Password) ในช่องที่กำหนดไว้ เมื่อผู้ใช้ทำการกรอกข้อมูลเสร็จและทำการคลิกปุ่ม OK ผู้ใช้ก็จะสามารถเข้าสู่ระบบได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ใช้มีความต้องการที่จะให้เว็บไซต์ทำการเข้าสู่ระบบโดยอัตโนมัติ

ในทุกครั้งที่ผู้ใช้ทำการเข้าเว็บไซต์ ผู้ใช้จะสามารถทำได้โดยการคลิกในกล่องสี่เหลี่ยมหลังคำว่า Keep me signed in ในขณะที่ ถ้าผู้ใช้ยังไม่ได้ทำการลงทะเบียน เพื่อระบุชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ ผู้ใช้จะสามารถลงทะเบียนได้โดยการคลิกคำว่า Register now เมื่อผู้ใช้ทำการคลิกคำว่า Register now เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการลงทะเบียนดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 หน้าต่างของการลงทะเบียน

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะสามารถลงทะเบียนได้ โดยการระบุข้อมูลของผู้ใช้ลงในแต่ละช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และคลิกปุ่ม OK ระบบจะทำการจดจำข้อมูลของผู้ใช้ และผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบได้ด้วยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านที่ผู้ใช้ทำการลงทะเบียนไว้

<u>การสอบถามฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถทำการสอบถามฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย โดยการคลิกคำว่า Feature Model ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้น ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยทั้งหมดได้ โดยการสังเกตข้อมูลในตารางฟีเจอร์การตามรอย (Trace Feature Table) ตัวอย่างของตารางฟีเจอร์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3

Trace Feature Table

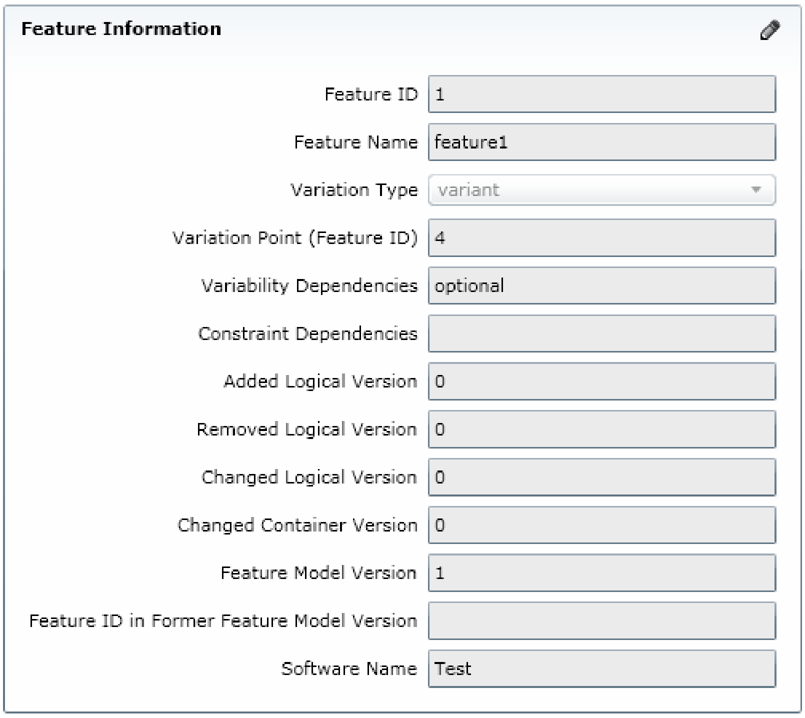
Please enter : Feature ID Feature Name

ID ▲	Name	Variation Type	Variation Point	Variability Dependencies	Constraint Dependencies	Added L
1	feature1	variant	4	optional		0
3	feature2	variant	4	mandatory		0
4	feature3	variation point	11	mandatory		0
5	feature4	variant	10	optional		0
9	feature5	variant	10	optional		0

Page 1 of 13

ภาพที่ 3 ตัวอย่างของตารางฟีเจอร์การตามรอย

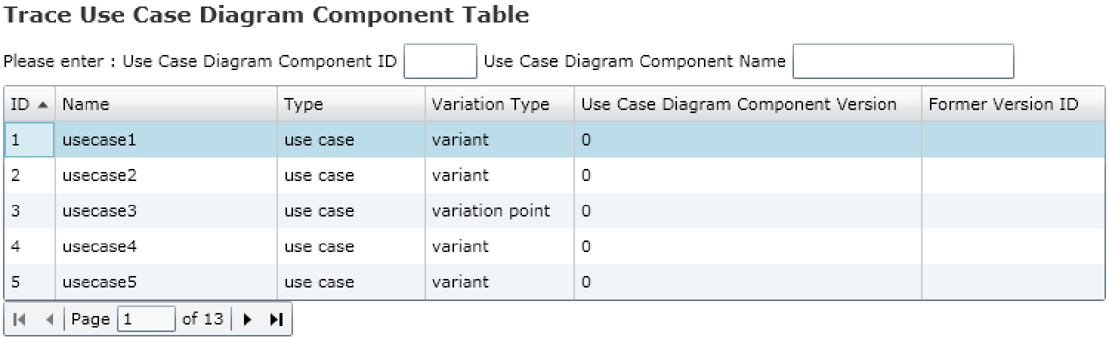
นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถทำการค้นหาข้อมูลของฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการระบุเอกลักษณ์ของฟีเจอร์ (Feature ID) หรือชื่อของฟีเจอร์ (Feature Name) ที่ผู้ใช้สนใจลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ เครื่องมือจะทำการค้นหาฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางฟีเจอร์การตามรอยและแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาออกมา ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยแต่ละฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอยได้ โดยการคลิกเลือกฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย และสังเกตที่แบบฟอร์มข้อมูล (Data Form) ด้านล่างของตารางฟีเจอร์การตามรอย ซึ่งจะบ่งบอกถึงข้อมูลของฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียด

<u>การสอบถามส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถทำการสอบถามส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะดูข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้น ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยทั้งหมดได้ โดยการสังเกตข้อมูลในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (Trace Artifact Component Table) ตัวอย่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5



Trace Use Case Diagram Component Table

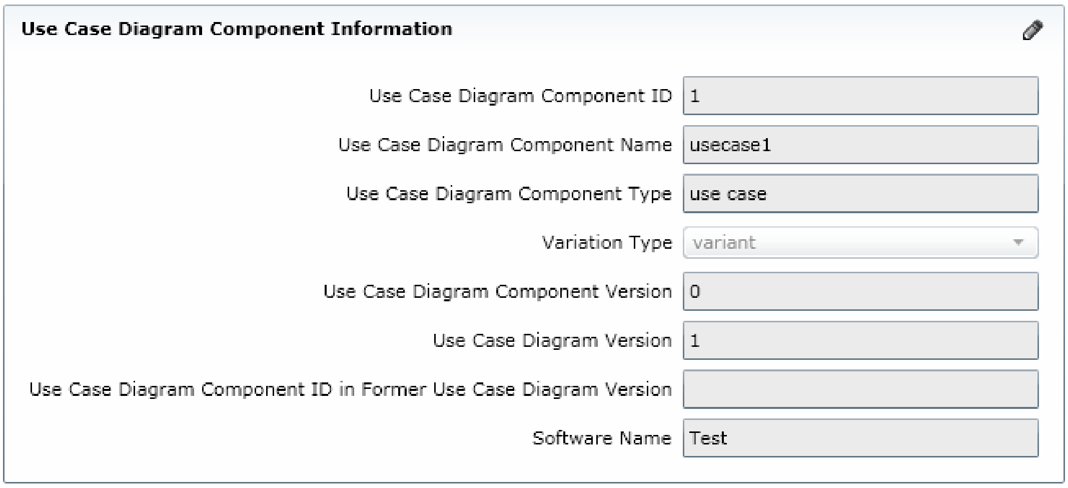
Please enter : Use Case Diagram Component ID [ ] Use Case Diagram Component Name [ ]

ID	Name	Type	Variation Type	Use Case Diagram Component Version	Former Version ID
1	usecase1	use case	variant	0	
2	usecase2	use case	variant	0	
3	usecase3	use case	variation point	0	
4	usecase4	use case	variant	0	
5	usecase5	use case	variant	0	

Page 1 of 13

ภาพที่ 5 ตัวอย่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

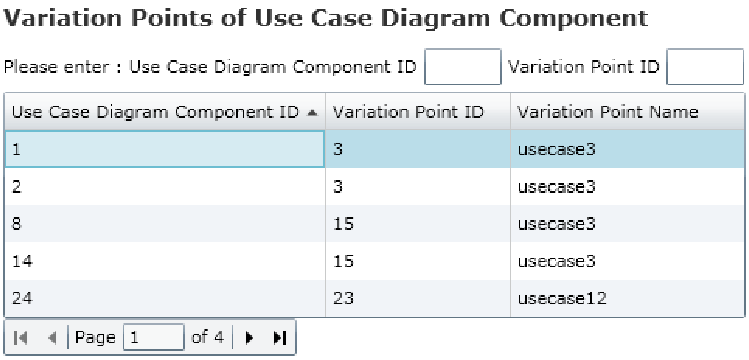
นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถทำการค้นหาข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการระบุเอกลักษณ์ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component ID) หรือชื่อของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component Name) ที่ผู้ใช้สนใจลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ เครื่องมือจะทำการค้นหาส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยและแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาออกมา ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยแต่ละส่วนประกอบในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยได้ โดยการคลิกเลือกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และสังเกตที่แบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย ซึ่งจะบ่งบอกถึงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบที่ถูกเลือกโดยละเอียด ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด

<u>การสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถทำการสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะดูข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้น ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยทั้งหมดได้ โดยการสังเกตข้อมูลในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Variation Points of Artifact Component) ตัวอย่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7



Variation Points of Use Case Diagram Component

Please enter : Use Case Diagram Component ID [ ] Variation Point ID [ ]

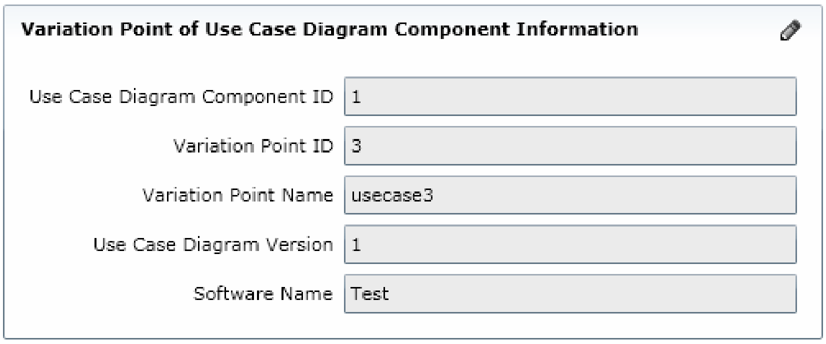
Use Case Diagram Component ID	Variation Point ID	Variation Point Name
1	3	usecase3
2	3	usecase3
8	15	usecase3
14	15	usecase3
24	23	usecase12

Page 1 of 4

ภาพที่ 7 ตัวอย่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถทำการค้นหาข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการระบุเอกลักษณ์ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component ID) หรือเอกลักษณ์ของจุดที่เกิดความแปรปรวน (Variation Point ID) ที่ผู้ใช้สนใจลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ เครื่องมือจะทำการค้นหาจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์และแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาออกมา ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยแต่ละจุดในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกเลือกจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละจุดในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และสังเกตที่แบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งจะบ่งบอกถึงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละจุดที่ถูกเลือกโดยละเอียด ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่

แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8

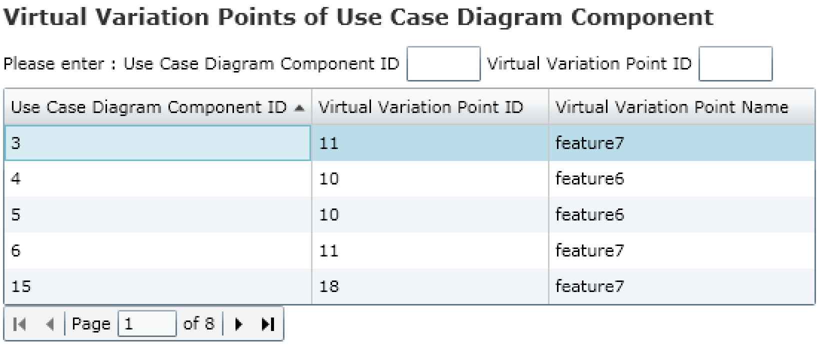

Variation Point of Use Case Diagram Component Information

Use Case Diagram Component ID	1
Variation Point ID	3
Variation Point Name	usecase3
Use Case Diagram Version	1
Software Name	Test

ภาพที่ 8 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด

<u>การสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถทำการสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะดูข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้น ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยทั้งหมดได้ โดยการสังเกตข้อมูลในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Virtual Variation Points of Artifact Component) ตัวอย่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9


Virtual Variation Points of Use Case Diagram Component

Please enter : Use Case Diagram Component ID Virtual Variation Point ID

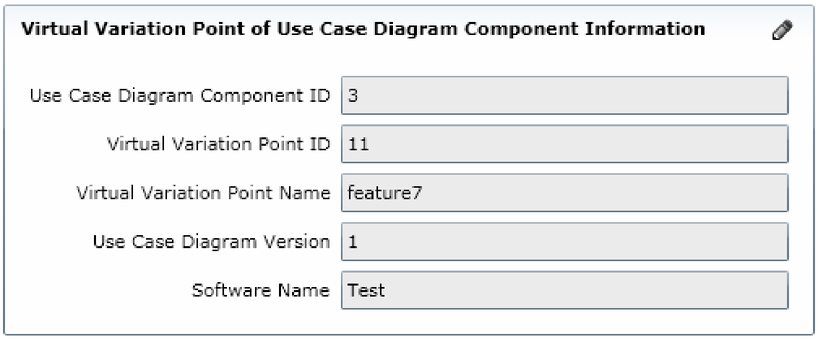
Use Case Diagram Component ID ▲	Virtual Variation Point ID	Virtual Variation Point Name
3	11	feature7
4	10	feature6
5	10	feature6
6	11	feature7
15	18	feature7

Page 1 of 8

ภาพที่ 9 ตัวอย่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถทำการค้นหาข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการระบุเอกลักษณ์ของส่วนประกอบของ

สิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component ID) หรือเอกลักษณ์ของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือน (Virtual Variation Point ID) ที่ผู้ใช้สนใจลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ เครื่องมือจะทำการค้นหาจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์และแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาออกมา ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยแต่ละจุดในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกเลือกจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละจุดในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และสังเกตที่แบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งจะบ่งบอกถึงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละจุดที่ถูกเลือกโดยละเอียด ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 10


Virtual Variation Point of Use Case Diagram Component Information

Use Case Diagram Component ID	3
Virtual Variation Point ID	11
Virtual Variation Point Name	feature7
Use Case Diagram Version	1
Software Name	Test

ภาพที่ 10 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด

<u>การสอบถามลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์</u>

ผู้ใช้สามารถทำการสอบถามลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะดูข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้น ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดได้ โดยการสังเกตข้อมูลในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย (Trace Feature Artifact Component Link Table) ตัวอย่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 11

Trace Feature Use Case Diagram Component Link Table

Please enter : Feature ID [ ] Use Case Diagram Component ID [ ]

Feature ID ▲	Use Case Diagram Component ID	Trace Link Name
1	1	feature1 - usecase1
3	2	feature2 - usecase2
4	3	feature3 - usecase3
4	7	feature3 - actor1
5	4	feature4 - usecase4

Page 1 of 19

ภาพที่ 11 ตัวอย่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถทำการค้นหาข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการระบุเอกลักษณ์ของฟีเจอร์ (Feature ID) หรือเอกลักษณ์ของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Artifact Component ID) ที่ผู้ใช้สนใจลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ เครื่องมือจะทำการค้นหาลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยและแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาออกมา ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละลิงค์ในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยได้ โดยการคลิกเลือกลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละลิงค์ในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และสังเกตที่แบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย ซึ่งจะบ่งบอกถึงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละลิงค์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12

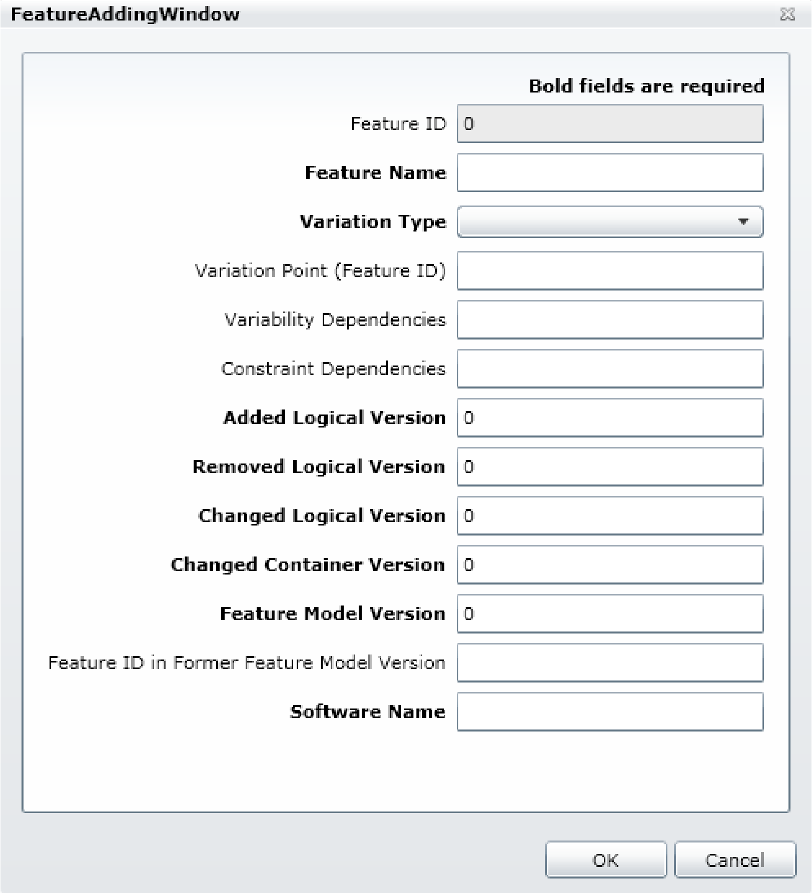
Feature - Use Case Diagram Component Trace Link Information

Feature ID	1
Use Case Diagram Component ID	1
Trace Link Name	feature1 - usecase1
Trace Link Table Version	1
Software Name	Test

ภาพที่ 12 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด

<u>การสร้างฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกคำว่า Feature Model ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็คลิกปุ่ม Add Feature ด้านล่างของตารางฟีเจอร์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Add Feature เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการเพิ่มฟีเจอร์ดังแสดงในภาพที่ 13



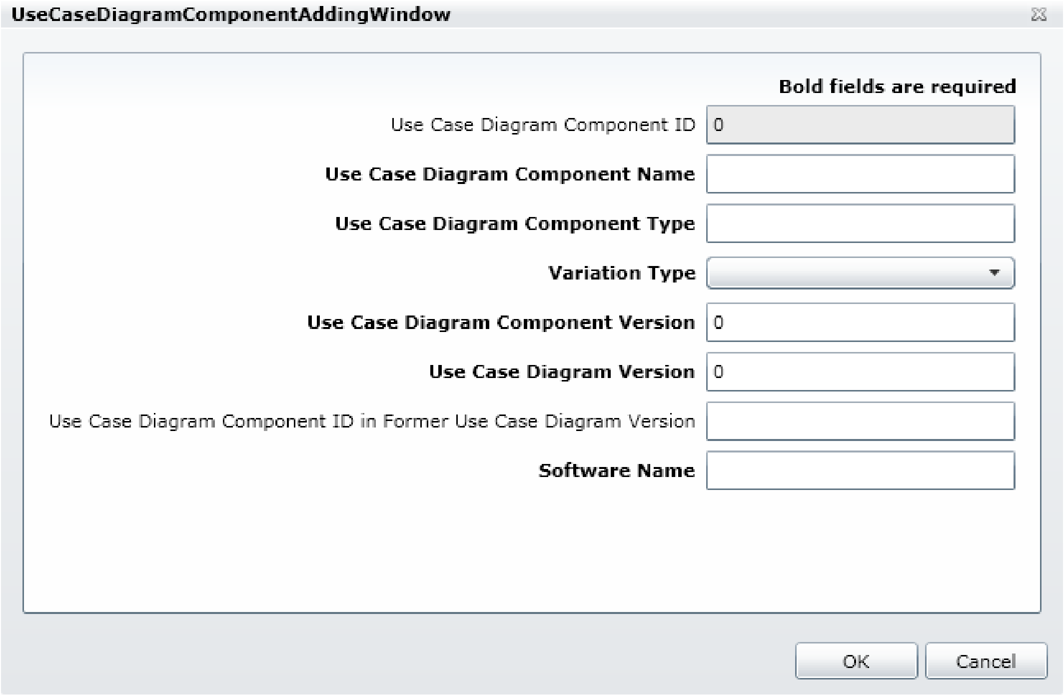
ภาพที่ 13 หน้าต่างของการเพิ่มฟีเจอร์

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการกรอกข้อมูลของฟีเจอร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ลงในช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สร้างก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล และผู้ใช้สามารถที่จะสร้างลิงค์การตามรอยจากฟีเจอร์นั้นไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ตามต้องการ

<u>การสร้างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็คลิกปุ่ม Add

Artifact Component ด้านล่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Add Artifact Component เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการเพิ่มส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แสดงได้ดังภาพที่ 14



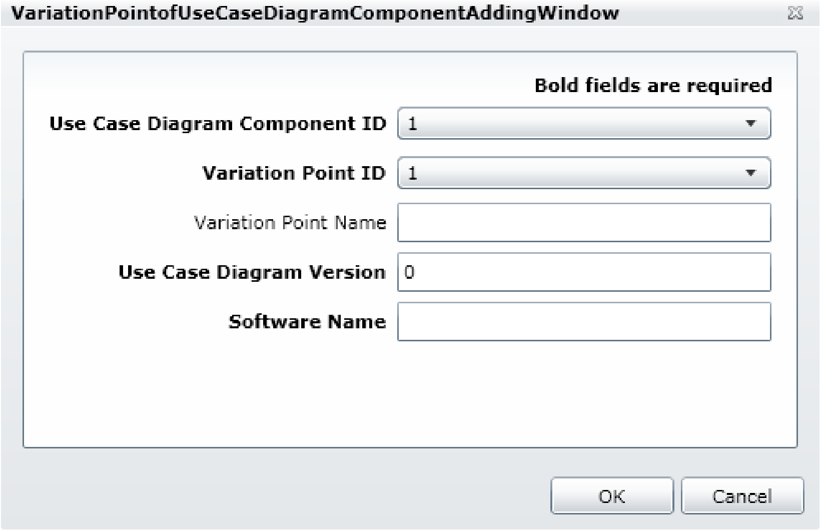
ภาพที่ 14 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการกรอกข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการตามรอยกับฟีเจอร์ลงในช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สร้างก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล และผู้ใช้สามารถที่จะสร้างลิงค์การตามรอยจากส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นไปยังฟีเจอร์ได้ตามต้องการ

การสร้างจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย

ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็คลิกปุ่ม Add Variation Point of Artifact Component ด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Add Variation Point of Artifact Component เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิด

ความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แสดงได้ดังภาพที่ 15

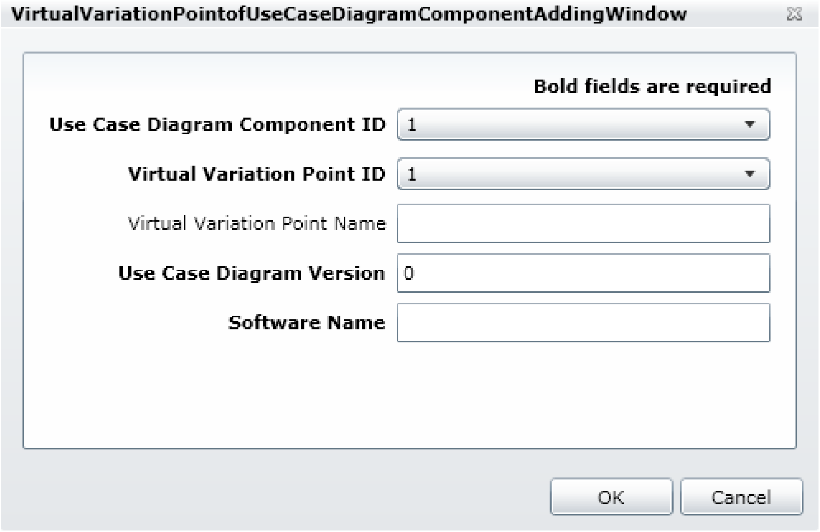


ภาพที่ 15 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการกรอกข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ลงในช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สร้างก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล

<u>การสร้างจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็คลิกปุ่ม Add Virtual Variation Point of Artifact Component ด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Add Virtual Variation Point of Artifact Component เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แสดงได้ดังภาพที่ 16



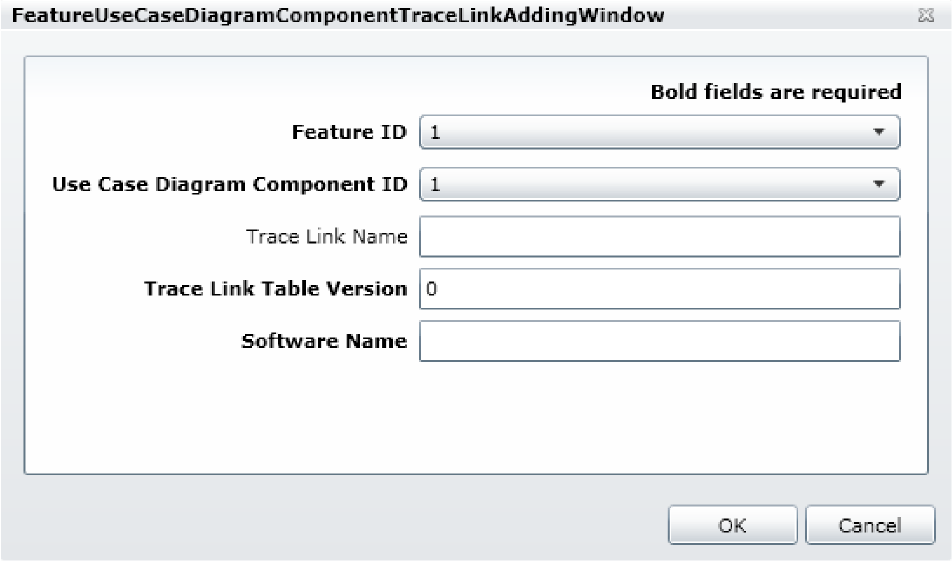
ภาพที่ 16 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการกรอกข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ลงในช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สร้างก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล

<u>การสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็คลิกปุ่ม Add Feature - Artifact Component Trace Link ด้านล่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Add Feature - Artifact Component Trace Link เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แสดงได้ดังภาพที่ 17

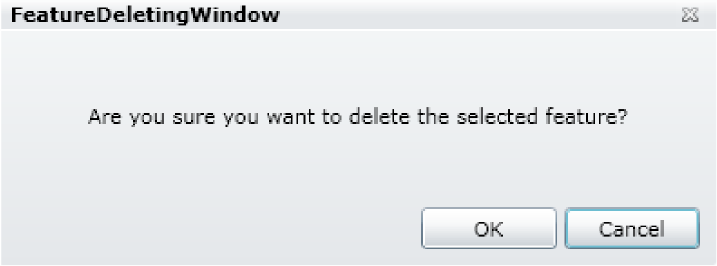
หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการกรอกข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ลงในช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สร้างก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล



ภาพที่ 17 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

การลบฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย

ผู้ใช้สามารถที่จะลบฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกคำว่า Feature Model ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกฟีเจอร์ที่ต้องการจะลบในตารางฟีเจอร์การตามรอย และคลิกปุ่ม Delete Feature ด้านล่างของตารางฟีเจอร์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Delete Feature เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการลบฟีเจอร์เพื่อให้ผู้ใช้ทำการยืนยันว่าต้องการที่จะลบฟีเจอร์ที่เลือกไว้ในตารางฟีเจอร์การตามรอยจริงๆ หน้าต่างของการลบฟีเจอร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 18

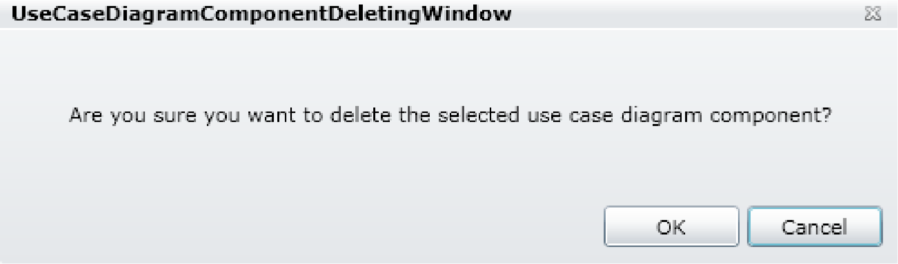


ภาพที่ 18 หน้าต่างของการลบฟีเจอร์

เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK เครื่องมือจะทำการลบข้อมูลของฟีเจอร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบออกจากฐานข้อมูล รวมไปถึงลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์นั้นกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ให้ด้วยโดยอัตโนมัติ

การลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย

ผู้ใช้สามารถที่จะลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะลบในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และคลิกปุ่ม Delete Artifact Component ด้านล่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Delete Artifact Component เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เพื่อให้ผู้ใช้ทำการยืนยันว่าต้องการที่จะลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่เลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยจริงๆ ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 19



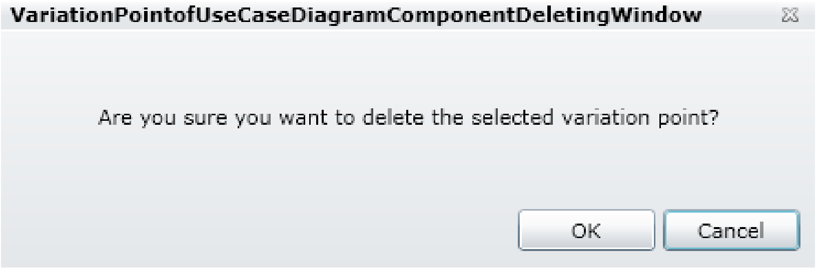
ภาพที่ 19 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK เครื่องมือจะทำการลบข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบออกจากฐานข้อมูล รวมไปถึงลบลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นกับฟีเจอร์ให้ด้วยโดยอัตโนมัติ

การลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย

ผู้ใช้สามารถที่จะลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะลบในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และคลิกปุ่ม Delete Variation Point of Artifact Component ด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Delete Variation Point of Artifact Component เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เพื่อให้ผู้ใช้ทำการยืนยันว่าต้องการที่จะลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบ

ของสิ่งประดิษฐ์ที่เลือกไว้ในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์จริงๆ ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 20

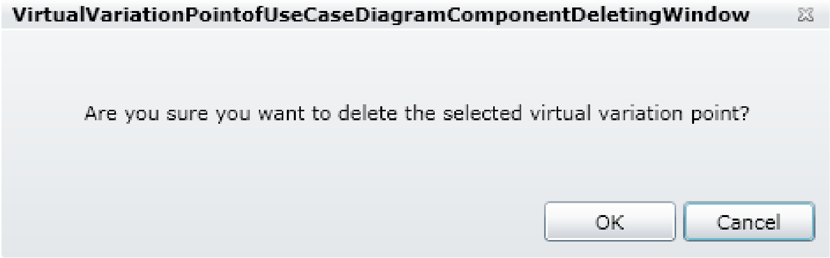


ภาพที่ 20 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK เครื่องมือจะทำการลบข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบออกจากฐานข้อมูล

<u>การลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

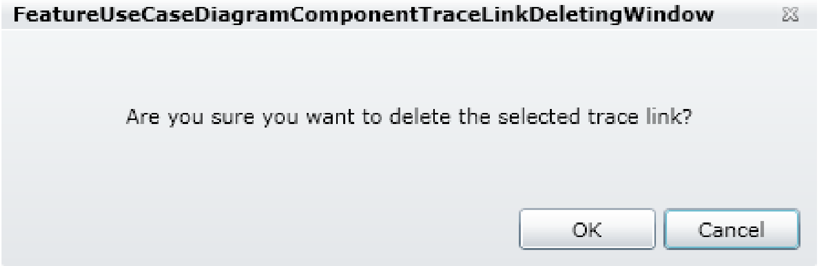
ผู้ใช้สามารถที่จะลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะลบในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และคลิกปุ่ม Delete Virtual Variation Point of Artifact Component ด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Delete Virtual Variation Point of Artifact Component เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เพื่อให้ผู้ใช้ทำการยืนยันว่าต้องการที่จะลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่เลือกไว้ในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์จริงๆ ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 21 และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK เครื่องมือจะทำการลบข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบออกจากฐานข้อมูล



ภาพที่ 21 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

การลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

ผู้ใช้สามารถที่จะลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะลบในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และคลิกปุ่ม Delete Feature - Artifact Component Trace Link ด้านล่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Delete Feature - Artifact Component Trace Link เครื่องมือจะแสดงหน้าต่างของการลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เพื่อให้ผู้ใช้ทำการยืนยันว่าต้องการที่จะลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่เลือกไว้ในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยจริงๆ ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 22

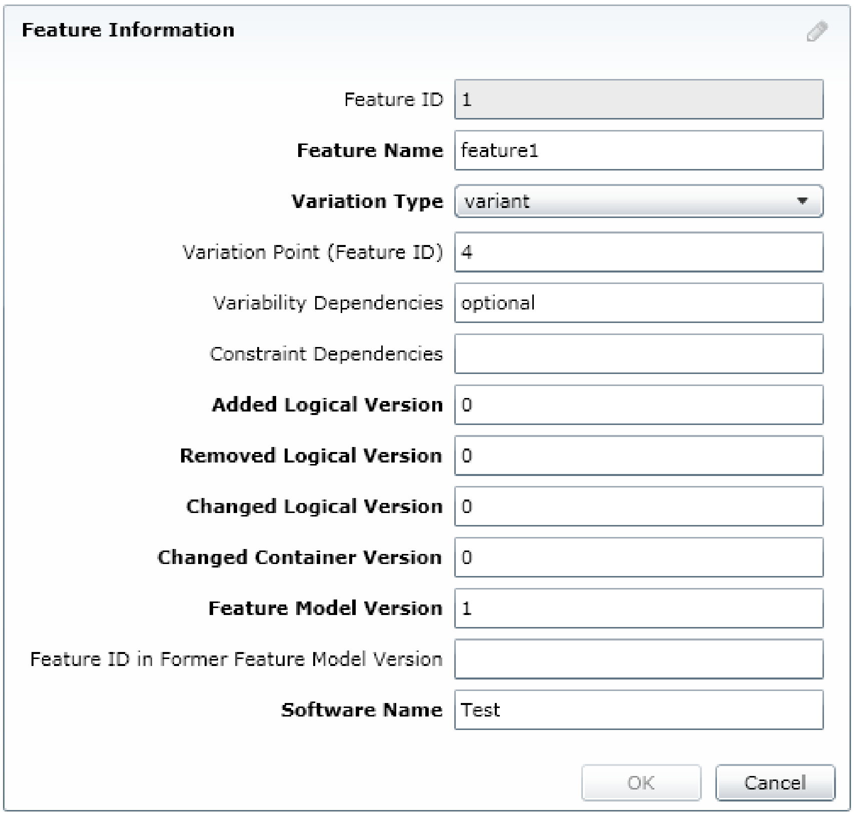


ภาพที่ 22 ตัวอย่างของหน้าต่างของการลบลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK เครื่องมือจะทำการลบข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะลบออกจากฐานข้อมูล

การแก้ไขฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอย

ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกคำว่า Feature Model ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกฟีเจอร์ที่ต้องการจะทำการแก้ไขในตารางฟีเจอร์การตามรอย และคลิกไอคอนรูปดินสอที่มุมขวาบนของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์นั้นโดยละเอียด ซึ่งอยู่ด้านล่างของตารางฟีเจอร์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกไอคอนรูปดินสอ แบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์นั้นโดยละเอียดจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้ ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้แสดงดังภาพที่ 23

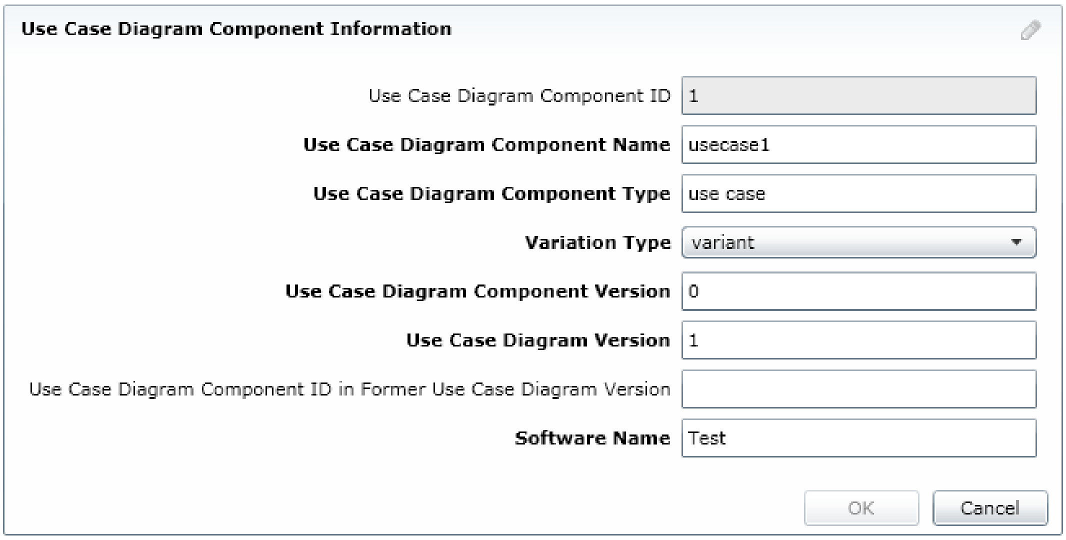


ภาพที่ 23 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการแก้ไขข้อมูลของฟีเจอร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการแก้ไขได้ตามต้องการ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของฟีเจอร์ที่ถูกแก้ไขแล้วก็จะปรากฏในแบบฟอร์มข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้จะต้องทำการกดปุ่ม Submit ด้านล่างของแบบฟอร์มข้อมูลทุกครั้งที่มีการแก้ไขข้อมูลเสร็จ เพื่อที่จะให้ข้อมูลของฟีเจอร์ที่ถูกแก้ไขแล้วถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล

<u>การแก้ไขส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะแก้ไขส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะทำการแก้ไขในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และคลิกไอคอนรูปดินสอที่มุมขวาบนของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียด ซึ่งอยู่ด้านล่างของตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกไอคอนรูปดินสอ แบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียดจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้ ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้แสดงดังภาพที่ 24

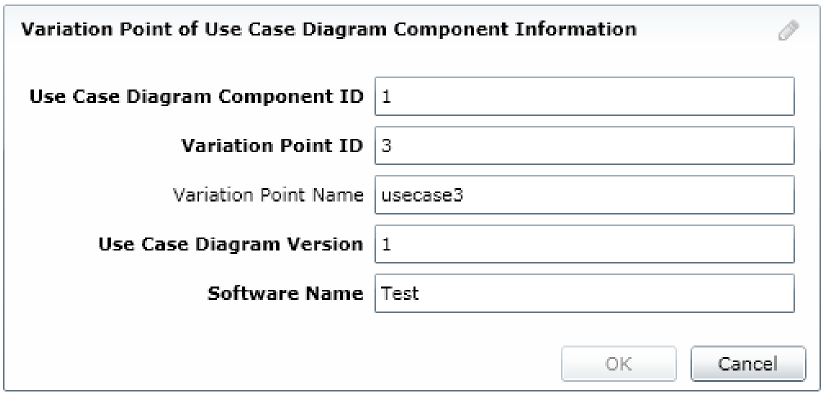


ภาพที่ 24 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการแก้ไขได้ตามต้องการ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วก็จะปรากฏในแบบฟอร์มข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้จะต้องทำการกดปุ่ม Submit ด้านล่างของแบบฟอร์มข้อมูลทุกครั้งที่มีการแก้ไขข้อมูลเสร็จ เพื่อที่จะให้ข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล

<u>การแก้ไขจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะแก้ไขจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะทำการแก้ไขในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และคลิกไอคอนรูปดินสอที่มุมขวาบนของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียด ซึ่งอยู่ด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกไอคอนรูปดินสอ แบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียดจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้ ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้แสดงดังภาพที่ 25



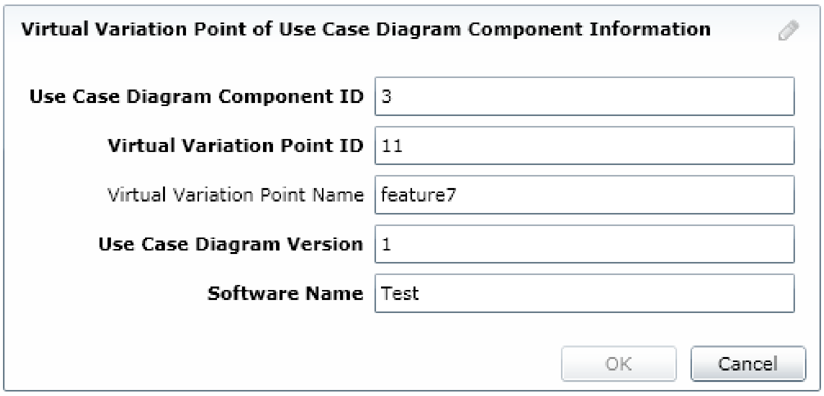
ภาพที่ 25 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการแก้ไขได้ตามต้องการ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วก็จะปรากฏในแบบฟอร์มข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้จะต้องทำการกดปุ่ม

Submit ด้านล่างของแบบฟอร์มข้อมูลทุกครั้งที่มีการแก้ไขข้อมูลเสร็จ เพื่อที่จะให้ข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล

<u>การแก้ไขจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอย</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะแก้ไขจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะทำการแก้ไขในตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ และคลิกไอคอนรูปดินสอที่มุมขวาบนของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียด ซึ่งอยู่ด้านล่างของตารางจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกไอคอนรูปดินสอ แบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียดจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้ ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้แสดงดังภาพที่ 26



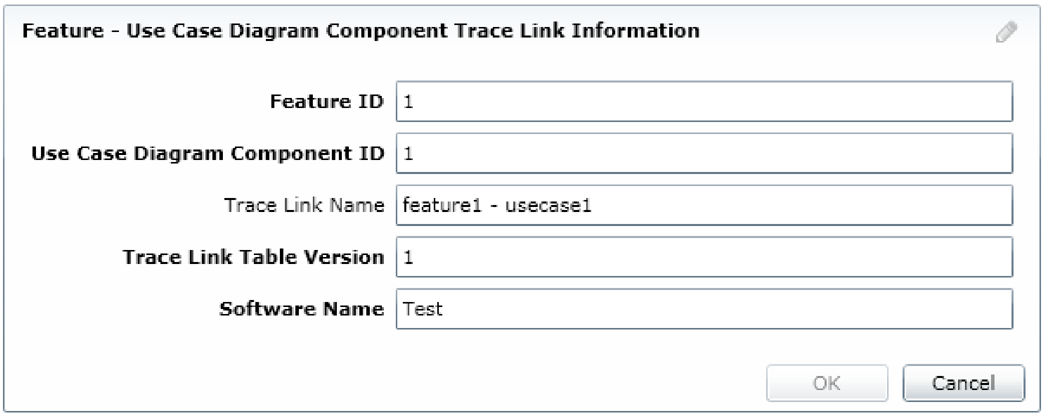
ภาพที่ 26 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการแก้ไขข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการแก้ไขได้ตามต้องการ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วก็จะปรากฏในแบบฟอร์มข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้จะต้องทำการกดปุ่ม Submit ด้านล่างของแบบฟอร์มข้อมูลทุกครั้งที่มีการแก้ไขข้อมูลเสร็จเพื่อที่จะให้ข้อมูลของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล

<u>การแก้ไขลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะแก้ไขลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการจะทำการแก้ไขในตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และคลิกไอ-คอนรูปดินสอที่มุมขวาบนของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียด ซึ่งอยู่ด้านล่างของตารางลิงค์ฟีเจอร์ส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย เมื่อผู้ใช้คลิกไอคอนรูปดินสอ แบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์นั้นโดยละเอียดจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้ ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้แสดงดังภาพที่ 27

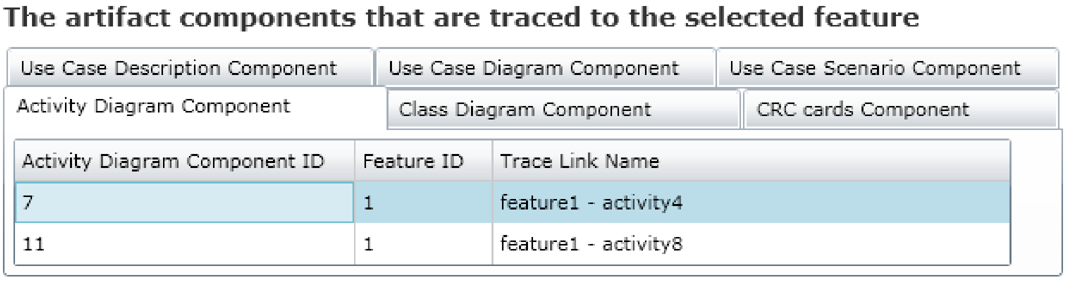
หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการแก้ไขข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการแก้ไขได้ตามต้องการ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล และเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม OK ข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วก็จะปรากฏในแบบฟอร์มข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้จะต้องทำการกดปุ่ม Submit ด้านล่างของแบบฟอร์มข้อมูลทุกครั้งที่มีการแก้ไขข้อมูลเสร็จเพื่อที่จะให้ข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกแก้ไขแล้วถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล



ภาพที่ 27 ตัวอย่างของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียดซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขข้อมูลของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในแบบฟอร์มข้อมูลได้

<u>การสอบถามส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ที่สนใจ</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มาทำการตามรอยกับฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการคลิกคำว่า Feature Model ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางฟีเจอร์การตามรอย และสามารถดูส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยกับฟีเจอร์ที่ผู้ใช้สนใจได้จากการสังเกตตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์ที่ถูกเลือก (The artifact components that are traced to the selected feature) ซึ่งอยู่ที่ด้านขวาของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของฟีเจอร์โดยละเอียด ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์ที่ถูกเลือกแสดงได้ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์ที่ถูกเลือก

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์ที่ถูกเลือก จะแสดงถึงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่มีการตามรอยกับฟีเจอร์ที่ผู้ใช้ทำการ

เลือกไว้ในตารางฟีเจอร์การตามรอย โดยแสดงออกมาในลักษณะของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ที่ผู้ใช้เลือกไว้ในตารางฟีเจอร์การตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

<u>การสอบถามฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สนใจ</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการสอบถามฟีเจอร์ที่มาทำการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และสามารถดูฟีเจอร์ที่มีการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้จากการสังเกตตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก (The features that are traced to the selected artifact component) ซึ่งอยู่ที่ด้านขวาของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือกแสดงได้ดังภาพที่ 29

The features that are traced to the selected use case diagram component

Feature ID	Use Case Diagram Component ID	Trace Link Name
4	7	feature3 - actor1
10	7	feature6 - actor1
11	7	feature7 - actor1

ภาพที่ 29 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก จะแสดงถึงฟีเจอร์ทั้งหมดที่มีการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ทำการเลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย โดยแสดงออกมาในลักษณะของลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้เลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอยกับฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย

<u>การสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สนใจ</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการ

สอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และสามารถดูจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้จากการสังเกตตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก (The variation point of the selected artifact component) ซึ่งอยู่ที่ด้านขวาของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือกแสดงได้ดังภาพที่ 30

The variation point of the selected use case diagram component

Variation Point ID	Variation Point Name
3	usecase3

ภาพที่ 30 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก จะแสดงถึงจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ทำการเลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย โดยแสดงออกมาในลักษณะของเอกลักษณ์และชื่อของจุดที่เกิดความแปรปรวนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้เลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

<u>การสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สนใจ</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการสอบถามจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย และสามารถดูจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้สนใจได้จากการสังเกตตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก (The virtual variation point of the selected artifact component) ซึ่งอยู่ที่ด้านขวาของแบบฟอร์มข้อมูลที่แสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้

หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือกแสดงได้ดังภาพที่ 31

The virtual variation point of the selected use case diagram component

Virtual Variation Point ID	Virtual Variation Point Name
11	feature7

ภาพที่ 31 ตัวอย่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือก จะแสดงถึงจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ทำการเลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย โดยแสดงออกมาในลักษณะของเอกลักษณ์และชื่อของจุดที่เกิดความแปรปรวนเสมือนของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้เลือกไว้ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย

<u>การสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุม</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุมระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุมระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกการสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุมระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Covering Analysis (Feature - ArtifactComponent)) ที่ลิสต์ของการสอบถามด้านขวาล่างของหน้าเว็บไซต์ ตัวอย่างของลิสต์ของการสอบถามแสดงดังภาพที่ 32

Please select the following query

Covering Analysis (Feature - UseCaseDiagramComponent)
Change Impact Analysis (Feature - UseCaseDiagramComponent)
Detection of Feature Interaction (Feature - UseCaseDiagramComponent)
Possible Trace Link (Feature - UseCaseDiagramComponent)

ภาพที่ 32 ตัวอย่างของลิสต์ของการสอบถาม

เมื่อผู้ใช้เลือกคลิกการสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุมระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เครื่องมือจะทำการประมวลผลของการสอบถาม และแสดงผลลัพธ์ในอีกหน้าเว็บหนึ่ง ในหน้าของการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามการวิเคราะห์ความครอบคลุมจะ

แสดงถึงฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ยังไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ ทั้งหมด และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ยังไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ ทั้งหมด โดยฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ยังไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ ทั้งหมดจะถูกแสดงในตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ (The features that are variant and not traced to any artifact component) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ แสดงดังภาพที่ 33

The features that are variant and not traced to any use case diagram component

ID ▲	Name	Variation Type	Variation Point	Variability Dependencies	Constraint Dependencies	Added L
28	feature13	variant	27	mandatory		0
29	feature14	variant	27	optional		0

Page 1 of 1

ภาพที่ 33 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของฟีเจอร์ประเภทตัวแปรที่ไม่ถูกตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ใดๆ แต่ละฟีเจอร์ในตารางได้ ด้วยการเลือกคลิกฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของฟีเจอร์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด สำหรับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ยังไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ ทั้งหมดจะถูกแสดงในตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ (The artifact components that are not traced to any feature) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ แสดงดังภาพที่ 34

The use case diagram components that are not traced to any feature

ID ▲	Name	Type	Variation Type	Use Case Diagram Component Version	Former Version ID
23	usecase12	use case	variation point	0	
24	usecase13	use case	variant	0	
25	usecase14	use case	variant	0	

Page 1 of 1

ภาพที่ 34 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่ถูกตามรอยไปยังฟีเจอร์ใดๆ แต่ละส่วนประกอบในตารางได้ ด้วยการเลือกคลิกส่วนประกอบของ

สิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด

การสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลง

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกการสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Change Impact Analysis (Feature - ArtifactComponent)) ที่ลิสต์ของการสอบถามด้านขวาล่างของหน้าเว็บไซต์

เมื่อผู้ใช้เลือกคลิกการสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เครื่องมือจะทำการประมวลผลของการสอบถาม และแสดงผลลัพธ์ในอีกหน้าเว็บหนึ่ง ในหน้าของการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงจะแสดงถึงฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่า 1 ส่วนประกอบ และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์เหล่านั้นซึ่งส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้สามารถที่จะมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกันได้ โดยฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่า 1 ส่วนประกอบจะถูกแสดงในตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่าหนึ่งส่วนประกอบ (The features that are traced to more than one artifact component) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่าหนึ่งส่วนประกอบแสดงดังภาพที่ 35

The features that are traced to morn than one use case diagram component

ID ▲	Name	Variation Type	Variation Point	Variability Dependencies	Constraint Dependencies	Added L
21	feature10	variant	20	optional		0
22	feature11	variant	20	optional		0

Page 1 of 1

ภาพที่ 35 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่าหนึ่งส่วนประกอบ

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่า 1 ส่วนประกอบแต่ละฟีเจอร์ในตารางได้ ด้วยการเลือกคลิกฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของ

ฟีเจอร์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยมายังฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตารางได้ซึ่งส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้สามารถที่จะมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกันได้ ด้วยการเลือกคลิกฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตารางและสังเกตข้อมูลในตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกัน (The artifact components that can have a change impact each other) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกันแสดงดังภาพที่ 36

The use case diagram components that can have a change impact each other

Use Case Diagram Component ID	Feature ID	Trace Link Name
21	21	feature10 - usecase10
26	21	feature10 - actor2

ภาพที่ 36 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกัน

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงซึ่งกันและกัน จะแสดงถึงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดที่มีการตามรอยกับฟีเจอร์ที่ผู้ใช้ทำการเลือกไว้ในตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่าหนึ่งส่วนประกอบ ซึ่งล้วนแต่เป็นฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่า 1 ส่วนประกอบ โดยแสดงออกมาในลักษณะของลิงค์การตามรอยระหว่างฟีเจอร์ที่ผู้ใช้เลือกไว้ในตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่มีการตามรอยไปยังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์มากกว่าหนึ่งส่วนประกอบกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ในตารางส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์การตามรอย นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตารางได้ ด้วยการเลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด

<u>การสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของ

สิ่งประดิษฐ์ (Detection of Feature Interaction (Feature - ArtifactComponent)) ที่ลิสต์ของการสอบถามด้านขวาล่างของหน้าเว็บไซต์

เมื่อผู้ใช้เลือกคลิกการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เครื่องมือจะทำการประมวลผลของการสอบถาม และแสดงผลลัพธ์ในอีกหน้าเว็บหนึ่ง ในหน้าของการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามการตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์จะแสดงถึงส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่า 1 ฟีเจอร์ และฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์เหล่านั้น ซึ่งฟีเจอร์เหล่านี้สามารถที่จะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกันได้ โดยส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่า 1 ฟีเจอร์จะถูกแสดงในตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์ (The artifact components that are traced to more than one feature) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์แสดงดังภาพที่ 37

The use case diagram components that are traced to morn than one feature

ID ▲	Name	Type	Variation Type	Use Case Diagram Component Version	Former Version ID
26	actor2	actor	common	0	

Page 1 of 1

ภาพที่ 37 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่า 1 ฟีเจอร์แต่ละส่วนประกอบในตารางได้ ด้วยการเลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูฟีเจอร์ที่มีการตามรอยมายังส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตารางได้ซึ่งฟีเจอร์เหล่านี้สามารถที่จะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกันได้ ด้วยการเลือกคลิกส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แต่ละส่วนประกอบในตาราง และสังเกตข้อมูลในตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกัน (The features that can have a feature interaction each other) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกันแสดงดังภาพที่ 38

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกันจะแสดงถึงฟีเจอร์ทั้งหมดที่มีการตามรอยกับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้ทำการเลือกไว้ในตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์

ซึ่งล้วนแต่เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่า 1 ฟีเจอร์ โดยแสดงออกมาในลักษณะของลิงค์การตามรอยระหว่างส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้ใช้เลือกไว้ในตารางภายใต้หัวข้อส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ที่มีการตามรอยไปยังฟีเจอร์มากกว่าหนึ่งฟีเจอร์กับฟีเจอร์ในตารางฟีเจอร์การตามรอย นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตารางได้ ด้วยการเลือกคลิกฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์ในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของฟีเจอร์ที่ถูกเลือกโดยละเอียด

The features that can have a feature interaction each other

Feature ID	Use Case Diagram Component ID	Trace Link Name
20	26	feature9 - actor2
21	26	feature10 - actor2
22	26	feature11 - actor2

ภาพที่ 38 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อฟีเจอร์ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีเจอร์ซึ่งกันและกัน

<u>การสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้</u>

ผู้ใช้สามารถที่จะทำการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ได้ โดยการคลิกชื่อของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้ต้องการจะทำการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์นั้น ที่แถบสีดำด้านบนสุดของเว็บไซต์ หลังจากนั้นก็เลือกคลิกการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Possible Trace Link (Feature - ArtifactComponent)) ที่ลิสต์ของการสอบถามด้านขวาล่างของหน้าเว็บไซต์

เมื่อผู้ใช้เลือกคลิกการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เครื่องมือจะทำการประมวลผลของการสอบถาม และแสดงผลลัพธ์ในอีกหน้าเว็บหนึ่ง ในหน้าของการแสดงผลลัพธ์ของการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้จะแสดงถึงลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมดระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงเวอร์ชันของแบบจำลองฟีเจอร์และสิ่งประดิษฐ์เชิงซอฟต์แวร์ โดยลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมดระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์จะถูกแสดงในตารางภายใต้หัวข้อลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ (Possible trace links that can occur between feature and

artifact component) ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ แสดงดังภาพที่ 39

Possible trace links that can occur between feature and use case diagram component

Feature ID ▲	Feature Name	Use Case Diagram Component ID	Use Case Diagram Component Name
61	Manage Rooms Temperature	43	Set Room Temperature
61	Manage Rooms Temperature	47	Manage Temperature
63	Devices	43	Set Room Temperature
63	Devices	47	Manage Temperature
66	Window Blinds Actuator	52	Air Conditioned Actuator

Page 1 of 2

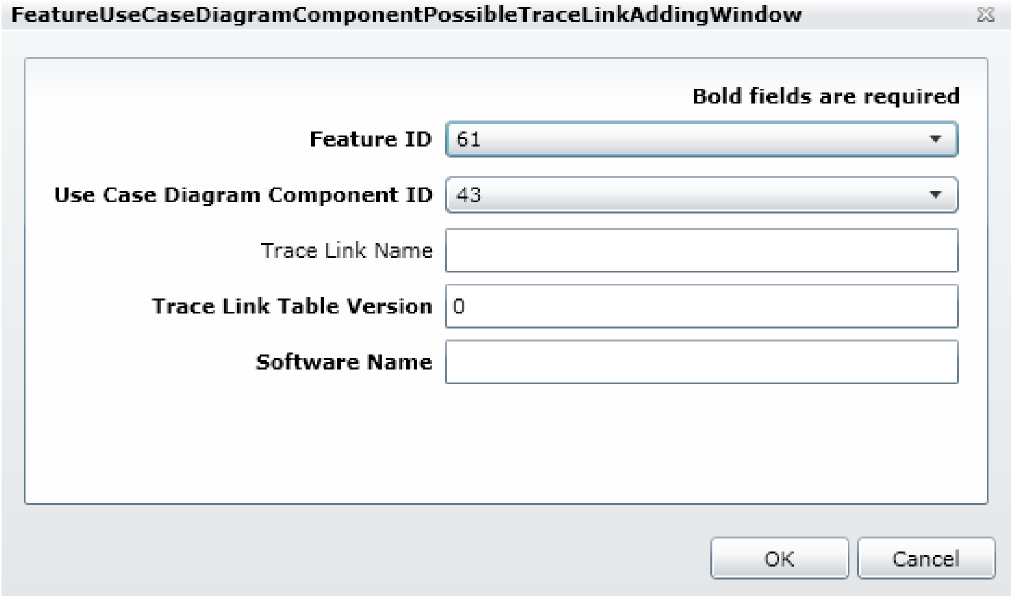
ภาพที่ 39 ตัวอย่างของตารางภายใต้หัวข้อลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่าง ฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

ภายในตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์จะแสดงถึงลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถจะเกิดขึ้นใหม่ทั้งหมดระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ภายหลังการเกิดวิวัฒนาการสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยแสดงออกมาในลักษณะของเอกลักษณ์และชื่อของฟีเจอร์ รวมถึงเอกลักษณ์และชื่อของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ของลิงค์การตามรอย นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะดูข้อมูลโดยละเอียดของฟีเจอร์กับข้อมูลโดยละเอียดของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ด้วยการเลือกคลิกลิงค์การตามรอยแต่ละลิงค์ในตาราง และสังเกตแบบฟอร์มข้อมูลด้านล่างของตารางซึ่งแสดงข้อมูลของฟีเจอร์และข้อมูลของส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์โดยละเอียด

ผู้ใช้ยังสามารถที่จะสร้างลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ ด้วยการคลิกปุ่ม Add Feature – Artifact Component Possible Trace Link ด้านล่างของตารางที่อยู่ภายใต้หัวข้อลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างฟีเจอร์และส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Add Feature – Artifact Component Possible Trace Link เครื่องมือจะทำการแสดงหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์แสดงดังภาพที่ 40

หลังจากนั้น ผู้ใช้จะทำการเลือกลิงค์การตามรอยที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างจากลิสต์ของลิงค์การตามรอยที่มีให้ ซึ่งล้วนแต่เป็นลิงค์การตามรอยที่ค้นพบโดยการสอบถามลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ เมื่อผู้ใช้ทำการเลือกลิงค์การตามรอยที่ผู้ใช้ต้องการจะสร้างจากลิสต์ของลิงค์การตามรอยที่มีให้เสร็จ ผู้ใช้ก็จะทำการกรอกข้อมูลอื่นๆ ของลิงค์การตามรอยที่ต้องการจะสร้างลงในช่องที่กำหนดไว้ โดยตัวหนาคือ ช่องที่จำเป็นจะต้องระบุข้อมูล เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลของลิงค์การตามรอย

เสร็จ ก็จะทำการคลิกปุ่ม OK เพื่อสร้างลิงค์การตามรอยตามรายละเอียดที่ได้ระบุไว้ โดยข้อมูลของลิงค์การตามรอยที่สร้างเสร็จแล้วก็จะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล



ภาพที่ 40 ตัวอย่างของหน้าต่างของการเพิ่มลิงค์การตามรอยที่เป็นไปได้ระหว่างฟีเจอร์กับส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกำธน ชวนะเวสน์ เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551