บทที่ 3
ขั้นตอนการแปลงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ

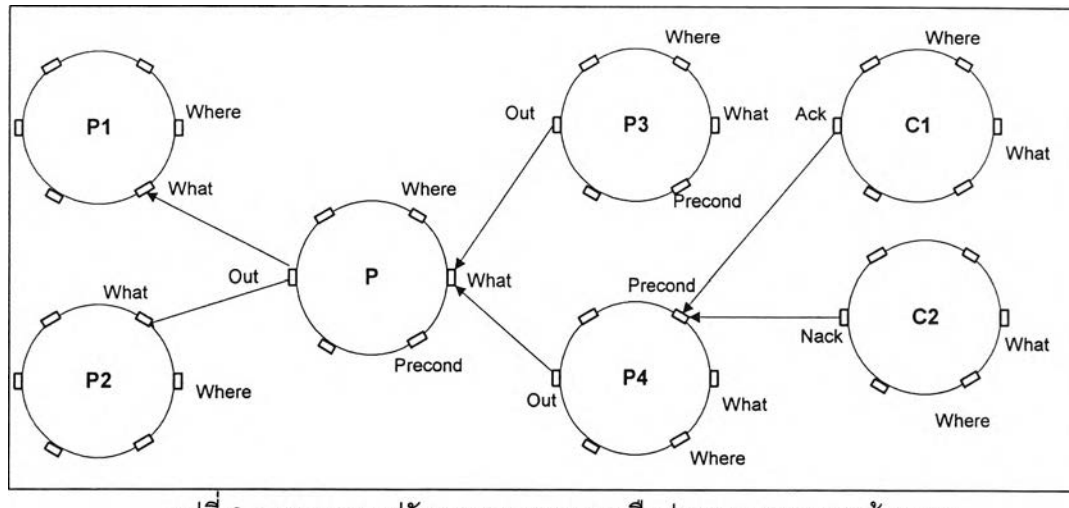
ในบทนี้ จะกล่าวถึงวิธีการเขียนข้อกำหนดคาเฟโอบีเจจากแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ โดยได้กำหนดขั้นตอนวิธีในการแปลงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการเพื่อสนับสนุนการแปลงมาเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ และสุดท้ายจะกล่าวถึงกฎที่ใช้ในการแปลงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ

3.1 การปรับขยายแผนภาพเครือข่ายข้อกำหนดอนุภาคความต้องการ

จากการศึกษาแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ ซึ่งเป็นการนำอนุภาคความต้องการหลายๆหน่วยมาต่อเชื่อมกันเป็นเครือข่าย โดยแต่ละอนุภาคความต้องการจะมีช่องการสื่อสารสำหรับการติดต่อกับอนุภาคความต้องการหน่วยอื่น และมีเส้นเชื่อมระหว่างอนุภาคความต้องการจากช่องการสื่อสารแต่ละช่อง งานวิจัยเรื่องแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการของวิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ [4] ได้ทำการสร้างแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีเส้นเชื่อมเข้าและออกจากช่องการสื่อสารและใช้งานได้สอดคล้องกับการเขียนภาษาเซด (Z Language) ซึ่งอนุภาคความต้องการหนึ่งหน่วยจะเขียนแทนได้ด้วยหนึ่งเค้าร่าง (Schema) ของภาษาเซด ผู้วิจัยพบว่าเส้นเชื่อมแต่ละเส้นที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างโหนดของ ช่องการสื่อสาร "*What*" "*Precond*" และ "*Out*" ที่ใช้ในการรับและส่งค่าระหว่างโหนดนั้นมีเพียงเส้นเดียว เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับภาษาคาเฟโอบีเจ หนึ่งอนุภาคความต้องการจะแทนได้เพียงตัวดำเนินการในภาษาคาเฟโอบีเจได้หนึ่งตัวเท่านั้น โดยในตัวดำเนินการแต่ละตัวนั้นมักจะมีอาริตี้ (Arity) ได้มากกว่าหนึ่งขึ้นไป ซึ่งหากยังคงคุณสมบัติเดิมของอนุภาคความต้องการต้นแบบนี้เอาไว้ จะทำให้ตัวดำเนินการสามารถมีอาริตี้ได้สูงสุดเพียงสองตัวเท่านั้น (ช่องการสื่อสาร "*What*" และช่องการสื่อสาร "*Where*") ทำให้ต้องใช้ตัวดำเนินการมากจนเกินไปในการอธิบายความต้องการของระบบเช่น op1(op2(op3(x1,x2),x3),x4) เป็นต้น ซึ่งต้องมีตัวดำเนินการถึงสามตัวคือ op1, op2 และ op3 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับขยายเพิ่มเติมคุณสมบัติบางประการ ด้วยแนวคิดนี้จะทำให้ตัวดำเนินการมีจำนวนน้อยลง จากตัวอย่างที่ยกมา จะทำการเขียนตัวดำเนินการใหม่ได้เป็น op(x1, x2, x3, x4)

จากคุณสมบัติเดิมของเครือข่ายอนุภาคความต้องการ ช่องการสื่อสารทั้ง 6 ช่อง แต่ละช่องจะมีเส้นเชื่อมเพียงเส้นเดียวเข้าและออกเพื่อเชื่อมโยงกับอนุภาคอื่น ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของช่องการสื่อสาร "*What*" "*Precond*" และ "*Out*" โดยให้แต่ละช่องการสื่อสาร

สามารถมีเส้นเชื่อมเข้าและออกจาก ช่องการสื่อสารแต่ละช่องได้มากกว่าหนึ่งเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1 คุณสมบัติที่ได้รับการปรับขยายมีดังนี้



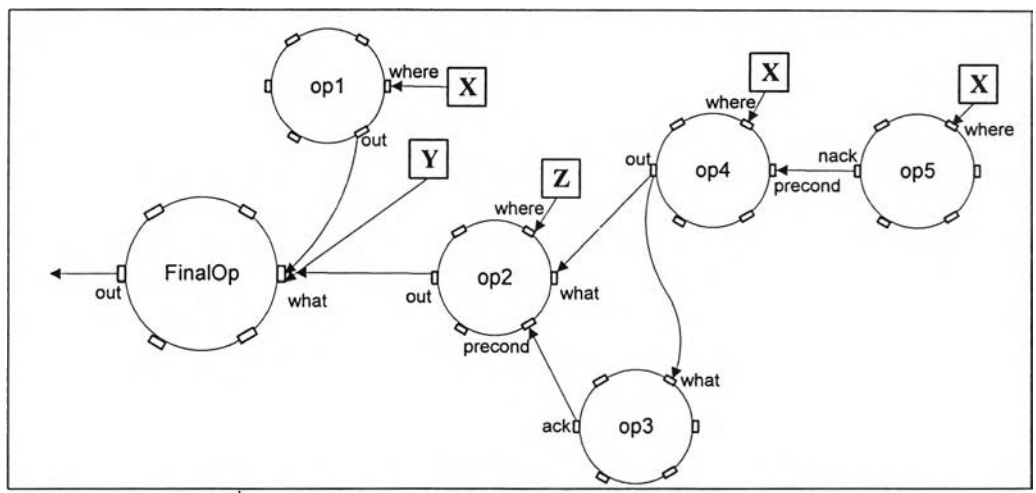
รูปที่ 3.1 แสดงการปรับขยายแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ

- ช่องสื่อสาร "*What*" สามารถมีเส้นเชื่อมเข้ามาได้มากกว่าหนึ่งเส้น เนื่องจากการดำเนินการพื้นฐานบางตัว ต้องการข้อมูลเพื่อสนับสนุนการทำงานเข้ามามากกว่าหนึ่งแหล่ง และถูกนำมาใช้งานร่วมกันโดยจะทำงานไปพร้อมๆกัน จากรูปที่ 3.1 อนุภาคความต้องการ P จะมีเส้นเชื่อมจากอนุภาคความต้องการ P3 และ P4 เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*What*" โดยผลลัพธ์ที่มาจากอนุภาคความต้องการ P3 และ P4 จะเป็นข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในอนุภาคความต้องการ P
- ช่องสื่อสาร "*Precond*" สามารถมีเส้นเชื่อมเข้ามาได้มากกว่าหนึ่งเส้น เนื่องจากทิศทางของข้อมูลที่นำเข้ามาเพื่อเป็นเงื่อนไขสำหรับการดำเนินการพื้นฐาน อาจต้องการเงื่อนไขมากกว่าหนึ่งข้อได้ จากรูปที่ 3.1 อนุภาคความต้องการ P4 จะถูกกระทำก็ต่อเมื่อผลลัพธ์ที่เกิดจากเงื่อนไขในอนุภาคความต้องการ C1 เป็นจริง และ C2 เป็นเท็จเท่านั้น
- ช่องสื่อสาร "*Out*" สามารถมีเส้นเชื่อมออกไปหายังอนุภาคความต้องการหน่วยอื่นได้มากกว่าหนึ่งเส้น เนื่องจากการดำเนินการบางอย่างอาจต้องการผลจากการกระทำของอนุภาคความต้องการก่อนหน้าตัวเดียวกันได้ จากรูปที่ 3.1 อนุภาคความต้องการ P มีเส้นเชื่อมออกไปยังอนุภาคความต้องการ P1 และ P2 เพื่อให้อนุภาคความต้อง P1 และ P2 สามารถดำเนินต่อไปได้

3.2 ขั้นตอนการแปลงแผนภาพข้อกำหนดความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ

จากการศึกษาพบว่าแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการหนึ่งแผนภาพ สามารถสร้างเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจได้เพียงส่วนการกำหนดสมการสัจพจน์หนึ่งสมการเท่านั้น อนุภาคความต้องการแต่ละตัวของแผนภาพจะแทนตัวดำเนินการในภาษาคาเฟโอบีเจ ทั้งนี้ ชื่อตัวดำเนินการที่อ้างอิงในภาษาคาเฟโอบีเจจะต้องถูกกำหนดไว้ก่อนแล้วในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการ

คลังจัดเก็บตัวดำเนินการ คือรายชื่อของตัวดำเนินการที่ถูกกำหนดไว้ก่อนในรูปของภาษาคาเฟโอบีเจ โดยตัวดำเนินการที่อยู่ในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการนี้เป็นตัวดำเนินการพื้นฐานที่ถูกอ้างไปใช้ สำหรับหนึ่งโหนดการดำเนินการในแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ ตัวดำเนินการเหล่านี้จะถูกจัดเป็นกลุ่มและเขียนอยู่ในรูปของมอดูลข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ โดยทั่วไปมอดูลที่กล่าวถึงนี้มักจะเป็นชนิดข้อมูลเชิงนามธรรม (Abstract Data Type) เช่นโครงสร้างข้อมูลแบบรายการ (List) โครงสร้างข้อมูลแบบกองซ้อน (Stack) เป็นต้น รายละเอียดของคลังจัดเก็บตัวดำเนินการจะ กล่าวถึงเพิ่มเติมในบทต่อไป



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ

ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างโดยใช้แผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการดังรูปที่ 3.2 เพื่อประกอบการอธิบายขั้นตอนวิธีการแปลงเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างส่วนการกำหนดสัจพจน์

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการสร้างส่วนของสมการสัจพจน์แบบมีเงื่อนไขของภาษาคาเฟโอบีเจ โดยจะนำแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการแต่ละแผนภาพ มาทำการแปลงโดยใช้กฎในการแปลงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจจำนวน 12

ข้อ (ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป) มาสร้างเป็นส่วนของการกำหนดสมการสัจพจน์ได้หนึ่งสมการที่ถูกต้อง ตามวากยสัมพันธ์ของภาษาคาเฟโอบีเจ

จากตัวอย่างแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการในรูป 3.2 เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการสัจพจน์โดยใช้กฎในการแปลง 12 ข้อ จะได้สมการสัจพจน์ที่ถูกต้องตามวากยสัมพันธ์ของภาษาคาเฟโอบีเจดังนี้

```
ceq FinalOp(X, Y, Z) = FinalOp(op1(X), Y, op2(Z, op4(X)))
        if op5(X) == false and op3(op4(X)) == true .
```

หากมีแผนภาพมากกว่าหนึ่งแผนภาพในการอธิบายระบบแล้ว จะทำให้ได้สมการสัจพจน์มากกว่าหนึ่งสมการ

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างส่วนกำหนดชื่อมอดูล

ให้ผู้เขียนข้อกำหนด กำหนดชื่อของมอดูลได้เอง โดยลักษณะของมอดูลจะเป็นแบบมอดูลแบบอิสระเท่านั้น ดังนี้

```
module* FINALOP {

}
```

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างส่วนการประกาศมอดูลนำเข้า

การสร้างส่วนการประกาศมอดูลนำเข้า จะต้องพิจารณาตัวดำเนินการ Op แต่ละตัวในสมการสัจพจน์ที่แปลงได้จากขั้นตอนที่ 1 นำมาเปรียบเทียบหาตัวดำเนินการในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการ โดยจะนำชื่อมอดูล M ในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการที่มีการประกาศตัวดำเนินการ Op ที่ตรงกันนี้ มาทำการประกาศมอดูลนำเข้าในส่วนของข้อกำหนดคาเฟโอบีเจที่กำลังเขียนใหม่ การประกาศมอดูลนำเข้าจะเป็นการนำเข้าแบบป้องกันเท่านั้น

ตัวอย่าง ถ้า Op_i เป็นตัวดำเนินการใดๆที่อยู่ในสมการสัจพจน์ที่ได้จากการแปลงในขั้นตอนที่ 1 แล้ว จะทำการหาชื่อของมอดูลที่อยู่ในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการที่มีการประกาศตัวดำเนินการ Op_i ไว้ภายใน เช่น ถ้าพบตัวดำเนินการ Op_i ประกาศไว้ภายในมอดูลชื่อ M_j จะนำชื่อมอดูลมาทำการประกาศมอดูลนำเข้าได้ดังนี้

pr(M_j)

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างส่วนการกำหนดตัวดำเนินการ

ตัวดำเนินการที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งเป็นผลจากการแปลงเครือข่ายอนุภาคความต้องการมาเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ จะมีเพียงตัวดำเนินการหลักที่เป็นอนุภาคความต้องการตัวสุดท้ายในเครือข่ายอนุภาคความต้องการเท่านั้น (กฎข้อที่ 2) ส่วนชนิดของมูลสำหรับอาริตี้ (Arity) ของตัวดำเนินการที่เกิดขึ้นใหม่ จะต้องพิจารณาจากอาร์กิวเมนต์ของตัวดำเนินการว่าแต่ละตัวมีชนิดของข้อมูลเป็นอะไร โดยพิจารณาจากการประกาศตัวดำเนินการที่อยู่ในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการ

ตัวอย่าง ถ้าส่วนสมการสัจพจน์ที่แปลงได้จากขั้นตอนที่ 1 มีตัวดำเนินการใหม่ $Op_i(X_1, X_2, ..., X_j)$ แล้ว ต้องทำการหาชนิดข้อมูลของอาริตี้ของอาร์กิวเมนต์แต่ละตัวของ Op_i จากการค้นหาในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการ จากนั้นจึงนำมาสร้างเป็นส่วนการกำหนดตัวดำเนินการ ถ้าชนิดข้อมูลของอาริตี้ X_1, X_2, ..., X_j ที่หาจากคลังจัดเก็บตัวดำเนินการเป็น Sa_1,Sa_2, ..., Sa_j ตามลำดับแล้ว จะเขียนส่วนการกำหนด ตัวดำเนินการได้เป็น

op Op_i : Sa_1 Sa_2 ... Sa_j -> Sc

โดย Sc เป็นชนิดข้อมูลของโคอาริตี้สำหรับตัวดำเนินการ Op_i ซึ่งผู้เขียนข้อกำหนดจะต้องพิจารณาจากพฤติกรรมของระบบที่กำลังเขียนอยู่เอง

ขั้นตอนที่ 5 การสร้างส่วนการกำหนดตัวแปร

ทำการพิจารณาจากตัวแปรที่ปรากฏของแต่ละตัวดำเนินการในสมการสัจพจน์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาพิจารณาเทียบกับตัวดำเนินการที่อยู่ในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการ แล้วนำชนิดข้อมูลของตัวแปรที่เทียบหาได้นั้นมาเขียนในส่วนการกำหนดตัวแปร

ตัวอย่าง ถ้าพบตัวแปร V_i ซึ่งเป็นตัวแปรที่อยู่ในตัวดำเนินการ Op_i ในสมการสัจพจน์ จะทำการหาชนิดข้อมูลของอาริตี้ของตัวดำเนินการ Op_i ที่ประกาศในคลังจัดเก็บตัวดำเนินการ ถ้าพบว่ามีชนิดข้อมูลเป็น S_i แล้ว สามารถเขียนประกาศส่วนการกำหนดตัวแปรได้ดังนี้

var V_i : S_i

ขั้นตอนในการแปลงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจทั้ง 5 ข้อที่กล่าวมานี้ จะทำให้ได้ข้อกำหนดคาเฟโอบีเจที่สมบูรณ์ และสามารถนำไปตรวจสอบความถูกต้องจากตัวแปลภาษาคาเฟโอบีเจได้

3.3 กฎการแปลงและความสัมพันธ์ระหว่างเครือข่ายอนุภาคความต้องการกับข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ

จากการศึกษาส่วนประกอบต่างๆของแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวากยสัมพันธ์ของข้อกำหนดคาเฟโอบี พบว่าแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการหนึ่งแผนภาพ สามารถเทียบเคียงได้เป็นส่วนของสมการสัจพจน์ที่มีเงื่อนไขเท่านั้น โดยโหนดการดำเนินการจะเป็นชื่อตัวดำเนินการที่ในอยู่ในสมการของสัจพจน์ และวงกลมที่มีเส้นเชื่อมเข้ามายังทุกๆช่องการสื่อสาร "*Precond*" จะเป็นสมการเงื่อนไขของสัจพจน์ โดยที่ตัวดำเนินการที่เกิดขึ้นแต่ละตัว จะรับพารามิเตอร์เข้ามาจากช่องการสื่อสาร "*What*" และ "*Where*" เท่านั้น

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครือข่ายอนุภาคความต้องการกับ คาเฟโอบีเจ โดยชื่อของโหนดการดำเนินการจะเป็นชื่อของตัวดำเนินการในคาเฟโอบีเจ และชื่อของโหนดข้อมูลจะเป็นชื่อของตัวแปร (Variable) ที่ใช้ในสมการของคาเฟโอบีเจ สำหรับข้อความที่มากับเส้นเชื่อมที่เข้ามายังช่องการสื่อสาร "*What*" จะเป็นฟังก์ชันการดำเนินการ โดยมีข้อความที่มากับเส้นเชื่อมที่เข้ามายังช่องการสื่อสาร "*Where*" เป็นตัวแปร สำหรับข้อความที่มากับเส้นเชื่อมที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Ack*" และ "*Nack*" และเข้าไปยังช่องการสื่อสาร "*Precond*" ของอนุภาคถัดไปนั้น จะบอกเงื่อนไขของภาคแสดงโดยจะเป็นจริงและเท็จตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครือข่ายอนุภาคความต้องการกับคาเฟโอบีเจ

RPN Components	CafeOBJ Components
ชื่อโหนดดำเนินการ	ชื่อของตัวดำเนินการ
ชื่อโหนดข้อมูล	ชื่อของตัวแปร
ข้อมูลที่เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*What*"	การดำเนินการ P(x) โดย P เป็นชื่อของตัวดำเนินการ และ x เป็นชื่อของตัวแปร
ข้อมูลที่เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*Where*"	Variable name
ข้อมูลที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Ack*"	ภาคแสดงในเงื่อนไข P(x) == true
ข้อมูลที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Nack*"	ภาคแสดงในเงื่อนไข P(x) == false
ข้อมูลที่เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*Precond*"	If $\wedge_{i=1,n} P_i(x)$
ข้อมูลที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Out*"	การดำเนินการ P(x) โดย P เป็นชื่อของตัวดำเนินการ และ x เป็นชื่อของตัวแปร

ผู้วิจัยขอนำเสนอกฎการแปลงจากเครือข่ายอนุภาคความต้องการเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจในส่วนของสมการสัจพจน์จำนวน 12 ข้อ ดังนี้

กฎข้อที่ 1 เครือข่ายอนุภาคความต้องการใดๆ หนึ่งแผนภาพ เมื่อนำมาเขียนเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ จะได้สมการสัจพจน์ของคาเฟโอบีเจเพียงหนึ่งสมการเท่านั้น

เนื่องจากเครือข่ายอนุภาคความต้องการหนึ่งแผนภาพ เมื่อเขียนเป็นข้อกำหนดคาเฟโอบีเจจะได้เพียงสมการสัจพจน์เพียงสมการเดียว ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีอยู่หลายแผนภาพ จะถูกแปลงให้เป็นสมการสัจพจน์ที่ใช้ร่วมกันในข้อกำหนด

กฎข้อที่ 2 แผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการใดๆ อนุภาคความต้องการ FinalOp จะเป็นชื่อของตัวดำเนินการหลักของข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ ถ้าอนุภาค FinalOp เป็นอนุภาคความต้องการสุดท้าย

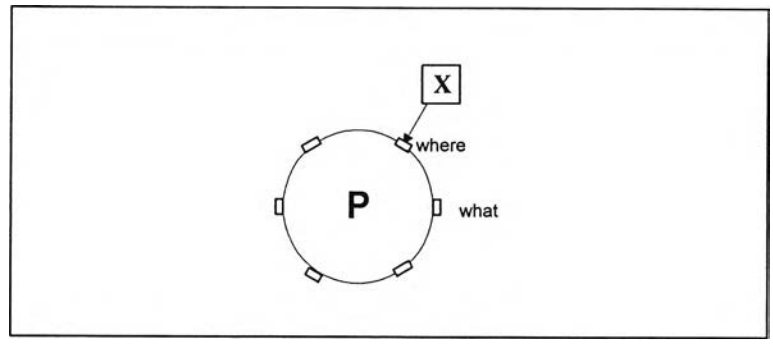
นิยาม อนุภาคความต้องการสุดท้าย คืออนุภาคความต้องการ P ใดๆ ที่อยู่ลำดับสุดท้ายของเส้นทาง (Path) โดยที่เส้นเชื่อมออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Out*", "*Ack*" และ "*Nack*" ไม่ได้เข้าไปยังอนุภาคใดๆ

เนื่องจากแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการ จะแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือการดำเนินการพื้นฐาน โดยเริ่มตั้งแต่ส่วนที่ย่อยที่สุดและผลลัพธ์จะถูกส่งต่อไปยังการดำเนินการถัดไปที่เรียกการดำเนินการพื้นฐานก่อนหน้ามาใช้อีกที ดังนั้นเมื่อนำมาเขียนเป็นภาษาคาเฟโอบีเจจึงจำเป็นต้องเริ่มต้นเขียนจากอนุภาคความต้องการสุดท้าย และจะท่อง (Traverse) ไปในแต่ละเส้นทาง (Path) ที่เป็นไปได้ทุกเส้นทาง จากตัวอย่างจากรูป 3.2 อนุภาคความต้องการชื่อ FinalOp เป็นอนุภาคสุดท้ายของแผนภาพ เพราะมีเส้นเชื่อมออกจากช่องการสื่อสาร "*Out*" แต่ไม่ได้เชื่อมไปยังอนุภาคความต้องการใด ดังนั้นอนุภาคความต้องการชื่อ FinalOp จึงเป็นตัวดำเนินการหลักในการเขียนสัจพจน์ สำหรับข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ

กฎข้อที่ 3 อนุภาคความต้องการ P ใดๆในเครือข่ายอนุภาคความต้องการจะหมายถึงตัวดำเนินการในข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ โดยชื่อของอนุภาคความต้องการจะเป็นชื่อของตัวดำเนินการของคาเฟโอบีเจ

อนุภาคความต้องการหนึ่งโหนด จะแทนการดำเนินการหนึ่งเหตุการณ์ ดังนั้นชื่อของอนุภาคความต้องการคือชื่อของตัวดำเนินการ ดังรูปที่ 3.2 ชื่ออนุภาคความต้องการในโหนดต่างๆ จะเป็นชื่อของตัวดำเนินการที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมด

กฎข้อที่ 4 สำหรับโหนดข้อมูล X ใดๆ ชื่อของโหนด จะใช้เป็นชื่อของตัวแปรในข้อกำหนดคาเฟโอบีเจ

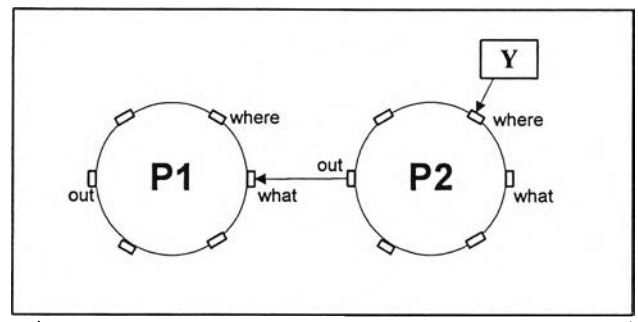


รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีโหนดข้อมูลเข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*Where*"

จากรูปที่ 3.3 กำหนดให้ P เป็นชื่อของโหนดดำเนินการ และ X เป็นชื่อของโหนดข้อมูล เมื่อเขียนเป็นฟังก์ชันในสมการของภาษาคาเฟโอบีเจจะเป็น

P(X)

โดยที่ P จะเป็นชื่อของตัวดำเนินการ และ X จะเป็นชื่อของตัวแปรสำหรับตัวดำเนินการ P



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีข้อมูลเข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*What*" และ "*Where*"

กฎข้อที่ 5 ช่องการสื่อสาร "*What*" ของอนุภาคความต้องการ P ใดๆ จะเป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์ของตัวดำเนินการ P ในคาเฟโอบีเจ

ช่องการสื่อสาร "*What*" จะรับข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ของการดำเนินการก่อนหน้า โดยอยู่ในรูปของฟังก์ชัน P(x) ที่ออกมาจากช่องสื่อสาร "*Out*" ของการดำเนินการก่อนหน้า ดังนั้นพารามิเตอร์สำหรับการดำเนินการฟังก์ชันย่อย

จากรูปที่ 3.4 ที่ช่องการสื่อสาร "*What*" ของอนุภาคความต้องการ P1 มีเส้นเชื่อมจากช่องการสื่อสาร "*Out*" ของอนุภาคความต้องการ P2 ดังนั้นผลลัพธ์จากการดำเนินการของอนุภาค P2 จะเป็นพารามิเตอร์สำหรับอนุภาคความต้องการ P1 สามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันของสมการในคาเฟโอบีเจได้เป็น

P1(P2(Y))

กฎข้อที่ 6 ช่องการสื่อสาร "*Where*" ของอนุภาคความต้องการ P ใดๆ จะเป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์ของตัวดำเนินการ P โดยพารามิเตอร์เหล่านั้นจะเป็นตัวแปร (Variable) ของสมการคาเฟโอบีเจ

ช่องการสื่อสาร "*Where*" จะรับข้อมูลที่มาจากโหนดข้อมูล ซึ่งโหนดข้อมูลระบุข้อมูลของตัวแปรเพื่อใช้สำหรับการดำเนินการ

จากรูปที่ 3.4 ที่อนุภาคความต้องการ P2 มีข้อมูลจากโหนดข้อมูล Y เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*Where*" จึงสามารถเขียนได้ในรูปของ P2(Y) และเมื่อรวมเข้ากับอนุภาคความต้องการ P1 แล้ว สามารถเขียนออกมาในลักษณะของฟังก์ชันของสมการในคาเฟโอบีเจได้เป็น

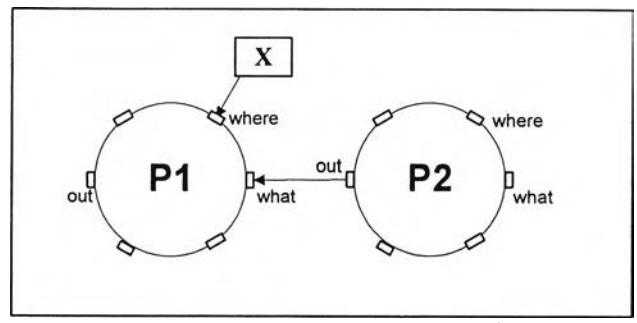
P1(P2(Y))

กฎข้อที่ 7 ผลลัพธ์ของอนุภาคความต้องการ P1 ใดๆ ที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Out*" จะเป็นพารามิเตอร์ของอนุภาคความต้องการ P2 ที่เชื่อมต่อกัน

ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการกระทำของตัวดำเนินการ จะอยู่ในรูปของฟังก์ชัน P(x) ซึ่งเมื่อถูกผ่านต่อไปยังช่องสื่อสาร "*What*" ของโหนดถัดไปแล้ว สามารถที่จะนำฟังก์ชันนี้ไปเป็นพารามิเตอร์สำหรับตัวดำเนินการได้

จากรูปที่ 3.4 เส้นเชื่อมจากช่องการสื่อสาร "*Out*" ของอนุภาคความต้องการ P2 ต่อกับช่องการสื่อสาร "*What*" ของอนุภาคความต้องการ P1 ซึ่งหมายความผลลัพธ์จากการดำเนินการ P2 จะเป็นพารามิเตอร์สำหรับการดำเนินการของ P1

กฎข้อที่ 8 อนุภาคความต้องการ P ใดๆ จะมีพารามิเตอร์ที่ได้รับจากช่องการสื่อสาร "*What*" และช่องการสื่อสาร "*Where*" ร่วมกัน

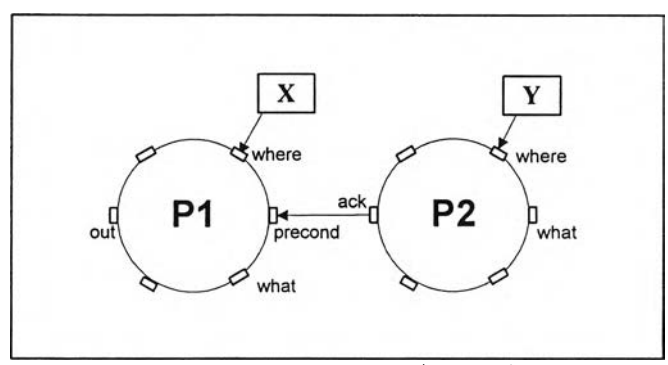


รูปที่ 3.5 แผนภาพเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีเส้นเชื่อมเข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*What*" และ "*Where*"

จากรูปที่ 3.5 พบว่าที่อนุภาคความต้องการ P1 มีเส้นเชื่อมจากโหนดข้อมูล X เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*Where*" และมีเส้นเชื่อมจากอนุภาคความต้องการ P2 เข้ามาที่ช่องการสื่อสาร "*What*" ดังนั้นเมื่อเขียนเป็นภาษาคาเฟโอบีเจ จะได้ดังนี้

P1(X, P2)

กฎข้อที่ 9 ช่องการสื่อสาร "*Precond*" ของอนุภาคความต้องการ P ใดๆ จะเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในสมการคาเฟโอบีเจ



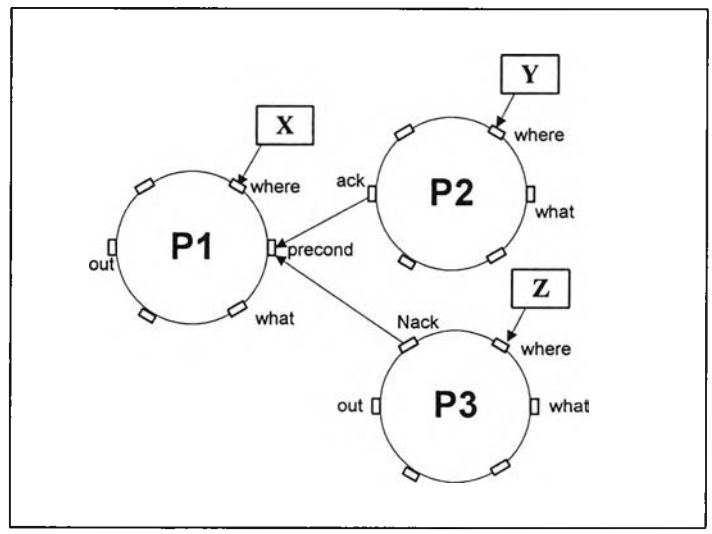
รูปที่ 3.6 แสดงเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีการเชื่อมต่อมายัง "*Precond*"

จากรูปที่ 3.6 ที่ช่องการสื่อสาร "*Precond*" ของอนุภาคความต้องการ P1 มีเส้นเชื่อมต่อมาจากอนุภาคความต้องการ P2 ดังนั้นอนุภาคความต้องการ P2 จึงเป็นเงื่อนไขสำหรับการดำเนินการ P1 จึงเขียนได้อยู่ในรูปของ

P1(X) if P2(Y)

กฎข้อที่ 10 ภาคแสดงที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Ack*" จะใช้เพื่อตรวจสอบกรณีเป็นจริงในเงื่อนไขของสมการคาเฟโอบีเจเสมอ

กฎข้อที่ 11 ภาคแสดงที่ออกมาจากช่องการสื่อสาร "*Nack*" จะใช้เพื่อตรวจสอบกรณีเป็นเท็จในเงื่อนไขของสมการคาเฟโอบีเจเสมอ



รูปที่ 3.7 แสดงเครือข่ายอนุภาคความต้องการที่มีเส้นเชื่อมจากช่องสื่อสาร "*Ack*" และ "*Nack*"

จากรูปที่ 3.7 จะพบว่ามีเส้นเชื่อมจากช่องการสื่อสาร "*Ack*" ของอนุภาคความต้องการ P2 และเส้นเชื่อมจากช่องการสื่อสาร "*Nack*" ของอนุภาคความต้องการ P3 ต่อเข้ามายังช่องการสื่อสาร "*Precond*" ของอนุภาคความต้องการ P1 ดังนั้น การดำเนินการ P1 จะกระทำก็ต่อเมื่อเงื่อนไขที่เกิดจากการดำเนินการของ P2 เป็นจริง และ P3 เป็นเท็จเท่านั้น จึงเขียนออกมาได้เป็น

P1(X) if P2(Y) == true and P3(Z) == false

กฎข้อที่ 12 กรณีที่มีอนุภาคความต้องการมากกว่าหนึ่งอนุภาคส่งค่ามายังช่องการสื่อสาร "*Precond*" ให้นำผลของอนุภาคความต้องการมา "AND" กันและใช้เป็นเงื่อนไขในคาเฟโอบีเจ

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.7 อนุภาคความต้องการ P1 จะถูกกระทำก็ต่อเมื่อ เหตุการณ์ที่เกิดกับอนุภาคความต้องการ P2 เป็นจริง และเหตุการณ์ที่เกิดกับอนุภาคความต้องการ P3 เป็นเท็จเท่านั้น