การประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชแบบแบ่งบล็อกบนระบบดาตากริด

นายเจษฎา เพ็งสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ 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.

PERFORMANCE EVALUATION OF REPLACEMENT POLICIES IN BLOCK-BASED DATA GRID CACHING

Mr. Jedsada Phengsuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชแบบแบ่งบล็อกบนระบบดาตากริด
โดย	นายเจษฎา เพ็งสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ยรรยง เต็งอำนวย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ อุทโยภาศ)

เจษฎา เพ็งสุวรรณ : การประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชแบบแบ่งบล็อกบนระบบดาตากริด. (PERFORMANCE EVALUATION OF REPLACEMENT POLICIES IN BLOCK-BASED DATA GRID CACHING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์, 65 หน้า.

แอพพลิเคชันที่หลากหลายในงานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูงมักมีการประมวลผลชุดข้อมูลจำนวนมากภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริด เนื่องจากชุดข้อมูลเหล่านี้มีขนาดใหญ่และกระจายตามองค์กรในภูมิภาคต่างๆ การเข้าถึงชุดข้อมูลขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดการเสียเวลาซึ่งเกิดจากข้อจำกัดด้านแบนด์วิดท์ของเครือข่ายบริเวณกว้าง ในการนี้ แคชแบบแบ่งบล็อกสำหรับดาตากริดจึงได้ถูกนำเสนอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการชุดข้อมูลขนาดใหญ่ในสภาพแวดล้อมของดาตากริด โดยทั่วไปประสิทธิภาพของแคชจะขึ้นต่อวิธีการแทนที่ข้อมูลเป็นสำคัญ จึงทำให้มีการนำเสนอวิธีการแทนที่ข้อมูลรูปแบบต่างๆ เป็นจำนวนมากเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเว็บแคช อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของวิธีการแทนที่ข้อมูลเหล่านี้ในระบบงานที่เน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่อย่างเช่นงานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูง

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของแคชในดาตากริดซึ่งมีกลไกการทำงานแบบแบ่งบล็อก โดยใช้วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ ที่ได้รับความนิยมและทำการทดลองกับข้อมูลภาระงานจากระบบจัสมินและแซมกริดซึ่งเป็นระบบดาตากริดที่สนับสนุนโครงการพีพีดีจีและโครงการดีซีโร ตามลำดับ โครงการเหล่านี้เป็นหนึ่งในโครงการทดลองวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงซึ่งใหญ่ที่สุด ทั้งนี้ ผลการทดลองได้แสดงถึงพฤติกรรมของวิธีการแทนที่ข้อมูลประเภทต่างๆ ที่มีต่อรูปแบบการเข้าถึงข้อมูลของระบบดาตากริดในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง นอกจากนี้ผลการประเมินดังกล่าวสามารถใช้เพื่อแนวทางในการพัฒนาวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมต่อแคชในดาตากริดซึ่งมีกลไกการทำงานแบบแบ่งบล็อกต่อไป

ภาควิชา .....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5070682921 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORD : DATA GRID / CACHE REPLACEMENT POLICY / HIGH ENERGY PHYSIC

JEDSADA PHENGSUWAN : PERFORMANCE EVALUATION OF REPLACEMENT POLICIES IN BLOCK-BASED DATA GRID CACHING. ADVISOR : NATAWUT NUPAIROJ, Ph.D., 65 pp.

A variety of high-energy physic applications involve processing multiple input files in data grid environment. Since these data files are quite large and located at several geographically distributed institutions, accessing large data set can become very time consuming due to bandwidth limitation in wide area network. Recently, Block-based Data Grid Caching has been proposed to provide more efficient mechanism on managing large data set in data grid environment. It reduces network bandwidth requirement and minimizes access latency. In general, the performance of the caching depends heavily on cache replacement policy. Many replacement policies have been proposed in literature, which aims to improve performance of web caching. However, existing research does not consider the impact of a diversity of cache replacement policies, especially for data-intensive applications like high-energy physic.

In this research, we have evaluated the performance of Block-based data gird caching, using popular cache replacement policies. We conducted our experiments with two real workloads produced by the JASMine and SAM-Grid, which are distributed data handling system supporting for PPDG and DØ projects. These projects are one of the largest currently running high-energy physic experiments. Our experiment results reveal different behavior of the replacement policies on access pattern of high-energy physic data grid. In addition, the results provide us guidelines in order to design an efficient replacement policy for Block-based data grid caching.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2011

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือต่าง ๆ มาโดยตลอดระยะเวลาการศึกษาและการวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ยรรยง เต็งอำนวย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภุชงค์ อุทโยภาศ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำเพื่อการปรับปรุงงานวิทยานิพนธ์ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ Dr. Gabriele Garzoglio จากห้องปฏิบัติการเฟอร์มิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรเพื่อการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรักและความห่วงใย ทำให้เกิดกำลังใจและความมุมานะในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมระบบสารสนเทศและที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ แบ่งปันความรู้และแง่คิดต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 5

1.6 ผลงานตีพิมพ์ 6

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 แนวคิดและทฤษฎี 7

2.1.1 ดาตากริดและฟิสิกส์พลังงานสูง 7

2.1.2 แคช 14

2.1.3 การแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อกในระบบดาตากริด (Block-based Data Grid Caching) 15

บทที่ หน้า

2.1.4 วิธีการแทนที่ข้อมูลในแคช (Cache Replacement Policy) 16
2.1.5 ทฤษฎีท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูล (Locality of Reference) 22
2.1.6 การวิเคราะห์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับ (All-K th-Order Markov Model) 23
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
2.2.1 การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับระบบดาตากริด 24
2.2.2 การวิเคราะห์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ตัวแบบมาร์คอฟ (Markov Model) 25
3 ท้องถิ่นการอ้างอิงและการแทนที่ข้อมูลสำหรับงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง 26
3.1 ท้องถิ่นการอ้างอิง 26
3.2 คุณลักษณะของภาระงาน 28
3.2.1 คุณลักษณะของภาระงานจากจัสมิน เจแลป 29
3.2.2 คุณลักษณะของภาระงานโครงการดีซีโร (DØ) 29
3.3 การทำนายท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยตัวแบบมาร์คอฟ 31
3.3.1 การสร้างตาราง TPM 32
3.3.2 การใช้งานตาราง TPM 33
3.3.3 การวิเคราะห์ตาราง TPM จากข้อมูลภาระงานดีซีโร 33
3.4 การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูล 34
3.4.1 อัลกอริทึม 35
4 การทดลองและวิเคราะห์ผล 38
4.1 การทดลอง 39
4.1.1 สถาปัตยกรรมและสภาพแวดล้อมการจำลอง 39
4.1.2 วิธีการทดลอง 40

บทที่ หน้า

4.1.3 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูล 42
4.2 ผลการทดลอง 43
4.2.1 ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลภาระงานจัสมิน เจแลป 43
4.2.2 ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร (DØ) 46
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบจากระยะเวลาของข้อมูลภาระงาน 50
5 บทสรุป 53
5.1 สรุปผลการวิจัย 53
5.2 ปัญหาและข้อจำกัดที่พบจากการวิจัย 53
5.3 ข้อเสนอแนะ 54
6 รายการอ้างอิง 55
7 ภาคผนวก 60
8 ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 65

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การบริหารจัดการข้อมูลของเทียร์ต่างๆ ในโมเดล MONARC 11

2.2 การใช้ทรัพยากรเครือข่ายเพื่อถ่ายโอนข้อมูลในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง 13

2.3 เวลาที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลขนาด 1 เทระไบต์ผ่านเครือข่ายประเภทต่างๆ 13

2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเว็บแคชและแคชสำหรับดาตากริด 15

2.5 การแบ่งกลุ่มวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งนำเสนอโดย [25] 17

2.6 ตัวอย่างการสร้างตาราง TPM 23

3.1 ข้อมูลทางสถิติของภาระงานที่ใช้ในการทดลอง 28

3.2 โครงสร้างฐานข้อมูลของตาราง TPM ในลำดับ k 32

3.3 การกระจายของสเตทในตาราง TPM ของข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร 34

4.1 แสดงตัวแทนของวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เลือกใช้ในการทดลอง 40

4.2 การตั้งค่าคุณสมบัติในการทดลอง 41

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 รูปแบบการใช้งานข้อมูลในระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล..... 2

2.1 แผนผังการติดตั้งเครื่องตรวจหาทั้ง 6 ชนิดของโครงการแอลเอชซี 8

2.2 รูปแบบการประยุกต์ใช้ดาตากริดในการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่..... 9

2.3 แผนผังการทำงานและการกระจายของข้อมูลจากการทดลองการชนกันของอนุภาค ในเครื่องแอลเอชซี 10

2.4 การทำงานของแคช..... 14

2.5 เปรียบเทียบการจัดเก็บข้อมูลทั้งแฟ้มและการจัดเก็บข้อมูลแบบแบ่งบล็อก..... 16

2.6 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU..... 18

2.7 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LFU 19

2.8 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล SIZE 20

2.9 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล RAND..... 21

2.10 แสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล GDS..... 22

2.11 สมการการสร้างตาราง Transition Probability Matrix..... 23

3.1 รูปแบบของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในแคชแบบแบ่งบล็อก..... 26

3.2 รูปแบบของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลแบบตามลำดับในแคชแบบแบ่งบล็อก..... 27

3.3 การกระจายของขนาดแฟ้มข้อมูลที่ถูกร้องขอโดยลูกข่าย 29

3.4 การกระจายของขนาดแฟ้มข้อมูลที่มีการร้องขอ..... 30

3.5 จำนวนการอ้างอิงแฟ้มข้อมูลในช่วงขนาดต่างๆ 30

3.6 การกระจายของความนิยมแฟ้มข้อมูล 31

3.7 กระบวนการสร้างตาราง Transition Probability Matrix..... 32

3.8 การใช้งานตาราง TPM..... 33

3.9 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในแคชแบบแบ่งบล็อก..... 35

ภาพที่ หน้า

3.10 คำสั่งเทียมแสดงการทำงานของแคชที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ 36

3.11 การนำบล็อกออกจากแคชเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับข้อมูลใหม่ 37

4.1 สถาปัตยกรรมการจำลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคช 39

4.2 สมการการคำนวณขนาดของพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลในแคช 41

4.3 ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 43

4.4 ไบต์ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 44

4.5 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 45

4.6 แสดงปรากฏการณ์การอ้างอิงข้อมูลเดียวกันในเวลาที่ใกล้เคียงกัน 46

4.7 ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 47

4.8 ไบต์ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 48

4.9 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่องานที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 49

4.10 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่อแฟ้มที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 49

4.11 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่อบล็อกที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ 50

4.12 การกระจายของระยะห่างเวลาการอ้างอิงข้อมูลครั้งถัดไป 51

4.13 รูปแบบการอ้างอิงข้อมูลในภาระงานโครงการดีซีโร 52

บทที่ 1

บทนำ

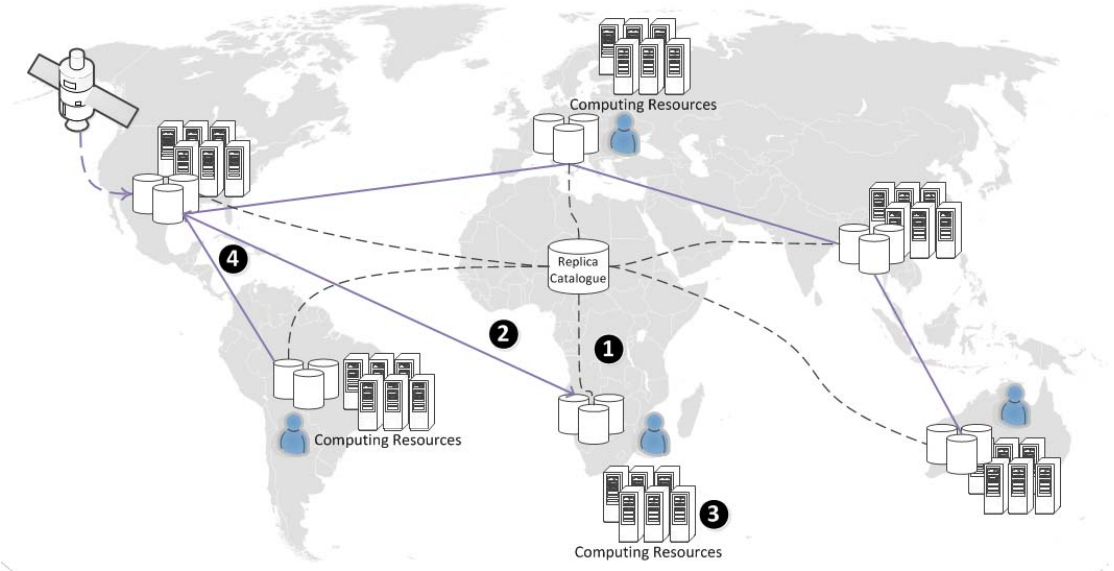
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กริดเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการรวมกันของทรัพยากรคอมพิวเตอร์จากหลายหน่วยงานในภูมิภาคต่างๆ และกลายเป็นแหล่งทรัพยากรคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกันอย่างคุ้มค่า ปัจจุบันเทคโนโลยีกริดได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในกลุ่มงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เช่น การค้นหาและพัฒนายา [1] งานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูง [2] และงานวิจัยด้านดาราศาสตร์ [3] เป็นต้น เทคโนโลยีกริดช่วยให้นักวิจัยสามารถแก้ปัญหาวิทยาศาสตร์ที่มีความซับซ้อนให้สำเร็จได้ด้วยระยะเวลาที่สั้นลงโดยอาศัยทรัพยากรที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก จากการศึกษาพบว่า ระบบงานในกริดสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทได้แก่ ระบบงานซึ่งเน้นการคำนวณ และระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล ทั้งนี้ งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล [4]

ปัจจุบันได้มีจัดตั้งโครงการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลเป็นจำนวนมาก โครงการวิจัยดังกล่าวมักมีการใช้งานเครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่าหรือสังเกตการณ์ในการทดลอง ตัวอย่างการทดลองดังกล่าว ได้แก่ การทดลองการชนกันของอนุภาคในเครื่องเร่งอนุภาคแอลเอชซี [5] [6]และการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่หรือแอลเอสเอสที [7] เป็นต้น การทดลองดังกล่าวทำให้ให้เกิดการผลิตชุดข้อมูลขนาดใหญ่[1]จำนวนมาก โดยข้อมูลจะถูกนำไปจัดเก็บตามหน่วยงานต่างๆ ซึ่งเป็นสมาชิกภายในองค์กรเสมือน [8] ทั้งนี้นักวิจัยซึ่งอยู่ภายในองค์กรเสมือนสามารถใช้ข้อมูลเพื่อทำงานวิจัยได้โดยการถ่ายโอนชุดข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่ต้องการผ่าน*เครือข่ายบริเวณกว้าง*เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลและวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทั้งนี้ รูปแบบทั่วไปของการใช้งานข้อมูลในระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล [2] ดังแสดงในภาพที่ 1.1 มีลำดับการใช้งานดังนี้

---

[1] ชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่ทำการถ่ายโอนผ่านเครือข่ายอาจมีขนาดในระดับหลายกิกะไบต์ อีกทั้งมีหลายบทความวิจัยที่มีการกล่าวถึงการถ่ายโอนข้อมูลในระดับเพตะไบต์



ภาพที่ 1.1 รูปแบบการใช้งานข้อมูลในระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล

1) ผู้ใช้งานระบุชุดข้อมูลที่ต้องการใช้งาน และใช้งานระบบสารบัญแฟ้มเพื่อเลือกหน่วยงานซึ่งเป็นหน่วยเก็บข้อมูลที่เหมาะสม
2) ผู้ใช้งานทำการถ่ายโอนข้อมูลจากหน่วยงานซึ่งเป็นหน่วยเก็บข้อมูลเพื่อนำมาจัดเก็บที่เครื่องแม่ข่ายในหน่วยงานของตน และทำการเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมใช้งาน
3) ผู้ใช้งานใช้เครื่องแม่ข่ายในหน่วยงานของตนซึ่งมีระบบประมวลผลสมรรถนะสูง เพื่อทำการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนการผลิตชุดข้อมูลใหม่ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูล
4) ผู้ใช้งานถ่ายโอนข้อมูลใหม่ซึ่งเป็นผลลัพธ์กลับไปยังหน่วยงานซึ่งเป็นหน่วยเก็บข้อมูลพร้อมกับลงทะเบียนชุดข้อมูลใหม่

รูปแบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ชุดข้อมูลที่ใช้งานในระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลนั้น จะกระจายอยู่ตามหน่วยเก็บข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ บนเครือข่ายบริเวณกว้าง ดังนั้น หน่วยงานซึ่งเป็นผู้ดูแลข้อมูลจึงควรมีระบบซึ่งมีการบริหารจัดการข้อมูลที่ดีเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และสามารถจัดเก็บข้อมูลได้ในระดับเทระไบต์จนถึงเพตะไบต์ [9] รวมถึงควรมีระบบเครือข่ายประสิทธิภาพสูงเพื่อรองรับการถ่ายโอนข้อมูลซึ่งมีขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อรองรับการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ซึ่งเรียกว่า “ดาตากริด” [9] เพื่อสนับสนุนระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล โดยปัจจุบันได้มีโครงการวิจัยที่นำเทคโนโลยีดาตากริดมาประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น

โครงการพาทิเคิลฟิสิกส์ดาตากริด [10] โครงการจีโอกริด [11] และโครงการเอิร์ธซายน์กริดหรืออีเอสจี [12] เป็นต้น โครงการดังกล่าวมักจะมีการรวบรวมและบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ซึ่งเกิดจากการทดลองหรือสังเกตการณ์ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์กับงานวิจัยในโครงการวิจัยต่างๆ ได้ในอนาคต

ปัญหาสำคัญของระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลและระบบดาตากริดได้แก่ “เวลาในการเข้าถึงข้อมูล” ซึ่งเกิดจากชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ กล่าวคือ ระบบงานดังกล่าวจะต้องเข้าถึงและโอนย้ายข้อมูลซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลหรือฐานข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลซึ่งกระจายอยู่ตามหน่วยงานต่างๆ บนระบบเครือข่ายบริเวณกว้างเพื่อนำมาเก็บไว้ยังหน่วยเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งเดียวกับระบบงานหรือหน่วยเก็บข้อมูลในพื้นที่ใกล้เคียงกับระบบงานภายในเครือข่ายเฉพาะที่ นอกจากนี้ ระบบงานจะสามารถประมวลผลได้ก็ต่อเมื่อ กระบวนการถ่ายโอนชุดข้อมูลนั้นเสร็จสิ้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน อีกทั้งมีการใช้ปริมาณแบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อภาพรวมของประสิทธิภาพการทำงานในระบบงานดังกล่าว ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคเพื่อลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูลสำหรับระบบดาตากริดจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบงานที่เน้นการใช้ข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ

การจัดเก็บข้อมูลในแคชเป็นเทคนิคสำคัญอย่างหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับระบบดาตากริดโดยการจัดเก็บข้อมูลที่มีแนวโน้มการใช้งานอีกในอนาคตไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลในพื้นที่ของตัวเอง ซึ่งเป็นการลดเวลาการเข้าถึงข้อมูลและลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ กลไกหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการทำงานของแคชได้แก่ “วิธีการแทนที่ข้อมูล” (Cache Replacement Policy) กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลภายในแคชเต็ม กลไกการแทนที่ข้อมูลจะทำหน้าที่ในการตัดสินใจเพื่อลบข้อมูลบางส่วนออกจากพื้นที่จัดเก็บข้อมูลในแคช เพื่อให้แคชมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับข้อมูลใหม่ที่จะถูกจัดเก็บภายในแคช วิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแคชให้ดียิ่งขึ้นอีกทั้งเป็นการรองรับการขยายตัวของระบบดาตากริด การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบดาตากริดในปัจจุบันยังคงอ้างอิงวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบเว็บ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงผลกระทบของวิธีการแทนที่ข้อมูลเหล่านี้ภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริด ดังนั้นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลของแคชในระบบเว็บภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริด ย่อมเป็นประโยชน์และมีความสำคัญต่อการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชที่เหมาะสมสำหรับระบบดาตากริดได้ต่อไปในอนาคต

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนองานซึ่งเป็นส่วนขยายของ [13] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับเว็บแคชภายใต้กลไกการทำงานของแคชแบบแบ่งบล็อกในระบบดาตากริด และ (2) ศึกษาแนวทางในการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลที่สอดคล้องกับกลไกการทำงานของแคชแบบแบ่งบล็อก โดยผลจากการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ ของแคชที่ใช้ในระบบเว็บภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริดและมีจัดการข้อมูลภายในแคชด้วยวิธีการแบ่งบล็อก จะนำไปสู่การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับแคชแบบแบ่งบล็อกที่ทำงานในระบบดาตากริดได้อย่างเหมาะสม ซึ่งส่งผลกระทบที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบดาตากริด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบเว็บนั้นมีอยู่หลายวิธี การจัดกลุ่มวิธีการแทนที่ข้อมูลที่ใช้งานในเว็บแคชและเลือกตัวแทนวิธีการแทนที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มเพื่อนำมาศึกษา จึงเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อลดเวลาในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูล อีกทั้งสามารถศึกษาได้ครบทุกคุณสมบัติของวิธีการแทนที่ข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับเว็บแคช ภายใต้กลไกการทำงานของแคชแบบแบ่งบล็อก (Block-based Cache) ในระบบดาตากริด และนำเสนอวิธีการแทนที่ข้อมูลทีเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแคชแบบแบ่งบล็อก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับแคชแบบแบ่งบล็อก ซึ่งทำหน้าที่เป็นพร็อกซีระหว่างคอมพิวเตอร์ลูกข่ายและแม่ข่ายแฟ้มข้อมูล

1.3.2 งานวิจัยนี้กำหนดโครงสร้างของระบบเครือข่ายและสภาพแวดล้อมของระบบในการทดลองแบบเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [17] ซึ่งประกอบด้วย ลูกข่าย แม่ข่ายพร็อกซี และแม่ข่ายแฟ้มข้อมูล โดยลูกข่ายเชื่อมต่อกับแม่ข่ายพร็อกซีด้วยเครือข่ายท้องถิ่นและแม่ข่ายพร็อกซีเชื่อมต่อกับแม่ข่ายแฟ้มข้อมูลด้วยเครือข่ายระยะไกล

1.3.3 งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาระงานเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้า[17] และภาระงานซึ่งมีการใช้งานในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงภายใต้โครงการดีซีโจ[18] ซึ่ง ณ เวลาหนึ่งๆ ลูกข่ายจะมีการ ร้องขอแฟ้มข้อมูลเพียงครั้งละหนึ่งแฟ้มเท่านั้น

1.3.4 งานวิจัยนี้นำเสนอการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการประเมินค่าฮิตเรท ไบต์ฮิตเรท และค่าเฉลี่ยลาเทนซี และทำการทดลองด้วยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบเครือข่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการแทนที่ข้อมูลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการข้อมูลภายในแคชแบบแบ่งบล็อก ลดปริมาณการใช้งานแบนวิดท์ ตลอดจนลดเวลาการเข้าถึงข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีแนวโน้มการใช้งานบ่อยครั้ง

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของแคชและวิธีการแทนที่ข้อมูล

1.5.2 ศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆสำหรับเว็บแคชบนสภาพแวดล้อมของดาตากริด

1.5.3 ออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมกับแคชแบบแบ่งบล็อก

1.5.4 ทดสอบวิธีการที่นำเสนอ

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.6 สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.6 ผลงานตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้ตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมวิชาการดังนี้

1.6.1 บทความชื่อ *"การประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชบนระบบดาตากริด"* [14]

1.6.1.1 ชื่อผู้แต่ง เจษฎา เพ็งสุวรรณ และณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์

1.6.1.2 ตีพิมพ์และนำเสนอในงานประชุมวิชาการชื่อ *The 12th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC2008)* ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 20-21 พฤศจิกายน 2551 ณ จ.ชลบุรี ประเทศไทย

1.6.2 บทความชื่อ *"Performance Evaluation of Cache Replacement Policies for High-Energy Physic Data Grid"* [15]

1.6.2.1 ชื่อผู้แต่ง Jedsada Phengsuwan และ Natawut Nupairoj

1.6.2.2 ตีพิมพ์และนำเสนอในงานประชุมวิชาการชื่อ *The 14th International ANnual Symposium on Computational Science and Engineering* ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 23-26 มีนาคม 2553 ณ จ.เชียงราย ประเทศไทย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

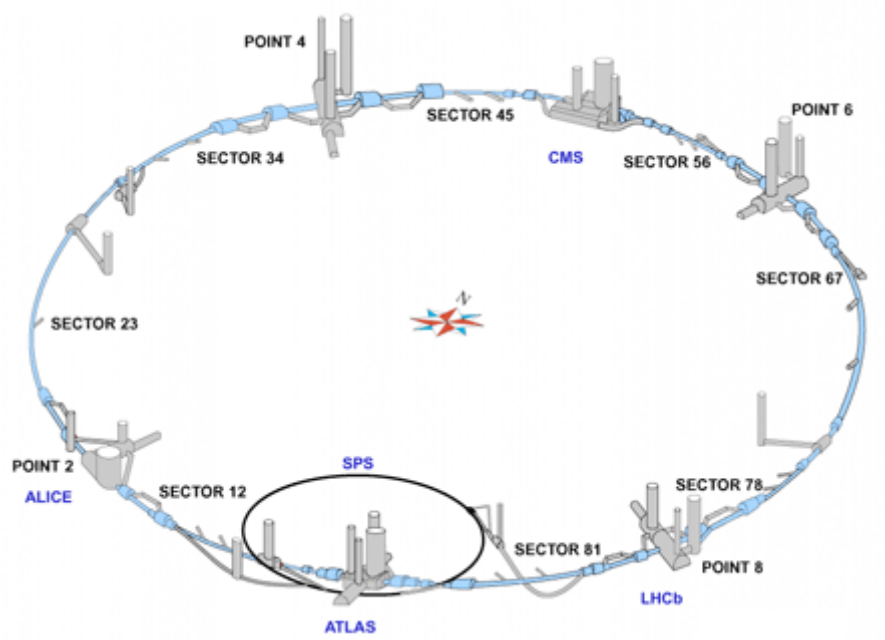
2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ดาตากริดและฟิสิกส์พลังงานสูง

การใช้งานข้อมูลขนาดใหญ่ซึ่งกระจายตามหน่วยเก็บข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ บนเครือข่ายบริเวณกว้างในระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลนั้น จำเป็นต้องมีระบบในการบริหารจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ และสนับสนุนการทำงานของนักวิจัย *"ดาตากริด (Data Grid)"* [9] จึงได้ถูกนำเสนอเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว โดยดาตากริดประกอบด้วยระบบพื้นฐานและบริการต่างๆ ซึ่งสนับสนุนการกระบวนการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น การจัดเก็บข้อมูล การค้นหาข้อมูล การให้บริการการเข้าถึงข้อมูล การถ่ายโอนข้อมูล รวมถึงระบบความปลอดภัยและการบริหารจัดการสิทธิ์ในการใช้งาน เป็นต้น ทั้งนี้โครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงถือเป็นหนึ่งในโครงการวิจัยซึ่งเป็นระบบงานที่เน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลที่ได้นำเทคโนโลยีดาตากริดมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลพื้นฐานของโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง คุณสมบัติและสภาพแวดล้อมของการใช้งานข้อมูลในโครงการจัยดังกล่าว ตลอดจนแนวทางการประยุกต์ใช้ดาตากริดและการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบดาตากริดสำหรับโครงการฟิสิกส์พลังงานสูง

2.1.1.1 โครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง

โครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงถูกจัดตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งเกิดจากการชนกันของอนุภาคขนาดเล็ก เช่น การชนกันของโปรตอนที่ระดับพลังงานสูง งานวิจัยดังกล่าวจะมีการสร้างเครื่องมือขนาดใหญ่ที่เรียกว่า "เครื่องเร่งอนุภาค" ซึ่งมีความสามารถทำให้เกิดการชนกันของอนุภาคในระดับพลังงานสูงยิ่งยวด โดยอันตรกิริยาและเหตุกาณ์ต่างๆ ซึ่งเกิดจากการชนกันของอนุภาคจะถูกตรวจจับและบันทึกเป็นข้อมูล เพื่อให้บริการแก่กลุ่มนักวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ ในหลายประเทศที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้งานตามวัตถุประสงค์การวิจัยของนักวิจัยในแต่ละกลุ่ม โดยปัจจุบันมีโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงจำนวนมากได้ถูกจัดตั้งขึ้น เช่น โครงการแอลเอชซีโดยองค์กรเซิร์นจากสหภาพยุโรป [6] และโครงการดีซีโร่ [16] โดยห้องปฏิบัติการเฟอร์มิในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 แผนผังการติดตั้งเครื่องตรวจหาทั้ง 6 ชนิดของโครงการแอลเอชซี[2]

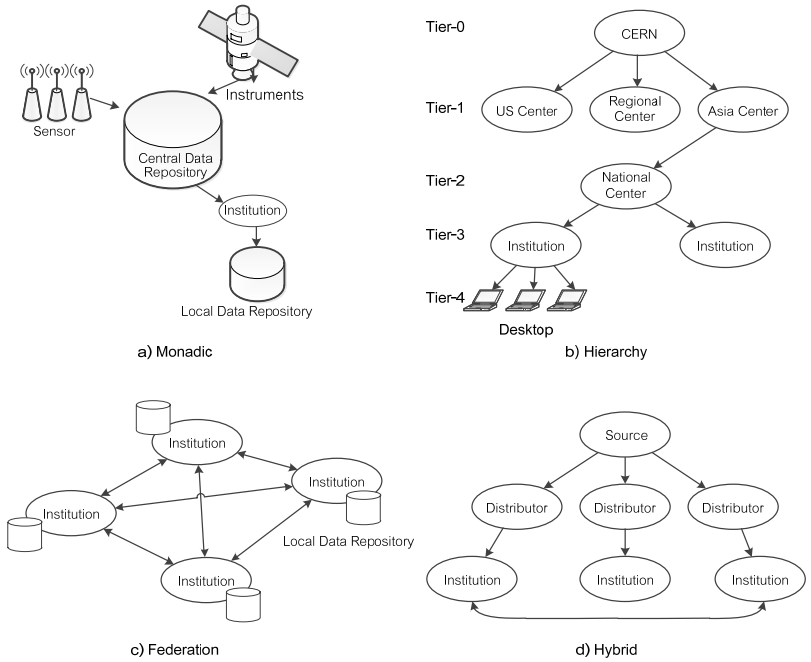
เซิร์น (CERN หรือ European Council for Nuclear Research) เป็นองค์กรวิจัยด้านฟิสิกส์พลังงานสูงที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลกซึ่งได้ถูกก่อตั้งขึ้น เมื่อปี ค.ศ. 1954 ณ กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ [17] วัตถุประสงค์ในการก่อตั้งเซิร์นคือการสร้างองค์กรระหว่างประเทศในยุโรปเพื่อการค้นคว้าวิจัยด้านนิวเคลียร์และฟิสิกส์พื้นฐาน โดยมีนักวิจัยสาขาฟิสิกส์จากหน่วยงานต่างๆ ในหลายประเทศได้เข้าร่วมการทดลองและใช้งานข้อมูลจากการทดลองเพื่อการศึกษาวิจัย ทั้งนี้ เซิร์นได้จัดตั้งโครงการแอลเอชซีพร้อมทั้งได้ทำการสร้างเครื่องชนอนุภาคเอลเอชซี (LHC หรือ Large Hadrons Colliders) [6] ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคขนาดยักษ์ที่สามารถเร่งอนุภาคเพื่อให้เกิดการชนกันของอนุภาคโปรตอนที่มีชื่อว่า “ฮาดรอน” (Hardons) โดยเป็นการชนกันของอนุภาคจะเกิดขึ้นที่ระดับพลังงาน 14 TeV ทั้งนี้ วัตถุประสงค์หลักของการทดลองการชนกันของอนุภาคของเครื่องแอลเอชซีคือการค้นหาอนุภาคฮิก (Higgs) [5] การทดลองหลักในโครงการแอลเอชซีสามารถแบ่งได้เป็น 6 การทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งได้แก่ การทดลอง ATLAS การทดลอง CMS การทดลอง ALICE การทดลอง LHCb การทดลอง TOTEM และการทดลอง LHCf [29] ทั้งนี้ การทดลอง ATLAS และ การทดลอง CMS ถือเป็นการทดลองที่ใช้เครื่องตรวจหาซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีความซับซ้อนสูง โดยเครื่องตรวจหาที่ใช้ในการทดลอง ATLAS มีน้ำหนักถึง 7,000 ตัน มีปริมาตร 10,000 ลูกบาศก์เมตร และมีช่องสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับการชนกัน

2 ที่มา http://public.web.cern.ch/public/features-archive/0910-0912.html

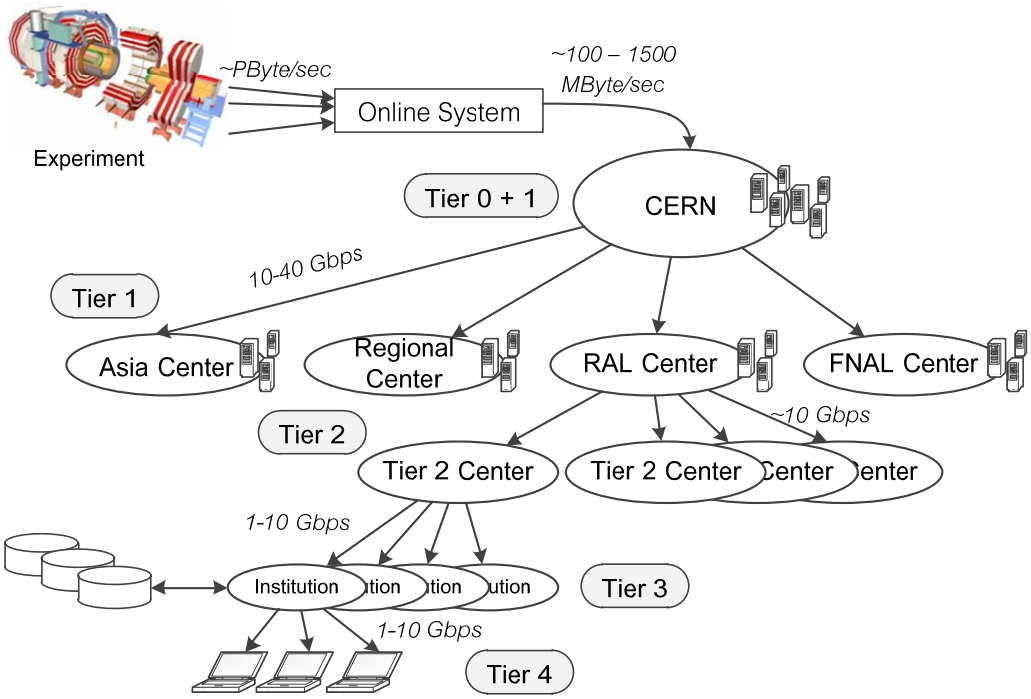
ของโปรตอนมากถึง 150 ล้านช่องสัญญาณ [18] การทดลองดังกล่าวเป็นผลให้มีข้อมูลดิบเกิดขึ้นที่เครื่องตรวจหาในอัตราสูงกว่า 1 เพตะไบต์ต่อวินาที ซึ่งผลลัพธ์การทดลองจากเครื่องตรวจหาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานศึกษาวิจัยในสาขาฟิสิกส์ได้อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจำนวนมากและมีขนาดใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นจากการทดลองนั้น จำเป็นต้องมีระบบซึ่งสามารถบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ในระดับเทระไบต์จนถึงเพตะไบต์ รวมถึงจะต้องมีระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อรองรับการถ่ายโอนข้อมูลซึ่งขนาดใหญ่

2.1.1.2 รูปแบบการบริหารจัดการข้อมูลของระบบดาตากริดในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง

ดาตากริดเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล โดยปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ดาตากริดอย่างแพร่หลาย ส่งผลเกิดรูปแบบการเชื่อมต่อและบริหารจัดการระบบดาตากริดที่หลากหลายตามเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมและความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ บทความวิจัยเชิงสำรวจ [19] ได้แบ่งอนุกรมวิธานของระบบดาตากริดซึ่งใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลในระบบงานซึ่งเน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลออกเป็น 4 รูปแบบดังแสดงในภาพที่ 2.2 ได้แก่ (1) การบริหารจัดการแบบรวมศูนย์ (2) การบริหารจัดการแบบลำดับชั้น (3) การบริหารจัดการแบบสหองค์กร และ (4) การบริหารจัดการแบบผสม



ภาพที่ 2.2 รูปแบบการประยุกต์ใช้ดาตากริดในการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่



ภาพที่ 2.3 แผนผังการทำงานและการกระจายของข้อมูลจากการทดลองการชนกันของอนุภาคในเครื่องแอลเอชซี

โครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงได้ประยุกต์ใช้ดาตากริดในรูปแบบการบริหารจัดการแบบลำดับชั้นเพื่อกระจายข้อมูลไปยังหน่วยงานต่างๆ รูปแบบดังกล่าวถูกเรียกว่า โมเดล MONARC [20] ซึ่งเป็นรูปแบบที่ออกแบบโดยเซิร์นและได้มีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบดาตากริดในโครงการฟิสิกส์พลังงานสูงหลายโครงการเช่น แอลซีจี (LCG หรือ LHC Computing Grid) [8] ในโครงการแอลเอชซีของเซิร์น และแซมกริด (SAM-Grid) [21]ในโครงการดีซีโร่ของห้องปฏิบัติการเฟอร์มิ เป็นต้น โมเดล MONARC ที่มีการใช้งานในโครงการแอลเอชซีของเซิร์นได้แบ่งลำดับชั้นในการจัดเก็บและใช้งานข้อมูลออกเป็น 5 ลำดับชั้นซึ่งเรียกกว่า *“เทียร์”* ประกอบด้วย เทียร์-0 ถึง เทียร์-4 ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งเป็นรูปแบบการกระจายข้อมูลจากการทดลองการชนกันของอนุภาคในเครื่องเร่งอนุภาคในการทดลอง ATLAS ทั้งนี้ หน่วยงานต่างๆ ซึ่งเป็นสมาชิกในโครงการแอลเอชซีจะถูกกำหนดบทบาทไปยังเทียร์ต่างๆ ตามความความสามารถและความพร้อมในการบริหารจัดการข้อมูล การทดลองในแต่ละครั้งทำให้เกิดการผลิตข้อมูลดิบที่มีขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากด้วยอัตรามากกว่า 1 เพตะไบต์ต่อวินาที ข้อมูลดังกล่าวจะถูกคัดกรองและบันทึกลงหน่วยเก็บข้อมูลของเทียร์-0 ด้วยอัตรา 100 เมกะไบต์ต่อวินาที โดยเทียร์-0 จะบริหารจัดการโดยเซิร์นเพียงองค์กรเดียว [34] ข้อมูลจากเทียร์-0 จะถูกถ่ายโอนไปยังเทียร์-1 โดยผ่านเครือข่ายบริเวณกว้างที่มีแบนด์วิดท์สูงเพื่อทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางข้อมูลการทดลองฟิสิกส์พลังงานสูงให้แก่

หน่วยงานต่างๆ ในภูมิภาคหรือในประเทศ ทั้งนี้ องค์ประกอบที่สำคัญของเทียร์-1 ประกอบด้วยหน่วยเก็บข้อมูลขนาดใหญ่และเทปสำรองข้อมูลเพื่อให้สามารถสำเนาข้อมูลจากเทียร์-0 ให้ได้มากที่สุด จากนั้นข้อมูลประมาณ 5-25 เปอร์เซ็นต์จากเทียร์-1 จะถูกถ่ายโอนไปยังเทียร์-2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยเก็บข้อมูลและแหล่งให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้เพื่อวิเคราะห์และประมวลผล นอกจากนี้ *เทียร์-2 อาจมีการติดตั้งแคชเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่มีแนวโน้มการใช้งานในอนาคต* ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้และปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ สำหรับเทียร์-3 หมายถึงหน่วยเก็บข้อมูลและทรัพยากรการคำนวณของสถาบันหรือหน่วยงานต่างๆ ซึ่งเป็นต้นสังกัดของผู้ใช้งาน เช่น ห้องปฏิบัติการวิจัย หรือคณะเป็นต้น และเทียร์-4 หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของผู้ใช้งาน ทั้งนี้ บทบาทการบริหารจัดการข้อมูลและคุณสมบัติของข้อมูลในแต่ละเทียร์สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การบริหารจัดการข้อมูลของเทียร์ต่างๆ ในโมเดล MONARC

เทียร์	***หน่วยงาน***	***ประเภทและลักษณะข้อมูลที่จัดเก็บ***	***ปริมาณข้อมูล***	***ทรัพยากรตามข้อกำหนดของเซิร์น***
0	เซิร์น (เชื่อมต่อกับเครื่องเร่งอนุภาค)	ข้อมูลดิบ ข้อมูลรีคอนสตรัคชัน	10 PB/year	N/A
1	หน่วยงานระดับประเทศ	ข้อมูลดิบบางส่วน ข้อมูลรีคอนสตรัคชัน ข้อมูลการจำลอง ข้อมูลสำรอง (ในเทป)	N/A	หน่วยเก็บข้อมูลมากกว่า 10 PB
2	เครือข่ายย่อยภายในประเทศ เช่นกลุ่มวิจัย	ข้อมูลสำรองบางส่วน ข้อมูลส่วนตัว ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	N/A	N/A
3	ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชา หรือคณะ	ข้อมูลส่วนตัว	N/A	N/A
4	คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	ข้อมูลส่วนตัว	N/A	N/A

2.1.1.3 คุณสมบัติและสภาพแวดล้อมการใช้งานข้อมูลในโครงการฟิสิกส์พลังงานสูง

ดาตากริดถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการบริหารจัดการข้อมูลซึ่งเกิดจากการทดลองการชนกันของอนุภาคในโครงการฟิสิกส์พลังงานสูง การทดลองดังกล่าวจะทำให้เกิดข้อมูลสะสมที่พร้อมนำไปใช้งานในปริมาณ 10 เพตะไบต์ต่อปี ซึ่งถูกจัดเก็บในหน่วยเก็บข้อมูลของเทียร์-0 และจะถูกถ่ายโอนผ่านเครือข่ายบริเวณกว้างไปยังเทียร์ต่างๆ ตามลำดับเพื่อทำการสำเนาข้อมูลและให้นักวิจัยในหน่วยงานต่างๆ สามารถนำไปใช้งาน โดยทั่วไปการใช้งานข้อมูลการทดลองฟิสิกส์พลังงานสูงนั้น ผู้ใช้งานจะถ่ายโอนชุดข้อมูลซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลจำนวนหลายร้อยหรือหลายพันแฟ้ม ซึ่งแฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ จะมีขนาดระหว่าง 100 เมกะไบต์ ถึง 2 กิกะไบต์ และในบางการทดลองเช่น การทดลองบาบาร์ (BaBar) แฟ้มข้อมูลจะมีขนาดระหว่าง 2 –10 กิกะไบต์ [35] ดังนั้นงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงจึงเป็นระบบงานที่เน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลที่มีการใช้งานทรัพยากรเครือข่ายในปริมาณสูง ซึ่งจำเป็นต้องมีโครงสร้างพื้นฐานของระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อสนับสนุนการใช้งาน

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการทดสอบการถ่ายโอนชุดข้อมูลการทดลองการชนกันของอนุภาคระหว่างหน่วยงานผ่านเครือข่ายบริเวณกว้าง ซึ่งได้มีการสาธิตในงานประชุมวิชาการซูเปอร์คอมพิวติง ปี 2005 (SC 2005) โดยทีมนักวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งแคลิฟอร์เนีย (Caltech) ร่วมกับเซิร์น ห้องปฏิบัติการเฟอร์มิ และสถาบันวิจัยในสาขาฟิสิกส์พลังงานสูงอื่นๆ การทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้งานทรัพยากรเครือข่ายในโครงการฟิสิกส์พลังงานสูง ซึ่งการสาธิตได้แสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลถูกถ่ายโอนภายในเครือข่ายบริเวณกว้างสูงถึง 143.8 เทระไบต์ภายในเวลาเพียง 3 ชั่วโมง และมีปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ (throughput) โดยเฉลี่ยสูงถึง 106.3 กิกะบิตต่อวินาที [22]

ตารางที่ 2.2 การใช้ทรัพยากรเครือข่ายเพื่อถ่ายโอนข้อมูลในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง[3]

WAN Total Traffic					
Farm	*Last Value (Gbps)*	*Min. (Gbps)*	*Avg. (Gbps)*	*Max. (Gbps)*	*Total (TB)*
IN	15.76	14.9	59.32	88.87	79.64
OUT	15.27	14.31	47.02	74.07	63.13
Total	31.03		106.3		142.8

นอกจากปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ที่สูงแล้ว "เวลาในการเข้าถึงข้อมูล" ซึ่งเกิดจากการถ่ายโอนข้อมูลขนาดใหญ่ผ่านเครือข่ายบริเวณกว้างถือเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้งานข้อมูลในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างค่าเวลาที่ใช้การถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลขนาด 1 เทระไบต์ผ่านเครือข่ายในแบบต่างๆ ทั้งนี้งานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงมีความเหมาะสมกับการใช้งานบนเครือข่ายที่มีทรัพยากรแบนด์วิดท์สูงเท่านั้น นอกจากนี้เทคนิคในการลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูลจึงถือเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง

ตารางที่ 2.3 เวลาที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลขนาด 1 เทระไบต์ผ่านเครือข่ายประเภทต่างๆ

ประเภทเครือข่าย	***แบนด์วิดท์ (MB/s)***	***เวลาในการถ่ายโอน***
Home Internet ADSL (5Mb/s)	< 0.625	> 18.5 วัน
Gigabit Ethernet (1Gb/s)	< 125	> 2.2 ชั่วโมง
PSC Teragrid Connection (10Gb/s)	< 1,250	> 13.3 นาที

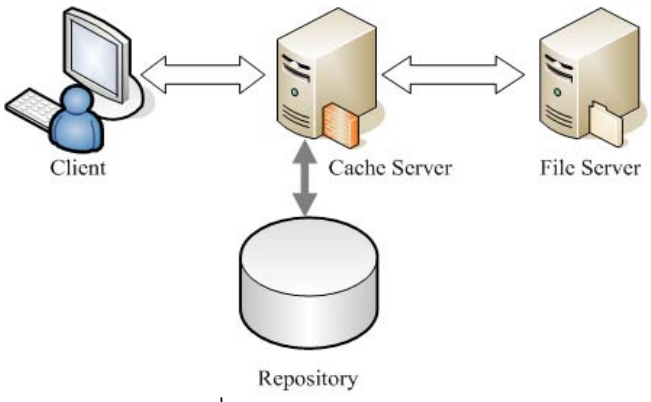
ในการใช้งานชุดข้อมูลในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงนั้น นักวิจัยจะทำการถ่ายโอนข้อมูลจากเทียร์-1 มาจัดเก็บยังหน่วยเก็บข้อมูลที่เทียร์-2 หรือ เทียร์-3 ซึ่งเป็นระบบที่ผู้วิจัยสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ผ่านเครือข่ายเฉพาะที่และสามารถใช้งานทรัพยากรการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อกระบวนการถ่ายโอนชุดข้อมูลเสร็จสิ้น นอกจากนี้ชุดข้อมูลที่ได้มีการถ่ายโอนแล้วโดยนักวิจัยคนหนึ่ง อาจมีการใช้งานซ้ำโดยนักวิจัยคนเดียวกันหรือนักวิจัยอื่นๆ ที่อยู่ภายใต้หน่วยงานเดียวกัน ดังนั้นการเก็บข้อมูลที่มีแนวโน้มการใช้งานซ้ำหลายครั้งไว้ในระบบจะช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยารเครือข่าย รวมถึงลดเวลาการเข้าถึงข้อมูลแก่

[3] ที่มา "Supercomputing 2005 Bandwidth Challenge Result" - http://ultralight.caltech.edu/web-site/sc05/html/index.html

ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้แคชจึงความสำคัญต่อการทำงานของระบบดาตากริดเพื่อการให้บริการข้อมูลในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง

2.1.2 แคช

แคชเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบดาตากริด ซึ่งแคชทำหน้าที่ในการสำเนาแฟ้มข้อมูลที่มีแนวโน้มการใช้งานอีกในอนาคตไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลของแคชเพื่อเป็นการลดเวลาของผู้ใช้งานในการเข้าถึงข้อมูล อีกทั้งเป็นการลดภาระงานของเครื่องแม่ข่ายซึ่งเป็นหน่วยเก็บข้อมูล ตลอดจนการลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายดาตากริด รูปแบบการทำงานของแคชในดาตากริดจะมีลักษณะใกล้เคียงกับการทำงานของเว็บแคช กล่าวคือแคชในระบบดาตากริดจะทำหน้าที่เป็นพร็อกซีระหว่างหน่วยงานที่ให้บริการข้อมูล และเครื่องลูกข่ายดังแสดงในภาพที่ 2.4 ผู้ใช้งานจะอาศัยเครื่องลูกข่ายในการเข้าถึงแฟ้มข้อมูลจากหน่วยบริการข้อมูลในระบบดาตา กริด ทั้งนี้ระบบดาตากริดจะทำการค้นหาในหน่วยเก็บข้อมูลของแคชว่ามีแฟ้มข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการหรือไม่ หากพบแฟ้มข้อมูลดังกล่าวก็จะถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลจากแคชกลับไปยังเครื่องลูกข่าย แต่หากไม่พบก็จะทำการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลจากหน่วยบริการข้อมูลมายังลูกข่ายพร้อมกับสำเนาข้อมูลดังกล่าวลงในหน่วยเก็บข้อมูลของแคช ทั้งนี้ กลไกในการบริหารจัดการแคชที่ดีจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากข้อมูลในหน่วยเก็บข้อมูลของแคชได้อย่างคุ้มค่า และส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดาตากริด



ภาพที่ 2.4 การทำงานของแคช

โดยทั่วไปแนวคิดในการบริหารจัดการแฟ้มข้อมูลภายในแคช (เว็บแคชและแคชสำหรับดาตากริด) สามารถแบ่งได้เป็นสองรูปแบบคือ (1) การใช้ทรัพยากร (หน่วยเก็บข้อมูล) อย่างจำกัดโดยการเลือกใช้วิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และ (2) การจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอกับปริมาณแฟ้มข้อมูลที่ต้องการใช้งานซึ่งทำให้วิธีการ

แทนที่ข้อมูลไม่มีความจำเป็นมากนัก [23] เนื่องจากชุดข้อมูลที่ใช้งานในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงมักมีขนาดใหญ่ การเตรียมแคชที่มีขนาดหน่วยเก็บข้อมูลขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อรองรับการใช้งานจึงไม่เป็นที่นิยม

กลไกในการบริหารจัดการแคชสำหรับดาตากริดที่มีการใช้งานในปัจจุบันมักอาศัยวิธีการเดียวกับที่ใช้งานในเว็บแคช อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมการทำงานของแคชสำหรับเว็บและแคชสำหรับระบบดาตากริดนั้นมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน [24] ดังแสดงในตารางที่ 2.4

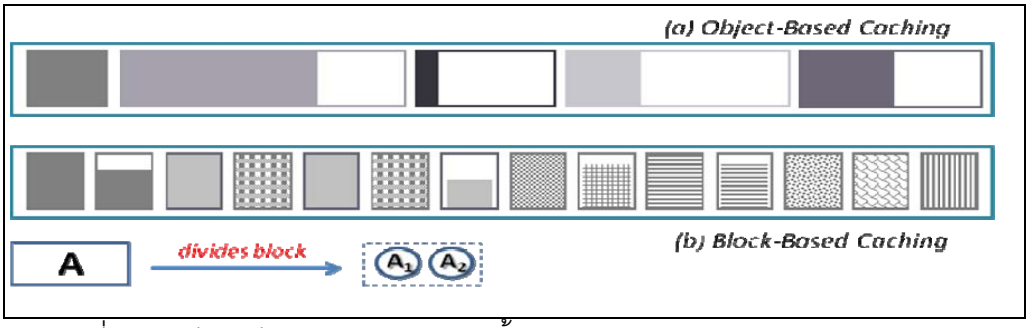
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเว็บแคชและแคชสำหรับดาตากริด

คุณสมบัติ	***เว็บแคช***	***แคชสำหรับดาตากริด***
ขนาดแฟ้มข้อมูล	กิโลไบต์ – เมกะไบต์	กิกะไบต์ – เทระไบต์
ขนาดของหน่วยเก็บข้อมูลแคช	10 – 100 GB	100 GB – 10 TB
ลาเทนซี	มิลลิวินาที – ไม่กี่วินาที	มิลลิวินาที – หลายนาที
เวลาที่ใช้ในการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล	มิลลิวินาที – ไม่กี่นาที	วินาที – หลายชั่วโมง
ความต้องการในการใช้งานแคช	เป็นองค์ประกอบเสริม	เป็นองค์ประกอบหลัก
การร้องขอข้อมูล	ผู้ใช้เรียกข้อมูลทีละ 1 เพจ ซึ่งภายในหน้าเพจนั้น จะเชื่อมโยงไปยังข้อมูลอื่นๆ เช่น ภาพ ไอคอน วิดีโอ เป็นต้น	ผู้ใช้ระบุชุดข้อมูลซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลจำนวนมาก
รูปแบบของข้อมูล	ข้อมูลอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา	แฟ้มข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
ความต้องการทรัพยากรเครือข่าย	เครือข่ายอินเทอร์เน็ต	เครือข่ายความเร็วสูงในระดับกิกะบิต

2.1.3 **การแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อกในระบบดาตากริด** (Block-based Data Grid Caching)

การแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อกในระบบดาตากริดถูกนำเสนอโดย [13] ซึ่งหลักการทำงานของการแคชข้อมูลวิธีนี้ แฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ จะถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วนหรือบล็อกที่มีขนาดคงที่ โดยแคชจะทำการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลของหน่วยงานใดๆ ผ่านระบบเครือข่ายบริเวณกว้างเพื่อนำมาจัดเก็บในพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของแคชทีละบล็อก แทนการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลทั้งแฟ้มในครั้งเดียว ซึ่งแคชจะต้องจัดเตรียมพื้นที่เพื่อเก็บแฟ้มข้อมูลทั้งแฟ้มดังแสดงใน ภาพที่ 2.5 เนื่องจากแฟ้มข้อมูลในระบบดาตากริดมักเป็นแฟ้มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งระยะทางระหว่าง

หน่วยเก็บข้อมูลและแคชอาจห่างกันมาก ดังนั้นการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ ทีเดียวทั้งแฟ้มจึงใช้เวลานาน และส่งผลให้เกิดพื้นที่ว่างในแคชที่ไม่ได้ถูกใช้งานเป็นจำนวนมาก ซึ่งพื้นที่ว่างนี้เกิดการจัดเตรียมพื้นที่เพื่อจัดเก็บแฟ้มข้อมูลทั้งแฟ้มของแคช ดังนั้นการแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อกจะช่วยให้เกิดการใช้พื้นที่ในแคชได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับจำนวนการร้องขอข้อมูลจากลูกข่ายได้มากขึ้น



ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบการจัดเก็บข้อมูลทั้งแฟ้มและการจัดเก็บข้อมูลแบบแบ่งบล็อก

งานวิจัยดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้วิธีการแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อกกับแม่ข่ายแคชซึ่งทำหน้าที่เป็นพร็อกซี ระหว่างลูกข่ายและแม่ข่ายซึ่งเป็นหน่วยเก็บข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ โดยจากผลการทดลองพบว่าวิธีการแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อกสามารถบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ในสภาพแวดล้อมของดาตากริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้มีการศึกษาถึงวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมกับการแคชข้อมูลแบบแบ่งบล็อก

2.1.4 **วิธีการแทนที่ข้อมูลในแคช** (Cache Replacement Policy)

วิธีการแทนที่ข้อมูล (Cache Replacement Policy) เป็นกลไกที่มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการข้อมูลภายในแคช กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชเต็ม วิธีการแทนที่ข้อมูลจะถูกใช้ในการตัดสินใจเพื่อลบข้อมูลบางส่วนของจากหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคช เพื่อให้หน่วยเก็บข้อมูลมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับการสำเนาข้อมูลชุดใหม่ จากการที่แคชได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในระบบคอมพิวเตอร์ ระบบอินเทอร์เน็ตและเวิลด์ไวด์เว็บ รวมทั้งในโครงสร้างพื้นฐานของระบบสารสนเทศต่างๆ อีกทั้งสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ในระบบต่างๆ มีล้วนความแตกต่างกัน จึงส่งผลเกิดการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน

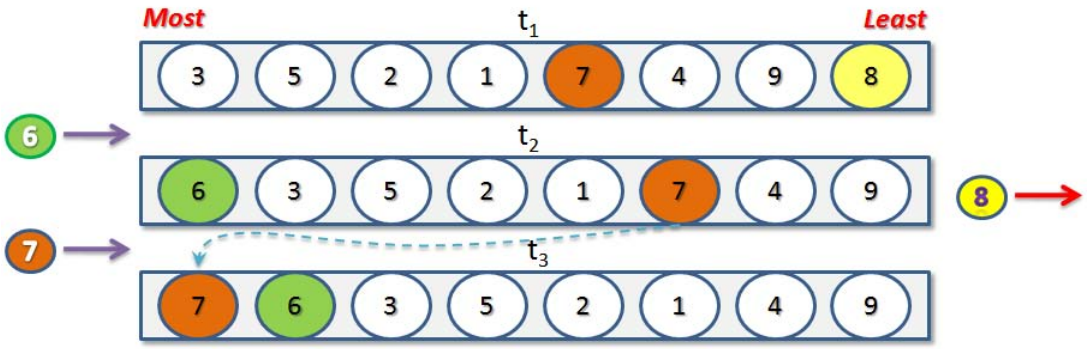
ตารางที่ 2.5 การแบ่งกลุ่มวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งนำเสนอโดย [25]

ชื่อกลุ่ม	***ตัวอย่างวิธีการแทนที่ข้อมูล***	***ตัวแทนกลุ่ม***
Recency-based	LRU, LRU-threshold, LRU*, LRU-hot, LRU-LSC, SB-LRU, SLRU, HLRU, Pitkow/Recker, EXP1, value-aging, generational replacement	LRU
Frequency-based	LFU, LFU-Aging, LFU-DA, Window-LFU, swLFU, AgedswLFU, a-Aging, HYPER-G	LFU
Size-based	SIZE, LRU min, partitioned caching, PSS, CSS, LRU-SP	SIZE
Randomized	RAND, HARMONIC, LRU-C, LRU-S, randomized policies using utility functions	RAND
Function-based	GD-Size, GDSF, GD*, PGDS, server-assisted cache replacement, TSP, Bolot/Hoschka, MIX, M-Metric, HYBRID, LNCR-W3, LRV, LUV, LR, N-gram	GDS

งานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิธีการแทนที่ข้อมูลได้ถูกนำเสนอออกมาเป็นจำนวนมากตลอดระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา วิธีการแทนที่ข้อมูลแต่ละวิธีสามารถทำงานได้ดีภายใต้เงื่อนไขและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไป โดยสามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลของตนเองกับวิธีการแทนที่ข้อมูลอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีการแทนที่ข้อมูลที่มีจำนวนมาก ประกอบกับระยะเวลาที่จำกัดจึงทำให้การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจวิธีการแทนที่ข้อมูลทั้งหมดจึงไม่สามารถทำได้ จึงทำให้การเปรียบเทียบนั้นมักไม่ครอบคลุมคุณสมบัติพื้นฐานของวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งมีความหลากหลาย ด้วยเหตุนี้บทความวิจัยเชิงสำรวจ [25, 26] จึงได้ทำการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูล และทำการจัดกลุ่มวิธีแทนที่ข้อมูลที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.5 โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มตลอดจนการยกตัวอย่างอัลกอริทึมซึ่งใช้เป็นตัวแทนของวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มนั้นๆ นอกจากนี้อัลกอริทึมดังกล่าวได้ถูกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลต่างๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริด

2.1.4.1 การแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาความทันสมัย (Recency-based policy)

วิธีการแทนที่ข้อมูลนี้ใช้ความทันสมัยของข้อมูลเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณา โดยแฟ้มข้อมูลที่ถูกอ้างอิงล่าสุดจะมีความน่าจะเป็นในการถูกอ้างอิงอีกครั้งในอนาคตสูงกว่าแฟ้มข้อมูลอื่นๆ ดังนั้น เมื่อพื้นที่ในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชเต็ม วิธีการแทนที่ข้อมูลนี้จะเก็บรักษาแฟ้มข้อมูลที่ทันสมัยกว่าไว้ และลบแฟ้มข้อมูลที่ไม่ได้ถูกอ้างอิงเป็นระยะเวลานานออกจากหน่วยเก็บข้อมูล ทั้งนี้ วิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาความทันสมัยของข้อมูลนั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ได้รับความสนใจจากผู้ใช้หลายรายในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยธรรมชาติของข้อมูลดังกล่าวจะได้รับความนิยมสูงช่วงเวลาแรกและความนิยมจะค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมา ตัวอย่างวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งสามารถเป็นตัวแทนในกลุ่มนี้ได้แก่ LRU (Least Recently Used)



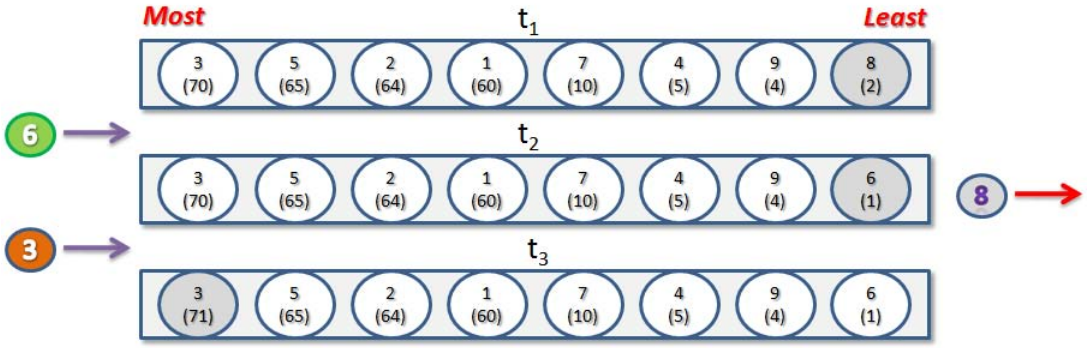
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU

ภาพที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU ซึ่งเป็นตัวแทนวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มการพิจารณาความทันสมัยของข้อมูล โดยแฟ้มข้อมูลแต่ละแฟ้มจะถูกบันทึกเวลาที่ได้มีการอ้างอิงครั้งสุดท้ายและจัดเรียงลำดับตามเวลาที่ถูกอ้างอิง หากมีแฟ้มข้อมูลใหม่ซึ่งไม่มีอยู่ในแคชถูกอ้างอิง (เช่น แฟ้มหมายเลข 6) LRU จะลบแฟ้มข้อมูลที่มีค่าเวลาที่น้อยที่สุด (แฟ้มหมายเลข 8 ซึ่งไม่ได้ถูกอ้างอิงเป็นระยะเวลานาน) ออกจากหน่วยเก็บข้อมูลเพื่อให้มีพื้นที่ว่างสำหรับการเก็บแฟ้มข้อมูลใหม่ นอกจากนี้ หากแฟ้มข้อมูลที่ถูกอ้างอิงเป็นแฟ้มข้อมูลที่อยู่ในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชอยู่แล้ว แฟ้มข้อมูลดังกล่าวก็จะถูกบันทึกค่าเวลาอ้างอิงใหม่ซึ่งส่งผลให้แฟ้มข้อมูลนั้นเป็นแฟ้มข้อมูลที่ถูกอ้างอิงล่าสุด

2.1.4.2 การแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาความถี่ (Frequency-based policy)

วิธีการแทนที่ข้อมูลนี้ใช้ความถี่ในการอ้างอิงข้อมูลเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณา โดยมีแนวคิดพื้นฐานเกิดจากความนิยมในการเข้าถึงข้อมูลในแต่ละแฟ้มที่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้

จะมีแฟ้มข้อมูลเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่จะได้รับความนิยมสูงกว่าแฟ้มข้อมูลอื่นๆ ซึ่งแฟ้มข้อมูลดังกล่าวมีจำนวนไม่มากนัก โดยทั่วไปความนิยมของแฟ้มข้อมูลสามารถวัดได้จากจำนวนการถูกอ้างอิง แฟ้มข้อมูลที่มีความนิยมสูงจะมีจำนวนการถูกอ้างอิงสูง และแฟ้มข้อมูลที่มีความนิยมต่ำก็จะมีจำนวนการถูกอ้างอิงต่ำ เมื่อพื้นที่ในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชเต็มวิธีการแทนที่ข้อมูลนี้จะเก็บรักษาแฟ้มข้อมูลที่มีจำนวนการถูกอ้างอิงสูงกว่าไว้ และลบแฟ้มข้อมูลที่มีจำนวนการถูกอ้างอิงน้อยที่สุดออกจากหน่วยเก็บข้อมูลของแคช ทั้งนี้ วิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาความถี่นั้นมีความเหมาะสมกับแฟ้มข้อมูลในระบบที่มีค่าความนิยมของข้อมูลในแต่ละแฟ้มมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ตัวอย่างวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งสามารถเป็นตัวแทนในกลุ่มนี้ได้แก่ LFU (Least Frequency Use)



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LFU

ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LFU ซึ่งเป็นตัวแทนวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มการพิจารณาความถี่ วิธีการนี้จะมีการบันทึกจำนวนการถูกอ้างอิงของแฟ้มข้อมูลแต่ละแฟ้ม (เช่น แฟ้มข้อมูลหมายเลข 3 มีค่าการถูกอ้างอิงเท่ากับ 70 ครั้ง) ซึ่งจำนวนการถูกอ้างอิงจะเพิ่มขึ้นทุกครั้งเมื่อผู้ใช้ได้มีการเข้าถึงแฟ้มข้อมูลนั้นๆ หากมีแฟ้มข้อมูลใหม่ซึ่งไม่มีอยู่ในแคชถูกอ้างอิง (เช่น แฟ้มหมายเลข 6) LFU จะลบแฟ้มที่มีจำนวนการถูกอ้างอิงน้อยที่สุด (แฟ้มหมายเลข 8 ซึ่งมีค่าการถูกอ้างอิงเท่ากับ 2 ครั้ง) ออกจากหน่วยเก็บข้อมูลเพื่อให้แคชมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับการเก็บข้อมูลใหม่ นอกจากนี้ หากแฟ้มข้อมูลที่ถูกอ้างอิงเป็นแฟ้มข้อมูลที่อยู่ในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชอยู่แล้ว (เช่น แฟ้มข้อมูลหมายเลข 3 ถูกอ้างอิง) ค่าจำนวนการถูกอ้างอิงของแฟ้มข้อมูลดังกล่าวก็จะเพิ่มขึ้น

2.1.4.3 การแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาขนาด (Size-based policy)

วิธีการแทนที่ข้อมูลนี้ใช้ขนาดของแฟ้มข้อมูลเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณา โดยแนวคิดพื้นฐานเกิดจากขนาดของแฟ้มข้อมูลที่ไม่เท่ากัน วิธีการนี้จะเลือกลบแฟ้มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ออก

จากหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชซึ่งจะทำให้แคชมีพื้นที่มากพอสำหรับการเก็บแฟ้มข้อมูลใหม่ได้หลายแฟ้ม ในทางกลับกัน หากเลือกลบแฟ้มข้อมูลที่มีขนาดเล็กแคชอาจต้องลบข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลจำนวนหลายแฟ้มเพื่อให้แคชมีพื้นที่มากพอสำหรับการเก็บแฟ้มข้อมูลใหม่เพียงแฟ้มเดียวซึ่งจะส่งผลให้โอกาสในการพบข้อมูลภายในแคชลดลง วิธีการนี้สามารถทำงานได้ดีกับระบบที่แฟ้มข้อมูลขนาดใหญ่มีความนิยมต่ำ และแฟ้มข้อมูลขนาดเล็กมีความนิยมสูง ตัวอย่างวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มนี้ได้แก่ SIZE

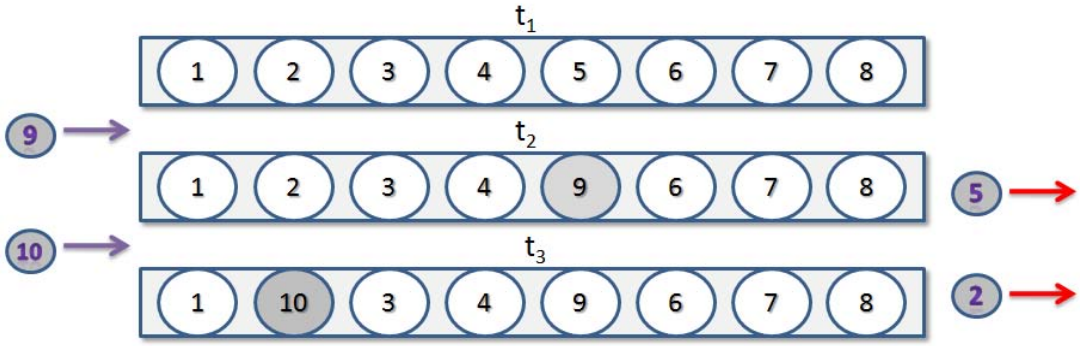
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล SIZE

ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล SIZE ซึ่งเป็นตัวแทนของวิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการพิจาณาขนาดของแฟ้มข้อมูล แฟ้มข้อมูลซึ่งมีขนาดแตกต่างกันถูกจัดเก็บในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชขนาด 50 เมกกะไบต์ (เช่น แฟ้มข้อมูลหมายเลข 4 มีขนาด 20 เมกกะไบต์) หากมีแฟ้มข้อมูลใหม่ซึ่งไม่มีอยู่ในแคชถูกอ้างอิง (เช่น แฟ้มข้อมูลหมายเลข 5 และ 6 ซึ่งมีขนาด 5 และ 10 เมกกะไบต์ตามลำดับ) วิธีการนี้จะลบแฟ้มข้อมูลภายในแคชที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (แฟ้มข้อมูลหมายเลข 4) ออกจากหน่วยเก็บข้อมูล ทั้งนี้ แฟ้มข้อมูลหมายเลข 4 มีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับการเก็บแฟ้มข้อมูลหมายเลข 5 และ 6 โดยไม่จำเป็นต้องลบแฟ้มข้อมูลอื่นๆ ออกจากหน่วยเก็บข้อมูลของแคช

2.1.4.4 การแทนที่ข้อมูลโดยการสุ่ม (Randomized policy)

วิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มอื่นๆ ต้องอาศัยโครงสร้างข้อมูลในการบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจ เช่น LRU ต้องใช้โครงสร้างข้อมูลในการบันทึกค่าเวลาที่ถูกเข้าถึง และ LFU ใช้โครงสร้างข้อมูลในการบันทึกค่าความถี่ เป็นต้น การใช้โครงสร้างข้อมูลในการบันทึกข้อมูลนั้นจะต้องอาศัยหน่วยความจำในการบันทึกข้อมูล รวมถึงการใช้พลังงานในการประมวลผลข้อมูลเพื่อตัดสินใจในการลบข้อมูลออกจากแคช ดังนั้น ในระบบที่มีหน่วยความจำไม่เพียงพอหรือมีข้อจำกัดเกี่ยวกับพลังงาน วิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการสุ่มจะถูกเลือกใช้เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและไม่จำเป็นต้อง

อาศัยโครงสร้างข้อมูลใดๆ เมื่อพื้นที่ในหน่วยเก็บข้อมูลภายในแคชเต็มวิธีการแทนที่ข้อมูลนี้จะทำการสุ่มเลือกเพื่อลบข้อมูลใดๆ ออกจากแคช ตัวอย่างวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งสามารถเป็นตัวแทนในกลุ่มนี้ได้แก่ RAND

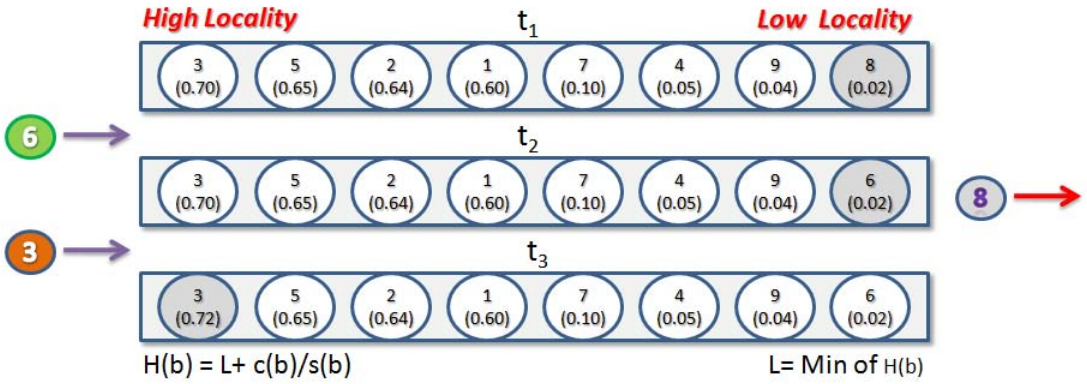


ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล RAND

ภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล RAND ซึ่งเป็นตัวแทนของวิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการสุ่ม หากมีแฟ้มข้อมูลใหม่ซึ่งไม่มีอยู่ในแคชถูกอ้างอิง (เช่น แฟ้มหมายเลข 9 และ 10) วิธีการนี้จะทำการสุ่มเลือกแฟ้มข้อมูลใดๆ ในแคชเพื่อลบออกจากหน่วยเก็บข้อมูลของแคช (เช่น ลบแฟ้มข้อมูลหมายเลข 5 และ 2 เพื่อแทนที่ด้วยแฟ้มข้อมูลหมายเลข 9 และ 10 ตามลำดับ)

2.1.4.5 การแทนที่ข้อมูลโดยการกำหนดฟังก์ชัน (Function-based policy)

การแทนที่ข้อมูลโดยการกำหนดฟังก์ชัน เป็นการนำปัจจัยที่หลากหลายมาใช้ประกอบการพิจารณา เช่น ความทันสมัย ความถี่ และขนาดของข้อมูล นอกจากนี้ยังอาจมีการนำปัจจัยภายนอกมามีส่วนร่วมในการพิจารณาด้วยเช่น อินพุต/เอาต์พุตของจานบันทึก และปริมาณแบนด์วิดท์ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณด้วยฟังก์ชันที่ได้ถูกกำหนดขึ้น โดยอาจมีการให้ค่าน้ำหนักหรือความสำคัญแก่พารามิเตอร์ต่างๆ ไม่เท่ากัน ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยฟังก์ชันจะถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจเพื่อเก็บรักษาหรือลบแฟ้มข้อมูลใดๆ ในหน่วยเก็บข้อมูลของแคช เนื่องจากวิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการกำหนดฟังก์ชันจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำในบันทึกองค์ความรู้รวมถึงการใช้พลังงานในการคำนวณสูงเพื่อประมวลผลฟังก์ชันและปรับปรุงองค์ความรู้ ระบบที่จะนำวิธีการแทนที่ข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้จึงจำเป็นต้องมีทรัพยากรที่มากพอ ตัวอย่างวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งสามารถเป็นตัวแทนในกลุ่มนี้ได้แก่ GDS (Greedy Dual Size) [23]



ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูล GDS

การเลือกใช้วิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมและสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ในระบบดาตากริดจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแคชให้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งทำให้เกิดความสามารถในการรองรับการขยายตัวของระบบดาตากริด (Scalability) ทั้งนี้ การประยุกต์ใช้วิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบดาตากริดในปัจจุบันนั้นยังคงอ้างอิงวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบเว็บซึ่งไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สอดคล้องกับคุณลักษณะของดาตากริด อย่างไรก็ตามการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลของแคชในระบบเว็บภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริด ย่อมเป็นประโยชน์และมีความสำคัญต่อการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชที่เหมาะสมสำหรับระบบดาตากริดได้ต่อไปในอานาคต

2.1.5 **ทฤษฎีท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูล** (Locality of Reference)

ทฤษฎีท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูล (Locality of Reference) [27] เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึงปรากฏการณ์ธรรมชาติซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการอ้างอิงข้อมูลในหน่วยความจำโดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

1) ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลา (Temporal Locality) เป็นคุณลักษณะของการอ้างอิงข้อมูลเดียวกันบ่อยครั้งในช่วงเวลาใกล้เคียงกันโดยมีสมมุติฐานคือ เมื่อข้อมูลหนึ่งๆ ถูกอ้างอิง ข้อมูลนั้นจะถูกอ้างอิงอีกครั้งในอนาคตอันใกล้
2) ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Locality) เป็นคุณลักษณะของการอ้างอิงข้อมูลข้างเคียง โดยมีสมมุติฐานคือ เมื่อข้อมูลหนึ่งๆ ถูกอ้างอิงแล้ว ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน (เช่น ข้อมูลในหน่วยความจำที่มีตำแหน่งที่อยู่ติดกัน หรือข้อมูลที่ถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในพื้นที่เดียวกัน เป็นต้น) จะถูกอ้างอิงเป็นลำดับถัดไป นอกจากนี้ ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีรูปแบบเฉพาะในการอ้างอิงข้อมูลซึ่ง

เรียกว่า *"ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลตามลำดับ (Sequential Locality)"* [28] ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การอ้างอิงข้อมูลที่พบในการเขียนโปรแกรมและการอ่านข้อมูลในดิสก์ เช่น การวนรอบของโปรแกรมเพื่อเข้าถึงข้อมูลในตัวแปรประเภทอาร์เรย์ตามลำดับ และการเข้าถึงบล็อกข้อมูลในดิสก์เป็นต้น เป็นต้น

2.1.6 การวิเคราะห์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับ (All-K th-Order Markov Model)

ตัวแบบมาร์คอฟเป็นทฤษฎีซึ่งใช้ในการทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดเป็นลำดับถัดไป โดยพิจารณาจากลำดับของเหตุการณ์ซึ่งเกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ทั้งนี้ ตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับได้ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมการใช้งานเว็บไซต์ในระบบเวิลด์ไวด์เว็บโดยพิจารณาประวัติย้อนหลังจำนวน K ลำดับ ซึ่งแต่ละลำดับจะมีการสร้างตาราง Transition Probability Matrix (TPM) จากสมการดังภาพที่ 2.11 โดย | S | ได้แก่สเตทที่ตัวแบบมาร์คอฟสร้างขึ้นเพื่อแสดงลำดับของเหตุการณ์ก่อนหน้า k ลำดับ และ | A | ได้แก่เหตุการณ์ที่จะเกิดในลำดับถัดไป

$$T = |S| \times |A|$$

ภาพที่ 2.11 สมการการสร้างตาราง Transition Probability Matrix

ในตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับนั้น ตาราง TPM ลำดับ-1 จะเก็บสเตทซึ่งเห็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าเพียง 1 ลำดับ และตาราง TPM ลำดับ-k จะเก็บเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้า k ลำดับเป็นต้น ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการสร้างตาราง TPM ลำดับที่ k โดยตารางดังกล่าวจะบันทึกสเตทที่เกิดขึ้น รวมถึงนับจำนวนเหตุการณ์ที่สเตทนั้นๆ เกิดขึ้นและทำการเหตุการ P เกิดขึ้นเป็นลำดับถัดไป ทั้งนี้ การทำนายเหตุการณ์ลำดับถัดไปสามารถทำได้โดยการตรวจสอบสเตทที่เกิดขึ้นและเลือกเหตุการณ์ลำดับถัดไปที่มีความถี่สูงสุด

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการสร้างตาราง TPM

k^{th} Order	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	...	P_n
($S1_a$, $S2_a$. ...Sk_a)	0	1	0	0	0	0	0
($S1_b$, $S2_b$. ...Sk_b)	0	0	0	1	0	0	0
($S1_c$, $S2_c$. ...Sk_c)	0	2	0	0	0	0	0
($S1_d$, $S2_d$. ...Sk_d)	3	0	1	0	0	0	0

ในการสร้างตาราง TPM นั้น ตารางที่ลำดับมีค่าสูงจะมีความแม่นยำในการทำนายสูงกว่า และมีความซับซ้อนในการสร้างตารางควบคู่ไปด้วย อีกทั้งต้องใช้หน่วยความจำในการบันทึกค่าต่างๆ เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ [29] ได้มีการนำเสนองานวิจัยที่ช่วยลดความซับซ้อนของการสร้างตาราง TPM โดยการตัดสเตทที่ใช้ประโยชน์ได้น้อยออกจากตาราง TPM

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับระบบดาตากริด

วิธีการแทนที่ข้อมูลเป็นกลไกสำคัญในการบริหารจัดการข้อมูลภายในแคชดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1.4 ทั้งนี้ วิธีการแทนที่ข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันมักถูกออกแบบมาเพื่อการบริหารจัดการข้อมูลในแคชสำหรับระบบเว็บและแคชในหน่วยความจำ ซึ่งวิธีการแทนที่ข้อมูลเหล่านี้มีจำนวนมากพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อมของระบบเว็บและหน่วยความจำ อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยใดที่ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเหล่านี้อย่างเป็นระบบบนสภาพแวดล้อมของดาตากริด

ในส่วนของงานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับแคชบนสภาพแวดล้อมของดาตากริดนั้น [30] ได้นำเสนอเทคนิควิธีการแอดมิสชันข้อมูล (Admission Policy) ร่วมกับวิธีการแทนที่ข้อมูล เพื่อใช้ในการพิจารณาเซตของแฟ้มข้อมูลที่แต่ละงาน (Job) ในระบบงานที่เน้นการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลต้องการใช้งาน วิธีการนี้จะถูกใช้เพื่อตัดสินใจว่าจะถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลใดบ้างมาเก็บเตรียมไว้ในแคชและลบแฟ้มข้อมูลใดออกจากแคช อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาหรือเปรียบเทียบวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของดาตากริด นอกจากนี้ [31] ได้นำเสนอวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบดาตากริดที่เรียกกว่า SIZE-K โดยการพิจารณาขนาดของข้อมูลเป็นหลักเมื่อมีการร้องขอแฟ้มข้อมูลใหม่ และแคชมีพื้นที่ไม่เพียงพอ วิธีการนี้จะค้นหาแฟ้มข้อมูลในแคชที่มีขนาดข้อมูลเท่ากับแฟ้มข้อมูลใหม่และทำการแทนที่ แต่หากไม่มีแฟ้มข้อมูลที่มีขนาดข้อมูลสอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าว ก็จะทำการขยายขอบเขตของขนาดข้อมูลให้กว้างขึ้นและค้นหาซ้ำเพื่อลบแฟ้มข้อมูลออกจนกว่าจะมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับเก็บแฟ้มข้อมูลใหม่ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการของตนเองซึ่งเน้นการพิจารณาขนาดข้อมูลกับวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU ซึ่งเน้นพิจารณาความทันสมัยของข้อมูลเท่านั้น โดยไม่มีการเปรียบเทียบกับวิธีการแทนที่ข้อมูลอื่นๆ โดยเฉพาะวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เน้นการพิจารณาขนาดข้อมูลเหมือนกัน

2.2.2 การวิเคราะห์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ตัวแบบมาร์คอฟ (Markov Model)

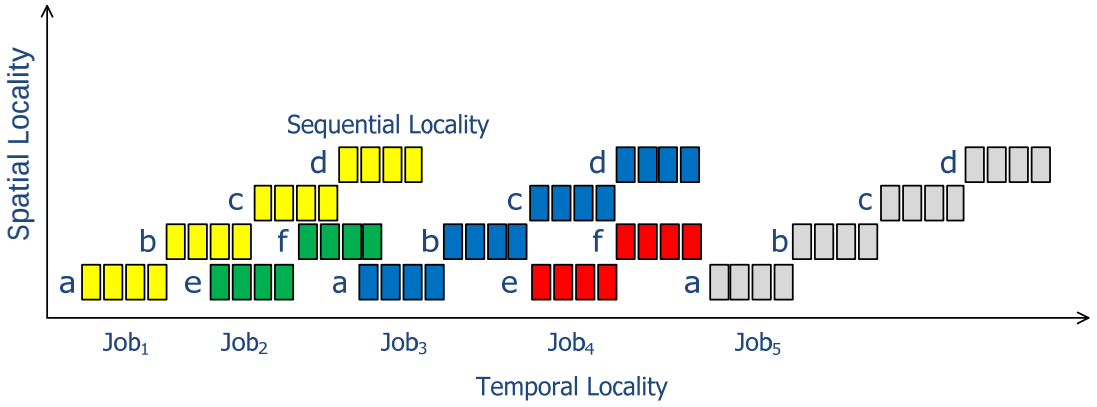
การวิเคราะห์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การทำนายเหตุการณ์ถัดไปในแคชเพื่อทำการถ่ายโอนข้อมูลมาเก็บไว้ล่วงหน้าหรือเก็บรักษาไว้ ทั้งนี้ [32] ได้ศึกษาการใช้ Association Rule และตัวแบบมาร์คอฟในการทำเหมืองเว็บเพื่อทำนายหน้าเพจถัดไปของผู้ใช้อินเทอร์เน็ต งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง Association Rule ตัวแบบมาร์คอฟลำดับ-1 และตัวแบบมาร์คอฟลำดับ-2 ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายเช่น เว็บแคชพรีเฟชชิง เป็นต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้นำผลของงานวิจัยไปทดสอบการใช้งานจริงในระบบเว็บแคช นอกจากนี้ [33] ได้นำเสนอตัวแบบมาร์คอฟแบบใหม่ในการทำนายการเข้าถึงหน้าเพจถัดไปของผู้ใช้อินเทอร์เน็ต โดยการสร้างแผนภูมิต้นไม้ของตัวแบบมาร์คอฟซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลตัวแบบมาร์คอฟในลำดับต่างๆ ได้ในแผนภูมิต้นไม้เดียวกัน วิธีดังกล่าวจะช่วยลดความซับซ้อนของการสร้าง TPM ที่ใช้ในตัวแบบมาร์คอฟแบบดั้งเดิม ซึ่งใช้เวลาในการสร้างโมเดลและเวลาในการทำงานที่เร็วกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมนำประวัติการเข้าถึงข้อมูลจากภาระงานเพื่อสร้างลำดับการเข้าถึงข้อมูลตัวแบบมาร์คอฟในอันดับน้อยกว่าจะมีความแม่นยำน้อยกว่าเนื่องจากได้ไม่มองย้อนประวัติมากนัก การทำนายในอันดับที่สูงกว่าจะมีความแม่นยำมากกว่า แต่ก็มีความซับซ้อนของสถานะที่สูงกว่าและครอบคลุมเงื่อนไขน้อยกว่า และมีสถานะที่ต้องคอยค้นหามากขึ้นอย่างสูง ซึ่งเป็นข้อจำกัด ซึ่งไม่เหมาะกับการทำนายแบบเวลาจริง

บทที่ 3

ท้องถิ่นการอ้างอิงและการแทนที่ข้อมูลสำหรับงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง

3.1 ท้องถิ่นการอ้างอิง

การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมกับคุณลักษณะการใช้งานข้อมูลในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีแนวคิดพื้นฐานจากสมมุติฐานว่า *"การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับแคชแบบแบ่งบล็อกที่มีการพิจารณาทั้งความสัมพันธ์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาและความสัมพันธ์ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่จะช่วยให้แคชแบบแบ่งบล็อกสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น"*



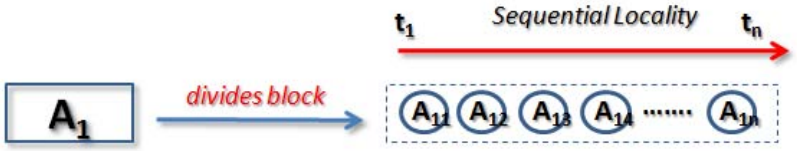
ภาพที่ 3.1 รูปแบบของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในแคชแบบแบ่งบล็อก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาระงานในงานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูงและกลไกการทำงานของแคชแบบแบ่งบล็อกดังแสดงในภาพที่ 3.1 พบว่าพฤติกรรมของการเข้าถึงข้อมูลได้แสดงถึงรูปแบบ*ท้องถิ่น*การอ้างอิงข้อมูลทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา โดยสามารถสรุปคุณสมบัติท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) <u>ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลา (Temporal Locality)</u> จากการศึกษาภาระงานในงานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูงพบว่า ณ เวลาใดๆ ที่แฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ ถูกอ้างอิงแฟ้มข้อมูลนั้นจะถูกอ้างอิงซ้ำอีกเป็นจำนวนหลายครั้งในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน เช่น เมื่อแฟ้มข้อมูล a ถูกอ้างอิง ณ เวลาที่เริ่มงาน Job1 จะส่งผลให้เกิดการอ้างอิงแฟ้มข้อมูล a อีกครั้งในเวลาที่ใกล้เคียงกัน (เช่น ณ เวลาที่เริ่มงาน Job3 Job5 ตามลำดับ) ทั้งนี้ การเรียกแฟ้มข้อมูล a จะเกิดขึ้นซ้ำๆ อย่างต่อเนื่องซึ่งส่งผลให้ภาระงานดังกล่าวแสดงคุณสมบัติของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาสูงมาก

2) ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spartial Locality) ในการประมวลผลข้อมูลในงานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูงนั้นจะมีการสร้าง “งาน” โดยแต่ละงานจะทำการประมวลผลชุดข้อมูลซึ่งประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลจำนวนมาก และจากการศึกษาของ [34] ซึ่งมีการใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับงานวิจัยนี้พบว่า แฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ สามารถถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งได้อย่างชัดเจน ดังนั้นเมื่อแฟ้มข้อมูลใดๆ ถูกอ้างอิง แฟ้มข้อมูลอื่นที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันมักถูกอ้างอิงด้วยเสมอ เช่น งาน Job1 ประกอบด้วยแฟ้มข้อมูล a b c และ d ตามลำดับ เมื่อแฟ้มข้อมูล a ถูกอ้างอิง โอกาสที่แฟ้มข้อมูล b จะถูกอ้างอิงเป็นลำดับถัดไปจะมีสูง ในขณะเดียวกันเมื่อแฟ้มข้อมูล b ถูกอ้างอิง แฟ้มข้อมูล c มักจะถูกอ้างอิงเป็นลำดับถัดไป และปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นต่อเนื่องจนถึงแฟ้มข้อมูลสุดท้ายภายของงานใดๆ ด้วยเหตุนี้คุณสมบัติท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่จึงเกิดขึ้นกับภาระงานดังกล่าวสูงเช่นกัน

3) ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลแบบตามลำดับ (Sequential Locality) ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลแบบตามลำดับ (Sequential Locality) [28] เป็นรูปแบบย่อยของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่และเป็นพฤติกรรมนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในแคชซึ่งมีกลไกการทำงานแบบแบ่งบล็อก กล่าวคือ แฟ้มข้อมูลซึ่งจัดเก็บในหน่วยเก็บข้อมูลของแคชจะถูกแบ่งเป็นหลายส่วนหรือบล็อกที่มีขนาดคงที่ ดังนั้น ในการร้องขอแฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ จึงทำให้เกิดการร้องขอข้อมูลตามลำดับของบล็อกเพื่อนำข้อมูลจากแต่ละบล็อกมาประกอบเป็นแฟ้มข้อมูล ตัวอย่างเช่น แฟ้มข้อมูล A_1ประกอบด้วยบล็อกย่อยได้แก่ A_{11}, A_{12} ,..., A_{1n} ดังนั้นเมื่อบล็อก A_{11} ถูกอ้างอิง บล็อก A_{12} ,..., A_{1n} จะต้องถูกอ้างอิงด้วยเสมอและเป็นการอ้างอิงแบบตามลำดับดังตัวอย่างในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รูปแบบของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลแบบตามลำดับในแคชแบบแบ่งบล็อก

จากการพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลที่เกิดขึ้นในภาระงานฟิสิกส์พลังงานสูงและคุณลักษณะของวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มต่างๆ ในหัวข้อ 2.1.4 สามารถสรุปได้ว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่ม ”การแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาความทันสมัย” เป็นวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เหมาะสมกับคุณลักษณะการใช้งานข้อมูลในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงและสอดคล้องกับสมมุติฐานข้างต้น โดยวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU ได้ถูกเลือกเป็นตัวแทนของวิธีการ

แทนที่ข้อมูลในกลุ่มดังกล่าว อย่างไรก็ตาม พื้นฐานของวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU มีการใช้ประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาเท่านั้น ดังนั้น แนวทางในการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้แก่ การปรับปรุงวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU โดยการเพิ่มความสามารถในการพิจารณารูปแบบของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ให้กับวิธีการแทนที่ข้อมูลดังกล่าว

3.2 คุณลักษณะของภาระงาน

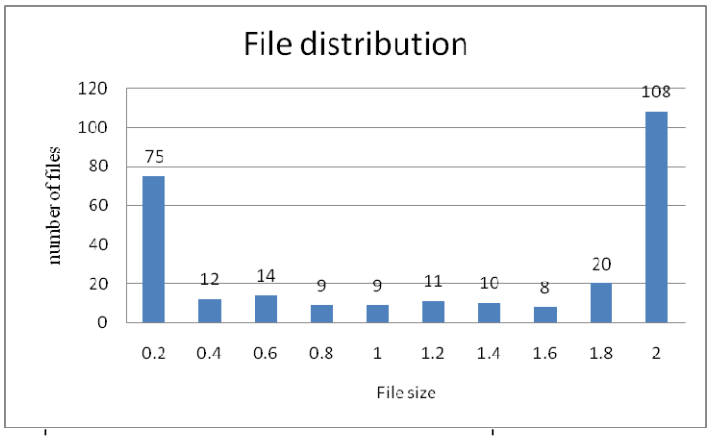
ข้อมูลภาระงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นประวัติการใช้งานจริงของระบบดาตากริดในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลภาระงานจากจัสมิน เจแลป และข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร โดยในตารางที่ 3.1 ได้สรุปข้อมูลทางสถิติของภาระงานทั้งสอง และจะกล่าวถึงรายละเอียดอื่นๆ ของภาระงาน เช่น คุณลักษณะ การกระจายของขนาดแฟ้มข้อมูล การกระจายของค่าความนิยม เป็นต้น ในหัวข้อย่อย 3.2.1 และ 3.2.2

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางสถิติของภาระงานที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	***ข้อมูลภาระงาน***	
	จัสมิน เจแลป	***โครงการดีซีโร***
ช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูล	24 - 26 มิ.ย. 2002 (2 วัน)	ม.ค. 2003 – มี.ค. 2005 (821 วัน)
ขนาดแฟ้มข้อมูลที่ใหญ่ที่สุด	2.2 GB	2.13 GB
ขนาดแฟ้มข้อมูลที่เล็กที่สุด	100 MB	234 Bytes
ขนาดแฟ้มข้อมูลเฉลี่ย	1.08 GB	401.65 MB
ปริมาณการร้องขอข้อมูลทั้งหมด	357 GB	6,873 TB
ขนาดรวมของแฟ้มข้อมูลที่ถูกร้องขอ	191 GB	455.50 TB
จำนวนงาน (Job)	N/A	235,967
จำนวนการร้องขอแฟ้มข้อมูลทั้งหมด	276 ครั้ง	13,537,120 ครั้ง
จำนวนแฟ้มข้อมูลที่ถูกร้องขอ (ไม่นับซ้ำ)	177 แฟ้ม	1,134,086 แฟ้ม
ปริมาณการร้องขอข้อมูลต่อวัน	90.5 GB	8.37 TB
จำนวนการร้องขอแฟ้มข้อมูลต่อวัน	188 ครั้ง	16,488 ครั้ง
ขนาดสูงสุดของหน่วยเก็บข้อมูลของแคชที่สามารถเก็บแฟ้มข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธีแบ่งบล็อก	202.2 GB	471.87 TB

3.2.1 คุณลักษณะของภาระงานจากจัสมิน เจแลป

ข้อมูลภาระงานจากจัสมิน เจแลป เป็นข้อมูลภาระงานที่ได้จากระบบดาตากริด Jefferson Lab Asynchronous Storage Management System (JASMine) [35] ซึ่งจัดเก็บข้อมูลการทดลองในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงซึ่งทดลองโดยเจแลปและโครงการ PPDG [10] ข้อมูลภาระงานนี้เป็นข้อมูลชุดเดียวกับข้อมูลภาระงานที่ใช้ในการทดลองใน [13] ซึ่งประกอบด้วยประวัติการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานจำนวน 276 ครั้ง และแฟ้มข้อมูลมีขนาดระหว่าง 100 เมกะไบต์ ถึง 2.2 กิกะไบต์ โดยที่อัตราการร้องขอแฟ้มข้อมูลขนาดใหญ่ที่อยู่ระหว่างระหว่าง 2 – 2.2 กิกะไบต์ มีมากถึง 39 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.3

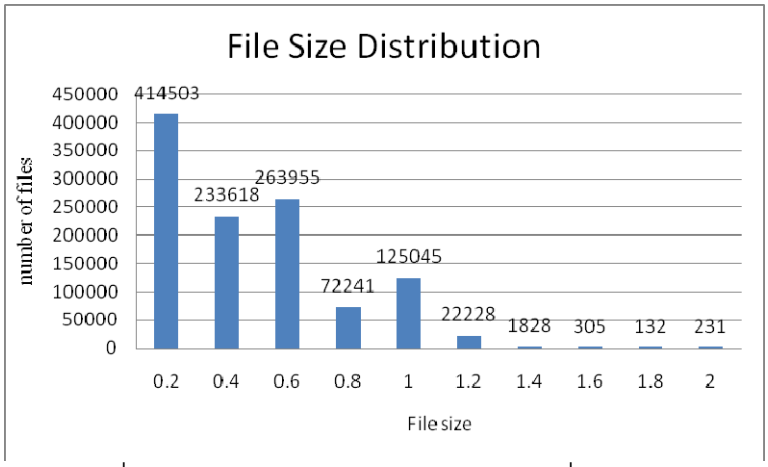


ภาพที่ 3.3 การกระจายของขนาดแฟ้มข้อมูลที่ถูกร้องขอโดยลูกข่าย

3.2.2 คุณลักษณะของภาระงานโครงการดีซีโร (DØ)

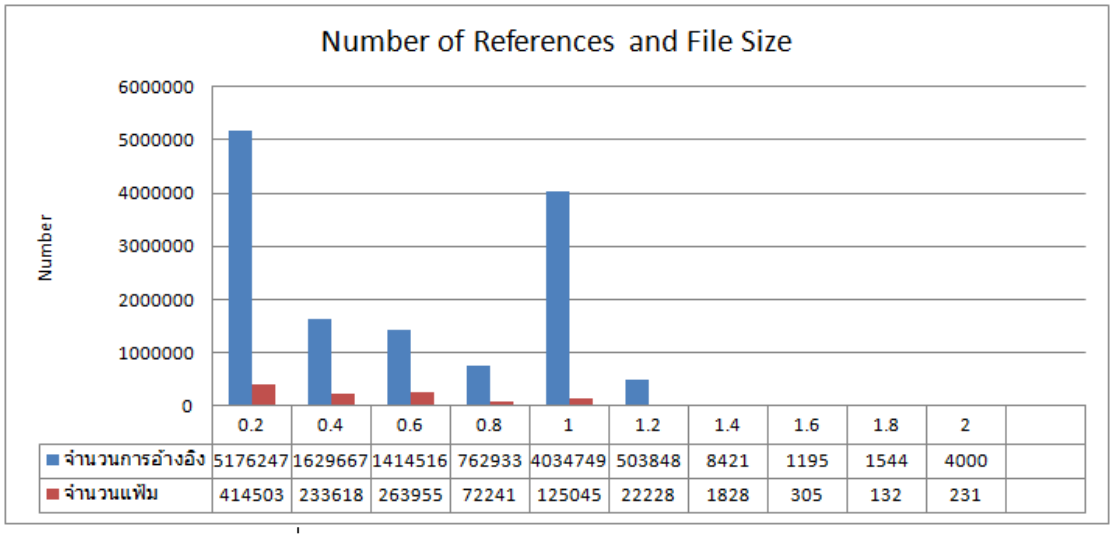
ข้อมูลภาระงานนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากระบบดาตากริด SAM-Grid [36] [37] ซึ่งจัดเก็บข้อมูลการทดลองในงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงในโครงการดีซีโร (DØ) [16] ซึ่งดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเฟอร์มิ โครงการดังกล่าวเป็นหนึ่งในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงที่ใหญ่เป็นอันดับต้นๆ และมีผู้เข้าใช้งานข้อมูลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นข้อมูลภาระงานที่ได้จากโครงการนี้จึงสามารถใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ ในการใช้งานข้อมูลจากระบบ SAM-Grid ผู้ใช้งานจะต้องสร้างงาน (Job) ขึ้นในระบบพร้อมด้วยการระบุแฟ้มข้อมูลที่ต้องการใช้ในการประมวลผล โดยงานหนึ่งๆ จะประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลจำนวนมาก จากการวิเคราะห์พบว่า ข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรประกอบด้วยงานจำนวน 235,967 งาน ซึ่งมีการอ้างอิงแฟ้มข้อมูลรวมทั้งสิ้น 13,537,120 ครั้ง จากแฟ้มข้อมูลทั้งสิ้น 1,134,086 แฟ้ม ข้อมูล

ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า หากไม่มีการประยุกต์ใช้งานแคชแล้ว จะทำให้เกิดการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลด้วยปริมาณเฉลี่ยสูงถึง 8.37 เทระไบต์ ต่อวันบนเครือข่ายบริเวณกว้าง นอกจากนี้หน่วยงานของผู้ใช้งานข้อมูลจะต้องมีหน่วยเก็บข้อมูลที่มีขนาดถึง 455.50 เทระไบต์ เพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด

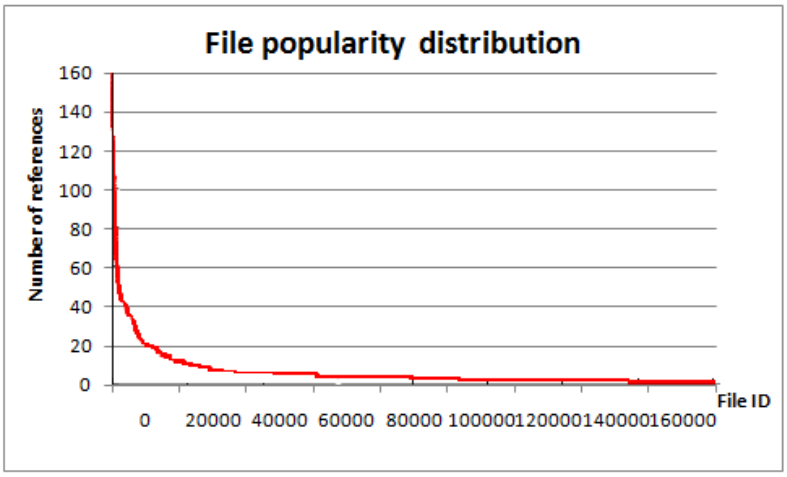


ภาพที่ 3.4 การกระจายของขนาดแฟ้มข้อมูลที่มีการร้องขอ

ภาพที่ 3.4 แสดงการกระจายของแฟ้มข้อมูลที่มีการร้องขอในช่วงขนาดต่างๆ โดยในระบบ SAM-Grid มีการร้องขอแฟ้มข้อมูลที่มีขนาดมากกว่า 200 เมกะไบต์ สูงถึง 719,583 แฟ้ม หรือประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนับจำนวนครั้งของการอ้างอิงแฟ้มข้อมูลขนาดดังกล่าวได้รวมทั้งสิ้น 8,360,873 ครั้ง คิดเป็น 62 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.5 จำนวนการอ้างอิงแฟ้มข้อมูลในช่วงขนาดต่างๆ



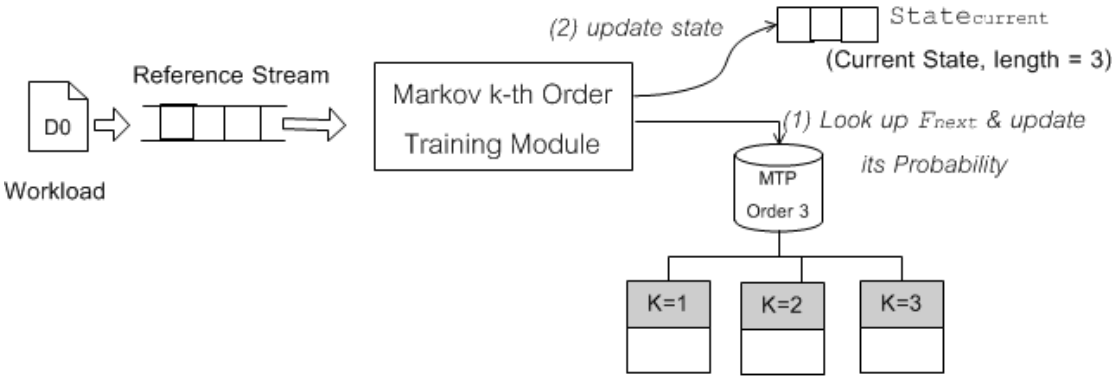
ภาพที่ 3.6 การกระจายของความนิยมแฟ้มข้อมูล

ภาพที่ 3.6 แสดงรูปแบบความนิยมในการอ้างอิงแฟ้มข้อมูลต่างๆ ซึ่งได้จากข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีแฟ้มข้อมูลเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่ได้รับความนิยมสูงๆ (มีการถูกอ้างอิงมากกว่า 20 ครั้ง)

3.3 การทำนายท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยตัวแบบมาร์คอฟ

ในการใช้ประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับ (All-K th-Order Markov Model) [33] เพื่อทำนายแฟ้มข้อมูลที่จะถูกร้องขอในลำดับถัดไป ทั้งนี้ องค์ประกอบสำคัญในการตัวแบบมาร์คอร์ฟแบบหลายลำดับได้แก่ ตาราง Transition Probability Matrix (TPM) ซึ่งแสดงค่าความน่าจะเป็นในการร้องขอแฟ้มข้อมูลต่างๆ โดยพิจารณาจากลำดับการร้องขอข้อมูลซึ่งเกิดขึ้นก่อนหน้า ทั้งนี้ ได้กำหนดค่า k ลำดับสูงสุดของตาราง TPM เท่ากับ 3 ซึ่งเป็นค่าที่มีความซับซ้อนปานกลางในการสร้างตาราง TPM และใช้งานทั่วไปในงานวิจัยอื่นๆ

3.3.1 การสร้างตาราง TPM



ภาพที่ 3.7 กระบวนการสร้างตาราง Transition Probability Matrix

ภาพที่ 3.7 แสดงกระบวนการสร้างตาราง TPM จากข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร โดยตารางดังกล่าวประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งในการสร้างตาราง TPM ระบบจะทำการอ่านลำดับการร้องขอแฟ้มข้อมูลจากข้อมูลภาระงานและตรวจสอบลำดับการร้องขอข้อมูลจากสดมภ์ `state` ของตาราง TPM ทั้ง 3 ตารางเพื่อปรับปรุงข้อมูลความถี่และความน่าจะเป็นในระเบียนที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ สามารถดูตัวอย่างข้อมูลในตาราง TPM ทั้ง 3 ตารางได้จากภาคผนวก

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างฐานข้อมูลของตาราง TPM ในลำดับ k

ชื่อสดมภ์	***ประเภทข้อมูล***	***คำอธิบาย***
State	VARCHAR	เก็บลำดับของข้อมูลซึ่งถูกร้องขอก่อนหน้าจำนวน k ลำดับ
File	VARCHAR	แฟ้มข้อมูลที่ถูกอ้างอิงเป็นลำดับถัดไป
Frequency	INT	ความถี่ที่เกิด *State* และ *File* ถูกร้องขอ
Probability	DOUBLE	ความน่าจะเป็นที่เกิด *State* และ *File* ถูกร้องขอ

กำหนดให้ $\texttt{State}_{\texttt{Current}}$ เป็นเซตของลำดับการร้องขอข้อมูลย้อนหลัง ณ เวลาใดๆ ลำดับที่ 1, 2, 3, ..., k ตามลำดับ (ในงานนี้กำหนดค่า k = 3) และ $\texttt{F}_{\texttt{next}}$ คือแฟ้มข้อมูลที่ถูกร้องขอเป็นลำดับถัดไป การปรับปรุงค่าในตาราง TPM จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ระบบตรวจสอบเงื่อนไขในสดมภ์ `state` ที่เกิด $\texttt{State}_{\texttt{Current}}$ และทำให้ $\texttt{F}_{\texttt{next}}$ ในสดมภ์ `file` ถูกร้องขอในตาราง TPM ลำดับที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความถี่ (`frequency`) และความน่าจะเป็น (`Probability`) ในตาราง TPM

2) ทำการปรับปรุง $State_{Current}$ โดยการเพิ่ม F_{next} เป็นลำดับการอ้างอิงข้อมูลก่อนหน้าตัวล่าสุดของ $State_{Current}$

การสร้างตาราง TPM ที่ใช้ในการวิจัยนี้ถูกสร้างจากข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร โดยการนำข้อมูลทั้งหมดของภาระงานมาใช้ ซึ่งทำให้ตาราง TPM สามารถแสดงพฤติกรรมของท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหมดของภาระงาน อย่างไรก็ตาม แม้วิธีการดังกล่าวจะไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติแต่สามารถนำไปใช้เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานที่นำเสนอ ทั้งนี้วิธีการที่เหมาะสมจะเป็นงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไปในอนาคต

3.3.2 การใช้งานตาราง TPM

ข้อมูลที่อยู่ในตาราง TPM ที่ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และพร้อมนำไปใช้งานกับตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับโดยการเลือกแฟ้มข้อมูลที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะถูกอ้างอิงเป็นลำดับถัดไปทั้ง k ลำดับ และเลื่อนตัวชี้ของแฟ้มข้อมูลเหล่านั้นไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของรายการ LRU ดังแสดงในภาพที่ 3.8

```
updateSpatialReference (fileid)
Begin
    state_current ← updateCurrentState (fileid)
    for i = 1 to k then
        File_next   ← getMaxProbabilityByOrder (state_current, i)
        if File_next not equal NULL then
            updateLRU (File_next)
        end if
    end for
end
```

ภาพที่ 3.8 การใช้งานตาราง TPM

3.3.3 การวิเคราะห์ตาราง TPM จากข้อมูลภาระงานดีซีโร

ตารางที่ 3.3 แสดงการกระจายของสเตทในตาราง TPM ซึ่งสร้างจากข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรซึ่งได้มีการตัดสเตทที่มีความถี่เท่ากับ 1 ทิ้งไป (ความน่าจะเป็นใกล้ค่า 0) เนื่องจากไม่มีผลต่อการนำไปใช้งาน จากข้อมูลในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีสเตทที่มีความน่าจะเป็นระหว่าง 0.9 – 1.0 เป็นจำนวนถึง 79.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตาราง TPM ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการทำนายแฟ้มข้อมูลที่จะถูกอ้างอิงในเวลาถัดไปได้และมีความแม่นยำสูง

ตารางที่ 3.3 การกระจายของสเตทในตาราง TPM ของข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร

ความน่าจะเป็น	*จำนวนสเตท*	*เปอร์เซ็นต์*
น้อยกว่า 0.5	9,643	0.387143
0.5 - 0.6	111,725	4.485483
0.6 - 0.7	48,228	1.936235
0.7 - 0.8	131,405	5.275587
0.8 - 0.9	198,768	7.980045
0.9 - 1.0	1,991,044	79.93551

3.4 การออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูล

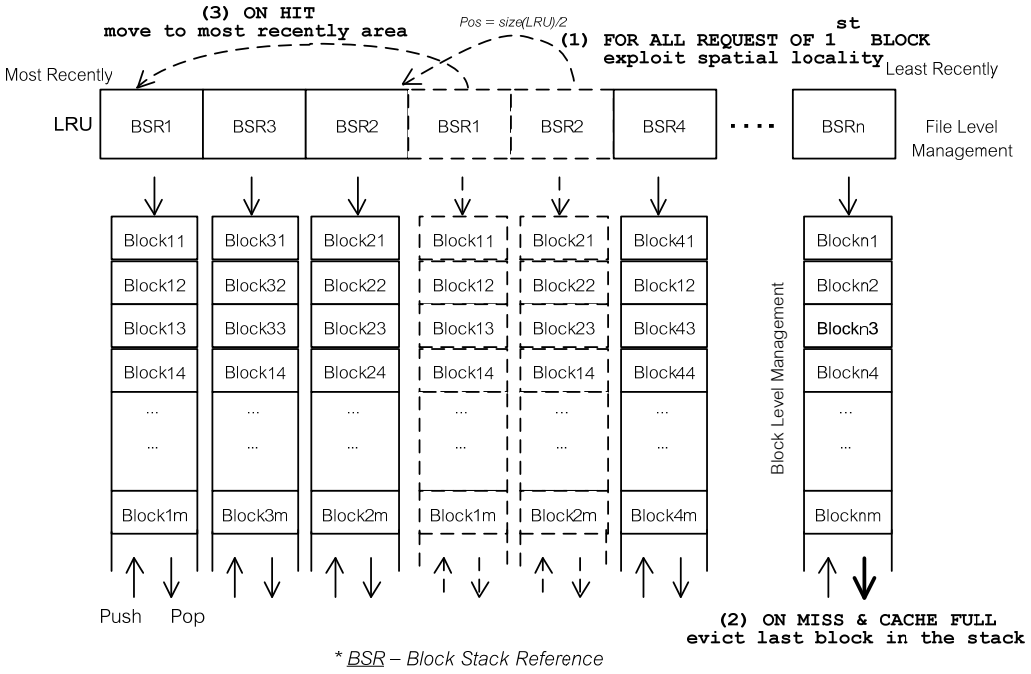
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอโครงสร้างการจัดเก็บแฟ้มข้อมูลสำหรับแคชซึ่งมีกลไกการทำงานแบบแบ่งบล็อกดังแสดงในภาพที่ 3.9 โครงสร้างดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อปรับปรุงวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU ด้วยการเพิ่มการพิจารณาท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ตามแนวคิดพื้นฐานที่กล่าวมาข้างต้น โครงสร้างดังกล่าวมีการแบ่งการบริหารจัดการออกเป็น 2 ระดับได้แก่ การจัดการข้อมูลระดับบล็อกและการจัดการข้อมูลระดับแฟ้มข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) <u>การจัดการระดับบล็อก</u> ประกอบด้วยแสตกซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บบล็อกของแฟ้มข้อมูล โดยแสตกแต่ละชุดจะจัดเก็บเฉพาะบล็อกของแฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ เท่านั้น ดังนั้น เมื่อมีการร้องขอบล็อกใหม่ซึ่งไม่มีในแคชและหน่วยเก็บข้อมูลของแคชเต็ม บล็อกของแฟ้มข้อมูลในแสตกที่ถูกเลือกจะถูกนำออกเพื่อนำบล็อกใหม่ของแฟ้มข้อมูลที่ถูกร้องขอเข้ามาแทนที่
2) <u>การจัดการระดับแฟ้มข้อมูล</u> ประกอบด้วยรายการซึ่งเก็บตัวชี้ที่ระบุตำแหน่งแสตกของแฟ้มข้อมูลในแต่ละชุด โดยรายการดังกล่าวมีการจัดเรียงตัวชี้บนพื้นฐานของ LRU และมีการใช้ประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลทั้งเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ดังนี้

2.1) <u>ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลา</u> ทุกครั้งเมื่อการร้องขอ*บล็อกใดๆ* ตัวชี้ซึ่งระบุตำแหน่งไปยังแสตกที่เก็บบล็อกนั้นจะถูกเลื่อนมายังตำแหน่งแรก (Most Recently) ของรายการ LRU

2.2) <u>ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่</u> ทุกครั้ง*ที่บล็อกแรก*ของแฟ้มข้อมูลใดๆ ถูกร้องขอ แคชจะทำการทำนายว่าแฟ้มข้อมูลใดจะถูกร้องขอเป็นลำดับถัดไป และจะทำการเลื่อนตัวชี้ซึ่งระบุตำแหน่งแสตกของแฟ้มข้อมูลนั้นมายังตำแหน่งกึ่งกลางของ

รายการ LRU การจัดการดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อลดโอกาสในการกำจัดแฟ้มข้อมูลที่มีแนวโน้มถูกร้องขอเป็นลำดับถัดไปออกจากแคช



ภาพที่ 3.9 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในแคชแบบแบ่งบล็อก

วิธีการแทนที่ข้อมูลที่ออกแบบข้างต้นจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ในท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลทั้ง 3 รูปแบบดังที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวแบบมาร์คอฟแบบหลายลำดับ (All-K th-Order Markov Model) [29] เพื่อทำนายแฟ้มข้อมูลที่จะถูกร้องขอในลำดับถัดไป

3.4.1 อัลกอริทึม

ภาพที่ 3.10 และ ภาพที่ 3.11 แสดงอัลกอริทึมการทำงานของวิธีการแทนที่ข้อมูลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เมื่อผู้ใช้มีการร้องขอบล็อกข้อมูลใดๆ จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) หากบล็อกข้อมูลที่ร้องขอเป็นบล็อกแรกของแฟ้มข้อมูลใดๆ จะทำการปรับปรุงรายการ LRU โดยการทำนายแฟ้มข้อมูลถัดไปและเลื่อนตัวชี้ที่ระบุตำแหน่งแสตกของแฟ้มข้อมูลดังกล่าวไปไว้ส่วนหัวของรายการ LRU ซึ่งการจัดการดังกล่าวจะกระทำทุกครั้งที่บล็อกข้อมูลแรกถูกร้องขอโดยไม่สนใจว่าบล็อกข้อมูลนั้นมีอยู่ในแคชหรือไม่
2) ค้นตัวชี้ที่ระบุตำแหน่งแสตกซึ่งเก็บบล็อกข้อมูล และหากตัวชี้ดังกล่าวไม่มีในแคชก็จะทำการสร้างตัวชี้ใหม่เพื่อเตรียมจัดเก็บบล็อกข้อมูล

3) ตรวจสอบแสตกว่ามีบล็อกข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการหรือไม่ หากพบว่ามีบล็อกข้อมูลดังกล่าวในแคช (เกิด HIT) ก็จะทำการปรับปรุงรายการ LRU โดยการเลื่อนตัวชี้ที่ระบบตำแหน่งแสตกไปยังส่วนหัวของรายการ LRU และส่งบล็อกข้อมูลกลับไปยังผู้ใช้
4) ในกรณีไม่พบบล็อกข้อมูลในแคช (เกิด MISS) ก็จะทำการร้องขอบล็อกข้อมูลจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์ และเมื่อแคชเสร็จสิ้นการถ่ายโอนบล็อกข้อมูลดังกล่าวจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์ ก็จะทำการจัดเก็บบล็อกข้อมูลในแสตก และปรับปรุงรายการ LRU โดยการเลื่อนตัวชี้ที่ระบบตำแหน่งแสตกไปยังส่วนหัวของรายการ LRU และส่งบล็อกข้อมูลกลับไปยังผู้ใช้ ทั้งนี้ หากพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลในแคชเต็ม ก็จะทำการกำจัดบล็อกข้อมูลจากแสตกซึ่งอยู่ส่วนท้ายสุดของรายการ LRU เพื่อให้มีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับบล็อกข้อมูลใหม่

```
Block processBlockRequest (id, offset)
Begin

    if offset equal 0 (first block reqeust) Then                    } (1)
        updateSpatialReference (id)
    end if

    BSR_id = lookupBlockStackReference (id)                         }
    If no Block Stack Reference for id then                         } (2)
        BSR_id ← new BlockStackReferenceInstance (id)               }
        BSR_id ← initialize ϕ                                       }
    end if

    if BSR_id.containBlock (offset) then                            } (3)
        block_id,offset ← BSR_id.getBlock (offset)                  }
        updateLRU (BSR_id)
    else                                                            }
        block_id,offset ← retriveBlockFromFileServer (id, offset)   }
                                                                    }
        if no space for block then                                  }
            allocateFreeSpace ()                                    } (4)
        end if                                                      }
                                                                    }
        BSR_id.push (block_id,offset)                               }
        updateLRU (BSR_id)                                          }
    end if

    return block_id,offset
end
```

ภาพที่ 3.10 คำสั่งเทียมแสดงการทำงานของแคชที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

```
allocateFreeSpace ()
begin
    while available space < BLOCK_SIZE then
        BSR_least   ← getLeastRecentlyUseBlockStackReference ()
        block_least ← BSR_least.pop ()
        evict (block_least)
        if BSR_least.empty () then
            delete (BSR_least)
        end if
    end while
end
```

ภาพที่ 3.11 การนำบล็อกออกจากแคชเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับข้อมูลใหม่

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ โดยแนวทางในการดำเนินการวิจัยจะเป็นการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลที่มีการใช้งานอยู่แล้วในระบบเว็บแคชภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริดที่มีการใช้งานในกลุ่มงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง ผลจากการศึกษาจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลที่สอดคล้องกับคุณลักษณะและสภาพแวดล้อมของดาตากริดในกลุ่มงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงได้ อย่างไรก็ตาม วิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับเว็บแคชในปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดวิธีการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลโดยการจัดกลุ่มวิธีการแทนที่ข้อมูลและเลือกตัวแทนที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่มมาพิจารณา

การทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการจำลองโดยใช้ข้อมูลประวัติภาระงานที่มีการใช้งานจริงในระบบดาตากริดสำหรับโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดตามข้อมูลภาระงานที่ใช้ในการทดลองซึ่งได้แก่

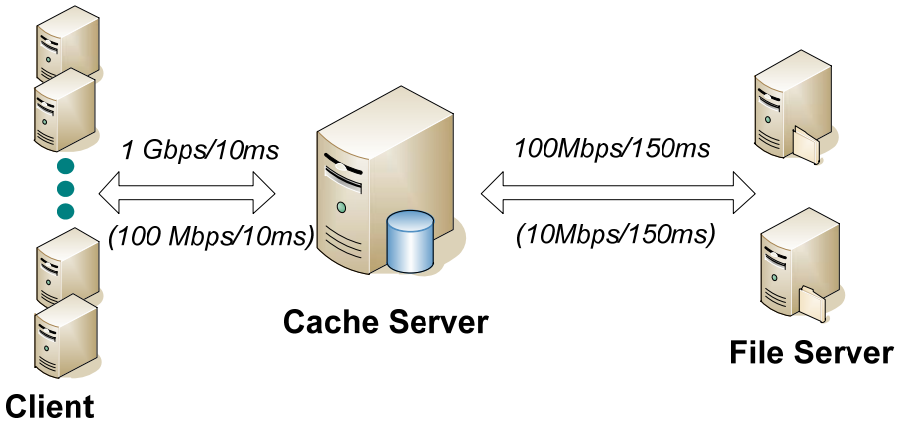
1) ข้อมูลภาระงาน จัสมิน เจแลป (JasMINE JLab) [35]– มีวัตถุประสงค์เพื่อต่อยอดงานวิจัย [17] ให้มีความสมบูรณ์และเป็นแนวทางในการออกแบบวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับดาตากริด
2) ข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร (DØ Project) – มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้และเปรียบเทียบกับวิธีการแทนที่ข้อมูลในกลุ่มต่างๆ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยซึ่งประกอบด้วย วิธีการทดลอง ตัวชี้วัดประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูล คุณลักษณะของภาระงาน และผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

4.1.1 สถาปัตยกรรมและสภาพแวดล้อมการจำลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชซึ่งมีกลไกการทำงานแบบแบ่งบล็อก โดยขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาแคชซึ่งทำหน้าที่เป็นพร็อกซีระหว่างหน่วยงานที่ให้บริการข้อมูลและลูกข่ายดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.1 เท่านั้น ทั้งนี้ได้มีการออกแบบสถาปัตยกรรมการจำลองเพื่อทำการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วย ลูกข่าย แคชเซิร์ฟเวอร์ และไฟล์เซิร์ฟเวอร์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.1 สถาปัตยกรรมการจำลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคช

1) ลูกข่าย เครื่องลูกข่ายในระบบนี้เป็นตัวแทนของหน่วยการคำนวณซึ่งทำหน้าที่ในการประมวลผลแฟ้มข้อมูล ลูกข่ายแต่ละโหนดจะทำการร้องขอข้อมูลจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์โดยผ่านทางแคชเซิร์ฟเวอร์
2) แคชเซิร์ฟเวอร์ ทำหน้าที่เป็นพร็อกซีระหว่างลูกข่ายและไฟล์เซิร์ฟเวอร์ โดยจะประมวลผลคำร้องจากลูกข่าย และจัดเก็บข้อมูลที่ลูกข่ายร้องขอไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลของแคชเป็นการชั่วคราว โดยแคชเซิร์ฟเวอร์ในการทดลองนี้จะมีกลไกการทำงานและจัดเก็บข้อมูลแบบแบ่งบล็อกดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.3
3) ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ ทำหน้าที่จัดเก็บแฟ้มข้อมูลการทดลองในโครงการวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง (ระดับเทียร์-1 หรือ เทียร์-2) และให้บริการข้อมูลดังกล่าวบนระบบเครือข่าย

4.1.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการจำลองการทำงานของแคชเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มในการบริหารจัดการแคชซึ่งมีขนาดของพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลในระดับต่างๆ โดยการทดลองได้มีการพัฒนาโปรแกรมจำลองการทำงานของแคชในดาตากริดซึ่งแบ่งเป็นสองรุ่นได้แก่ (1) โปรแกรมการจำลองที่พัฒนาด้วย NS-2 [38] และ (2) โปรแกรมการจำลองการทำงานของแคชในดาตากริดที่พัฒนาขึ้นเองด้วยภาษาจาวา ทั้งนี้ โปรแกรมจำลองการทำงานของแคชในดาตากริดได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากการใช้งาน NS-2 กล่าวคือ แม้ว่า NS-2 จะเป็นโปรแกรมการจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถแสดงรายละเอียดของการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลได้ถึงระดับกลุ่มข้อมูล (data packet) แต่กลไกการทำงานของ NS-2 ซึ่งกระทำที่ระดับกลุ่มข้อมูล ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการจำลองนานเป็นอย่างมาก การใช้โปรแกรมจำลอง NS-2 จึงไม่เหมาะกับการจำลองการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลขนาดใหญ่ อีกทั้งไม่สามารถนำไปใช้งานกับข้อมูลภาระงานในโครงการดีซีโร่ ซึ่งมีประวัติการเข้าถึงข้อมูลขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากได้ การทดลองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการแทนที่ข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ได้แก่ LRU, LFU, SIZE, RAND และ GDS เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลสำหรับแคชแบบแบ่งบล็อกในดาตากริด และได้มีการเพิ่มวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU-Markov ในการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพกับข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวแทนของวิธีการแทนที่ข้อมูลที่เลือกใช้ในการทดลอง

ชื่อกลุ่ม	***วิธีการแทนที่ข้อมูล***
Recency-based Policy	LRU
Frequency-based Policy	LFU
Size-based Policy	SIZE
Randomized Policy	RAND
Function-based Policy	GDS
Proposed Policy	LRU-Markov

การทดลองจะมีการปรับเปลี่ยนขนาดพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลของแคชในระดับต่างๆ ทั้งนี้ขนาดสูงสุดของพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลของแคชสามารถคำนวนได้จากสมการในภาพที่ 4.2 โดยที่

F_{req} คือเซตของแฟ้มข้อมูลทั้งหมดที่มีการอ้างอิงถึง S_f คือขนาดของแฟ้มข้อมูลแต่ละแฟ้มภายใน F_{req} และ S_b คือขนาดของบล็อกที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในแคช

$$CacheSize = \sum_{f \epsilon F_{req}} \left(\left\lceil \frac{S_f}{S_b} \right\rceil \times S_b \right)$$

ภาพที่ 4.2 สมการการคำนวณขนาดของพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลในแคช

นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติอื่นๆ ที่กำหนดในการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.2 โดยค่าเวลาแพร่กระจาย (Propagation delay) ที่ใช้เพื่อจำลองการเชื่อมต่อเครือข่ายบริเวณกว้างมีค่า 150 ms ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ระหว่างเครือข่ายมหาวิทยาลัยในประเทศไทย และสถาบัน AIST ประเทศญี่ปุ่น

ตารางที่ 4.2 การตั้งค่าคุณสมบัติในการทดลอง

คุณสมบัติ	***การทดลอง***	
	จัสมิน เจแลป	***โครงการดีซีโร***
ขนาดบล็อก	100 MB	100 MB
ขนาดหน่วยเก็บข้อมูลแคชที่ 100%	202.3 GB	471.87 TB
ขนาดหน่วยเก็บข้อมูลแคชที่ทำการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	10% - 60%	1% - 6%
วิธีการแทนที่ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	LRU, LFU, SIZE, RAND และ GDS	LRU, LFU, SIZE, RAND, GDS และ LRU-Markov
ค่าแบนด์วิดท์และเวลาแพร่กระจายในเครือข่ายเฉพาะที่	100Mbps และ 10ms	1Gbps และ 10ms
ค่าแบนด์วิดท์และเวลาแพร่กระจายเครือข่ายบริเวณกว้าง	10Mbps และ 150ms	100Mbps และ 150ms
โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง	NS-2 Simulator	DataGrid Cache Simulator (Java-based)

4.1.3 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูล

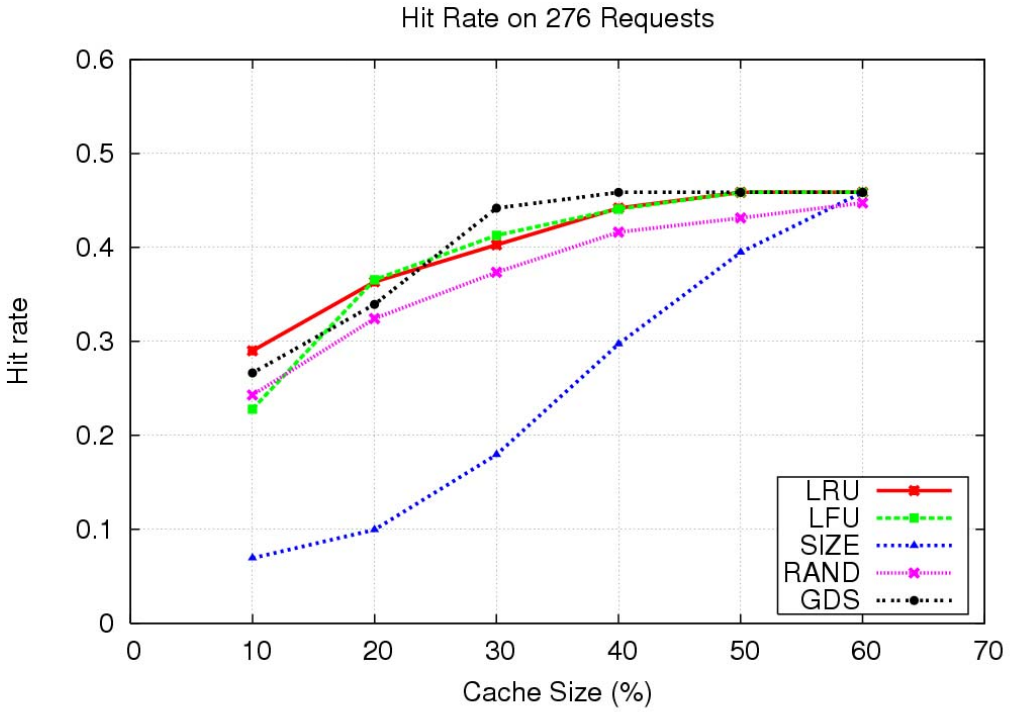
การวัดประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชนั้นประกอบด้วยตัวชี้วัดสำคัญสองตัว ได้แก่ ฮิตเรท (Hit Rate) และไบต์ฮิตเรท (Byte-Hit Rate) นอกจากนี้ได้มีการกำหนดตัวชี้วัดเพิ่มเติมได้แก่ ค่าเฉลี่ยลาเทนซี เพื่อประเมินเวลาในการเข้าถึงข้อมูลของวิธีการแทนที่ข้อมูล โดยรายละเอียดของตัวชี้วัดต่างๆ มีดังนี้

1) ฮิตเรท เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งการร้องขอข้อมูลซึ่งถูกจัดเก็บอยู่ภายในแคชต่อจำนวนครั้ง การร้องขอข้อมูลทั้งหมด ตัวอย่างเช่น ค่าฮิตเรท 40 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง ในการร้องขอข้อมูล 100 ครั้ง จะมีการนำข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในแคชส่งกลับไปยังลูกข่าย 40 ครั้ง โดยไม่จำเป็นต้องทำการโอนย้ายข้อมูลจากแหล่ง บริการข้อมูล
2) ไบต์ฮิตเรท เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของข้อมูลที่ร้องขอซึ่งถูกจัดเก็บอยู่ภายในแคช ต่อขนาดของ ข้อมูลทั้งหมดที่มีการร้องขอ ตัวอย่างเช่น ค่าไบต์ฮิตเรท 40 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง เมื่อมีการร้องขอข้อมูลทั้งหมด 100 ไบต์ จะมีข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในแคชส่งกลับไปยังลูกข่ายเป็นจำนวน 40 ไบต์ โดยไม่จำเป็นต้องทำการโอนย้ายข้อมูลจากแหล่งบริการข้อมูล
3) ค่าเฉลี่ยลาเทนซี (Average Latency) เป็นค่าของเวลาเฉลี่ยที่ลูกข่ายใช้ในการเข้าถึงข้อมูล ค่าลาเทนซีหนึ่งๆ เป็นค่าเวลาซึ่งนับจากลูกข่ายเริ่มการร้องขอข้อมูลจนถึงเวลาที่ลูกข่ายได้รับข้อมูลจนครบ โดยเวลาดังกล่าวเกิดจากสองปัจจัยได้แก่ *(1) ค่าเวลาหน่วงโพรพาเกชั่น* (propagation delay) หมายถึงเวลาที่กลุ่มข้อมูล (packet) ใดๆใช้เพื่อเดินทางในสายสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งจะมีค่าคงที่ตามระยะทางจริงที่เกิดขึ้น และ *(2) ค่าเวลาทรานมิสชัน* (transmission delay) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลและปริมาณแบนด์วิดท์

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลภาระงานจัสมิน เจแลป

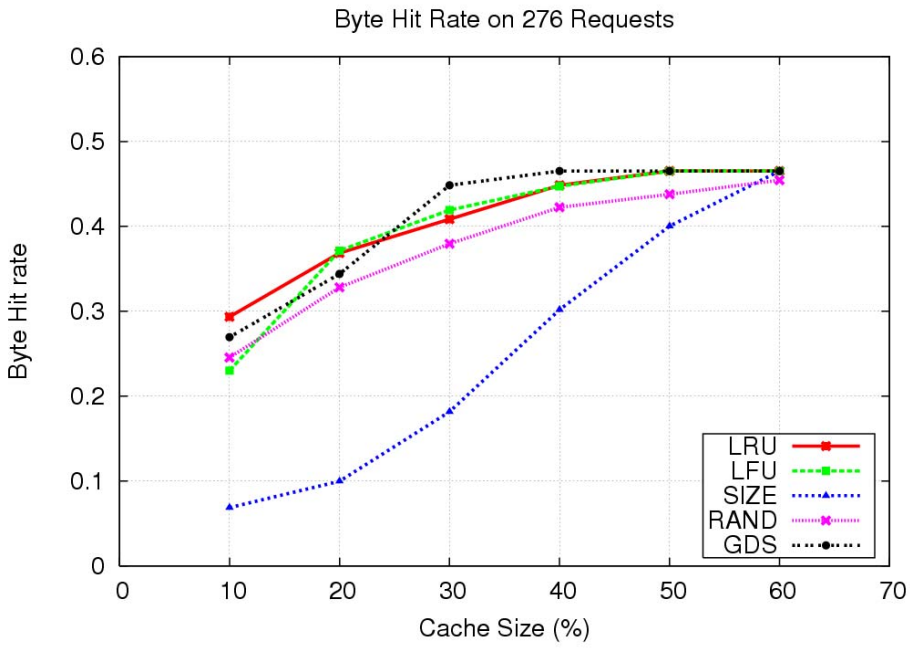
การทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบดาตากริดโดยใช้ข้อมูลภาระงานจัสมิน เจแลป ได้ค่าประสิทธิภาพของฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทดังแสดงในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU LFU GDS และ RAND มีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทที่แตกต่างกันไม่มากนัก โดยที่ LRU จะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการอื่นๆ เมื่อแคชมีขนาดเล็ก และ GDS จะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการอื่นๆ เมื่อแคชมีขนาดใหญ่ขึ้นและเริ่มคงที่เมื่อแคชมีขนาด 40 เปอร์เซ็น สำหรับวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ SIZE จะมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีการอื่นๆ โดยตลอดเนื่องจาก SIZE จะกำจัดแฟ้มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ออกซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูลที่ลูกข่ายมีการร้องขอบ่อยครั้ง



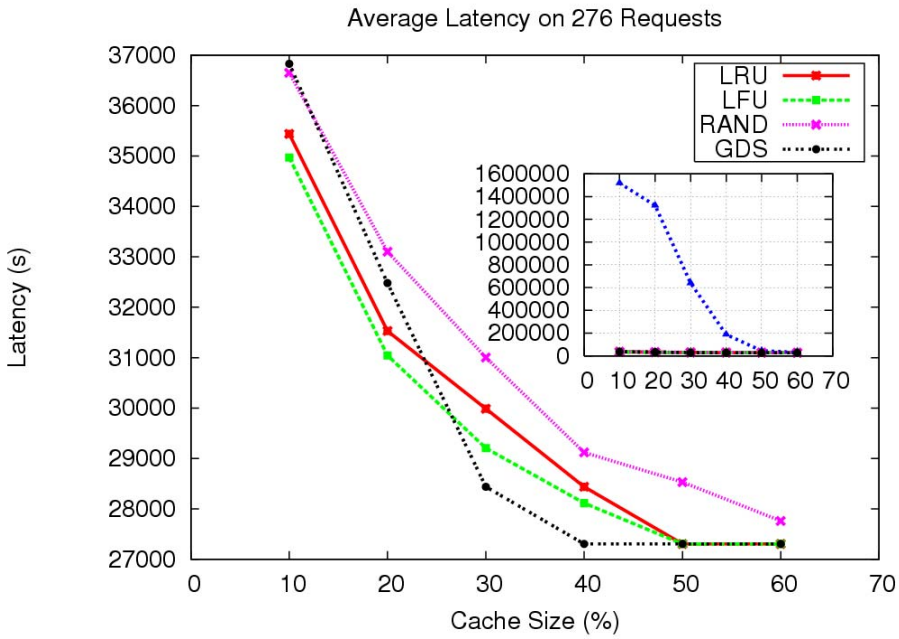
ภาพที่ 4.3 ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ

นอกจากนี้เมื่อแคชมีขนาด 50 – 60 เปอร์เซ็นต์จะเห็นว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU LFU และ GDS มีค่าประสิทธิภาพฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทเท่ากันซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่า แคชขนาด 50

เปอร์เซ็นเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บข้อมูล โดยวิธีการแทนที่ข้อมูลที่แตกต่างกันจะไม่มีผลมากนักและการเพิ่มขนาดของแคช ให้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นก็ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแคชดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณการใช้ข้อมูลในระบบดาตากริดมีมากและมักเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการจัดหาพื้นที่เพื่อจัดเก็บข้อมูลสำหรับแคชขนาด 50 เปอร์เซ็นของปริมาณข้อมูลที่ใช้ในระบบดาตากริดนั้นเป็นไปได้ยากเนื่องจากมีต้นทุนที่สูง



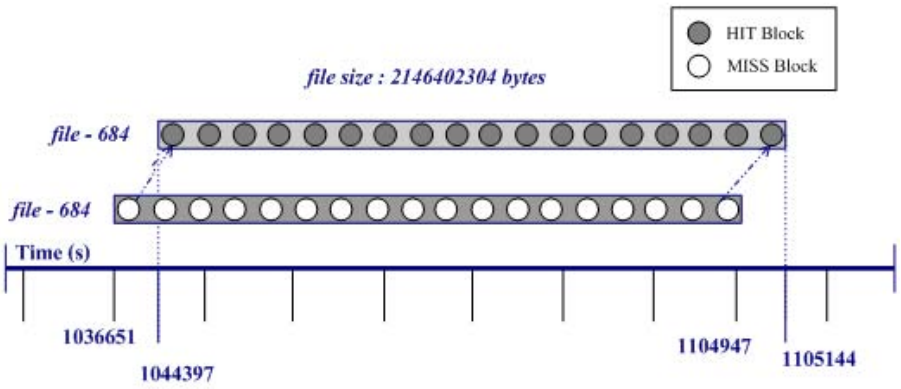
ภาพที่ 4.4 ไบต์ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ



ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ

ภาพที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยลาเทนซีในวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อแคชมีขนาด ระหว่าง 10 – 20 เปอร์เซ็น วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU และ LFU จะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการอื่นๆ โดยที่ LFU จะมีค่าเฉลี่ยลาเทนซีที่ต่ำกว่า LRU เล็กน้อย เมื่อแคชมีขนาด 30 เปอร์เซ็นพบว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ GDS จะดีที่สุดโดยจะเห็นว่าประสิทธิภาพของ GDS จะการเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง และมีค่าเฉลี่ยนลาเทนซีต่ำที่สุด โดยเริ่มคงที่เมื่อแคชมีขนาดเพียง 40 เปอร์เซ็น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างฮิตเรท ไบต์ฮิตเรท และค่าเฉลี่ยลาเทนซี พบว่า เมื่อฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยลาเทนซีลดลงเนื่องจากปริมาณการนำข้อมูลซึ่งถูกจัดเก็บในแคชส่งกลับไปยังลูกข่ายที่ร้องขอข้อมูลมีสูงขึ้น เป็นผลให้ลูกข่ายเข้าถึงข้อมูลได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU ซึ่งมีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทสูงกว่าวิธีอื่นๆ เมื่อแคชมีขนาดเล็กกลับมีค่าเฉลี่ยลาเทนซีที่สูงกว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LFU ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมการเข้าถึง ข้อมูลเดียวกันซึ่งมีขนาดใหญ่ในเวลาใกล้เคียงกันของลูกข่ายดังแสดงในภาพที่ 4.6 กล่าวคือ เมื่อมีการร้องขอข้อมูลเดียวกันซึ่งมีขนาดใหญ่ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อลูกข่ายร้องขอข้อมูล ณ เวลา t_1 โดยที่ไม่พบบล็อกข้อมูลที่ลูกข่ายต้องการ (เกิด MISS) ภายในพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของแคช ดังนั้นแคชจึงร้องขอบล็อกข้อมูลนั้นจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์ ต่อมาเมื่อลูกข่ายอื่นได้ร้องขอแฟ้มข้อมูลเดียวกัน ณ เวลา t_2 ซึ่งเป็นเวลาใกล้เคียงกันและแคชได้ทำ

การร้องขอบล็อกข้อมูลนั้นไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์แล้วก่อนหน้านี้ ดังนั้น ณ เวลา t_2 จึงเกิด HIT และแคชไม่จำเป็นต้องร้องขอบล็อกข้อมูลนั้นจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์ซ้ำอีก อย่างไรก็ตามบล็อกข้อมูลซึ่งเกิด HIT ยังคงต้องรอข้อมูลจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์เช่นกัน ทำให้ลูกข่ายที่ทำการร้องขอทั้งสองครั้ง ได้รับข้อมูลในเวลาใกล้เคียงกัน และมีค่าลาเทนซีที่ต่างกันไม่มาก แม้ว่าการร้องขอครั้งหลังจะเกิดการ HIT ภายในแคชก็ตาม



ภาพที่ 4.6 แสดงปรากฏการณ์การอ้างอิงข้อมูลเดียวกันในเวลาที่ใกล้เคียงกัน

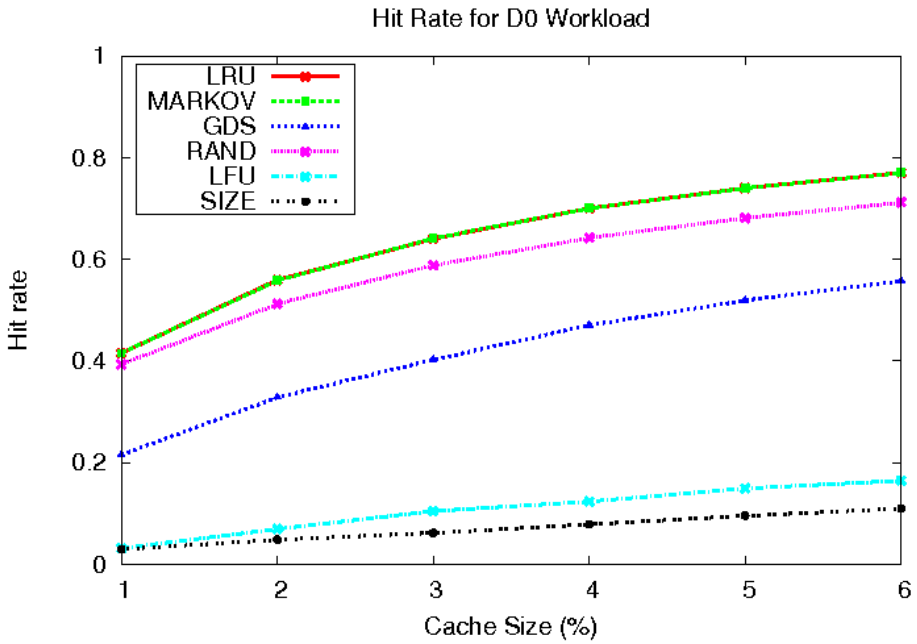
4.2.2 ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโร (DØ)

การทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชสำหรับระบบดาตากริดโดยใช้ข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรได้ค่าประสิทธิภาพของฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทดังแสดงในภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.8 จากผลการทดลองพบว่า วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU LRU-MARKOV และ RAND มีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทที่ใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบอื่นๆ ในขณะที่วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ GDS มีค่าฮิตเรทและไบตร์ฮิตเรทในระดับกลาง และวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ SIZE และ LFU มีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทที่ต่ำกว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบอื่นๆ

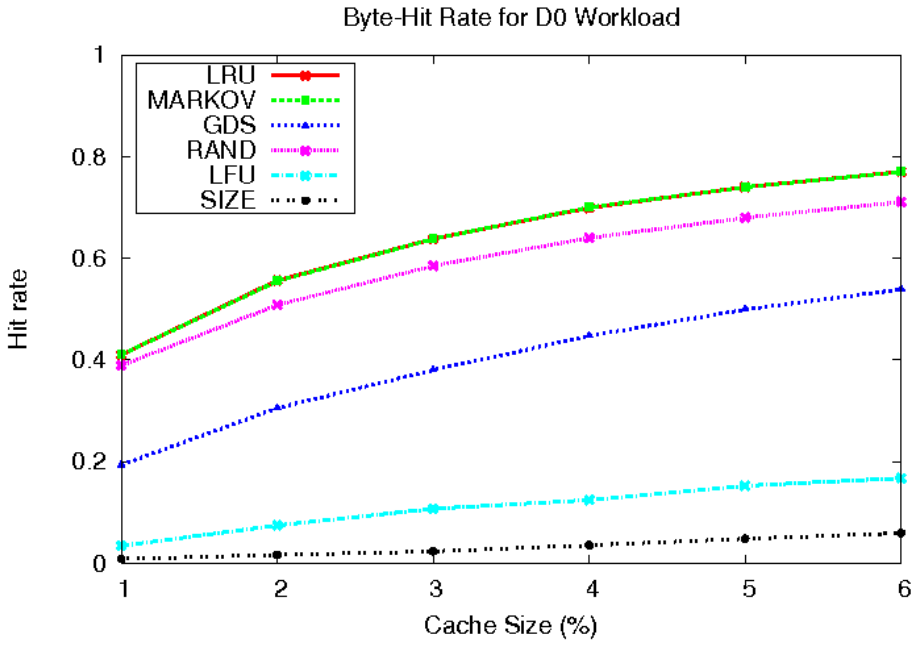
จากผลการทดลองพบว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ RAND จะมีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทสูงกว่า LRU และ LRU-MARKOV เล็กน้อยที่หน่วยเก็บข้อมูลแคชขนาด 1 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อหน่วยเก็บข้อมูลของแคชมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้เกิดจากกลไกการจัดเก็บบล็อกข้อมูลภายในแคชแบบ RAND จะมีการจัดเก็บบล็อกข้อมูลเป็นแถวลำดับ กล่าวคือ ในการทำงานปรกติบล็อกข้อมูลใหม่จะถูกนำไปจัดเก็บต่อท้ายบล็อกข้อมูลก่อนหน้า และเมื่อแคชเต็มจึงใช้วิธีการสุ่ม

เลือกเพื่อแทนที่บล็อกข้อมูล ประกอบกับในแต่ละงานมีการร้องขอแฟ้มข้อมูลเดียวในเวลาใกล้เคียงกันเป็นจำนวนมาก หรืออาจกล่าวได้ว่า ธรรมชาติของภาระงานโครงการดีซีโรมีท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาสูง ดังนั้นกลไกการจัดเก็บข้อมูลเป็นแถวลำดับและท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาจึงเป็นตัวสนับสนุนให้วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ RAND สามารถทำงานได้ดี

วิธีการแทนที่ข้อมูลที่มีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทที่ดีที่สุดได้แก่ LRU และ LRU-MARKOV โดยมีค่า 41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหน่วยเก็บข้อมูลของแคชมีขนาด 1 เปอร์เซ็นต์และ มีค่า 77 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหน่วยเก็บข้อมูลของแคชมีขนาด 6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ วิธีการดังกล่าวมีกลไกการจัดเก็บข้อมูลซึ่งใช้ประโยชน์จากภาระงานซึ่งมีท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลา โดยที่ LRU-MARKOV จะมีการใช้ประโยชน์จากทั้งท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาสูงและท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตาม แม้วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU-MARKOV จะมีการใช้ประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่แต่ก็ทำช่วยให้ค่าฮิตเรตและไบต์ฮิตเรทดีขึ้นน้อยมากจนถือได้ว่าไม่มีความแตกต่าง

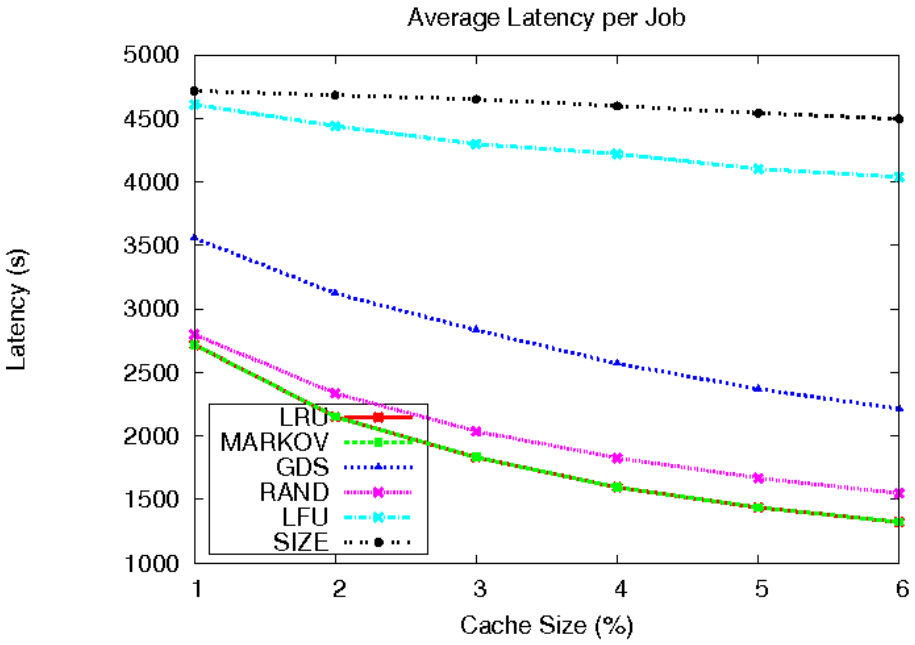


ภาพที่ 4.7 ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ

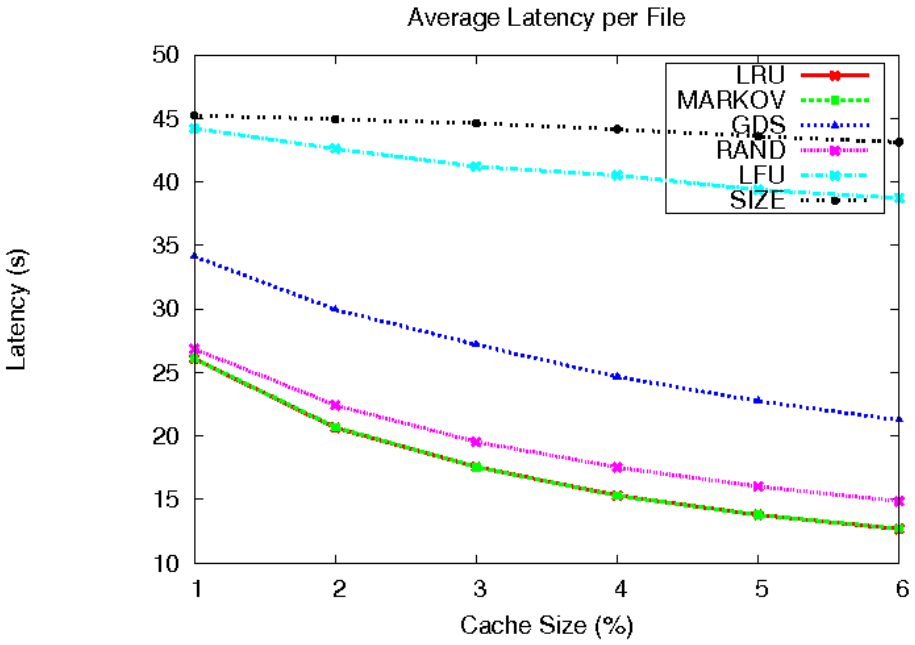


ภาพที่ 4.8 ไบต์ฮิตเรทที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ

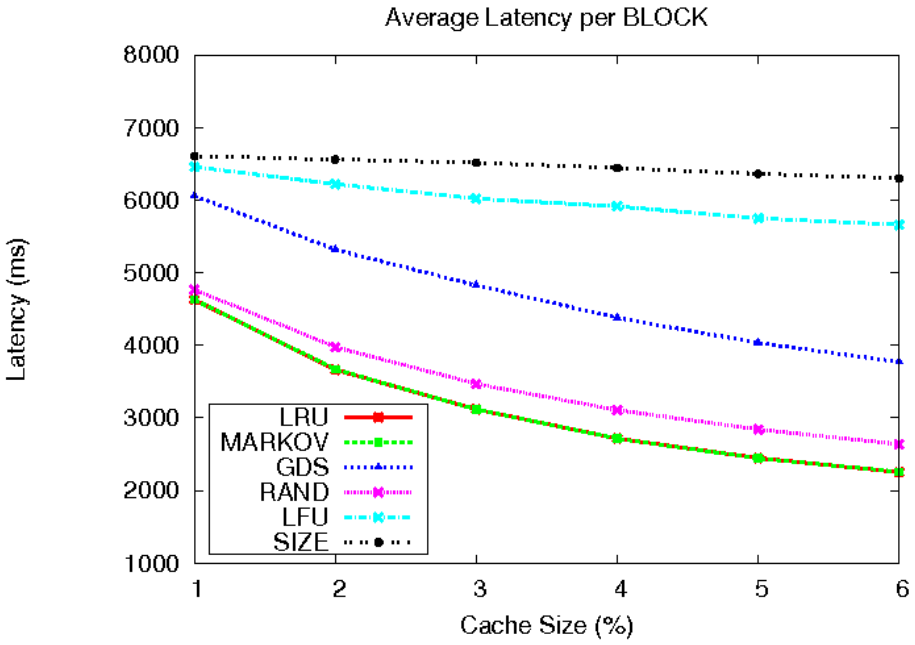
ภาพที่ 4.9 ภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยลาเทนซีซึ่งเกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ โดยได้แสดงค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่องาน แฟ้ม และบล็อกตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของค่าเฉลี่ยลาเทนซีมีความสอดคล้องกับค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรท โดยวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU LRU-MARKOV และ RAND มีค่าค่าเฉลี่ยลาเทนซีที่ใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบอื่นๆ ในขณะที่วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ GDS มีค่าเฉลี่ยลาเทนซีในระดับกลาง และวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ SIZE และ LFU มีค่าเฉลี่ยลาเทนซีที่สูงกว่าวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบอื่นๆ ทั้งนี้ วิธีการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU และ LRU-MARKOV มีค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่ำสุดโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2718 – 1322 วินาทีสำหรับแต่ละงาน 26 – 12 วินาทีสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลแต่ละแฟ้มและ 4.6 – 2.3 วินาทีสำหรับการถ่ายโอนบล็อกข้อมูล 1 บล็อก



ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่องานที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ



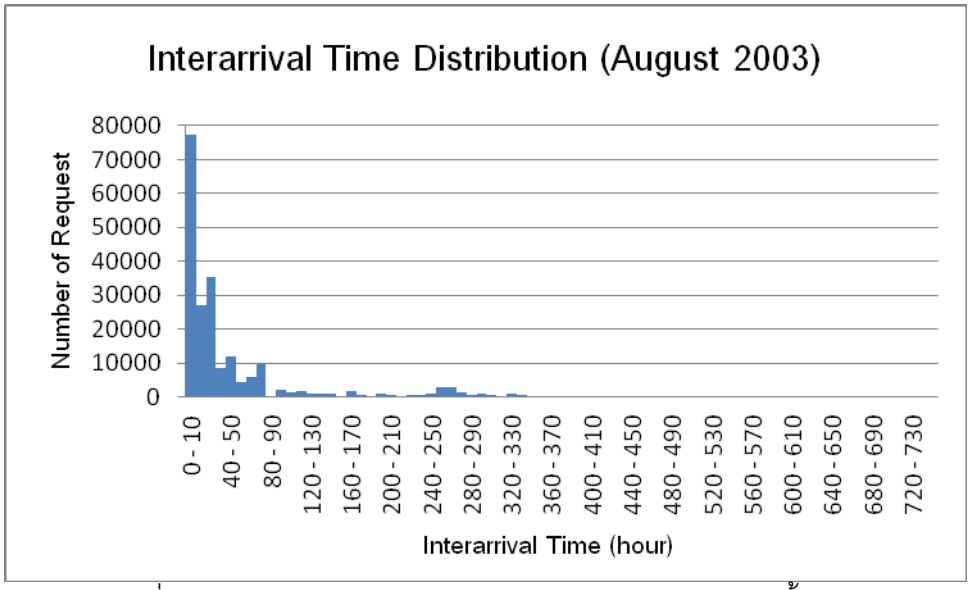
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่อแฟ้มที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ



ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยลาเทนซีต่อบล็อกที่เกิดจากวิธีการแทนที่ข้อมูลแบบต่างๆ

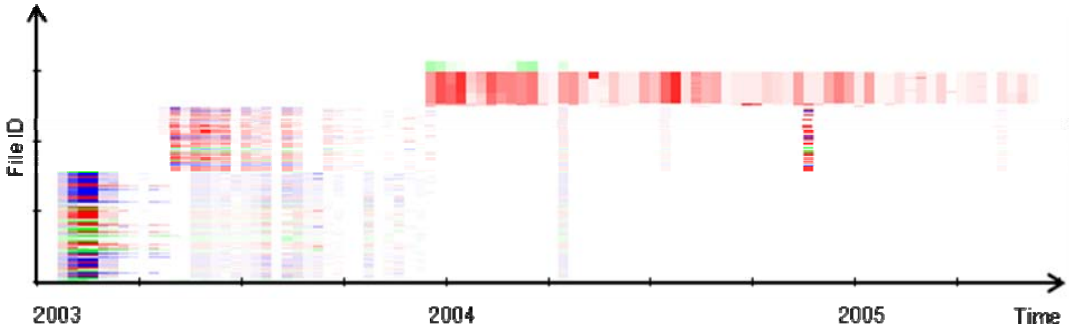
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบจากระยะเวลาของข้อมูลภาระงาน

จากการประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลโดยใช้ข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรและใช้หน่วยเก็บข้อมูลแคชขนาด 1 – 6 เปอร์เซ็นต์พบว่ามีค่าฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทที่สูงมากซึ่งแตกต่างจากการทำงานของแคชโดยทั่วไปที่มีขนาดหน่วยเก็บข้อมูลแคชในช่วงเดียวกัน แต่จากการวิเคราะห์ระยะห่างเวลาการอ้างอิงข้อมูลครั้งถัดไป (Interarrival Time) ของแฟ้มข้อมูลใดๆ พบว่าแฟ้มข้อมูลจากภาระงานดังกล่าวมีการอ้างอิงซ้ำๆ ในเวลาใกล้เคียงกันด้วยอัตราสูง โดยภาพที่ 4.12 แสดงตัวอย่างการกระจายของระยะห่างเวลาการอ้างอิงข้อมูลครั้งถัดไปของเดือนสิงหาคม ปี 2003 ซึ่งมีการอ้างอิงแฟ้มข้อมูลซ้ำอย่างต่อเนื่อง โดยเวลาเฉลี่ยการอ้างอิงข้อมูลครั้งถัดไปมีค่า 45.04 ชั่วโมง เวลาต่ำสุดมีค่า 0 ชั่วโมง (มีการอ้างอิงพร้อมกัน) และเวลาสูงสุดมีค่า 666.63 ชั่วโมง ทั้งนี้ การอ้างอิงที่มีระยะเวลาห่างไม่เกิน 48 ชั่วโมง (2 วัน) มีจำนวนสูงถึง 75.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มโอกาสให้ฮิตเรทและไบต์ฮิตเรทมีค่าสูงอีกทั้งส่งผลให้แฟ้มข้อมูลมีโอกาสอาศัยอยู่ในแคชได้นาน



ภาพที่ 4.12 การกระจายของระยะห่างเวลาการอ้างอิงข้อมูลครั้งถัดไป

นอกจากนี้ เมื่อทำการศึกษารูปแบบการอ้างอิงข้อมูลดังตัวอย่างในภาพที่ 4.13 พบว่าแฟ้มข้อมูลจากภาระงานโครงการดีซีโรมักมีการอ้างอิงข้อมูลซ้ำเป็นช่วงๆ และมีปริมาณความนิยมในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน โดยแฟ้มข้อมูลหนึ่งๆ จะมีช่วงเวลาที่ถูกอ้างอิงซ้ำอย่างต่อเนื่องเพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งและอาจไม่ถูกอ้างอิงเลยในช่วงเวลาถัดไป รูปแบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาหนึ่งๆ จะมีแฟ้มข้อมูลบางส่วนเท่านั้นที่ถูกอ้างอิง และขนาดหน่วยเก็บข้อมูลที่แท้จริงซึ่งแคชต้องการเพื่อจัดเก็บแฟ้มข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากขนาดของแฟ้มข้อมูลทั้งหมดที่ถูกอ้างอิงในช่วงเวลานั้นๆ ทั้งนี้ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการพิจารณาขนาดหน่วยเก็บข้อมูลที่แคชต้องการสามารถพิจารณาได้จากช่วงชีวิตของแฟ้มข้อมูลในภาระงาน และจากการวิเคราะห์ช่วงชีวิตของแฟ้มข้อมูลโดย [34] ซึ่งใช้ข้อมูลภาระงานเดียวกัน โดยกำหนดนิยามช่วงชีวิตของแฟ้มข้อมูลใดๆ คือช่วงเวลาที่เริ่มต้นจากเวลาที่แฟ้มข้อมูลถูกอ้างอิงครั้งแรกจนถึงเวลาที่เสร็จสิ้นการใช้งานแฟ้มข้อมูลนั้นในการอ้างอิงครั้งสุดท้าย โดยงานวิจัยดังกล่าวได้สรุปว่าช่วงชีวิตของแฟ้มข้อมูลมีระยะเวลาเฉลี่ย 1 เดือน หรือ 712 ชั่วโมง และเมื่อทำการวิเคราะห์การอ้างอิงแฟ้มข้อมูลจากภาระงานโดยแบ่งเป็นรายเดือนตามช่วงชีวิตเฉลี่ยดังกล่าวพบว่า ในแต่ละเดือนมีแฟ้มข้อมูลถูกอ้างอิงโดยเฉลี่ย 101,183 แฟ้ม และผลรวมของขนาดแฟ้มข้อมูลที่ถูกอ้างอิงใน 1 เดือนมีค่าเฉลี่ย 46.66 เทระไบต์



ภาพที่ 4.13 รูปแบบการอ้างอิงข้อมูลในภาระงานโครงการดีซีโร

เมื่อพิจารณาขนาดหน่วยเก็บข้อมูลแคชตามช่วงชีวิตของแฟ้มข้อมูลซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1 เดือน สามารถสรุปได้ว่าขนาดหน่วยเก็บข้อมูลสูงสุดที่แคชต้องการใน 1 เดือนมีค่า 46.66 เทระไบต์ และในการทดลองซึ่งใช้ขนาดของหน่วยเก็บข้อมูล 1 – 6 เปอร์เซ็นต์หรือ 4.71 – 28.31 เทระไบต์นั้น เมื่อคำนวณจากขนาดหน่วยเก็บข้อมูลสูงสุดที่แคชต้องการแล้ว แท้จริงขนาดดังกล่าวจะมีค่าเป็น 10.09 – 60.67 เปอร์เซ็นต์ของหน่วยเก็บข้อมูลแคชสูงสุดที่แคชต้องการใน 1 เดือน

จากผลการวิเคราะห์ขนาดหน่วยเก็บข้อมูลสูงสุดข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ข้อมูลภาระงานมีระยะเวลาการบันทึกที่ยาวนาน การคำนวณขนาดหน่วยเก็บข้อมูลสูงสุดจากขนาดแฟ้มข้อมูลทั้งหมด อาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้น การนำช่วงชีวิตของแฟ้มข้อมูลในภาระงานมาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณขนาดหน่วยเก็บข้อมูลสูงสุด จะช่วยให้สามารถกำหนดขนาดหน่วยเก็บข้อมูลที่เหมาะสมและสะท้อนขนาดหน่วยเก็บข้อมูลสูงสุดของแคชที่แท้จริง

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชซึ่งมีกลไกการทำงานแบบแบ่งบล็อกภายใต้สภาพแวดล้อมของดาตากริดในกลุ่มงานวิจัยสาขาฟิสิกส์พลังงานสูงซึ่งผู้ใช้จะมีพฤติกรรมการเข้าถึงข้อมูลขนาดใหญ่จำนวนมากผ่านทางระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูลด้วยวิธีการจำลองโดยใช้ข้อมูลภาระงานจากจัสมิน เจแลปและโครงการดีซีโร ซึ่งบันทึกเป็นประวัติจริงในการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ในกลุ่มงานดังกล่าว เนื่องจากวิธีการแทนที่ข้อมูลที่นำเสนอในปัจจุบันมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพซึ่งนำเสนอในงานวิจัยนี้จึงเป็นการจัดกลุ่มและเลือกวิธีการแทนที่ข้อมูลเพื่อให้การทดลองสามารถสะท้อนถึงพฤติกรรมของวิธีการแทนที่ข้อมูลได้อย่างครอบคลุม จากผลการประเมินพบว่าวิธีการแทนที่ข้อมูล LRU สามารถใช้งานในแคชซึ่งมีกลไกการแบ่งบล็อกภายใต้สภาพแวดล้อมของระบบดาตากริดในกลุ่มงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูงได้เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองจากข้อมูลภาระงานทั้งสองซึ่งผลของตัวชี้วัดประสิทธิภาพใน LRU ให้ค่าที่ดีที่สุดทั้งสามตัวชี้วัด นอกจากนี้ ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลถือปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการแทนที่ข้อมูล โดยวิธีการแทนที่ข้อมูลที่สามารถใช้ประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลทั้งในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ได้ดี จะมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูลสูงกว่าวิธีการอื่นๆ และจากการประเมินวิธีการแทนที่ข้อมูลในการใช้ประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลในข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรพบว่า LRU ได้แสดงพฤติกรรมการใช้ประโยชน์ทั้งท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ได้ในตัวเอง ทั้งนี้ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลทั้งสองรูปแบบจะมีพฤติกรรมเสริมซึ่งกันและกัน วิธีการแทนที่ข้อมูลที่อาศัยประโยชน์จากท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเพียงรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจะสามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่งเท่านั้น

5.2 ปัญหาและข้อจำกัดที่พบจากการวิจัย

5.2.1 ปัญหาแรกที่พบในการทำงานวิจัยนี้ได้แก่ ข้อมูลภาระงาน ทั้งนี้ข้อมูลภาระงานจัสมิน เจแลปที่ใช้ในการทดลองแรกมีจำนวนเหตุการณ์การร้องขอข้อมูลน้อยเกินไปทำให้ผลที่ได้อาจไม่มีความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการติดต่อไปยังอาจารย์ตามมหาวิทยาลัยต่างๆ ในต่างประเทศที่คาดว่าจะมีข้อมูลภาระงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฟิสิกส์พลังงานสูง ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหาข้อมูลภาระงาน

เป็นเวลานาน และในที่สุดก็ได้รับอนุญาต จาก Dr. Gabriele Garzoglio จากห้องปฏิบัติการเฟอร์มิ ในการใช้งานข้อมูลภาระงานโครงการดีซีโรเพื่อทำวิจัย

5.2.2 ปัญหาการสำคัญในงานวิจัยนี้ได้แก่เวลาที่ใช้ในการจำลอง ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลภาระงานของโครงการดีซีโรที่ใช้ในการทดลองมีขนาดใหญ่มากทำให้โปรแกรมการจำลองซึ่งพัฒนาโดย NS2 ไม่สามารถรองรับได้ และเป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการพัฒนาโปรแกรมการจำลองเพิ่มเติมอีกหนึ่งระบบเพื่อใช้ในการทดลองซึ่งทำงานได้รวดเร็วกว่า อย่างไรตามแม้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแสดงรายละเอียดเชิงลึกในระดับกลุ่มข้อมูลได้อย่าง NS2 แต่ความสามารถของโปรแกรมที่มีอยู่ก็เพียงพอต่อการวัดค่าการทดลองต่างๆ ที่ต้องการในงานวิจัยนี้

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อยอดโดยการเพิ่มความสามารถของแคชด้วยการออกแบบระบบพรีเฟชชิง (Prefetching) โดยทำการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลที่มีแนวโน้มถูกร้องขอในอนาคตมาเก็บไว้ในแคช กระบวนการดังกล่าวจะช่วยให้ค่าลาเทนซีลดลงและช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ท้องถิ่นการอ้างอิงข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการดังกล่าวได้เช่นกัน นอกจากนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการบนพื้นฐานของระบบดาตากริดซึ่งมีรูปแบบการบริหารจัดการแบบลำดับชั้นเพียงรูปแบบเดียว การประเมินประสิทธิภาพเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานแคชแบบแบ่งบล็อกภายใต้ระบบดาตากริดที่มีการบริหารจัดการข้อมูลรูปแบบอื่นๆ จึงเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจด้วยเช่นกัน

รายการอ้างอิง

[1] Hamada, M., Inagaki, Y., and Chuman, H. Drug discovery using grid technology. Proceedings of High Performance Computing and Grid in Asia Pacific Region, 2004. Proceedings. Seventh International Conference on, pp. 352-356. 20-22 July 2004, 2004.

[2] Bunn, J. J. and Newman, H. B. Data-Intensive Grids for High-Energy Physics. John Wiley & Sons, Ltd, 2003.

[3] Yamamoto, N., Tatebe, O., and Sekiguchi, S. Parallel and Distributed Astronomical Data Analysis on Grid Datafarm. Proceedings of Grid Computing, 2004. Proceedings. Fifth IEEE/ACM International Workshop on, pp. 461-466. 8-8 Nov. 2004, 2004.

[4] Gorton, I., Greenfield, P., Szalay, A., and Williams, R. Data-Intensive Computing in the 21st Century. Computer 41 (2008): 30-32.

[5] Pinfold, J. L. The challenge of LHC experiments. Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2004. IMTC 04. Proceedings of the 21st IEEE, pp. 646-651 Vol.1. 18-20 May 2004, 2004.

[6] Lebrun, P. The Large Hadron Collider, A Megascience Project. Proceedings of the 38th Eloisatron Project Workshop: Superconducting Materials for High Energy Colliders, p. 9. 1999.

[7] LSST. Large Synoptic Survey Telescope [Online]. 2003. Available from: http://www.lsst.org/lsst/about/ [2011, July 20].

[8] Foster, I., Kesselman, C., and Tuecke, S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. Int. J. High Perform. Comput. Appl. 15 (2001): 200-222.

[9] Chervenak, A., Foster, I., Kesselman, C., Salisbury, C., and Tuecke, S. The data grid: Towards an architecture for the distributed management and analysis of large scientific datasets. Journal of Network and Computer Applications 23 (2000): 187-200.

[10] Open Science Grid. The Particle Physics Data Grid Collaboratory Pilot [Online]. 2005. Available from: http://ppdg.net/ [2011, July 20].

[11] Naotaka, Y. GEO Grid: Grid Infrastructure for Integration of Huge Satellite Imagery and Geoscience Data Setsets. Proceedings of Computer and Information Technology, International Conference on, pp. 75-75. 2006.

[12] ESG. The Earth System Grid [Online]. 2011. Available from: http://www.earthsystemgrid.org [2011, July 20].

[13] Hiruntaraporn, T. and Nupairoj, N. Block-based grid caching for grid datafarm. Proceedings of Advanced Communication Technology, 2006. ICACT 2006. The 8th International Conference, pp. 4 pp.-2207. 20-22 Feb. 2006, 2006.

[14] เจษฎา เพ็งสุวรรณ และณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์. การประเมินประสิทธิภาพวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชบนระบบดาตากริด. Proceedings of The 12th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC 2008), pp. 315 - 322. กรุงเทพฯ, 2008.

[15] Phengsuwan., J. and Nupairoj, N. Performance Evaluation of Cache Replacement Policies for High-Energy Physic Data Grid. Proceedings of 14th International ANnual Symposium on Computational Science and Engineering pp. 464 - 470. Chiang Rai, Thailand, 2010.

[16] B Abbott, A. B., M Diesburg, G Garzoglio, T Kurca and P Mhashilkar. DZero data-intensive computing on the Open Science Grid. Journal of Physics:

Conference Series (JPCS) (2008): 119.

[17] CERN. The LHC experiments [Online]. 2008. Available from: http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCExperiments-en.html [2011, August 4].

[18] Andreeva, J., Campana, S., Fanzago, F., and Herrala, J. High-Energy Physics on the Grid: the ATLAS and CMS Experience. Journal of Grid Computing 6 (2008): 3-13.

[19] Venugopal, S., Buyya, R., and Ramamohanarao, K. A taxonomy of Data Grids for distributed data sharing, management, and processing. ACM Comput. Surv. 38 (2006): 3.

[20] CERN. Models of Networked Analysis at Regional Centres for LHC Experiments (MONARC) PHASE 2 REPORT [Online]. 2000. Available from: http://monarc.web.cern.ch/MONARC/docs/phase2report/Phase2Report.pdf [2011, August 5].

[21] Baranovski, A., Garzoglio, G., Koutaniemi, H., Lueking, L., Patil, S., Pordes, R., Rana, A., Terekhov, I., Veseli, S., Yu, J., Walker, R., and White, V. The SAM-GRID project: architecture and plan. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 502 (2003): 423-425.

[22] Caltech. World Network Speed Record Shattered for Third Consecutive Year [Online]. 2005. Available from: http://media.caltech.edu/press_releases/12780 [2011, August 5].

[23] Cao, P. and Irani, S. Cost-aware WWW proxy caching algorithms. Proceedings of Proceedings of the USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems on USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, pp. 18-18. Monterey, California, 1997. 1267297: USENIX Association.

[24] Otoo, E., Olken, F., and Shoshani, A. Disk cache replacement algorithm for storage resource managers in data grids. Proceedings of Proceedings of the 2002 ACM/IEEE conference on Supercomputing, pp. 1-15. Baltimore, Maryland, 2002. 762824: IEEE Computer Society Press.

[25] Kin-Yeung, W. Web cache replacement policies: a pragmatic approach. Network, IEEE 20 (2006): 28-34.

[26] Podlipnig, S. and Brmenyi, L. A survey of Web cache replacement strategies. ACM Comput. Surv. 35 (2003): 374-398.

[27] Denning, P. J. The locality principle. Commun. ACM 48 (2005): 19-24.

[28] Put, W. v. d., Time-predictability of a computer system. Master, Electrical Engineering - Electronic Systems, TU Eindhoven, 2010.

[29] Karypis, M. D. a. G. Selective Markov Models for Predicting Web-Page Accesses. ACM Transactions on Internet Technology 4 (2004): 163-184.

[30] Otoo, E., Rotem, D., and Shoshani, A. Impact of Admission and Cache Replacement Policies on Response Times of Jobs on Data Grids. Proceedings of Proceedings of the 1st International Workshop on Challenges of Large Applications in Distributed Environments, p. 113. 2003. 793187: IEEE Computer Society.

[31] Park, H. and Lee, C. Sized-Based Replacement-k Replacement Policy in Data Grid Environments

Parallel and Distributed Processing and Applications. vol. 4330: Springer Berlin / Heidelberg, 2006.

[32] Chimphlee, S., Salim, N., Bin Ngadiman, M. S., and Chimphlee, W. Using Association Rules and Markov Model for Predit Next Access on Web

Usage Mining Advances in Systems, Computing Sciences and Software Engineering. Advances in Systems, Computing Sciences and Software Engineering (2006): 371-376.

[33] Deshpande, M. and Karypis, G. Selective Markov models for predicting Web page accesses. ACM Trans. Internet Technol. 4 (2004): 163-184.

[34] Iamnitchi, A., Doraimani, S., and Garzoglio, G. Workload characterization in a high-energy data grid and impact on resource management. Cluster Computing 12 (2009): 153-173.

[35] Bird, I., Hess, B., and Kowalski, A. Building the Mass Storage System at Jefferson Lab Ian Bird, Bryan Hess, Andy Kowalski. Proceedings of the Eighteenth IEEE Symposium on Mass Storage Systems and Technologies, p. 157. 2001. 824961: IEEE Computer Society.

[36] Garzoglio, G., A Globally Distributed System for Job, Data and Information Handling for High-Energy Physics. Doctor dissertation, School of Computer Science, Telecommunications and Information Systems, DePaul University, 2005.

[37] Kurca, T. Grid computing at the D0 experiment. Proceedings of Nuclear Science Symposium Conference Record, 2007. NSS '07. IEEE, pp. 1094-1099. Oct. 26 2007-Nov. 3 2007, 2007.

[38] NS-2. The Network Simulator - ns [Online]. 2011. Available from: http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/Main_Page [2011, August 5].

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตัวอย่างข้อมูลในตาราง Transition Probability Matrix

ตัวอย่าง TPM ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า k = 3 โดยค่าในตารางที่มีการขีดเส้นใต้ หมายถึงสถานะที่จะถูกเลือกใช้เพื่อเป็นผลการทำนาย

1) ตัวอย่างข้อมูลใน TPM ค่า k = 1

1.1) ตัวอย่าง state ที่การทำนายมีความถูกต้องต่ำ (Maximum probability มีค่าต่ำ)

State	*Next file*	*Frequency*	*Probability*
2225535	2225546	2	0.285714285714286
2225535	2259976	1	0.1428571428571429
2225535	2263995	2	0.285714285714286
2225535	2225558	1	0.1428571428571429
2225535	2225595	1	0.1428571428571429

1.2) ตัวอย่าง state ที่การทำนายมีความถูกต้องสูง (Maximum probability มีค่าสูง)

State	*Next file*	*Frequency*	*Probability*
1153256	1153257	996	1
1153257	1154967	996	1
1154967	1155141	996	1
3417990	3417991	635	1
3489000	3489016	519	1
3226427	3226432	437	1
3226423	3226427	437	1
3226403	3226404	437	1
3226408	3226411	437	1
3226404	3226408	437	1

2) ตัวอย่างข้อมูลใน TPM ค่า k = 2

2.1) ตัวอย่าง state ที่การทำนายมีความถูกต้องต่ำ (Maximum probability มีค่าต่ำ)

State	*Next file*	*Frequency*	*Probability*
2508567-2508579	2508804	1	0.0625
2508567-2508579	2510622	1	0.0625
2508567-2508579	2560222	4	0.25
2508567-2508579	2517747	2	0.125
2508567-2508579	2533145	1	0.0625
2508567-2508579	2536244	1	0.0625
2508567-2508579	2528549	1	0.0625
2508567-2508579	2512803	1	0.0625
2508567-2508579	2511724	1	0.0625
2508567-2508579	2508904	2	0.0625
2508567-2508579	2508690	1	0.0625

2.2) ตัวอย่าง state ที่การทำนายมีความถูกต้องสูง (Maximum probability มีค่าสูง)

State	*Next file*	*Frequency*	*Probability*
1153256-1153257	1154967	996	1
1153257-1154967	1155141	996	1
3417966-3417975	3417979	633	1
3417991-3417998	3418003	632	1
3417975-3417979	3417990	630	1
3417979-3417990	3417991	630	1
3429487-3429502	3431042	601	1
3429173-3429487	3429502	601	1
3417947-3417953	3417961	599	1
3443924-3445533	3445553	579	1

3) ตัวอย่างข้อมูลใน TPM ค่า k = 3

3.1) ตัวอย่าง state ที่การทำนายมีความถูกต้องต่ำ (Maximum probability มีค่าต่ำ)

State	*Next file*	*Frequency*	*Probability*
2667843-2667873-2667885	2674945	1	0.0238095238095238
2667843-2667873-2667885	2677400	12	0.285714285714286
2667843-2667873-2667885	2676137	4	0.0952380952380952
2667843-2667873-2667885	2668223	10	0.2380952380952381
2667843-2667873-2667885	2667963	4	0.0952380952380952
2667843-2667873-2667885	2667896	10	0.2380952380952381
2667843-2667873-2667885	2668005	1	0.0238095238095238

3.2) ตัวอย่าง state ที่การทำนายมีความถูกต้องสูง (Maximum probability มีค่าสูง)

State	*Next file*	*Frequency*	*Probability*
1153256-1153257-1154967	1155141	996	1
3417961-3417966-3417975	3417979	633	1
3417990-3417991-3417998	3418003	632	1
3417966-3417975-3417979	3417990	630	1
3417975-3417979-3417990	3417991	630	1
3412075-3412083-3412100	3412110	601	1
3429173-3429487-3429502	3431042	598	1
3418003-3418010-3424647	3424666	575	1
3428642-3429173-3429487	3429502	565	1
3456312-3456408-3456549	3456619	565	1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเจษฎา เพ็งสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ณ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การประมวลผลแบบกระจาย ดาตากริด และเทคโนโลยีเว็บเซอร์วิส