

การวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนแคชและวิธีการประสานงานที่มีต่อประสิทธิภาพของแคชแบบกระจาย



นายรชา โรจน์ตรีคุณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0824-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE ANALYSIS OF EFFECTS OF NUMBER OF CACHES AND CO-OPERATING ALGORITHM
ON THE PERFORMANCE OF THE DISTRIBUTED WEB CACHE



Mr. Racha Rojanatreekoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0824-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนแคชและวิธีการประสานงานที่มีต่อประสิทธิภาพของแคชแบบกระจาย

โดย นาย รชชา โรจนตรีคุณ

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ทวิतीय เสนีวงศ์ ณ อยุธยา)

..... กรรมการ
(อาจารย์ วรุตม์ ทวีทรัพย์)

รชชา โจจนตรีคุณ : การวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนแคชและวิธีการประสานงานที่มีต่อประสิทธิภาพของแคชแบบกระจาย (THE ANALYSIS OF EFFECTS OF NUMBER OF CACHES AND CO-OPERATING ALGORITHM ON THE PERFORMANCE OF THE DISTRIBUTED WEB CACHE) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์, 114 หน้า, ISBN 974-13-0824-8

เว็บแคชถูกนำมาใช้ในอินเทอร์เน็ตเพื่อช่วยลดปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านในเครือข่ายรวมถึงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม แคชเริ่มเกิดเป็นปัญหาคอขวดขึ้นจากการที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ทันในหน่วยงานที่มีผู้ใช้จำนวนมาก ทำให้มีการนำระบบแคชแบบกระจายมาใช้ โดยปกติแล้วระบบแคชแบบกระจายจะเน้นที่การนำแคชขององค์กรต่างๆมารวมกลุ่มติดต่อสื่อสารกันเพื่อเพิ่มโอกาสในการพบเอกสาร แต่ต่อมา ได้มีการนำระบบแคชแบบกระจายมาใช้ภายในองค์กรเดียวเพื่อช่วยแบ่งเบาภาระของแคช ระบบแคชแบบกระจายจึงได้รับความสนใจและมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย แต่ยังคงการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการเพิ่มจำนวนแคชเข้าไปในระบบ รวมถึงการศึกษาวិธีการจัดการเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชเป็นอย่างมาก

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพและการเปรียบเทียบการใช้ระบบแคชแบบกระจายที่มีจำนวนแคชในระบบและรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่แตกต่างกันออกไป การทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการจำลองการทำงานของพร็อกซีแคชกับข้อมูลการใช้เว็บจริงซึ่งได้จากแคชของสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้วิธีการแทนที่แบบแอลอาร์ยู ผลการจำลองการทำงานของพร็อกซีแคชพบว่า การเพิ่มจำนวนแคชในระบบมีผลทำให้การร้องขอเอกสารจากผู้ถูกกระจายไปยังแต่ละแคชมากขึ้น จึงทำให้ความนิยมของเอกสารที่แคชแต่ละตัวมองเห็นนั้นมีน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแคชลดลง และเมื่อปรับปรุงวิธีแอลอาร์ยูให้มีการปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆการร้องขอ จะช่วยให้แคชสามารถมองเห็นความนิยมของเอกสารแต่ละตัวได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้วิธีการจัดเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงก็มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชโดยรวมด้วย ถ้าหากมีการเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงซึ่งทำให้เกิดการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนระหว่างแคช จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ของแคชลดลงแต่จะช่วยลดจำนวนข้อความที่เกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช ในทางตรงกันข้าม หากไม่มีการเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียง จะทำให้แคชได้ประสิทธิภาพสูงสุดแต่จะมีข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนแคชในระบบและวิธีการจัดเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงมีผลต่อประสิทธิภาพของแคชที่ได้

ภาควิชา..... วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา..... วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา..... 2543..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4270503121 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD : DISTRIBUTED CACHE / PROXY / WWW

RACHA ROJANATREEKON : THE ANALYSIS OF EFFECTS OF NUMBER OF CACHES AND CO-OPERATING ALGORITHM ON THE PERFORMANCE OF THE DISTRIBUTED WEB CACHE, THESIS ADVISOR : DR. NATAWUT NUPAIROJ, 114 pp. ISBN 974-13-0824-8

Web cache has been introduced to the Internet to help decrease both bandwidth usage and users' response time. However, the increasing number of concurrent users of the Internet still causes some problems to web cache. In an organization with a large number of users, a single web cache becomes a bottleneck because it cannot handle all users' requests. Thus, distributed cache has been proposed. Typically, the distributed cache has been used to share the contents among nearby caches to increase the possibility of finding requested documents and decrease document retrieval time. In recent years, distributed cache has been used to reduce the workloads of web caches and improve the overall performance. Thus, there were many studies regarding to distributed cache. Nonetheless, other important aspects such as the effect of the number of caches in distributed cache and document management schemes for distributed cache have not been researched in previous studies.

In this thesis, we have studied the effect of the number of caches and cache communication method on the performance of distributed cache. In our experiments, proxy caching simulation is used as a tool to evaluate the performance of distributed cache. Using data from the office of Information Technology of Chulalongkorn University, our results indicate that the increase of the number of caches leads to the reduction of document popularity in each cache which leads to the performance degradation. However, using LRU replacement policy, which its queue is updated on every request, helps improving performance as it makes document popularity in each cache to become more realistic. In addition, document management method schemes also affect the performance of distributed cache especially the overall hit ratio and the communication overheads.

Department.....Computer Engineering Student's signature.....

Field of study.....Computer Engineering Advisor's signature.....

Academic year.....2000..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อ.ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำต่างๆ รวมถึงข้อคิดเห็นในงานวิจัยมาด้วยดีตลอด รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่ได้ช่วยออกความคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างงานวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา รวมถึงทุกคนในครอบครัว ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ	4
1.6 ผลงานตีพิมพ์	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
3 การทดสอบประสิทธิภาพของแคชแบบกระจาย	12
3.1 รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช	12
3.2 รูปแบบการทดลอง	14
3.3 สภาพแวดล้อมของเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์	18
3.4 ข้อมูลการให้เว็บ	18
4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแคชแบบกระจาย	21
4.1 ผลการทดลอง	21
4.2 การวิเคราะห์	28
5 การทดสอบการปรับวิธีการแทนที่เอกสาร	31
5.1 อายุของเอกสาร	31
5.2 รูปแบบการทดลองเพิ่มเติม	33

สารบัญ (ต่อ)

5.3 ผลการทดลอง	35
5.4 การวิเคราะห์	44
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	47
รายการอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก รูปแบบของข้อมูลการใช้เว็บที่แคชได้บันทึกไว้	54
ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของแคช	55
ภาคผนวก ค ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานของแคช	56
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์.....	106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	114

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่เลือกใช้	11
ตารางที่ 3.2 ลักษณะของข้อมูลการใช้เว็บที่ใช้ในวิทยานิพนธ์	20
ตารางที่ 6.1 สรุปข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบ	49



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญักรูปภาพ

รูปที่ 2.1	รูปแบบของเว็บแคม	5
รูปที่ 2.2	รูปแบบของไอซีพีที่ตามลำดับการทำงาน	6
รูปที่ 2.3	รูปแบบส่วนหัวของไอซีพี (ICP Header).....	7
รูปที่ 2.4	ผลการทดลองสควิดที่ได้จากเบคออฟ	8
รูปที่ 3.1	ภาพแสดงรูปแบบทั้ง 3 ที่ทำการทดลองในวิทยานิพนธ์.....	12
รูปที่ 3.2	ผังงานแสดงรูปแบบการทำงานของโปรแกรม	14
รูปที่ 3.3	โครงสร้างโดยรวมของแคชในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	18
รูปที่ 4.1	ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1.....	20
รูปที่ 4.2	ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2.....	21
รูปที่ 4.3	ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 3.....	22
รูปที่ 4.4	ค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1.....	22
รูปที่ 4.5	ค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2.....	23
รูปที่ 4.6	ค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 3.....	24
รูปที่ 4.7	จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1	25
รูปที่ 4.8	จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารต่อวันของรูปแบบที่ 2	26
รูปที่ 4.9	จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 3	27
รูปที่ 5.1	อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชของรูปแบบที่ 1 ของการทดลองในบทที่ 4	31
รูปที่ 5.2	อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชของรูปแบบที่ 2 ของการทดลองในบทที่ 4	31
รูปที่ 5.3	ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1.....	34
รูปที่ 5.4	การเปรียบเทียบค่าฮิตเรโซของรูปแบบที่ 1	34
รูปที่ 5.5	ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2.....	35
รูปที่ 5.6	การเปรียบเทียบค่าฮิตเรโซของรูปแบบที่ 2.....	36
รูปที่ 5.7	ค่าไบตฮิตเรโซของรูปแบบที่ 1.....	36
รูปที่ 5.8	การเปรียบเทียบค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1.....	37
รูปที่ 5.9	ค่าไบตฮิตเรโซของรูปแบบที่ 2.....	38
รูปที่ 5.10	การเปรียบเทียบค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2.....	38
รูปที่ 5.11	จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1	40

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1	41
รูปที่ 5.13 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2	40
รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบจำนวนการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2	41
รูปที่ 5.15 อายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 1	42
รูปที่ 5.16 อายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 2	43



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ความนิยมในการใช้อินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านในเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นเกินกว่าที่จะสามารถรองรับได้ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมามากมาย ไม่ว่าจะเป็นเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น หรือ เซิร์ฟเวอร์ไม่สามารถรองรับการร้องขอจากผู้ใช้ที่มีจำนวนมากได้ จึงได้มีความคิดที่จะนำเอาแคชมาใช้ในอินเทอร์เน็ตเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว โดยได้แนวคิดมาจากแคชในระบบแฟ้มข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่ถูกเรียกใช้บ่อยไว้ในแคช ทำให้ไม่ต้องดึงข้อมูลจากดิสก์โดยตรงเพื่อช่วยให้เครื่องทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกัน การใช้แคชเข้ามาช่วยเก็บเอกสารที่ถูกเรียกจากผู้ใช้บ่อยในระยะทางที่อยู่ใกล้ผู้ใช่มากขึ้น เช่น ภายในองค์กร ซึ่งมีช่องทางการติดต่อสื่อสารที่รวดเร็วกว่า ทำให้สามารถดึงเอกสารที่ผู้ใช้งานต้องการได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดเวลาในการรับส่งข้อมูล รวมทั้งปริมาณการติดต่อสื่อสารที่ออกสู่อินเทอร์เน็ตก็ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม ความนิยมในการใช้อินเทอร์เน็ตยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การใช้แคชเริ่มมีปัญหาก่อเกิดขึ้น กล่าวคือ แคชไม่สามารถรองรับการร้องขอจากผู้ใช้ได้ เนื่องจากมีการร้องขอในช่วงเวลาเดียวกันมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในองค์กรหลายแห่งมีแคชตั้งอยู่ที่จุดเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ต ทำให้การร้องขอถูกส่งเข้ามาในบริเวณดังกล่าวเป็นจำนวนมาก โดยจากเบคออฟ (Bake-Off) [1] ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของแคชรุ่นต่างๆ พบว่าสควิด (Squid) ซึ่งเป็นแคชที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีการร้องขอในช่วงเวลาเดียวกันเกิน 80 ครั้งต่อวินาที กล่าวคือ ณ จุดนี้ค่าฮิตเรโซ (Hit Ratio) จะเริ่มตกลงเรื่อยๆ รวมทั้งเวลาที่แคชใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้เพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ โดยสควิดสามารถรองรับการร้องขอได้สูงสุดประมาณ 100 ครั้งต่อวินาที นอกจากนี้ยังมีปัญหาในส่วนอื่นๆ ที่เป็นคอขวดอยู่ ไม่ว่าจะเป็นไอโอบัส ความเร็วของดิสก์ [2] ฯลฯ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้แคชได้เต็มประสิทธิภาพ วิธีที่สามารถช่วยลดปัญหาได้วิธีหนึ่ง คือ การเพิ่มแคชในระบบให้มีจำนวนมากขึ้น โดยแคชแต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งวิธีการติดต่อสื่อสารมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น ไอซีพี (ICP) [3] คาร์พ (CARP) [4] คริสป์ (CRISP) [5] แคชเมช (Cachemesh) [6] ฯลฯ การใช้ระบบแคชแบบกระจายในปัจจุบันนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างของระบบที่ใช้แคชแบบกระจาย เช่น เอ็นแลนอาร์ (NLNR) ของสหรัฐอเมริกา [7] เจเน็ต (JANET) ของสหราชอาณาจักร [8] ฯลฯ ซึ่งมักจะเป็นแคชที่ใช้ในหน่วยงานขนาดใหญ่หรือระดับประเทศ จะต้องรองรับการร้องขอในช่วงเวลาเดียวกันเป็นจำนวนมาก (ในส่วนของระบบแคชของเอ็นแอลเอ เอ็นอาร์นั้นจะมีการติดต่อสื่อสารกันเพียงบางส่วนเนื่องจากมีการกระจายการร้องขอตามโดเมนของเอกสาร

แต่ระบบดังกล่าวทำให้แคชแต่ละตัวรองรับการร้องขอไม่สมดุลกัน รวมทั้งเอกสารในแคชที่รองรับโดเมนที่ไม่ได้รับความนิยมจะถูกเก็บเป็นเวลานานมากกว่าเอกสารในแคชที่รองรับโดเมนที่ได้รับความนิยม ทำให้ใช้พื้นที่ของดิสก์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ)

การเพิ่มแคชเข้าไปในระบบนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสียด้วยเช่นกัน ข้อดีที่เห็นได้ชัดคือการลดภาระของแคชแต่ละตัวเนื่องจากการกระจายการร้องขอไปยังแต่ละแคช แต่แล้วก็ยังมีข้อเสียรวมทั้งผลกระทบอื่น ๆ ที่ตามมาจากการใช้แคชหลายตัวด้วย กล่าวคือ

- การเพิ่มขึ้นของข้อความการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช

เมื่อจำนวนแคชในระบบเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ อาจจะทำให้มีข้อความซึ่งเกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชมากเกินไป

- การซ้ำซ้อนกันของการเก็บเอกสารระหว่างแคช

การเก็บเอกสารที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชทำให้แคชเก็บเอกสารได้น้อยลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชโดยรวม

- ผลกระทบจากการกระจายการร้องขอ

เมื่อจำนวนแคชในระบบมีมากขึ้น การร้องขอเอกสารจากผู้ใช้งานจะถูกกระจายไปยังแคชหลายตัวมากขึ้นเพื่อกระจายภาระงาน ทำให้โอกาสของการเรียกซ้ำกันของเอกสารหนึ่งในแคชเดียวกันก็จะมีน้อยลงด้วยเช่นกัน หากเลือกใช้วิธีการแทนที่เอกสารที่ไม่เหมาะสมกับระบบแคชแบบกระจายจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคชลดลงได้

ฉะนั้นจึงควรมีการวิจัยเพื่อหาวิธีที่เหมาะสม รวมทั้งผลกระทบในด้านต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบแคชแบบกระจาย ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้จะมีหลายงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบแคชแบบกระจายแต่ส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การหาวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชรูปแบบใหม่ หรือถ้าหากเป็นการวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจะมีการบังคับจำนวนแคชในระบบให้มีค่าคงที่ โดยที่ยังไม่มีการวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์เพื่อหาข้อดีข้อเสียของการปรับเปลี่ยนจำนวนแคชในระบบ ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากวิธีการจัดการเอกสารที่ได้มาจากแคชข้างเคียงที่แคชเลือกใช้ รวมทั้งยังไม่มีการวิจัยที่ทำการศึกษาถึงวิธีการแทนที่เอกสารกับระบบแคชแบบกระจายว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ มากน้อยเพียงใด

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้แคชหลายตัว โดยในการทดสอบจะทำการจำลองการทำงานของแคชกับข้อมูลการใช้เว็บ ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากแคชของสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นแคชที่มีปริมาณการติดต่อสื่อสารหนาแน่น เทียบได้กับแคชในระดับองค์กรขนาดใหญ่ โดยผลของการทดสอบจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีจำนวนแคชในระบบและรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่แตกต่างกันออกไป ผลของวิธีการแทนที่เอกสารที่ใช้กับระบบแคชแบบกระจาย รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแคชแบบกระจายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเพิ่มแคชเข้าไปในระบบซึ่งมีขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชที่แตกต่างกันไป
2. ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่ต่างกัน
3. ทำการหาจำนวนแคชในระบบและรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่เหมาะสมกับสภาพการใช้เว็บของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ข้อมูลการใช้เว็บที่นำมาทดสอบ คือ ข้อมูลการใช้เว็บจากแคชของสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ข้อมูลอย่างน้อย 7 วัน
2. จำลองแคชตั้งแต่ 1-7 ตัว โดยให้ขนาดของเนื้อที่เก็บข้อมูลในแคชทุกตัวรวมกันต้องมีขนาดเท่ากัน
3. รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแคชเป็นความสัมพันธ์แบบพี่น้อง (Sibling)
4. จำลองเนื้อที่เก็บข้อมูลในแคชตั้งแต่ 1%, 2%, 5%, 10%, 20% และ 30% ของขนาดเนื้อที่ที่น้อยที่สุดที่สามารถเก็บเอกสารได้ทั้งหมดโดยไม่มีการแทนที่ที่เกิดขึ้น
5. วิธีการกระจายการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้ไปยังแคชที่ใช้ คือ แบบสลับตัวกันไป (Round Robin)
6. วิธีการแทนที่ข้อมูลที่ใช้ คือ แอลอาร์ยู (Least Recently Used (LRU))
7. รูปแบบของการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่ทดสอบมีทั้งหมด 3 แบบ คือ
 - 7.1 แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารในแคชอื่น
 - 7.2 แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารในแคชอื่น
 - 7.3 แคชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน
8. ปรับปรุงวิธีการแทนที่เอกสารในแคช โดยใช้วิธีแอลอาร์ยูเช่นเดิม แต่ให้ถือว่าการร้องขอที่ถูกส่งมาจากแคชอื่นเป็นเสมือนการร้องขอจากผู้ใช้ด้วย
9. ปรับปรุงวิธีการกระจายการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้ไปยังแคชให้เป็นแบบแบ่งตามโดเมนของเอกสารที่ผู้ใช้ทำการร้องขอมา

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานของเว็บแคช รูปแบบของการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช รวมทั้งศึกษาวิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเว็บแคช
2. เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้เว็บ
3. หาลักษณะการใช้เว็บจากข้อมูลการใช้เว็บ

4. พัฒนาเครื่องมือที่ใช้จำลองการทำงานของพรีอ็อกซีแคช
5. ทดลองเครื่องมือจำลองการทำงานของพรีอ็อกซีแคชกับข้อมูลการใช้เว็บ
6. ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพรีอ็อกซีแคช
7. วิเคราะห์ และสรุปผล
8. จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

นำเสนอถึงความเหมาะสมของจำนวนแคชในระบบ ประโยชน์ ตลอดจนข้อดีข้อเสียของการเพิ่มจำนวนแคชเข้าไปในระบบกับสภาพการใช้เว็บของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งวิธีการปรับปรุงระบบที่มีแคชหลายตัวให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้จริงเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเว็บแคชได้

1.6 ผลงานตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมวิชาการวิทยาการและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 4 (The 4th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC 2000)) เมื่อวันที่ 16-17 พฤศจิกายน พ.ศ.2543 ในบทความเรื่อง Performance Analysis of the Co-Operative Cache ผู้แต่งคือ รัชชา ไรจนตรีคุณ และ อ.ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

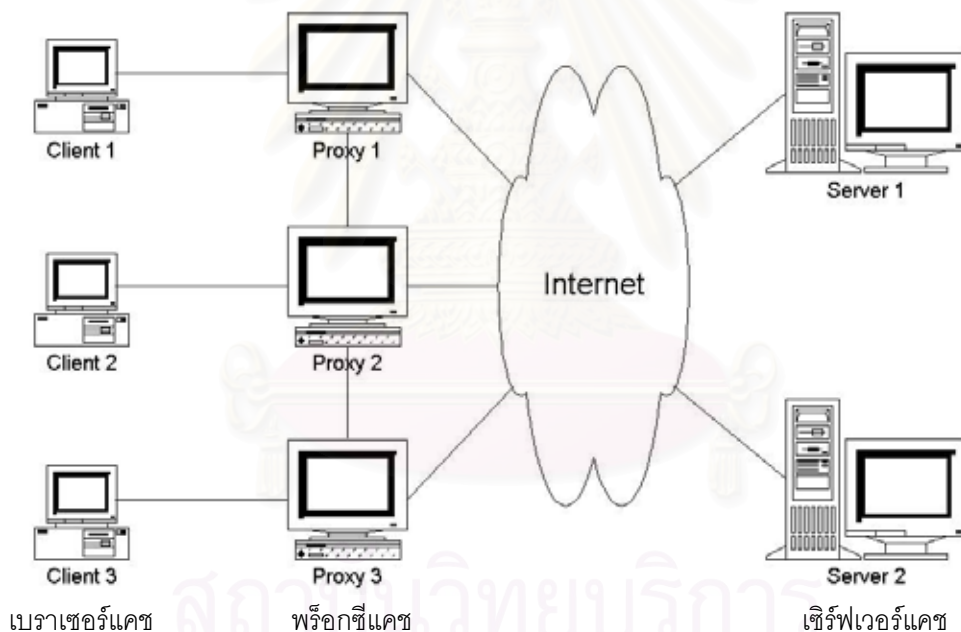
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เว็บแคช

เว็บแคช คือ ฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ที่ถูกนำมาใช้ในระบบเครือข่ายเพื่อทำหน้าที่ในการเก็บเอกสารในอินเทอร์เน็ตที่ถูกเรียกจากผู้ใช้บ่อย โดยเว็บแคชสามารถแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ ดังนี้

1. เบราเซอร์แคช (Browser Cache)
2. พร็อกซีแคช (Proxy Cache)
3. เซิร์ฟเวอร์แคช (Server Cache)



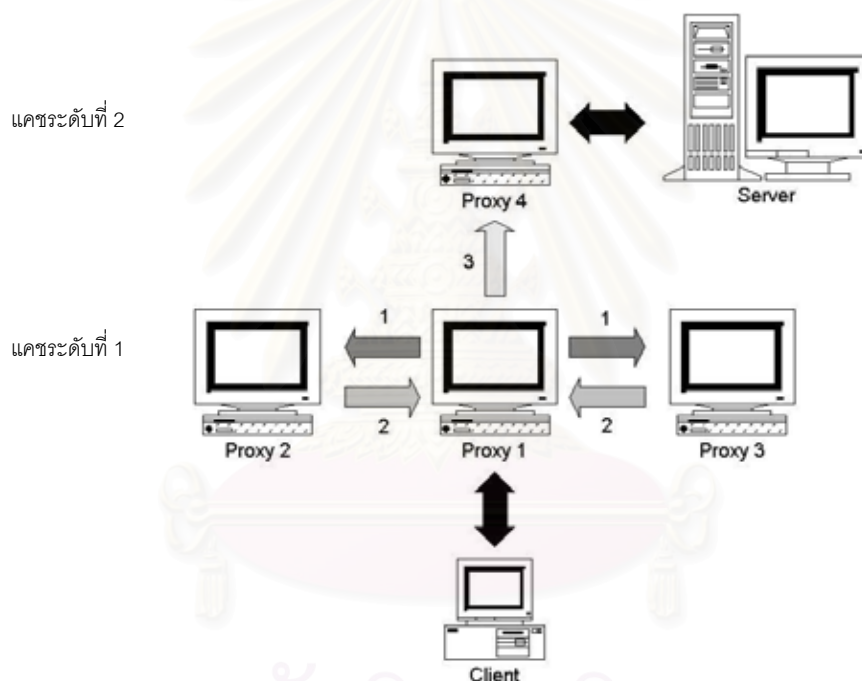
รูปที่ 2.1 รูปแบบของเว็บแคช

แคชในแต่ละรูปแบบมีหลักการการทำงานโดยรวมเหมือนกัน คือ ทำหน้าที่เก็บเอกสารในอินเทอร์เน็ตที่ถูกเรียกจากผู้ใช้บ่อย เป็นที่นิยม หรือน่าจะถูกเรียกใช้ในอนาคตไว้ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการรับส่งข้อมูล รวมทั้งช่วยลดปริมาณการติดต่อสื่อสารในระบบเครือข่ายอีกด้วย โดยถ้าเป็นเบราเซอร์แคชหรือพร็อกซีแคชจะช่วยในการลดปริมาณการติดต่อสื่อสารที่ออกสู่อินเทอร์เน็ต ในขณะที่เซิร์ฟเวอร์แคชจะช่วยในการลดปริมาณการติดต่อสื่อสารที่เข้ามายังเซิร์ฟเวอร์ นอกจากนี้ ในส่วนของพร็อกซีแคชนั้นสามารถทำการติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อีก

ด้วย เพื่อช่วยเพิ่มโอกาสในการพบเอกสารให้มากขึ้น โดยมีรูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบต่างๆมากมาย แต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพื่อช่วยให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.1.2 ไอซีพี (Internet Cache Protocol (ICP))

การใช้แคชมากกว่า 1 ตัวในระบบ หากทำให้แคชแต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ จะช่วยลดปริมาณการติดต่อสื่อสารที่ออกสู่อินเทอร์เน็ตได้เป็นอย่างดี รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการดึงเอกสารมาให้ผู้ใช้จะลดลงอีกด้วย ซึ่งการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชนั้นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ไอซีพีก็เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีมาตรฐานการทำงานบนยูดีพี (UDP) โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทำงานของไอซีพี [3] ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบของไอซีพีตามลำดับการทำงาน

- จากรูปที่ 2.2 แสดงภาพลำดับการทำงานของไอซีพีซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้
1. เมื่อแคชได้รับการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้แล้ว แคชจะทำการตรวจสอบว่ามีเอกสารที่ต้องการเก็บไว้ในแคชหรือไม่ ถ้ามี แคชจะนำเอกสารที่เก็บไว้ส่งให้ผู้ใช้ แต่ถ้าไม่มี ถ้าหากมีแคชข้างเคียงอยู่ในระบบ แคชจะทำการส่งการร้องขอแบบไอซีพีชนิด ICP_QUERY ไปยังแคชข้างเคียงทุกตัวในระบบ ซึ่งในข้อความดังกล่าวจะแนบยูอาร์แอล (URL) ที่ต้องการไปด้วย

2. แคชข้างเคียงที่ได้รับการร้องขอแล้วจะทำการตรวจสอบว่าได้เก็บเอกสารที่ตรงตามยูอาร์แอลไว้ในแคชหรือไม่ ถ้าพบจะทำการส่งข้อความแบบไอซีพีชนิด ICP_HIT กลับมายังแคชที่ส่งการร้องขอแบบ ไอซีพีไป แต่ถ้าหากไม่พบจะทำการส่งข้อความแบบไอซีพีชนิด ICP_MISS แทน
3. หลังจากแคชส่งการร้องขอออกไปแล้ว จะรอคำตอบจากแคชข้างเคียงทั้งหลายภายในเวลาที่กำหนดไว้ (โดยปกติ คือ 2 วินาที) หากพบข้อความชนิด ICP_HIT ตอบกลับมา แคชจะส่งการร้องขอแบบ HTTP เพื่อดึงเอาเอกสารที่ต้องการต่อไป แต่ถ้าหากพบข้อความชนิด ICP_MISS ทั้งหมด หรือหมดเวลาที่กำหนดไว้ แคชจะทำการดึงเอกสารจากแคชที่อยู่ระดับสูงกว่าหรือจากเซิร์ฟเวอร์ต่อไป

จากขั้นตอนการทำงานของไอซีพีข้างต้นจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 1 มีการส่งข้อความการร้องขอเอกสารไปยังแคชข้างเคียง โดยลักษณะของรูปแบบส่วนหัวของไอซีพีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวัดจำนวนข้อความดังกล่าวไว้ด้วย โดยจะถือว่าข้อความที่ถูกส่งมาจากแคชข้างเคียงมีความสำคัญเท่ากับข้อความการร้องขอที่ถูกส่งมาจากผู้ใช้

Opcode	Version	Packet Length
Request Number		
Options		
Padding		
Sender Host Address		

รูปที่ 2.3 รูปแบบส่วนหัวของไอซีพี (ICP Header)

โดย

Opcode - ชนิดของข้อความ เช่น ICP_QUERY, ICP_HIT เป็นต้น

Version - เวอร์ชันของไอซีพี

Packet Length - ความยาวทั้งหมดของข้อความ

Request No. - หมายเลขข้อความ (ข้อความที่ตอบกลับใช้หมายเลขเดียวกับข้อความที่ส่งมา)

Options - ที่เก็บข้อมูลเพื่อสนับสนุนความสามารถต่างๆของไอซีพี

Padding - ไม่ได้ใช้

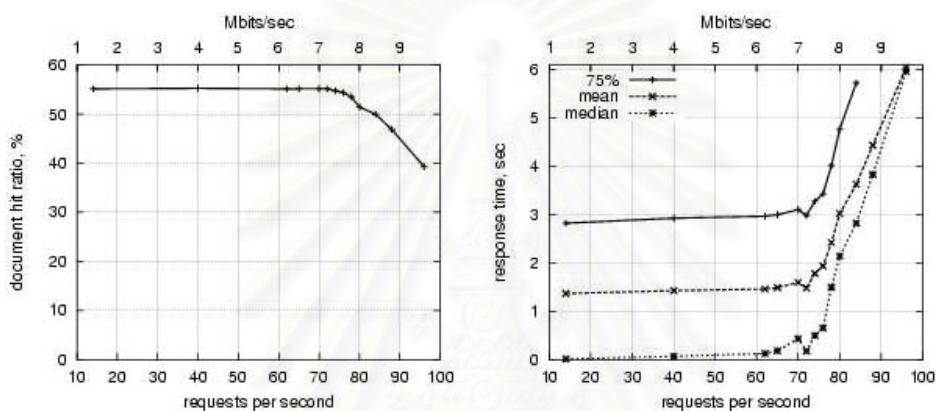
Sender Address - ที่อยู่ไอพี (IPv4) ของผู้ส่งข้อความ

2.1.3 เบคคอฟ (Bake-Off)

เบคคอฟ [1] เป็นการทดสอบรูปแบบหนึ่งซึ่งถูกจัดขึ้นเพื่อทำการทดลองและเปรียบเทียบแคชรุ่นต่างๆ ส่วนที่สำคัญของเบคคอฟ คือ ความสามารถของแคชในการรองรับการร้องขอเอกสารภายในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากแคชแต่ละรุ่นสามารถรองรับการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้ภายในช่วงเวลาเดียวกันได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์

และซอฟต์แวร์ของแคช โดยเมื่อมีการร้องขอจากผู้ใช้งานเข้ามายังแคชในช่วงเวลาเดียวกันมากเกินไปจะมีผลทำให้แคชไม่สามารถรองรับการร้องขอจากผู้ใช้งานได้ทั้งหมด ทำให้เวลาที่แคชใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้งานใช้เวลานานขึ้นกว่าปกติ เนื่องจากต้องรอให้แคชจัดการกับการร้องขอจากผู้ใช้งานอื่นให้เสร็จเรียบร้อยก่อน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของแคชตกลงกว่าที่ควรจะเป็น

โดยอ้างอิงข้อมูลจากผลการทดลองเบคคอปฟ์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ได้เลือกเอาผลการทดลองสควิดมาเป็นพื้นฐาน เนื่องจากสควิดเป็นที่นิยมแพร่หลาย และเป็นมาตรฐาน รวมทั้งมีประสิทธิภาพ / ราคาที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับแคชรุ่นอื่น ผลการทดสอบสควิดที่ได้จากการทดลองเบคคอปฟ์แสดงให้เห็นดังกราฟในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลการทดลองสควิดที่ได้จากเบคคอปฟ์

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อข้อความการร้องขอเอกสารมีจำนวนใกล้ 100 ครั้งต่อวินาทีมากขึ้น ทำให้ค่าอัตราที่วัดได้มีค่าลดลงเรื่อยๆ รวมทั้งเวลาที่แคชใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในรูปแบบของฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการร้องขอเข้ามายังแคชในช่วงเวลาเดียวกันมากเกินไปที่แคชสามารถรองรับได้ มีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคชลดลง

หมายเหตุ ผลการทดลองที่ได้จากเบคคอปฟ์ว่าแคชแต่ละรุ่นสามารถรองรับการร้องขอได้สูงสุดกี่ครั้งต่อวินาที อาจลดลงได้หากมีการนำมาใช้จริงกับสภาพการใช้เว็บในประเทศไทย เนื่องจากสภาพการใช้เว็บในประเทศไทยนั้นแคชมักใช้เวลานานในการดึงเอกสารจากเซิร์ฟเวอร์ส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในต่างประเทศ แต่ในการทดลองเบคคอปฟ์มีการจำลองเวลาที่แคชใช้ในการดึงเอกสารจากเซิร์ฟเวอร์ไว้เพียง 3 วินาทีเท่านั้น

2.1.4 ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแคช

ในการเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละวิธีว่า การใช้แคชแบบใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากันนั้น จะต้องมีการวัดค่าที่ใช้แสดงถึงประสิทธิภาพของแคช โดยค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแคชนั้นมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวัดประสิทธิภาพของแคชด้วยค่าอัตรา โบนัสอัตรา และจำนวนการร้องขอเอกสารต่อวันโดย

$$\begin{aligned} \text{ฮิตเรโซ} &= \frac{\text{จำนวนการร้องขอข้อมูลซึ่งพบในแคช}}{\text{จำนวนการร้องขอข้อมูลทั้งหมด}} \\ \text{ไบต์ฮิตเรโซ} &= \frac{\text{จำนวนไบต์ของการร้องขอข้อมูลซึ่งพบในแคช}}{\text{จำนวนไบต์ของการร้องขอข้อมูลทั้งหมด}} \end{aligned}$$

ค่าฮิตเรโซจะให้ผลในแง่ของเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของแคช หากแคชมีค่าฮิตเรโซสูง หมายความว่าเอกสารที่ผู้ใช้งานต้องการส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในแคช แคชจึงไม่จำเป็นต้องทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โดยตรง ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ไม่ต้องเสียเวลานานในการรอเอกสารที่ต้องการ ในส่วนของค่าไบต์ฮิตเรโซจะให้ผลในแง่ของปริมาณข้อมูลที่รับส่งผ่านทางอินเทอร์เน็ต ถ้าค่าไบต์ฮิตเรโซสูง หมายความว่า ปริมาณข้อมูลจำนวนมากสามารถดึงเอาจากแคชมาให้ผู้ใช้ได้โดยที่แคชไม่จำเป็นต้องทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โดยตรง ทำให้ลดปริมาณข้อมูลที่รับส่งผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้เป็นอย่างดี

ในส่วนของจำนวนการร้องขอเอกสารนั้น หมายถึง จำนวนการร้องขอเอกสารที่ถูกส่งมาจากผู้ใช้ รวมกับ จำนวนการร้องขอเอกสารที่ถูกส่งมาจากแคชข้างเคียง โดยค่าของจำนวนการร้องขอเอกสารต่อวันจะบ่งบอกถึงปริมาณงานโดยรวมที่แคชแต่ละตัวจะต้องให้บริการต่อวัน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Evaluating and Configuring WWW Cache Hierarchies [9]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาว่าการใช้แคชหลายตัวซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดผลกระทบอย่างไรบ้าง ทั้งนี้เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแคชที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้แคชทั้งหมด 4 ตัว มีการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์ทั้งหมด 4 แบบ คือ แบบพี่น้องทั้งหมด แบบพี่น้อง 3 ตัว กับแม่ 1 ตัว แบบพี่น้องกับแม่อย่างละ 2 ตัว และแบบพี่น้องกับแม่อย่างละ 2 ตัว แต่มีการแยกเก็บโดเมนที่แม่โดยแม่ตัวแรกเก็บโดเมน .br เพียงอย่างเดียว ส่วนแม่อีกตัวเก็บโดเมนที่เหลือ โดยได้ทำการวัดประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบจากค่าฮิตเรโซ เวลาเฉลี่ยที่แคชใช้ในการตอบสนองผู้ใช้ เปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาทั้งหมดที่แคชใช้ในการทำงานแต่ละอย่าง (ทำงานกับเซิร์ฟเวอร์ ทำงานกับแม่ ทำงานกับผู้ใช้ และค่าส่วนเกิน (Overhead)) นอกจากนี้ยังมีการวัดค่า ประสิทธิภาพของแคชอีกด้วย โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรอย่างง่าย คือ ค่าประสิทธิภาพของแคชมีค่าเท่ากับเวลาที่แคชแบ่งเวลาให้ในการทำงานร่วมกับผู้ใช้ หารด้วย ช่วงเวลาทั้งหมดที่แคชใช้ในการทำงาน โดยจะนำค่าประสิทธิภาพของแคชที่ได้มาเขียนกราฟพร้อมกับค่าฮิตเรโซ

จากผลการทดลองที่ได้ สรุปได้ว่า รูปแบบความสัมพันธ์แบบพี่น้องทั้งหมด จะให้ค่าฮิตเรโซที่สูงที่สุดในขณะที่ความสัมพันธ์แบบพี่น้องกับแม่อย่างละ 2 ตัวและมีการแยกเก็บโดเมนที่แม่จะให้ค่าประสิทธิภาพของแคชที่สูงที่สุด แต่จะให้ค่าฮิตเรโซที่ต่ำที่สุด ส่วนความสัมพันธ์แบบพี่น้อง 3 ตัว กับแม่ 1 ตัวให้ค่าประสิทธิภาพของแคชต่ำที่สุด

งานวิจัยนี้มีความแตกต่างกับวิทยานิพนธ์ในหลายๆส่วน เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการใช้จำนวนแคชที่คงที่ (4 ตัว) รวมทั้งมีการทดลองรูปแบบความสัมพันธ์ที่หลากหลาย ในขณะที่ในวิทยานิพนธ์จะมีการทดลองจำนวนแคชตั้งแต่ 1-7 ตัว มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบพี่น้องเท่านั้น แต่มีรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่หลากหลาย นอกจากนี้วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยมีความแตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ต้องการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมเมื่อมีแคชหลายตัวในระบบ ส่วนวิทยานิพนธ์ต้องการหาจำนวนแคชในระบบและรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม

2.2.2 Utility of Co-operating Web Proxy Caches [10]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาว่าการที่แคชแต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ก่อให้เกิดผลดีและผลเสียอย่างไรบ้างเมื่อแคชแต่ละตัวมีขนาดและจำนวนของผู้ใช้ที่รับผิดชอบแตกต่างกันไป ซึ่งได้ทำการทดลองโดยใช้แคชทั้งหมด 3 ตัว แคชแต่ละตัวมีขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารไม่เท่ากัน รวมทั้งรับผิดชอบจำนวนของผู้ใช้ไม่เท่ากัน โดยได้ทำการทดสอบทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่แคชมีการติดต่อสื่อสารครบทุกตัวและรูปแบบที่แคชมีการติดต่อสื่อสารกับแคชที่มีขนาดใหญ่กว่าเท่านั้น โดยมีการวัดประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบจากค่าอัตราเร็ว ค่าไบตอัตราเร็ว ค่าอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อความที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช

จากผลการทดลองที่ได้ สรุปได้ว่า เมื่อแคชแต่ละตัวมีขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารรวมทั้งรับผิดชอบจำนวนของผู้ใช้ที่แตกต่างกันมาก ทำให้แคชที่มีขนาดเล็กกว่าต้องรับภาระจากข้อความจำนวนมากที่ถูกส่งมาจากแคชที่มีขนาดใหญ่กว่า ในขณะที่โอกาสพบเอกสารในแคชที่มีขนาดเล็กกว่านั้นมีน้อยมาก ซึ่งถ้าหากมีการเปลี่ยนรูปแบบการติดต่อสื่อสารให้แคชติดต่อกับแคชที่มีขนาดใหญ่กว่าเท่านั้น ทำให้แคชที่มีขนาดเล็กกว่าไม่ต้องรองรับข้อความจำนวนมากซึ่งถูกส่งมาจากแคชที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งค่าอัตราเร็วที่ได้ไม่ตกลงมากเท่าใดนัก

ในงานวิจัยนี้มีความคล้ายคลึงกับวิทยานิพนธ์เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบที่เกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีความแตกต่างกับวิทยานิพนธ์บางส่วน โดยส่วนแตกต่างที่สำคัญคือ แคชแต่ละตัวมีขนาดที่ไม่เท่ากันรวมทั้งรองรับภาระจากผู้ใช้ไม่เท่ากัน ในส่วนของวิทยานิพนธ์แคชแต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากันและรองรับภาระจากผู้ใช้ในอัตราส่วนเดียวกัน เนื่องจากมีการกระจายการร้องขอไปยังแคชต่างๆอย่างสมดุล นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการที่แคชที่มีขนาดไม่เท่ากันติดต่อสื่อสารกัน แต่ในวิทยานิพนธ์จะเน้นไปที่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการที่แคชแต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารกันได้

บทที่ 3

การทดสอบประสิทธิภาพของแคชแบบกระจาย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองที่ได้ทดสอบในวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดเกี่ยวกับรูปแบบของขั้นตอนการทดลองที่ใช้ ข้อมูลการใช้เว็บที่นำมาทดลอง รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยในส่วนของผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองจะกล่าวถึงต่อไปในบทต่อไป

3.1 รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช

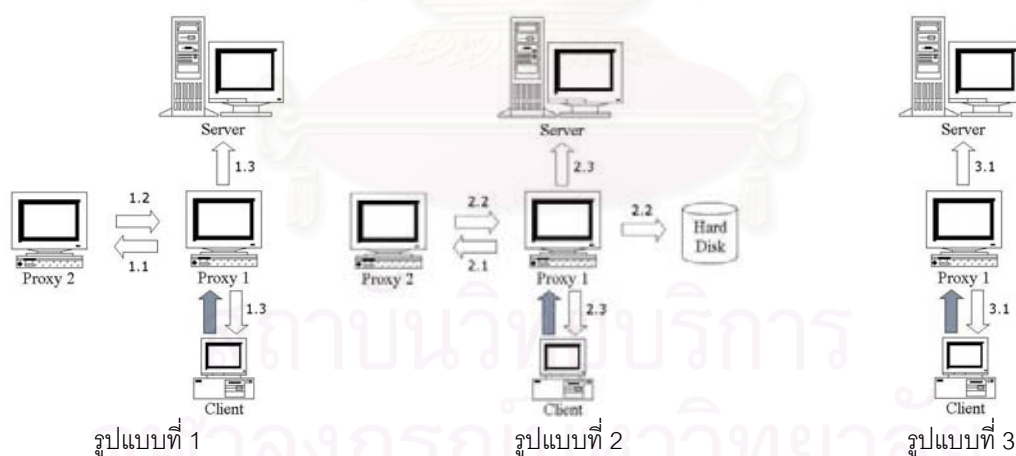
จุดสำคัญที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชที่ควรพิจารณาคำนี้ถึงมีอยู่หลายจุดด้วยกัน โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะคำนึงถึง 2 จุดใหญ่ๆ จุดแรกคือ การติดต่อสื่อสารระหว่างแคช และจุดที่สองคือการจัดการเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียง ซึ่งเหตุผลในการพิจารณาเนื่องมาจากการเลือกใช้วิธีในแต่ละจุดมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อระบบแคชแบบกระจาย พิจารณารณีของการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช หากมีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจะช่วยให้แคชมีโอกาสพบเอกสารที่ผู้ใช้ แต่จะทำให้เกิดข้อความการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจำนวนมากด้วยเช่นกัน แต่หากไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช ข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจะไม่เกิดขึ้นเลย ในทางกลับกันโอกาสที่จะพบเอกสารก็จะน้อยลงตามไปด้วยเนื่องจากไม่มีการค้นหาเอกสารที่แคชข้างเคียงอีกต่อไป ในส่วนของรูปแบบการจัดการเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียง หากเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงด้วยจะช่วยลดจำนวนข้อความการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่จะทำให้เกิดการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชด้วยเช่นกัน แต่ถ้าหากไม่มีการเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงจะทำให้แคชสามารถเก็บเอกสารได้จำนวนมากขึ้นเนื่องจากไม่มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช แต่จะทำให้เกิดข้อความการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจำนวนมากแทน จะเห็นได้ว่า 2 จุดที่กล่าวมามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพที่ได้ของแคชแบบกระจาย ในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการเลือกรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่จะใช้ตามลักษณะที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่เลือกใช้

รูปแบบการติดต่อสื่อสาร	มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช	ไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช
การจัดการเอกสารจากแคชข้างเคียง	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 3
ไม่มีการเก็บเอกสารจากแคชข้างเคียง		
มีการเก็บเอกสารจากแคชข้างเคียง	รูปแบบที่ 2	

จากตารางที่ 3.1 สรุปได้ว่าวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดลองรูปแบบของการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชทั้งหมด 3 แบบ (แสดงได้ดังรูปที่ 3.1) คือ

1. แคมแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคมของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคมข้างเคียง ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้
 - 1.1 เมื่อแคมได้รับข้อความการร้องขอเอกสาร แคมจะทำการตรวจสอบว่ามีเอกสารดังกล่าวเก็บไว้อยู่ในแคมหรือไม่ หากไม่มีจะทำการส่งข้อความไปสอบถามแคมข้างเคียง
 - 1.2 แคมจะรอคำตอบจากแคมข้างเคียง หากมีเอกสารที่ต้องการ แคมจะดึงเอกสารจากแคมข้างเคียงแล้วส่งผ่านไปให้ยังผู้ใช้เลย โดยไม่มีการเก็บไว้ที่แคมของตัวเอง
 - 1.3 หากไม่มีแคมข้างเคียงที่เก็บเอกสารไว้เลย แคมจะทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โดยตรง
2. แคมแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคมของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคมข้างเคียง ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้
 - 2.1 เมื่อแคมได้รับข้อความการร้องขอเอกสาร แคมจะทำการตรวจสอบว่ามีเอกสารดังกล่าวเก็บไว้อยู่ในแคมหรือไม่ หากไม่มีจะทำการส่งข้อความไปสอบถามแคมข้างเคียง
 - 2.2 แคมจะรอคำตอบจากแคมข้างเคียง หากมีเอกสารที่ต้องการ แคมจะดึงเอกสารจากแคมข้างเคียงแล้วทำการเก็บไว้ที่แคมของตัวเองด้วยก่อนส่งเอกสารให้ผู้ใช้
 - 2.3 หากไม่มีแคมข้างเคียงที่เก็บเอกสารไว้เลย แคมจะทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โดยตรง
3. แคมแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน มีหลักการทำงานดังนี้
 - 3.1 เมื่อแคมได้รับข้อความการร้องขอเอกสาร แคมจะทำการตรวจสอบว่ามีเอกสารดังกล่าวเก็บไว้อยู่ในแคมหรือไม่ หากไม่มี แคมจะทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โดยตรงต่อไป



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงรูปแบบทั้ง 3 ที่ทำการทดลองในวิทยานิพนธ์

3.2 รูปแบบการทดลอง

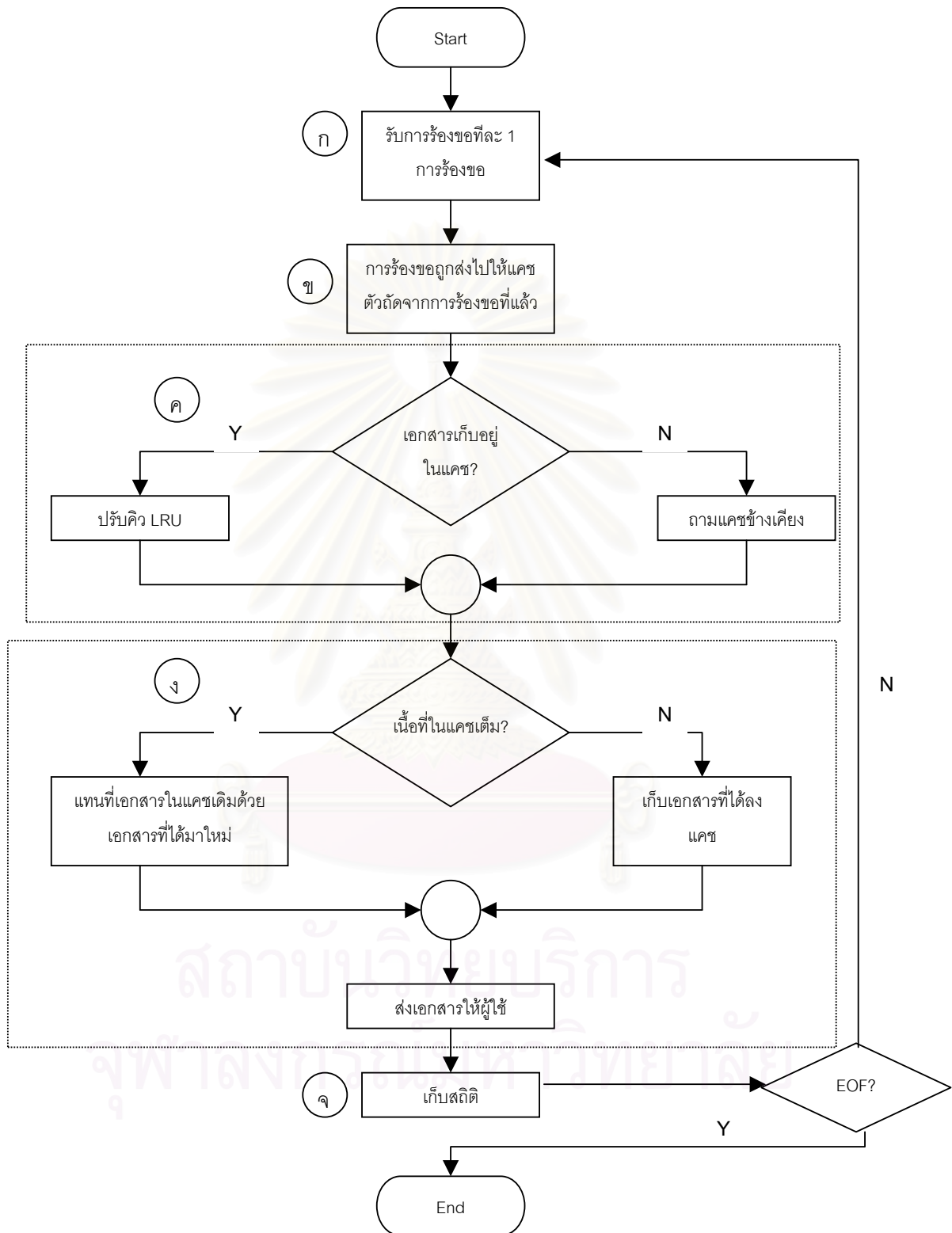
3.2.1 วิธีการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน of แคลชขึ้นมา ซึ่งโปรแกรมหักกล่าวเขียนขึ้นมาโดยใช้ภาษาเพิร์ล (Perl) เป็นภาษาหลักในการเขียน หลังจากนั้นจึงทำการป้อนข้อมูลการใช้เว็บจริงที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ให้โปรแกรมนำไปประมวลผลแบบ Trace-driven Simulation และทำการวัดประสิทธิภาพของแคลชที่ได้ตามค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ซึ่งได้แก่ ค่าฮิตเรโซ ค่าไบตฮิตเรโซ และจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน โดยค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซนั้นเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแคลชโดยทั่วไป ซึ่งแคลชที่มีประสิทธิภาพดีควรมีค่าฮิตเรโซและไบตฮิตเรโซที่สูง ในขณะที่จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะใช้ในการวัดผลกระทบของจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคลชที่เกิดจากการเลือกใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสาร และวิธีการจัดการเอกสารที่ได้จากแคลชข้างเคียงที่แตกต่างกันออกไป

3.2.2 รูปแบบการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้เว็บของวิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการทำงานอธิบายตามลำดับดังนี้ (แสดงเป็นผังงาน (Flow Chart) ได้ดังรูปที่ 3.2)

- ก. โปรแกรมรับการร้องขอจากข้อมูลการใช้เว็บที่ละหนึ่งการร้องขอ เพื่อนำไปตรวจสอบหายูอาร์แอลที่ผู้ใช้ต้องการ รวมทั้งขนาดของเอกสาร
- ข. โปรแกรมจำลองการกระจายการร้องขอแบบสลับตัวกันไป โดยโปรแกรมทำการตรวจสอบว่าการร้องขอครั้งที่แล้วถูกส่งไปยังแคลชใด จากนั้นจึงทำการส่งการร้องขอให้แคลชตัวถัดไป
- ค. หลังจากที่โปรแกรมทำการตรวจสอบว่าแคลชได้รับผิดชอบการร้องขอดังกล่าวแล้ว โปรแกรมจึงทำการตรวจสอบว่ามีเอกสารที่ต้องการเก็บไว้ในแคลชหรือไม่ ถ้าไม่มี โปรแกรมจะทำการตรวจสอบกับแคลชข้างเคียงเพื่อหาเอกสารดังกล่าว (ในกรณีที่ทำการจำลองแคลชมากกว่า 1 ตัว) เมื่อได้เอกสารมาแล้ว แคลชจะเก็บเอกสารดังกล่าวไว้ด้วยหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการจำลองแคลชที่กำลังทดสอบอยู่
- ง. เมื่อจะทำการเก็บเอกสารที่ได้มาลงในแคลชในกรณีที่พบว่าขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารของแคลชเต็มแล้ว แคลชจะทำการแทนที่เอกสารเดิมด้วยเอกสารที่ได้มาใหม่ (รายละเอียดของวิธีการแทนที่เอกสารอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.3.1) แล้วจึงส่งเอกสารต่อให้ผู้ใช้ต่อไป
- จ. โปรแกรมทำการเก็บค่าที่จำเป็นในการคำนวณประสิทธิภาพของแคลช เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจึงจะรับการร้องขอถัดไป



รูปที่ 3.2 ผังงานแสดงรูปแบบการทำงานของโปรแกรม

3.2.3 สมมุติฐานในการทดลอง

3.2.3.1 วิธีการแทนที่เอกสาร

เมื่อแคชไม่มีเนื้อที่ของดิสก์เหลือพอที่จะทำการเก็บเอกสารใหม่ได้แล้ว แคชจะต้องทำการแทนที่เอกสารเดิมที่ถูกเก็บไว้อยู่ในแคชด้วยเอกสารใหม่ที่แคชต้องการจะเก็บไว้ ทั้งนี้วิธีที่แคชใช้ในการเลือกเอกสารเก่าที่จะถูกแทนที่ไปด้วยเอกสารใหม่นั้นมีอยู่มากมายหลายวิธีด้วยกัน เช่น LFU, LRU-MIN [11], SIZE [12], GreedyDual-Size [13], Hybrid [14] ฯลฯ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ วิธีการแทนที่เอกสารที่เลือกใช้ คือ วิธีแอลอาร์ยู (Least Recently Used (LRU)) ซึ่งจะทำการแทนที่เอกสารที่มีเวลาในการเรียกใช้ครั้งล่าสุดเก่าที่สุดออกไปก่อน ทั้งนี้ เหตุผลที่เลือกใช้วิธีแอลอาร์ยูเนื่องมาจากวิธีนี้เป็นวิธีพื้นฐานที่งานวิจัยอื่นๆ นิยมนำมาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแคช รวมทั้งมีการใช้งานของแคชจริงอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น สควิด (Squid) [15] เป็นต้น โดยในวิทยานิพนธ์นี้ วิธีแอลอาร์ยูแบบปกติจะปรับควแอลอาร์ยูเฉพาะการร้องขอจากผู้ใช้นั้น

3.2.3.2 วิธีการกระจายการร้องขอเอกสาร

วิธีการกระจายการร้องขอเอกสารไปยังแคชต่างๆเมื่อมีการจำลองแคชในระบบมากกว่า 1 ตัว ได้เลือกใช้วิธีการกระจายแบบสลับกันไปยังแคชแต่ละตัว (Round-Robin) โดยโปรแกรมจะทำการส่งการร้องขอถัดไปให้แคชตัวที่ถัดจากแคชที่ได้รับการร้องขอครั้งที่แล้วเพื่อนำไปประมวลผล เมื่อแคชได้รับการร้องขอจนครบทุกตัวแล้ว โปรแกรมจะทำการวนกลับมาที่แคชตัวแรกอีกครั้ง โดยเป็นวิธีที่ทำการกระจายการร้องขอไปให้แต่ละแคชอย่างสมดุล ซึ่งวิธีการกระจายแบบสลับกันไปในั้นเป็นวิธีที่ใช้ในการทำการกระจายภาระการทำงานแบบเท่าเทียมกันในงานทั่วไป

3.2.3.3 เนื้อที่เก็บเอกสารในแคช

การจำลองเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชของโปรแกรมในงานวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการจำลองให้ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชทุกตัวรวมกันจะต้องมีขนาดเท่ากันเสมอ นั่นหมายความว่า เมื่อทำการจำลองจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้น ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชแต่ละตัวจะน้อยลงไปด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้การวัดประสิทธิภาพของแคชมีความถูกต้อง สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้อย่างยุติธรรม

3.2.3.4 ความเร็วในการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช

ในวิทยานิพนธ์นี้จะถือว่าความเร็วในการติดต่อสื่อสารของพรีอ็อกซีแคชทุกตัวเท่ากัน ฉะนั้นหากมีแคชเก็บเอกสารเดียวกันมากกว่า 1 ตัว แคชตัวแรกที่มีเอกสารจะเป็นตัวที่ถูกดึงเอกสารไปโดยแคชข้างเคียง

3.2.3.5 ภาระของแคช

ในวิทยานิพนธ์นี้จะถือว่าการใช้แคชตัวเดียวในระบบนั้นไม่สามารถรองรับการร้องขอได้ทัน จึงต้องมีการเพิ่มแคชเข้าไปในระบบ ยกตัวอย่างสควิด (Squid) จากการทดลองเบคคอฟ [1] ซึ่งมีลักษณะของเครื่องเป็นแบบ

1. เพนเทียมทู 333 เมกะเฮิร์ตซ์
2. ฮาร์ดดิสก์ 8.7 กิกะไบต์แบบสแกนซี (SCSI)
3. หน่วยความจำแบบเอสดีแรม (SDRAM) 256 เมกะไบต์

จากผลการทดลอง สควิดสามารถรับการร้องขอในช่วงเวลาเดียวกันได้สูงสุดไม่เกิน 100 ครั้งต่อวินาที ในขณะที่จากข้อมูลการใช้เว็บของจุฬาลงกรณ์ที่นำมาทดลองนั้นมีการร้องขอในช่วงที่มีการร้องขอมากประมาณ 60 ครั้งต่อวินาที อ้างอิงจากงานวิทยานิพนธ์ "การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการแทนที่ในพรีอ็อกซีแคช" [16] โดยในปัจจุบันนี้ (เมษายน 2544) การร้องขอที่เข้ามายังแคชของจุฬาลงกรณ์ในช่วงที่มีการร้องขอมากมีมากถึงประมาณ 200 ครั้งต่อวินาที ซึ่งโดยเฉลี่ยต่อวันแล้วมีการร้องขอที่เข้ามายังแคชมากกว่า 5 ล้านครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความนิยมในการใช้อินเทอร์เน็ตของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

3.2.4 พารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มีดังต่อไปนี้

1. จำนวนแคชที่มีในระบบ

จำนวนแคชในระบบที่ทำการทดสอบมีตั้งแต่ 1 ถึง 7 ตัว ทั้งนี้จำนวนดังกล่าวเป็นจำนวนแคชในระบบที่สควิดแนะนำให้ใช้

2. ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช

จากผลการทดลองที่ได้จากงานวิทยานิพนธ์ "การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการแทนที่ในพรีอ็อกซีแคช" [16] เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชมีขนาดใหญ่แล้ว การเพิ่มขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชขึ้นไปเรื่อยๆ แทบจะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพของแคชแต่อย่างใด ซึ่งจุดที่งานวิทยานิพนธ์นี้เลือกมา คือ 30% ของ ขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารที่น้อยที่สุดที่แคชสามารถเก็บเอกสารที่ผู้ใช้ต้องการได้ครบทุกเอกสารโดยไม่มีการแทนที่เกิดขึ้นเลย (Infinite Cache Size) เนื่อง

จากเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชมีขนาดตั้งแต่ 1%-30% ของ Infinite Cache Size ความแตกต่างของประสิทธิภาพยังคงเห็นได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อขนาดดังกล่าวเพิ่มขึ้นมากกว่า 30% ของ Infinite Cache Size ขึ้นไป ผลของประสิทธิภาพของแคชที่ได้มีความแตกต่างกันน้อยมาก ฉะนั้น ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชทุกตัวรวมกันที่จะทำการทดสอบในงานวิทยานิพนธ์ คือ 1%, 2%, 5%, 10%, 20% และ 30% ของ Infinite Cache Size

การปรับเปลี่ยนจำนวนแคชให้มากขึ้นจะมีผลทำให้การร้องขอถูกกระจายไปยังแคชต่างๆมากขึ้น การเรียกซ้ำกันของเอกสารที่ไปยังแต่ละแคชมีน้อยลง ในขณะที่การปรับเปลี่ยนขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชจะมีผลต่อจำนวนเอกสารที่เก็บไว้ในแคช ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงที่เลือกใช้ด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้ง 2 พารามิเตอร์นี้จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชที่ได้ รวมถึงจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชเช่นเดียวกัน

3.3 สภาพแวดล้อมของเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้เว็บในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ฮาร์ดแวร์

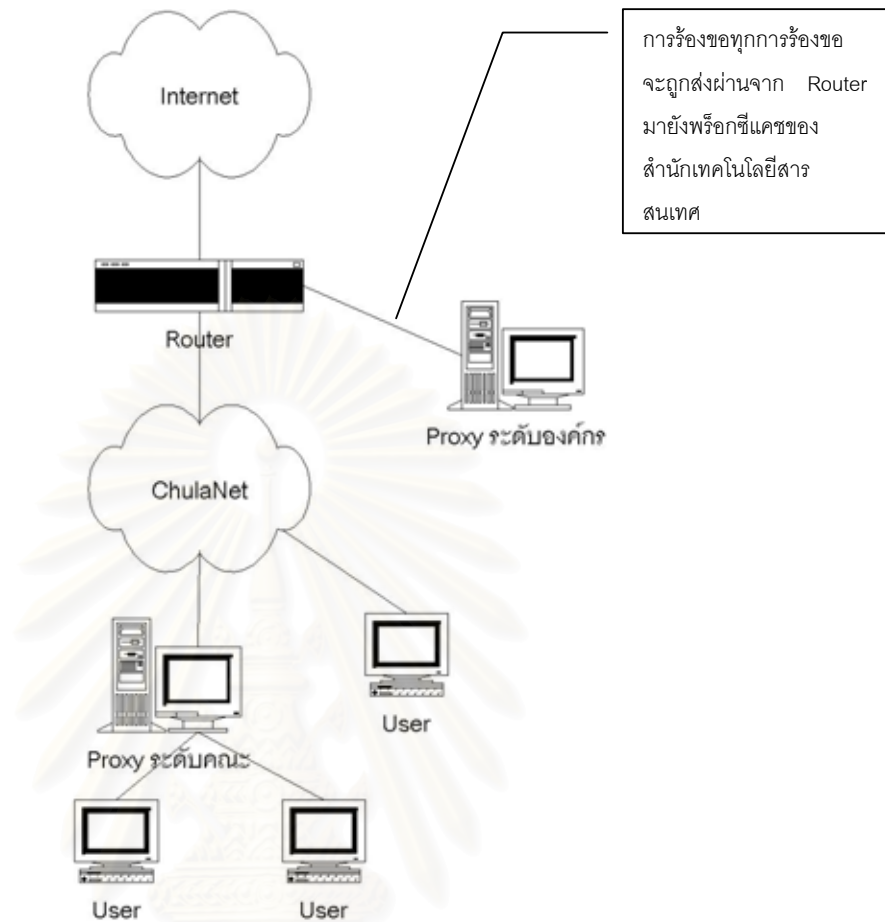
1. คอมพิวเตอร์แบบพีซี Pentium 133 เมกะเฮิร์ตซ์
2. หน่วยความจำ 128 เมกะไบต์
3. ฮาร์ดดิสก์ 4.2 กิกะไบต์

3.3.2 ซอฟต์แวร์

1. ระบบปฏิบัติการ ไมโครซอฟต์วินโดวส์ 98
2. ตัวแปลภาษา แอคทีฟเพิร์ล (Active Perl) เวอร์ชัน 5.17

3.4 ข้อมูลการใช้เว็บ

ข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ คือ ข้อมูลการใช้เว็บจริงซึ่งได้จากแคชของสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.3 โดยสุ่มมาทั้งหมด 10 วัน



รูปที่ 3.3 โครงสร้างโดยรวมของแคชในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลที่ได้มาจะทำการกรองเอาเฉพาะข้อมูลที่ได้คุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งได้แก่

1. ข้อมูลการร้องขอเอกสารที่ได้รับการตอบกลับพร้อมทั้งได้รับเอกสารที่ต้องการ ซึ่งในข้อมูลการใช้เว็บจะเป็นข้อมูลที่มีรหัสการตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์หรือแคชแบบประสบความสำเร็จ (Successful)
2. ยูอาร์แอล (URL) ของเอกสารในข้อความการร้องขอที่พร็อกซีแคชจะทำการเก็บเอกสารไว้ในแคช ซึ่งหมายถึงยูอาร์แอลที่ไม่มีเครื่องหมาย "?" และ "cgi-bin"

ข้อมูลที่ได้หลังจากผ่านการกรองแล้วมีลักษณะดังตาราง

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของข้อมูลการใช้เว็บที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ช่วงเวลา	วันที่ 18 ก.ค. ถึง วันที่ 26 ก.ย. 2542 (สุ่มมา 10 วัน)	
จำนวนการร้องขอเอกสารเฉลี่ย / วัน	1,738,448	ครั้ง
Infinite Cache Size	5,857,274,121	ไบต์
จำนวนการร้องขอแบบ IMS เฉลี่ย / วัน	354,787	ครั้ง
จำนวนเอกสารที่ถูกเรียกใช้มากกว่า 1 ครั้ง	143,201	เอกสาร
จำนวนเอกสารที่ไม่ซ้ำกัน	525,211	เอกสาร
ขนาดของเอกสารโดยเฉลี่ย	11,152	ไบต์

โดย

- *Infinite Cache Size* คือ ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารที่น้อยที่สุดที่ทำให้แคชสามารถเก็บเอกสารได้ครบทุกเอกสารโดยไม่มีการแทนที่เอกสารเกิดขึ้นเลย
- *การร้องขอแบบ IMS* คือ ข้อความการร้องขอที่มีส่วนหัว (Header) ของข้อความที่เป็นแบบ If-Modified-Since (IMS) ซึ่งเป็นข้อความที่แคชจะใช้ในการตรวจสอบกับเซิร์ฟเวอร์ว่าเอกสารที่เก็บไว้ในแคชยังคงใช้ได้หรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแคชแบบกระจาย

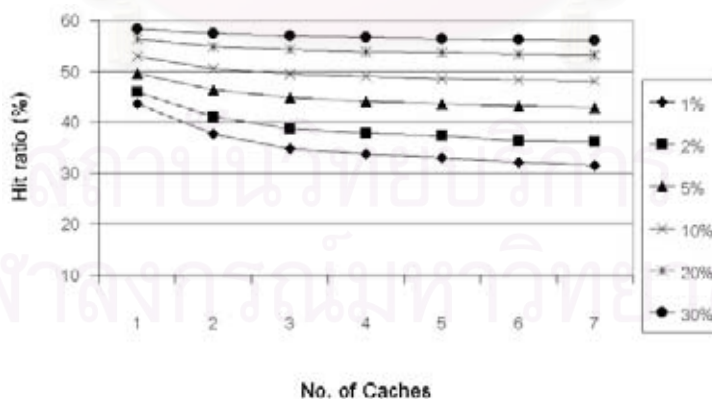
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพแคชแบบกระจายของวิทยานิพนธ์ตามรูปแบบการทดลองที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 โดยจะแบ่งหัวข้อตามค่าที่ได้จากการวัดประสิทธิภาพของแคชและรูปแบบของการติดต่อประสานงานระหว่างแคช นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้อีกด้วย

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ค่าฮิตเรโซ (Hit Ratio) ที่ได้

ค่าฮิตเรโซที่ได้ของระบบแคชแบบกระจายนั้นหมายถึง จำนวนเอกสารที่พบในแคชของตัวเองรวมกับจำนวนเอกสารที่พบในแคชข้างเคียงหารด้วยจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมด ซึ่งจะมีความแตกต่างจากค่าฮิตเรโซที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 ซึ่งใช้สำหรับแคชตัวเดียวเล็กน้อย ทั้งนี้ค่าฮิตเรโซที่ได้จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของแคชในแง่ของการลดเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดึงเอกสารมาให้ผู้ใช้

4.1.1.1 รูปแบบที่ 1 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

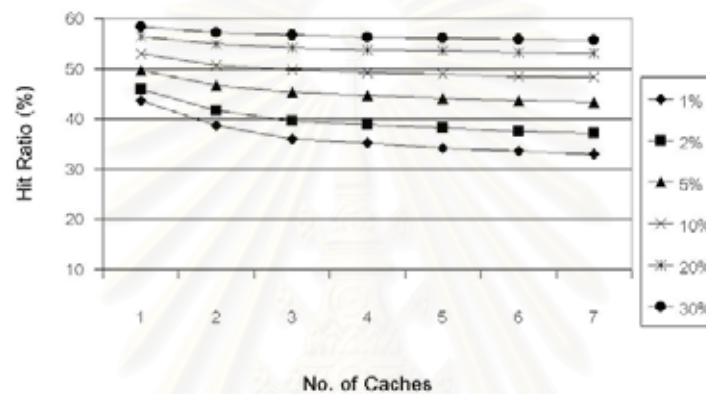


รูปที่ 4.1 ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1

จากกราฟในรูปที่ 4.1 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชที่มีในระบบ แกน Y แสดงค่าฮิตเรโซที่วัดได้ จะเห็นได้ว่าหลังจากที่เพิ่มจำนวนแคชให้มากขึ้น ทำให้ค่าฮิตเรโซที่ได้เมื่อเทียบกับการมีแคชตัวเดียวใน

ระบบลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าลดลงจากค่าฮิตเรโซเมื่อมีแคชตัวเดียวในระบบตั้งแต่ 13.6% จนถึง 27.8% เมื่อมีแคช 7 ตัวในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการร้องขอถูกกระจายไปยังแคชต่างๆมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารให้มากขึ้นจะช่วยให้เปอร์เซ็นต์การตกลงของค่าฮิตเรโซลดลง โดยเหลือต่ำสุดเพียง 3.9% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size

4.1.1.2 **รูปแบบที่ 2** - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

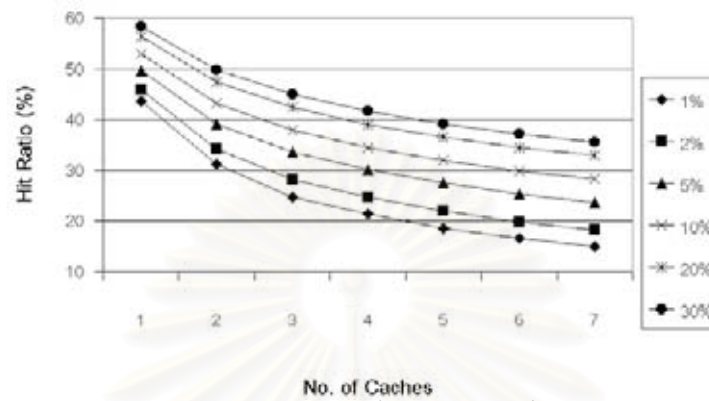


รูปที่ 4.2 ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2

ในส่วนของรูปแบบที่ 2 จากรูปที่ 4.2 ค่าฮิตเรโซที่ได้ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 1 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1 อย่างมาก ลักษณะของกราฟที่ได้มีความเหมือนกันทั้งในแง่ของจำนวนแคชในระบบและขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารที่เปลี่ยนแปลงไป แม้ว่ารูปแบบที่ 2 จะทำการเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียง ซึ่งทำให้มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช โดยทั้ง 2 รูปแบบมีความแตกต่างกันของค่าฮิตเรโซสูงสุดเพียง 4.5% อย่างไรก็ตามมีส่วนที่ต่างกันเล็กน้อยคือ รูปแบบที่ 2 จะให้ค่าฮิตเรโซที่สูงกว่ารูปแบบที่ 1 เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 20% ของ Infinite Cache Size)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1.3 รูปแบบที่ 3 – แคชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน

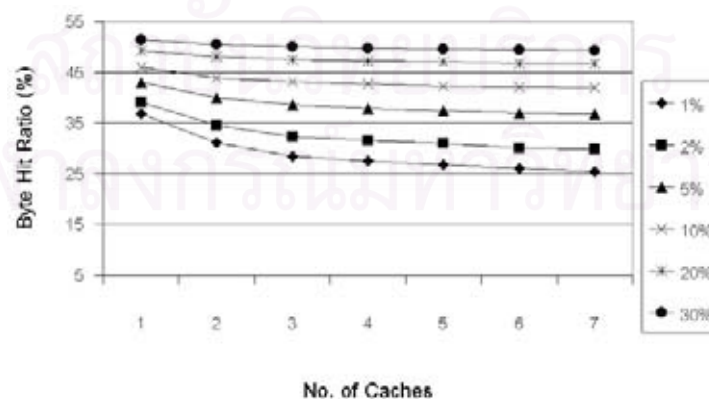


รูปที่ 4.3 ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 3

จากกราฟรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 ให้ค่าฮิตเรโซตกลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ 2 รูปแบบแรก ทั้งนี้เนื่องจากการที่ไม่มีการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียง ทำให้โอกาสที่จะพบเอกสารน้อยลงกว่าเดิม โดยค่าฮิตเรโซที่ได้จะยิ่งตกลงมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น โดยค่าฮิตเรโซตกลงสูงสุดเมื่อเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบถึง 65.7% หรือลดลงมากกว่าครึ่งเมื่อมีจำนวนแคชในระบบ 7 ตัว

4.1.2 ค่าไบต์ฮิตเรโซ (Byte Hit Ratio) ที่ได้

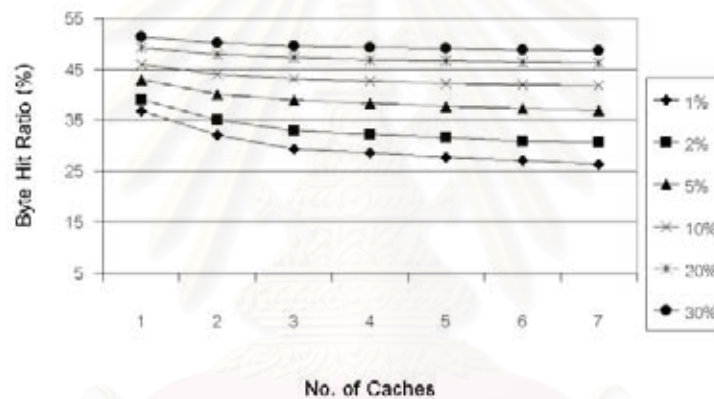
4.1.2.1 รูปแบบที่ 1 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 4.4 ค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1

จากกราฟในรูปที่ 4.4 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชที่มีในระบบ และแกน Y แสดงค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้อัตราของค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้อัตราของรูปแบบที่ 1 มีความใกล้เคียงกับกราฟของค่าไบต์ฮิตเรโซอย่างมาก ทั้งในแง่ของการตกลงของกราฟเมื่อเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้นเรื่อยๆ (ค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้อัตราของค่าไบต์ฮิตเรโซเมื่อมีแคชตัวเดียวในระบบตั้งแต่ 15.4% ถึง 30.9%) และการลดลงของเปอร์เซ็นต์การตกลงของกราฟเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารเพิ่มมากขึ้น (เปอร์เซ็นต์การตกลงของกราฟไบต์ฮิตเรโซลดลงเหลือต่ำสุด 3.9% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size)

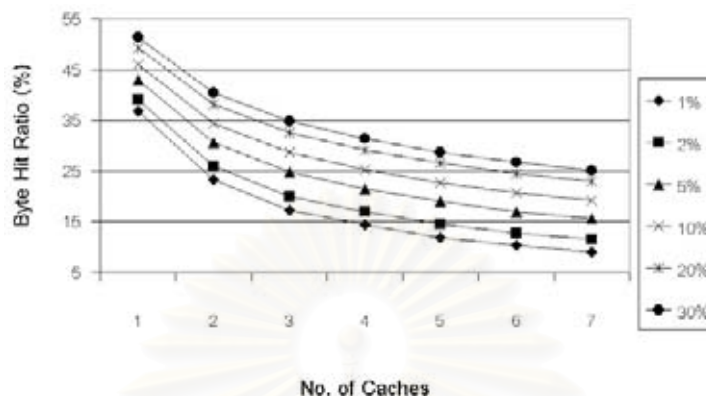
4.1.2.2 **รูปแบบที่ 2** - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 4.5 ค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้อัตราของรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้อัตราของรูปแบบที่ 2 มีลักษณะของกราฟเช่นเดียวกับค่าไบต์ฮิตเรโซของรูปแบบที่ 1 เหมือนกันกับกราฟของค่าฮิตเรโซ โดยทั้ง 2 รูปแบบมีความแตกต่างกันของค่าไบต์ฮิตเรโซสูงสุดเพียง 4% เท่านั้นที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ รวมทั้งค่าไบต์ฮิตเรโซของรูปแบบที่ 2 จะสูงกว่าค่าไบต์ฮิตเรโซของรูปแบบที่ 1 เล็กน้อยในกรณีที่มีขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 20% ของ Infinite Cache Size) ซึ่งจะเหมือนกับพฤติกรรมของค่าฮิตเรโซในหัวข้อที่ 4.1.1

4.1.2.3 รูปแบบที่ 3 – แคชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน



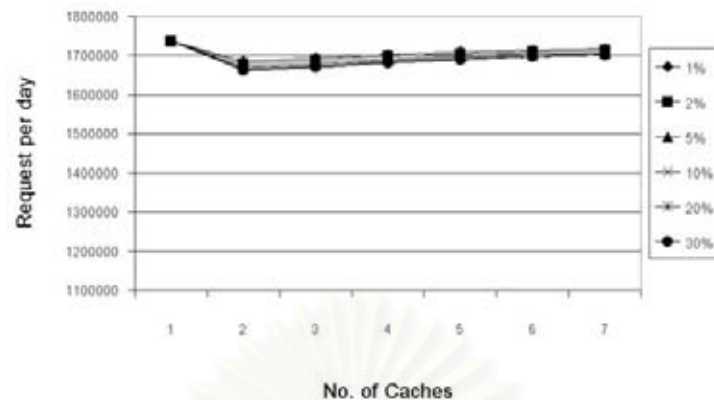
รูปที่ 4.6 ค่าไบตฮิตเรโซที่ได้อของรูปแบบที่ 3

ค่าไบตฮิตเรโซของรูปแบบที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ตกลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ 2 รูปแบบแรกเช่นเดียวกับค่าฮิตเรโซ โดยเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้นเรื่อยๆจะทำให้ค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ยิ่งตกลงมากขึ้น ซึ่งค่าไบตฮิตเรโซของรูปแบบที่ 3 ตกลงสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีมีแคชตัวเดียวในระบบ 75.3% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ

4.1.3 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน คือ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้รวมกับจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารจากแคชข้างเคียง การที่นำจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงมาคิดรวมด้วยนั้นเพื่อที่จะใช้ในการบ่งบอกปริมาณงานจริงๆที่แคชแต่ละตัวในระบบแคชแบบกระจายต้องรับผิดชอบ เนื่องจากในระบบแคชแบบกระจายนั้นจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้จะลดลงเป็นสัดส่วนกับจำนวนแคชในระบบ แต่จำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงนั้นจะแปรผันตามจำนวนแคชในระบบ

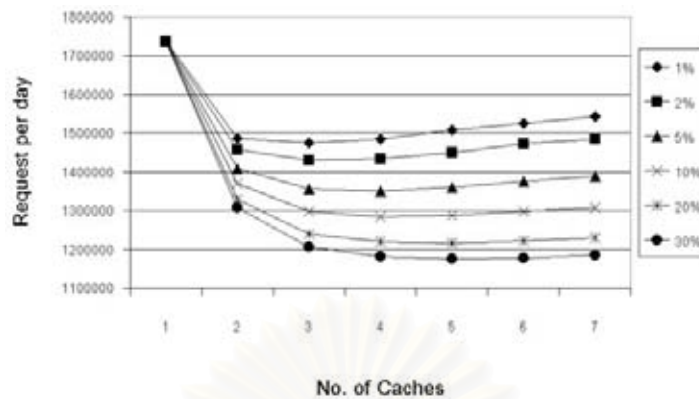
4.1.3.1 รูปแบบที่ 1 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 4.7 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1

จากกราฟของรูปแบบที่ 1 ในรูปที่ 4.7 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชที่มีในระบบ และแกน Y แสดงจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้ต่อวันจะลดลงเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากขึ้น เนื่องจากมีแคชข้างเคียงมาช่วยแบ่งเบาภาระการรับผิดชอบข้อความการร้องขอจากผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม การมีจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารจากแคชข้างเคียงมีมากขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้เมื่อพิจารณาจากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันแล้ว พบว่าจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนแคชในระบบเป็น 2 ตัว แต่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปเนื่องจากอัตราการลดลงของข้อความการร้องขอจากผู้ใช้้น้อยกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช อย่างไรก็ตาม จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันเมื่อมีแคชมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปยังคงน้อยกว่าจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันเมื่อมีแคชเพียงตัวเดียวในระบบ ทั้งนี้ ผลกระทบของขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชจะมีไม่มากนัก สังเกตได้จากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของแต่ละขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารมีค่าที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก โดยจำนวนข้อความจะลดลงต่ำที่สุด 4.4% เทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 2 ตัวในระบบ

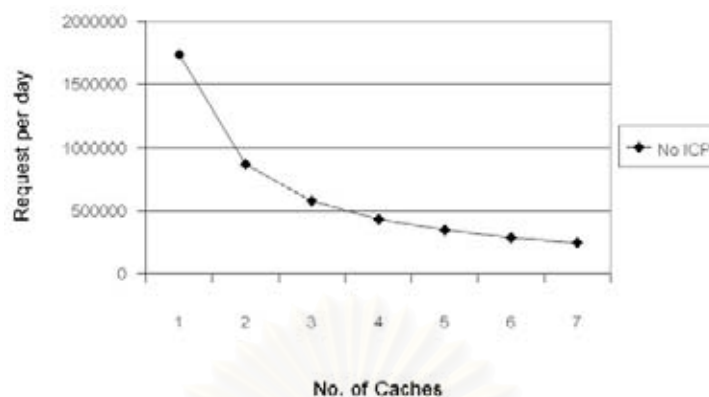
4.1.3.2 รูปแบบที่ 2 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 4.8 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารต่อวันของรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 4.8 เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2 กับรูปแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่า รูปแบบที่ 2 ช่วยลดปริมาณจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันได้มากกว่า ทั้งนี้จากการที่แคชเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงลงแคชของตัวเองด้วยทำให้เมื่อผู้ใช้ต้องการเอกสารดังกล่าวอีกครั้ง แคชจึงไม่มีความจำเป็นต้องส่งข้อความการร้องขอไปยังแคชข้างเคียงอีกต่อไป ทำให้จำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงจะมีน้อยกว่าของรูปแบบที่ 1 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนแคชในระบบมีมากขึ้นเรื่อยๆยังคงมีผลทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงมีมากกว่าอัตราการลดลงของจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้เช่นเดียวกันกับรูปแบบที่ 1 โดยจะเห็นได้จากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะลดลงเรื่อยๆเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบตั้งแต่ 2-4 ตัว แต่จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากกว่า 4 ตัวขึ้นไป โดยจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันในระบบที่มีจำนวนแคช 4 ตัวจะลดลงต่ำสุด 32% เมื่อเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size

4.1.3.3 รูปแบบที่ 3 – แคชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน



รูปที่ 4.9 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 3

เมื่อมาดูกราฟจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 3 (รูปที่ 4.9) เนื่องจากการที่ไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช ทำให้แคชรับภาระข้อความการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้นั้น กราฟที่ได้ของแคชในทุกๆขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารจึงมีแสดงให้ดูเพียงเส้นเดียวเนื่องจากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้จะเปลี่ยนแปลงตามจำนวนแคชในระบบที่เปลี่ยนไปเท่านั้น ไม่ขึ้นกับขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 มีจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 รูปแบบ และจะยิ่งเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากขึ้น

4.2 การวิเคราะห์

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบประสิทธิภาพแคชแบบกระจายที่ได้ในหัวข้อที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 ตามลำดับ ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบต่อประสิทธิภาพของแคชแบบกระจายรวมทั้งข้อดี-ข้อเสียของวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบได้ดังนี้

4.2.1 รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 1 มีข้อดี คือ วิธีนี้จะช่วยให้การเก็บเอกสารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 20% ของ Infinite Cache Size ขึ้นไป) เนื่องจากการที่ไม่มีการแทนที่เอกสารลงในแคชเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง ทำให้ไม่มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชเกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถเก็บจำนวนเอกสารได้มากขึ้น จะเห็นได้จากค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้มีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก (ขนาดต่ำกว่า 20% ของ Infinite Cache Size) ค่าฮิตเรโซที่ได้จะน้อยกว่ารูปแบบที่ 2 เนื่องจากในบางครั้งจะเกิดกรณีที่ผู้ใช้ต้องการเอกสารเดิมซึ่งถูกเก็บไว้ที่

แคชข้างเคียงอีกครั้ง แต่ปรากฏว่าแคชข้างเคียงได้ทำการแทนที่เอกสารดังกล่าวไปแล้ว (เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็กทำให้แต่ละแคชมีเนื้อที่ในการเก็บเอกสารที่มีขนาดเล็กและต้องทำการแทนที่เอกสารอยู่ตลอดเวลา) อย่างไรก็ตาม เมื่อดูผลการทดสอบโดยรวมแล้วพบว่า ค่าฮิตเรทและค่าไบตฮิตเรทที่ได้ของรูปแบบที่ 1 มีความใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 2 เป็นอย่างมาก โดยมีความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 4.5% และ 3.5% ตามลำดับเท่านั้นที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ

รูปแบบที่ 1 มีข้อเสียที่สำคัญอย่างมาก คือ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารที่มายังแคชทั้งหมดต่อวันมีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อไม่มีการแทนที่เอกสารลงแคชเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง ทำให้แคชต้องส่งข้อความการร้องขอไปยังแคชข้างเคียงทุกครั้งที่มีการร้องขอจากผู้ใช้ที่ถูกส่งมายังแคชดังกล่าว ต้องการเอกสารดังกล่าว ซึ่งทำให้จำนวนข้อความที่เกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชมีมากที่สุด ซึ่งมีผลทำให้จำนวนข้อความเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป โดยจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันมีมากกว่ารูปแบบที่ 2 สูงสุดถึง 30% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 4 ตัวในระบบ

4.2.2 รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 2 มีข้อดี คือ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 อย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการเก็บเอกสารไว้ในแคชของตัวเองด้วยเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง ทำให้เมื่อผู้ใช้ต้องการเอกสารดังกล่าวอีกครั้ง แคชไม่จำเป็นต้องส่งข้อความการร้องขอไปยังแคชข้างเคียงอีกต่อไป ซึ่งจะช่วยลดจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชได้เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับของรูปแบบที่ 1 ซึ่งจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะมีน้อยที่สุดเมื่อมีจำนวนแคชในระบบ 4 ตัว โดยจำนวนข้อความจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากกว่า 4 ตัวขึ้นไป

ในขณะเดียวกัน การเก็บเอกสารไว้ในแคชของตัวเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียงทำให้มีการเก็บเอกสารที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชเกิดขึ้น ซึ่งทำให้จำนวนเอกสารที่เก็บได้มีน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 โดยจะเห็นได้จากค่าฮิตเรทและค่าไบตฮิตเรทที่ได้จากการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 20% ของ Infinite Cache Size ขึ้นไป) ค่าฮิตเรทและค่าไบตฮิตเรทที่ได้ของรูปแบบที่ 2 น้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการที่เนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ ทำให้โอกาสที่เอกสารที่ได้รับความนิยมจะถูกแทนที่ไปนั้นมีน้อย การเก็บเอกสารที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชจึงไม่ทำให้เกิดผลดีเท่าไรรวมทั้งมีผลทำให้เอกสารอื่นๆที่ควรจะถูกเก็บไว้ในแคชถูกแทนที่ไป

4.2.3 รูปแบบที่ 3

รูปแบบที่ 3 มีข้อดีที่เห็นได้อย่างชัดเจนที่สุด คือ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารมายังแคชทั้งหมดต่อวันมีน้อยที่สุด ซึ่งจะมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อมีจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันลดลงสูงสุดเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบ 85.7%) ทั้งนี้เนื่องจากการที่ไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช ทำให้ไม่มีข้อความการติดต่อสื่อสารที่ถูกส่งมาจากแคชข้างเคียงแต่อย่างใด จึงมีแต่เพียงข้อความการร้องขอจากผู้ใช้นั้น

อย่างไรก็ตาม การที่แคชแต่ละตัวทำงานแยกจากกันทำให้แต่ละแคชซึ่งมีเนื้อที่ในการเก็บเอกสารลดลงเมื่อจำนวนแคชในระบบมีมากขึ้นและเนื่องจากการที่ไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจึงทำให้ค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่วัดได้ตกลงมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้น (ตกลงสูงสุด 65.7% และ 75.3% ตามลำดับเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบ) ซึ่งเป็นข้อเสียที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากหน้าที่สำคัญของแคชควรจะเป็นการลดปริมาณข้อมูลที่รับส่งผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้แบนด์วิดท์ของผู้ใช้ [6] นอกจากนี้ จากสภาพการใช้เว็บของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้น แคชต้องเสียเวลานานในการติดต่อเพื่อดึงเอกสารจากเซิร์ฟเวอร์ส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในต่างประเทศ ซึ่งจะใช้เวลาต่างกับการที่มีเอกสารเก็บอยู่ในแคชเป็นอย่างมาก จึงทำให้รูปแบบที่ 3 ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับสภาพการใช้เว็บในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบการปรับวิธีการแทนที่เอกสาร

จากผลการทดสอบแบบกระจายที่ได้กล่าวไปในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 1 ให้ประสิทธิภาพของแคชในแง่ของค่าฮิตเรโซที่ได้อะและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้อีกดีพอๆกับรูปแบบที่ 2 อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองที่ได้ทำให้สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนแคชในระบบมีมากขึ้นเรื่อยๆ ค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้จะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและแนวทางในการปรับปรุงรูปแบบเพื่อแก้ปัญหาการลดลงของค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซ

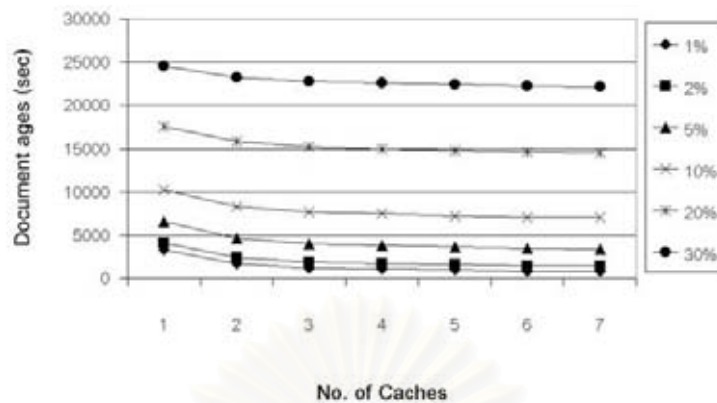
5.1 อายุของเอกสาร

การที่จะทำให้แคชมีค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซสูงนั้น จะต้องทำให้เอกสารที่ถูกเก็บไว้ในแคชนั้นเป็นเอกสารที่ถูกเรียกใช้มากกว่า 1 ครั้งรวมถึงเอกสารดังกล่าวจะต้องถูกเก็บไว้ในแคชได้เป็นเวลานานที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ฉะนั้น จากเหตุผลดังกล่าว การที่ผลการทดลองที่ได้ของระบบแบบกระจายในบทที่ 4 นั้นมีค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซลดลงเรื่อยๆ น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่เอกสารที่ได้รับความนิยมไม่ได้ถูกเก็บไว้ในแคช หรือถูกเก็บไว้ในแคชแต่ถูกแทนที่ไปด้วยเอกสารอื่น

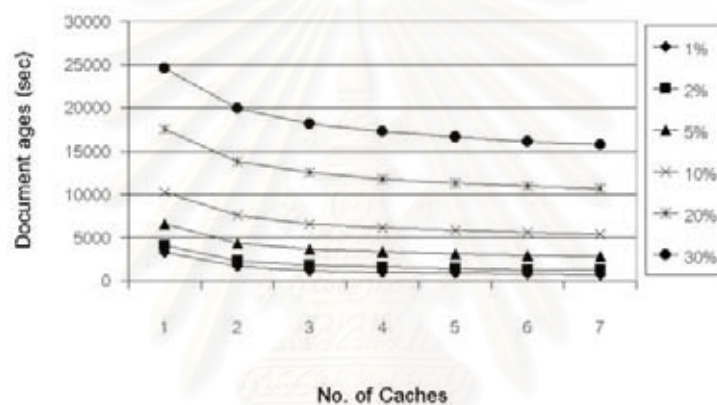
ในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทดลองทำการวัดอายุของเอกสารในแคชของรูปแบบการทดลองในบทที่ 4 เพื่อทำการวัดว่าเมื่อจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจะมีผลอย่างไรบ้างต่ออายุของเอกสารในแคช ซึ่งค่าอายุของเอกสารในแคชจะช่วยในการบ่งบอกถึงสาเหตุการลดลงของค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซได้ หากค่าอายุของเอกสารลดลงเรื่อยๆเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น นั้นหมายความว่าแคชมีการแทนที่เอกสารอยู่ตลอดเวลา เอกสารแต่ละตัวอยู่ในแคชไม่ได้นาน ซึ่งมีผลทำให้โอกาสที่จะพบเอกสารที่ต้องการในแคชมีน้อยลง จึงมีผลทำให้ค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้ของแคชลดลง โดยที่ค่าอายุของเอกสารนั้นหมายถึง

อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคช (วินาที) =
$$\frac{\text{ผลรวมอายุเอกสารทุกตัวตั้งแต่ถูกนำมาเก็บไว้ในแคชจนถูกแทนที่ไป}}{\text{จำนวนเอกสารทั้งหมดที่ถูกนำมาเก็บไว้ในแคช}}$$

ผลของการวัดอายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชของการทดลองของรูปแบบที่ 1 และ 2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับการทดลองในบทที่ 4 สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชของรูปแบบที่ 1 ของการทดลองในบทที่ 4



รูปที่ 5.2 อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชของรูปแบบที่ 2 ของการทดลองในบทที่ 4

จากกราฟในรูปที่ 5.1 และ 5.2 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชในระบบ และแกน Y แสดงค่าอายุเอกสารโดยเฉลี่ยของแคช แสดงให้เห็นว่าอายุเฉลี่ยของเอกสารนั้นลดลงเรื่อยๆ เมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก โดยอายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชของรูปแบบที่ 1 และ 2 จะลดลงสูงสุด 76.27% และ 77.67% ตามลำดับที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ

ข้อสำคัญในการเพิ่มอายุของเอกสารในแคชคือ วิธีการแทนที่เอกสาร ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่ออายุของเอกสาร เนื่องจากแคชจะเลือกเอกสารที่จะถูกแทนที่ไปตามวิธีการแทนที่เอกสารที่เลือกใช้ หากแคชเลือกเอกสารที่ควรจะถูกเก็บไว้อยู่ในแคชเป็นเอกสารที่แคชจะทำการแทนที่ไปนั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพของแคชเป็นอย่างมาก ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถทำการปรับปรุงและแก้ไขได้หลายวิธีด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น เปลี่ยนวิธีการแทนที่เอกสารที่ใช้ รวมถึงการปรับปรุงวิธีการแทนที่เอกสารเดิมที่ใช้อยู่ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น พิจารณาถึงกรณีดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 เมื่อผู้ใช้ต้องการเอกสารเดิมจากแคชข้างเคียงอีก แต่ปรากฏว่าแคชข้างเคียงได้ทำการแทนที่เอกสารดังกล่าวไปแล้ว หากทำการเปลี่ยนวิธีการแทนที่เอกสารให้ทำการปรับ

คิวแอลอาร์ยูทุกครั้งที่มีการร้องขอไม่ว่าจะมาจากผู้ใช้หรือแคชข้างเคียง จะช่วยให้เอกสารที่ถูกแคชข้างเคียง ดึงไปนั้นไม่ถูกแทนที่ไปก่อนเวลาอันควร ทำให้ช่วยลดโอกาสของการเกิดกรณีดังกล่าวลงอย่างมาก รวมถึง การปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆการร้องขอจะช่วยให้แคชรู้ถึงความนิยมจริงๆของเอกสารแต่ละตัวได้ดียิ่งขึ้น มีผล ทำให้อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชเพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิม รวมทั้งเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชเข้าไปในระบบแล้ว จะไม่ทำให้อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชตกลงมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เป็นวิธีการแทนที่เอกสารที่น่าจะมีความ เหมาะสมกับระบบแคชแบบกระจายมากขึ้นกว่าเดิม งานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เลือกที่จะทำการปรับปรุงวิธีการ แทนที่เอกสารเดิมที่ใช้ในบทที่ 4 โดยจะได้กล่าวถึงผลของการทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

5.2 รูปแบบการทดลองเพิ่มเติม

5.2.1 วิธีการแทนที่เอกสาร

ในการทดลองเพิ่มเติมนี้ จะทำการเปลี่ยนวิธีการแทนที่เอกสารของแคชเพื่อให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ทั้งนี้จะทำการวัดผลที่ได้ว่าวิธีการแทนที่ เอกสารที่เปลี่ยนไปจะทำให้เกิดผลกระทบกับประสิทธิภาพของแคชหรือไม่ อย่างไรก็ตาม รวมทั้งในแง่ของ จำนวนแคชในระบบและขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งวิธีการแทนที่เอกสารที่เลือก ใช้ นั้น ได้เลือกใช้วิธีแอลอาร์ยูแบบที่มีการปรับคิวแอลอาร์ยูของพร็อกซีแคชที่มีเอกสาร โดยจะทำการปรับคิว ทุกครั้งเมื่อเอกสารถูกดึงไปเนื่องมาจากการร้องขอเอกสารไม่ว่าจะมาจากผู้ใช้หรือแคชข้างเคียง นอกจากนี้ จะถือว่าความเร็วในการติดต่อสื่อสารของพร็อกซีแคชทุกตัวเท่ากัน ฉะนั้น หากมีแคชเก็บเอกสารเดียวกันมากกว่า 1 ตัว แคชตัวแรกที่มีเอกสารจะเป็นตัวที่ถูกดึงเอกสารไปโดยแคชข้างเคียง ซึ่งผลของการทดสอบที่ได้จะ นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ใช้วิธีการแทนที่เอกสารเดิมในบทที่ 4

5.2.2 ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ

ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการทดลองเพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

1. ค่าฮิตเรโซ
2. ค่าไบตฮิตเรโซ
3. จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน
4. อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคช

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.1 อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชจะช่วยในการบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพ ของแคชที่ได้ จึงได้ทำการวัดค่าอายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชเพื่อทดสอบว่าวิธีการแทนที่เอกสารที่เลือกใช้ใน บทที่ 5 นี้จะช่วยให้อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชมากขึ้นหรือน้อยลงอย่างไรบ้าง ผลของการทดลองที่ได้จะ

แสดงให้เห็นว่าหากวิธีการแทนที่เอกสารที่ทำการปรับปรุงช่วยให้เอกสารถูกเก็บไว้ในแคชได้นานขึ้นกว่าเดิมแล้วจะมีผลกับประสิทธิภาพของแคชในแง่ของค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้อย่างไรบ้าง

5.2.3 รูปแบบการติดต่อสื่อสารที่ใช้

แคชจะมีการปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆการร้องขอ ซึ่งรวมถึงการร้องขอที่มาจากแคชข้างเคียงด้วย ทำให้รูปแบบการติดต่อสื่อสารที่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชจะมีผลกระทบที่เกิดขึ้นจากวิธีการแทนที่เอกสารที่ปรับปรุง ซึ่งจากรูปแบบการติดต่อสื่อสารที่ใช้บทที่ 4 จะมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน

รูปแบบการติดต่อสื่อสารที่ทำการทดสอบในบทที่ 5 จึงมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1. แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง
2. แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

โดยรูปแบบที่ 3 จะไม่มีการทดสอบในการทดลองเพิ่มเติม ทั้งนี้เนื่องมาจากรูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบที่มีการรับผิดชอบการร้องขอจากผู้ใช้เท่านั้น ไม่มีการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงเลย ฉะนั้นวิธีการแทนที่เอกสารที่เปลี่ยนไปในการทดลองเพิ่มเติมนี้จึงไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆทั้งสิ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแคชที่วัดได้ของรูปแบบที่ 3 ยังคงเหมือนเดิม อีกทั้งผลการทดลองที่ได้จากบทที่แล้วแสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพของแคชที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอีก 2 รูปแบบ โดยเฉพาะค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่วัดได้ถือว่าน้อยเกินไป ซึ่งทำให้รูปแบบที่ 3 ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับสภาพการใช้เว็บในประเทศไทย

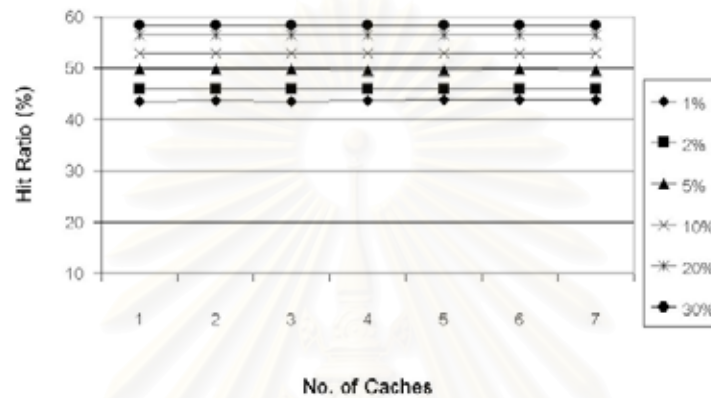
5.2.4 พารามิเตอร์และข้อมูลการใช้เว็บ

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเพิ่มเติมจะเหมือนกับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในบทที่ 4 ซึ่งได้แก่ จำนวนแคชในระบบและขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช โดยค่าที่ใช้ทดสอบยังคงเป็นค่าในช่วงเดิม นอกจากนี้ข้อมูลการใช้เว็บก็ใช้ข้อมูลชุดเดิมเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการทดลองในบทที่ 4

5.3 ผลการทดลอง

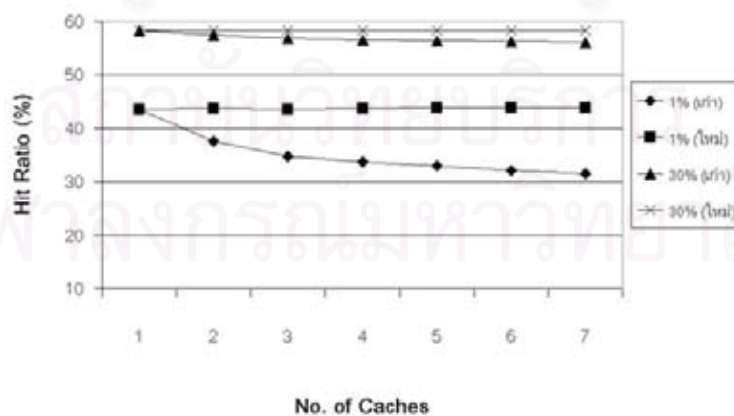
5.3.1 ค่าฮิตเรโซ

5.3.1.1 **รูปแบบที่ 1** - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 5.3 ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1

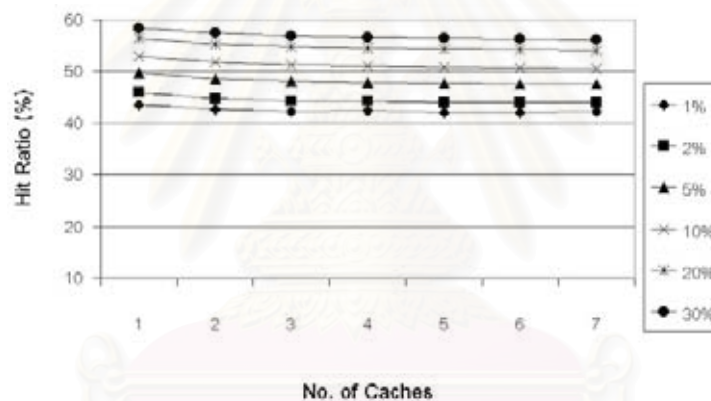
จากกราฟรูปที่ 5.3 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชที่มีในระบบ และแกน Y แสดงค่าฮิตเรโซที่ได้ของแคช จะเห็นได้ว่า การเพิ่มจำนวนแคชในระบบแทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าฮิตเรโซที่ได้ของแคชแต่อย่างใด ซึ่งค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1 เทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบค่อนข้างที่จะคงที่อย่างมาก โดยผลของกราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกันในทุกๆขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าฮิตเรโซของรูปแบบที่ 1

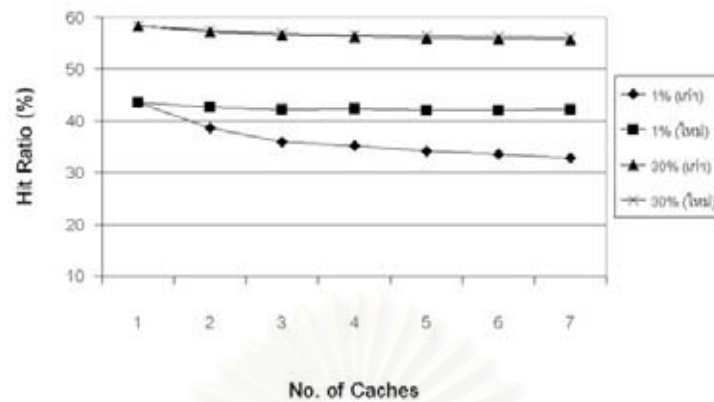
เมื่อทำการเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 5.3 กับกราฟรูปที่ 4.1 โดยแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.4 ซึ่งใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบที่ 1 เช่นเดียวกันจะเห็นได้ว่าค่าฮิตเรโซที่ได้จากการใช้วิธีการแทนที่เอกสารเดิมและวิธีการแทนที่เอกสารที่ได้รับการปรับปรุงแล้วจะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกันสูงสุด 28.2% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ แต่เมื่อทำการเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชให้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความแตกต่างของค่าฮิตเรโซน้อยลงเรื่อยๆจนเหลือต่ำสุด 3.9% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการแทนที่เอกสารที่ได้รับการปรับปรุงมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพที่ได้ของแคชในแง่ของค่าฮิตเรโซ

5.3.1.2 รูปแบบที่ 2 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 5.5 ค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2

จากกราฟรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2 ลดลงเรื่อยๆเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการเก็บเอกสารที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งประสิทธิภาพของแคชที่ได้จะต่ำกว่าของรูปแบบที่ 1 อย่างไรก็ตาม ค่าฮิตเรโซที่ได้ยังคงลงไปไม่มากนัก โดยค่าฮิตเรโซจะลดลงสูงสุดเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบเพียง 4.4% เท่านั้นที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ ทั้งนี้ลักษณะของกราฟที่ได้จะมีความเหมือนกันในทุกๆขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช

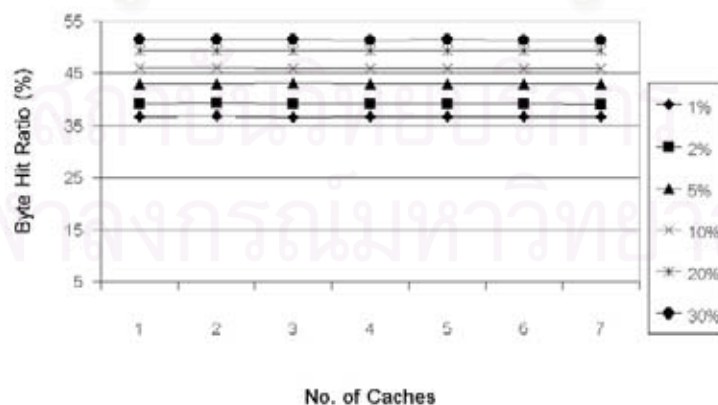


รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าฮิตเรโซของรูปแบบที่ 2

จากกราฟรูปที่ 5.5 เปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าค่าฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2 หลังจากทำการปรับปรุงวิธีการแทนที่เอกสารแล้วดีขึ้นกว่าเดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากขึ้น โดยค่าฮิตเรโซจะมีความแตกต่างกันสูงสุด 22.1% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าวจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารให้ใหญ่ขึ้น โดยจะเหลือความแตกต่างกันต่ำสุดเพียง 0.8% เท่านั้นที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ ซึ่งถือได้ว่าใกล้เคียงกันมาก

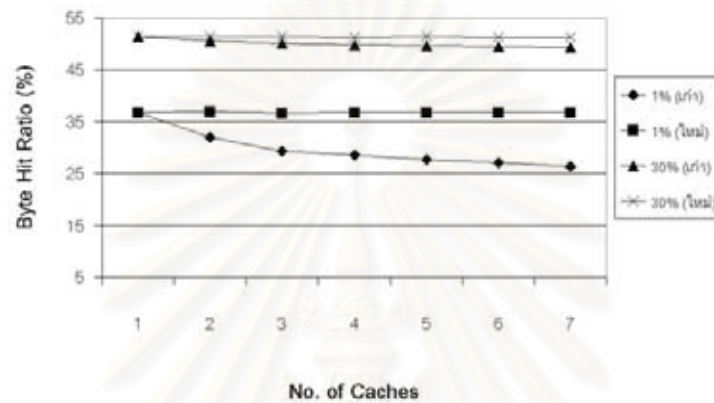
5.3.2 ค่าไบต์ฮิตเรโซ

5.3.2.1 รูปแบบที่ 1 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 5.7 ค่าไบต์ฮิตเรโซของรูปแบบที่ 1

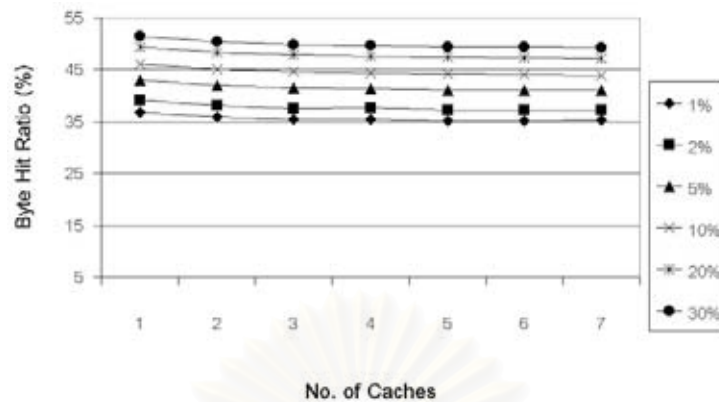
จากรูปที่ 5.7 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชที่มีในระบบ และแกน Y แสดงค่าไบต์ฮิตเรโซที่
ได้ของแคช จะเห็นได้ว่าค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1 มีลักษณะเช่นเดียวกับค่าฮิตเรโซที่ได้ใน
รูปที่ 5.3 กล่าวคือ ค่าไบต์ฮิตเรโซที่วัดได้ค่อนข้างจะคงที่ โดยที่การเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้เพิ่ม
ขึ้นรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชแทบจะไม่มีผลต่อค่าไบต์ฮิตเรโซที่วัด
ได้แต่อย่างใด



รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 1

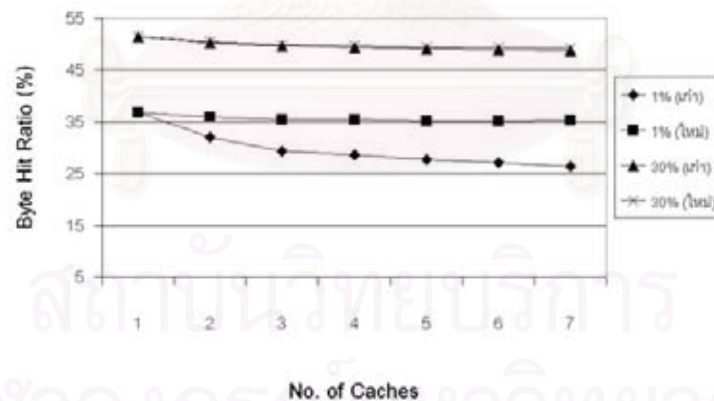
จากรูปที่ 5.8 ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 5.7 กับรูปที่ 4.4 จะเห็นได้อย่างชัดเจน
ว่าค่าไบต์ฮิตเรโซที่วัดได้จากการทดลองเพิ่มเติมดีขึ้นจากการทดลองที่แล้วอย่างมาก โดยกราฟที่ได้
จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบค่าฮิตเรโซที่วัดได้ในรูปที่ 5.4 ทั้งในแง่ของผลกระทบที่
เกิดขึ้นการเปลี่ยนแปลงจำนวนแคชที่มีในระบบ (มีความแตกต่างกันสูงสุด 30.8% ที่ตำแหน่ง 1%
ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ) และขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช (มี
ความแตกต่างกันต่ำสุด 3.9% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวใน
ระบบ)

5.3.2.2 รูปแบบที่ 2 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารใน
แคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 5.9 ค่าไบต์ฮิตเรโซของรูปแบบที่ 2

ค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2 จากรูปที่ 5.9 มีลักษณะเช่นเดียวกับค่าฮิตเรโซที่วัดได้ในรูปที่ 5.5 ทั้งในแง่ของจำนวนแคชในระบบและขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเก็บเอกสารที่ได้มาจากแคชข้างเคียงลงในแคชของตนเองด้วย ทำให้มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช มีผลกระทบทำให้ค่าไบต์ฮิตเรโซที่วัดได้ค่อยๆตกลงเรื่อยๆเมื่อมีการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าไบต์ฮิตเรโซที่วัดได้ในการทดลองเพิ่มเติมของรูปแบบที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์การตกลงสูงสุดเมื่อเทียบกับการมีแคชตัวเดียวในระบบเพียง 4.8% เท่านั้นที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ ซึ่งถือว่าน้อยมาก



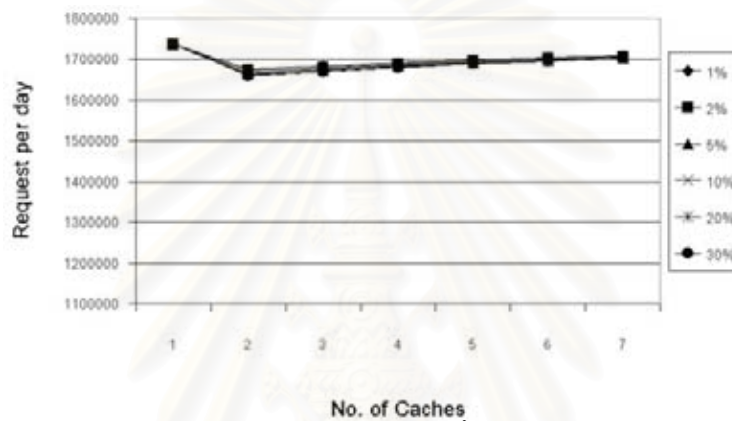
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ของรูปแบบที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ในรูปที่ 5.9 กับรูปที่ 4.5 ดังรูปที่ 5.10 ค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ถือว่าดีขึ้นกว่าเดิมค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเมื่อจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (มีความแตกต่างกันสูงสุด 25.4% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ) แต่ว่าความแตกต่างดังกล่าวจะมีน้อยมากเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ (มี

ความแตกต่างกันต่ำสุด 0.9% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วในรูปที่ 5.6

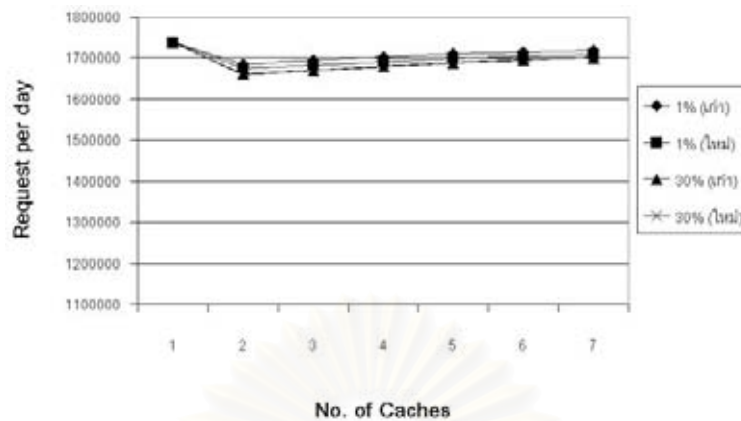
5.3.3 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

5.3.3.1 **รูปแบบที่ 1** - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 5.11 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1

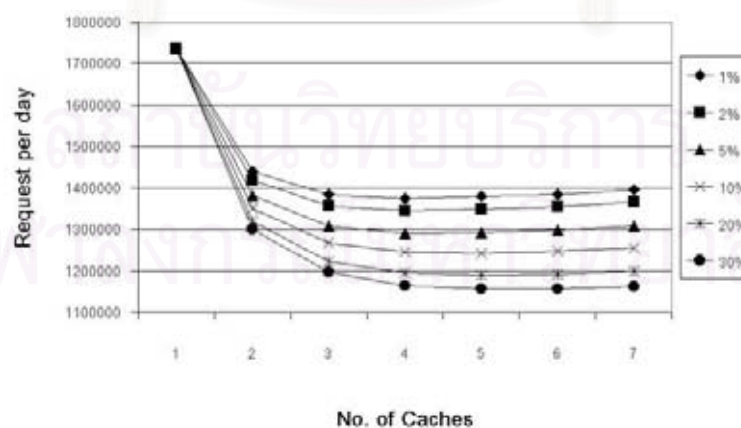
จากรูปที่ 5.11 โดยที่แกน X แสดงจำนวนแคชที่มีในระบบ และแกน Y แสดงจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน จะเห็นได้ว่า รูปแบบที่ 1 ทำให้จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันลดลงเมื่อจำนวนแคชมี 2 ตัวในระบบ (ลดลงสูงสุด 4.5% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size) แต่เมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปมีผลทำให้จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชให้ใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลของการเปลี่ยนแปลงของขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีผลค่อนข้างน้อยต่อจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน ซึ่งจะเห็นได้จากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันที่วัดได้มีความใกล้เคียงกันมากในทุกๆขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1

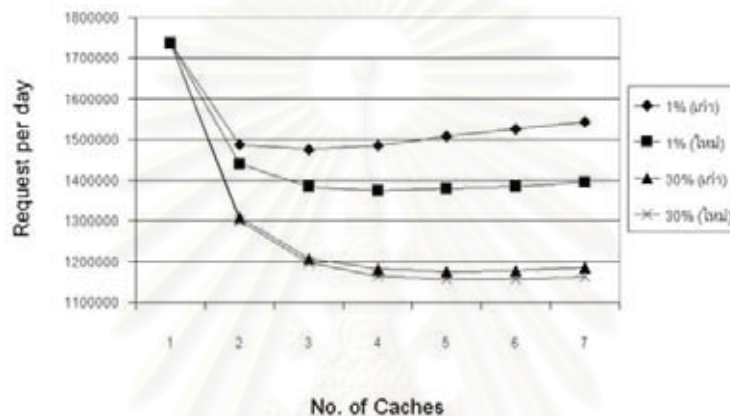
เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปที่ 5.11 กับรูปที่ 4.7 ดังแสดงในรูปที่ 5.12 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของการทดลองเพิ่มเติมจะใกล้เคียงกับการทดลองที่แล้วอย่างมาก โดยที่จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของการทดลองเพิ่มเติมจะมีน้อยกว่าการทดลองที่แล้วเล็กน้อย โดยเมื่อขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก จะมีความแตกต่างกันสูงสุด 0.52% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 2 ตัวในระบบแต่เมื่อขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารใหญ่ขึ้นเรื่อยๆทำให้ความแตกต่างมีน้อยลงเรื่อยๆจนเหลือต่างกันเพียง 0.04% เท่านั้นที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 2 ตัวในระบบ

5.3.3.2 รูปแบบที่ 2 - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



รูปที่ 5.13 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.13 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2 จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มจำนวนแคชในระบบตั้งแต่ 2-4 ตัว นอกจากนี้เมื่อทำการเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บ เอกสารในแคชให้ใหญ่ขึ้นจะมีผลทำให้จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันลดลงอีกด้วย (ลดลงสูงสุด 33.5% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ) แต่หลังจากที่ทำการเพิ่มจำนวนแคชจนมากกว่า 4 ตัวขึ้นไป ทำให้จำนวนข้อความการร้องขอ เอกสารทั้งหมดต่อวันค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

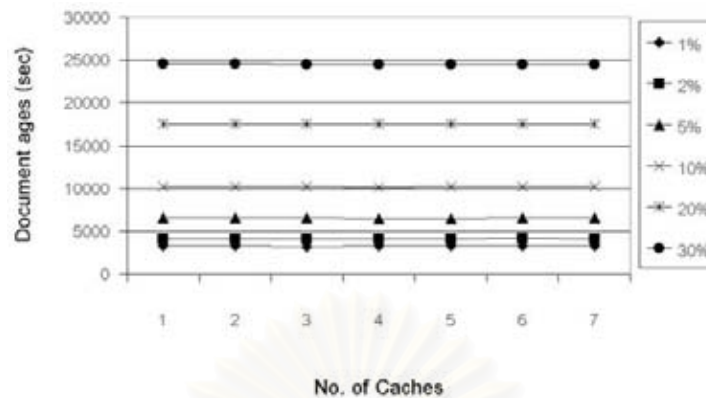


รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบจำนวนการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.14 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากรูปที่ 5.13 กับรูปที่ 4.8 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของการทดลองเพิ่มเติมจะมีน้อยกว่าของการทดลองในบทที่ 4 พอสมควรเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก โดยมีความแตกต่างกันสูงสุด 9.6% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบซึ่งหมายถึง จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารที่มาจากแคชข้างเคียงมีน้อยกว่าการทดลองในบทที่ 4 อย่างไรก็ตาม เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ทำให้จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันต่างกันสูงสุดเพียง 1.9% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ

5.3.4 อายุเฉลี่ยของเอกสาร

5.3.4.1. **รูปแบบที่ 1** - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง



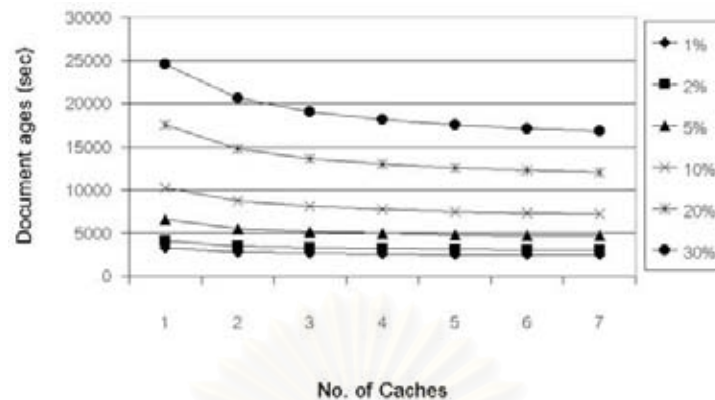
รูปที่ 5.15 อายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าอายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 1 ในการทดลองเพิ่มเติมนี้ค่อนข้างที่จะคงที่อย่างมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนแคชในระบบ ในขณะที่เดียวกันเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อายุเฉลี่ยของเอกสารเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้มีค่าคงที่เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนแคชในระบบ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มขนาดเนื้อที่เก็บเอกสาร ดังที่แสดงในกราฟรูปที่ 5.3 และ 5.7 ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.1 อายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 1 ของการทดลองที่แล้วนั้นจะน้อยกว่าของการทดลองเพิ่มเติมอย่างมากเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก โดยมีความแตกต่างกันสูงสุด 76.8% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ แต่เมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่มากขึ้น อายุเฉลี่ยของเอกสารของทั้ง 2 การทดลองจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเพิ่มขึ้น จนทำให้มีความแตกต่างกันสูงสุดเหลือเพียง 8.34% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ

5.3.4.2. **รูปแบบที่ 2** - แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.16 อายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.16 เมื่อทำการเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชให้ใหญ่ขึ้นจะทำให้อายุเฉลี่ยของเอกสารเพิ่มสูงขึ้น แต่อายุเฉลี่ยของเอกสารยังคงลดลงเรื่อยๆเมื่อทำการเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บเอกสารที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างแคชนั่นเอง ซึ่งมีผลให้อายุของเอกสารตัวอื่นๆลดลงจากการถูกแทนที่ไปด้วยเอกสารที่ดึงมาจากแคชข้างเคียง จึงทำให้อายุเฉลี่ยของเอกสารโดยรวมตกลง นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าอายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 2 นั้นน้อยกว่าของรูปแบบที่ 1 เล็กน้อย (มีความแตกต่างกันสูงสุด 34.26% ที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ) ซึ่งมีผลทำให้ค่าอัตราและประสิทธิภาพที่ได้ก็น้อยกว่าของรูปแบบที่ 1

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ค่าอายุเฉลี่ยของเอกสารที่ได้ของการทดลองเพิ่มเติมที่มีมากกว่าของการทดลองในบทที่ 4 พอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก (มีความแตกต่างกันสูงสุด 70.81% ที่ตำแหน่ง 1% ของ Infinite Cache Size และจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ) แต่เมื่อทำการเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารให้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆทำให้ความแตกต่างดังกล่าวมีน้อยลง ทั้งนี้เมื่อดูที่ตำแหน่ง 30% ของ Infinite Cache Size จะพบว่าค่าอายุเฉลี่ยของเอกสารที่ได้ใกล้เคียงกันอย่างมาก โดยมีความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 6% เท่านั้น เมื่อมีจำนวนแคช 7 ตัวในระบบ ซึ่งถือว่าน้อยมาก

5.4 การวิเคราะห์

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อที่ 5.3 สามารถวิเคราะห์ถึงผลของวิธีการแทนที่เอกสารที่ทำการปรับปรุงที่มีต่อรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชทั้ง 2 แบบ รวมทั้งผลของรูปแบบการติดต่อสื่อสารทั้ง 2 แบบ ต่อประสิทธิภาพของแคชเทียบกับรูปแบบเดียวกันในการทดลองบทที่ 4

5.4.1 รูปแบบที่ 1

จากที่ได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยทำการเปลี่ยนรูปแบบของการแทนที่เอกสาร ซึ่งจะมีการปรับคิวแอลอาร์ยูทุกครั้งไม่ว่าการร้องขอดังกล่าวมาจากผู้ใช้หรือแคชข้างเคียง ทำให้แคชมีประสิทธิภาพในแง่ของค่าฮิตเรโซและไบตฮิตเรโซเพิ่มขึ้นเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 20% ของ Infinite Cache Size) ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้นั้นดีกว่าเดิมค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก การปรับคิวแอลอาร์ยูเฉพาะเมื่อมีการร้องขอจากผู้ ใช้ โดยไม่มีการปรับคิวแอลอาร์ยูถ้าเป็นการร้องขอจากแคชข้างเคียง ทำให้การร้องขอซึ่งถูกกระจายไปยังแคชหลายๆตัวมีการร้องขอเอกสารที่ซ้ำกันที่ถูกส่งไปยังแคชตัวเดียวกันน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น มีผู้ร้องขอเอกสาร A ทั้งหมด 7 การร้องขอ แต่ปรากฏว่าการร้องขอดังกล่าวถูกกระจายไปยังแคชทั้ง 7 ตัวในระบบโดยไม่ซ้ำกันเลย ซึ่งจะมีผลให้แคชแต่ละตัวมองเอกสาร A ว่าไม่ได้รับความนิยมนิจทำการแทนที่เอกสาร A ไป ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเอกสาร A ได้รับความนิยมนมากกว่าที่แคชพิจารณา จะเห็นได้จากค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ตกลง โดยการร้องขอเอกสารที่ซ้ำกันที่ถูกส่งไปยังแคชตัวเดียวกันจะน้อยลงเรื่อยๆเมื่อแคชมีจำนวนมากขึ้น จึงมีผลทำให้ค่าฮิตเรโซและไบตฮิตเรโซที่วัดได้ยิ่งตกลงมากขึ้นเมื่อจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้น ฉะนั้นการปรับคิวแอลอาร์ยูทุกครั้งที่มีการร้องขอเอกสารไม่ว่าจะมาจากแคชข้างเคียงหรือไม่จะช่วยให้แคชแต่ละตัวมองเห็นสภาพความเป็นจริงของความนิยมในเอกสารแต่ละเอกสารได้ดียิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าฮิตเรโซและไบตฮิตเรโซที่ค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนแคชในระบบ อย่างไรก็ตาม เนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถเก็บเอกสารได้มากขึ้น มีการแทนที่เอกสารน้อยลง ซึ่งมีผลให้การปรับคิวแอลอาร์ยูทุกครั้งที่มีการร้องขอเอกสารไม่ได้ช่วยให้ประสิทธิภาพของแคชดีขึ้นกว่าการปรับคิวแอลอาร์ยูเมื่อการร้องขอเอกสารมาจากผู้ใช้นั้นเท่าใดนัก จะเห็นได้จากอายุเฉลี่ยของเอกสาร ค่าฮิตเรโซ และค่าไบตฮิตเรโซที่วัดได้นั้นใกล้เคียงกันมากขึ้นกว่าเดิม

ในส่วนของจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก การปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆการร้องขอซึ่งช่วยให้อายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชสูงขึ้นนั้น ทำให้จำนวนครั้งที่แคชต้องส่งข้อความติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงนั้นลดลงเนื่องจากเอกสารที่ได้รับความนิยมนไม่ได้ถูกแทนที่ไป ในขณะที่เดียวกันหากมีการปรับคิวแอลอาร์ยูเฉพาะการร้องขอจากผู้ใช้นั้น ทำให้เอกสารที่ได้รับความนิยมนซึ่งควรจะถูเก็บไว้ในแคชถูกแทนที่ไปเนื่องจากการร้องขอถูกกระจายไปยังแคชหลายๆตัว ทำให้เอกสารถูกเรียกใช้จากแคชข้างเคียงแทน จึงทำให้ในที่สุดเอกสารดังกล่าวถูกแทนที่ไปด้วยเอกสารอื่น แต่อย่างไรก็ตาม การไม่เก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงลงในแคชทำให้ต้องส่งข้อความไปถามแคชข้างเคียงทุกครั้งที่ต้องการเอกสารดังกล่าวอีกมีผลทำให้จำนวนข้อความการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชยังคงมีค่อนข้างมาก ซึ่งจะเห็นได้จากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของการทดลองเพิ่มเติมมีใกล้เคียงกับการทดลองที่แล้ว นอกจากนี้เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เอกสารอยู่ในแคชได้นานอยู่แล้ว การปรับคิวแอลอาร์ยูเมื่อเป็นการร้องขอจากแคชข้างเคียงหรือไม่เช่นนั้นแทบไม่มีผลต่อ

อายุเฉลี่ยของเอกสาร ทำให้จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของทั้ง 2 การทดลองยิ่งใกล้เคียงกันมากขึ้น

5.4.2 รูปแบบที่ 2

จากผลการทดลองที่ได้ของรูปแบบที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวิธีการแทนที่เอกสารในแคช ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของแคชที่ได้ทั้งในแง่ของค่าฮิตเรโซและไบตฮิตเรโซดีขึ้นกว่าเดิม โดยความแตกต่างดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 20% ของ Infinite Cache Size) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับของรูปแบบที่ 1 แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีส่วนที่แตกต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือ รูปแบบที่ 2 จะมีการเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงด้วย ซึ่งทำให้มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช ทำให้อายุของเอกสารตัวอื่น ๆ นั้นลดลงเนื่องจากต้องถูกแทนที่ด้วยเอกสารที่มาจากแคชข้างเคียง จะเห็นได้จากอายุเฉลี่ยของเอกสารของรูปแบบที่ 2 จะน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 เล็กน้อย แต่เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดใหญ่ สามารถเก็บเอกสารได้จำนวนมากขึ้น รวมทั้งเอกสารถูกเก็บไว้ในแคชได้นานขึ้นกว่าเดิม ความแตกต่างดังกล่าวจึงมีน้อยลง ทั้งนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองรูปแบบที่ 2 ของการทดลองเพิ่มเติมกับการทดลองในบทที่ 4 พบว่าเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก ความแตกต่างระหว่าง 2 การทดลองมีให้เห็นพอสมควร ทั้งนี้ การที่ปรับคิวแอลอาร์ยูเมื่อเป็นการร้องขอจากแคชข้างเคียงด้วยทำให้ช่วยยืดอายุเอกสารที่ได้รับความนิยม ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับในรูปแบบที่ 1 แต่เมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ การปรับคิวแอลอาร์ยูเมื่อเป็นการร้องขอจากแคชข้างเคียงหรือไม่แทบจะไม่มีผลต่ออายุของเอกสารแล้ว ความแตกต่างของทั้ง 2 การทดลองจึงมีน้อยมาก สังเกตได้จากค่าฮิตเรโซ ค่าไบตฮิตเรโซ รวมทั้งอายุเฉลี่ยของเอกสารในแคชที่ได้ใกล้เคียงกันอย่างมาก

จากผลการวัดจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 2 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารของการทดลองเพิ่มเติมจะมีน้อยกว่าของการทดลองที่แล้ว โดยจะเห็นความแตกต่างกันได้พอสมควรเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดเล็ก ทั้งนี้จากการที่การปรับคิวแอลอาร์ยูทุกครั้งที่มีการร้องขอเอกสารช่วยยืดอายุของเอกสารได้เพิ่มขึ้นกว่าของการทดลองที่แล้ว ซึ่งทำให้เอกสารที่ได้รับความนิยมมีอายุอยู่ในแคชได้นานยิ่งขึ้น รวมทั้งการเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงลงแคชของตัวเองช่วยลดจำนวนข้อความการติดต่อสื่อสารกับแคชข้างเคียงได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะมีความแตกต่างกับรูปแบบที่ 1 ดังจะเห็นได้จากจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันที่น้อยกว่าของรูปแบบที่ 1 ค่อนข้างมาก แต่เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆ การร้องขอไม่เกิดผลต่ออายุของเอกสารมากเท่าใดนัก เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวันของทั้ง 2 การทดลองจึงลดความแตกต่างลงและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่งานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิจัยประสิทธิภาพของแคชแบบกระจาย โดยได้ทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช รวมถึงการเลือกใช้วิธีการจัดการเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบแคชแบบกระจาย ซึ่งได้ทำการศึกษารูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ

1. แคชแต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง
2. แต่ละตัวมีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง
3. แคชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน

โดยในการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนจำนวนแคชในระบบและขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช โดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของแคชและใช้ข้อมูลการใช้เว็บจริงที่ได้จากสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมาประมวลผล เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนแคชเข้าไปในระบบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช และวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่เลือกใช้ รวมถึงวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแคชแบบกระจาย โดยทำการวัดประสิทธิภาพของแคชด้วยค่าฮิตเรโซ ค่าไบตฮิตเรโซ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน รวมถึงอายุเฉลี่ยของเอกสารในแคช ซึ่งสามารถสรุปผลที่ได้จากการวิจัยในวิทยานิพนธ์ ปัญหาและข้อจำกัดที่พบ รวมไปถึงการเสนอแนะแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไปได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การไม่เก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงจะช่วยให้ไม่เกิดการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกัน ซึ่งมีผลทำให้เก็บเอกสารได้จำนวนมากขึ้น ค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซที่ได้จึงมีค่าสูงที่สุดในทั้ง 2 การทดลอง สังเกตได้จากกราฟรูปที่ 4.1, 4.4, 5.3 และ 5.7 แต่เมื่อผู้ใช้ต้องการเอกสารดังกล่าวอีก แคชจะต้องส่งข้อความไปร้องขอยังแคชข้างเคียงทุกครั้ง ซึ่งมีผลทำให้เกิดข้อความการร้องขอเอกสารระหว่างแคชข้างเคียงสูงที่สุดด้วยเช่นกัน ดูได้จากกราฟรูปที่ 4.7 และ 5.11
2. การเก็บเอกสารที่ได้จากแคชข้างเคียงลงในแคชของตนเองด้วยนั้นจะช่วยลดจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารระหว่างแคชได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะช่วยให้แคชรับภาระน้อยลง สังเกตได้จากกราฟรูปที่ 4.8 และ 5.13 แต่อย่างไรก็ตามจะมีผลทำให้มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่าง

แคช ซึ่งจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชทั้งในแง่ของค่าฮิตเรโซและค่าไบตฮิตเรโซด้วยเช่นกัน สังเกตได้จากกราฟรูปที่ 4.2, 4.5, 5.5 และ 5.9 ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าของรูปแบบที่ 1 ในกราฟรูปที่ 4.1, 4.4, 5.3 และ 5.7

3. เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดใหญ่แล้ว (ตั้งแต่ 20% ของ Infinite Cache Size ขึ้นไป) การปรับคิวแอลอาร์ยูเฉพาะการร้องขอจากผู้ใช้นั้นจะให้ประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกับการปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆการร้องขอเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12 และ 5.14 ค่าฮิตเรโซ ค่าไบตฮิตเรโซ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน และอายุเฉลี่ยของเอกสารที่ได้ของทั้ง 2 การทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชมีขนาดใหญ่แล้ว ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับคิวแอลอาร์ยูในทุกๆการร้องขอเสมอไป
 4. ข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบมีดังนี้
 - 4.1 รูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ไม่มีเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช ทำให้รูปแบบนี้ให้ประสิทธิภาพของแคชที่ได้สูงที่สุด แต่จะทำให้เกิดข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชสูงสุดเช่นเดียวกัน
 - 4.2 รูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช ทำให้ประสิทธิภาพของแคชที่ได้น้อยกว่าของรูปแบบที่ 1 แต่จะช่วยลดจำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชได้เป็นอย่างดี
 - 4.3 รูปแบบที่ 3 ซึ่งไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชเลย ทำให้ประสิทธิภาพของแคชที่ได้ต่ำที่สุด แต่เนื่องจากไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช ทำให้แคชรับภาระการร้องขอจากผู้ใช้นั้น จำนวนข้อความการร้องขอจึงมีต่ำที่สุด
- จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 สรุปข้อดี-ข้อเสียของรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบ

รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช	ข้อดี	ข้อเสีย
รูปแบบที่ 1	1. ค่าฮิตเรโซและค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้สูงที่สุด 2. ไม่มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช	1. จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารระหว่างแคชสูงที่สุด
รูปแบบที่ 2	1. จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารระหว่างแคชมีน้อยกว่ารูปแบบที่ 1	1. ค่าฮิตเรโซและค่าไบต์ฮิตเรโซน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 2. มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช
รูปแบบที่ 3	1. จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารมีน้อยที่สุด	1. ค่าฮิตเรโซและค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้ต่ำมาก

5. จากการจำลองการร้องขอของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถสรุปผลของการเพิ่มจำนวนแคชในระบบต่อรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบได้ดังนี้
- 5.1 รูปแบบที่ 1 – ค่าฮิตเรโซและค่าไบต์ฮิตเรโซค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อมีจำนวนแคชมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปจะมีผลทำให้ข้อความการร้องขอเอกสารค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
- 5.2 รูปแบบที่ 2 - ค่าฮิตเรโซและค่าไบต์ฮิตเรโซที่ได้จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้ เมื่อจำนวนแคชมากกว่า 4 ตัวขึ้นไปจะมีผลทำให้จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
- 5.3 รูปแบบที่ 3 – ค่าฮิตเรโซ ค่าไบต์ฮิตเรโซ และจำนวนข้อความการร้องขอเอกสารจะลดลงเรื่อยๆตามจำนวนแคชที่เพิ่มขึ้น

ปัญหาและข้อจำกัดที่ได้พบจากการวิจัย

1. การจำลองการทำงานของแคชต้องใช้เครื่องที่มีหน่วยความจำเพื่อใช้ในการประมวลผลและเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว โดยขนาดของหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการจำลองการทำงานจะแปรผันตรงตามขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชที่ทำการจำลองขึ้นมา เนื่องจากข้อมูลการใช้เว็บของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่นำมาใช้ในแต่ละวันจะประกอบด้วยการร้องขอประมาณ 1.5 ล้านครั้ง รวมทั้งมีจำนวนเอกสารที่ไม่ซ้ำกันกว่า 500,000 เอกสาร ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้อง

ใช้หน่วยความจำประมาณ 128 เมกะไบต์ขึ้นไปในการประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2. ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในข้อมูลการใช้เว็บที่นำเอามาใช้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ทั้งนี้ ยังมีข้อมูลบางส่วนไม่ได้ถูกบันทึกไว้ในข้อมูลการใช้เว็บด้วย ยกตัวอย่างเช่น Expiration-Time ของเอกสาร ทำให้ไม่สามารถจำลองการทำงานแคชบางอย่างได้ เช่น การจำลองการหมดอายุของเอกสารที่ถูกเก็บไว้ในแคช เนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอ
3. ข้อมูลการใช้เว็บบางส่วนไม่ได้มีการบันทึกห้ผลการประมวลผลเอกสารที่ได้ของแคชและห้ผลการตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์ ทำให้การจำลองการทำงานอาจเกิดความผิดพลาดได้ ยกตัวอย่างเช่น TCP_UNKNOWN ซึ่งโปรแกรมจะไม่ทราบว่าการร้องขอดังกล่าวเป็นการร้องขอชนิดใด

ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการแทนที่เอกสารในปัจจุบันนี้มีอยู่หลายวิธีที่มีการใช้สูตรซึ่งมีความซับซ้อนเข้ามาช่วยในการคำนวณ ทำให้มีความเหมาะสมกับแคชดียิ่งขึ้นกว่าเดิม ซึ่งควรจะมีการนำเอาวิธีการแทนที่เอกสารหลายวิธีมาทดสอบกับระบบแคชแบบกระจายเพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพที่ได้จากแคชให้สูงขึ้น
2. ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเลือกใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชหรือจำนวนแคชที่มีในระบบอาจแตกต่างกันไปในแต่ละองค์กร ทั้งนี้ เนื่องจากลักษณะการใช้เว็บ รวมถึงความต้องการเอกสารของผู้ใช้ของแต่ละพื้นที่อาจมีความแตกต่างกันได้ ฉะนั้น จึงควรมีการศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นในแต่ละระบบก่อนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
3. การกระจายการร้องขอไปยังแต่ละแคชสามารถทำการปรับเปลี่ยนไปใช้วิธีอื่นๆได้นอกจากวิธีการกระจายการร้องขอแบบสลับกันไป ยกตัวอย่างเช่น การกระจายการร้องขอตามโดเมนของเอกสาร ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแคชที่แตกต่างไปจากเดิม
4. สามารถทำงานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อหาสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้ในการหาจำนวนแคชที่เหมาะสมในระบบ โดยทำการคำนวณจากความสามารถของแคชในการรับการร้องขอได้สูงสุดต่อวินาที จำนวนข้อความการร้องขอที่ลดลง จำนวนข้อความการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่เพิ่มขึ้น ฯลฯ

รายการอ้างอิง

- [1] Rousskov, A., Wessels, D., and Chisholm, G. The first IRCache web cache Bake-Off.
Available from : <http://bakeoff.ircache.net/N01/report.ps.gz>
- [2] Lee, R., and Tomlinson, G. Workload requirements for a very high-capacity proxy cache design. Proceedings of 4th International WWW Caching Workshop (March 1999).
- [3] Wessels, D., and Claffy, K. ICP and the Squid web cache. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, volume 16, number 3 (April 1998): 345-357.
- [4] Valloppillil, V., and Ross, K. W. Cache Array Routing Protocol v1.0. Internet draft, Available from : <http://ircache.nlanr.net/Cache/ICP/carp.txt>
- [5] Gadde, S., Rabinovich, M., and Chase, J. Reduce, reuse, recycle: an approach to building large Internet caches. Proceedings of HotOS Workshop (May 1997).
- [6] Wang, Z., and Crowcroft, J. Cachemesh: A Distributed Cache System For World Wide Web. Proceedings of 2nd International WWW Caching Workshop (1997).
- [7] Huffaker, A., Jung, J., Wessels, D., and Claffy, K. Visualization of the Growth and Topology of the NLANR Caching Hierarchy. Proceedings of 3rd International Web Caching Workshop (1998).
- [8] Sparks, M., Neisser, G., and Handy, R. An Initial Statistical Analysis of the Performance of the UK National JANET Cache. Proceedings of 4th International Web Caching Workshop (1999).
- [9] Meira Jr., W., Fonseca, E., Murta, C. D., Augusto, V., and Almeida, F. Evaluating and Configuring WWW Cache Hierarchies. Proceedings of 3rd International Web Caching Workshop (1998).
- [10] Krishnan, P., and Sugla, B. Utility of Co-operating Web Proxy Caches. Proceedings of 7th International WWW Conference (1998).
- [11] Abrams, M., Standridge, C. R., Abdulla, G., Williams, S., and Fox, E. A. Caching proxies: limitations and potentials. Proceedings of 4th International WWW Conference (December 1995).

- [12] Williams, S., Abrams, M., Standridge, C. R., Abdulla, G., and Fox, E. A. Removal Policies in Network Caches for World Wide Web Documents. Proceedings of ACM SIGCOMM Conference (1996).
- [13] Cao, P., and Irani, S. Cost-Aware WWW Proxy Caching Algorithms. Proceedings of USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS) (December 1997).
- [14] Wooster, R., and Abrams, M. Proxy Caching that Estimates Page Load Delays. Proceedings of 6th International WWW Conference (1997).
- [15] Squid Web Proxy Cache. Available from : <http://www.squid-cache.org>
- [16] พรทวิ วัฒนวิฑูกร. การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการแทนที่ในพร็อกซีแคช. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2542)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รูปแบบของข้อมูลการใช้เว็บที่แคชได้บันทึกไว้

```
time elapsed remotehost code/status bytes method URL rfc931 peerstatus/peerhost type
```

โดย

time	-	เวลาที่แคชได้รับการร้องขอ
elapsed	-	เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการดึงข้อมูลมาให้ผู้ใช้ หน่วยเป็นมิลลิวินาที
remotehost	-	เลขไอพีของเครื่องผู้ใช้ที่ทำการร้องขอเอกสาร
code	-	รหัสการประมวลผลเอกสารที่ได้ของแคช
status	-	รหัสการตอบกลับ
bytes	-	ขนาดของเอกสาร
method	-	วิธีการร้องขอเอกสาร
URL	-	ที่อยู่ของเอกสารที่ทำการร้องขอ
rfc931	-	ชื่อแสดงของผู้ใช้ที่ทำการร้องขอเอกสาร (ปกติไม่มีการเก็บข้อมูล)
peerstatus	-	วิธีการส่งผ่านการร้องขอ
peerhost	-	เลขไอพีของปลายทางที่การร้องขอถูกส่งผ่านไป
type	-	ชนิดของเอกสารที่ทำการร้องขอ ตัวอย่างเช่น text image เป็นต้น

ตัวอย่างข้อมูลการใช้เว็บ

```
933526800.249 199 161.200.129.28 TCP_IMS_HIT/304 276 - http://www.symantec.com/graphics/red.gif - NONE/- binary/*
933527909.916 733 161.200.42.11 TCP_HIT/200 12245 - http://www.sasin.chula.ac.th/ - NONE/- text/*
```

ภาคผนวก ข

โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของแคช

1. รูปแบบของคำสั่งการเรียกใช้โปรแกรม

perl <ชื่อของโปรแกรม> <ชื่อของแฟ้มข้อมูลการใช้เว็บ> <ชื่อของแฟ้มข้อมูลที่เก็บผลลัพธ์>

ตัวอย่าง

```
perl lru2m0.pl log020899 result2m0
```

2. รูปแบบของผลลัพธ์

2.1 ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Infinite Cache Size

2.2 ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช หน่วยเป็นไบต์

2.3 ค่าฮิตเรโซที่ เกิดจากการพบเอกสารในแคชตัวเอง

2.4 ค่าฮิตเรโซที่ เกิดจากการพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

2.5 ค่าไบตฮิตเรโซที่ เกิดจากการพบเอกสารในแคชตัวเอง

2.6 ค่าไบตฮิตเรโซที่ เกิดจากการพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

2.7 จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมด

2.8 อายุเฉลี่ยของเอกสาร

ตัวอย่าง

Processing Simulation

LRU algorithm

-----Cache 1-----

1 19215239.65 0.283 0.080 0.236 0.085

-----Cache 2-----

1 19215239.65 0.297 0.065 0.257 0.077

Total request: 1142841 1153986

Average document age: 1886.67904733492

ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานของแคช

ในส่วนนี้จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานของแคชอย่างละเอียด โดยจะแบ่งผลออกตามวันที่ของข้อมูลการใช้เว็บที่นำมาประมวลผล และรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช ซึ่งจะแสดงผลของการทดลองในบทที่ 4 ก่อนตามด้วยผลการทดลองเพิ่มเติมในบทที่ 5

หมายเหตุ ในทุกๆตารางที่นำมาแสดงจะมีแกนตั้งเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์ของ Infinite Cache Size และแกนนอนเป็นค่าของจำนวนแคชในระบบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองบทที่ 4

1. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 1

1.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	30.65	29.3	27.35	27.58	26.8	26.24
2%	37.3	33.85	32.5	31.75	31.46	30.73	29.79
5%	42.1	39.6	38.57	38.025	37.64	37.33	36.93
10%	46.2	44.45	43.63	43.2	42.86	42.72	42.3
20%	50.3	49.1	48.57	48.325	48.04	47.8	47.67
30%	52.7	51.8	51.43	51.15	50.88	50.77	50.61

ค่าไปต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	25.9	23.3	22.1	20.45	20.54	20.07	19.59
2%	29.2	26.4	25.1	24.675	24.38	23.68	22.86
5%	33.7	31.5	30.67	30.025	29.84	29.48	29.23
10%	37.7	36.35	35.57	35.325	34.9	34.87	34.53
20%	41.7	40.7	40.13	40.125	39.84	39.35	39.27
30%	44.3	43.45	43.07	42.7	42.56	42.53	42.24

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1539938	1490451	1498851	1504657	1513119	1518937	1520496
2%	1539938	1484456	1492904	1501417	1502130	1512660	1516904
5%	1539938	1474875	1484401	1493118	1500743	1505848	1510313
10%	1539938	1468228	1477446	1487292	1495826	1501467	1506519
20%	1539938	1463631	1473051	1483105	1492528	1498456	1503942
30%	1539938	1461917	1470983	1481258	1490888	1496787	1502016

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1608.81	1138.48	996.59	775.18	832.22	752.04	705.99
2%	2543.83	1781.19	1577.07	1463.02	1444.98	1329.97	1190.79
5%	4909.59	3979.34	3656.26	3509.42	3399.01	3337.26	3221.09
10%	8842.81	7872.64	7497.83	7321.43	7129.87	7115.73	6851.68
20%	16419.15	15527.57	15237.17	15184.01	14992.4	14746.94	14660.09
30%	23916.21	23481.94	23253.93	23158.05	22995.39	22935.06	22743.47

1.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	31.4	29.8	29.15	29.16	28.2	27.84
2%	37.3	34.5	33.1	32.65	32.44	31.77	31.7
5%	42.1	40.15	39.1	38.75	38.52	37.88	37.64
10%	46.2	44.9	44.07	43.7	43.56	42.95	42.89
20%	50.3	49.3	48.8	48.475	48.24	47.97	47.84
30%	52.7	51.7	51.23	50.95	50.84	50.62	50.5

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	25.9	23.9	22.43	21.85	21.78	20.95	20.59
2%	29.2	26.8	25.53	25.2	24.94	24.17	24.17
5%	33.7	32	30.8	30.6	30.56	29.9	29.73
10%	37.7	36.5	35.67	35.375	35.06	34.57	34.43
20%	41.7	40.6	40.1	39.825	39.56	39.32	39.26
30%	44.3	43.25	42.7	42.425	42.24	42.05	41.81

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1539938	1360484	1354496	1363493	1375027	1390927	1399851
2%	1539938	1333042	1316111	1321000	1334807	1349666	1357593
5%	1539938	1283877	1247011	1243886	1253875	1268117	1278566
10%	1539938	1243762	1191120	1181679	1183662	1197441	1204512
20%	1539938	1207432	1139169	1121606	1121304	1127247	1134155
30%	1539938	1187824	1112521	1090548	1086749	1089943	1096340

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1608.81	1125.77	898.18	826.99	838.29	737.83	691.96
2%	2543.83	1744.48	1436.19	1354.88	1332.65	1208.71	1205.24
5%	4909.59	3824.9	3305.21	3177.51	3092.92	2835.98	2763.68
10%	8842.81	7431.67	6627.27	6307.16	6213.74	5741.77	5723.74
20%	16419.15	14134.15	13096.49	12527.15	12103.97	11692.27	11529.51
30%	23916.21	20727.53	19301.93	18550.21	18054.3	17538.1	17194.24

1.3 รูปแบบที่ 3

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	24.65	19.6	16.8	14.96	13.17	12.13
2%	37.3	27.55	22.57	19.75	17.6	15.82	14.77
5%	42.1	32.95	28.1	25.15	22.88	20.92	19.57
10%	46.2	37.6	32.8	29.725	27.58	25.43	24.13
20%	50.3	42	37.4	34.35	32	30.15	28.67
30%	52.7	44.4	39.83	36.825	34.56	32.77	31.21

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	25.9	17	12.73	10.575	9.16	7.65	7.11
2%	29.2	19.5	14.97	12.775	11.08	9.43	8.89
5%	33.7	24.55	19.4	16.975	15.08	13.15	12.31
10%	37.7	28.8	23.67	20.975	18.94	16.65	15.87
20%	41.7	32.6	27.77	25.05	22.46	20.8	19.51
30%	44.3	35	29.87	27.15	24.72	22.98	21.5

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1539938	769969	513312.7	384984.5	307987.6	256656.3	219991.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 2

2.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.4	34.95	31.67	31.35	30.14	28.73	27.67
2%	42	37.55	34.6	34.325	33.96	32.83	32.7
5%	46.1	43.05	41.2	41.1	39.98	39.75	39.74
10%	49.4	47.2	46.37	45.875	45.28	45.02	45.07
20%	53.5	51.95	51.33	50.975	50.62	50.4	50.43
30%	55.6	54.65	54.1	53.9	53.62	53.5	53.4

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.7	34.8	31.93	31.575	30.34	29.27	27.99
2%	41.1	37.1	34.6	34.275	33.84	32.93	32.8
5%	44.7	42.35	40.8	40.75	39.7	39.5	39.4
10%	47.3	45.65	45.07	44.675	44.16	44	43.99
20%	51	49.95	49.43	49.25	48.82	48.72	48.8
30%	53.2	52.4	51.93	51.8	51.44	51.43	51.16

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1659143	1598612	1611916	1619476	1627889	1633068	1637453
2%	1659143	1593463	1606250	1614904	1622437	1627342	1632261
5%	1659143	1585019	1596350	1605890	1615205	1621052	1625551
10%	1659143	1580057	1589928	1601428	1610580	1616260	1622065
20%	1659143	1575108	1585719	1598082	1606703	1613644	1619388
30%	1659143	1572638	1583913	1596027	1604988	1612043	1618120

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2906.65	1549.02	1031.29	1010.99	877.34	748.78	648.02
2%	3602.9	2210.18	1563.48	1544.01	1493.5	1318.81	1305.29
5%	6214.94	4660.44	3855.66	3944.64	3476.91	3421.3	3428.41
10%	9952.32	8324.35	7816.48	7597.69	7167.98	7067.24	7190.22
20%	17927.72	16407.01	15884.63	15723.16	15273.06	15130.51	15355.11
30%	25297.55	24245.51	23724.72	23853.57	23412.48	23366.53	23537.57

2.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.4	35.9	33.07	32.5	31.18	29.57	29.34
2%	42	38.2	35.53	35.3	34.62	33.62	33.67
5%	46.1	43.5	41.47	41.725	40.66	39.92	39.93
10%	49.4	47.4	46.3	46.125	45.24	44.95	44.8
20%	53.5	51.9	51.1	50.75	50.32	50.07	49.87
30%	55.6	54.35	53.8	53.55	53.18	52.97	52.86

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.7	35.6	33.1	32.475	31.38	29.85	29.67
2%	41.1	38.2	35.3	35.15	34.46	33.57	33.7
5%	44.7	42.75	40.8	41.325	39.82	39.38	39.4
10%	47.3	45.8	44.9	44.725	44.14	43.68	43.73
20%	51	49.75	48.83	48.6	48.12	47.95	47.86
30%	53.2	51.85	51.37	51.125	50.78	50.68	50.47

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1659143	1427475	1423792	1430510	1457790	1488314	1499760
2%	1659143	1405826	1392616	1390999	1409054	1432786	1440479
5%	1659143	1356386	1321096	1304684	1322189	1340016	1349503
10%	1659143	1323313	1246148	1247087	1255852	1265412	1275490
20%	1659143	1285427	1189484	1186484	1186834	1191378	1200180
30%	1659143	1262951	1157179	1150001	1146541	1149333	1156865

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2906.65	1560.81	1032.11	961.32	801.31	645.9	630.2
2%	3602.9	2114.66	1482.97	1439.73	1304.21	1145.16	1160.36
5%	6214.94	4436.96	3332.33	3470.51	3003.96	2736.2	2737.9
10%	9952.32	7633.19	6552.06	6409.86	5760.81	5519.71	5415.06
20%	17927.72	14299.79	12918.83	12340.57	11573.46	11242.7	10996.23
30%	25297.55	20697.98	19020.5	18264.66	17318.79	16887.96	16563.47

2.3 รูปแบบที่ 3

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.4	28.8	22.3	19.325	16.34	13.7	12.47
2%	42	30.95	24.6	21.875	19.3	16.98	15.9
5%	46.1	36.15	30	27.675	24.64	22.42	21.09
10%	49.4	39.85	34.63	31.725	28.9	26.97	25.43
20%	53.5	44.2	39.3	36.15	33.54	31.67	30.04
30%	55.6	46.8	42.03	38.875	36.3	34.43	32.77

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.7	28	22.1	19.475	15.82	13.23	11.26
2%	41.1	30.05	23.97	21.775	18.82	16.67	15.27
5%	44.7	34.7	28.57	26.575	23.38	21.48	20.14
10%	47.3	37.5	32.47	29.825	26.78	25.05	23.4
20%	51	41	36.13	33.125	30.36	28.6	26.94
30%	53.2	43.1	38.23	35.3	32.5	30.77	29.06

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1659143	829571.5	553047.7	414785.8	331828.6	276523.8	237020.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 3

3.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.4	32.65	28.7	27.9	27	26.77	26.26
2%	39.8	36.25	32.8	32.575	32.16	31.02	31.21
5%	44.5	41.8	39.77	39.675	38.98	38.68	38.36
10%	48.5	46.25	44.97	44.85	44.36	44.1	43.94
20%	52.5	51.2	50.37	50.2	49.84	49.58	49.43
30%	54.9	54.1	53.43	53.15	52.96	52.83	52.73

ค่าไปต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	29.4	25.6	24.725	23.98	23.73	23.26
2%	36.2	33.05	29.73	29.5	29.14	27.9	28.33
5%	41.1	38.55	36.53	36.65	36.04	35.75	35.33
10%	44.7	42.85	41.8	41.65	41.32	41.08	40.89
20%	48.3	47.3	46.47	46.275	46.1	45.83	45.8
30%	50.8	49.85	49.33	48.95	48.9	48.8	48.68

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1383790	1334466	1346557	1353516	1359135	1362512	1365341
2%	1383790	1329741	1339613	1346544	1352981	1357811	1360251
5%	1383790	1319793	1329287	1338158	1345855	1350835	1354600
10%	1383790	1313429	1323057	1332346	1340926	1346708	1350565
20%	1383790	1309112	1318022	1327575	1337552	1343703	1348254
30%	1383790	1306926	1315989	1326729	1335242	1342223	1347232

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2189.07	1327.55	862.99	791.53	715.02	709.3	670.5
2%	2978.5	2096.71	1456.84	1456.5	1404.02	1245.28	1289.98
5%	5502.39	4365.41	3570.2	3653.02	3425.47	3345.23	3252.78
10%	9441.92	8032.36	7233.28	7287.97	7060.02	6933.65	6910.1
20%	17003.38	15941.06	15127.1	15025.98	14911.59	14697.9	14605.2
30%	24997.81	24201.43	23468.26	23279.79	23292.1	23235.57	23144.52

3.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.4	33.35	29.7	29.025	28.14	28.1	27.54
2%	39.8	36.55	34.03	33.4	33.04	32.17	32.31
5%	44.5	42.1	40.2	39.825	39.32	39.15	38.56
10%	48.5	46.4	45.1	44.65	44.5	44.18	43.81
20%	52.5	50.95	50.07	49.65	49.48	49.25	49.06
30%	54.9	53.7	52.93	52.5	52.3	52.15	51.97

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	30.05	26.47	25.725	24.94	24.82	24.3
2%	36.2	33.3	30.77	30.1	29.86	28.83	29.19
5%	41.1	38.7	36.93	36.65	36.16	35.93	35.24
10%	44.7	43	41.93	41.55	41.36	41.03	40.57
20%	48.3	47	46.33	45.975	45.72	45.5	45.37
30%	50.8	49.45	48.67	48.35	48.2	48.05	47.91

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1383790	1214662	1229427	1241226	1259761	1264486	1276413
2%	1383790	1188952	1185972	1194282	1206846	1224664	1230298
5%	1383790	1146225	1121061	1119776	1132244	1140214	1157879
10%	1383790	1112427	1070870	1062638	1066900	1076703	1089014
20%	1383790	1077974	1019872	1006528	1006631	1013031	1021914
30%	1383790	1058126	991137	973872	971696	975753	983312

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2189.07	1294.99	833.87	748.48	680.55	668.88	629.08
2%	2978.5	1945.49	1429.85	1319.02	1264.87	1137.16	1159.57
5%	5502.39	4018.72	3189.01	3056.06	2849.24	2807.1	2610.09
10%	9441.92	7260	6144.21	5866.94	5696.37	5512.25	5268.22
20%	17003.38	13836.77	12214.55	11524.84	11235.34	10918.98	10679.33
30%	24997.81	20459.88	18322.54	17375.39	16897.4	16505.66	16127.5

3.3 รูปแบบที่ 3

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.4	25.75	18.47	15.45	12.92	11.88	10.54
2%	39.8	28.8	22.27	19.075	16.82	14.73	13.79
5%	44.5	34.1	28.03	24.875	22.24	20.45	18.69
10%	48.5	38.35	32.67	29.45	27.06	25.08	23.36
20%	52.5	42.95	37.6	34.225	31.78	29.78	28.13
30%	54.9	45.7	40.47	37.025	34.6	32.6	30.97

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	21.8	14.7	11.925	9.92	8.77	7.84
2%	36.2	24.65	18.1	15.05	13.28	11.15	10.51
5%	41.1	29.8	23.27	20.25	18.1	16.1	14.61
10%	44.7	33.55	27.37	24.25	22.28	20.03	18.54
20%	48.3	37.5	31.73	28.2	26.4	23.9	22.64
30%	50.8	39.8	34.13	30.625	28.78	26.35	25.03

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1383790	691895	461263.3	345947.5	276758	230631.7	197684.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 4

4.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.1	36.8	32.03	33.475	32.5	32.18	31.87
2%	48.7	43.05	39	39.85	37.98	37.83	37.81
5%	53.4	49.75	47.4	47.525	46.22	46.1	45.89
10%	56.8	54.45	53.1	52.9	52.1	52	51.79
20%	60.4	58.95	58.17	57.875	57.46	57.42	57.17
30%	62.4	61.45	60.9	60.575	60.3	60.27	60.1

ค่าไปต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.6	29.8	25.8	26.875	26.22	26.02	25.59
2%	41.5	35.85	31.87	32.85	31.08	31.12	31.13
5%	46.5	42.95	40.8	40.875	39.92	39.32	39.2
10%	49.6	47.5	46.17	46.125	45.48	45.28	45.16
20%	52.8	51.7	51.03	50.825	50.42	50.53	50.27
30%	54.6	53.85	53.27	53.175	52.88	52.82	52.77

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2135877	2098740	2109022	2111266	2115786	2118737	2120855
2%	2135877	2089744	2100063	2104528	2110337	2114507	2116283
5%	2135877	2081397	2089402	2097170	2104239	2107367	2110699
10%	2135877	2076581	2083927	2092620	2100024	2103566	2107179
20%	2135877	2072555	2079567	2089607	2096401	2101362	2105148
30%	2135877	2070781	2077876	2087525	2094166	2099356	2103795

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2128.27	921.57	604.13	678.66	635.09	610	585.71
2%	3272.13	1844.29	1254	1375.7	1174.9	1159.74	1160.18
5%	6037.53	4288.49	3410.35	3565.88	3139.68	3124.29	3101.29
10%	9729.41	8116.68	7210.98	7283.4	6784.35	6801.48	6716.2
20%	16829.39	15475.45	14760.61	14652.5	14179.14	14414.06	14170.22
30%	23553.17	22494.27	21946.61	21809.77	21445.66	21715.02	21448.83

4.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.1	38.2	35.27	36.325	34.08	34.82	34.61
2%	48.7	43.5	41.27	40.2	40.52	40.05	39.24
5%	53.4	50.15	48.17	48	47.28	46.83	46.59
10%	56.8	54.65	53.23	52.95	52.28	52.07	51.93
20%	60.4	58.85	58	57.65	57.16	57.08	56.91
30%	62.4	61.1	60.47	60.175	59.76	59.7	59.53

ค่าใบตัดสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.6	30.4	28	28.975	27.88	27.6	27.41
2%	41.5	35.95	33.87	32.9	33.04	32.7	31.96
5%	46.5	43.2	41.3	41.125	40.24	39.95	39.63
10%	49.6	47.4	46.3	46	45.36	45.18	45.01
20%	52.8	51.35	50.63	50.375	49.9	49.87	49.64
30%	54.6	53.5	52.8	52.55	52.22	52.22	51.87

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2135877	1877145	1881960	1864506	1911550	1911662	1925936
2%	2135877	1816698	1788364	1801629	1805061	1823815	1850576
5%	2135877	1739067	1681730	1665063	1679780	1696596	1712399
10%	2135877	1684549	1601685	1578563	1585624	1593622	1604906
20%	2135877	1630657	1523644	1492642	1491972	1493934	1503040
30%	2135877	1600188	1479250	1442489	1437316	1436896	1446006

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2128.27	932.16	684.07	739.74	598.91	626.62	607.67
2%	3272.13	1724.42	1336.13	1163.42	1216.82	1147.02	1051.99
5%	6037.53	3966.07	3130.33	3058.57	2823.06	2672.91	2596.95
10%	9729.41	7268.09	6145.12	5903.52	5449.8	5310.84	5218.86
20%	16829.39	13373.14	11888.07	11449.46	10694.46	10566.87	10347.05
30%	23553.17	18904.17	17075.45	16338.51	15419.94	15247.26	14881.53

4.3 รูปแบบที่ 3

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.1	29.8	22.47	20.675	16.58	15.62	14.23
2%	48.7	35	28.37	24.25	22.3	20.15	18.04
5%	53.4	41.65	35.2	31.975	28.92	26.62	24.86
10%	56.8	46.3	40.37	36.95	33.96	31.9	30.2
20%	60.4	50.85	45.43	41.925	39.04	37.08	35.36
30%	62.4	53.4	48.27	44.8	41.98	40.03	38.24

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.6	21.15	14.9	13.35	10.58	9.77	8.69
2%	41.5	25.75	19.37	15.975	14.64	12.93	11.19
5%	46.5	32.15	25.23	22.3	19.46	17.72	15.89
10%	49.6	36.5	29.8	26.625	23.58	21.8	20.19
20%	52.8	40.5	34.17	30.775	27.46	25.83	23.99
30%	54.6	42.85	36.63	33.125	29.86	28.18	26.14

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	2135877	1067939	711959	533969.3	427175.4	355979.5	305125.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ข้อมูลการใช้เว็บไซต์ 5

5.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.2	28.45	26.6	25.875	25.66	26.15	27.59
2%	41.2	34.5	33.27	31.6	32.18	31.27	32.7
5%	46	42.35	41.1	39.8	39.64	39.18	39.67
10%	49.7	47.15	46.17	45.375	44.88	44.85	44.81
20%	53.5	52	51.27	50.8	50.54	50.35	50.31
30%	55.7	54.7	54.1	53.675	53.54	53.38	53.21

ค่าไปต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	29.9	19.25	17.57	16.9	16.56	17	18.39
2%	34.6	26.3	25	22.8	23.42	22.5	24.1
5%	40.1	36.25	35.07	33.475	33.46	32.95	33.96
10%	43.6	41.05	40.4	39.525	38.78	39.15	38.8
20%	47.1	46	45.23	44.725	44.6	44.42	44.5
30%	49.2	48.2	47.7	47.225	47.32	47.22	46.93

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1597718	1580334	1583944	1586448	1588291	1588754	1590093
2%	1597718	1574683	1577395	1582170	1583985	1585746	1587504
5%	1597718	1568160	1572236	1577181	1580348	1582363	1584225
10%	1597718	1565486	1569471	1574055	1578041	1580243	1582844
20%	1597718	1563293	1566181	1571700	1576252	1578654	1581585
30%	1597718	1561983	1565581	1570949	1574784	1577430	1580731

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2104.57	698.93	579.8	543.68	538.75	580.84	720.12
2%	3406.25	1567.73	1423.16	1178.83	1301.26	1169.55	1435.03
5%	6262.89	4404.62	3987.52	3494.91	3501.2	3339.55	3605.56
10%	10133.31	8322.1	7827.44	7363.73	7057.18	7154.93	7196.28
20%	17872.52	16473.08	15706.15	15298.94	15178.94	15134.74	15186.18
30%	25680.69	24610.98	23884.18	23397.39	23497.93	23426.68	23372.17

5.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.2	30.65	27.7	28.675	27.14	27.13	29.27
2%	41.2	35.5	33.57	33.525	32.68	32.45	33.67
5%	46	42.85	41.4	40.95	40.1	39.65	40.14
10%	49.7	47.35	46.27	45.85	45.3	45	45.14
20%	53.5	52	51.17	50.85	50.34	50.18	50.13
30%	55.7	54.6	53.83	53.45	53.2	53	52.86

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	29.9	22	18.33	18.775	17.52	17.68	19.39
2%	34.6	27.15	24.5	24.5	23.46	23.08	24.7
5%	40.1	36.75	35.2	34.425	33.34	32.97	33.4
10%	43.6	41.4	40.47	39.95	39.5	39.08	39.26
20%	47.1	45.8	45.1	44.775	44.26	44.18	44.14
30%	49.2	47.95	47.37	47.1	46.9	46.63	46.59

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1597718	1460020	1460239	1460694	1472414	1476171	1468071
2%	1597718	1418974	1409284	1412339	1422511	1431463	1426558
5%	1597718	1358386	1328882	1330495	1342773	1356644	1358491
10%	1597718	1319994	1275222	1269672	1278936	1288362	1294518
20%	1597718	1280609	1220366	1206494	1211772	1218276	1226822
30%	1597718	1259496	1189094	1171643	1171484	1177436	1185501

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2104.57	851.96	578.29	674.01	537.73	538.49	717.59
2%	3406.25	1591.38	1240.79	1251.13	1112.48	1080.34	1276.6
5%	6262.89	4165.58	3466.21	3260.81	2926.18	2754.23	2951.95
10%	10133.31	7531.2	6590.67	6220.9	5804.98	5606.81	5737.91
20%	17872.52	14338.61	12887.92	12285.22	11516.91	11282.39	11219.03
30%	25680.69	21205.52	19158.23	18167.49	17381.5	16981.92	16733.68

5.3 รูปแบบที่ 3

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.2	23.1	17.3	15.325	13.04	11.97	12.13
2%	41.2	27.8	22.07	19.25	16.98	15.4	15.14
5%	46	34.9	29.17	25.675	22.9	20.87	19.89
10%	49.7	39.4	33.9	30.4	27.58	25.55	24.23
20%	53.5	44.1	38.77	35.35	32.48	30.47	28.84
30%	55.7	46.7	41.53	38.075	35.42	33.33	31.64

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	29.9	14	9	7.75	5.98	5.28	5.73
2%	34.6	18.05	12.8	10.625	8.86	7.57	7.91
5%	40.1	26.4	20.27	16.575	14.18	11.85	11.56
10%	43.6	30.95	24.97	21.275	18.3	16.25	15.2
20%	47.1	35.4	29.3	25.775	22.22	20.27	18.94
30%	49.2	37.65	31.73	28.025	24.86	22.67	21.01

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1597718	798859	532572.7	399429.5	319543.6	266286.3	228245.4

6. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 6

6.1 รูปแบบที่ 1

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	41.6	36.5	34.07	33.775	34.02	31.45	32.17
2%	43.9	39.65	38.2	37.65	37.72	35.62	36.1
5%	48	44.7	43.8	43.275	43.56	42.12	42.59
10%	51.4	49.35	48.3	48.1	47.96	47.33	47.46
20%	55	53.75	53.2	52.875	52.7	52.42	52.43
30%	57.1	56.2	55.8	55.575	55.4	55.15	55.17

ค่าปกติอัตรา

	1	2	3	4	5	6	7
1%	30.7	26.25	24.27	24.125	24.22	22.2	22.86
2%	32.7	29	27.93	27.525	27.52	25.83	26.21
5%	36.9	34.05	33.27	32.825	33.14	31.88	32.14
10%	40.3	38.35	37.4	37.35	37	36.6	36.9
20%	43.9	42.9	42.3	42.175	41.9	41.65	41.69
30%	46	45.4	44.9	44.875	44.6	44.37	44.49

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1894587	1836679	1847457	1856611	1861463	1868863	1870480
2%	1894587	1830416	1840139	1849980	1856651	1863388	1866286
5%	1894587	1820362	1829759	1841551	1848527	1855539	1860202
10%	1894587	1814097	1824158	1836091	1844134	1851266	1856130
20%	1894587	1809096	1818864	1831299	1841165	1848013	1853059
30%	1894587	1806926	1816493	1829281	1838836	1846352	1851462

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2364.6	1264.04	956.28	941.81	985.75	717.5	785.81
2%	3223.1	1957.97	1713.62	1631.17	1673.24	1292.52	1379.04
5%	5707.93	4126.42	3848.39	3690	3910.46	3297.62	3518.45
10%	9475.31	7963.11	7412.01	7403.78	7451.5	6957.08	7177.35
20%	17054.58	15893.94	15414.99	15321.27	15270.26	14873.16	15136.19
30%	24358.59	23512.67	23081.22	23092.72	23035.81	22632.39	22915.28

6.2 รูปแบบที่ 2

ค่าอัตรา

	1	2	3	4	5	6	7
1%	41.6	37.4	35.67	34.85	35.48	33.5	33.23
2%	43.9	40.45	39.43	38.65	38.86	37.27	37.39
5%	48	45.3	44.7	44.025	44.24	43.08	43.33
10%	51.4	49.5	48.77	48.425	48.48	47.78	47.96
20%	55	53.8	53.3	52.975	52.92	52.58	52.53
30%	57.1	56.05	55.67	55.425	55.26	55.05	54.97

ค่าเบ็ดเตล็ดเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	30.7	26.9	25.43	24.55	25.14	23.68	23.3
2%	32.7	29.7	28.77	28	28.22	27.17	27.01
5%	36.9	34.3	33.73	33.175	33.38	32.28	32.66
10%	40.3	38.45	37.63	37.2	37.24	36.63	36.77
20%	43.9	42.75	42.13	41.775	41.8	41.4	41.3
30%	46	45.05	44.57	44.35	44.24	44.02	43.97

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1894587	1629074	1606833	1612167	1613646	1648662	1658446
2%	1894587	1594880	1552931	1554524	1558030	1590932	1595702
5%	1894587	1543128	1477374	1470435	1466664	1491130	1493828
10%	1894587	1500409	1422510	1403015	1397681	1412152	1415212
20%	1894587	1455280	1339733	1332520	1325259	1331890	1336563
30%	1894587	1431477	1305613	1293296	1285066	1287697	1291975

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2364.6	1274.06	1017.98	888.84	977.57	749.88	712.57
2%	3223.1	1966.73	1714.66	1521.58	1572.1	1281.04	1283.48
5%	5707.93	3985.75	3677.71	3337.61	3455.48	2964.24	3051.95
10%	9475.31	7297.59	6662.44	6334.12	6416	5866.54	5968.07
20%	17054.58	14124.24	13011.29	12423.58	12321.44	11712.68	11648.82
30%	24358.59	20484.16	19173.77	18385.21	17947.21	17375.56	17151.98

6.3 รูปแบบที่ 3

ค่าเบ็ดเตล็ดเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	41.6	30.55	25.27	22.25	20.78	17.97	16.84
2%	43.9	33.5	28.77	25.6	23.8	21.07	20.1
5%	48	38.15	33.73	30.475	28.74	26.18	25.23
10%	51.4	42.2	37.53	34.525	32.62	30.38	29.29
20%	55	46.55	41.97	38.925	36.8	34.8	33.44
30%	57.1	48.9	44.43	41.425	39.16	37.27	35.86

ค่าไต่ราคา

	1	2	3	4	5	6	7
1%	30.7	19.6	15.27	12.725	11.7	9.7	8.74
2%	32.7	22	17.93	15	13.86	11.78	10.9
5%	36.9	26.05	22.13	18.55	17.38	15.22	14.51
10%	40.3	29.6	25.13	21.9	20.58	18.32	17.49
20%	43.9	33.6	28.8	25.375	23.78	21.65	20.53
30%	46	35.85	31.17	27.625	25.66	23.82	22.37

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1894587	947293.5	631529	473646.8	378917.4	315764.5	270655.3

7. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 7

7.1 รูปแบบที่ 1

ค่าไต่ราคา

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.3	43.2	41.23	38.075	39.04	38.37	36.66
2%	49.9	45.55	44.1	41.875	42.24	41.85	41.23
5%	53.8	50.3	49.77	47.875	48.04	48.05	47.26
10%	57.2	54.65	54	52.95	53.04	52.92	52.51
20%	60.7	59.05	58.63	58.05	57.98	57.8	57.59
30%	62.8	61.7	61.27	60.9	60.76	60.65	60.43

ค่าไต่ราคา

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.2	35.1	33	30.325	31.24	29.9	28.7
2%	42	37.7	36.07	34.175	34.36	33.85	33.31
5%	45.8	42.7	42.1	40.275	40.44	40.28	39.57
10%	49	46.8	46.1	45.275	45.32	45.18	45.04
20%	52.4	50.7	50.63	49.925	49.92	49.78	49.81
30%	54.5	53.5	53.27	52.875	52.76	52.67	52.33

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1643588	1576627	1586311	1600816	1605367	1611727	1616696
2%	1643588	1571807	1580716	1594650	1601099	1606940	1612128
5%	1643588	1564271	1572044	1587000	1594842	1601137	1606203
10%	1643588	1558019	1567382	1581858	1590599	1597091	1603215
20%	1643588	1553320	1563097	1577278	1587125	1593862	1600581
30%	1643588	1551656	1560976	1575899	1585657	1592638	1599244

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2842.52	1626.12	1302.43	910.18	1018.4	947.34	790.62
2%	3426.11	2197.38	1878.02	1484.16	1550.02	1498.49	1419.11
5%	5801.31	4152.66	4046.61	3347.56	3452.86	3498.82	3216.64
10%	9428.48	7677	7435.63	6764.02	6984.29	6966.85	6711.78
20%	16590.07	14702.08	14740.18	14043.25	14294.76	14108.33	13846.77
30%	23260.8	21986.29	21959.21	21416.5	21586.61	21514.3	21147.26

7.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.3	44.45	41.93	39.925	39.32	39.82	38.27
2%	49.9	46.45	44.83	43.575	43.42	42.62	42.4
5%	53.8	50.75	50.1	48.75	48.42	48.5	47.81
10%	57.2	54.8	54.3	53.2	53	53	52.47
20%	60.7	59.05	58.53	57.925	57.82	57.55	57.34
30%	62.8	61.5	61	60.45	60.34	60.13	59.94

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.2	36.3	33.53	31.8	31.2	30.92	29.86
2%	42	38.4	36.77	35.7	35.5	35.02	34.39
5%	45.8	43	42.17	40.825	40.46	40.47	40.3
10%	49	46.95	46.4	45.325	45.32	45.13	44.54
20%	52.4	50.75	50.33	49.775	49.72	49.4	49.29
30%	54.5	53.25	52.77	52.225	52.08	51.87	51.63

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1643588	1344069	1315041	1341784	1373274	1371871	1398306
2%	1643588	1323046	1279869	1282337	1295736	1319053	1330665
5%	1643588	1280803	1207564	1203120	1206374	1211944	1230558
10%	1643588	1242593	1152711	1136260	1130455	1133146	1146863
20%	1643588	1204540	1098615	1069591	1057559	1058438	1064263
30%	1643588	1183244	1069262	1033706	1018285	1016486	1019575

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2842.52	1683.09	1185.46	911.14	847.09	893.97	750
2%	3426.11	2174.8	1723.88	1474.96	1444.48	1298.76	1276.46
5%	5801.31	3896.11	3552.92	2986.51	2899.69	2869.26	2677.95
10%	9428.48	7000.72	6449.36	5648.85	5563.99	5469.75	5140.57
20%	16590.07	13034.52	12187.32	11130.89	10943.94	10537.48	10261.79
30%	23260.8	18936.12	17598.34	16260.95	15955.83	15466.32	15083.01

7.3 รูปแบบที่ 3

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.3	37.25	30.53	25.975	22.6	21.63	19.1
2%	49.9	39.25	33.53	29.725	27.14	24.65	23.21
5%	53.8	43.55	38.87	34.825	32.4	30.72	28.73
10%	57.2	47.7	43.17	39.35	37.14	35.35	33.47
20%	60.7	52.05	47.6	44.15	41.94	40.02	38.41
30%	62.8	54.6	50.17	46.825	44.64	42.73	41.17

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.2	27.6	20.5	16.275	13.42	12.67	10.9
2%	42	29.75	23.37	19.4	17.1	15.08	14.03
5%	45.8	33.9	28.87	23.975	21.56	20.05	18.03
10%	49	37.85	33.1	28.3	25.96	24.37	22.26
20%	52.4	41.7	37	32.725	30.5	28.6	26.84
30%	54.5	44.1	39.43	35.1	32.92	31.08	29.43

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1643588	821794	547862.7	410897	328717.6	273931.3	234798.3

8. ข้อมูลการใช้จ่ายวันที่ 8

8.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	52.3	45.5	42.43	41.625	39.58	36.83	35.06
2%	53.1	47.35	44.5	44.025	42.82	40.87	39.54
5%	54.9	50.6	48.73	48.5	47.82	46.67	46.09
10%	56.5	53.45	52.7	52.225	51.78	51.1	51
20%	58.7	57.25	56.67	56.35	56.14	55.75	55.69
30%	60.2	59.1	58.8	58.675	58.42	58.22	58.13

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.4	39.4	35.77	35.175	33.28	30.93	29.36
2%	46.3	41.2	38.37	37.85	36.44	34.73	33.41
5%	48.2	44.1	42.3	42.175	41.66	40.62	39.64
10%	49.6	47.05	46.43	45.575	45.28	44.75	44.61
20%	52.1	50.55	49.97	49.8	49.9	49.4	49.24
30%	53.8	53.05	52.67	52.6	52.28	52.18	52.11

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1656890	1592726	1604516	1613213	1621191	1629420	1633560
2%	1656890	1589278	1600939	1610405	1617984	1625735	1629868
5%	1656890	1586034	1596153	1606149	1613434	1621026	1625102
10%	1656890	1583199	1592070	1603115	1610610	1617780	1622346
20%	1656890	1580480	1589566	1600286	1608317	1615519	1619922
30%	1656890	1578875	1588880	1599369	1607460	1614767	1619039

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	6320.91	2727.96	1917.31	1744.02	1474	1047.37	828.22
2%	7186.21	3446.98	2592.92	2367.02	2165.09	1698.31	1440.41
5%	9468.47	5579.67	4548.64	4528.04	4222.37	3663.29	3469.23
10%	12475.55	8584.14	8022.22	7919.55	7517.88	6967.48	6947.7
20%	20309.04	16422.39	15696.31	15390.6	15240.52	14559.94	14712.33
30%	27262.55	24180.02	23562.77	23570.02	23113.42	22572.62	22542.81

8.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	52.3	45.95	44.13	42.125	41.44	39.02	37.1
2%	53.1	47.95	45.8	44.625	43.76	42.25	40.66
5%	54.9	51.05	49.6	48.65	48.18	47.37	46.43
10%	56.5	54.05	53.03	52.5	52.08	51.55	51.07
20%	58.7	56.95	56.37	55.925	55.82	55.42	55.26
30%	60.2	58.75	58.3	58.05	57.8	57.53	57.43

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.4	39.75	37.4	35.575	34.8	32.32	30.8
2%	46.3	41.6	39.2	38.325	36.96	35.72	34.17
5%	48.2	43.8	42.9	42.3	41.8	40.88	40.27
10%	49.6	47.35	46.5	45.825	45.34	45	44.46
20%	52.1	50.1	49.6	49.225	49.18	48.82	48.43
30%	53.8	52.55	51.63	51.75	51.26	50.92	50.8

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1656890	1360252	1318808	1337796	1355571	1405298	1436104
2%	1656890	1336898	1294755	1299446	1316520	1353022	1382532
5%	1656890	1304852	1244940	1236881	1243424	1264340	1287753
10%	1656890	1276426	1199824	1180527	1181965	1194159	1207395
20%	1656890	1247417	1155249	1130046	1122542	1129564	1136107
30%	1656890	1231066	1130745	1099463	1090262	1093201	1098587

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1	6320.91	2646.36	1952.29	1489.05	1447.1	1031.9	805.86
2	7186.21	3339.04	2525.81	2123.62	1964.75	1547.69	1288.91
5	9468.47	5238.79	4221.09	3693.05	3531.56	3123.41	2753.91
10	12475.55	8051.83	7018.55	6461.28	6095.8	5653.44	5270.7
20	20309.04	13778.55	12477.85	11519.7	11225.09	10457.91	10209.63
30	27262.55	20371.31	18372.77	17137.94	16587.33	15570.46	15329.43

8.3 รูปแบบที่ 3

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	52.3	37.8	31.97	27.125	24.18	20.07	17.46
2%	53.1	40.05	33.77	29.675	26.6	23.22	20.67
5%	54.9	43.35	37.63	33.85	31.18	28.52	26.19
10%	56.5	46.5	41.23	37.825	35.16	32.8	30.91
20%	58.7	49.65	44.9	41.5	39.18	36.92	35.31
30%	60.2	51.55	46.97	43.775	41.38	39.28	37.67

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.4	28.5	22.27	18.15	15.82	12.57	10.54
2%	46.3	30.6	23.87	20.375	17.46	14.8	12.57
5%	48.2	33.25	27.1	23.6	21.1	18.72	16.33
10%	49.6	36.45	30.33	26.95	24.36	21.85	19.97
20%	52.1	39.3	33.7	30.375	28.06	25.5	23.7
30%	53.8	41.35	35.73	32.35	29.92	27.4	25.74

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1656890	828445	552296.7	414222.5	331378	276148.3	236698.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. ข้อมูลการใช้เว็บไซต์ 9

9.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	51.2	45.35	41.7	39.475	37.7	36.93	35.8
2%	51.9	46.9	43.93	42.425	40.32	39.88	39.46
5%	53.5	49.7	47.7	46.85	45.66	45.08	44.79
10%	55.5	52.75	51.4	50.7	50	49.63	49.31
20%	58	56.2	55.43	54.975	54.62	54.25	54.01
30%	59.6	58.35	57.8	57.45	57.18	56.97	56.83

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.8	40.8	37.13	35.15	33.32	32.35	31.31
2%	46.3	42.3	39.6	38.025	36.1	35.5	35.06
5%	47.7	44.6	42.87	42.4	41.3	40.83	40.44
10%	49.5	47.2	46.17	45.75	45.06	44.67	44.5
20%	51.6	50.15	49.5	49.25	49	48.63	48.54
30%	53.2	52.05	51.63	51.325	51.16	50.88	50.8

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1958497	1884232	1898096	1910464	1919377	1926170	1931157
2%	1958497	1881602	1893578	1906305	1915671	1922180	1927206
5%	1958497	1877831	1889055	1900383	1910144	1917467	1922593
10%	1958497	1874457	1885661	1896389	1906461	1914197	1918669
20%	1958497	1869617	1880968	1893711	1903129	1911315	1915948
30%	1958497	1868229	1878803	1891418	1901622	1909389	1914458

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	7326.02	3767.8	2465.37	1948.07	1549.98	1440.58	1241.46
2%	7954.81	4589.07	3294.01	2829.49	2202.48	2104.57	1989.78
5%	9922.07	6702.65	5488.66	5108.49	4497.95	4227.09	4112.9
10%	13449.13	10324.27	9216.79	8702	8144.68	7854.21	7668.92
20%	20252.34	17452.57	16544.99	16105.87	15597.05	15252.08	14960.99
30%	26519.16	24199.53	23471.9	23091.79	22711.85	22312.22	22140.34

9.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	51.2	46.1	42	40.775	38.52	38.02	36.16
2%	51.9	47.4	44.13	43.125	41.1	40.13	39.61
5%	53.5	50	47.67	47.15	46.2	45.23	44.81
10%	55.5	52.7	51.17	50.675	50.08	49.43	49.13
20%	58	56.05	55.1	54.625	54.18	53.77	53.54
30%	59.6	58.05	57.23	56.9	56.62	56.28	56.11

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.8	41.3	37.33	36.075	34.08	33.08	31.09
2%	46.3	42.45	39.6	38.55	36.56	35.53	34.86
5%	47.7	44.8	42.83	42.5	41.68	40.78	40.4
10%	49.5	47.1	45.77	45.375	44.92	44.3	44.06
20%	51.6	49.85	49.03	48.675	48.36	48	47.77
30%	53.2	51.7	50.83	50.6	50.32	50.07	49.94

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1958497	1598232	1585744	1591539	1630747	1654823	1697216
2%	1958497	1583295	1551243	1552154	1590161	1619044	1638145
5%	1958497	1555577	1500761	1489042	1503101	1527249	1545184
10%	1958497	1526546	1451369	1434364	1439394	1455608	1468795
20%	1958497	1489027	1394088	1369321	1368191	1377405	1387952
30%	1958497	1467086	1360232	1328545	1323752	1329949	1338329

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	7326.02	3670.41	2188.28	1885.64	1395.29	1303.85	1026.88
2%	7954.81	4356.93	2902.93	2560.92	1955.86	1735.23	1619.38
5%	9922.07	6232.68	4633.52	4333.68	3850.56	3413.75	3262.43
10%	13449.13	9122.49	7492.18	6992.71	6476.28	5976.93	5711.12
20%	20252.34	15122.45	13147.93	12354.6	11659.54	11006.7	10697.04
30%	26519.16	20529.26	18152.62	17300.03	16522.59	15801.15	15442.86

9.3 รูปแบบที่ 3

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	51.2	38.4	30.2	26.45	22.6	20.35	17.49
2%	51.9	39.7	32.4	28.7	24.8	22.2	20.49
5%	53.5	42.25	35.73	32.4	29.48	26.9	25.11
10%	55.5	44.95	39.1	35.675	33	30.65	28.99
20%	58	48.45	43.07	39.625	37.02	34.82	33.16
30%	59.6	50.55	45.4	42.1	39.54	37.38	35.74

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.8	29.75	21	17.45	13.74	12.22	9.9
2%	46.3	30.85	22.93	19.3	15.4	13.53	11.93
5%	47.7	33.2	25.8	22.475	19.34	17.05	15.4
10%	49.5	35.45	28.5	24.95	21.98	19.82	18.16
20%	51.6	38.3	31.67	28.05	24.94	22.8	21.06
30%	53.2	40.15	33.43	29.975	26.84	24.82	23.01

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1958497	979248.5	652832.3	489624.3	391699.4	326416.2	279785.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 10

10.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.6	42.45	39.9	38.025	36.7	36.9	35.46
2%	50.7	45.6	43.9	42.375	42	41.52	40.34
5%	54.6	51.2	50.23	48.675	48.26	48.23	47.6
10%	57.8	55.5	54.57	53.7	53.46	53.28	53
20%	61.3	59.75	59.17	58.7	58.46	58.27	58.1
30%	63.2	62.2	61.73	61.4	61.22	61.07	60.94

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.2	33.45	31.37	29.55	28.28	28.43	27.34
2%	41.6	36.85	35.37	33.95	33.5	33.13	32.03
5%	45.6	42.5	41.73	40	39.52	39.7	39.1
10%	49	46.75	45.93	45.05	44.8	44.7	44.31
20%	52.5	50.95	50.23	49.85	49.54	49.35	49.23
30%	54.3	53.25	52.9	52.55	52.44	52.27	52.16

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1914448	1856945	1866932	1878121	1884684	1888275	1892266
2%	1914448	1851575	1860482	1871156	1878392	1883166	1887509
5%	1914448	1843474	1852683	1863663	1871522	1877092	1882446
10%	1914448	1838889	1847794	1858974	1867873	1874230	1878515
20%	1914448	1834672	1843482	1855123	1864746	1870590	1876970
30%	1914448	1832742	1841662	1853418	1862808	1868923	1875438

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2723.41	1449.92	1137.8	952.48	807.51	839.29	738.42
2%	3485.11	2132.9	1827.04	1590.67	1530.23	1462.37	1316.63
5%	5711.76	4306.5	4056.55	3471.74	3381.2	3416.53	3222.12
10%	9091.09	7660.06	7240.17	6760.26	6740.34	6676.25	6533.05
20%	15216	13730.3	13412.19	13051.38	12838.99	12825.23	12614.23
30%	20572.05	19513.92	19410.53	19060.42	18924.86	18994.87	18781.38

10.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.6	43.9	41.87	40.125	38.52	39.13	37.33
2%	50.7	46.8	44.8	43.9	42.76	42.63	41.79
5%	54.6	51.6	50.77	49.4	48.86	48.77	48.19
10%	57.8	55.85	55.07	54.1	53.66	53.53	53.17
20%	61.3	59.75	59.2	58.6	58.34	58.27	57.9
30%	63.2	62.05	61.53	61.025	60.78	60.68	60.41

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.2	34.75	32.77	31.125	29.64	30.18	28.67
2%	41.6	37.8	35.9	34.95	33.74	33.68	32.9
5%	45.6	42.7	42.07	40.5	39.96	39.97	39.44
10%	49	47	46.3	45.35	44.84	44.87	44.44
20%	52.5	50.85	50.33	49.675	49.52	49.28	49
30%	54.3	53.25	52.67	52.275	51.82	51.72	51.53

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1914448	1598383	1575018	1601664	1635308	1641609	1675965
2%	1914448	1566827	1527175	1535122	1561904	1580966	1603208
5%	1914448	1514210	1436319	1438371	1447454	1459655	1479488
10%	1914448	1466233	1373251	1356671	1356947	1363941	1377192
20%	1914448	1423431	1310847	1281193	1272890	1275398	1285475
30%	1914448	1399406	1276194	1238536	1226869	1226996	1234609

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2723.41	1535.68	1170.77	969.65	786.15	840.22	688.99
2%	3485.11	2181.92	1693.21	1524.32	1309.42	1294.5	1184.85
5%	5711.76	3946.63	3630.24	3052.65	2863.39	2817.86	2643.18
10%	9091.09	6984.52	6339.73	5637.52	5388.35	5290.99	5066.43
20%	15216	12124.97	11251.34	10366.76	10013.34	9849.81	9501.18
30%	20572.05	16981.16	15757.79	14641.47	14107.99	13810.31	13328.91

10.3 รูปแบบที่ 3

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.6	36.25	29.67	24.875	21.22	19.88	17.31
2%	50.7	39.1	32.73	28.725	25.3	23.15	21.14
5%	54.6	43.9	38.83	34.4	31.58	29.53	27.47
10%	57.8	48.3	43.2	39.3	36.6	34.63	32.76
20%	61.3	52.45	47.63	44.025	41.48	39.57	37.69
30%	63.2	54.9	50.17	46.75	44.24	42.3	40.5

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.2	25.9	20.13	16.225	13.14	12.23	10.3
2%	41.6	28.55	22.73	19.125	16.12	14.52	12.89
5%	45.6	33	28.27	23.65	20.9	19.28	17.44
10%	49	37.35	32.23	27.925	25.1	23.38	21.57
20%	52.5	41.35	36.1	32.225	29.32	27.38	25.41
30%	54.3	43.95	38.47	34.75	31.74	29.63	27.69

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%-30%	1914448	957224	638149.3	478612	382889.6	319074.7	273492.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองบทที่ 5

1. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 1

1.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	34.1	34.33	34.3	33.98	34.5	35.2
2%	37.3	37.65	37.2	37.7	37.1	36.93	37.29
5%	42.1	42.1	42.17	41.875	42.04	42.12	42.1
10%	46.2	46.2	46.13	46.125	46.14	46.17	46.17
20%	50.3	50.3	50.27	50.3	50.28	50.28	50.29
30%	52.7	52.7	52.7	52.675	52.68	52.67	52.69

ค่าไบต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	25.9	26.25	26.3	26.325	25.78	26.25	26.94
2%	29.2	29.6	28.93	29.65	28.86	28.7	29.04
5%	33.7	33.75	33.83	33.4	33.52	33.7	33.66
10%	37.7	37.6	37.6	37.55	37.54	37.6	37.59
20%	41.7	41.85	41.73	41.725	41.78	41.68	41.76
30%	44.3	44.3	44.33	44.325	44.22	44.32	44.24

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1539938	1484383	1490213	1497875	1504352	1508617	1511688
2%	1539938	1478329	1485844	1493270	1500636	1506152	1509881
5%	1539938	1471348	1478955	1488683	1496372	1501678	1506343
10%	1539938	1466799	1474646	1484699	1493422	1499392	1504052
20%	1539938	1462427	1470966	1481515	1490576	1496517	1501880
30%	1539938	1460975	1469562	1480096	1489531	1495458	1500892

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1608.81	1682.28	1734.3	1731	1633.59	1764.32	1936.82
2%	2543.83	2639.48	2492.24	2695.41	2446.2	2431.17	2563.87
5%	4909.59	4918.69	4948.45	4778.8	4884.93	4947.41	4952.87
10%	8842.81	8845.16	8824.46	8810.07	8798.25	8830.23	8870.99
20%	16419.15	16412.62	16417.09	16389.18	16433.07	16402.77	16430.52
30%	23916.21	23920.13	23918.04	23893.57	23859.49	23924.3	23852.53

1.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	33.3	32.97	33.075	33.04	33.78	34.27
2%	37.3	36.65	35.93	36.4	35.86	35.53	36.39
5%	42.1	41.1	40.73	40.85	40.48	40.3	40.56
10%	46.2	45.5	45	44.975	44.6	44.32	44.31
20%	50.3	49.5	49.03	48.825	48.62	48.53	48.3
30%	52.7	51.8	51.3	51.1	50.92	50.82	50.61

ค่าไบต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	25.9	25.45	25.2	25.3	25.14	25.63	26.21
2%	29.2	28.6	27.87	28.375	27.78	27.5	28.34
5%	33.7	32.75	32.53	32.65	32.22	32.17	32.3
10%	37.7	37	36.5	36.6	35.88	35.73	35.67
20%	41.7	40.8	40.3	40.175	40	39.75	39.66
30%	44.3	43.3	42.77	42.55	42.38	42.28	42.03

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1539938	1337923	1308752	1304733	1311925	1314891	1318395
2%	1539938	1306212	1272066	1265596	1275982	1287212	1292727
5%	1539938	1268946	1219759	1208758	1212208	1221494	1229240
10%	1539938	1232490	1171304	1155689	1157426	1165761	1172175
20%	1539938	1199998	1126991	1106627	1103383	1107100	1115353
30%	1539938	1181612	1102621	1078244	1073259	1075438	1082697

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1608.81	1467.11	1380.31	1390.2	1397.8	1519.53	1566.97
2%	2543.83	2324.47	2089.03	2162.19	2045.16	1950.4	2081.26
5%	4909.59	4286.77	4021.28	4024.1	3876.03	3776.19	3824.66
10%	8842.81	7956.48	7360.08	7249.66	6915.87	6677.71	6664.6
20%	16419.15	14402.03	13502.3	12948.13	12626.64	12419.59	12047.14
30%	23916.21	20794.44	19373.21	18688.46	18200.43	17855.03	17317.55

2. ข้อมูลการใช้เว็บไซต์ 2

2.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.4	40.4	40.33	40.15	40.64	40.65	40.41
2%	42	42.05	42.07	42.15	42.16	42.28	42.01
5%	46.1	46.05	46.03	46.075	46.06	46.03	46.03
10%	49.4	49.4	49.43	49.375	49.38	49.4	49.49
20%	53.5	53.5	53.43	53.45	53.48	53.42	53.43
30%	55.6	55.55	55.6	55.55	55.54	55.58	55.54

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.7	39.65	39.53	39.3	39.84	39.77	39.5
2%	41.1	41.15	41.13	41.225	41.1	41.35	40.97
5%	44.7	44.7	44.73	44.775	44.66	44.65	44.64
10%	47.3	47.35	47.37	47.275	47.4	47.3	47.53
20%	51	51.1	51	51.05	51.02	50.98	51.06
30%	53.2	53.2	53.17	53.125	53.2	53.17	53.16

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1659143	1589077	1597199	1606977	1614568	1619867	1624808
2%	1659143	1585505	1594855	1604039	1613049	1618178	1623612
5%	1659143	1580705	1590048	1601105	1609912	1615428	1621064
10%	1659143	1577228	1586809	1598985	1607238	1613759	1619394
20%	1659143	1573822	1583715	1596011	1605445	1611699	1617437
30%	1659143	1572342	1582470	1594822	1604445	1610971	1616874

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2906.65	2895.84	2881.74	2804.25	2989.38	3001.99	2927.54
2%	3602.9	3632.14	3617.34	3675.6	3667.5	3740.67	3607.95
5%	6214.94	6224.42	6215.75	6236.89	6218.2	6221.6	6227.79
10%	9952.32	9972.77	10033.72	9971.57	9986	10014.11	10071.66
20%	17927.72	17966.77	17953.14	17957.8	17939.12	17949.72	17948.16
30%	25297.55	25302.07	25219.77	25284.93	25273.81	25221.94	25340.23

2.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.4	39.2	38.9	38.8	38.46	38.22	38.36
2%	42	40.9	40.73	40.25	40.14	39.93	39.93
5%	46.1	45	44.43	44.225	43.88	43.85	43.53
10%	49.4	48.3	47.8	47.45	47.18	47.07	46.86
20%	53.5	52.2	51.7	51.35	51.06	50.95	50.74
30%	55.6	54.55	54.03	53.8	53.54	53.4	53.24

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.7	38.65	38.23	38.225	37.78	37.72	37.69
2%	41.1	40.2	39.67	39.65	39.44	39.15	39.11
5%	44.7	43.9	43.47	43.375	43.04	42.92	42.67
10%	47.3	46.55	46.03	45.875	45.6	45.47	45.4
20%	51	50.05	49.6	49.025	48.82	48.73	48.64
30%	53.2	52.1	51.6	51.375	51.14	51.08	50.91

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1659143	1388190	1340314	1331934	1339709	1348894	1358334
2%	1659143	1371212	1317518	1310399	1313531	1323185	1332333
5%	1659143	1336521	1274772	1257149	1260316	1266971	1278474
10%	1659143	1307675	1235340	1215644	1215336	1221036	1229804
20%	1659143	1273467	1188789	1165672	1161395	1164605	1172962
30%	1659143	1254454	1162058	1133899	1127878	1130053	1136767

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2906.65	2456.44	2315.35	2263.63	2151.52	2104.37	2118.24
2%	3602.9	3110.55	2967.28	2782.74	2721.59	2638.89	2635.96
5%	6214.94	5349.97	4921.51	4816.89	4585.58	4529.26	4350.68
10%	9952.32	8543.67	7911.24	7626.02	7276.96	7156.46	6972.5
20%	17927.72	15130.49	14000.56	13245.82	12705.17	12482.56	12147.42
30%	25297.55	21300.76	19712.16	18911.61	18123.28	17776.3	17349.72

3. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 3

3.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.4	37.5	37.07	37.425	37.42	37.15	37.76
2%	39.8	40	39.8	39.875	39.82	40.3	40
5%	44.5	44.4	44.67	44.575	44.42	44.68	44.44
10%	48.5	48.5	48.5	48.45	48.42	48.43	48.46
20%	52.5	52.45	52.47	52.525	52.48	52.48	52.51
30%	54.9	54.95	54.97	54.925	54.94	54.92	54.99

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	33.75	33.53	33.775	33.76	33.3	34.17
2%	36.2	36.5	36.23	36.3	36.16	36.9	36.56
5%	41.1	40.85	41.3	41.15	40.94	41.25	41.3
10%	44.7	44.8	44.7	44.675	44.68	44.65	44.63
20%	48.3	48.3	48.33	48.325	48.36	48.28	48.37
30%	50.8	50.75	50.67	50.725	50.74	50.77	50.74

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1383790	1326146	1333149	1340798	1347311	1352360	1355151
2%	1383790	1322086	1329224	1337725	1344661	1349389	1353124
5%	1383790	1315841	1323576	1332829	1340426	1346253	1350389
10%	1383790	1311107	1319327	1329166	1337508	1343598	1347879
20%	1383790	1307270	1316254	1326700	1335064	1341765	1346521
30%	1383790	1306321	1315017	1325944	1333844	1340999	1345913

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2189.07	2219.42	2126.09	2212.82	2209.85	2142.61	2288.24
2%	2978.5	3057.47	2981.18	2995	2986.43	3141.1	3031.07
5%	5502.39	5440.73	5646.35	5579.83	5467.39	5651.21	5514.53
10%	9441.92	9435.97	9447.21	9395.62	9406.11	9424.05	9459.29
20%	17003.38	17029.48	16992.11	17026.92	16999.02	17000.21	16990.9
30%	24997.81	24959.83	24934.11	24959.29	24930.46	24903.71	24974.38

3.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิประโยชน์

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.4	36.25	35.8	36.125	35.64	35.48	35.67
2%	39.8	38.95	38.5	38.025	37.98	37.95	37.77
5%	44.5	43.25	42.83	42.5	42.18	42.25	42.24
10%	48.5	47.3	46.63	46.275	46.06	45.93	45.84
20%	52.5	51.2	50.6	50.3	50.06	49.98	49.86
30%	54.9	53.8	53.17	52.825	52.6	52.42	52.29

ค่าไปต์สิทธิประโยชน์

	1	2	3	4	5	6	7
1%	33.8	32.75	32.2	32.475	32.24	31.88	32
2%	36.2	35.4	35	34.475	34.54	34.62	34.2
5%	41.1	40.05	39.63	39.275	38.7	39.07	39.16
10%	44.7	43.7	43.2	42.825	42.72	42.53	42.46
20%	48.3	47.2	46.7	46.475	46.32	46.18	46.17
30%	50.8	49.6	48.9	48.55	48.46	48.25	48.23

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1383790	1185518	1156713	1156973	1161995	1173126	1185055
2%	1383790	1164544	1128353	1132521	1134770	1142732	1155152
5%	1383790	1129673	1083662	1077960	1083078	1088804	1099398
10%	1383790	1099551	1044356	1033318	1034581	1042225	1051080
20%	1383790	1070108	1004676	987517	986261	990751	999474
30%	1383790	1052452	979971	959808	956638	960197	967420

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2189.07	1886.68	1778.36	1791.07	1717.22	1689.67	1690.22
2%	2978.5	2639.9	2483.96	2307.5	2313.71	2310.18	2244.83
5%	5502.39	4697.72	4388.06	4191.13	4011.19	4050.52	4022.42
10%	9441.92	8007.14	7402.12	7025.36	6865.49	6714.47	6625.27
20%	17003.38	14257.34	13035.6	12440.08	12106.63	11854.71	11610.67
30%	24997.81	20681.42	18889.82	17971.27	17468.33	16987.16	16674.08

4. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 4

4.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.1	45.55	44.73	45.175	45.66	45.8	45.27
2%	48.7	48.85	48.63	48.725	48.6	48.77	48.99
5%	53.4	53.4	53.37	53.375	53.38	53.45	53.41
10%	56.8	56.85	56.8	56.775	56.8	56.83	56.76
20%	60.4	60.45	60.4	60.375	60.42	60.4	60.37
30%	62.4	62.35	62.33	62.375	62.38	62.37	62.36

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.6	38.15	37.07	37.575	38.06	37.93	37.49
2%	41.5	41.6	41.47	41.5	41.32	41.5	41.51
5%	46.5	46.4	46.37	46.375	46.32	46.33	46.47
10%	49.6	49.6	49.53	49.525	49.56	49.6	49.5
20%	52.8	52.85	52.87	52.85	52.86	52.85	52.81
30%	54.6	54.6	54.63	54.625	54.64	54.63	54.66

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2135877	2087618	2093916	2100028	2104764	2108509	2111135
2%	2135877	2082707	2088553	2096680	2102182	2105807	2109086
5%	2135877	2076966	2083270	2092414	2098817	2102826	2106506
10%	2135877	2074303	2080597	2089837	2096661	2100983	2105326
20%	2135877	2071737	2078117	2087634	2094255	2099706	2103309
30%	2135877	2070026	2076634	2086499	2093059	2098677	2102561

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2128.27	2240.57	2018.89	2149.54	2264.94	2288.7	2165.13
2%	3272.13	3307.74	3238	3271.14	3235.04	3280.27	3363.26
5%	6037.53	6007.64	6011.16	5983.91	5990.97	6027.74	6023.91
10%	9729.41	9756.53	9726.52	9703.69	9749.67	9767.63	9694.47
20%	16829.39	16821.44	16855.02	16818.15	16819.89	16863.55	16844.39
30%	23553.17	23571.23	23562.61	23579.61	23594.24	23552.35	23601.12

4.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.1	44.4	43.87	43.75	43.26	44.47	43.67
2%	48.7	47.3	46.83	46.475	45.9	46.62	46.4
5%	53.4	52.1	51.43	51.25	50.82	50.73	50.84
10%	56.8	55.5	54.9	54.6	54.3	54.17	54.13
20%	60.4	59.1	58.53	58.275	58	57.82	57.77
30%	62.4	61.3	60.77	60.425	60.14	60.02	59.87

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.6	36.9	36.27	36.175	35.52	36.62	35.74
2%	41.5	40.2	39.37	39.25	38.4	39.23	38.91
5%	46.5	45.15	44.57	44.35	43.88	43.73	43.86
10%	49.6	48.3	47.77	47.45	47.3	46.98	47.06
20%	52.8	51.7	51.2	50.925	50.68	50.5	50.53
30%	54.6	53.7	53.1	52.775	52.62	52.45	52.33

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2135877	1799081	1745492	1737614	1747430	1746362	1774428
2%	2135877	1760779	1693979	1678989	1691317	1699857	1723131
5%	2135877	1703534	1614669	1592477	1596211	1607354	1619313
10%	2135877	1662721	1559427	1530558	1529774	1535800	1545829
20%	2135877	1616570	1498328	1463467	1456777	1459367	1467125
30%	2135877	1590158	1460837	1420964	1410662	1411428	1419421

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2128.27	1888.65	1760.59	1730.55	1611.72	1794.67	1654.43
2%	3272.13	2723.13	2519.96	2438.69	2252.23	2356.5	2310.87
5%	6037.53	5029.99	4622.15	4474.99	4218.52	4131.83	4152.33
10%	9729.41	8147.78	7475.7	7201.11	6833.27	6713.03	6657.38
20%	16829.39	13981.96	12829.29	12283.14	11753.51	11499.36	11360.49
30%	23553.17	19373.19	17802.61	16940.15	16236.93	15897.43	15581.49

5. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 5

5.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.2	37.15	36.87	38	36.9	37.23	37.23
2%	41.2	41.05	41.13	40.825	41.38	41.43	41.03
5%	46	46	46	46	46	46.02	46.04
10%	49.7	49.6	49.7	49.55	49.7	49.55	49.66
20%	53.5	53.5	53.53	53.6	53.6	53.52	53.54
30%	55.7	55.75	55.7	55.725	55.76	55.73	55.74

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	29.9	29.8	28.83	30.3	28.62	29.22	28.97
2%	34.6	34.3	34.63	33.9	34.64	34.47	34.09
5%	40.1	39.95	40.13	39.9	39.96	40.02	40.13
10%	43.6	43.55	43.6	43.5	43.66	43.4	43.67
20%	47.1	47.2	47.07	47.175	47.1	47.1	47.1
30%	49.2	49.2	49.27	48.95	49.24	48.97	49.17

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1597718	1572124	1574951	1578283	1581507	1583343	1585469
2%	1597718	1568685	1571728	1576447	1579111	1581535	1583920
5%	1597718	1564572	1568993	1573170	1576778	1579125	1582160
10%	1597718	1563768	1567192	1572057	1575798	1578638	1581514
20%	1597718	1562354	1565619	1570974	1574396	1577668	1580281
30%	1597718	1561278	1564709	1569954	1573939	1577044	1579733

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2104.57	2102.62	1949.09	2262.48	1975.71	2078.25	2043.9
2%	3406.25	3370.26	3401.38	3236.44	3468.72	3519.43	3326.37
5%	6262.89	6236.36	6267.48	6243.94	6234.62	6290.28	6271.9
10%	10133.31	10028.01	10153.78	9996.01	10192.52	9980.73	10141.52
20%	17872.52	17959.64	17814.87	17936.23	17919.87	17890.23	17926.06
30%	25680.69	25702.05	25657.7	25668.01	25624.36	25671.11	25689.94

5.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	37.2	35.8	35.37	36.525	36.12	35.4	36.13
2%	41.2	39.85	39.17	40.325	39.04	39.55	39.31
5%	46	44.8	43.97	44.4	44.14	43.88	43.84
10%	49.7	48.45	47.8	47.8	47.52	47.38	47.27
20%	53.5	52.4	51.67	51.625	51.32	51.08	51.11
30%	55.7	54.7	54.17	53.925	53.72	53.45	53.41

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	29.9	27.9	27.3	28.375	27.52	26.9	27.77
2%	34.6	32.95	32.07	33.325	31.56	31.98	31.7
5%	40.1	38.8	38	38.45	38.2	37.83	37.79
10%	43.6	42.35	41.9	41.75	41.54	41.42	41.27
20%	47.1	46.2	45.53	45.45	45.16	44.97	45.06
30%	49.2	48.15	47.6	47.425	47.22	47.12	47.07

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1597718	1411895	1377478	1380271	1387478	1398867	1397578
2%	1597718	1374917	1340861	1336745	1346877	1348298	1359408
5%	1597718	1333476	1287529	1278748	1279218	1289915	1296938
10%	1597718	1302649	1245386	1234636	1235364	1241699	1250611
20%	1597718	1270481	1202238	1183902	1184005	1190406	1197402
30%	1597718	1250820	1175448	1154068	1151937	1157391	1164331

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2104.57	1658.16	1579.69	1732.45	1618.54	1486.77	1643.12
2%	3406.25	2853.3	2583.63	2767.23	2419.94	2526.41	2492.28
5%	6262.89	5302.63	4790.91	4850.26	4767.83	4571.54	4612.58
10%	10133.31	8642.75	7979.21	7689.89	7522.07	7405.65	7321.93
20%	17872.52	15026.63	13672	13344.26	12812.84	12456.53	12461.8
30%	25680.69	21665.66	19804.42	18999.52	18341.49	17754.59	17676.83

6. ข้อมูลการใช้เว็บไซต์ 6

6.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	41.6	41.7	41.53	41.675	41.52	41.75	41.47
2%	43.9	44	43.8	43.825	43.98	43.73	43.74
5%	48	47.95	47.97	47.975	47.96	47.92	47.89
10%	51.4	51.45	51.4	51.375	51.38	51.33	51.41
20%	55	54.95	55	54.975	54.98	55	55.01
30%	57.1	57.05	57.03	57.05	57.08	57.03	57.09

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	30.7	30.6	30.57	30.45	30.38	30.72	30.44
2%	32.7	32.95	32.5	32.725	32.6	32.53	32.5
5%	36.9	36.9	36.87	36.875	36.76	36.9	36.7
10%	40.3	40.45	40.3	40.375	40.28	40.17	40.24
20%	43.9	43.85	43.87	43.9	43.92	43.82	44.01
30%	46	46.05	46.03	46.075	46.02	45.97	45.94

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1894587	1826966	1834494	1844252	1851192	1856698	1873781
2%	1894587	1821940	1830105	1840503	1848367	1854440	1872357
5%	1894587	1815388	1823514	1835682	1843921	1850782	1869915
10%	1894587	1811027	1820443	1832081	1841177	1848455	1868894
20%	1894587	1807593	1817025	1829498	1838752	1846413	1868175
30%	1894587	1806331	1815717	1828469	1837935	1845546	1868105

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2364.6	2363.44	2339.58	2356.67	2326.55	2397.92	2314.65
2%	3223.1	3230.41	3161.98	3163.51	3214.81	3133.09	3164.52
5%	5707.93	5703.32	5705.55	5701.81	5701.5	5661.07	5671.58
10%	9475.31	9513.29	9477.18	9445.05	9448.89	9409.32	9513.83
20%	17054.58	17077.54	17039.77	17045.56	17029.38	17064.91	17097.7
30%	24358.59	24318.76	24322.01	24293.99	24288.44	24231.47	24290.81

6.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	41.6	40.85	40.6	40.45	40.58	40.47	40.64
2%	43.9	42.85	42.43	42.4	42.66	42.07	42.29
5%	48	46.9	46.7	46.425	46.5	46.05	46.29
10%	51.4	50.4	50	49.65	49.7	49.48	49.41
20%	55	54.05	53.67	53.475	53.3	53.13	53.09
30%	57.1	56.25	55.9	55.55	55.42	55.3	55.24

ค่าไบต์สถิติเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	30.7	29.9	29.7	29.5	29.68	29.58	29.76
2%	32.7	31.9	31.37	31.275	31.5	30.9	31.33
5%	36.9	35.85	35.63	35.4	35.32	34.92	35.2
10%	40.3	39.3	38.83	38.4	38.48	38.28	38.13
20%	43.9	43	42.63	42.35	42.22	42.03	42
30%	46	45.1	44.77	44.5	44.38	44.22	44.2

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1894587	1583475	1523103	1510554	1524055	1517509	1528849
2%	1894587	1560383	1495401	1479887	1486962	1491390	1496062
5%	1894587	1517405	1436743	1418121	1421605	1424094	1431078
10%	1894587	1482348	1393362	1369165	1365846	1367444	1375962
20%	1894587	1444375	1341910	1310909	1304417	1305314	1311224
30%	1894587	1423831	1312890	1277844	1268486	1268539	1273444

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2364.6	2075.1	1992.21	1950.7	1932.25	1923.71	1922.55
2%	3223.1	2767.18	2595.6	2557.96	2576.36	2413.36	2489.35
5%	5707.93	4931.4	4760.97	4564.73	4493.82	4318.21	4346.05
10%	9475.31	8153.82	7673.02	7329.61	7275.75	7117.59	6985.96
20%	17054.58	14622.14	13677.99	13151.37	12801.66	12540.16	12353.7
30%	24358.59	20826.35	19573.49	18737.36	18232.65	17844.32	17560.66

7. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 7

7.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.3	48.3	48.2	48.5	48.82	48.5	48.43
2%	49.9	49.8	50.07	49.925	49.98	50.07	50.04
5%	53.8	53.8	53.8	53.8	53.66	53.82	53.76
10%	57.2	57.15	57.03	57.15	57.14	57.03	57.11
20%	60.7	60.65	60.63	60.675	60.64	60.65	60.66
30%	62.8	62.75	62.77	62.775	62.74	62.73	62.71

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.2	40.1	40.1	40.25	40.62	40.12	39.7
2%	42	41.95	42.13	41.775	41.94	41.97	41.77
5%	45.8	45.75	45.9	45.95	45.58	45.8	45.66
10%	49	49.05	48.77	48.975	48.92	48.8	49
20%	52.4	52.4	52.43	52.325	52.28	52.32	52.24
30%	54.5	54.45	54.43	54.425	54.44	54.48	54.39

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1643588	1568122	1574922	1587406	1595226	1601362	1605997
2%	1643588	1565581	1572142	1585481	1593820	1599622	1604748
5%	1643588	1559605	1567859	1580153	1590354	1596461	1602404
10%	1643588	1554769	1563787	1577678	1587451	1593952	1600391
20%	1643588	1551899	1561161	1575378	1585420	1592407	1598792
30%	1643588	1550675	1560184	1574645	1584511	1591453	1598327

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2842.52	2867.47	2799.29	2888.44	2973.68	2913.74	2839.34
2%	3426.11	3433.01	3524.53	3450.62	3434.44	3524.34	3407.92
5%	5801.31	5809.08	5814.88	5832.44	5671.32	5811.54	5699.11
10%	9428.48	9450.68	9348.92	9405.49	9433.4	9296.18	9421.9
20%	16590.07	16626.65	16598.1	16559.05	16562.33	16534.81	16495.71
30%	23260.8	23319.98	23261.36	23261.68	23265.3	23312.89	23144.3

7.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.3	47.75	47	47.275	47.04	46.78	47.13
2%	49.9	48.9	48.73	48.5	48.56	48.23	48.29
5%	53.8	52.7	52.47	51.975	51.62	51.9	52.07
10%	57.2	55.95	55.67	55.1	54.98	54.97	54.83
20%	60.7	59.6	59.27	58.85	58.6	58.5	58.36
30%	62.8	61.75	61.3	60.9	60.7	60.6	60.5

ค่าใบตัดสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	40.2	39.55	38.7	39.05	38.88	38.45	38.99
2%	42	40.95	40.7	40.35	40.64	40.18	40.24
5%	45.8	44.8	44.5	44.175	43.64	44.08	44.14
10%	49	47.9	47.63	47.025	46.98	47	46.76
20%	52.4	51.3	51.03	50.625	50.38	50.23	50.17
30%	54.5	53.45	53.1	52.625	52.4	52.32	52.19

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1643588	1303094	1247876	1216138	1219693	1225380	1240913
2%	1643588	1290925	1220791	1196370	1191544	1204533	1218440
5%	1643588	1255836	1169690	1144340	1141989	1142881	1156249
10%	1643588	1225252	1126189	1098466	1089340	1089351	1099789
20%	1643588	1193558	1081821	1046107	1033725	1031439	1036290
30%	1643588	1175614	1056981	1016987	1001289	997940	1000396

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2842.52	2584.02	2281.14	2333.51	2272.29	2233.56	2222.9
2%	3426.11	3002.43	2851.84	2736.67	2759.51	2624.96	2573.72
5%	5801.31	4967.33	4711.1	4396.41	4218.97	4308.06	4176.65
10%	9428.48	7986.21	7536.77	6964.27	6810.14	6758.79	6446.97
20%	16590.07	13983.39	13092.71	12286.13	11838.9	11649.76	11322.76
30%	23260.8	19532.18	18260.4	17133.83	16655.33	16308.08	15875.06

8. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 8

8.1 รูปแบบที่ 1

ค่าอัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	52.3	52.2	52.37	52.475	52.46	52.47	52.44
2%	53.1	53	53.13	53.05	53.08	53.33	53.29
5%	54.9	55	54.93	54.875	54.78	54.9	54.87
10%	56.5	56.45	56.47	56.45	56.4	56.48	56.5
20%	58.7	58.75	58.77	58.75	58.74	58.77	58.69
30%	60.2	60.1	60.13	60.125	60.14	60.12	60.13

ค่าไปต์อัตราเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.4	45.3	45.1	45.3	44.9	45.1	45.01
2%	46.3	46.3	46.27	46.2	45.62	46.13	45.96
5%	48.2	48.25	48.17	48.175	48.04	48.12	48.01
10%	49.6	49.6	49.6	49.55	49.46	49.5	49.57
20%	52.1	52.3	52.13	52.225	52.2	52.27	52.01
30%	53.8	53.75	53.77	53.825	53.68	53.73	53.7

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1656890	1584436	1593714	1602805	1610286	1617288	1621444
2%	1656890	1583456	1592749	1602442	1609936	1616672	1620821
5%	1656890	1582450	1591266	1601318	1609154	1616147	1620292
10%	1656890	1580789	1590484	1600260	1608145	1615360	1619427
20%	1656890	1579294	1588711	1599443	1607262	1614402	1618763
30%	1656890	1578571	1587429	1598865	1607072	1613694	1618407

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	6320.91	6359.88	6480.74	6567.06	6548.74	6644.65	6573.98
2%	7186.21	7131.61	7191.33	7124.72	7180.59	7494.32	7412.16
5%	9468.47	9551.09	9538.49	9438.61	9379.64	9470.49	9496.05
10%	12475.55	12547.48	12604.69	12561.24	12605.92	12648.71	12856.86
20%	20309.04	20330.65	20326.91	20269.01	20427.72	20316.87	20073.96
30%	27262.55	27206.58	27243.02	27224.89	27094.72	27094	26959.46

8.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	52.3	51.35	50.83	50.725	50.8	50.48	50.6
2%	53.1	52	51.53	51.4	51.34	51.3	51.33
5%	54.9	53.85	53.37	53.225	53.08	52.9	52.84
10%	56.5	55.6	55.3	55.025	54.8	54.83	54.63
20%	58.7	57.8	57.3	57.1	56.96	56.82	56.74
30%	60.2	59.2	58.83	58.675	58.5	58.37	58.27

ค่าใบตัดสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.4	44.45	43.47	43.325	43.66	43.17	43.4
2%	46.3	45.1	44.47	44.575	44.24	44.23	44.27
5%	48.2	47.15	46.67	46.325	46.44	46.12	46.04
10%	49.6	48.85	48.6	48.425	48.18	48.15	47.76
20%	52.1	51	50.57	50.325	50.22	50.03	50.04
30%	53.8	52.9	52.27	52.325	51.86	51.92	51.66

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1656890	1296774	1213934	1195146	1191846	1197437	1210777
2%	1656890	1288881	1207181	1184622	1183100	1183310	1196826
5%	1656890	1270609	1183347	1158183	1154681	1160068	1168926
10%	1656890	1254269	1160413	1133228	1127317	1128464	1136877
20%	1656890	1234505	1135028	1103001	1093238	1094636	1100773
30%	1656890	1222953	1117988	1082771	1071763	1071906	1076409

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	6320.91	5361.4	5089.69	4910.78	4850.61	4743.76	4682.9
2%	7186.21	5934.88	5515.93	5393.16	5205.88	5293.67	5173.34
5%	9468.47	7891.88	7299.27	7095.52	6772.38	6639.67	6475.78
10%	12475.55	10541.96	9916.6	9443.45	9065.79	9068.97	8739.72
20%	20309.04	16506.27	14851.52	14192.6	13723.46	13260.26	13017.05
30%	27262.55	22636.86	20662.07	19786.16	19017.83	18392.79	17923.57

9. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 9

9.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	51.2	51.25	51.17	51.125	51.26	51.08	51.3
2%	51.9	51.95	51.9	52	51.96	51.87	51.89
5%	53.5	53.55	53.53	53.55	53.56	53.57	53.53
10%	55.5	55.55	55.57	55.5	55.52	55.55	55.51
20%	58	58.05	58	57.975	58.04	58.07	58.03
30%	59.6	59.65	59.6	59.675	59.62	59.62	59.66

ค่าไปต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.8	45.75	45.63	45.625	45.84	45.77	45.79
2%	46.3	46.4	46.27	46.5	46.42	46.22	46.3
5%	47.7	47.75	47.57	47.65	47.78	47.63	47.71
10%	49.5	49.5	49.5	49.45	49.5	49.5	49.41
20%	51.6	51.6	51.6	51.625	51.6	51.57	51.66
30%	53.2	53.25	53.3	53.25	53.22	53.23	53.23

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1958497	1876339	1885848	1896589	1904722	1913553	1917919
2%	1958497	1875322	1884830	1895644	1904029	1912864	1917491
5%	1958497	1872394	1882171	1893729	1902855	1911235	1916201
10%	1958497	1870710	1879811	1892195	1901779	1909797	1914690
20%	1958497	1867938	1878421	1890533	1900988	1908704	1913920
30%	1958497	1867255	1877346	1889932	1900397	1908099	1913396

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	7326.02	7318.77	7233.28	7205.85	7305.31	7195.77	7350.8
2%	7954.81	7993.48	7997.85	8061.48	7964.22	7930.87	7959.74
5%	9922.07	9961.68	9884.88	9890.61	9887.86	9944.45	9924.76
10%	13449.13	13466.12	13466.33	13399.82	13394.02	13449.58	13381.98
20%	20252.34	20295.26	20221.68	20282.59	20199.91	20285.17	20238.9
30%	26519.16	26503.82	26459.02	26494.09	26468.51	26477.7	26521.93

9.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	51.2	49.8	49.43	49.25	49.08	48.87	48.76
2%	51.9	50.45	50.03	49.825	49.72	49.43	49.17
5%	53.5	52.1	51.7	51.425	51.3	51.05	50.87
10%	55.5	54.3	53.63	53.55	53.24	52.88	52.77
20%	58	56.75	56.3	56.025	55.78	55.6	55.47
30%	59.6	58.5	57.97	57.75	57.5	57.27	57.13

ค่าไบต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	45.8	44.55	44.23	44.075	44.04	43.73	43.76
2%	46.3	45.2	44.77	44.625	44.74	44.32	44.14
5%	47.7	46.55	46.2	46.075	46.02	45.78	45.53
10%	49.5	48.3	47.87	47.75	47.58	47.22	47.11
20%	51.6	50.55	50.1	49.925	49.7	49.57	49.46
30%	53.2	52.1	51.6	51.375	51.2	51.03	50.94

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1958497	1548320	1463148	1441970	1438449	1448767	1454368
2%	1958497	1541074	1454182	1432395	1428289	1437835	1445698
5%	1958497	1523914	1430406	1407418	1402003	1410615	1418575
10%	1958497	1502117	1402494	1374865	1368433	1377010	1384684
20%	1958497	1473474	1363563	1331212	1324175	1327692	1334885
30%	1958497	1455637	1337955	1301890	1292505	1294972	1301117

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	7326.02	6042.42	5703.38	5528.77	5388.38	5197.94	5197.56
2%	7954.81	6601.39	6170.56	5968.79	5868.24	5634.71	5544.28
5%	9922.07	8214.28	7741.94	7412.84	7255.67	6996.99	6877.1
10%	13449.13	11086.69	10195.25	9875.19	9594.18	9131.23	9021.47
20%	20252.34	16704.21	15313.46	14695.2	14158.14	13725.36	13507.82
30%	26519.16	21818.12	20091.27	19286.95	18591.54	17972.77	17707.42

10. ข้อมูลการใช้เว็บวันที่ 10

10.1 รูปแบบที่ 1

ค่าฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.6	48.85	48.8	48.575	48.9	48.75	48.86
2%	50.7	50.65	50.9	50.95	50.96	50.9	50.79
5%	54.6	54.65	54.7	54.6	54.72	54.7	54.74
10%	57.8	57.9	57.87	57.85	57.8	57.9	57.79
20%	61.3	61.25	61.3	61.25	61.26	61.28	61.29
30%	63.2	63.2	63.2	63.2	63.16	63.2	63.2

ค่าไปต์ฮิตเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.2	39.45	39.4	39.05	39.52	39.37	39.43
2%	41.6	41.5	41.7	41.775	41.88	41.68	41.6
5%	45.6	45.65	45.8	45.625	45.84	45.7	45.71
10%	49	49.05	49	49.025	48.92	49.08	48.9
20%	52.5	52.5	52.5	52.4	52.46	52.52	52.53
30%	54.3	54.25	54.3	54.225	54.28	54.27	54.23

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1914448	1847506	1855010	1864282	1871079	1877209	1881877
2%	1914448	1844751	1852837	1861549	1868703	1875468	1880383
5%	1914448	1839852	1847316	1858227	1866320	1872621	1878134
10%	1914448	1836119	1844123	1855533	1864173	1870467	1876671
20%	1914448	1832930	1842055	1853382	1862583	1868994	1875579
30%	1914448	1832193	1840969	1852986	1862079	1868760	1874781

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2723.41	2812.76	2784.27	2712.67	2835.58	2784.46	2805.85
2%	3485.11	3462.41	3564.57	3561.93	3585.93	3564.85	3503.51
5%	5711.76	5731.25	5770.32	5693.78	5767.07	5732.21	5772.97
10%	9091.09	9159.24	9198.24	9173.49	9094.28	9239.17	9106.25
20%	15216	15211	15245.64	15179.29	15183.77	15254.13	15232.46
30%	20572.05	20555.67	20616.86	20545.26	20560.84	20638.63	20609.14

10.2 รูปแบบที่ 2

ค่าสิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	48.6	47.85	47.53	47.05	46.92	46.85	46.97
2%	50.7	49.85	49.37	49.15	49	48.82	48.53
5%	54.6	53.5	53.03	52.75	52.56	52.38	52.13
10%	57.8	56.9	56.4	56.05	55.78	55.68	55.51
20%	61.3	60.2	59.73	59.4	59.24	59	58.9
30%	63.2	62.3	61.8	61.5	61.24	61.12	60.94

ค่าไปต์สิทธิเรโซ

	1	2	3	4	5	6	7
1%	39.2	38.6	38.27	37.775	37.46	37.53	37.64
2%	41.6	40.65	40.23	39.95	39.74	39.68	39.39
5%	45.6	44.5	44.13	43.875	43.56	43.43	43.21
10%	49	48.05	47.47	47.275	46.86	46.8	46.67
20%	52.5	51.25	50.83	50.525	50.42	50.22	49.89
30%	54.3	53.45	53	52.375	52.4	52.27	52.16

จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

	1	2	3	4	5	6	7
1%	1914448	1545195	1471739	1464282	1470704	1471330	1482920
2%	1914448	1524677	1442565	1432738	1432167	1437432	1452772
5%	1914448	1484698	1388866	1368530	1369871	1369903	1385504
10%	1914448	1446186	1338844	1309920	1302929	1305549	1316217
20%	1914448	1411135	1289995	1252058	1240792	1241661	1249341
30%	1914448	1390141	1260872	1218654	1204377	1203317	1208913

อายุเฉลี่ยของเอกสาร

	1	2	3	4	5	6	7
1%	2723.41	2489.36	2382.84	2219.6	2134.93	2170.18	2172.91
2%	3485.11	3115.46	2952.46	2791.55	2723.93	2709.33	2631.25
5%	5711.76	4872.99	4665.45	4394.93	4215.59	4234.56	4089.68
10%	9091.09	7870.76	7337.73	6925.41	6685.57	6621.74	6451.58
20%	15216	12913.69	12052.23	11391.79	11083.67	10810.81	10599.53
30%	20572.05	17548.64	16311.55	15422.89	14911.81	14558.27	14238.7

ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์

ประสิทธิภาพและผลกระทบจากการเพิ่มจำนวนแคชในระบบเครือข่าย
Performance analysis of the co-operative cache

รชา โรจนตรีคุณ¹ และณัฐภูมิ หนูโพธิ์โรจน์²
 Racha Rojanatreekoon and Natawut Nupairoj
 Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
 Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand 10330
 E-mail: g42rrj¹, natawut²@cp.eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ: การใส่แคชสามารถช่วยในการลดปริมาณข้อมูลระหว่างเครือข่ายอื่นเนื่องมาจากความต้องการของผู้ใช้ใน
 โลกอินเทอร์เน็ตที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม แคชสามารถรองรับความต้องการได้จำกัดเช่นกัน
 การเพิ่มจำนวนแคชสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ แต่ในขณะเดียวกันอาจเกิดผลกระทบต่อแคชอื่นๆในระบบได้
 งานวิจัยนี้จึงเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำลองการใช้แคชตั้งแต่ 1-7 ตัวกับสภาพการใช้เว็บจริง โดยม
 การทดลองกับขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารรวมทั้งวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชที่ต่างกันไป ทั้งนี้ เพื่อหาจำนวนแคชที่
 เหมาะสมในระบบต่อไป

คำสำคัญ: เว็บแคช, อินเทอร์เน็ต, ไอซีพี, การประสานงานของแคช

Abstract: Web caching has played a major role in reducing bandwidth usage and response time. However, a single
 can handle limited requests. Adding more caches to network can deviate the problem. But, it may effect the
 performance of the network. In this paper, we present the performance analysis of web cache by using the real trace.
 The parameters of our studies include the number of cache, cache size and communication method.

Key words: Web Cache, Internet, ICP, Co-operative cache

1. บทนำ

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ความนิยมในการ
 ใช้อินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหา
 ต่างๆตามมามากมาย ไม่ว่าจะเป็นเวลาที่ใช้ในการรับส่ง
 ข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น หรือ เซิร์ฟเวอร์ไม่สามารถรองรับ
 การร้องขอจากผู้ที่มีจำนวนมากได้ จึงได้มีการคิดที่
 จะนำเอาแคชมาใช้ในอินเทอร์เน็ตเพื่อช่วยแก้ปัญหาดัง
 กล่าว โดยได้แนวคิดมาจากแคชในระบบเพิ่มข้อมูลของ
 คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้ในแคช
 ทำให้ไม่ต้องดึงข้อมูลจากดิสก์โดยตรงเพื่อช่วยให้อุปกรณ์
 ทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกัน การใช้แคชเข้า
 มาช่วยเก็บเอกสารที่ถูกรวบรวมจากผู้เยี่ยมชมที่
 อยู่ใกล้ผู้เยี่ยมชม เช่น ภายในองค์กร ซึ่งมีช่องทาง
 ติดต่อสื่อสารที่รวดเร็วกว่า ทำให้สามารถดึงเอกสารที่
 ใช้ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดเวลาในการรับส่ง
 ข้อมูล รวมทั้งปริมาณการติดต่อสื่อสารที่ออกสู่อินเทอร์เน็ต
 ก็ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม อินเทอร์เน็ตยังคงได้รับความนิยม
 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การใช้แคชเริ่มมีปัญหาคือ
 กล่าวคือ แคชไม่สามารถรองรับการร้องขอจากผู้
 เนื่องจากมีการร้องขอในช่วงเวลาเดียวกันมากขึ้นไป
 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในองค์กรหลายแห่งมีแคชตั้งอยู่
 เชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ต ทำให้การร้องขอถูกส่งมา
 ในบริเวณดังกล่าวเป็นจำนวนมาก โดยจาก "Bake-Off"

[1] ซึ่งเป็นกรทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของแคชรุ่นต่างๆ พบว่า Squid ซึ่งเป็นแคชที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีการร้องขอในช่วงเวลาเดียวกันเกิน 80 ครั้งต่อวินาที กล่าวคือ ณ จุดนี้ค่า Hit Ratio จะเริ่มตกลงเรื่อยๆ รวมทั้งเวลาที่แคชใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้เพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ โดย Squid สามารถรองรับการร้องขอได้สูงสุดประมาณ 100 ครั้งต่อวินาที นอกจากนี้ยังมีปัญหาในส่วนอื่นๆที่เป็นคอขวดอยู่ไม่ว่าจะเป็นสาย I/O Bus, ความเร็วของดิสก์ [2] ฯลฯ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้แคชได้เต็มประสิทธิภาพ วิธีที่สามารถแก้ปัญหาได้วิธีหนึ่งก็คือ การเพิ่มแคชในระบบให้มีจำนวนมากขึ้น โดยแคชแต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งวิธีการติดต่อสื่อสารมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น ICP [3], CARP [4], CRISP [5] ฯลฯ ตัวอย่างของระบบที่ใช้แคชหลายตัว เช่น NLNR ของสหรัฐอเมริกา, JANET ของสหราชอาณาจักร ฯลฯ

อย่างไรก็ดี การเพิ่มแคชเข้าไปในระบบนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีที่เห็นได้ชัดคือการลดภาระของแคชแต่ละตัวเนื่องจากมีการกระจายการร้องขอไปยังแคชแคชแล้วก็มีข้อเสียรวมทั้งผลกระทบอื่นๆที่ตามมาจากการใช้แคชหลายตัวด้วยเช่นกัน เนื่องจากวิธีการแทนที่เอกสารที่ใช้อาจไม่เหมาะสมกับรูปแบบที่มีแคชหลายตัวในระบบ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของแคชตกลงเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากขึ้น นอกจากนี้หากมีแคชในระบบมากเกินไปอาจทำให้มีข้อความซึ่งเกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชมากเกินไป ฉะนั้น จึงควรมีการวิจัยเพื่อหาจำนวนแคชที่เหมาะสมที่จะใช้ในระบบรวมทั้งผลกระทบในด้านต่างๆ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการวิจัยเพื่อหาข้อดีข้อเสียของการปรับเปลี่ยนจำนวนแคชในระบบมากเท่าใดนัก โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาจะมีการกำหนดจำนวนแคชในระบบให้คงที่ รวมทั้งยังไม่มีการทดสอบในหลายๆด้านว่าการเพิ่มแคชเข้าไปในระบบทำให้เกิดผลกระทบมากน้อยเพียงใด

ในงานวิจัยนี้ได้มีเสนอการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้แคชหลายตัว โดยจะทำการจำลองการทำงานของแคชกับข้อมูลการใช้งาน ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากแคชของสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬ

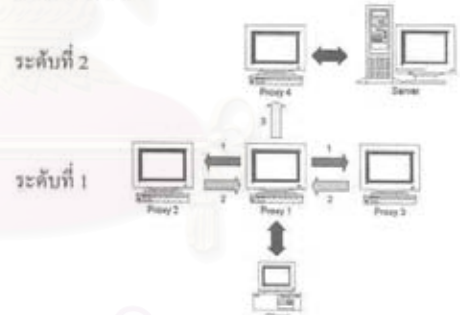
งกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นแคชที่มีปริมาณการติดต่อสื่อสารหนาแน่น เทียบได้กับแคชระดับองค์กรขนาดใหญ่ โดยผลของการทดสอบจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแคชเมื่อมีจำนวนแคชในระบบที่แตกต่างกันออกไป

ในรายงานนี้ได้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 6 หัวข้อใหญ่ด้วยกัน โดยในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง, หัวข้อที่ 3 กล่าวถึงการทดลอง, หัวข้อที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลอง, หัวข้อที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ และหัวข้อสุดท้ายกล่าวสรุปโดยรวม

2. โมเดลของแคชที่เกี่ยวข้อง

2.1 การติดต่อสื่อสารระหว่างแคช

การใช้แคชมากกว่า 1 ตัวในระบบ หากทำให้แคชแต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ จะช่วยลดปริมาณการติดต่อสื่อสารที่ออกสู่อินเทอร์เน็ตได้เป็นอย่างดี รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการดึงเอกสารมาให้ผู้ใช้จะลดลงอีกด้วย ซึ่งการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชนั้นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ICP (Internet Cache Protocol) ก็เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีมาตรฐานการทำงานบน UDP โดย ICP [3] มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: รูปแบบของ ICP ตามลำดับการทำงาน

- เมื่อแคชได้รับการร้องขอเอกสารจากผู้ใช้แล้ว แคชจะทำการตรวจสอบก่อนว่ามีเอกสารที่ผู้ใช้ต้องการเก็บไว้ในแคชหรือไม่ ถ้ามี แคชจะนำเอกสารที่เก็บไว้ส่งให้ผู้ใช้ แต่ถ้าไม่มี ถ้าหากมีแคชข้างเคียงอยู่ในระบบ แคชจะทำการส่งข้อความการร้องขอแบบ ICP ชนิด ICP_QUERY ไปยังแคชข้างเคียงทุกตัว

- ในระบบ ซึ่งในข้อความดังกล่าวจะแนบ URL ที่ต้องการไปด้วย
- (2) แคมป์ข้างเคียงที่ได้รับการร้องขอแล้วจะทำการตรวจสอบในแคมป์ว่ามีเอกสารตาม URL ที่แนบมาหรือไม่ ถ้ามีจะทำการส่งข้อความชนิด ICP_HIT กลับมา แต่ถ้าไม่มี แคมป์จะทำการส่งข้อความชนิด ICP_MISS กลับไป
 - (3) เมื่อส่งการร้องขอออกไปแล้ว แคมป์จะรอคำตอบจากแคมป์ข้างเคียงภายในเวลาที่กำหนด (ปกติ 2 วินาที) หากพบข้อความชนิด ICP_HIT ตอบกลับมา แคมป์จะส่งการร้องขอแบบ HTTP เพื่อดึงเอาเอกสารที่ต้องการต่อไป แต่ถ้าพบข้อความชนิด ICP_MISS ทั้งหมด หรือหมดเวลา แคมป์จะทำการดึงเอกสารจากแคมป์ที่อยู่ระดับที่สูงกว่า หรือจากเซิร์ฟเวอร์โดยตรงต่อไป
- จากขั้นตอนการทำงานของ ICP ข้างต้น จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 1 มีการส่งข้อความการร้องขอเอกสารไปยังแคมป์ข้างเคียง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการวัดจำนวนข้อความดังกล่าวไว้ด้วย โดยจะถือให้ข้อความที่ถูกส่งมาจากแคมป์ข้างเคียงมีความสำคัญเท่ากับข้อความการร้องขอที่ถูกส่งมาจากผู้ใช้

2.2 Bake-Off

Bake-Off [1] ถูกจัดขึ้นเพื่อทำการทดลองและเปรียบเทียบสมรรถนะของแคมป์ต่างๆ ส่วนที่สำคัญของ Bake-Off คือ ความสามารถของแคมป์ในการรองรับการร้องขอที่เข้ามาในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากแคมป์แต่ละรุ่นสามารถรองรับได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของแคมป์ โดยอ้างอิงข้อมูลจาก

ผลการทดลอง Bake-Off ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกเอาผลการทดลอง Squid มาเป็นพื้นฐาน เนื่องจาก Squid เป็นที่นิยมแพร่หลาย และเป็นมาตรฐาน รวมทั้งมีประสิทธิภาพ / ราคาที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับแคมป์อื่น ผลการทดลอง Squid จากการทดลอง Bake-Off แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อข้อความการร้องขอเอกสารมีจำนวนใกล้ 100 ครั้งต่อวินาทีมากขึ้น ทำให้ค่า Hit Ratio ที่วัดได้มีค่าลดลงเรื่อยๆ รวมทั้งเวลาที่แคมป์ใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในรูปแบบของฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีจำนวนการร้องขอเข้ามาถึงแคมป์ในช่วงเวลาเดียวกันมากเกินไปที่แคมป์สามารถรองรับได้ มีผลทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ของแคมป์ลดลง

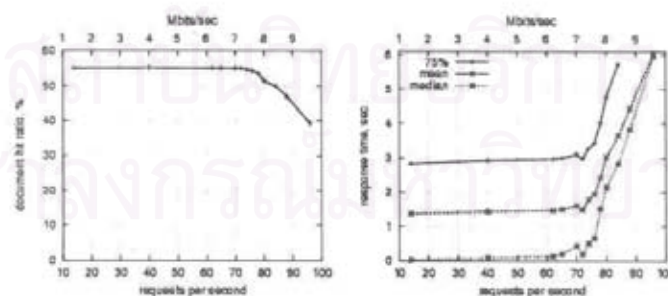
2.3 ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดประสิทธิภาพของแคมป์ด้วยค่า Hit Ratio (HR), Byte Hit Ratio (BHR) และจำนวนการร้องขอเอกสารต่อวัน โดย

$$HR = \frac{\text{จำนวนการร้องขอข้อมูลซึ่งพบในแคมป์}}{\text{จำนวนการร้องขอข้อมูลทั้งหมด}}$$

$$BHR = \frac{\text{จำนวนไบต์ของข้อมูลซึ่งพบในแคมป์}}{\text{จำนวนไบต์ของการร้องขอข้อมูลทั้งหมด}}$$

ค่า Hit ratio จะให้ผลในแง่ของเวลาที่แคมป์ใช้ในการตอบสนองกับผู้ใช้ หากค่า Hit ratio สูง หมายความว่าเอกสารที่ผู้ใช้ต้องการส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในแคมป์ ทำให้ผู้ใช้ไม่ต้องเสียเวลานานในการรอเอกสาร ส่วนค่า Byte Hit ratio จะให้ผลในแง่ของปริมาณข้อมูลที่รับส่งผ่านอินเทอร์เน็ต หากค่า Byte Hit ratio สูง หมายความว่า



รูปที่ 2: ผลการทดลอง Squid ที่ได้จาก Bake-Off

ปริมาณข้อมูลจำนวนมากสามารถดึงจากแคชมาใช้ได้ โดยไม่ต้องทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ ทำให้ลดปริมาณข้อมูลที่วิ่งส่งผ่านอินเทอร์เน็ตได้เป็นอย่างดี

ในส่วนของจำนวนการร้องขอเอกสารนั้น หมายถึง จำนวนการร้องขอเอกสารที่ถูกส่งมาจากผู้ใช้ ร่วมกับ จำนวนการร้องขอเอกสารที่ถูกส่งมาจากแคชข้างเคียง โดยค่าของจำนวนการร้องขอเอกสารต่อวันนั้นจะช่วยบ่งบอกถึงปริมาณงาน โดยรวมที่แคชแต่ละตัวจะต้องให้บริการต่อวัน

3. การทดลอง

3.1 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานของแคชขึ้นมา โดยจะนำข้อมูลการใช้เว็บจริงมาทำการทดสอบกับโปรแกรมดังกล่าว ซึ่งทำงานตามลำดับดังนี้

- โปรแกรมทำการจำลองแคชรวมทั้งเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชขึ้นมา (เนื้อที่เก็บเอกสารของแคชทุกตัวรวมกันต้องเท่ากันเสมอ หมายความว่า เมื่อมีจำนวนแคชในระบบเพิ่มขึ้น เนื้อที่เก็บเอกสารในแคชแต่ละตัวจะน้อยลงไปด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้การวัดประสิทธิภาพมีความถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น)
- โปรแกรมรับการร้องขอจากข้อมูลการใช้เว็บทีละหนึ่งการร้องขอเพื่อตรวจสอบหา URL และขนาดของ URL ดังกล่าว
- โปรแกรมจะตรวจสอบว่ามีเอกสารที่ต้องการเก็บไว้ในแคชหรือไม่ ถ้าไม่มี โปรแกรมจะทำการตรวจสอบกับแคชข้างเคียงเพื่อหาเอกสารดังกล่าว จากนั้น โปรแกรมจะทำการเก็บค่าที่จำเป็นในการคำนวณประสิทธิภาพของแคช หลังจากนั้นจึงรับการร้องขอถัดไป
- วิธีการแทนที่เอกสารที่ใช้ คือ LRU (Least Recently Used) ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่งานวิจัยอื่น ๆ นิยมนำมาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
- วิธีการกระจายการร้องขอเอกสารไปยังแคชต่างๆ เมื่อมีการจำลองแคชในระบบมากกว่า 1 ตัว ได้

เลือกใช้วิธีการกระจายแบบสลับกันไปในแคชแต่ละตัว โดยโปรแกรมจะทำการส่งการร้องขอถัดไปให้แคชตัวที่ถัดจากแคชที่ได้รับการร้องขอครั้งที่แล้ว เพื่อนำไปประมวลผล เมื่อแคชได้รับการร้องขอจนครบทุกตัวแล้ว โปรแกรมจะวนกลับมาที่แคชตัวแรกอีกครั้ง

รูปแบบของการติดต่อกับเอกสารระหว่างแคชที่ทำการทดสอบมีทั้งหมด 3 แบบ คือ

- (1) แคชแต่ละตัวมีการติดต่อกับเอกสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเอง เมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง
- (2) แคชแต่ละตัวมีการติดต่อกับเอกสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน รวมทั้งมีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเอง เมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง
- (3) แคชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อกับเอกสารเพื่อใช้ข้อมูลร่วมกัน

ทั้งนี้เพื่อทดสอบว่า การติดต่อกับเอกสารระหว่างแคชแต่ละรูปแบบนั้นมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันอย่างไรในด้านใดบ้าง รวมทั้งมีผลกระทบอย่างไรต่อประสิทธิภาพของแคชในระบบ

3.2 พารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

- จำนวนแคชที่มีในระบบ
จำนวนแคชในระบบที่ทำการทดสอบในงานวิจัยนี้ ตั้งแต่ 1 ถึง 7 ตัว
- ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคช
ขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารของแคชทุกตัวรวมกันที่ทำการทดสอบ คือ 1%, 2%, 5%, 10%, 20% และ 30% ของขนาดเนื้อที่เก็บเอกสารที่น้อยที่สุดที่แคชสามารถเก็บเอกสารที่ผู้ใช้ต้องการได้ครบทุกเอกสาร โดยไม่มีการแทนที่เก็ขิ้นเลข (Infinite Cache Size)

3.3 ข้อมูลการใช้เว็บ

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย คือ ข้อมูลการใช้เว็บจริงซึ่งได้จากแคชของสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสุ่มมา 10 วัน ลักษณะของข้อมูลที่ได้มามีลักษณะดังตาราง

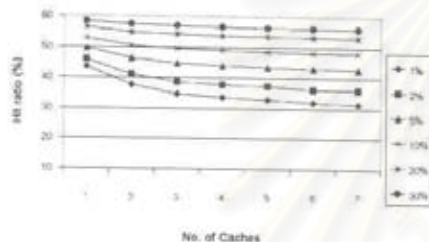
ช่วงเวลาของข้อมูล	18 ก.ค. ถึง 26 ก.ย. 2542
จำนวนการร้องขอ / วัน	1738448 ครั้ง
Infinite Cache Size	5,857,274,121 ไบต์
จำนวนการร้องขอแบบ IMS / วัน	354,787 ครั้ง
เอกสารที่ไม่ซ้ำกัน / วัน	525,211 เอกสาร

ตารางที่ 1: ลักษณะของข้อมูลการใช้เว็บ

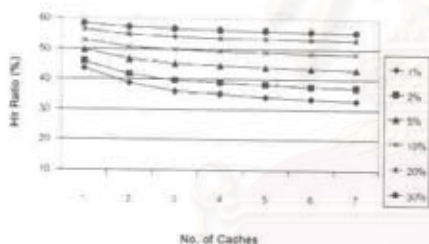
4. ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้เท่านั้น โดยจะแยกส่วนวิเคราะห์ผลไว้ในหัวข้อถัดไป

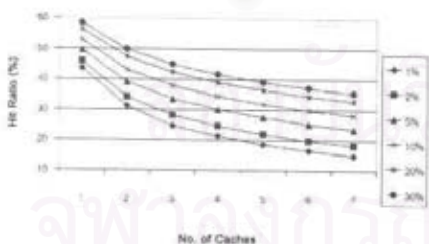
4.1 ค่า Hit Ratio ที่ได้



ก. รูปแบบที่ 1



ข. รูปแบบที่ 2



ค. รูปแบบที่ 3

รูปที่ 4: ค่า Hit Ratio ที่ได้

จากกราฟด้านบน โดยแกน X คือ จำนวนแคชที่มีในระบบ แกน Y คือ ค่า Hit Ratio ที่ได้ จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 1 (รูป 3 ก.) เมื่อเพิ่มจำนวนแคชให้มากขึ้น ทำให้ค่า Hit Ratio ตกลงเรื่อยๆตั้งแต่ 13.6 ถึง 27.8 % เนื่องจากการร้องขอกระจายไปยังแคชต่างๆมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารให้มากขึ้น ทำให้การตกลงของค่า Hit Ratio ลดลงเหลือต่ำสุดเพียง 3.9 %

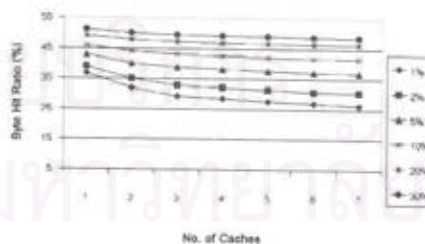
ในส่วนของรูปแบบที่ 2 จากรูป 3 ข. ค่า Hit Ratio ที่ได้ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 1 อย่างมาก ลักษณะของกราฟมีความเหมือนกันทั้งในแง่ของจำนวนแคชและขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารที่เปลี่ยนแปลงไป แม้ว่ารูปแบบที่ 2 มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกันระหว่างแคช โดยมีความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 4.5 % อย่างไรก็ตามมีส่วนที่ต่างกันเล็กน้อย รูปแบบที่ 2 จะให้ค่า Hit Ratio ที่สูงกว่าเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 20 %)

เมื่อมาสู่รูป 3 ค. จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 ให้ค่า Hit Ratio ตกลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ 2 รูปแบบแรก เนื่องจากไม่มีการคัดต่อสื่อสารระหว่างแคช โดยค่า Hit Ratio จะยิ่งตกลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนแคชในระบบให้มากขึ้น โดยตกลงสูงสุดถึง 65.7 %

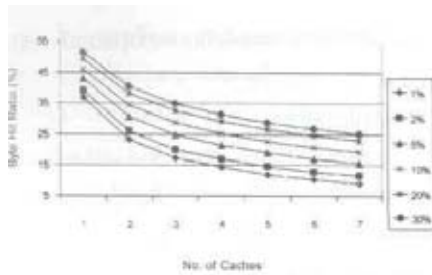
4.2 ค่า Byte Hit Ratio ที่ได้



ก. รูปแบบที่ 1



ข. รูปแบบที่ 2



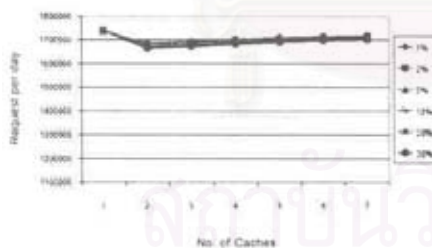
ก. รูปแบบที่ 3

รูปที่ 5: ค่า Byte Hit Ratio ที่ได้

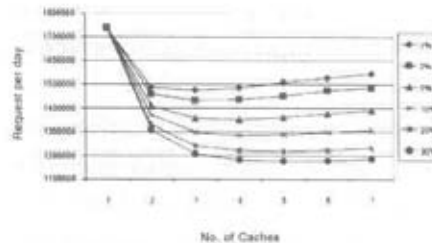
จากกราฟรูปที่ 4 โดยที่แกน X คือ จำนวนแคชที่มีในระบบ แกน Y คือ ค่า Byte Hit Ratio ที่ได้ จะเห็นได้ว่า ลักษณะของกราฟที่ได้ของทั้ง 3 รูปแบบมีความใกล้เคียงกับค่า Hit Ratio อย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากการตกลงของค่า Byte Hit Ratio เมื่อมีการเพิ่มจำนวนแคชเข้าไปในระบบ รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การตกลงของค่า Byte Hit Ratio ที่ลดลงเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารในแคชใหญ่ขึ้น โดยค่า Byte Hit Ratio ของรูปแบบที่ 1 กับรูปแบบที่ 2 มีความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 3.5 %

ในส่วนของรูปแบบที่ 3 จากรูป 4 ก. ค่า Byte Hit Ratio ตกลงมากกว่า 2 รูปแบบแรก เช่นเดียวกับค่า Hit Ratio ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชทำให้ประสิทธิภาพในแง่ของค่า Hit Ratio และ Byte Hit Ratio ของแคชตกลงอย่างเห็นได้ชัด

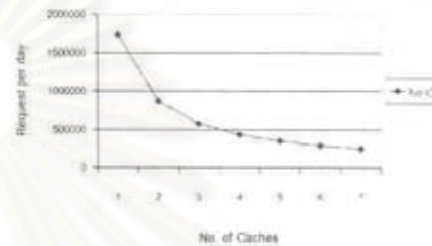
4.3 จำนวนการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน



ก. รูปแบบที่ 1



ข. รูปแบบที่ 2



ค. รูปแบบที่ 3

รูปที่ 6: จำนวนการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน

จากกราฟ โดยที่แกน X คือ จำนวนแคชที่มีในระบบ แกน Y คือ จำนวนการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน (จำนวนการร้องขอเอกสารทั้งหมดต่อวัน คือ จำนวนการร้องขอจากผู้ใช้ร่วมกับจำนวนการร้องขอจากแคชข้างเคียง) จำนวนข้อความการร้องขอจากผู้ใช้ต่อวันจะลดลงเมื่อมีจำนวนแคชมากขึ้น เนื่องจากมีแคชมาช่วยแบ่งเบาภาระ อย่างไรก็ตาม จำนวนข้อความจากแคชข้างเคียงจะมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนการร้องขอทั้งหมดต่อวันของรูปแบบที่ 1 (รูปที่ 5 ก.) พบว่า จำนวนข้อความจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีแคชมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป อย่างไรก็ตาม จำนวนข้อความเมื่อมีแคชมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปยังคงน้อยกว่าการมีแคชเพียงตัวเดียวในระบบ

ในส่วนของรูปแบบที่ 2 (รูปที่ 5 ข.) เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่า วิธีนี้ช่วยลดปริมาณของการร้องขอเอกสารต่อวันได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เกิดจากการลดจำนวนลงของข้อความที่ถูกส่งมาจากแคชข้างเคียง ซึ่งจะได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสารใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากขึ้นเรื่อยๆยังคงทำให้จำนวนข้อความที่เกิดขึ้นจากการติดต่อ

สื่อสารระหว่างแคชมีมากขึ้นไปเช่นกัน โดยจะเห็นได้จากจำนวนข้อความการร้องขอทั้งหมดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากกว่า 4 ตัวขึ้นไป

ในส่วนของรูปแบบที่ 3 (รูปที่ 5 ค.) เนื่องจากไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคช แคชจึงรับภาระการร้องขอจากผู้ใช้นั้น (กราฟมีเพียงเส้นเดียวเนื่องจากมีจำนวนข้อความเท่ากันในทุกๆขนาดของเนื้อที่เก็บเอกสาร) ซึ่งจะเห็นได้จากการที่มีจำนวนข้อความที่น้อยที่สุด และจะยังเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อมีแคชในระบบมากขึ้น

5. วิเคราะห์

จากผลการทดลองที่ได้ จะเห็นได้ว่าการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชแต่ละแบบนั้นมีข้อดี-ข้อเสียที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถวิเคราะห์เหตุผลได้ดังนี้

5.1 รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 1 มีข้อดี คือ วิธีนี้จะช่วยให้การเก็บเอกสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดใหญ่ (20 % ขึ้นไป) เนื่องจากไม่มีการแทนที่เอกสารลงแคชเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง ทำให้ไม่มีการเก็บเอกสารซ้ำซ้อนกัน สามารถเก็บเอกสารได้มากขึ้น จะเห็นได้จากค่า Hit Ratio ที่ได้มีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อเนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 20 %) ค่า Hit Ratio ที่ได้จะน้อยกว่ารูปแบบที่ 2 เนื่องจากในบางครั้งเมื่อต้องการเอกสารเดิมจากแคชข้างเคียงอีกปรากฏว่าแคชข้างเคียงได้แทนที่เอกสารดังกล่าวไปแล้ว (เนื้อที่เก็บเอกสารมีขนาดเล็กทำให้แคชต้องทำการแทนที่เอกสารอยู่ตลอดเวลา) อย่างไรก็ตาม ค่า Hit Ratio ที่ได้ถือว่าใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 2 มาก โดยต่างกันสูงสุดเพียง 4.5 % เท่านั้น นอกจากนี้ รูปแบบที่ 1 มีข้อเสียที่สำคัญ คือ จำนวนข้อความการร้องขอมายังแคชต่อวันมีปริมาณที่มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อไม่มีการแทนที่เอกสารลงแคชเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง ทำให้แคชต้องส่งข้อความการร้องขอไปยังแคชข้างเคียงทุกครั้งที่ใช้ต้องการเอกสารดังกล่าวอีก ซึ่งจำนวนข้อความจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีแคชในระบบมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป โดย

จำนวนข้อความการร้องขอต่อวันมากกว่ารูปแบบที่ 2 สูงสุดถึง 28.7 %

5.2 รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 2 มีข้อดี คือ จำนวนข้อความการร้องขอเอกสารต่อวันน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ทั้งนี้เนื่องมาจากแทนที่เอกสารไว้ในแคชของตัวเองด้วยเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง ทำให้เมื่อผู้ใช้ต้องการเอกสารดังกล่าวอีกครั้ง แคชไม่จำเป็นต้องส่งข้อความการร้องขอไปยังแคชข้างเคียงอีกต่อไป ทั้งนี้ จำนวนข้อความจะมีน้อยที่สุดเมื่อมีแคชในระบบ 4 ตัว ในขณะที่ประสิทธิภาพของแคชที่ได้ในแง่ของค่า Hit Ratio และ Byte Hit Ratio ก็ไม่ได้ดกดงกว่ารูปแบบที่ 1 มากแต่อย่างใด

5.3 รูปแบบที่ 3

รูปแบบที่ 3 มีข้อดีที่เห็นได้ชัดเจน คือ จำนวนข้อความการร้องขอมายังแคชต่อวันมีน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนเมื่อมีจำนวนแคชในระบบมากขึ้น (จำนวนข้อความลดลงสูงสุด 85.7 %) อย่างไรก็ตามค่า Hit Ratio ที่วัดได้จะดกดงมากขึ้นเช่นกัน (ตกลงสูงสุด 65.7 %) ซึ่งเป็นข้อเสียที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากหน้าที่สำคัญของแคชควรเป็นการลดปริมาณข้อมูลที่วิ่งส่งผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้แบนด์วิดท์ [6] นอกจากนี้ จากสภาพการใช้เว็บในประเทศไทยนั้น แคชต้องเสียเวลานานในการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ส่วนใหญ่อซึ่งอยู่ในต่างประเทศ ซึ่งจะใช้เวลาต่างกับการมีเอกสารอยู่ในแคชอย่างมาก จึงทำให้รูปแบบที่ 3 ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้เว็บในประเทศไทย

6. สรุป

จากที่ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการใช้แคชหลายตัวในระบบ ซึ่งได้ศึกษาถึงผลกระทบในแง่ของ Hit Ratio, Byte Hit Ratio และจำนวนการร้องขอเอกสารต่อวัน โดยได้ทำการทดลองรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างแคชทั้งหมด 3 แบบ คือ

1. แคชไม่มีการแทนที่เอกสารในแคชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคชข้างเคียง

2. แคลชมีการแทนที่เอกสารในแคลชของตนเองเมื่อพบเอกสารที่แคลชข้างเคียง

3. แคลชแต่ละตัวไม่มีการติดต่อสื่อสารกัน

จากผลการทดลอง รูปแบบที่ 2 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แม้ว่ารูปแบบที่ 2 จะไม่ได้ใช้ประโยชน์สูงสุดจากเนื้อที่เก็บเอกสารเมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 เนื่องจากมีการเก็บเอกสารที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างแคลช แต่รูปแบบที่ 2 ให้ประสิทธิภาพโดยรวมทั้งในแง่ของค่า Hit Ratio และ Byte Hit Ratio ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 1 มาก รวมทั้งรูปแบบที่ 2 นั้นทำให้แคลชรับภาระน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 โดยจะเห็นได้จากจำนวนการร้องขอที่มายังแคลชนั้นมีน้อยกว่า ทั้งนี้เมื่อดูจากประสิทธิภาพโดยรวมในด้านต่างๆ แล้ว สรุปได้ว่า จำนวนแคลชที่เหมาะสมในระบบ คือ 2-4 ตัว เนื่องจากค่า Hit Ratio ที่ได้ยังคงสูงไม่มากนัก รวมทั้งมีจำนวนการร้องขอเอกสารต่อวันที่ไม่ได้แตกต่างกันอีกด้วย ในส่วนของรูปแบบที่ 3 นั้นให้ประสิทธิภาพในแง่ของค่า Hit Ratio และ Byte Hit Ratio ที่ต่ำที่สุด ถึงแม้ว่ารูปแบบที่ 3 จะทำให้แคลชรับภาระน้อยที่สุดก็ตาม แต่รูปแบบที่ 3 ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้เว็บในประเทศไทยเนื่องจากเมื่อค่า Hit Ratio ต่ำทำให้แคลชต้องทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โดยคงทำให้ผู้ใช้ต้องเสียเวลารอเอกสารนาน

จากที่ได้กล่าวมานี้ สามารถสรุปได้ว่า การมีจำนวนแคลชในระบบมากไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดผลดีอย่างเดียวนะครับ แม้ว่าแคลชแต่ละตัวจะรับภาระจากผู้น้อยลง แต่ด้วย่อมทำให้เกิดข้อความที่เกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่างแคลชมากขึ้นไปด้วย ถ้าหากมีแคลชในระบบมากขึ้นไป จะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนข้อความที่เกิดจากการติดต่อสื่อสารมากกว่าอัตราการลดลงของจำนวนข้อความจากผู้ใช้ ฉะนั้น ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในด้านต่างๆก่อน รวมถึงลักษณะการใช้เว็บของแต่ละพื้นที่อีกด้วย เพื่อหาจำนวนแคลชในระบบที่เหมาะสมต่อไป อีกทั้งยังต้องมีการเลือกใช้วิธีการแทนที่เอกสารที่มีความเหมาะสมกับการใช้แคลชหลายตัว เพื่อรักษาประสิทธิภาพของแคลชที่ได้ไว้คงเดิมอีกด้วย

ในส่วนของงานที่จะทำต่อไปนั้น จะทำการทดลองโดยใช้วิธี LRU แบบที่มีการปรับปรุงคิวในทุกๆการร้องขอซึ่งจะมีความเหมาะสมกับการใช้แคลชหลายตัวมากกว่า

โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของการเพิ่มจำนวนแคลชและวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่างแคลชที่ใช้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Rousskov, D. Wessels, and G. Chisholm, "The First IRCache Web Cache Bake-Off," available at <http://bakeoff.ircache.net/N01/report.ps.gz>
- [2] R. Lee, and G. Tomlinson, "Workload requirements for a very high-capacity proxy cache design," in proc. of 4th International WWW Caching Workshop, Mar. 1999.
- [3] D. Wessels, and K. Claffly, "ICP and the Squid web cache," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 3, pp. 345-357, Apr. 1998.
- [4] V. Valloppillil, and K. W. Ross, "Cache Array Routing Protocol v1.0," Internet draft, available at <http://ircache.nlanr.net/Cache/ICP/carp.txt>
- [5] S. Gadde, M. Rabinovich, and J. Chase, "Reduce, reuse, recycle: an approach to building large Internet caches," in proc. of HotOS Workshop, pp. 93-98, May. 1997.
- [6] M. Sparks, G. Neisser, and R. Hanby, "An initial statistical analysis of the performance of the UK national JANET cache," in proc. of 4th International WWW Caching Workshop, Mar. 1999.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรชา ใจจนตรีคุณ เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 20 เมษายน พุทธศักราช 2521 ที่จังหวัดสกลนคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย