



### บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้อยู่ในประเภทการวิจัยประยุกต์, การวิจัยเชิงทดลอง และการวิจัยเชิงปริมาณ ในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จึงมีรายละเอียดของระเบียบวิธีวิจัยดังต่อไปนี้

#### แบบแผนทางการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่มุ่งลดค่าโหลดข้อมูลจากกลุ่มเมฆเป็นวัตถุประสงค์หลักและลดระยะเวลาการตอบสนองผู้ใช้บริการซอฟต์แวร์กลุ่มเมฆ การประเมินประสิทธิภาพของนโยบายที่เสนอใช้วิธีจำลองการทำงาน (Simulation) เปรียบเทียบกับนโยบายอื่นที่ใช้งานแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันอันได้แก่ นโยบาย LRU, นโยบาย LFU-DA และนโยบาย GDSF ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการทำงานคือชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีต (Cache proxy traces) โดยในแต่ละการจำลองการทำงานถูกวัดผลด้วยตัววัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์ที่เสนอใหม่คือ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล ซึ่งใช้วัดผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้และด้วยตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคที่นิยมใช้ในงานวิจัยแขนงนี้ได้แก่ อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช โดยที่ตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคคู่แรกใช้วัดผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์รองของงานวิจัย ผลการวัดของทุกนโยบายจะถูกวิเคราะห์แบบบูรณาการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละมิติตามตัววัดที่ใช้

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. จัดหาชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตสำหรับจำลองการทำงานและวัดผล
2. เสนอนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชใหม่ที่มุ่งลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลในการใช้บริการกลุ่มเมฆและลดระยะเวลาการตอบสนองผู้ใช้บริการซอฟต์แวร์กลุ่มเมฆ

3. สร้างโปรแกรมวิเคราะห์ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเพื่อสกัดมาใช้เฉพาะเรคคอร์ดที่เป็นคำร้องขอข้อมูลของกลุ่มโดเมนที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกและเพื่อวิเคราะห์เพิ่มไฟล์วันหมดอายุลงในทุกเรคคอร์ด

4. สร้างโปรแกรมจำลองการทำงานนโยบายการแทนที่ข้อมูลของเว็บแคชโดยใช้ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่สกัดได้เป็นข้อมูลนำเข้า

5. ดำเนินการจำลองการทำงานและวัดสมรรถนะด้านต่างๆ

6. วิเคราะห์ข้อมูลผลการจำลองการทำงานอย่างบูรณาการ

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และเสนอแนะ

8. จัดทำบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ในวงการวิชาการระดับนานาชาติ

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเพื่อจำลองการทำงานนโยบายการแทนที่ข้อมูลเป็นชุดคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่ถูกรวบรวมมาจากคำร้องขอที่ส่งไปยังเว็บไซต์ต่างๆ บนอินเทอร์เน็ตโดยประชากรกลุ่มผู้ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและบางประเทศอื่นที่มีการเชื่อมต่อกับเว็บแคชของโครงการ ICache (NSF and NLNR, 2010) ซึ่งเป็นโครงการสนับสนุนการทำวิจัยด้านเว็บแคชของประเทศสหรัฐอเมริกา สาเหตุที่ต้องใช้ชุดข้อมูลของโครงการ ICache เพราะไม่สามารถจัดหาชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บของมหาวิทยาลัยศรีปทุมได้ (ศูนย์ข้อมูลของมหาวิทยาลัยศรีปทุมให้ข้อมูลว่าไม่ได้ทำการจัดเก็บข้อมูลประเภทนี้ไว้)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกมาเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เข้าถึงเว็บที่ได้รับความนิยมสูงสุด 50 โดเมนแรกทั้งนี้เพื่อเป็นการจำลองสภาพการณ์ขององค์กรขนาดกลางที่มีเว็บไซต์ที่มีปริมาณการรับส่งข้อมูลที่มีนัยสำคัญทั้งหมดจำนวน 50 โดเมนอยู่บนกลุ่มเมฆส่วนบุคคลขององค์กร เช่น มหาวิทยาลัยศรีปทุมมีจำนวนเว็บไซต์ทั้งหมดประมาณ 62 โดเมน (มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2553) เมื่อมหาวิทยาลัยปรับเปลี่ยนระบบไปสู่กลุ่มเมฆส่วนบุคคลเต็มรูปแบบ ทุกโดเมนก็จะถูกย้ายไปไว้บนกลุ่มเมฆ

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมด้วยภาษายูเอ็มแอล (UML), ซอฟต์แวร์เขียนรหัสโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาจาวา, คอมพิวเตอร์ 1 ชุดสำหรับพัฒนาโปรแกรมและจำลองการทำงานนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคช และชุดโปรแกรมประมวลผลคำ

ในส่วนของโปรแกรมจำลองการทำงานถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวา มีความสามารถในการนำเข้าชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตที่ผ่านการสกัดโดยโปรแกรมสนับสนุนดึงอธิบายในย่อหน้าถัดไป, สามารถเลือกติดตั้งนโยบายการแทนที่ข้อมูลเพื่อจำลองการทำงานได้, สามารถกำหนดขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของเว็บแคชเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลที่เปลี่ยนไปได้ และสามารถวัดผลประสิทธิภาพการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลนำออกเชิงสถิติตามหน่วยวัดต่างๆ ได้ซึ่งได้แก่ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช และอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล

นอกเหนือจากโปรแกรมจำลองการทำงาน ในงานวิจัยยังทำการสร้างโปรแกรมสนับสนุนการจำลองการทำงานขึ้นใหม่เพื่อทำหน้าที่สกัดชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตให้เฉพาะชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บจากโดเมนที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเท่านั้น (รายละเอียดของเกณฑ์การคัดเลือกอธิบายในหัวข้อถัดไป) และเพื่อวิเคราะห์เพิ่มฟิลด์วันหมดอายุลงในทุกเรคคอร์ด ผลลัพธ์ของโปรแกรมสนับสนุนนี้จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมจำลองการทำงานดังกล่าวข้างต้น

### การรวบรวมข้อมูล

เมื่อองค์กรปรับตัวเข้าสู่การใช้งานกลุ่มเมฆเต็มรูปแบบ เว็บไซต์ทั้งหมดขององค์กรจะถูกปรับเปลี่ยนเป็นบริการกลุ่มเมฆโดยย้ายไปไว้หรือสร้างขึ้นใหม่บนกลุ่มเมฆส่วนบุคคลขององค์กร การโหลดข้อมูลจากกลุ่มเมฆขององค์กรก็คือการโหลดข้อมูลจากเว็บโดเมนของบริการกลุ่มเมฆเหล่านี้ซึ่งถ้าองค์กรมีการติดตั้งเว็บแคชไว้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการกลุ่มเมฆ เช่น ในการโหลดข้อมูลสื่อประสมซึ่งมักมีขนาดใหญ่ ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลจากบริการกลุ่มเมฆจะถูกเก็บบันทึกเป็นแฟ้มล็อก (Log file) อยู่ในเว็บแคชดังกล่าว ในรูปของชุดข้อมูลคำร้องขอการ

โหลดข้อมูลเว็บในอดีตนั่นเอง งานวิจัยนี้จะใช้ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตซึ่งมีทั้งเว็บที่เป็นและไม่เป็นบริการกลุ่มเมฆที่ถูกรวบรวมบันทึกไว้อย่างสม่ำเสมอโดยโครงการ IRCache และถูกเผยแพร่สู่สาธารณะผ่านเว็บไซต์ของโครงการเพื่อทำการจำลองสถานการณ์การทำงานของเว็บแคชภายใต้นโยบายการแทนที่ข้อมูลต่างๆ แต่เนื่องจากชุดข้อมูลอาจมีคำร้องขอไปยังเว็บไซต์ที่มีโดเมนต่างกันเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกคำร้องขอโดยทำการสกัดเฉพาะคำร้องขอที่ส่งไปยังเว็บไซต์ที่มีการเข้าถึงสูงสุด 50 โดเมนแรกจากลิสต์ของโครงการ IRCache เพื่อเป็นการจำลองจำนวนโดเมนของบริการกลุ่มเมฆต่อหนึ่งองค์กรขนาดกลางดังอธิบายในหัวข้อประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจำลองการทำงานซึ่งเป็นชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเฉพาะของ 50 โดเมนแรกที่มีจำนวนคำร้องขอข้อมูลสูงสุดจำนวน 3 ชุดข้อมูล แต่ละชุดถูกรวบรวมมาจากเว็บแคชในเมือง Boulder (BO), Silicon Valley (SV) และ New York (NY) โดยทั้ง 3 ชุดข้อมูลนี้สกัดจากชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่ถูกรวบรวมไว้เป็นเวลา 5 วันคือระหว่างวันที่ 9 ถึง 13 กันยายน 2010 ยกเว้น SV ที่รวบรวมระหว่างวันที่ 12 ถึง 16 กันยายน 2010 แต่ละเรคคอร์ดของคำร้องขอข้อมูลประกอบไปด้วยข้อมูลปัจจัยที่จำเป็นต่อการจำลองการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลทั้งสี่ดังนี้ ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ, ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล (ซึ่งเป็นผลรวมของระยะเวลาแท้จริงในการสถาปนาการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจากแม่ข่ายมายังเว็บแคช) และเวลาที่ร้องขอข้อมูล ส่วนข้อมูลปัจจัยอื่นที่ต้องใช้ในการวิจัยแต่ไม่มีในชุดคำร้องขอข้อมูลเว็บในอดีตและแนวทางการวิเคราะห์เพิ่มข้อมูลปัจจัยเหล่านี้คือ จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีต สามารถนับได้จากจำนวนเรคคอร์ดคำร้องขอข้อมูลนั้นๆ ที่พบในชุดคำร้องขอข้อมูล, อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการกลุ่มเมฆ จะกำหนดเป็นสองแบบจำลองคือแบบจำลองแรกมีอัตราค่าโหลดเท่ากันหมดสำหรับทุกโดเมน (เพื่อจำลองแบบอย่างขององค์กรที่ใช้บริการของผู้ให้บริการกลุ่มเมฆรายเดียว) และแบบจำลองที่สองมีอัตราค่าโหลดสองอัตราโดยอัตราต่ำใช้สำหรับ 25 โดเมน และอัตราสูงใช้สำหรับอีก 25 โดเมนที่เหลือ (เพื่อจำลองแบบอย่างขององค์กรที่ใช้บริการของผู้ให้บริการกลุ่มเมฆสองรายที่คิดอัตราค่าโหลดข้อมูลต่างกัน) โดยอัตราค่าโหลดทั้งสองเลือกมาจากอัตราค่าโหลดข้อมูลอ้างอิงของ Amazon (2010 May 4), Microsoft (2010 May 4) และ Google (2010 May 4), ต้นทุนทางเทคนิคในการโหลดข้อมูลถูกกำหนดให้มีค่า

เท่ากับ 1 ตามแนวทางหนึ่ง (เรียกว่า GDSF-Hits) ที่ใช้โดยทีมผู้คิดค้นนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคช GDSF (Arlitt, et al. 2000) และอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์สำหรับข้อมูลที่ปรากฏอยู่เพียงเรคคอร์ดเดียวในชุดคำร้องขอข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ มิเช่นนั้นจะกำหนดวันเวลาหมดอายุเท่ากับตราเวลา (Timestamp) ของเรคคอร์ดสุดท้ายที่ข้อมูลนั้นปรากฏอยู่ แต่หากขนาดของข้อมูลเดียวกันมีการเปลี่ยนแปลง จะกำหนดวันเวลาหมดอายุเท่ากับตราเวลาของเรคคอร์ดที่ตามมาเรคคอร์ดแรกพบว่าข้อมูลนั้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาด หมายเหตุแนวทางกำหนดอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลนี้เป็นเพียงการประมาณการ เช่น ข้อมูลที่ปรากฏอยู่ครั้งเดียวอาจมีอายุใช้งานจริงไม่ใช่ศูนย์, ข้อมูลที่มีขนาดคงเดิมอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาภายในได้เช่นกัน และในทางปฏิบัติการกำหนดอายุใช้งานของข้อมูลอาจสั้นหรือยาวกว่าเวลาที่ข้อมูลถูกเปลี่ยนแปลงจริง

ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละนโยบายการแทนที่ข้อมูลถูกรวบรวมจากข้อมูลนำออกของโปรแกรมจำลองการทำงานเว็บแคชซึ่งเลือกใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูลที่ต่างกันในแต่ละครั้งของการจำลองการทำงานบนชุดข้อมูลนำเข้าชุดเดียวกัน สถิติเชิงประสิทธิภาพเหล่านี้ถูกรายงานผลโดยโปรแกรมจำลองการทำงานเว็บแคชในรูปแบบของหน่วยวัดสมรรถนะเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ได้แก่ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช และอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การจำลองการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย (Descriptive statistics) โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ปัจจัยทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ต่างๆ ที่แต่ละนโยบายการแทนที่ข้อมูลใช้ในการพิจารณาเลือกแทนที่ข้อมูลคือ ขนาดข้อมูลที่ร้องขอ, เวลาที่ร้องขอข้อมูล, จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีต, ต้นทุนทางเทคนิคในการโหลดข้อมูล, อัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ, อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล, ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล และขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของเว็บแคช สำหรับอัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 แบบจำลองคือแบบอัตราเดียว (Uniform cost) และแบบหลายอัตรา (Nonuniform costs) แบบจำลองแบบอัตราเดียวเป็นการจำลององค์กรที่ใช้บริการผู้ให้บริการกลุ่มเมฆสาธารณะรายเดียวซึ่งใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลเฉลี่ย

0.117997 คอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์ ของ Amazon S3 (Amazon, 2010) ในขณะที่แบบจำลองแบบหลายอัตราเป็นการจำลององค์กรที่ใช้บริการผู้ให้บริการกลุ่มเมฆสาธารณะสองรายเพื่อเพิ่มระดับความทนต่อความผิดพลาด (Fault tolerance) และความได้ดุลภาระ (Load balancing) ในการให้บริการขององค์กร โดยใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลเฉลี่ย 0.117997 คอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์ ของ Amazon S3 และ 0.15 คอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์ ของ Windows Azure (Microsoft, 2010) ซึ่งทั้งสองอัตรานี้ถูกกำหนดให้แก่ข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันอย่างสลับกันตามลำดับที่พบข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

2. ตัวแปรตามได้แก่จำนวนครั้งที่พบข้อมูลในเว็บแคช ซึ่งใช้สำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพตามชุดหน่วยวัดสมรรถนะที่ใช้

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของเนื้อหาในเว็บแคชซึ่งเป็นแบบไม่เข้มงวด

ตัวแปรตามเป็นผลลัพธ์ของนโยบายแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่เสนอใหม่และอีกสามนโยบายที่เลือกมาจำลองการทำงาน ตัวแปรตามเกิดจากการประมวลผลตัวแปรต้นด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. นโยบาย LRU (Podlipnig and Böszörményi, 2003) เลือกแทนที่ข้อมูลที่ไม่ได้ถูกร้องขอเป็นเวลานานที่สุด (Least Recently Used) ก่อนโดยมีสมมติฐานว่าข้อมูลที่ไม่ได้ถูกร้องขอเป็นเวลานานมีโอกาสน้อยที่จะถูกร้องขออีกในอนาคต

2. นโยบาย LFU-DA เลือกแทนที่ข้อมูลที่มีค่าหลัก (Key value, K) ต่ำที่สุดก่อนซึ่งค่าหลักของข้อมูล  $i$  คำนวณจากสูตร  $K_i = f_i + L$  (Arlitt, et al. 2000) โดยที่  $f$  คือจำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีตจากเว็บแคชและ  $L$  (Inflation factor) คือค่าหลักของข้อมูลล่าสุดที่เพิ่งถูกแทนที่ในเว็บแคช ใช้สำหรับลดมลพิษในแคชอันหมายถึงข้อมูลที่มีแนวโน้มว่าจะไม่ได้ถูกใช้อีกต่อไปไม่ถูกเลือกแทนที่เพราะมีค่าหลักที่สะสมจากอดีตมากเนื่องจากเคยถูกเรียกใช้บ่อย

3. นโยบาย GDSF เลือกแทนที่ข้อมูลที่มีค่าหลักต่ำที่สุดก่อนเช่นกันซึ่งค่าหลักคำนวณจากสูตร  $K_i = f_i c_i / s_i + L$  (Arlitt, et al. 2000) โดยที่  $c$  คือต้นทุนทางเทคนิคในการโหลดข้อมูลซึ่งโดยปกติจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1,  $s$  คือขนาดของข้อมูล และ  $L$  คือค่าหลักของข้อมูลที่เพิ่งถูกแทนที่ล่าสุดในแคช

4. นโยบาย Cloud ซึ่งเป็นนโยบายที่เสนอจะเลือกกลุ่มข้อมูลที่ไม่ได้ถูกร้องขอเป็นเวลานานที่สุดโดยมีจำนวนชิ้นข้อมูลเท่ากับขนาดของ Window size จากนั้นจากกลุ่มข้อมูลนี้ นโยบายจะเลือกแทนที่ข้อมูลชิ้นที่มีผลกำไร (Profit, P) น้อยที่สุดก่อนซึ่งผลกำไรของข้อมูล  $i$  จำนวนจากสูตร  $P_i = f_i s_i c_i l_i t t_i$  โดยที่  $c$  คืออัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ,  $l$  คือระยะเวลาของการโหลดข้อมูล และ  $t t_i$  คืออายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล รายละเอียดของขั้นตอนวิธีของนโยบาย Cloud นำเสนออยู่ในภาคผนวก ก

ค่าของตัวแปรตาม (จำนวนครั้งที่พบข้อมูลในเว็บแคช) อันเป็นผลที่เกิดจากแต่ละนโยบาย การแทนที่ข้อมูลเหล่านี้จะถูกโปรแกรมจำลองการทำงานนำมาคำนวณหาค่าตามหน่วยวัดสมรรถนะทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ต่อไปนี้เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างนโยบายทั้งสี่ว่าเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยหรือไม่

1. อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล จำนวนจากสูตร  $\sum_{i=1}^n p_i s_i h_i / \sum_{i=1}^n p_i s_i r_i$  ซึ่ง  $p_i$  คือค่าโหลดข้อมูล  $i$  ต่อขนาดข้อมูลหนึ่งหน่วย,  $s_i$  คือขนาดของข้อมูล  $i$ ,  $h_i$  คือจำนวนครั้งที่พบข้อมูล  $i$  ในแคช, และ  $r_i$  คือจำนวนครั้งของการร้องขอข้อมูล  $i$  ทั้งหมดในอดีต หน่วยวัดสมรรถนะนี้ใช้ชี้วัดผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้

2. อัตราการพบข้อมูลในแคช จำนวนได้จากสูตร  $\sum_{i=1}^n h_i / \sum_{i=1}^n r_i$  (Podlipnig and Böszörményi, 2003) หน่วยวัดสมรรถนะนี้ใช้ชี้วัดผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์รองของงานวิจัยในมิติของจำนวนคำร้องขอข้อมูลรวมทั้งหมดที่ได้รับการตอบสนองเร็วขึ้น(เนื่องจากพบข้อมูลในแคช)ว่าอยู่ในระดับใด

3. อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช จำนวนจากสูตร  $\sum_{i=1}^n s_i h_i / \sum_{i=1}^n s_i r_i$  (Podlipnig and Böszörményi, 2003) หน่วยวัดสมรรถนะนี้นิยมใช้ในการชี้วัดประสิทธิภาพของนโยบายแทนที่ข้อมูลเว็บแคชที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่อยู่ในปัจจุบัน

4. อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล จำนวนจากสูตร  $\sum_{i=1}^n d_i h_i / \sum_{i=1}^n d_i r_i$  ซึ่ง  $d_i$  คือระยะเวลาการโหลดข้อมูล  $i$  จากแม่ข่ายมายังแคช (Podlipnig and Böszörményi, 2003) หน่วยวัดสมรรถนะนี้ใช้ชี้วัดผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์รองของงานวิจัยในมิติของระยะเวลาการตอบสนองรวมทั้งหมดว่าลดลงได้ในระดับใด