



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

SRIPATUM UNIVERSITY

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของนโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์

เกษ

THE STUDY OF PERFORMANCE FACTORS OF CLOUD CACHE  
REPLACEMENT POLICY

เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2557

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ชาติ วรกุลพิพัฒน์ ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและคณาจารย์เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยศรีปทุมสำหรับการสนับสนุนเชิงระเบียบและนโยบายในการดำเนินโครงการจนลุล่วงด้วยจิตบริการ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมสำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อนึ่ง งานวิจัยนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้โดยปราศจากนักวิจัยรุ่นพี่ที่ได้สร้างสรรค์ผลงานวิจัยไว้ให้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยต่อยอด รวมถึงมารดา บิดาผู้มอบชีวิตด้วยความรักอันประเสริฐยิ่งและครูอาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ตลอดจนศรีภรรยาผู้เกื้อกูลผู้วิจัยในเบื้องหลังตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยนี้

เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์

กรกฎาคม 2558

หัวข้อวิจัย : การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของนโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์แคช  
ผู้วิจัย : นาย เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์  
หน่วยงาน : คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ.2558

---

## บทคัดย่อ

ผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะซึ่งมีการคิดค่าบริการในหลายด้าน หนึ่งในนั้นคือ ค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์ องค์กรที่มีข้อมูลที่ต้องโหลดจากคลาวด์เป็นปริมาณมากก็จะมีค่าใช้จ่ายในด้านนี้สูงไปด้วย วิธีการหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายดังกล่าวคือการใช้คลาวด์แคชเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ต้องโหลดซ้ำจากคลาวด์ อย่างไรก็ตามถ้าข้อมูลที่องค์กรเก็บไว้บนคลาวด์มีขนาดใหญ่มาก คลาวด์แคชจำเป็นต้องมีกลไกในการเลือกแทนที่ข้อมูลในแคชนั้นคือ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์แคช นโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์แคชใหม่ที่สามารถลดค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์ และระยะเวลารวมในการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ คือ ไอคลาวด์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยหลักสามปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไอคลาวด์ ได้แก่ ขนาดของวินโดว อายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล และค่าโหลดข้อมูล ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะทุกด้านของไอคลาวด์มากที่สุดคือ อายุใช้งานกองเหลือข้อมูล รองลงมาคือขนาดของวินโดว และน้อยที่สุดคือค่าโหลดข้อมูล

คำสำคัญ : การคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์แคช ขนาดของวินโดว อายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล อัตราค่าโหลดข้อมูล

Research Title : The Study of Performance Factors of Cloud Cache Replacement Policy  
Name of Researcher : Mr. Thepparit Banditwattanawong  
Name of Institution : School of Information Technology, Sripatum University  
Year of Publication : B. E. 2558

---

## **ABSTRACT**

Public cloud providers bill private cloud consumers at various pricing models. One of them is the volume of data transferred out of rental private clouds into consumer premises. This expenditure can be significant amount for data-intensive consumer organizations. A solution is by engaging web caches to prevent consumers from duplicated data loadings out of their private clouds. However, a space-limited cache can be filled up by collectively loading the massive and growing on-cloud data. Thus the cache replacement strategy must be enlisted. A cloud cache replacement policy that is capable of minimizing cloud data-out cost and data transfer delay is i-Cloud.

This research studied three factors that contributed in the performance of i-Cloud: window size, data time-to-live, and cloud data-out charge rate. The results showed that the factors that affected i-Cloud performance most were data time-to-live, window size, and cloud data-out charge rate, respectively.

**Keywords :** Cloud computing, cloud cache replacement policy, window size, data time-to-live, data-out charge rate

# สารบัญ

บทที่

หน้า

|   |                                                              |    |
|---|--------------------------------------------------------------|----|
| 1 | บทนำ.....                                                    | 1  |
|   | ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....                         | 1  |
|   | วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                                | 3  |
|   | คำถามการวิจัย .....                                          | 3  |
|   | สมมุติฐานการวิจัย .....                                      | 3  |
|   | ขอบเขตการวิจัย .....                                         | 4  |
|   | นิยามศัพท์ .....                                             | 4  |
| 2 | วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....                                  | 7  |
|   | ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย .....                  | 7  |
|   | ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย .....                           | 8  |
|   | ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                | 13 |
|   | สรุป .....                                                   | 14 |
| 3 | ระเบียบวิธีวิจัย .....                                       | 16 |
|   | แบบแผนทางการวิจัย .....                                      | 16 |
|   | ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....                               | 16 |
|   | ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง .....                                | 17 |
|   | เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....                             | 18 |
|   | การรวบรวมข้อมูล .....                                        | 18 |
|   | การวิเคราะห์ข้อมูล .....                                     | 20 |
| 4 | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                   | 24 |
|   | คุณลักษณะของข้อมูลนำเข้า .....                               | 24 |
|   | การวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยขนาดของวินโดว.....               | 24 |
|   | การวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล.....  | 30 |
|   | การวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยอัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ..... | 35 |

| บทที่ | สารบัญ (ต่อ)                                                        | หน้า |
|-------|---------------------------------------------------------------------|------|
| 5     | สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                                  | 40   |
|       | สรุปผลการวิจัย .....                                                | 40   |
|       | อภิปรายผล .....                                                     | 41   |
|       | ข้อเสนอแนะ .....                                                    | 42   |
|       | บรรณานุกรม .....                                                    | 44   |
|       | ภาคผนวก .....                                                       | 48   |
|       | ภาคผนวก ก ขั้นตอนวิธีของนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่เสนอ ..... | 49   |
|       | ภาคผนวก ข ประสิทธิภาพของนโยบายแทนที่ข้อมูลในเว็บแคช .....           | 52   |
|       | ประวัติย่อผู้วิจัย .....                                            | 59   |

## สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

|    |                                                                                                                                                                                                  |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | คุณลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้าแต่ละชุด.....                                                                                                                                                   | 24 |
| 2  | ค่า Window size ที่ดีที่สุดที่ใช้ในการจำลองการทำงานของนโยบายไอ-คลาวด์.....                                                                                                                       | 25 |
| 3  | อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่<br>ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO.....                                                                            | 53 |
| 4  | อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่<br>ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                            | 53 |
| 5  | อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่<br>ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO.....                                                                           | 53 |
| 6  | อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่<br>ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                           | 53 |
| 7  | อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima)<br>และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO.....                                                                       | 54 |
| 8  | อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima)<br>และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                       | 54 |
| 9  | อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด<br>(Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO.....                                                                                 | 54 |
| 10 | อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด<br>(Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                                 | 54 |
| 11 | อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้<br>งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล<br>(Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO.....  | 55 |
| 12 | อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้<br>งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล<br>(Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY.....  | 55 |
| 13 | อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้<br>งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล<br>(Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO..... | 55 |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

[illegible]

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|    |                                                                                                                                                                        | หน้า |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|    | พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO .....                                                                    | 58   |
| 24 | อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY ..... | 58   |
| 25 | อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO.....            | 58   |
| 26 | อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY .....           | 58   |

# สารบัญภาพประกอบ

## ภาพประกอบ

## หน้า

|   |                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | กรอบแนวคิดของการวิจัย.....                                                                                                                                                                                                                  | 23 |
| 2 | ผลการเปรียบเทียบอัตราประหัตค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY .....                                                                          | 26 |
| 3 | ผลการเปรียบเทียบอัตราประหัตเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                          | 27 |
| 4 | ผลการเปรียบเทียบอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                    | 28 |
| 5 | ผลการเปรียบเทียบอัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                              | 29 |
| 6 | ผลการเปรียบเทียบอัตราประหัตค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....  | 31 |
| 7 | ผลการเปรียบเทียบอัตราประหัตเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY..... | 32 |
| 8 | ผลการเปรียบเทียบอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานกองเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่าง               |    |

## สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ                                                                                                                                                                                                                               | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ใช้ชุดข้อมูล NY.....                                                                                                                                                                                                                    | 33   |
| 9 ผลการเปรียบเทียบอัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY..... | 34   |
| 10 ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....           | 36   |
| 11 ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....          | 37   |
| 12 ผลการเปรียบเทียบอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY...       | 38   |
| 13 ผลการเปรียบเทียบอัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY.....               | 39   |
| 14 กรอบแนวคิดของนโยบายไอ-คลาวด์.....                                                                                                                                                                                                    | 50   |
| 15 ขั้นตอนวิธีของนโยบายคลาวด์ (Cloud) ในภาพประกอบ 14.....                                                                                                                                                                               | 50   |
| 16 ขั้นตอนวิธีของตัวพยากรณ์ (Forecaster) ในภาพประกอบ 14.....                                                                                                                                                                            | 51   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนย้ายกระบวนทัศน์ (paradigm shift) เข้าสู่การคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์ (cloud computing) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายองค์การทั่วโลก ทั้งนี้เป็นผลมาจากความสามารถในการช่วยลดความเสี่ยงเชิงเศรษฐศาสตร์ (Armbrust, et al., 2009) ในการจัดตั้งและบริหารศูนย์ข้อมูล (data center) กล่าวคือ องค์การแบบดั้งเดิมนิยมลงทุนในระบบไอทีแบบเพื่อไว้รองรับการขยายตัวของความต้องการใช้บริการในอนาคต แต่เมื่อใดก็ตามที่ความต้องการใช้บริการมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่คาดการณ์ลงทุนเพื่อไว้ ก็จะทำให้้องค์การสูญเสียโอกาสและรายได้จากความต้องการใช้บริการที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่สามารถรองรับได้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าอัตราการเติบโตของความต้องการใช้บริการไม่เป็นไปตามการคาดการณ์หรือความต้องการใช้บริการเกิดการหดตัว ้องค์การก็จะเสียโอกาสในการนำเม็ดเงินที่ลงทุนไปในระบบส่วนขยายเพื่อใช้ในกิจการด้านอื่นของ้องค์การ ความเสี่ยงเหล่านี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการเปลี่ยนมาใช้บริการคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์เพราะ้องค์การสามารถเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ บริการแพลตฟอร์มคลาวด์ หรือบริการซอฟต์แวร์คลาวด์จากผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะเพื่อใช้ในการจัดตั้งดำเนินการศูนย์ข้อมูลของตนได้โดยมีค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามปริมาณหรือระยะเวลาของการใช้งานจริง (pay-as-you-go) ของทรัพยากรการคำนวณ (computing resources) เมื่อใดก็ตามที่ปริมาณความต้องการใช้บริการของผู้ใช้แปรเปลี่ยนไป ้องค์การก็สามารถทำการเพิ่มหรือลดการเช่าทรัพยากรการคำนวณให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการจริงของผู้ใช้ได้ทันที

อย่างไรก็ตาม การใช้บริการคลาวด์จำเป็นต้องพึงพิงคุณภาพของการเชื่อมต่อเครือข่ายเป็นอย่างมากเพราะทรัพยากรการคำนวณทั้งหมดถูกรวมศูนย์ไว้ในคลาวด์ที่อยู่ระยะไกลจากผู้ใช้ ถ้าการจราจรข้อมูลในเส้นทางการเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างคลาวด์และผู้ใช้เกิดคับคั่งก็จะเป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพการเข้าถึงบริการคลาวด์ และเมื่อการเชื่อมต่อเครือข่ายเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการใช้บริการคลาวด์เช่นนี้แล้ว จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดให้มีมีกลไกสนับสนุนการใช้แบนด์วิธของเส้นทางการเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างคลาวด์และผู้ใช้ให้เป็นอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีภาวะการขยายตัวได้ (network scalability) ช่วยให้อาจสามารถรองรับการเติบโตของความต้องการคำนวณโหลดข้อมูลปริมาณเพิ่มขึ้นได้ในระดับหนึ่งโดยสมรรถนะการเข้าถึงบริการคลาวด์ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อผู้ใช้ (Banditwattanawong, et al., 2014) นอกจากนี้ผู้

ให้บริการคลาวด์สาธารณะเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน เช่น Amazon Web Services, Microsoft Azure และ Google App Engine ยังมีการคิดค่าใช้จ่ายบริการตามปริมาณการดาวน์โหลดข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตระหว่างผู้ให้บริการคลาวด์และผู้ใช้ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายของการดาวน์โหลดข้อมูลจากคลาวด์ด้วย

เนื่องจากการโหลดข้อมูลส่วนใหญ่จากคลาวด์มายังผู้ใช้ปลายทางอาศัยโพรโทคอลการสื่อสารเอชทีทีพี (HTTP) เพื่อแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์หรือเว็บโอเอส (Web OS) (Alex, 2000, Bennet, et al, 2010) ของผู้ใช้ปลายทาง วิธีการพื้นฐานที่สามารถนำมาช่วยลดระยะเวลาการเข้าถึงบริการคลาวด์ ลดปริมาณการดาวน์โหลดข้อมูลเพื่อส่งเสริมภาวะการขยายตัวได้และเพื่อลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลจากคลาวด์คือการติดตั้งใช้งานระบบ คลาวด์แคช ไว้ที่ฝั่งองค์การของผู้ให้บริการคลาวด์ เรียกว่า คลาวด์แคชฝั่งผู้ใช้ (client-side cloud cache) (Banditwattanawong, et al., 2014) เมื่อผู้ใช้ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลที่เคยถูกดาวน์โหลดจากคลาวด์มาแล้ว แทนที่ข้อมูลจะต้องถูกส่งจากเครื่องให้บริการบนคลาวด์มาสู่ผู้ใช้ใหม่อีกครั้ง ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งจากคลาวด์แคชไปให้ผู้ใช้แทนถ้าข้อมูลนั้นยังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ทำให้ประหยัดเวลาในการดาวน์โหลดข้อมูลจากคลาวด์ ช่วยลดปริมาณการใช้งานแบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายนำไปสู่ภาวะการขยายตัวที่ดีขึ้น และสามารถช่วยประหยัดค่าดาวน์โหลดข้อมูลจากคลาวด์อีกด้วย

ข้อจำกัดประการหนึ่งของคลาวด์แคชฝั่งผู้ใช้คือการมีหน่วยเก็บข้อมูลขนาดจำกัดและมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับข้อมูลในยุคบิกเคต้า (big data) ที่นิยมเก็บไว้บนคลาวด์ไม่ว่าจะเป็นวิดีโอ (video), เสียง (audio), ภาพ, ตัวอักษร และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งถูกสร้างขึ้นอย่างรวดเร็วโดยอุปกรณ์โมบายของผู้ใช้และถูกใช้งานร่วมกันในปริมาณมหาศาลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ข้อจำกัดดังกล่าวนี้ทำให้คลาวด์แคชต้องมีการเรียกใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูลในแคช (cache replacement policies) ที่ใช้ควบคุมการลบข้อมูลออกจากแคชเมื่อพื้นที่เก็บข้อมูลในแคชไม่เพียงพอสำหรับการบันทึกข้อมูลใหม่ที่แคชดาวน์โหลดมาตามคำร้องขอข้อมูลจากผู้ใช้ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในแคชนี้สามารถส่งผลต่อสมรรถนะของระบบคลาวด์แคชอย่างมีนัยสำคัญ Banditwattanawong, et al. (2014) เสนอนโยบายการแทนที่ข้อมูลในแคชชื่อว่า ไอ-คลาวด์ (i-Cloud) ซึ่งทำงานโดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ในการตัดสินใจเลือกข้อมูลที่จะถูกแทนที่ ได้แก่ เวลาที่ร้องขอข้อมูลครั้งล่าสุด (recency), จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอ (access frequency), ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ (object size), ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการดาวน์โหลดต้นฉบับจากคลาวด์ของข้อมูลที่ร้องขอ (download latency), อายุใช้งานคงเหลือ (TTL), อัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูล (data-out charge rate) และขนาดของวินโดว (window size) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในขั้นตอนวิธี (algorithmic parameter) ของไอ-คลาวด์ ผลการวิจัยพบว่าไอ-คลาวด์มีประสิทธิภาพดีกว่านโยบายการแทนที่

ข้อมูลในเว็บแคมที่ใช้งานอย่างแพร่หลายได้แก่ LRU, GDSF และ LFU-DA (Podlipnig and Böszörményi, 2003) ในทุกตัววัดที่ใช้คือ อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคม, อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราประหยัดการหมุนเวียน และอัตราการพบข้อมูลในแคม นอกจากนี้สมรรถนะของไอ-คลาวด์ตามตัววัดเหล่านี้ยังสูงใกล้เคียงกับสมรรถนะในอุดมคติที่ขนาดของหน่วยเก็บข้อมูลของแคมเป็นอนันต์ (Banditwattanawong, et al., 2014, Banditwattanawong and Uthayopas, 2014: 113-121) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมของไอ-คลาวด์ลึกลงไปอีกด้วยการจำลองการทำงานโดยใช้ชุดข้อมูลขนาดใหญ่ (ระดับจีเกะไบต์) และการตั้งค่าสภาพแวดล้อมการทดสอบใหม่เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาได้ว่าอะไรเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จดังกล่าว การค้นพบที่ได้จะเป็นแนวทางให้แก่ผู้สร้างเนื้อหาข้อมูลบนคลาวด์ในการกำหนดและบริหารลักษณะเฉพาะของข้อมูลให้เกิดความเอื้ออำนวยต่อการทำงานของระบบคลาวด์แคมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อคลาวด์แคมทำงานได้เต็มสมรรถนะ จะก่อให้เกิดประโยชน์ที่ชัดเจนขึ้นหลายประการได้แก่ การลดเวลาตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ทำให้การดำเนินธุรกิจโดยอาศัยเทคโนโลยีคลาวด์เป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น การประหยัดค่าใช้จ่ายบริการคลาวด์ในระยะยาวอันนำไปสู่การลดต้นทุนการบริการ การยืดอายุการใช้งานแบนด์วิธของระบบเครือข่ายทำให้เกิดการใช้งานที่คุ้มค่ายิ่งขึ้น และในภาพรวมที่ใหญ่ขึ้น ประโยชน์เหล่านี้จากหลายองค์การจะก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของประเทศ อีกทั้งยังเป็นการช่วยให้การตัดสินใจขององค์กรต่างๆ ในการปฏิรูปบริการของตนให้เข้าสู่ยุคการคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์เป็นไปได้ง่ายขึ้น ช่วยยกระดับการให้บริการและการแข่งขันในระยะยาวได้อย่างแท้จริง

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์แต่ละปัจจัยส่งผลมากน้อยเท่าใดโดยใช้ตัววัดความประหยัดทางเศรษฐศาสตร์และตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคมาตรฐาน

### คำถามการวิจัย

อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล ขนาดวินโดว์ และอัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูลมีผลต่อสมรรถนะการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์หรือไม่และส่งผลมากน้อยเพียงใด

### สมมุติฐานการวิจัย

อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลน่าจะมีผลต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์มากที่สุด รองลงมาคือ ขนาดวินโดว์และอัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูลตามลำดับ

### ขอบเขตของการวิจัย

#### กลุ่มเป้าหมาย

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผู้ใช้เว็บบนอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บแคชของโครงการ IRCache (NSF and NLANR, 2015) ซึ่งสนับสนุนการทำวิจัยด้านแคชโดยผู้วิจัยที่ได้รับอนุญาตสามารถดาวน์โหลดข้อมูลไปใช้ในการทดลอง สาเหตุที่เลือกกลุ่มประชากรดังกล่าวคือ ชุดข้อมูลที่สามารถจัดหา มาได้สำหรับการวิจัยนี้เกิดจากประชากรกลุ่มนี้

กลุ่มตัวอย่างประชากรที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือผู้เข้าถึงเว็บที่ได้รับความนิยมสูงสุด 50 อันดับแรก เพื่อเป็นการจำลองสภาพการณ์จริงขององค์กรขนาดกลางที่ใช้บริการ คลาวด์โดยมีเว็บไซต์ทั้งหมดจำนวน 50 โดเมน

#### เนื้อหาของการวิจัย

1. ตัวแปรต้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ขนาดข้อมูลที่ร้องขอ, เวลาที่ร้องขอข้อมูล, จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีต, ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล และขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของเว็บแคช
2. ตัวแปรตามที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช, อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราประหยัดการหน่วง และอัตราการพบข้อมูลในแคช
3. ตัวแปรควบคุมที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของเนื้อหาในคลาวด์แคช, อายุใช้งานคงเหลือ อัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูล และขนาดวินโดว์

#### ระยะเวลา

1 ปี

#### นิยามศัพท์

**การคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์ (cloud computing)** คือ ตัวแบบที่ทำให้การเข้าถึงแหล่งรวมทรัพยากรการคำนวณที่ใช้ร่วมกันและปรับแต่งโครงสร้างได้อันได้แก่ เครือข่าย, เครื่องให้บริการ, หน่วยเก็บ, โปรแกรมประยุกต์, และบริการ สามารถดำเนินการผ่านเครือข่ายตามคำขอได้อย่างสะดวก ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถจัดหาและคืนได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยการจัดการและการ

โต้ตอบกับผู้ให้บริการน้อยที่สุด (Mell and Grance, 2011) องค์ประกอบสำคัญของการคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์ได้แก่ บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ และการคำนวณสาธารณะโภคซึ่งหมายถึงการให้บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์หรือบริการแพลตฟอร์มคลาวด์ (Armbrust et al., 2009)

**บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (Cloud Infrastructure as a Service: IaaS)** คือ บริการทรัพยากรการคำนวณอันได้แก่ หน่วยประมวลผล, หน่วยเก็บข้อมูล, และเครือข่าย ซึ่งผู้ให้บริการสามารถใช้ทรัพยากรเหล่านี้เพื่อติดตั้งระบบปฏิบัติการหรือโปรแกรมประยุกต์ใดๆ ได้ตามต้องการ (Mell and Grance, 2011)

**บริการแพลตฟอร์มคลาวด์ (Cloud Platform as a Service: PaaS)** คือ บริการระบบปฏิบัติการและซอฟต์แวร์ระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งติดตั้งอยู่บนโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับให้ผู้ให้บริการติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ที่ระบบปฏิบัติการรองรับ (Mell and Grance, 2011)

**บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ (Cloud Software as a Service: SaaS)** คือ ซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งอยู่บนแพลตฟอร์มคลาวด์และโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เพื่อให้บริการผู้ใช้งานเว็บเบราว์เซอร์ (Mell and Grance, 2011)

**คลาวด์สาธารณะ (public cloud)** คือ ตัวแบบการใช้งานที่โครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ถูกจัดมาสำหรับการใช้แบบเปิดโดยสาธารณะทั่วไป และอาจถูกเป็นเจ้าของ จัดการ และจัดดำเนินการโดยองค์กรธุรกิจ สถาบันการศึกษา และภาครัฐ หรือแบบผสม และติดตั้งอยู่ที่ฝั่งผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะ (Mell and Grance, 2011)

**คลาวด์ส่วนบุคคล (private cloud)** คือ ตัวแบบการใช้งานที่โครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ถูกจัดมาสำหรับการใช้ประโยชน์ขององค์กรใดองค์กรหนึ่งที่ประกอบด้วยผู้บริโภครายหลายคน และอาจถูกเป็นเจ้าของ จัดการ และจัดดำเนินการโดยองค์กร บุคคลที่สาม หรือแบบผสม และอาจติดตั้งอยู่ที่ฝั่งผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะหรือในองค์กรของผู้ใช้บริการเอง (Mell and Grance, 2011)

**อัตราการพบข้อมูลในแคช (hit rate)** คือ อัตราส่วนจำนวนครั้งของการพบข้อมูลในแคชต่อจำนวนครั้งทั้งหมดของการร้องขอข้อมูลภายในระยะเวลาเดียวกัน (Podlipnig and Böszörményi, 2003)

**อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (byte-hit ratio)** คือ อัตราส่วนขนาดรวมของข้อมูลที่ไหลจากแคชต่อขนาดรวมของข้อมูลที่ร้องขอทั้งที่พบและไม่พบในแคช (Podlipnig and Böszörményi, 2003)

**อัตราประหยัดการหน่วง (delay-saving ratio)** คือ อัตราส่วนขนาดรวมของข้อมูลที่ไหลจากแคชต่อขนาดรวมของข้อมูลที่ร้องขอทั้งที่พบและไม่พบในแคช (Podlipnig and Böszörményi, 2003)

อัตราประหยัดค่าตัวน้โหลดข้อมูล (saving-cost ratio) คือ อัตราส่วนค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลที่พบในเลขต่อค่าตัวน้โหลดข้อมูลที่ร้องขอทั้งหมดจากคลาวด์ทั้งที่พบและไม่พบในแคช

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย

ถึงแม้ว่านิยามอย่างเป็นทางการของคลาวด์ที่เขียนโดย Mell and Grance (2009) มิได้เจาะจงโปรโตคอลที่ใช้ในการเข้าถึงทรัพยากรคำนวณบนคลาวด์ ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ไหลออกจากคลาวด์ได้แก่ข้อมูลของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในบริการ โครงสร้างพื้นฐานคลาวด์และข้อมูลผลการประมวลของบริการแพลตฟอร์มคลาวด์และบริการซอฟต์แวร์คลาวด์ ถูกไหลมายังผู้ใช้ปลายทางผ่านโปรโตคอลการสื่อสารมาตรฐานสากล เอชทีทีพี (HTTP) ข้อมูลจากคลาวด์ที่ถูกส่งผ่านโปรโตคอลเอชทีทีพีจะถูกนำมาประมวลผลและ(หรือ)แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์หรือเว็บโอเอส (Web OS) (Alex, 2000, Bennet, et al, 2010) ของผู้ใช้ปลายทาง ดังนั้นเทคนิคพื้นฐานที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายของการไหลข้อมูลจากคลาวด์ได้คือการติดตั้งเว็บแคชที่ฝั่งองค์กรหรือหน่วยงานของผู้ใช้บริการคลาวด์เพื่อลดปริมาณการไหลข้อมูลจากแม่ข่ายบนคลาวด์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาระบบคลาวด์แคชฝั่งเครื่องรับบริการ (client-side cloud cache) ซึ่งเป็นแนวคิดที่พัฒนามาจากเว็บแคช (Banditwattanawong, Masdisornchote, and Utayopas, 2015) เว็บแคช หรือ เว็บพร็อกซีแคช (web proxy cache) (Tanenbaum and Steen, 2002) เป็นระบบการทำสำเนาของข้อมูลต้นฉบับที่ผู้ใช้ไหลจากแม่ข่ายระยะไกลด้วยโปรโตคอลเอชทีทีพี เป็นต้น ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์และเก็บไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลของแม่ข่ายเว็บแคชที่ฝั่งผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้องค์กรใช้ข้อมูลที่เคยไหลจากแม่ข่ายอีกในภายหลังก็สามารถอ่านสำเนาของข้อมูลดังกล่าวจากเว็บแคชไปใช้ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องไหลข้อมูลต้นฉบับที่อยู่บนแม่ข่ายอีกซึ่งช้ากว่าการอ่านจากเว็บแคช จะเห็นว่านอกจากประสิทธิภาพในการไหลข้อมูลที่เพิ่มขึ้น การใช้เว็บแคชยังช่วยลดปริมาณข้อมูลที่ถูกไหลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์จากแม่ข่ายมายังคอมพิวเตอร์ด้านผู้ใช้อีกด้วย ทั้งนี้ประสิทธิภาพของเว็บแคชในการลดปริมาณการไหลข้อมูลขึ้นอยู่กับกลไกสำคัญสองประการ (Shim, Scheuermann, and Vingralek, 1999) ของเว็บแคชที่ถูกกำหนดให้ใช้ในการประมวลผลคำร้องขอการไหลข้อมูล ดังต่อไปนี้

1) เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของข้อมูลในเว็บแคช (web cache consistency protocols) ใช้สำหรับปรับเนื้อหาของข้อมูลในเว็บแคชให้เป็นปัจจุบันเหมือนกับเนื้อหาของข้อมูลต้นฉบับล่าสุดบนแม่ข่ายซึ่งอาจถูกเปลี่ยนแปลงไปจากเนื้อหาเดิมที่เว็บแคชโหลดไปก่อนหน้านี้ ถ้าเว็บแคชถูกกำหนดให้ใช้เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันแบบเข้มงวด เนื้อหาของข้อมูลในเว็บแคชจะถูกปรับให้เหมือนกับข้อมูลต้นฉบับบนแม่ข่ายเสมอด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ข้อมูลที่ผู้ร้องขออ่านไปจากเว็บแคชจึงเป็นข้อมูลที่ทันสมัยเสมอ แต่เกณฑ์วิธีแบบนี้จำเป็นต้องทำการโหลดข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเป็นปริมาณมาก เว็บแคชส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้เกณฑ์วิธีแบบไม่เข้มงวดโดยข้อมูลในเว็บแคชจะถูกกำหนดวันหมดอายุ หลังจากวันดังกล่าว เว็บแคชจะต้องโหลดข้อมูลใหม่จากแม่ข่าย(หากต้นฉบับมีการเปลี่ยนแปลง)ก่อนส่งต่อให้ผู้ร้องขอข้อมูล ทำให้ปริมาณการโหลดข้อมูลจากแม่ข่ายมายังเว็บแคชน้อยกว่าเกณฑ์วิธีแบบเข้มงวดเพราะไม่จำเป็นต้องโหลดข้อมูลทุกครั้งที่ข้อมูลต้นฉบับถูกเปลี่ยนแปลงแต่โหลดใหม่เฉพาะเมื่อผู้ร้องขอและข้อมูลหมดอายุแล้ว (Yin, 2002) ซึ่งเป็นผลดีต่อองค์กรที่ต้องการใช้เว็บแคชเป็นเครื่องมือในการประหยัดค่าโหลดข้อมูล

2) นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคช (web cache replacement policies) ใช้ควบคุมการลบข้อมูลออกจากแคชเมื่อพื้นที่เก็บข้อมูลในแคชไม่เพียงพอสำหรับการบันทึกข้อมูลใหม่ที่แคชโหลดมาตามคำร้องขอข้อมูลของผู้ใช้ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชทวีความสำคัญยิ่งขึ้นในยุคคลาวด์เนื่องจากข้อมูลที่ส่งผ่านเข้าสู่ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ซึ่งจะถูกสำเนาเก็บไว้ในเว็บแคชด้วยมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเป็นผลมาจากการโหลดข้อมูลของผู้ใช้ที่ถูกย้ายไปเก็บไว้บนคลาวด์และข้อมูลตอบกลับจากบริการซอฟต์แวร์คลาวด์ต่างๆ ที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่หน่วยเก็บข้อมูลของเว็บแคชมีพื้นที่เก็บข้อมูลที่จำกัด ตัวอย่างนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์เว็บแคชส่วนใหญ่รวมทั้ง Squid (Wessels, 2004) ซึ่งมีชื่อเสียงและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลก ได้แก่ LRU, LFU-DA และ GDSF (Podlipnig and Böszörményi, 2003)

### ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย

ปัจจัยพื้นฐานต่างๆ ที่นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชปัจจุบันใช้ในการพิจารณาเลือกข้อมูลที่จะถูกแทนที่ได้แก่ ระยะเวลาที่ข้อมูลถูกร้องขอครั้งล่าสุด (time since last request หรือนิย

เรียกว่า recency), จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอ (number of past requests หรือนิยมเรียกว่า frequency), ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ (size of requested object), ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาข้อมูลต้นฉบับ (update frequency), อายุใช้งานคงเหลือ (freshness lifetime) และต้นทุนทางเทคนิคในการโหลดข้อมูล (cost to fetch object from its origin server) (เช่น ระยะเวลาที่ต้องใช้หรือแบนด์วิดท์ในการโหลดข้อมูลจากแม่ข่าย, อัตราค่าโหลดข้อมูลตามปริมาณ) กลุ่มทฤษฎีที่เป็นเหตุผลสนับสนุนแนวคิดของการพิจารณาแต่ละปัจจัยข้างต้นมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

1) ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ, อัตราค่าโหลดข้อมูล, จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอ และระยะเวลาที่ข้อมูลถูกร้องขอครั้งล่าสุด

เนื่องจากโดยปกติค่าใช้บริการคลาวด์คิดจากอัตราค่าโหลดข้อมูลและปริมาณข้อมูลที่ได้รับส่งระหว่างผู้ใช้และผู้ให้บริการคลาวด์ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่มุ่งเน้นการลดค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์จึงควรนำขนาดของข้อมูลที่ร้องขอมาเป็นปัจจัยพื้นฐานในการพิจารณาเลือกแทนที่ข้อมูลด้วย งานวิจัยของ Podlipnig and Böszörményi (2003) และ Williams et al. (1996) พบทฤษฎีว่านโยบายที่เลือกแทนที่ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ (เพื่อให้ได้พื้นที่ในเว็บแคชคืนสำหรับเก็บข้อมูลขนาดเล็กจำนวนมาก (Balamash and Krunz, 2004) มีผลช่วยให้อัตราการพบข้อมูลในแคชเพิ่มขึ้น นั่นคือจำนวนครั้งที่ผู้ใช้ได้รับข้อมูลที่ร้องขออย่างรวดเร็วมีความถี่มากขึ้น แต่ผลกระทบด้านลบคือประสิทธิภาพของเว็บแคชเมื่อใช้อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเป็นหน่วยวัดจะลดลง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือปริมาณข้อมูลรวมตลอดระยะเวลาการใช้งานเว็บแคชที่ต้องโหลดใหม่จากแม่ข่ายจะเพิ่มขึ้น สถานะการได้อย่างเสียอย่างที่เกิดขึ้นนี้สอดคล้องกับการงานวิจัยของ Wong (2006) ที่ว่าไม่มีนโยบายใดสามารถให้ค่าของหน่วยวัดทุกตัวสูงได้พร้อมๆ กัน ดังนั้นนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชปัจจุบันเลือกแทนที่ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่จึงไม่เหมาะสมกับองค์กรที่ให้ความสำคัญกับความประหยัดค่าโหลดข้อมูลของการใช้บริการคลาวด์มากกว่าสมรรถนะด้านอัตราการพบข้อมูลในแคช กอปรกับที่ Gartner (2010) ได้เผยแพร่ข้อมูลว่าภายในปี 2013 ข้อมูลในรูปแบบวิดีโอ, เสียง และภาพ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือข้อมูลขนาดใหญ่ จะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะวิดีโอจะกลายเป็นแบบขนินมาตรฐานของสื่อที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น ดังนั้นนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชปัจจุบันที่เลือกแทนที่ข้อมูลขนาดใหญ่ก่อนอาจมีประสิทธิภาพในการลดค่าใช้จ่ายการโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์น้อยลง

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกแทนที่ข้อมูลขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการโหลดข้อมูลแต่ละชิ้นเกิดจากปริมาณข้อมูลรวมที่ไม่จำเป็นต้องโหลดใหม่จากแม่ข่ายสำหรับข้อมูลชิ้นดังกล่าว เนื่องจากพบในเว็บแคช โดยสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการโหลดข้อมูลแต่ละชิ้นได้จากผลคูณระหว่างขนาดข้อมูลชิ้นนั้นและจำนวนครั้งที่ข้อมูลชิ้นนั้นถูกร้องขอหลังจากถูกบันทึกไว้ในแคชแล้ว งานวิจัยนี้เสนอว่านโยบายแทนที่ข้อมูลที่มุ่งลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลควรพิจารณาสถิติจำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีตตั้งแต่ข้อมูลถูกบันทึกไว้ในแคชด้วย เพราะการเลือกแทนที่ข้อมูลที่ถูกร้องขอไม่บ่อยแม้มีขนาดใหญ่อาจช่วยลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลได้มากกว่าการเลือกแทนที่ข้อมูลขนาดเล็กที่ถูกร้องขอบ่อยกว่าก่อนได้ ข้อเสนอนี้สอดคล้องกับการค้นพบของ Arlitt et al. (2000) ที่ว่านโยบายการแทนที่ข้อมูลที่พิจารณาปัจจัยจำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอสามารถให้อัตรารวมของข้อมูลที่พบในแคชได้สูงกว่านโยบายที่ไม่พิจารณาปัจจัยดังกล่าว และยังสอดคล้องกับข้อพิสูจน์ของ Chen, Xiao, and Shen (2006) ที่ว่านโยบายแทนที่ข้อมูลที่พิจารณาพยายามเก็บข้อมูลที่ถูกร้องขอบ่อยไว้ในแคชให้นานเพราะมีความเป็นไปได้สูงที่จะถูกร้องขออีก ในขณะที่ข้อมูลที่ถูกร้องขอน้อยครั้งมักไม่ถูกร้องขออีก การค้นพบหรือข้อพิสูจน์นี้แท้จริงคือหลักการที่เรียกว่า spatial locality ซึ่งหมายถึงการที่ข้อมูลที่ถูกร้องขอบ่อยครั้งมีโอกาสสูงที่จะถูกร้องขอซ้ำอีก

ข้อเสนอข้างต้นเป็นที่มาของสมมติฐานข้อหนึ่งของงานวิจัยนี้ว่านโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่เลือกแทนที่ข้อมูลที่มีสถิติบ่งชี้ว่าช่วยลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูล (ซึ่งเป็นผลคูณของขนาดข้อมูล, อัตราค่าโหลดของแต่ละข้อมูล และจำนวนครั้งที่ข้อมูลดังกล่าวถูกร้องขอตั้งแต่ถูกบันทึกไว้ในแคช) ได้มาก่อน น่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ได้มากกว่านโยบายที่เลือกแทนที่ข้อมูลที่มีสถิติบ่งชี้ว่าช่วยลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม สมมติฐานนี้อาจมีผลกระทบด้านลบกล่าวคือ ข้อมูลที่เคยช่วยประหยัดค่าโหลดข้อมูลได้มากและยังไม่หมดอายุมีแนวโน้มที่จะไม่ถูกเลือกแทนที่และคงอยู่ในแคชเป็นเวลานานแม้ว่าจะไม่ถูกร้องขออีกต่อไป ก่อให้เกิดมลพิษในแคช (cache pollution) (Arlitt, et al. 2000) ทำให้การใช้พื้นที่สำหรับจัดเก็บข้อมูลในแคชไม่มีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จะนำระยะเวลาที่ข้อมูลถูกร้องขอครั้งล่าสุดมาพิจารณาร่วมเพื่อทำให้ข้อมูลในแคชที่เคยช่วยประหยัดค่าโหลดข้อมูล

ได้มากและยังไม่หมดอายุแต่ค้างอยู่ในแคชนานมีโอกาสดูกเลือกแทนที่โดยข้อมูลใหม่เร็วขึ้น การใช้ระยะเวลาที่ข้อมูลถูกร้องขอครั้งล่าสุดยังอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของนโยบายแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชถ้าคำร้องขอข้อมูลที่ส่งมายังแคชมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นซ้ำในระยะเวลาอันสั้น (temporal locality) (Podlipnig and Böszörményi, 2003)

## 2) ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล

เป้าหมายสำคัญอีกประการหนึ่งของเว็บแคชนอกจากการลดปริมาณข้อมูลที่โหลดผ่านระบบเครือข่ายคือการเพิ่มความเร็วในการโหลดข้อมูลของผู้ใช้ โดยเฉพาะในยุคคลาวด์ที่เดสก์ท็อปแอปพลิเคชัน (desktop applications) มีวิวัฒนาการด้านรูปแบบไปสู่บริการซอฟต์แวร์คลาวด์มากขึ้น ทำให้การโต้ตอบระหว่างผู้ใช้และเดสก์ท็อปแอปพลิเคชันที่เดิมเป็นไปอย่างรวดเร็วเพราะไม่ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์เปลี่ยนรูปแบบเป็นการโต้ตอบผ่านทางเครือข่ายซึ่งใช้เวลานานขึ้น นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชที่เหมาะสมกับบริการคลาวด์จึงควรพิจารณาต้นทุนทางเทคนิคระยะเวลาของการโหลดข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการลดระยะเวลาการตอบสนองผู้ใช้ (user response time) อันเป็นความต้องการพื้นฐานของผู้ใช้บริการซอฟต์แวร์คลาวด์เชิงโต้ตอบ (interactive SaaS) ด้วยการเลือกแทนที่ข้อมูลที่มีระยะเวลาของการโหลดจากแม่ข่ายน้อยก่อนข้อมูลที่ใช้เวลาในการโหลดมาก ทฤษฎีการลดระยะเวลาการตอบสนองผู้ใช้ด้วยการเลือกแทนที่ข้อมูลที่ใช้เวลาในการโหลดน้อยก่อนถูกเสนอและพิสูจน์ในงานวิจัยของ Wooster and Abrams (1997) และ Jin and Bestavros (2000: 254-261) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาของการโหลดข้อมูลต้นฉบับเดิมจากแม่ข่ายในครั้งต่อไปเมื่อเกิด Cache miss อาจไม่เท่าเดิมโดยแปรเปลี่ยนตามสภาพความคั่งของเครือข่าย (network congestion) และภาระของแม่ข่าย (server load) ในแต่ละช่วงเวลา งานวิจัยของ Jin and Bestavros (2000: 254-261) และงานวิจัยของ Shin et al. (2003) เสนอว่าระยะเวลาของการโหลดข้อมูลแต่ละชิ้นควรเป็นผลรวมของเวลาแฝง (latency) เฉลี่ยที่ใช้ในการสถาปนาการเชื่อมต่อกันทางเครือข่ายระหว่างเว็บแคชกับแม่ข่ายและอัตราส่วนระหว่างขนาดของข้อมูลที่โหลดกับความเร็วแท้จริงในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย (network throughput) ระหว่างเว็บแคชกับแม่ข่ายซึ่งขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์และความคั่งเฉลี่ยของเส้นทางเครือข่ายที่ถูกใช้ในการโหลดข้อมูลรวมถึงภาระเฉลี่ยของแม่ข่ายเป็นสำคัญ ส่วนเวลาแฝงของการปิดการเชื่อมต่อกันทางเครือข่ายระหว่างแคชกับแม่ข่ายไม่ถูกพิจารณาเพราะเกิดขึ้นหลังจากแคชได้รับข้อมูลที่ร้องขอสมบูรณ์แล้ว การวัดความเร็วเฉลี่ย

แท้จริงของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระหว่างเว็บแคชกับแต่ละแม่ข่ายของผู้ให้บริการคลาวด์ทุกรายที่องค์กรใช้บริการอยู่สามารถดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์โปรโตคอลเครือข่าย (Haugdahl, 2000) เช่น ping, Iperf (NLANR/DAST, 2010) หรือฟังก์ชัน Throughput Graph ของ Wireshark (Wireshark Foundation, 2011)

### 3) อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลมีอายุการใช้งานที่บ่งบอกถึงระยะเวลาที่เนื้อหาข้อมูลจะถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือยุติการใช้งาน กอปรกับผู้ผลิตข้อมูลต้นฉบับสามารถใช้คำสั่งเซตที่เอ็มแอลทำการกำหนดวันหมดอายุหรือระยะเวลาที่อนุญาตให้ใช้งานได้ของข้อมูล นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชจึงควรพิจารณาปัจจัยวันหมดอายุของข้อมูล ซึ่งถูกระบุอยู่ในฟิลด์ส่วนหัว Expires ของโปรโตคอลเซตที่ทีพีที่ใช้ในการส่งสำเนาของข้อมูลต้นฉบับมายังแคช หรืออายุใช้งานได้ของข้อมูล ซึ่งถูกระบุอยู่ในฟิลด์ส่วนหัว Max-age ของโปรโตคอลเซตที่ทีพี (Fielding, et al. 1999) ทั้งนี้เพื่อทำการเลือกแทนที่ข้อมูลที่หมดอายุแล้วหรืออายุใช้งานคงเหลือสั้น (short freshness lifetime first) เป็นการป้องกันมิให้มีข้อมูลหมดอายุค้างอยู่ในแคชเป็นการสิ้นเปลืองพื้นที่จัดเก็บของแคช ทฤษฎีการเลือกแทนที่ข้อมูลดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของ Wessels (1995) งานวิจัยของ Fielding et al. (1999) เสนอแนวทางการคำนวณอายุใช้งานคงเหลือไว้ดังมีรายละเอียดคือ ถ้าคำสนองเซตที่ทีพี (HTTP response) ที่ตอบกลับจากแม่ข่ายมายังแคชมีฟิลด์ Max-age ให้กำหนดอายุใช้งานคงเหลือ (freshness lifetime) เท่ากับค่า Max-age แต่ถ้าคำสนองเซตที่ทีพีไม่มีฟิลด์ Max-age แต่มีฟิลด์ expires ให้กำหนดอายุใช้งานคงเหลือเท่ากับค่า expires ลบด้วยวันเวลาที่คำสนองถูกสร้างขึ้นที่แม่ข่ายซึ่งถูกระบุอยู่ในฟิลด์ส่วนหัว date ของโปรโตคอลเซตที่ทีพี อย่างไรก็ตาม ข้อมูลบางประเภท ได้แก่ เว็บเพจแบบพลวัต (dynamic web pages) ซึ่งจะไม่ถูกอ่านซ้ำ (จึงไม่ควรถูกเก็บไว้ในแคช) และข้อมูลสถิต (static data) ที่ไม่ถูกกำหนดวันหมดอายุหรืออายุใช้งาน (เนื่องจากอายุการใช้งานนานมาก) จะไม่มีทั้งฟิลด์ Max-age และ Expires ปรากฏในคำสนองเซตที่ทีพี งานวิจัยนี้กำหนดอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลประเภทเหล่านี้ให้เท่ากับค่าโดยปริยาย 0 วินาที

### ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่มีอยู่ พบว่านโยบายการแทนที่ข้อมูลในแคชสามารถแยกสังเคราะห์ได้เป็นสองกลุ่มตามตัวแปรภายในของนโยบายคือ ขนาดของข้อมูล ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบนโยบายภายใต้สภาพแวดล้อมแบบคลาวด์ กลุ่มแรกคือนโยบายการแทนที่ข้อมูลที่ไม่มีการพิจารณาขนาดของข้อมูลที่จะทำการแทนที่ ได้แก่ LRU, LFU-DA, EXP1, Value-Aging, HLRU, LFU, LFU-Aging,  $\alpha$ -Aging, swLFU, SLRU, Generational Replacement, LRU\*, LRU-Hot, Server-assisted cache replacement, LR, RAND, LRU-C, Randomized replacement with general value functions (Podlipnig and Böszörményi, 2003), ARC (Megiddo and Modha, 2004), CSOPT (Jeong and Dubois, 2006), LA2U (Chen, et al., 2006), LAUD (Chen, et al., 2006), SEMALRU (Geetha, et al., 2009), และ LRU-SLFR (Shin, Kim, and Jang, 2003) นโยบายเหล่านี้มีเป้าหมายเพื่อลดระยะเวลาตอบสนองต่อผู้ใช้ให้ดีที่สุดโดยพิจารณาปัจจัยหลายประการในการเลือกข้อมูลที่จะถูกแทนที่ยกเว้นขนาดของข้อมูลจึงไม่มีประสิทธิภาพในการลดค่าโหลดข้อมูลในการใช้บริการคลาวด์

กลุ่มที่สองเป็นนโยบายการแทนที่ข้อมูลที่พิจารณาขนาดของข้อมูลในการแทนที่ ได้แก่ GDSE, LRU-Threshold, SIZE, LOG2-SIZE, LRU-Min, PSS, LRU-LSC, Partitioned Caching, HYPER-G, CSS, LRU-SP, GD-Size, GD\*, TSP, Bolot/Hoschka's strategy, MIX, M-Metric, HYBRID, LNC-R-W3, LRV, LUV, HARMONIC, LRU-S (Podlipnig and Böszörményi, 2003), SE (Sarma and Govindarajan, 2003), R-LPV (Chand, et al., 2006), Min-SAUD (Xu, et al., 2004), OPT (Yin, et al., 2005), NNPCR-2 (ElAarag and Romano, 2009), CSP (Triantafyllou, et al., 2003), และ GA-Based Cache Replacement Policy (Chen, et al., 2004) นโยบายเกือบทั้งหมดนี้ (ยกเว้น LRU-Min, M-Metric และ NNPCR-2 ดังจะอธิบายในลำดับถัดไป) พิจารณาเลือกแทนที่ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ก่อนเสมอจึงไม่มีประสิทธิภาพในการประหยัดค่าใช้บริการคลาวด์ นโยบาย LRU-Min พยายามลบกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่กว่าข้อมูลที่แคชโหลดมาใหม่ก่อนแต่ถ้าไม่มีข้อมูลที่ใหญ่กว่าจึงทำการลบกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดเล็กลง สำหรับนโยบาย M-Metric และ NNPCR-2 เป็นนโยบายที่อนุญาตให้เว็บแคชเลือกแทนที่ข้อมูลขนาดเล็กก่อนใหญ่ได้ แต่ยังขาดการบูรณาการอัตราค่าใช้จ่ายการโหลดข้อมูลซึ่งอาจแตกต่างกันสำหรับแต่ละผู้ให้บริการคลาวด์ทั้งหมดที่กล่าวนี้ จะเห็นได้ว่า ยังไม่มีนโยบายใดถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับสภาพแวดล้อมแบบคลาวด์โดยเฉพาะ

Banditwattanawong and Uthayopas (2014: 113-121) เสนอนโยบายการแทนที่ข้อมูลสำหรับคลาวด์แคชที่ชื่อว่านโยบาย คลาวด์ (Cloud) ซึ่งมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ สำหรับการตัดสินใจการแทนที่ข้อมูล ได้แก่ เวลาที่ร้องขอข้อมูลครั้งล่าสุด, จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอ,

ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ, ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการดาวน์โหลดต้นฉบับจากคลาวด์ของข้อมูลที่ร้องขอ, อายุใช้งานคงเหลือ, อัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูล และขนาดของวินโดว์ อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานนโยบายคลาวด์ต้องทำการกำหนดค่าขนาดของวินโดว์เองซึ่งหากกำหนดค่าไม่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของคลาวด์แคชได้ ต่อมา Banditwattanawong, et al. (2015) จึงเสนอ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์แคชชื่อ ไอ-คลาวด์ (i-Cloud) ซึ่งเป็นการต่อยอดนโยบายคลาวด์โดยอาศัยทฤษฎีเพอร์เซพตรอนหลายชั้นเชื่อม (MultiLayer Perceptron: MLP) ร่วมกับมอดูลการทำให้เป็นบรรทัดฐานของเวกเตอร์นำเข้า (input vector normalization) และมอดูลครูส่วนปลาย (distal teacher) เพื่อช่วยพยากรณ์ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (optimal window size) แบบเวลาจริง (real-time forecasting) ผลลัพธ์ที่ได้คือไอ-คลาวด์สามารถนำไปใช้งานจริงได้โดยง่ายยิ่งขึ้นและยังสามารถส่งมอบประสิทธิภาพเหนือนโยบายอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบได้เช่นเดียวกับนโยบายคลาวด์ โดยเฉพาะสมรรถนะตามตัววัดอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช, อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล และอัตราประหยัดการหน่วง ที่ให้ค่าใกล้เคียงกับสมรรถนะในอุดมคติเมื่อขนาดของหน่วยเก็บข้อมูลของคลาวด์แคชเป็นอนันต์

## สรุป

จากการศึกษาทฤษฎีที่รองรับงานวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยพื้นฐานต่างๆ ที่ถูกพิจารณาในนโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคชรวมทั้งคลาวด์แคชได้แก่

- 1) ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ ซึ่งจำเป็นต่อการคำนวณค่าใช้บริการคลาวด์
- 2) อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์ต่อขนาดของข้อมูลที่โหลด ซึ่งจะต้องไม่ใช่ค่าคงที่สำหรับข้อมูลทุกชิ้นเนื่องจากแต่ละองค์กรสามารถใช้บริการคลาวด์จากหลายผู้ให้บริการพร้อมๆ กัน ทำให้ข้อมูลขนาดเดียวกันที่คลาวด์แคชโหลดมาจากแม่ข่ายของผู้ให้บริการคลาวด์ต่างรายกันอาจมีอัตราค่าโหลดข้อมูลต่างกัน
- 3) ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของคุณภาพการให้บริการซอฟต์แวร์คลาวด์
- 4) อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลในแคช ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของคลาวด์แคช

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ พบว่าสำหรับเว็บแคม

1) มีนโยบายที่พิจารณาขนาดข้อมูลในการแทนที่ซึ่งส่วนใหญ่รวมทั้งนโยบายที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบันเลือกแทนที่ข้อมูลขนาดใหญ่ก่อนซึ่งอาจช่วยลดระดับค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์ได้น้อยกว่าการเลือกแทนที่ข้อมูลขนาดเล็กก่อน ส่วนนโยบายที่แทนที่ข้อมูลขนาดเล็กก่อนก็มิได้พิจารณาจำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอ

2) มีนโยบายที่รองรับอัตราค่าโหลดข้อมูลในรูปแบบของค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับขนาดข้อมูล (นโยบายอื่นเป็นค่าคงที่หารกับขนาดข้อมูลจึงไม่สามารถใช้เป็นอัตราค่าโหลดข้อมูลได้) อย่างไรก็ตาม ค่าคงที่ในนโยบายดังกล่าวเป็นค่าคงที่เดียวเดียวสำหรับข้อมูลที่โหลดทั้งหมดซึ่งจะเกิดปัญหาถ้าข้อมูลถูกโหลดมาจากผู้ให้บริการคลาวด์หลายรายที่คิดอัตราค่าโหลดต่างกัน

3) มีนโยบายที่พิจารณาระยะเวลาของการโหลดข้อมูลในหลายแนวทาง เช่น แนวทางที่คำนวณระยะเวลาของการโหลดข้อมูลจากแม่ข่ายมายังเว็บแคมโดยการหาผลรวมของระยะเวลาในการสถาปนาการเชื่อมต่อและอัตราส่วนระหว่างขนาดของข้อมูลที่โหลดกับความเร็วแท้จริงของการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจากแม่ข่ายยังเว็บแคม

4) มีนโยบายที่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล แต่อยู่ในระดับแนวคิดที่ยังไม่ถูกสร้างให้ใช้งานได้จริงและยังไม่ผ่านการวัดผล

นอกจากนี้ นโยบายการแทนที่ข้อมูลในเว็บแคมที่มีอยู่มิได้มีการพิจารณาปัจจัยพื้นฐานครบถ้วนตามกรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้อย่างบูรณาการ

ส่วนนโยบายการแทนที่ข้อมูลในคลาวด์แคมได้แก่ ไอ-คลาวด์ มีการพิจารณาปัจจัยต่างๆต่อไปนี้อย่างบูรณาการคือ เวลาที่ร้องขอข้อมูลครั้งล่าสุด, จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอ, ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ, ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการดาวน์โหลดต้นฉบับจากคลาวด์ของข้อมูลที่ร้องขอ, อายุใช้งานคงเหลือ, อัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูล และขนาดของวินโดว์ และเนื่องจากไอ-คลาวด์มีสมรรถนะเหมือนนโยบายอื่นๆ ในทุกด้านและเกือบทุกกรณีทดสอบ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะเข้าไปศึกษาเพิ่มเติมว่าปัจจัยใดทำให้เกิดจุดเด่นดังกล่าวของไอ-คลาวด์

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้อยู่ในประเภทการวิจัยประยุกต์, การวิจัยเชิงทดลอง และการวิจัยเชิงปริมาณ ในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จึงมีรายละเอียดของระเบียบวิธีวิจัยดังต่อไปนี้

#### แบบแผนทางการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูล ไอ-คลาวด์ และแต่ละปัจจัยส่งผลมากน้อยเท่าใด โดยเลือกมาศึกษาสามปัจจัยที่ผลการวิจัยในอดีตไม่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสามปัจจัยนี้ส่งผลต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์มากน้อยเพียงใด ได้แก่ อัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล และขนาดของวินโดว และใช้ตัววัดความประหยัทางเศรษฐศาสตร์และตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคมาตรฐาน การประเมินประสิทธิภาพของนโยบายไอ-คลาวด์ใช้วิธีจำลองการทำงาน (simulation) ไอ-คลาวด์ ที่ถูกตั้งค่าการทำงานที่หลากหลาย ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการทำงานคือชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีต (cache proxy traces) โดยในแต่ละการจำลองการทำงานถูกวัดผลด้วยตัววัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์คือ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล ซึ่งใช้วัดผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้และด้วยตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคที่นิยมใช้ในงานวิจัยแขนงนี้ได้แก่ อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช โดยที่ตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคคู่แรกใช้วัดผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์รองของงานวิจัย ผลการวัดของทุกนโยบายจะถูกวิเคราะห์แบบบูรณาการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละมิติตามตัววัดที่ใช้

#### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. จัดหาชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตสำหรับจำลองการทำงานและวัดผล

2. สร้างโปรแกรมวิเคราะห์ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเพื่อสกัดมาใช้เฉพาะเรคคอร์ดที่เป็นคำร้องขอข้อมูลของกลุ่มโดเมนที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกและเพื่อวิเคราะห์เพิ่มไฟล์วันหมดอายุลงในทุกเรคคอร์ด
3. สร้างโปรแกรมจำลองการทำงานนโยบายการแทนที่ข้อมูล ไอ-คลาวด์ โดยใช้ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่สกัดได้เป็นข้อมูลนำเข้า
4. ดำเนินการจำลองการทำงานและวัดสมรรถนะด้านต่างๆ
5. วิเคราะห์ข้อมูลผลการจำลองการทำงาน
6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และเสนอแนะ

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเพื่อจำลองการทำงานนโยบายการแทนที่ข้อมูลเป็นชุดคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่ถูกรวบรวมมาจากคำร้องขอที่ส่งไปยังเว็บไซต์ต่างๆ บนอินเทอร์เน็ตโดยประชากรกลุ่มผู้ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและบางประเทศอื่นที่มีการเชื่อมต่อกับเว็บแคชของโครงการ IRCache (NSF and NLANR, 2015) ซึ่งเป็นโครงการสนับสนุนการทำวิจัยด้านเว็บแคชของประเทศสหรัฐอเมริกา สาเหตุที่ต้องใช้ชุดข้อมูลของโครงการ IRCache เพราะไม่สามารถจัดหาชุดข้อมูลคำร้องการโหลดข้อมูลเว็บของมหาวิทยาลัยศรีปทุมได้ (ศูนย์ข้อมูลของมหาวิทยาลัยศรีปทุมให้ข้อมูลว่าไม่ได้ทำการจัดเก็บข้อมูลประเภทนี้ไว้)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกมาเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เข้าถึงเว็บที่ได้รับความนิยมสูงสุด 50 โดเมนแรกทั้งนี้เพื่อเป็นการจำลองสภาพการณ์ขององค์กรขนาดกลางที่มีเว็บไซต์ที่มีปริมาณการรับส่งข้อมูลที่มีนัยสำคัญทั้งหมดจำนวน 50 โดเมนอยู่บนกลุ่มเมนส่วนบุคคลขององค์กร เช่น มหาวิทยาลัยศรีปทุมมีจำนวนเว็บไซต์ทั้งหมดประมาณ 62 โดเมน (มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2553) เมื่อมหาวิทยาลัยปรับเปลี่ยนระบบไปสู่กลุ่มเมนส่วนบุคคลเต็มรูปแบบ ทุกโดเมนก็จะถูกย้ายไปไว้บนกลุ่มเมน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมด้วยภาษายูเอ็มแอล (UML), ซอฟต์แวร์เขียนรหัสโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาจาวา, คอมพิวเตอร์ 1 ชุดสำหรับพัฒนาโปรแกรมและจำลองการทำงานนโยบายการแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์ และชุดโปรแกรมประมวลผลคำ

ในส่วนของโปรแกรมจำลองการทำงานถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวา มีความสามารถในการนำเข้าชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตที่ผ่านการสกัดโดยโปรแกรมสนับสนุนดังอธิบายในย่อหน้าถัดไป, สามารถเลือกติดตั้งนโยบายการแทนที่ข้อมูลเพื่อจำลองการทำงานได้, สามารถกำหนดขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของคลาวด์แคชเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลที่เปลี่ยนไปได้ และสามารถวัดผลประสิทธิภาพการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลนำออกเชิงสถิติตามหน่วยวัดต่างๆ ได้ซึ่งได้แก่ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช และอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล

นอกเหนือจากโปรแกรมจำลองการทำงาน ในงานวิจัยยังทำการสร้างโปรแกรมสนับสนุนการจำลองการทำงานขึ้นใหม่เพื่อทำหน้าที่สกัดชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตให้เฉพาะชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บจากโดเมนที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเท่านั้น (รายละเอียดของเกณฑ์การคัดเลือกอธิบายในหัวข้อถัดไป) และเพื่อวิเคราะห์เพิ่มไฟล์วันหมดอายุลงในทุกเรคคอร์ด ผลลัพธ์ของโปรแกรมสนับสนุนนี้จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมจำลองการทำงานดังกล่าวข้างต้น

### การรวบรวมข้อมูล

เมื่อองค์กรปรับตัวเข้าสู่การใช้งานกลุ่มเมฆเต็มรูปแบบ เว็บไซต์ทั้งหมดขององค์กรจะถูกปรับเปลี่ยนเป็นบริการกลุ่มเมฆโดยย้ายไปไว้หรือสร้างขึ้นใหม่บนกลุ่มเมฆส่วนบุคคลขององค์กร การโหลดข้อมูลจากกลุ่มเมฆขององค์กรก็คือการโหลดข้อมูลจากเว็บโดเมนของบริการกลุ่มเมฆเหล่านี้ซึ่งถ้าองค์กรมีการติดตั้งคลาวด์แคชไว้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการกลุ่มเมฆ เช่น ในการโหลดข้อมูลสื่อประสมซึ่งมักมีขนาดใหญ่ ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลจากบริการกลุ่มเมฆจะถูกเก็บบันทึกเป็นแฟ้มล็อก (Log file) อยู่ในคลาวด์แคชดังกล่าว ในรูปของชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตนั่นเอง งานวิจัยนี้จะใช้ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บใน

อดีตซึ่งมีทั้งเว็บที่เป็นและไม่เป็นบริการกลุ่มเมฆที่ถูกรวบรวมบันทึกไว้อย่างสม่ำเสมอโดยโครงการ IRCache และถูกเผยแพร่สู่สาธารณะผ่านเว็บไซต์ของโครงการเพื่อทำการจำลองสถานการณ์การทำงานของเว็บแคชภายใต้นโยบายการแทนที่ข้อมูลต่างๆ แต่เนื่องจากชุดข้อมูลอาจมีคำร้องขอไปยังเว็บไซต์ที่มีโดเมนต่างกันเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกคำร้องขอโดยทำการสกัดเฉพาะคำร้องขอที่ส่งไปยังเว็บไซต์ที่มีการเข้าถึงสูงสุด 50 โดเมนแรกจากลิ้งค์ของโครงการ IRCache เพื่อเป็นการจำลองจำนวนโดเมนของบริการกลุ่มเมฆต่อหนึ่งองค์กรขนาดกลางดังอธิบายในหัวข้อประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจำลองการทำงานซึ่งเป็นชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเฉพาะของ 50 โดเมนแรกที่มีจำนวนคำร้องขอข้อมูลสูงสุดจำนวน 3 ชุดข้อมูล แต่ละชุดถูกรวบรวมมาจากเว็บแคชในเมือง Boulder (BO) และ New York (NY) โดยทั้ง 2 ชุดข้อมูลนี้สกัดจากชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่ถูกรวบรวมไว้เป็นเวลา 31 วันคือระหว่างวันที่ 16 สิงหาคม ถึง 15 กันยายน 2012 สำหรับชุดข้อมูล BO และระหว่างวันที่ 16 กรกฎาคม ถึง 15 สิงหาคม 2012 สำหรับชุดข้อมูล NY แต่ละเรคคอร์ดของคำร้องขอข้อมูลประกอบไปด้วยข้อมูลปัจจัยที่จำเป็นต่อการจำลองการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลทั้งสี่ดังนี้ ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ, ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล (ซึ่งเป็นผลรวมของระยะเวลาแท้จริงในการสถาปนาการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจากแม่ข่ายมายังเว็บแคช) และเวลาที่ร้องขอข้อมูล ส่วนข้อมูลปัจจัยอื่นที่ต้องใช้ในการวิจัยแต่ไม่มีในชุดคำร้องขอข้อมูลเว็บในอดีตและแนวทางการวิเคราะห์เพิ่มข้อมูลปัจจัยเหล่านี้คือ จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีต สามารถนับได้จากจำนวนเรคคอร์ดคำร้องขอข้อมูลนั้นๆ ที่พบในชุดคำร้องขอข้อมูล, อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการกลุ่มเมฆ จะกำหนดเป็นสองแบบจำลองคือแบบจำลองแรกมีอัตราค่าโหลดเท่ากันหมดสำหรับทุกโดเมน (เพื่อจำลองแบบอย่างขององค์กรใช้บริการของผู้ให้บริการกลุ่มเมฆรายเดียว) และแบบจำลองที่สองมีอัตราค่าโหลดสองอัตราโดยอัตราต่ำใช้สำหรับ 25 โดเมน และอัตราสูงใช้สำหรับอีก 25 โดเมนที่เหลือ (เพื่อจำลองแบบอย่างขององค์กรที่ให้บริการของผู้ให้บริการกลุ่มเมฆสองรายที่คิดอัตราค่าโหลดข้อมูลต่างกัน) โดยอัตราค่าโหลดทั้งสองเลือกมาจากอัตราค่าโหลดข้อมูลอ้างอิงของ Amazon.com, Inc. (2013 September), Microsoft (2010 May 4) และ Google Inc. (2013 September) และอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์สำหรับข้อมูลที่ปรากฏอยู่เพียงเรคคอร์ดเดียวในชุดคำร้องขอ

ข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ มิเช่นนั้นจะกำหนดวันเวลาหมดอายุเท่ากับตราเวลา (Timestamp) ของเรคคอร์ดสุดท้ายที่ข้อมูลนั้นปรากฏอยู่ แต่หากขนาดของข้อมูลเดียวกันมีการเปลี่ยนแปลง จะกำหนดวันเวลาหมดอายุเท่ากับตราเวลาของเรคคอร์ดที่ตามมาเรคคอร์ดแรกที่พบว่าข้อมูลนั้นมีการเปลี่ยนขนาด หมายเหตุแนวทางกำหนดอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลนี้เป็นเพียงการประมาณการ เช่น ข้อมูลที่ปรากฏอยู่ครั้งเดียวอาจมีอายุใช้งานจริงไม่ใช่ศูนย์, ข้อมูลที่มีขนาดคงเดิมอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาภายในได้เช่นกัน และในทางปฏิบัติการกำหนดอายุใช้งานของข้อมูลอาจสั้นหรือยาวกว่าเวลาที่ข้อมูลถูกเปลี่ยนแปลงจริง

ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละนโยบายการแทนที่ข้อมูลถูกรวบรวมจากข้อมูลนำออกของโปรแกรมจำลองการทำงานคลาวด์แคชซึ่งใช้การตั้งค่าการทำงานของไอ-คลาวด์ที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งของการจำลองการทำงานบนชุดข้อมูลนำเข้าชุดเดียวกัน สถิติเชิงประสิทธิภาพเหล่านี้ถูกรายงานผลโดยโปรแกรมจำลองการทำงานคลาวด์แคชในรูปแบบของหน่วยวัดสมรรถนะเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ได้แก่ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช และอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การจำลองการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย (descriptive statistics) โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ปัจจัยที่ไอ-คลาวด์ใช้ในการพิจารณาเลือกแทนที่ข้อมูลและไม่ใช่ปัจจัยที่ต้องการควบคุมในงานวิจัยครั้งนี้ได้แก่ ขนาดข้อมูลที่ร้องขอ, เวลาที่ร้องขอข้อมูล, จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีต และระยะเวลาของการโหลดข้อมูล สำหรับอัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอสำหรับทุกการจำลองการทำงานจะใช้แบบจำลองแบบหลายอัตรา (nonuniform costs) ซึ่งเป็นการจำลององค์กรที่ใช้บริการผู้ให้บริการกลุ่มเมฆสาธารณะสองรายเพื่อเพิ่มระดับความทนต่อความผิดพลาด (fault tolerance) และความได้ดุลภาระ (load balancing) ในการให้บริการขององค์กร โดยใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลเฉลี่ย 0.0829 ดอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์ ของ Amazon S3 (Amazon.com, Inc., 2013) และ 0.1535 ดอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์ ของ Google Cloud Storage (Google Inc., 2013) ซึ่งทั้งสองอัตรานี้ถูกกำหนดให้แก่ข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันอย่างสลับกันตามลำดับที่พบข้อมูลในแต่ละชุด

ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการทำงาน โดยข้อมูลชิ้นแรกจะถูกกำหนดอัตราค่าโหลดเป็น 0.0829 ดอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์

2. ตัวแปรตามได้แก่จำนวนครั้งที่พบข้อมูลในคลาวด์แคช ซึ่งใช้สำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพตามชุดหน่วยวัดสมรรถนะที่ใช้

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่ เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของเนื้อหาในคลาวด์แคชซึ่งเป็นแบบไม่เข้มงวด, ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช (cache size; หน่วยเป็นไบต์), อัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ, อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล และขนาดของวินโดว์

ตัวแปรตามเกิดจากการประมวลผลตัวแปรต้น และตัวแปรควบคุม ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้ นโยบายไอ-คลาวด์ซึ่งเป็นนโยบายที่เสนอจะเลือกกลุ่มข้อมูลที่ไม่ได้ถูกร้องขอเป็นเวลานานที่สุด โดยมีจำนวนชิ้นข้อมูลเท่ากับขนาดวินโดว์ จากนั้นจากกลุ่มข้อมูลนั้นนโยบายจะเลือกแทนที่ข้อมูลชิ้นที่มีผลกำไร (profit :  $P$ ) น้อยที่สุดก่อนซึ่งผลกำไรของข้อมูล  $i$  คำนวณจากสูตร  $P_i = f_i s_i c_i l_i t t l_i$  โดยที่  $c$  คืออัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ,  $l$  คือระยะเวลาของการโหลดข้อมูล และ  $t t l_i$  คืออายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล รายละเอียดของขั้นตอนวิธีของนโยบายไอ-คลาวด์ นำเสนออยู่ในภาคผนวก ก

ค่าของตัวแปรตาม (จำนวนครั้งที่พบข้อมูลในคลาวด์แคช) อันเป็นผลที่เกิดจากการจำลองการทำงานไอ-คลาวด์ที่ถูกควบคุมค่าของตัวแปรควบคุม จะถูกโปรแกรมจำลองการทำงานนำมาคำนวณหาตามหน่วยวัดสมรรถนะทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ต่อไปนี้เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะว่าเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยหรือไม่

1. อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณจากสูตร  $\sum_{i=1}^n p_i s_i h_i / \sum_{i=1}^n p_i s_i r_i$  ซึ่ง  $p_i$  คือค่าโหลดข้อมูล  $i$  ต่อขนาดข้อมูลหนึ่งหน่วย,  $s_i$  คือขนาดของข้อมูล  $i$ ,  $h_i$  คือจำนวนครั้งที่พบข้อมูล  $i$  ในแคช, และ  $r_i$  คือจำนวนครั้งของการร้องขอข้อมูล  $i$  ทั้งหมดในอดีต (Banditwattanawong, et al., 2015) หน่วยวัดสมรรถนะนี้ใช้ชี้วัดผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้

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

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

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

ส่วนตัวแปรควบคุมเกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของเนื้อหาในคลาวด์แคชถูกกำหนดให้เป็นแบบไม่เข้มงวดในทุกครั้งที่ทำการทดลอง ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชถูกกำหนดให้เป็น 10%, 20% และ 30% ของขนาดข้อมูลรวมสูงสุดของข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันของแต่ละชุดข้อมูลนำเข้า ซึ่งขนาดข้อมูลรวมสูงสุดของข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันดังกล่าวนี้คือขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชขั้นต่ำที่ไม่ทำให้เกิด cache miss เพราะพื้นที่จัดเก็บข้อมูลในแคชเพียงพอสำหรับการเก็บข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันที่ถูกร้องขอทั้งหมด

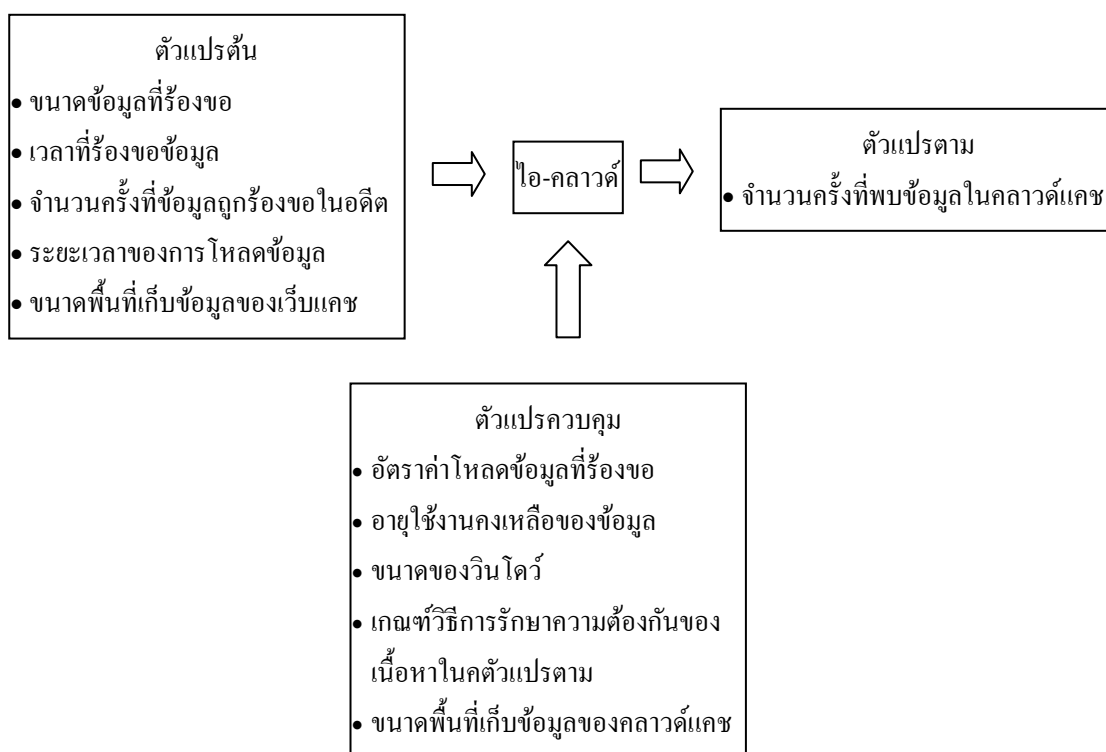
ส่วนตัวแปรควบคุมที่เหลืออีกสามตัวแปรได้แก่ อัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ, อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล และขนาดของวินโดว์ จะถูกใช้ที่ละตัวแปร โดยทำการควบคุมค่าของตัวแปรดังกล่าวแบบไม่พร้อมกันเพื่อดูผลกระทบต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์ เมื่อตัวแปรควบคุมตัวหนึ่งในสามตัวนี้ถูกควบคุมค่า ตัวแปรควบคุมสองตัวที่เหลือจะถูกใช้เป็นตัวแปรต้นตามปกติโดยได้รับค่าจากชุดข้อมูลนำเข้า การควบคุมค่าของตัวแปรควบคุมแต่ละตัวเป็นดังนี้

1. อัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ ถูกใช้ในการศึกษาผลกระทบอันเกิดจากปัจจัยอัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ เมื่อตัวแปรนี้ถูกควบคุม ค่าของ  $c$  ในสูตรคำนวณหาผลกำไรข้างต้นจะถูกแทนค่าด้วย 1 เท่ากันหมดสำหรับทุกชิ้นข้อมูลในชุดข้อมูลนำเข้า

2. อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล ถูกใช้ในการศึกษาผลกระทบอันเกิดจากปัจจัยอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล เมื่อตัวแปรนี้ถูกควบคุม ค่าของ  $ttl$  ในสูตรคำนวณหาผลกำไรข้างต้นจะถูกแทนค่าด้วย 1 เท่ากันหมดสำหรับทุกชิ้นข้อมูลในชุดข้อมูลนำเข้า

3. ขนาดของวินโดว์ ถูกใช้ในการศึกษาผลกระทบอันเกิดจากปัจจัยวินโดว์ เมื่อตัวแปรนี้ ถูกควบคุม ค่าวินโดว์ที่ดีที่สุดและค่าวินโดว์ที่แย่ที่สุดสำหรับแต่ละชุดข้อมูลนำเข้าจะถูกนำไปแทนค่าในสูตรคำนวณหาผลกำไรข้างต้น

กรอบแนวคิดของการวิจัยจึงเป็นดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพของนโยบายไอ-คลาวด์จะเสนอโดยใช้กราฟประกอบการวิเคราะห์เพื่อตอบคำถามการวิจัยของงานวิจัยนี้ ส่วนตารางข้อมูลเชิงตัวเลขจะนำเสนอในภาคผนวก ข และเพื่อให้สามารถตีความวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องจำเป็นที่จะต้องนำเสนอผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของข้อมูลนำเข้าแต่ละชุด ก่อนที่จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสมรรถนะของแต่ละปัจจัยที่ศึกษา

#### คุณลักษณะของข้อมูลนำเข้า

คุณลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจำลองการทำงานของไอ-คลาวด์ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสนับสนุนการจำลองการทำงาน แสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 คุณลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้าแต่ละชุด

| คุณลักษณะ                                | ชุดข้อมูล     |                |
|------------------------------------------|---------------|----------------|
|                                          | BO            | NY             |
| จำนวนคำร้องขอข้อมูล (เรคคอร์ด)           | 639,187       | 1,311,880      |
| ขนาดข้อมูลที่ถูกร้องขอทั้งหมด (ไบต์)     | 4,149,211,314 | 17,067,821,671 |
| จำนวนชิ้นข้อมูลที่ไม่ซ้ำกัน              | 323,979       | 593,365        |
| ขนาดข้อมูลรวมสูงสุดของข้อมูลที่ไม่ซ้ำกัน | 2,262,144,480 | 10,801,010,237 |

#### การวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยขนาดของวินโดว์

ประสิทธิภาพการทำงานของนโยบายแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น ขนาดของวินโดว์ ในการจำลองการทำงาน ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดซึ่งได้จากการทดลองจำลองการทำงานที่ขนาดของวินโดว์ค่าต่างๆ โดยใช้ชุดข้อมูลจริงแสดงดังตารางที่ 2 ค่านอกวงเล็บคือขนาดของวินโดว์

ที่ดีที่สุดและค่าในวงเล็บคือขนาดของวินโดว์ที่แย่ที่สุด เมื่อไอ-คลาวด์ถูกจำลองการทำงานโดยใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดจะก่อให้เกิดผลสมรรถนะที่ดีที่สุด (maxima) และเมื่อจำลองการทำงานของไอ-คลาวด์โดยใช้ขนาดของวินโดว์ที่แย่ที่สุดจะให้ค่าสมรรถนะที่แย่ที่สุด (minima) สมรรถนะทั้งสองด้านนี้ช่วยแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากปัจจัยของขนาดวินโดว์นั่นเอง

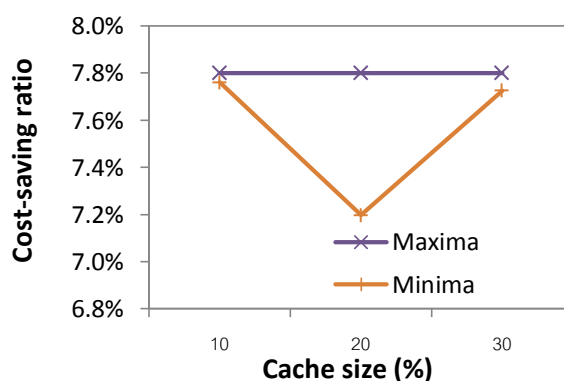
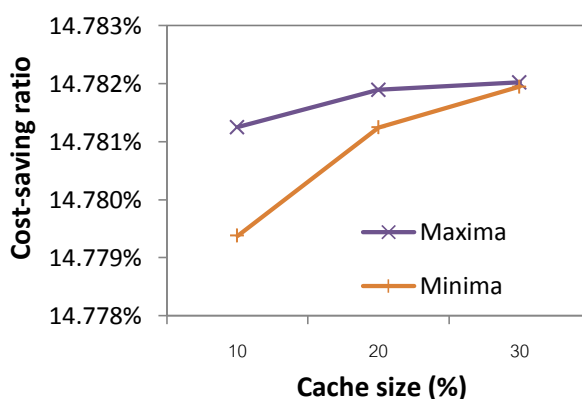
**ตาราง 2** ค่า Window size ที่ดีที่สุดที่ใช้ในการจำลองการทำงานของนโยบายไอ-คลาวด์

| ชุดข้อมูล | ขนาดแคช<br>(ร้อยละของขนาดแคชขั้นต่ำที่ไม่ทำให้เกิด cache miss) |            |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------|------------|------------|
|           | 10                                                             | 20         | 30         |
| BO        | 700 (9700)                                                     | 200 (100)  | 8400 (100) |
| NY        | 4800 (100)                                                     | 3400 (100) | 3900 (200) |

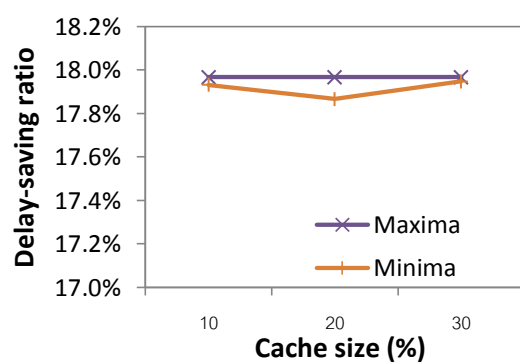
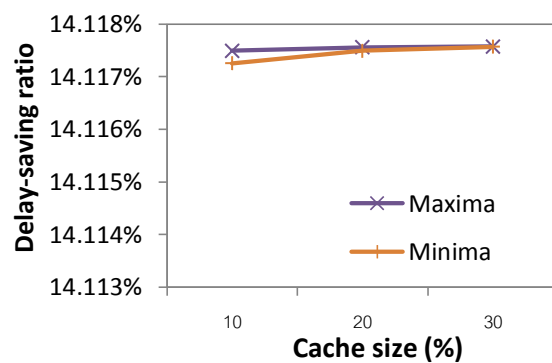
ผลสมรรถนะของไอ-คลาวด์ถูกแสดงตามหน่วยวัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์และทางเทคนิค คือ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล (ภาพประกอบ 2), อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (ภาพประกอบ 3), อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (ภาพประกอบ 4) และอัตราการพบข้อมูลในแคช (ภาพประกอบ 5) โดยในแต่ละหน่วยวัดจะแบ่งแสดงเป็นสองแผนภูมิตามชุดข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

1. จากภาพประกอบ 2 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ดีที่สุดให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่แย่ที่สุด ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.603% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 20% ของชุดข้อมูลนำเข้า NY
2. จากภาพประกอบ 3 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ดีที่สุดให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่แย่ที่สุด ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.101% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 20% ของชุดข้อมูลนำเข้า NY

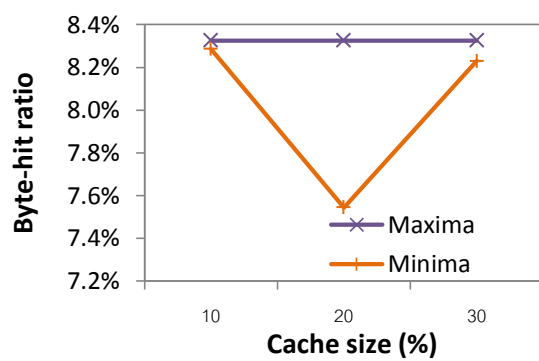
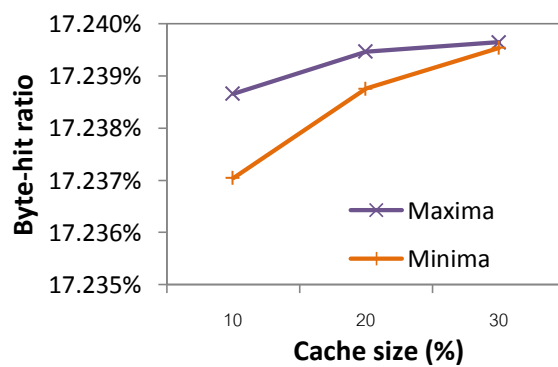
3. จากภาพประกอบ 4 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ดีที่สุดให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ดีที่สุดที่แย่ที่สุด ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.782% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 20% ของชุดข้อมูลนำเข้า NY
4. จากภาพประกอบ 5 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ดีที่สุดให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราการพบข้อมูลในแคชที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ดีที่สุดที่แย่ที่สุด ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราการพบข้อมูลในแคชเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.132% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 10% ของชุดข้อมูลนำเข้า NY



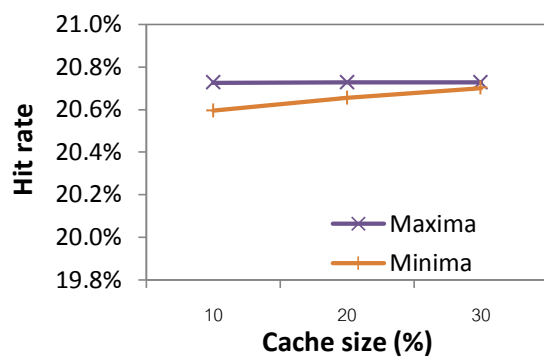
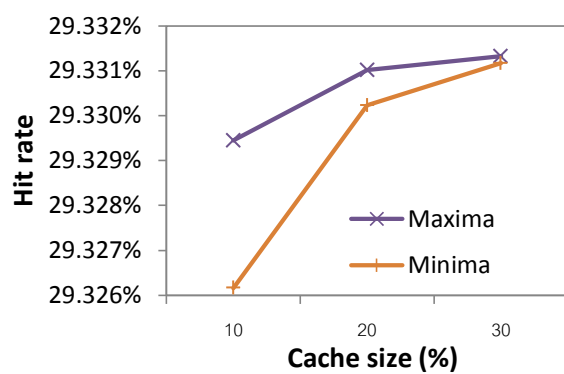
**ภาพประกอบ 2** ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY



ภาพประกอบ 3 ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY



ภาพประกอบ 4 ผลการเปรียบเทียบอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY

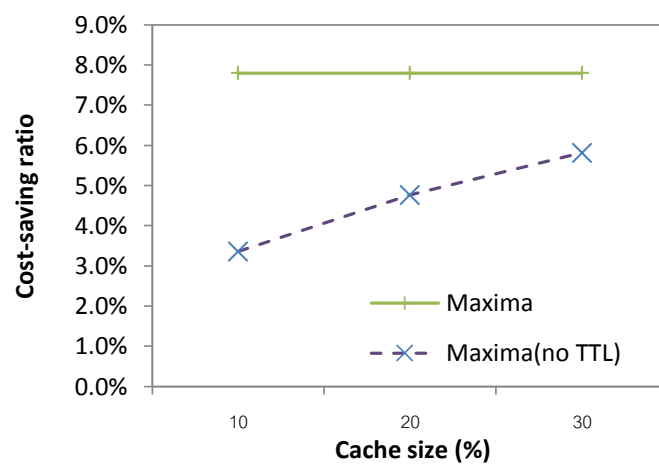
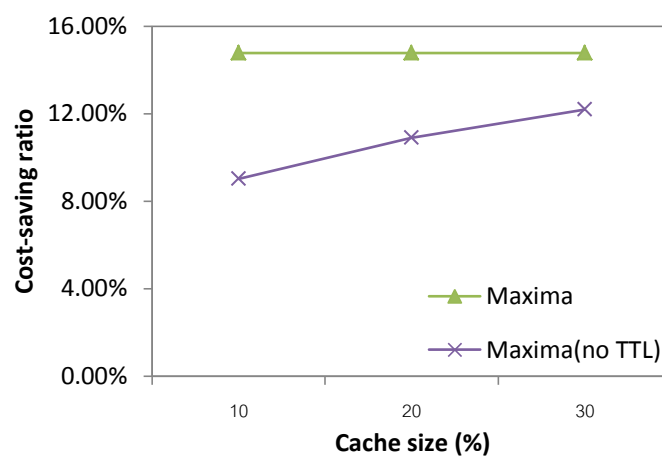


ภาพประกอบ 5 ผลการเปรียบเทียบอัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY

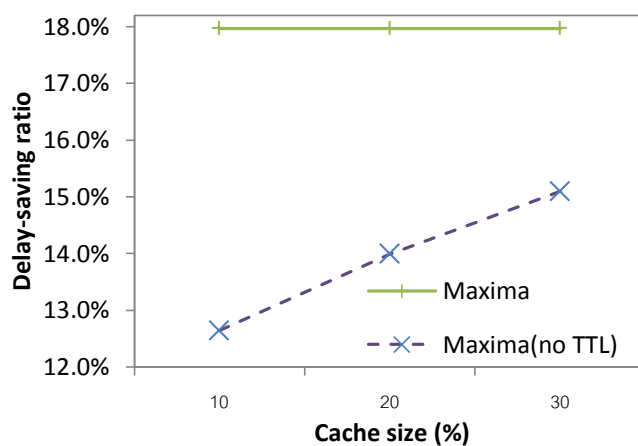
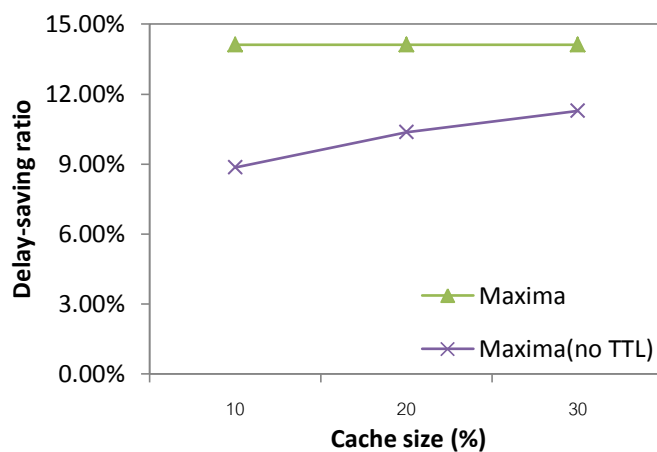
### การวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล

การจำลองการทำงานของไอ-คลาวด์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลต่อไปนี้จะใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชและแต่ละชุดข้อมูลนำเข้ดังแสดงในตาราง 2 ซึ่งให้ผลลัพธ์สมรรถนะดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Maxima ในภาพประกอบต่อไปนี้ และทำการควบคุมค่าอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลให้เหลือ 1 หน่วยเวลาเท่ากันหมดสำหรับทุกชั้นข้อมูลซึ่งให้ผลลัพธ์สมรรถนะดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Maxima(no TTL)

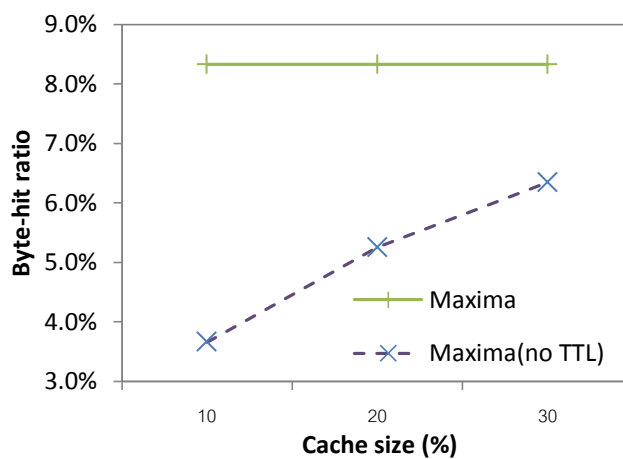
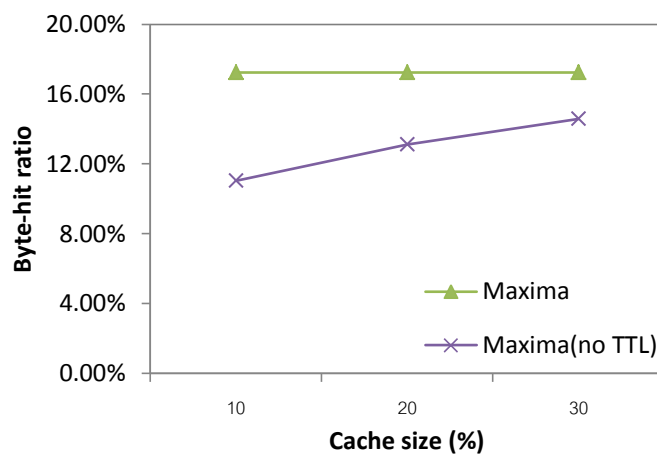
1. จากภาพประกอบ 6 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเพิ่มขึ้นมากที่สุด 5.775% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 10% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO
2. จากภาพประกอบ 7 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเพิ่มขึ้นมากที่สุด 5.237% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 10% ของชุดข้อมูลนำเข้า NY
3. จากภาพประกอบ 8 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเพิ่มขึ้นมากที่สุด 6.193% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 10% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO
4. จากภาพประกอบ 9 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราการพบข้อมูลในแคชที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราการพบข้อมูลในแคชเพิ่มขึ้นมากที่สุด 22.149% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 10% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO



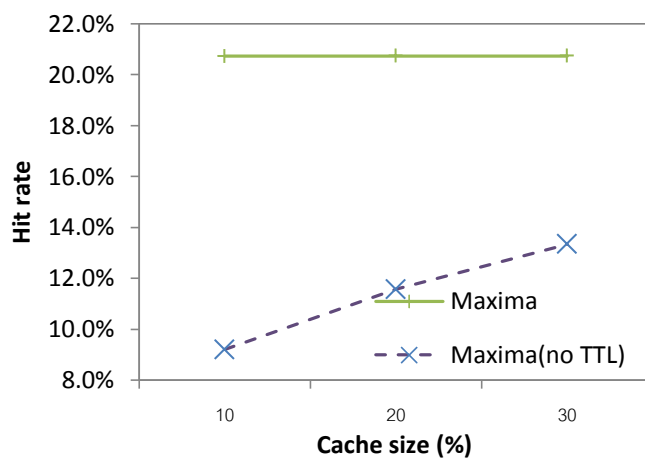
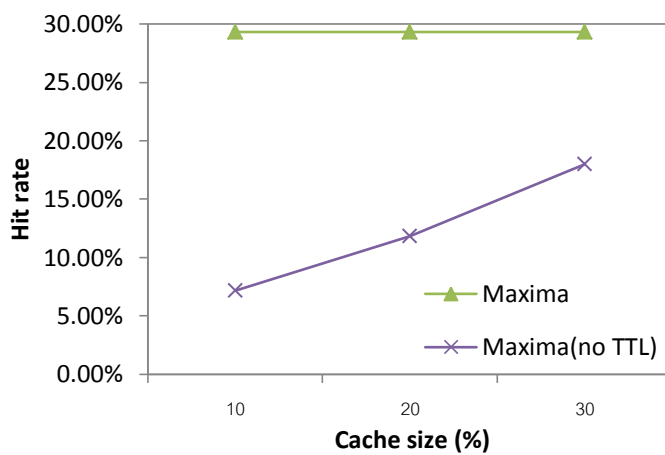
ภาพประกอบ 6 ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบ  
พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล  
(Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY



**ภาพประกอบ 7** ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบ  
พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล  
(Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY



ภาพประกอบ 8 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด  
แบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล  
(Maxima(no TTL)) แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY

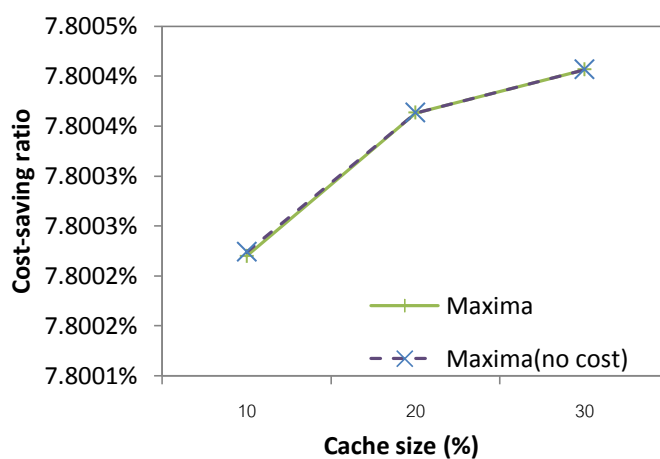
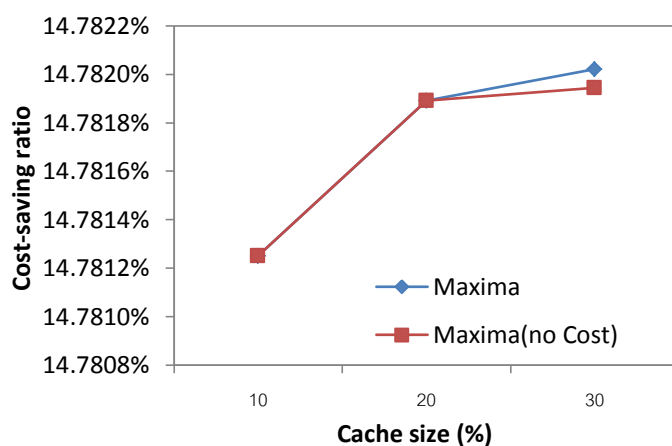


ภาพประกอบ 9 ผลการเปรียบเทียบอัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL))  
แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY

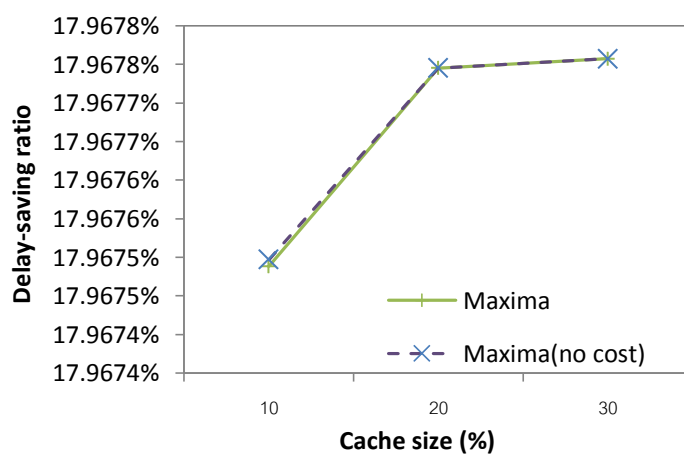
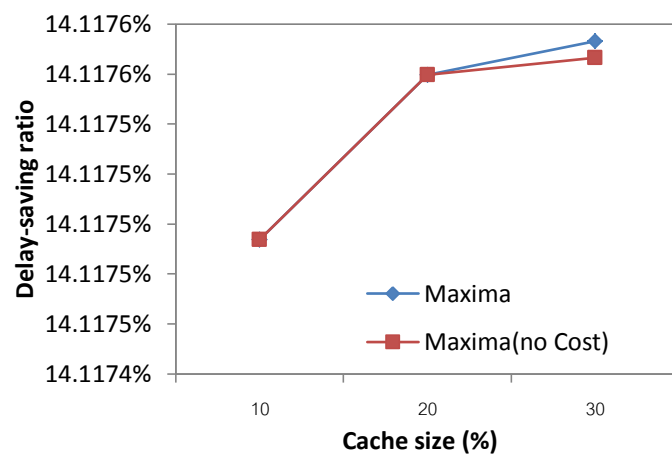
### การวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยอัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ

การจำลองการทำงานของไอ-คลาวด์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยอัตราค่าโหลดข้อมูลต่อไปนี้ ใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชและแต่ละชุดข้อมูลนำเข้าดังแสดงในตาราง 2 ซึ่งให้ผลลัพธ์สมรรถนะดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Maxima ในภาพประกอบต่อไปนี้ และทำการควบคุมอัตราค่าโหลดข้อมูลให้เท่ากับ 1 หกสำหรับทุกชิ้นข้อมูลซึ่งให้ผลลัพธ์สมรรถนะดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Maxima(no cost)

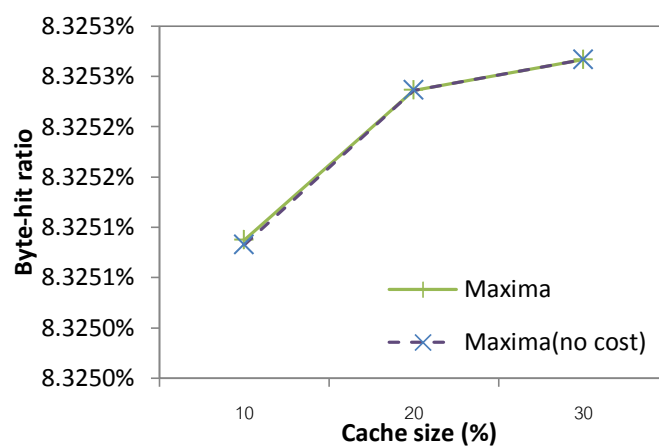
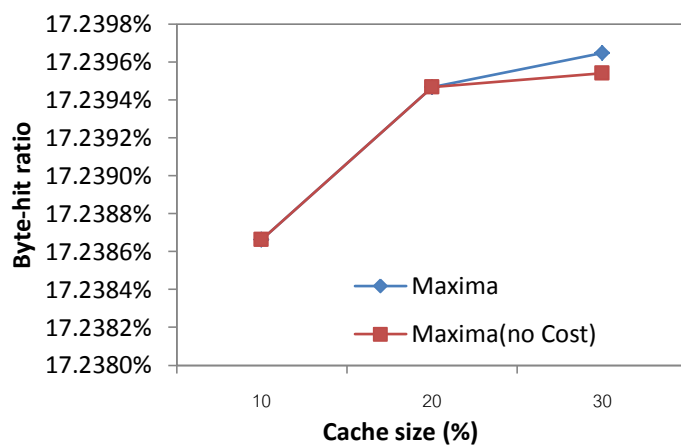
1. จากภาพประกอบ 10 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.00008% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 30% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO
2. จากภาพประกอบ 11 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.000007% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 30% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO
3. จากภาพประกอบ 12 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.0001% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 30% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO
4. จากภาพประกอบ 13 พบว่า ไอ-คลาวด์ที่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูลให้ผลสมรรถนะในด้านอัตราการพบข้อมูลในแคชที่ดีกว่าไอ-คลาวด์ที่ใช้ขนาดวินโดว์ที่ไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล ที่ทุกขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคชที่ทำการจำลองการทำงาน สมรรถนะด้านอัตราการพบข้อมูลในแคชเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.0002% ที่ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของคลาวด์แคช 30% ของชุดข้อมูลนำเข้า BO



ภาพประกอบ 10 ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบ  
พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิ  
บนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY



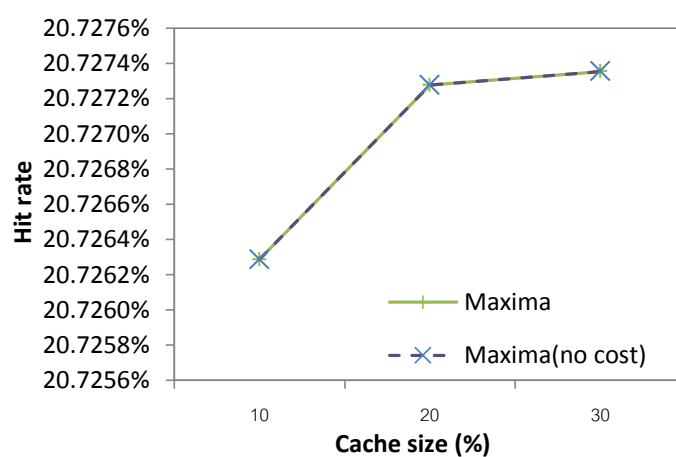
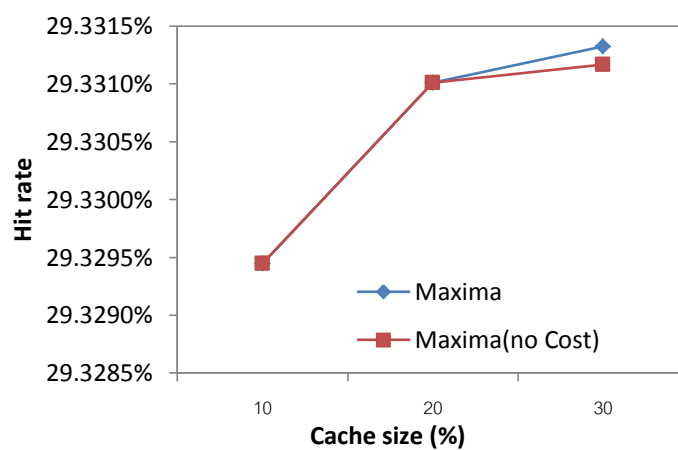
ภาพประกอบ 11 ผลการเปรียบเทียบอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบ  
พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิบน  
ใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่ำใช้ชุดข้อมูล NY



ภาพประกอบ 12 ผลการเปรียบเทียบอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด

แบบพิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost))

แผนภูมิบนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิต่างใช้ชุดข้อมูล NY



**ภาพประกอบ 13** ผลการเปรียบเทียบอัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบ  
พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอัตราค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) แผนภูมิ  
บนใช้ชุดข้อมูล BO แผนภูมิล่างใช้ชุดข้อมูล NY

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

คลาวด์แชนจ์ผู้ใช้ที่ใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์สามารถลดค่าดาวน์โหลดข้อมูล ระยะเวลาการดาวน์โหลด และช่วยประหยัดแบนด์วิดท์ของเส้นทางการเชื่อมต่อเครือข่ายได้อย่างโดดเด่นเมื่อเทียบกับนโยบายการแทนที่ข้อมูลของเว็บแคช

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อวิเคราะห์หาว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของนโยบายการแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์แต่ละปัจจัยส่งผลมากน้อยเท่าใดโดยใช้ตัววัดความประหยัดทางเศรษฐศาสตร์และตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคมาตรฐาน

ความสำคัญของปัญหาการวิจัยคือ การค้นพบปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในสมรรถนะของไอ-คลาวด์ จะเป็นแนวทางให้แก่ผู้สร้างเนื้อหาข้อมูลบนคลาวด์ในการกำหนดและบริหารลักษณะเฉพาะของข้อมูลให้เอื้อต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์อย่างสูงสุดทั้งในด้านของการลดเวลาตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ทำให้การดำเนินธุรกิจโดยอาศัยเทคโนโลยีคลาวด์เป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น การประหยัดค่าใช้จ่ายบริการคลาวด์ในระยะยาวอันนำไปสู่การลดต้นทุนการบริการ การยืดอายุการใช้งานแบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายทำให้เกิดการใช้งานที่คุ้มค่า

สมมุติฐานการวิจัยคืออายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลน่าจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์มากที่สุด รองลงมาคือขนาดวินโดว์และอัตราค่าดาวน์โหลดข้อมูลตามลำดับ

วิธีการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้ ปัจจัยที่ถูกวิเคราะห์ได้แก่ อัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอ อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล และขนาดของวินโดว์ ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมที่ถูกควบคุมทีละตัวแปรในแต่ละครั้งของการจำลองการทำงาน ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจำลองการทำงานคือชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีต ในแต่ละการจำลองการทำงานถูกวัดผลด้วยตัววัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์คือ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล และตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคได้แก่ อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช

#### ผลการวิจัยที่สำคัญคือ

1. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการประหยัดค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอของไอ-คลาวด์ได้มากที่สุดคือ อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล รองลงมาคือขนาดของวินโดว์ และน้อยที่สุดคืออัตราค่าโหลดข้อมูล

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลของไอ-คลาวด์ได้มากที่สุด คือ อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล รองลงมาคือขนาดของวินโดว์ และน้อยที่สุดคืออัตราค่าโหลดข้อมูล

3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชของไอ-คลาวด์ได้มากที่สุดคือ อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล รองลงมาคือขนาดของวินโดว์ และน้อยที่สุดคืออัตราค่าโหลดข้อมูล

จากผลการวิจัยทั้งสามประการนี้จึงได้ข้อสรุปว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ทุกประการ

### อภิปรายผล

ข้อค้นพบว่าอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลส่งผลต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์สูงสุดในทุกด้านยังไม่มีทฤษฎีหรือหลักการใดสนับสนุนแต่ผลการวิจัยในอดีตของผู้วิจัย (Banditwattanawong and Utayopas, 2014; Banditwattanawong, Masdisornchote, and Utayopas, 2015) เป็นหลักฐานสนับสนุนเพราะแสดงให้เห็นสมรรถนะของคลาวด์แคชที่ดีเสมอเมื่อพิจารณาปัจจัยอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล เนื่องจากการค้นพบใหม่ แต่สามารถอธิบายได้ว่าการแทนที่ข้อมูลที่หมดอายุหรือใกล้หมดอายุในแคชเป็นการช่วยให้การใช้พื้นที่จัดเก็บข้อมูลของคลาวด์แคชมีประสิทธิภาพจึงส่งผลต่อสมรรถนะในทุกด้าน

ข้อค้นพบว่าขนาดของวินโดว์ส่งผลต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์เป็นอันดับสอง อธิบายได้ว่าเนื่องจากขนาดของวินโดว์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาที่ข้อมูลถูกร้องขอครั้งล่าสุด (recency) และมีผลงานวิจัยในอดีต เช่น นโยบายแทนที่ข้อมูลในแคช แอลอาร์ยู (LRU) (Podlipnig and Böszörményi, 2003) ที่สนับสนุนว่าระยะเวลาที่ข้อมูลถูกร้องขอครั้งล่าสุดมีผลต่อสมรรถนะของนโยบายแทนที่ข้อมูลในแคช

ข้อค้นพบว่าอัตราค่าโหลดข้อมูลที่ร้องขอส่งผลต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์น้อยที่สุด น่าจะเป็นเพราะความแตกต่างของอัตราค่าโหลดข้อมูลทั้งสองค่าที่ใช้จำลองการทำงานซึ่งอ้างอิงมาจากเมซอนและกุเกิ้ลมีค่าใกล้เคียงกันมากเกินไป

จุดแข็งของงานวิจัยนี้คือความใหม่ของข้อค้นพบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคลาวด์แคชได้อย่างโดดเด่น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีจุดอ่อนคือชุดข้อมูลนำเข้ามีข้อมูลคลาวด์ทั้งหมดแต่เป็นข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วว่าเป็นข้อมูลคลาวด์ส่วนใหญ่ ข้อมูลส่วนที่เหลือก็น่าจะเป็นข้อมูล

คลาวด์ได้เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางเทคนิค เช่น ข้อมูลการท่องเว็บซึ่งอาจเป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการอยู่บนคลาวด์

### ข้อเสนอแนะ

จากข้อค้นพบที่ว่าอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลส่งผลต่อสมรรถนะของไอ-คลาวด์สูงสุด ผู้เผยแพร่เนื้อหาข้อมูลบนคลาวด์ควรกำหนดอายุใช้งานข้อมูลทุกชิ้นและต้องกำหนดให้มีความแม่นยำเพื่อเอื้อต่อสมรรถนะการทำงานของไอ-คลาวด์อย่างสูงสุด

การวิจัยต่อเนื่องในอนาคตคือวิธีการค้นหาการกำหนดอายุใช้งานของข้อมูลบนคลาวด์ให้มีความแม่นยำได้อย่างเป็นอัตโนมัติมากที่สุด

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม. 2553. “คณะและหน่วยงาน.” สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2553, จาก

<http://info.spu.ac.th/content/42/183.php>

Alex, W. 2000. “Ready for a Web OS?.” **Communications of the ACM**. 52, 12: 16-17.

Arlitt, M., et al. 2000. “Evaluating Content Management Techniques for Web Proxy Caches.”

**ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review** 27, 4: 3-11.

Amazon.com, Inc. 2013. “Amazon Web Services.” Retrieved September, 2013, from

<http://aws.amazon.com/s3/>

Armbrust, M., et al. 2009. “Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing.”

Retrieved February 4, 2010, from Electrical Engineering and Computer

Sciences.University of California at Berkeley, from

[www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/](http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/)

Bahn, H., et al. 2002. "Efficient Replacement of Nonuniform Objects in Web Caches."

**Computer**. 35, 6: 65-73.

Balamash, A. and Krunz, M. 2004. “An overview of web caching replacement algorithms.”

**IEEE Communications Surveys & Tutorials**. 6, 2: 44-56.

Banditwattanawong, T. and Uthayopas, P. 2014 "A Client-Side Cloud Cache Replacement

Policy", **ECTI Transactions on Computer and Information Technology: Special**

**section on papers selected from ECTI-CON 2013**, 8, 2: 113-121.

Banditwattanawong, T., Masdisornchote, M., and Uthayopas, P. 2015 "Hybrid Cloud Computing:

Economy, Scalability and Responsiveness Optimization", **Chiang Mai Journal of**

**Science**. (in press).

Bennet Y., et al. 2010. “Native Client: A Sandbox for Portable, Untrusted x86 Native Code.”

**Communications of The ACM**. 53, 1: 91-99.

Bolot, J.C. and Hoschka, P. 1996. “Performance engineering of the World Wide Web:

application to dimensioning and cache design.” **Computer Networks and ISDN**

**Systems**. 28, 7-11.

Chand, N., Joshi, R.C., and Misra, M. 2006. “Data Profit Based Cache Replacement in Mobile

Environment.” **Proceeding of IFIP International Conference 2006 on Wireless and**

**Optical Communications Networks**.

Chen, H., Xiao, Y., and Shen, X.S. 2006. “Update-Based Cache Access and Replacement in

Wireless Data Access.” **IEEE Transactions on Mobile Computing**. 5, 12: 1734-1748.

- Chen, Y., Li, Z.Z., and Wang, Z.W. 2004. "A GA-Based Cache Replacement Policy." **Proceeding of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics**.
- ElAarag, H. and Romano, S. 2009. "Improvement of the Neural Network Proxy Cache Replacement Strategy." **Proceeding of 2009 Sprint Simulation Multiconference** : 1-8.
- Fielding, R., et al. 1999. "Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1." RFC 2616. Network Working Group.
- Gartner. 2009. "Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2010." Retrieved May 4, 2010, from <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1210613>
- Gartner. 2010. "Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2011." Retrieved January 4, 2011, from <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1454221>
- Geetha, K., Gounden, N.A., and Monikandan, S. 2009. "SEALRU: An Implementation of Modified Web Cache Replacement Algorithm." **Proceeding of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing**. 1406-1410.
- Google Inc. 2013. "Google App Engine." Retrieved September, 2013, from <http://developers.google.com/appengine/>
- Haugdahl, J.S. 2000. "Network Analysis and Troubleshooting." 3. USA: Addison-Wesley.
- Íñigo, G., Jordi, G., and Jordi, T. 2010. "Characterizing Cloud Federation for Enhancing Providers' Profit." **Proceeding of IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing**.
- Jeong, J. and Dubois, M. 2006. "Cache Replacement Algorithms with Nonuniform Miss Costs." **IEEE Transactions on Computers**. 55, 4: 353-365.
- Jin, S. and Bestavros, A. 2000. "GreedyDual\* Web Caching Algorithm: Exploiting the Two Sources of Temporal Locality in Web Request Streams." **Proceedings of the 5th International Web Caching Workshop**.
- Jin, S. and Bestavros, A. 2000. "Popularity-aware greedy dual-size Web proxy caching algorithms." **Proceedings of 20th International Conference on Distributed Computing Systems**. 254-261.
- Kim, K. and Park, D. 2001. "Least Popularity-per-Byte Replacement Algorithm for a Proxy Cache." **Proceeding of Parallel and Distributed Systems** : 780-787.

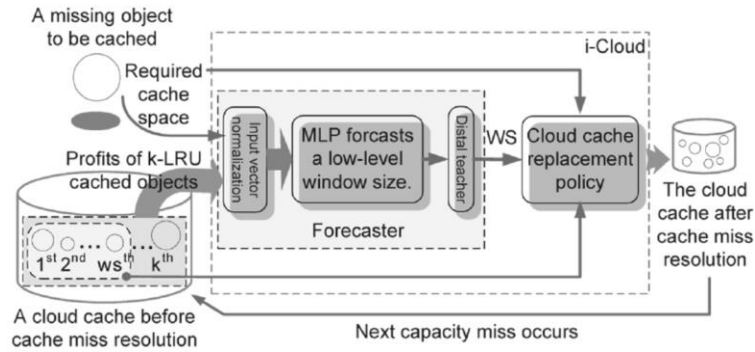
- Li, K., Nanya, T., and Qu, W. 2007. "A Minimal Access Cost-Based Multimedia Object Replacement Algorithm." **Proceeding of Parallel and Distributed Systems** : 1-7.
- Mell, P. and Grance, T. 2009. "The NIST Definition of Cloud Computing." Retrieved April 19, 2010, from the National Institute of Standards and Technology, from <http://csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing/>
- Megiddo, N. and Modha, D.S. 2004 "Outperforming LRU with an Adaptive Replacement Cache Algorithm Caching." **IEEE Computer**. 37, 4: 58-65.
- Microsoft. 2010. "Windows Azure Platform." Retrieved May 4, 2010, from <http://www.microsoft.com/windowsazure/>
- NLANR/DAST. 2010. "Iperf 2.0.5." Retrieved June 2, 2010, from <http://sourceforge.net/projects/iperf/>
- Niclausse, N., Liu, Z., and Nain, P. 1998. "A New Efficient Caching Policy for the World Wide Web." **Proceedings of the Workshop on Internet Server Performance** : 119–128.
- NSF and NLANR. 2015. "IRCache." Retrieved January 1, 2015, from <http://www.ircache.net/>
- Podlipnig, S. and Böszörményi, L. 2003. "A Survey of Web Cache Replacement Strategies." **ACM Computing Surveys**. 35, 4: 374-398.
- Sarma, A.R. and Govindarajan, R. 2003. "An Efficient Web Cache Replacement Policy." **Proceeding of the 9<sup>th</sup> Intl. Symp. On High Performance Computing**. 2003: 12-22.
- Scheuermann, P., Shim, J., and Vingralek, R. 1997. "A Case for Delay-Conscious Caching of Web Documents." **Computer Networks and ISDN Systems**. 29, 8-13: 997-1005.
- Shi, L. and Zhang, Y. 2008. "Optimal Model of Web Caching." **Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference On Natural Computation**. 2008: 362-366.
- Shim, J., Scheuermann, P., and Vingralek, R. 1999. "Proxy Cache Design: Algorithms, Implementation and Performance." **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**. 11, 4: 549-562.
- Shin, S.W., Kim, K.Y., and Jang, J.S. 2003. "LRU based Small Latency First Replacement (SLFR) algorithm for the proxy cache." **Proceeding of IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence**.
- Tanenbaum, A.S., and Steen, M.V. 2002. "Distributed Systems Principles and Paradigms." International edition. USA: Prentice-Hall Inc.

- Triantafillou, P., and Aekaterinidis, I. 2003. "Web Proxy Cache Replacement: Do's, Don'ts, and Expectation." **Proceeding of the Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications**. 59-66.
- Wessels, D. 1995. "Intelligent Caching for World Wide Web Objects." Master thesis  
Interdisciplinary Program in Telecommunications Faculty of Graduate School  
University of Colorado.
- Wessels, D. 2004. "Squid: The Definitive Guide." USA: O'Reilly.
- Wooster, R.P., and Abrams, M. 1997. "Proxy Caching That Estimates Page Load Delays."  
**Proceeding of the sixth international conference on World Wide Web**. 325-334.
- Williams, S., et al. 1996. "Removal Policies in Network Caches for World-Wide Web Documents." **Proceeding of ACM on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications**. 293-305.
- Wireshark Foundation. 2011. "Wireshark 1.5.0." Retrieved June 2, 2011, from  
<http://www.wireshark.org/>
- Wong, K.Y. 2006. "Web cache replacement policies: a pragmatic approach." **IEEE Network**. 20, 1: 28-34.
- Xu, J., et al. 2004. "Performance Evaluation of an Optimal Cache Replacement Policy for Wireless Data Dissemination." **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**. 16, 1: 125-139.
- Yin, J., Alvisi, L., and Dahlin, M. 2002. "Engineering Web Cache Consistency." **ACM Transactions on Internet Technology**. 2, 3: 224-259.
- Yin, L., Cao, G., and Cai, Y. 2005. "A Generalized Target-Driven Cache Replacement Policy for Mobile Environments." **Journal of Parallel and Distributed Computing**. 65: 583-594.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนวิธีของนโยบายไอ-คลาสส์



ภาพประกอบ 14 กรอบแนวคิดของนโยบายไอ-คลาวด์

---

**algorithm:** Cloud

---

**inputs:**

*cd* /\*a cache database (recency-keyed min-priority queue)\*;/  
*ws* /\*a window size\*/;  
*rs* /\*required cache space\*/;

**local variables:**

*ecd* /\*empty cache database (recency-keyed min-priority queue)\*;/  
*oc* /\*object cluster of LRU objects (profit-keyed min-priority queue of evictable objects)\*;/  
*co* /\*a candidate object to be included in a cluster\*/;  
*ts*  $\leftarrow 0$  /\*total size of objects within *ws* initialized to zero\*/;  
*eo* /\*an evicted object\*/;  
*c*  $\leftarrow 0$  /\*a counter for objects in a cluster initialized to zero\*/;

**begin**

**if** *cd.getTotalNumberOfObjects()* < *ws*  
**then** *ws*  $\leftarrow$  *cd.getTotalNumberOfObjects()*;  
*ecd*  $\leftarrow$  *cd*;

**do**

*co*  $\leftarrow$  *ecd.removeLeastRecentlyUsedObject()*;  
*ts*  $\leftarrow$  (*ts* + *co.getSize()*);  
*oc.addObject(co)*;  
*c*  $\leftarrow$  (*c* + 1);

**while** (*c* < *ws*)  $\vee$  (*ts* < *rs*);

**do**

*eo*  $\leftarrow$  *oc.removeMinProfitObject()*;  
*cd.evict(eo)*;  
**while** *cd.getFreeSpace()* < *rs*;

**return** *cd.getFreeSpace()*;

---

ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนวิธีของนโยบายคลาวด์ (Cloud) ในภาพประกอบ 14

---

**algorithm:** Forecaster
 

---

**inputs:**

$cd$     /\*cache database (recency-keyed min-priority queue)\*/;  
 $rs$     /\*required cache space\*/;  
 $w_{ij}$    /\*inter-node connection weight\*/;

**local variables:**

$ecd$    /\*empty cache database\*/;  
 $ip$     /\*MLP's input node\*/;  
 $i, j$    /\*node indices where  $j$  is on preceding layer of  $i$ \*/;  
 $temp$  /\*temporary object\*/;  
 $l$     /\*layer index\*/;  
 $u_i$    /\*weighted sum\*/;  
 $y_i$    /\*output activation\*/;

**begin**

$ecd \leftarrow_{1 \dots 10000} cd$ ; /\* duplicating 10,000 LRU objects \*/  
 /\* Read a current cache state into 10,002 input nodes \*/  
 $ip_0 \leftarrow 1$ ; /\* bias constant \*/  
**for**  $j=1$  **to** 10000 **do**  
      $temp \leftarrow ecd.removeLeastRecentlyUsedObject()$ ;  
      $ip_j \leftarrow temp.getProfit()$ ;  
 $ip_{10001} \leftarrow rs$ ;  
 /\* Normalize inputs except bias node based on    (4) \*/  
**for**  $j=1$  **to** 10001 **do**  
      $ip_j \leftarrow 2 ip_j / 10^{14} - 1$ ;  
 /\* Propagate the inputs forward to compute an output \*/  
**for each** *noninput layer*  $\ell$  **do**  
     **for each** *node*  $i$  **in**  $\ell$  **do**  
          $u_i \leftarrow \sum_j w_{ij} ip_j$ ;  
          $y_i \leftarrow sigmoid(u_i)$ ;  
 /\* Denormalize the output based on    (5) \*/  
 $y_{10006} \leftarrow 10000 y_{10006}$  ;  
**return**  $y_{10006}$  ; /\*return window size\*/

---

ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนวิธีของตัวพยากรณ์ (Forecaster) ในภาพประกอบ 14

ภาคผนวก ข  
ประสิทธิภาพของนโยบายไอ-คลาวด์

ตาราง 3 อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.147812497 | 0.147818922 | 0.14782021  |
| Minima                       | 0.14779377  | 0.147812432 | 0.147819439 |

ตาราง 4 อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.078002197 | 0.078003632 | 0.078004065 |
| Minima                       | 0.077602127 | 0.071972604 | 0.077254185 |

ตาราง 5 อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.141174938 | 0.141175598 | 0.141175733 |
| Minima                       | 0.141172546 | 0.141174919 | 0.141175665 |

ตาราง 6 อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่าการตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                        | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                                 | 0.179674883 | 0.179677452 | 0.179677573 |
| Minima                                 | 0.179319897 | 0.178670780 | 0.179476610 |

ตาราง 7 อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.172386623 | 0.172394679 | 0.172396476 |
| Minima                           | 0.172370445 | 0.172387547 | 0.1723954   |

ตาราง 8 อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.083250875 | 0.083252363 | 0.083252667 |
| Minima                           | 0.082861244 | 0.075434080 | 0.082293452 |

ตาราง 9 อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.293294451 | 0.293310095 | 0.293313224 |
| Minima                           | 0.293261596 | 0.293302273 | 0.29331166  |

ตาราง 10 อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุด (Maxima) และแย่ที่สุด (Minima) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.207262859 | 0.207272769 | 0.207273531 |
| Minima                           | 0.205941854 | 0.206545568 | 0.207009025 |

**ตาราง 11** อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.147812497 | 0.147818922 | 0.14782021  |
| Maxima(no TTL)               | 0.090058404 | 0.108896015 | 0.121942296 |

**ตาราง 12** อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.078002197 | 0.078003632 | 0.078004065 |
| Maxima(no TTL)               | 0.03358307  | 0.047665577 | 0.058110325 |

**ตาราง 13** อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.141174938 | 0.141175598 | 0.141175733 |
| Maxima(no TTL)               | 0.088626803 | 0.103712581 | 0.112843344 |

**ตาราง 14** อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.179674883 | 0.179677452 | 0.179677573 |
| Maxima(no TTL)               | 0.126405941 | 0.139885769 | 0.1509747   |

ตาราง 15 อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.172386623 | 0.172394679 | 0.172396476 |
| Maxima(no TTL)               | 0.110458049 | 0.131035635 | 0.145811104 |

ตาราง 16 อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.083250875 | 0.083252363 | 0.083252667 |
| Maxima(no TTL)               | 0.036603183 | 0.052501572 | 0.063437025 |

ตาราง 17 อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.293294451 | 0.293310095 | 0.293313224 |
| Maxima(no TTL)               | 0.071800584 | 0.118054654 | 0.180061547 |

ตาราง 18 อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล (Maxima(no TTL)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.207262859 | 0.207272769 | 0.207273531 |
| Maxima(no TTL)               | 0.092010702 | 0.115736958 | 0.133351374 |

**ตาราง 19** อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณา  
ค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุด  
ข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.147812497 | 0.147818922 | 0.14782021  |
| Maxima(no Cost)                  | 0.147812497 | 0.147818922 | 0.147819439 |

**ตาราง 20** อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณา  
ค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุด  
ข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.078002197 | 0.078003632 | 0.078004065 |
| Maxima(no Cost)                  | 0.078002239 | 0.078003632 | 0.078004065 |

**ตาราง 21** อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณา  
ค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุด  
ข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.141174938 | 0.141175598 | 0.141175733 |
| Maxima(no Cost)                  | 0.141174938 | 0.141175598 | 0.141175665 |

**ตาราง 22** อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลเมื่อใช้ขนาดของวินโดว์ที่ดีที่สุดแบบพิจารณา  
ค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุด  
ข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่<br>ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                           | 0.179674883 | 0.179677452 | 0.179677573 |
| Maxima(no Cost)                  | 0.179674971 | 0.179677452 | 0.179677573 |

**ตาราง 23** อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.172386623 | 0.172394679 | 0.172396476 |
| Maxima(no Cost)              | 0.172386623 | 0.172394679 | 0.1723954   |

**ตาราง 24** อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.083250875 | 0.083252363 | 0.083252667 |
| Maxima(no Cost)              | 0.083250827 | 0.083252363 | 0.083252667 |

**ตาราง 25** อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล BO

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.293294451 | 0.293310095 | 0.293313224 |
| Maxima(no Cost)              | 0.293294451 | 0.293310095 | 0.29331166  |

**ตาราง 26** อัตราการพบข้อมูลในแคชเมื่อใช้ขนาดของวินโดวที่ดีที่สุดแบบพิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima) และไม่พิจารณาค่าโหลดข้อมูล (Maxima(no Cost)) โดยใช้ชุดข้อมูล NY

| การตั้งค่านโยบายแทนที่ข้อมูล | ขนาดแคช (%) |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 10          | 20          | 30          |
| Maxima                       | 0.207262859 | 0.207272769 | 0.207273531 |
| Maxima(no Cost)              | 0.207262859 | 0.207272769 | 0.207273531 |

## ประวัติย่อผู้วิจัย

|                              |                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ                         | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์                              |
| วัน เดือน ปีเกิด             | พฤศจิกายน                                                                   |
| สถานที่เกิด                  | กรุงเทพมหานคร                                                               |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน          | 77/338 ถนนจตุโชติ เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร                                   |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | รักษาการผู้อำนวยการหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ      |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน         | คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม                                     |
| ประวัติการศึกษา              |                                                                             |
| พ.ศ. 2540                    | วศ.บ จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง                     |
| พ.ศ. 2543                    | M.E. (Computer Science) จาก Asian Institute of Technology, Thailand         |
| พ.ศ. 2550                    | Ph.D. (Informatics) จาก The Graduate University for Advanced Studies, Japan |