วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

นายพเยาว์ บุญอ่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

AN APPROACH TO CLUSTERING FEATURE MODEL BASED ON ADAPTIVE BEHAVIOR FOR DYNAMIC SOFTWARE PRODUCT LINE

Mr. Phayao Boonon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Software Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต
โดย	นายพเยาว์ บุญอ่อน
สาขาวิชา	วิศวกรรมซอฟต์แวร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิตีย์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มฑุปายาส ทองมาก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พเยาว์ บุญอ่อน : วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต. (AN APPROACH TO CLUSTERING FEATURE MODEL BASED ON ADAPTIVE BEHAVIOR FOR DYNAMIC SOFTWARE PRODUCT LINE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี, 147 หน้า.

สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง ที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการและเพิ่มขึ้นของข้อจำกัดของทรัพยากรระบบขณะทำงาน การปรับตัวอาจจะทำให้สำเร็จด้วยการปรับโครงแบบพฤติกรรมการปรับของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะที่บอกลักษณะของความหลากหลายในระบบซอฟต์แวร์ การตัดสินใจของการจัดการความหลากหลายเชิงพลวัตสำหรับจุดเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองคุณลักษณะเป็นความท้าทายในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะของจุดเปลี่ยนแปลงตามพฤติกรรมการปรับที่แทนด้วยบริบทของการปรับตัวและข้อจำกัดของคุณลักษณะ โดยวิธีการนี้ใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก หรือ FLAME เพื่อการปรับโครงแบบระบบซอฟต์แวร์ พร้อมทั้งนำเสนอเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc ที่รองรับการกำหนดบริบทให้กับจุดปรับโดยสามารถนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล และกรอบการทำงาน MAPE-Kc เพื่อใช้สำหรับการปฏิบัติงานปรับตัวในกรณีศึกษาเพื่อลดเวลาในการปรับตัวของกระบวนการการตัดสินใจในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตด้วยวิธีการนี้เทียบกับการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะประมาณ 45%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5371432821 : MAJOR SOFTWARE ENGINEERING
KEYWORDS: DYNAMIC SOFTWARE PRODUCT LINE / FEATURE MODEL / CLUSTERING APPROACH / ADAPTIVE BEHAVIOR

PHAYAO BOONON: AN APPROACH TO CLUSTERING FEATURE MODEL BASED ON ADAPTIVE BEHAVIOR FOR DYNAMIC SOFTWARE PRODUCT LINE. ADVISOR: ASSOC. PROF. PORNSIRI MUENCHAISRI, 147 pp.

Dynamic Software Product Line (DSPL) is intent to support adaptive software system to meet requirement changes and evolving resource constraints during runtime. The adaptation may be accomplished by reconfiguring adaptive behavior at adaptive point in feature model that describes variability of system. The decision making of dynamic variability management for variation point of feature model is challenges in DSPL. This research proposes an approach to clustering feature model on variation point based on adaptive behavior represented with adaptive context and feature constraint. An approach for similarity uses Fuzzy clustering and Local Approximation of Membership (FLAME) algorithm to reconfigure software system. The tools for design feature model Feature-Dc supported define context for variation point then export to XML document and the MAPE-Kc framework is used for adaptive task operation in case study in order to reducing adaptation time of decision making process in DSPL this approach and non-clustering feature model about 45%.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Software Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สละเวลาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบ ให้คำแนะนำแนวทางการทำวิจัย และสนับสนุน จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จออกมาได้ด้วยดี ข้าพเจ้าจึงขอกราบระลึกถึงพระคุณของอาจารย์ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ทวิตีย์ เสนีวงค์ ณ อยุธยา รองศาสตราจารย์ ดร. ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มฑุปายาส ทองมาก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ในการตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบกราบขอบพระคุณ คุณบิดา คุณมารดา คุณปู่ คุณย่า คุณอา คุณภรรยา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ กราบขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ประสิทธิ์ประศาสตร์ วิชาความรู้จนกระทั่งข้าพเจ้าสำเร็จวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้หากพบข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อยสำหรับผู้ที่สนใจศึกษารายละเอียดต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1.1 สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [1] 4

2.1.2 สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต 5

2.1.3 แบบจำลองคุณลักษณะ 7

2.1.4 ระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง 10

2.1.5 วงควบคุมการปรับตัว MAPE-K 12

2.1.6 บริบท (Context) และการล่วงรู้บริบท (Context Aware) 13

2.1.7 การวัดความคล้ายคลึง (Similarity Measures) 14

2.1.8 การจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก (Fuzzy clustering and Local Approximation of Membership: FLAME) 15

2.1.8.1 การดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน 15

2.1.8.2 การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ 16

2.1.8.3 การสร้างกลุ่ม 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

หน้า

บทที่ 3 วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต 20
3.1 ภาพรวมวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 20
3.2 วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 23
3.2.1 เมทาเดตาของแบบจำลองคุณลักษณะ 24
3.2.2 การวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลง 26
3.2.3 ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 29
3.2.3.1 การดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน 30
3.2.3.2 การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ 35
3.2.3.3 การสร้างกลุ่ม 39
3.3 ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 40
3.3.1 ความต้องการที่เป็นหน้าที่หลักของเครื่องมือจัดกลุ่มจำลองคุณลักษณะ 41
3.3.2 การออกแบบโครงสร้างเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 42
3.3.3 กรอบการทำงานระบบปรับตัวเองที่รองรับการจัดกลุ่ม 43
3.4 ออกแบบและพัฒนากรณีศึกษาของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 46
3.5 วิธีการประเมินของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 48
บทที่ 4 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ 49
4.1 ภาพรวมการออกแบบเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ 49
4.2 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) 50
4.3 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) 52
4.4 แผนภาพคลาส (Class Diagram) 57
4.5 การทดลองใช้งานเครื่องมือ Feature-Dc 58
บทที่ 5 การออกแบบและพัฒนากรณีศึกษา 59
5.1 ข้อกำหนดความต้องการของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 59
5.2 เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลของกรณีศึกษา 60
5.3 การออกแบบกรณีศึกษา 61
5.4 การออกแบบกรอบการทำงานของกรณีศึกษา 62

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.5 การออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของกรณีศึกษา 63

หน้า

5.6 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์กรณีศึกษา 66
บทที่ 6 การทดสอบและประเมินผล 68
6.1 การทดสอบระบบ 68
6.1.1 เครื่องมือการออกแบบแบบจำลองลองคุณลักษณะ 68
6.1.2 กรณีศึกษา 74
6.2 การประเมินผลระบบ 92
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 97
7.1 สรุปผลการวิจัย 97
7.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 98
7.2.1 ข้อจำกัดของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 98
7.1.1 ข้อจำกัดของเครื่องมือการออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ 98
7.1.2 ข้อจำกัดของกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 98
7.3 แนวทางการวิจัยต่อ 99
รายการอ้างอิง 100
ภาคผนวก ก คำอธิบายยูสเคสของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ 103
ภาคผนวก ข การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ 110
ภาคผนวก ค การใช้งานของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ 125
ภาคผนวก ง การใช้งานกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เล่นสื่อ 141
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 147

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง 29
ตารางที่ 3.2 ค่าความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง 29
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันและความแตกต่างกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง 32
ตารางที่ 3.4 ค่าความแตกต่างของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง 33
ตารางที่ 3.5 ค่าอัตราส่วนของความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงกับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงของแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง 33
ตารางที่ 3.6 ค่าน้ำหนักจากสมการหาค่าน้ำหนักจากความคล้ายคลึงของแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง 35
ตารางที่ 3.7 ค่าเริ่มต้นกระบวนการทำซ้ำของแต่ละส่วนย่อยในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง 37
ตารางที่ 3.8 การปรับปรุงค่าของเวกเตอร์สมาชิกในการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่ 38
ตารางที่ 3.9 ค่าสมาชิกของเซตข้อมูลของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงสำหรับสร้างกลุ่ม 39
ตารางที่ 6.1 การทดสอบสร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ 68
ตารางที่ 6.2 การทดสอบสร้างคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ 69
ตารางที่ 6.3 การทดสอบเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ 69
ตารางที่ 6.4 การทดสอบลบคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ 70
ตารางที่ 6.5 การทดสอบกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ 70
ตารางที่ 6.6 การทดสอบลบบริบทของกับคุณลักษณะ 71
ตารางที่ 6.7 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ 71
ตารางที่ 6.8 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ 72
ตารางที่ 6.9 การทดสอบกำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะ 72
ตารางที่ 6.10 การทดสอบลบข้อจำกัดของคุณลักษณะ 73
ตารางที่ 6.11 การทดสอบจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 73
ตารางที่ 6.12 การทดสอบยกเลิกจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 73
ตารางที่ 6.13 การทดสอบนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 74

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.14 จุดเปลี่ยนแปลง บริบท และ ข้อจำกัด ของกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ 75
ตารางที่ 6.15 ผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ 77
ารางที่ 6.16 ค่าความแตกต่างกันของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ 78
ตารางที่ 6.17 ค่าอัตราส่วนของความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงกับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ 78
ตารางที่ 6.18 ค่าน้ำหนักจากสมการค่าน้ำหนักจากความคล้ายคลึงของแบบจำลองคุณลักษณะกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ 79
ตารางที่ 6.19 ค่าเริ่มต้นกระบวนการทำซ้ำของแต่ละส่วนย่อยในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง 79
ตารางที่ 6.20 ตารางแสดงการปรับปรุงค่าของเวกเตอร์สมาชิกในการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่ 80
ตารางที่ 6.21 ค่าสมาชิกของเซตข้อมูลของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงสำหรับการสร้ากลุ่มของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 81
ตารางที่ 6.22 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 83
ตารางที่ 6.23 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์หลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 86
ตารางที่ 6.24 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลเพลงหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 88
ตารางที่ 6.25 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครือข่ายโดยใช้เครือข่ายหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ .. 91
ตารางที่ 6.26 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการจัดกลุ่มแบบจำลองและการไม่จัดกลุ่มแบบจำลอง 92

ตารางที่ ก.1 คำอธิบายยูสเคส สร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ 103
ตารางที่ ก.2 คำอธิบายยูสเคส สร้างคุณลักษณะ 103
ตารางที่ ก.3 คำอธิบายยูสเคส เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ 104
ตารางที่ ก.4 คำอธิบายยูสเคส ลบคุณลักษณะ 105
ตารางที่ ก.5 คำอธิบายยูสเคส กำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ 105

ตารางที่ ก.6 คำอธิบายยูสเคส เปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ 106
ตารางที่ ก.7 คำอธิบายยูสเคส เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ 107
ตารางที่ ก.8 คำอธิบายยูสเคส กำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะ 107
ตารางที่ ก.9 คำอธิบายยูสเคส จำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 108
ตารางที่ ก.10 คำอธิบายยูสเคส นำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 109
ตารางที่ ข.1 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModel 110
ตารางที่ ข.2 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureElement 111
ตารางที่ ข.3 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConnection 112
ตารางที่ ข.4 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureEditPartFactory 112
ตารางที่ ข.5 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelEditPart 113
ตารางที่ ข.6 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureEditPart 114
ตารางที่ ข.7 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConnectionEditPart 115
ตารางที่ ข.8 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureFigure 115
ตารางที่ ข.9 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureDecorationFigure 116
ตารางที่ ข.10 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConnectionFigure 116
ตารางที่ ข.11 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureContextMenu 117
ตารางที่ ข.12 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureCreateAction 118
ตารางที่ ข.13 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureDeleteAction 118
ตารางที่ ข.14 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureRenameAction 119
ตารางที่ ข.15 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureContextAction 119
ตารางที่ ข.16 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureRelationAction 120
ตารางที่ ข.17 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureMandatoryAction 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.18 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelExport 121
ตารางที่ ข.19 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelWriter 121
ตารางที่ ข.20 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelReader 122
ตารางที่ ข.21 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelEditor 122
ตารางที่ ข.22 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureClusterAction 123
ตารางที่ ข.23 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FlameCluster 123
ตารางที่ ข.24 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConstraintAction 124

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [2] 5
รูปที่ 2.2 การสร้างสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตจากสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [8] 7
รูปที่ 2.3 แบบจำลองคุณลักษณะของระบบรถยนต์อย่างง่าย [14] 8
รูปที่ 2.4 กิจกรรมของวงควบคุมของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองได้ [15] 12
รูปที่ 2.5 วงควบคุมการปรับตัว MAPE-K 13
รูปที่ 2.6 แสดงการหาความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะ 14
รูปที่ 2.7 แสดงการจัดกลุ่มโดยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก [12] 17
รูปที่ 3.1 ภาพรวมงานวิจัยการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ 20
รูปที่ 3.2 แผนภาพกิจกรรมภาพรวมงานวิจัยการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ 21
รูปที่ 3.3 แสดงวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 23
รูปที่ 3.4 เมทาเดตาของแบบจำลองคุณลักษณะ 26
รูปที่ 3.5 การวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ 27
รูปที่ 3.6 แผนภาพกิจกรรมแสดงขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 30
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน 34
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มในแบบจำลองคุณลักษณะ 40
รูปที่ 3.9 ภาพรวมของเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 41
รูปที่ 3.10 เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่สร้างขึ้นโดยเครื่องมือ Feature-Dc 42
รูปที่ 3.11 ภาพรวมกรอบการทำงาน MAPE-Kc 45
รูปที่ 3.12 แผนภาพลำดับของกรอบการทำงานการปรับตัวเอง MAPE-Kc 46
รูปที่ 3.13 แผนภาพกิจกรรมแสดงภาพรวมการออกแบบและพัฒนากรณีศึกษา 47
รูปที่ 3.14 ภาพรวมการทำงานของกรณีศึกษาบนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ 47
รูปที่ 3. 15 การวัดระยะเวลาในการทำงานกรอบการทำงาน MAPE-Kc 48
รูปที่ 4.1 ภาพรวมการทำงานของเครื่องมือ Feature-Dc 49
รูปที่ 4.2 แสดงแบบแผนสถาปัตยกรรมแบบ โมเดล-วิว-คอนโทรลเลอร์ของกรอบการทำงานจีอีเอฟ 50
รูปที่ 4.3 แผนภาพยูสเคสของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc 51

รูปที่ 4.4 แผนภาพกิจกรรมการสร้างคุณลักษณะใหม่ 52
รูปที่ 4.5 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ 53
รูปที่ 4.6 แผนภาพกิจกรรมการลบคุณลักษณะ 53
รูปที่ 4.7 แผนภาพกิจกรรมการกำหนดบริบทของคุณลักษณะ 54
รูปที่ 4.8 แผนภาพกิจกรรมการลบบริบทของคุณลักษณะ 54
รูปที่ 4.9 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนข้อมูลของบริบทของคุณลักษณะ 55
รูปที่ 4.10 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเป็น And/Or/Xor 55
รูปที่ 4.11 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะเป็น Mandatory/Option... 56
รูปที่ 4.12 แผนภาพกิจกรรมการนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 56
รูปที่ 4.13 แผนภาพคลาสของเครื่องมือ Feature-Dc 57
รูปที่ 4.14 ภาพรวมเครื่องมือ Feature-Dc เป็นส่วนเสริมในโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ 58
รูปที่ 5.1 แบบจำลองคุณลักษณะสำหรับระบบเครื่องเล่นสื่อ 59
รูปที่ 5.2 แบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาที่สร้างด้วยเครื่องมือ 60
รูปที่ 5.3 เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลของแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษา 61
รูปที่ 5.4 แผนภาพแพ็กเกจของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ 62
รูปที่ 5.5 แผนภาพลำดับกรอบการทำงาน MAPE-Kc ในกรณีศึกษา 63
รูปที่ 5.6 ออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ Browser ด้วยการใช้ ViewPager 64
รูปที่ 5.7 แสดงการออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ส่วนของเมนู 65
รูปที่ 5.8 แสดงการออกแบบส่วนตอบโต้ของเมนูส่วนปฏิบัติการเพิ่มเติม 65
รูปที่ 5.9 แสดงการออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ AudioUI 66
รูปที่ 5.10 แสดงการออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ VideoUI 66
รูปที่ 5.11 หน้าจอของโปรแกรมประยุกต์และแฟ้มข้อมูลต่างๆ ของกรณีศึกษาที่พัฒนาขึ้น 67
รูปที่ ค.1 หน้าต่างเบื้องต้นหลังจากสร้างโครงงานของเครื่องมือ 126
รูปที่ ค.2 การสร้างคุณลักษณะ 127
รูปที่ ค.3 ขั้นตอนการเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ 128
รูปที่ ค.4 การกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ 129
รูปที่ ค.5 การลบบริบทของคุณลักษณะที่เลือก 130
รูปที่ ค.6 การลบคุณลักษณะ 131
รูปที่ ค.7 การเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ 132
รูปที่ ค.8 การเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ 134
รูปที่ ค.9 การกำหนดข้อจำกัดให้กับคุณลักษณะ 136

รูปที่ ค.10 การจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 137
รูปที่ ค.11 การนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 138
รูปที่ ค.12 การเตือนเพื่อการบันทึกหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในเครื่องมือ 140
รูปที่ ง.1 ไอคอนโปรแกรมประยุกต์บนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ 141
รูปที่ ง.2 หน้าจอรายการแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ของโปรแกรมประยุกต์ 142
รูปที่ ง.3 หน้าจอรายการแฟ้มข้อมูลเพลงของโปรแกรมประยุกต์ 142
รูปที่ ง.4 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในแนวตั้ง 143
รูปที่ ง.5 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในแนวนอน 143
รูปที่ ง.6 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงในแนวตั้ง 144
รูปที่ ง.7 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงในแนวนอน 144
รูปที่ ง.8 หน้าจอเมนูของปุ่มปฏิบัติการเพิ่มเติม 145
รูปที่ ง.9 หน้าจอส่วนตอบโต้สำหรับใส่ที่อยู่ของแฟ้มข้อมูลในเครือข่าย 146
รูปที่ ง.10 หน้าจอส่วนตอบโต้สำหรับเลือกตั้งค่าเครือข่าย 146

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์นั้นระเบียบวิธีทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์มีส่วนสำคัญอย่างมากที่ทำให้การพัฒนาซอฟต์แวร์ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ เหมาะสมสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับองค์กรหลากหลายขนาด ซึ่งหนึ่งในวิธีการของวิศวกรรมซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์คือ วิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (Software Product Line Engineering) ซึ่งเป็นวิธีการที่นำแนวความคิดจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของวิศวกรรมการผลิต (Production Engineering) มาใช้โดยที่จะสร้างซอฟต์แวร์ให้เป็นสินทรัพย์หลัก (Core Asset) แล้วนำมาประกอบกันเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ด้วยกระบวนการ พัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development) ซึ่งซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่สร้างขึ้นในกลุ่มเดียวกันจะมีส่วนที่เหมือนกัน (Share Common) [1] ทำให้ระยะเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นมีระยะเวลาไม่มากนัก เมื่อเทียบกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ทั้งหมด ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ออกสู่ตลาดได้เร็วขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายตรงต่อความต้องการของลูกค้า การอธิบายและจัดการกับความหลากหลายของสินทรัพย์หลักสามารถอาศัยแบบจำลองคุณลักษณะ (Feature Model) โดยใช้บริบทของคุณลักษณะ (Feature) มาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่โดยการสร้างโครงแบบ (Configuration) ขึ้นมา ซึ่งวิธีการนี้ได้คิดค้นโดยสถาบันวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Software Engineering Institute)

ไม่กี่ปีมานี้ได้กำเนิดแนวความคิดใหม่ซึ่งนำวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ไปใช้กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยในขณะทำงาน (Runtime) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวตัวเอง (Self-Adaptive Software) ซึ่งเรียกว่า สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต (Dynamic Software Product Line) เป็นการทำให้ซอฟต์แวร์มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนแปลงตามความต้องการของผู้ใช้หรือสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป และใช้ทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดไปเป็นระบบใหม่ได้ [2] โดยการเชื่อมโยงจุดเปลี่ยนแปลง (Variation points) ในขณะที่ระบบซอฟต์แวร์ทำงาน ซึ่งการจัดการกับความเปลี่ยนแปลงพลวัต (Dynamic Variability Management) [3] สามารถทำได้โดยการปรับโครงแบบ (Reconfiguration) จากระบบที่เป็นอยู่ไปเป็นระบบใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปขณะทำงาน เรียกว่าการปรับโครงแบบด้วยตัวเอง (Self-Reconfiguration) เพื่อให้ระบบสามารถทำงานต่อไปได้ในขณะที่เปลี่ยนแปลงตัวเองเพื่อให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นเป็นการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงพลวัตของระบบซอฟต์แวร์ที่มีจุดเปลี่ยนแปลงจำนวนมากจึงเป็นความท้าทายของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

ในการจัดการความเปลี่ยนแปลงพลวัตด้วยการปรับโครงแบบด้วยตัวเองในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตนั้น งานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้วิธีการใช้กฎเกณฑ์ (Rule-based approaches) และวิธีการใช้วัตถุประสงค์ (Goal-based approach) [4], แบบแผนการปรับโครงแบบซอฟต์แวร์

(Software Reconfiguration Pattern) [5], สถาปัตยกรรมของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต (Architecture) [6] [7], กลไกการปรับแบบใช้คุณลักษณะ (Feature-based Adaptation) [8], แบบจำลองคุณลักษณะพลวัต (Dynamic Feature Model) [9], สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตใช้ซูเปอร์ไทป์ (Supertype-enabled DSPL) [10] และการลดรูปแบบคุณลักษณะ (Reducing Feature Model) [11] ซึ่งการตัดสินใจในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เป็นอุปสรรคปัญหาที่สำคัญของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สำหรับจัดการเปลี่ยนแปลงในขณะทำงาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ เพื่อจัดการการเปลี่ยนแปลงพลวัตสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ซึ่งวิธีการจัดกลุ่มของคุณลักษณะนั้นจะอาศัยความคล้ายคลึงกันของพฤติกรรมการปรับอยู่ในกลุ่มเดียวกันนั้นใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก (Fuzzy clustering and Local Approximation of Membership: FLAME) [12] เพื่อจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงโดยจุดปรับของคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ โดยใช้กรอบการทำงานระบบปรับตัวเอง MAPE-Kc ในการลดเวลาในการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวความคิดและพัฒนาเครื่องมือของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตที่ทำงานในระบบปรับตัวเอง

1.3.2 สร้างเครื่องมือสำหรับแบ่งกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะที่สามารถออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะ กำหนดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะของแต่ละคุณลักษณะ และนำออกเป็นเอกสารเอกซ์เอ็มแอล ด้วยภาษาจาวา และทำงานกับโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ (Eclipse) ทำงานได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

1.3.3 สร้างกรณีศึกษาสำหรับแสดงการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะสำหรับปรับโครงแบบด้วยตัวเองในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตบนระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง

1.3.4 ประเมินผลวิธีการและเครื่องมือตามวิธีการที่นำเสนอ ได้จากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในขณะที่ระบบซอฟต์แวร์ปรับโครงสร้างด้วยตัวเอง จากกรณีศึกษาที่สร้างขึ้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต, แบบจำลองคุณลักษณะและระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง

1.4.2 ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับแบ่งกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยพฤติกรรมการปรับ

1.4.3 สร้างกรณีศึกษาของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยพฤติกรรมการปรับ

1.4.4 ทดสอบกรณีศึกษา

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.6 สรุปผลการทดลองและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำวิธีการ และเครื่องมือที่นำเสนอไปใช้สร้างระบบซอฟต์แวร์ ที่สามารถจัดการกับการเปลี่ยนแปลงพลวัตโดยพฤติกรรมการปรับสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความวิจัยในหัวข้อเรื่อง An Approach to Clustering Feature Model Based On Adaptive Behavior for Dynamic Software product Line เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ 2014 International Conference on Information Science and Applications ปีที่พิมพ์ 2014 ระหว่างวันที่ 6 – 8 พฤษภาคม 2557 ณ มหาวิทยาลัยสตรีอีฮวา ประเทศเกาหลีใต้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวข้องกับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และแบบจำลองคุณลักษณะซึ่งเป็นวิธีการการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบคงที่ และสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ผลวัต ซึ่งเป็นระบบซอฟต์แวร์ของระบบปรับตัวเอง นอกจากนี้ยังกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวของกับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [1]

สถาบันวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Software Engineering Institute: SEI) ได้คิดค้นสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (Software Product Line) ซึ่งเป็นเซตของระบบซอฟต์แวร์ที่แบ่งส่วนที่เหมือนกัน และจัดการกับเซตของคุณลักษณะ (Feature) เพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดที่จำเป็นของส่วนของตลาดเฉพาะหรือทำหน้าที่เฉพาะซึ่งพัฒนาจากเซตที่เหมือนกัน (Common) ของสินทรัพย์หลัก (Core Asset) ที่ถูกกำหนดมาแล้ว [1]

การพัฒนาของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ได้มีการใช้งานและประสบความสำเร็จอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคการศึกษา ในหลากหลายโดเมนรวมทั้ง ระบบอิเล็กทรอนิกส์การบิน (Avionics) อุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์ (Medical devices) และระบบสารสนเทศ (Information system) เป็นต้น โดยการใช้งานวิธีการนี้ทำให้บรรลุผลการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ทันเวลา ลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาซอฟต์แวร์ และเพิ่มคุณภาพของซอฟต์แวร์ [13]

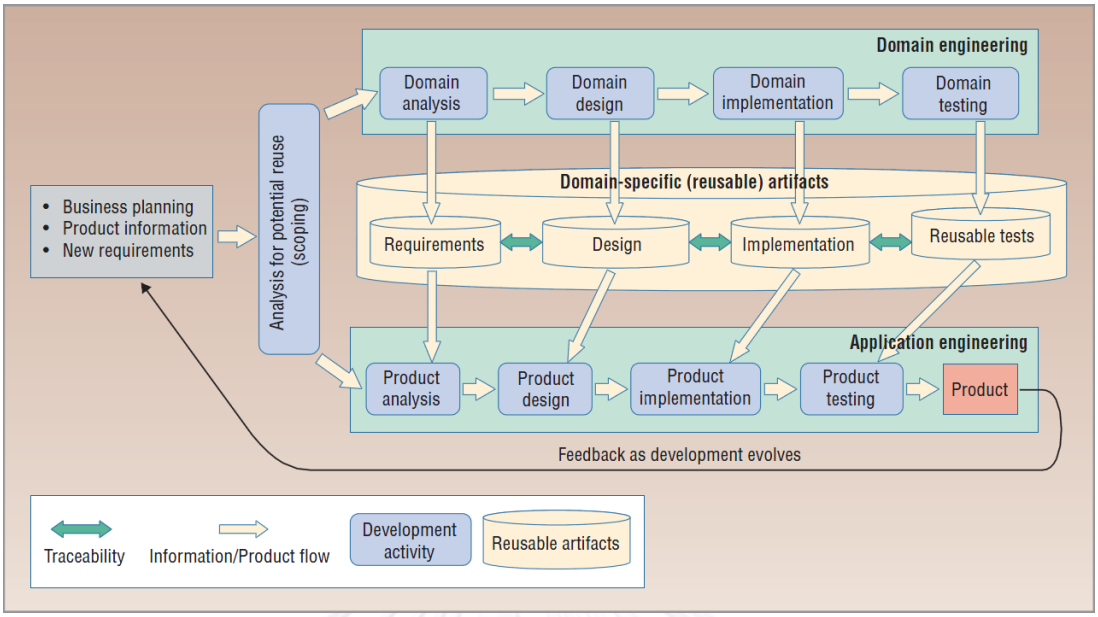
หลักการพื้นฐานของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือ การจัดการกับความเปลี่ยนแปลง (Variability management) ซึ่งจะแยกสายผลิตภัณฑ์ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1) ส่วนประกอบที่ใช้ร่วมกัน (Common component) ส่วนที่ใช้งานร่วมกันนี้จะเป็นบางส่วนเท่านั้น แต่ไม่ทั้งหมดของตัวผลิตภัณฑ์

2) ข้อกำหนดความต้องการ (Specific Requirements) แต่ละผลิตภัณฑ์จะมีข้อกำหนดความต้องการของตัวเอง ทำให้แต่ละผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน

3) การจัดการการพัฒนา (Managing development) เป็นการใช้งานสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เพื่อหาการนำกลับมาใช้ใหม่ของการเปลี่ยนแปลง (Reusable variation) ให้มากที่สุด และขจัดส่วนที่สิ้นเปลืองของการพัฒนาสำหรับส่วนประกอบที่ใช้งานเพียงแค่ครั้งเดียวทิ้งไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.1 สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [2]

จากรูปที่ 2.1 แสดงสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ใช้วิธีการสองวงจรชีวิต (Two-life-cycle) สำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

วิศวกรรมโดเมน (Domain Engineering) จะเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สายผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและสร้างส่วนที่เหมือนกัน และนำส่วนที่เหมือนกันกลับมาใช้ใหม่ของการเปลี่ยนแปลง

วิศวกรรมแอพพลิเคชัน (Application Engineering) จะเกี่ยวข้องกับการสร้างส่วนที่มีลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์และรวมลักษณะทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไว้ด้วยกัน

ทั้งสองวงจรชีวิตสามารถใช้งานกับกระบวนการพื้นฐานของวิศวกรรมซอฟต์แวร์ได้ เช่น สามารถที่จะใช้วิศวกรรมอาจายแอพพลิเคชัน (Agile application engineering) รวมกับวิศวกรรมโดเมนที่ขับเคลื่อนด้วยการวางแผน (Plan-driven domain engineering) ได้

Chulalongkorn University

2.1.2 สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

Sevein H. และคณะ [2] ได้ให้ความหมายของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตว่า *“เป็นการผลิตซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงความต้องการของผู้ใช้งานและข้อจำกัดของทรัพยากรของระบบ”*

โดยสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตจะเชื่อมโยงจุดเปลี่ยนแปลง (Variation points) ในขณะที่ระบบทำงาน ซึ่งในช่วงเริ่มดำเนินการของซอฟต์แวร์นั้นซอฟต์แวร์จะปรับเข้ากับสภาวะแวดล้อมปัจจุบัน (Current Environment) ก่อน หลังจากนั้นในระหว่างการดำเนินงานซอฟต์แวร์จะปรับตัวเพื่อเปลี่ยนแปลงให้สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมในขณะที่ซอฟต์แวร์ดำเนินงานอยู่

แม้ว่าวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์แบบดั้งเดิมหรือแบบคงที่ได้คำนึงถึงจุดเปลี่ยนแปลงและเชื่อมโยงจุดเปลี่ยนแปลงนี้ไว้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ และอาจจะใช้ในขณะที่ซอฟต์แวร์กำลังทำงานด้วย แต่การเชื่อมโยงดังกล่าวเป็นการเชื่อมโยงจุดเปลี่ยนแปลงแบบทั่วไป ที่ดำเนินการเรียบร้อยก่อนส่งมอบซอฟต์แวร์ให้กับผู้ใช้งาน

ในทางตรงกันข้ามวิศวกรรมสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตโดยทั่วไปจะไม่เกี่ยวข้องกับจุดเปลี่ยนแปลงก่อนการทำงานของซอฟต์แวร์ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องมีการผสมของวิธีการดั้งเดิมและพลวัติได้ ซึ่งบางส่วนของจุดเปลี่ยนแปลงจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติคงที่ของสิ่งแวดล้อมซึ่งมีการเชื่อมโยงก่อนที่ซอฟต์แวร์ทำงานและบางกรณีจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพลวัตที่จะเชื่อมโยงในขณะที่ซอฟต์แวร์ทำงาน

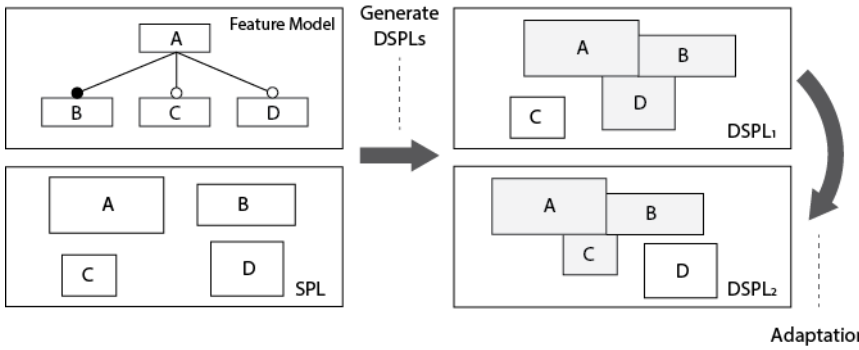
ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตจะเฝ้าตรวจสอบสภาวะปัจจุบันของซอฟต์แวร์ และการควบคุมการเปลี่ยนแปลงเป็นงาน (Task) หลักของซอฟต์แวร์ ซึ่งส่วนของ ผู้ใช้งาน โปรแกรมประยุกต์หรือมิดเดิลแวร์ (Middleware) จะกระทำงานการควบคุมการเปลี่ยนแปลงเหล่าดังกล่าวนี้ โดยผู้ใช้งาน (Manually) หรือ อัตโนมัติ (Automatically)

แม้ว่าสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตจะสร้างจากแนวความคิดหลักของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ แต่ก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกันอยู่ ตัวอย่างเช่น สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จะขับเคลื่อนด้วยการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลง (Variability Analysis) แต่ไม่มีในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ซึ่งเป้าหมายหลักคือการปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงในความต้องการและสถานการณ์เฉพาะ

คุณสมบัติของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตสามารถสรุปได้ดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic Variability) การสร้างโครงแบบ (Configuration) และการยึดเหนี่ยว (Binding) ในขณะเวลาทำงาน
- เปลี่ยนแปลงการยึดเหนี่ยว (Binding) หลายครั้งในระหว่างช่วงชีวิตของซอฟต์แวร์
- จุดเปลี่ยนแปลง (Variation point) จะเปลี่ยนในระหว่างที่ทำงาน, จุดเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นด้วยการขยายจุดเปลี่ยนแปลง
- จัดการกับการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ล้วงหน้า
- จัดการกับการเปลี่ยนแปลงโดยผู้ใช้งาน เช่นความต้องการเชิงหน้าที่ หรือความต้องการเชิงคุณภาพ

จากคุณสมบัติข้างต้นจะเห็นได้ว่าวิธีการดังกล่าวนั้นสอดคล้องกับหลากหลายวิธีที่สร้าง ระบบปรับตัวเอง (Self-Adaptive), ระบบจัดการตัวเอง (Self-Managing), และระบบรักษาตัวเอง (Self-Healing)

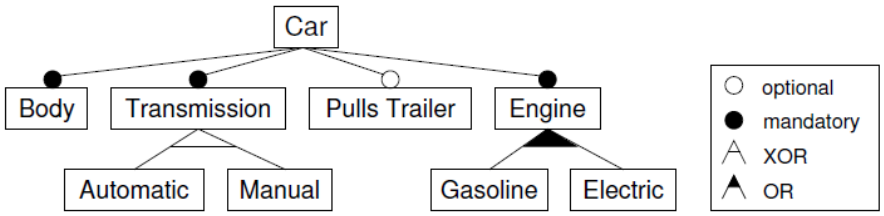


รูปที่ 2.2 การสร้างสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตจากสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ [8]

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงการสร้างสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต (DSPL1) จากสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์แบบคงที่ (SPL) จะเห็นได้ว่าในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์แบบคงที่นั้นจะประกอบด้วยคุณลักษณะต่างๆ (A, B, C, D) มีการเชื่อมต่อกันอยู่ตามแบบจำลองคุณลักษณะ (Feature Model) และส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาจากคุณลักษณะต่างๆ จะแยกกันจนกระทั้งนำมายึดเหนี่ยวเป็นผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ตามความต้องการของผู้ใช้งาน แต่เมื่อนำมาสร้างเป็นสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตแล้วจะมีการยึดเหนี่ยวระหว่างคุณลักษณะต่างๆ โดยจะมีการยึดเหนี่ยวคุณลักษณะ A, B และ D เข้าด้วยกัน แต่ไม่ได้ยึดเหนี่ยวกับคุณลักษณะ C เป็น DSPL1 แต่เมื่อมีการทำงานไประยะหนึ่งแล้วระบบจะปรับโครงแบบเป็นการยึดเหนี่ยวคุณลักษณะ A และ B เข้ากับคุณลักษณะ C และปล่อยคุณลักษณะ D เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ DSP2 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตสามารถปรับคุณลักษณะของตัวเองจากผลิตภัณฑ์หนึ่งไปเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งได้ด้วยการปรับโครงแบบ

2.1.3 แบบจำลองคุณลักษณะ

ในปี 1990 Keng และคณะ [10] ได้นำเสนอการใช้งานคุณลักษณะ (Feature) ในงานการวิเคราะห์โดเมนเชิงคุณลักษณะ (Feature-Oriented Domain Analysis) สำหรับการอธิบายส่วนที่ใช้งานร่วมกัน (Commonalities) และ ส่วนที่มีความแตกต่างกัน (Variability) สำหรับระบบซอฟต์แวร์ ซึ่งจุดมุ่งหมายของวิธีการนี้คือต้องการแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างขององค์ประกอบของปัญหา (Problem space) ทำให้เกิดแนวความคิดของแบบจำลองคุณลักษณะ (Feature Model) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ (Relationship) และการขึ้นต่อกัน (Dependencies) สำหรับชุดของคุณลักษณะที่อยู่ในโดเมนเฉพาะ โดยแบบจำลองคุณลักษณะนี้ใช้งานมากในการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงคุณลักษณะ (Feature-Oriented Software Development)



รูปที่ 2.3 แบบจำลองคุณลักษณะของระบบรถยนต์อย่างง่าย [14]

ในรูปที่ 2.3 จะแสดงตัวอย่างสำหรับการจำลองคุณลักษณะในการใช้งานแผนภาพต้นไม้ที่อธิบายการใช้เครื่องหมายของคุณลักษณะที่ใช้งานกันทั่วไป ซึ่งแบบจำลองคุณลักษณะดังกล่าวจะอธิบายส่วนที่มีความแตกต่างกันของระบบรถยนต์อย่างง่าย นั้นคือสิ่งที่แตกต่างกันของรถยนต์ที่ถูกผลิตขึ้นเป็นโดเมนเฉพาะ รากของต้นไม้แสดงถึงแนวความคิดที่ถูกจำลองขึ้นมา และส่วนอื่นๆ ทั้งหมดแสดงถึงคุณลักษณะของส่วนประกอบแบบจำลองที่อธิบายถึงข้อจำกัดของคุณลักษณะที่สามารถรวมกันได้ สำหรับตัวอย่างนี้รถยนต์ทุกคันจะมีโครงรถ (Body), ระบบเกียร์ (Transmission) และเครื่องยนต์ (Engine) ใช้สัญลักษณ์เป็นวงกลมทึบ แต่รถยนต์ไม่จำเป็นต้องมีรถลาก (Trailer) ใช้สัญลักษณ์เป็นวงกลมโปร่ง หรือเครื่องยนต์อาจจะใช้น้ำมันเบนซิน (Gasoline) หรือด้วยระบบไฟฟ้า (Electricity) หรือมีทั้งสองระบบก็ได้ ใช้สัญลักษณ์เป็นมุมสามเหลี่ยม

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะสามารถสรุปได้ดังนี้

- And หมายถึง คุณลักษณะจะถูกเลือกเนื่องจากความสัมพันธ์กับคุณลักษณะลูกซึ่งจะเป็น
  - Mandatory หมายถึง คุณลักษณะลูกมีความจำเป็น (สัญลักษณ์เป็นวงกลมทึบ)
  - Option หมายถึง คุณลักษณะลูกเป็นตัวเลือก (สัญลักษณ์เป็นวงกลมโปร่ง)
- OR หมายถึง อย่างน้อยหนึ่งในคุณลักษณะย่อยจะต้องถูกเลือก (สัญลักษณ์เป็นมุมสามเหลี่ยมทึบ)
- XOR หมายถึง หนึ่งในคุณลักษณะย่อยจะต้องถูกเลือก (สัญลักษณ์เป็นมุมสามเหลี่ยมโปร่ง)

นอกจากความสัมพันธ์ของคุณลักษณะลูกระหว่างคุณลักษณะในคุณลักษณะที่มีพ่อแม่เดียวกันแล้ว ยังสามารถมีความสัมพันธ์ระหว่างต้นไม้ได้อีกด้วย ดังนี้

- A requires B หมายถึง การเลือก A ในผลิตภัณฑ์สามารถบ่งบอกถึงการเลือก B ด้วย
- A excludes B หมายถึง A และ B ไม่สามารถเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์เดียวกันได้

แบบจำลองคุณลักษณะจะอธิบายด้วยแบบจำลองต้นไม้ของคุณลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งในแบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วยจุดของคุณลักษณะ (Feature node) โดยใช้ความสัมพันธ์แบบพ่อแม่-ลูก (Parent-Child) และถูกจำกัดด้วยลักษณะของแบบจำลองต้นไม้ แบบจำลองคุณลักษณะสามารถระบุเป็นเซตของตรรกนิพจน์ (Propositional logic) แบบจำลองคุณลักษณะ $FM = (\mathcal{F}, \mathcal{C})$ ถูกกำหนดเป็นเซตจำกัดของคุณลักษณะ $\mathcal{F} = \{f_1, \dots, f_n\}$ และเซตของการปรับโครงแบบด้วย $\mathcal{F}$ ซึ่ง

ตรรกนิพจน์เป็น $\mathcal{C} = \{c_1, \ldots, c_n\}$ เพื่อปรับโครงแบบของ FM ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยที่ n เป็นจำนวนคุณลักษณะใน FM

$$FM' = (\mathcal{F}', \mathcal{C}')$$

ให้ FM' เป็นแบบจำลองคุณลักษณะที่ถูกปรับโครงแบบแล้วในระว่างการทำงานของหลังการใช้งาน (Post-Deployment) ซอฟต์แวร์ ในเซตของคุณลักษณะ $\mathcal{F}'$ ด้วยการปรับโครงแบบ $\mathcal{C}'$

โดยที่ γ เป็นตรรกนิพจน์ที่กำหนดด้วย 2 ค่าความจริงตรรกของ การยึดเหนี่ยว (Bind) และปลดปล่อย (Unbind) ของคุณลักษณะใน $\mathcal{F}$

γ^- = เท็จ (เป็นตรรกของการปลดปล่อย)

γ^+ = จริง (เป็นตรรกของการยึดเหนี่ยว)

ซึ่ง $FM' \subseteq FM$ เป็นการปรับโครงแบบที่สอดคล้องกันกับ $\mathcal{C}'$ ของการถูกปรับโครงแบบในแบบจำลองคุณลักษณะ

$$\forall f' \in \mathcal{F}' : \gamma^+(f') = \gamma^-(f')$$
$$\forall f \in \mathcal{F} \backslash \mathcal{F}' : \gamma^+(f) = \gamma^-(f)$$

2.1.3.1 จุดเปลี่ยนแปลง (Variation point)

ในแบบจำลองคุณลักษณะ คุณลักษณะที่มีคุณลักษณะลูกซึ่งเป็นตัวแทนของจุดที่มีการตัดสินใจร่วมกันและมีทางเลือกที่เป็นไปได้ (สามารเปลี่ยนแปลงได้) จะถูกกำหนดเป็นจุดเปลี่ยนแปลง (Variation point) โดยที่แบบจำลองคุณลักษณะจะใช้การสร้างโครงแบบของผลิตภัณฑ์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งจะถูกกำหนดโดยเฉพาะในการรวมกันของคุณลักษณะลูกที่สามารถเลือกได้โดยการกำหนดโครงแบบในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยกระบวนการในการเลือกคุณลักษณะลูกในแบบจำลองคุณลักษณะสำหรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นั้นเรียกว่า การสร้างโครงแบบของผลิตภัณฑ์ (Product Configuration) ซึ่งมีข้อจำกัดในความหลากหลายของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงนั้นจะระบุว่าจะมีจุดเปลี่ยนแปลงอย่างไรที่จะสามารถเลือกในแต่ละจุดเปลี่ยนแปลง และการพึ่งพาระหว่างการเปลี่ยนแปลงในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ ในแบบจำลองคุณลักษณะ ความหลากหลายมีความเกี่ยวข้องกับแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงที่ระบุว่าแต่ละความเปลี่ยนแปลงสามารถเลือกจากจุดเปลี่ยนแปลง โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ชนิดของความหลากหลายดังนี้

1) หนึ่งและเพียงหนึ่งคุณลักษณะที่สามารถเลือกเพื่อใช้เป็นทางเลือกที่เปลี่ยนแปลง
2) 1..* หนึ่งหรือมากกว่าคุณลักษณะสามารถเลือกใช้เป็นหลายทางเลือกที่เปลี่ยนแปลง
3) 0..1 ไม่มีคุณลักษณะหรืออย่างน้อยหนึ่งคุณลักษณะสามารถเลือกใช้เป็นตัวเลือกของทางเลือกที่เปลี่ยนแปลง
4) 0..* ไม่มีคุณลักษณะหรือมากกว่าหนึ่งคุณลักษณะสามารเลือกใช้เป็นตัวเลือกของทางเลือกที่เปลี่ยนแปลง

ในส่วนที่เพิ่มเติมชนิดของความสัมพันธ์ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเสมอมีการพึ่งพาอาศัยกันในการเปลี่ยนแปลงอื่นในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดของความสัมพันธ์ดังนี้

1) require-relationship ถ้าการเปลี่ยนแปลงต้องการใช้ หรือใช้ การเปลี่ยนแปลงอื่นเพื่อจะเติมเต็มงานของจุดเปลี่ยนแปลงนั้น จะเป็นความจำเป็นต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง
2) excludes-relationship ถ้าสองการเปลี่ยนแปลงไม่รวมกันกับการเปลี่ยนแปลงอื่น ซึ่งจะเป็นแบบสองทิศทางจะเป็นการไม่จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างสองการเปลี่ยนแปลง
3) impact-relationship เมื่อการเลือกของหนึ่งการเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบกับการเปลี่ยนแปลงอื่น โดยจะเป็นการส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ที่ระหว่างสองการเปลี่ยนแปลง

2.1.4 ระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง

นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสร้างผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบปรับตัวเอง (Self-Adaptive) ซึ่งระบบเหล่านี้จะกล่าวถึงความสามารถในการปรับตัว (Adaptability) ในหลากหลายคุณสมบัติที่เชื่อมโยงกันซึ่งรวมถึง ประสิทธิภาพ (Performance), ความปลอดภัย (Security) และการจัดการความผิดพลาด (Fault management) [15] ในขณะที่ระบบปรับตัวเองถูกใช้งานในหลากหลายสาขาที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโดเมนของซอฟต์แวร์เรียกว่า ซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง (Self-Adaptive software) ซึ่งโดยปกติแล้วการพัฒนาซอฟต์แวร์จะเป็นระบบวงเปิด (Open-loop) แต่เมื่อเป็นระบบปรับตัวเองจะต้องปรับเปลี่ยนให้เป็นระบบวงปิด (Closed-loop) โดยใช้การป้อนกลับ (Feedback) ของวิศวกรรมควบคุมมาประยุกต์ใช้ [15] วงป้อนกลับ (Feedback loop) คำนึงถึงภาพรวมว่าอะไรเกิดขึ้นภายในซอฟต์แวร์และสภาพแวดล้อม

ซอฟต์แวร์ปรับตัวเองมีเป้าหมายเพื่อปรับ อาร์ทิแฟคท์ (Artifact) หรือลักษณะประจำ (Attribute) เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในตัวเอง (Self) และในบริบท (Context) สำหรับระบบซอฟต์แวร์ ในความหมายของ “ตัวเอง” จะรวมไปถึงระบบซอฟต์แวร์ทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกพัฒนาให้หลายชั้น (Layer) ของซอฟต์แวร์ ในขณะที่ “บริบท” จะหมายถึงทุกสิ่งในสภาวะแวดล้อมที่ซอฟต์แวร์ปฏิบัติงานซึ่งจะมีผลกับคุณสมบัติ (Properties) และพฤติกรรม (Behavior) ของระบบด้วยเหตุนี้ระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองจึงเป็นระบบวงปิดด้วยการป้อนกลับจากตัวเองและบริบท

ซึ่งการปรับโครงแบบด้วยตัวเอง (Self-Configuring) เป็นคุณสมบัติหนึ่งของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองโดยเป็นความสามารถในการปรับโครงแบบอัตโนมัติและเปลี่ยนแปลงได้เสมอเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมด้วยการติดตั้งเพิ่มเติม (Installing), การปรับปรุง (Updating), การประกอบ/การแยกออก (Composing/decomposing), การประสานงาน (Integrating) เอนทิตี้ของซอฟต์แวร์

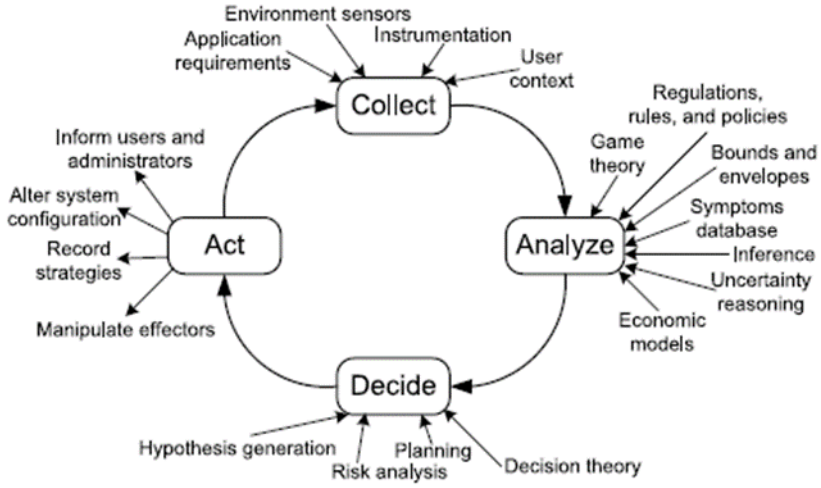
เหตุผลหลักของซอฟต์แวร์ปรับตัวเองคือการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายสำหรับจัดการกับความซับซ้อนของระบบซอฟต์แวร์เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย [15] การจัดการกับความซับซ้อน, ความทนทาน

ในการจัดการกับเงื่อนไขที่คาดไม่ถึง (เช่น ความผิดพลาด), การเปลี่ยนแปลงลำดับความสำคัญและนโยบายกำกับดูแลเป้าหมาย, และการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข (เช่น ในบริบทของการเคลื่อนย้าย) อย่างไรก็ตามในไม่กี่ปีที่ผ่านมา ได้มีการเพิ่มขึ้นของการความต้องการที่จะจัดการกับปัญหาในขณะที่ซอฟต์แวร์ปฏิบัติงาน (เวลาทำงาน) สาเหตุหลักของแนวโน้มนี้รวมถึงการเพิ่มขึ้นในระดับที่แตกต่างกันของส่วนประกอบซอฟต์แวร์, การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในบริบท/เป้าหมาย/ความต้องการในระหว่างที่ขณะเวลาทำงาน, และความต้องการความปลอดภัยที่มากขึ้น ในความเป็นจริงบางสาเหตุเป็นผลมาจากความต้องการที่เพิ่มขึ้นของซอฟต์แวร์ที่พบเห็นกันทั่วไป, ซอฟต์แวร์ในระบบสมองกลฝังตัว และโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์มือถือ ซึ่งส่วนใหญ่ทำงานร่วมกับอินเตอร์เน็ตและโครงข่ายเฉพาะกิจ (Ad-hoc networks)

ซอฟต์แวร์ปรับตัวเองจะใช้กลไกของวงปิดโดยใช้การป้อนกลับของวิศวกรรมควบคุมด้วยแบบจำลองวงควบคุม (Control loop model) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นแบบจำลองทั่วไปของระบบปรับตัวเองเพื่อรวบรวมสภาวะแวดล้อมแล้วปรับตัวเองตามบริบทเปลี่ยนไป ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการการการปรับในซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง โดยกระบวนการดังกล่าวนั้นประกอบไปด้วย 4 กิจกรรม คือ การรวบรวม (Collection), การวิเคราะห์ (Analysis), การตัดสินใจ (Decision) และการกระทำ (Act) ซึ่งจะอธิบายดังนี้

- การรวบรวม (Collection) เป็นกิจกรรมที่รับผิดชอบสำหรับรวบรวมข้อมูลจากสภาวะแวดล้อมด้วยเซ็นเซอร์ (Sensor) หรือแหล่งข้อมูลอื่นที่มีผลต่อสถานะปัจจุบันของซอฟต์แวร์
- การวิเคราะห์ (Analysis) เป็นกิจกรรมที่รับผิดชอบสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รวบรวมมาแล้วจากขั้นตอนขั้นต้นซึ่งเป็นข้อมูลดิบ เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลดังกล่าวมีผลอย่างไรกับซอฟต์แวร์
- การตัดสินใจ (Decision) เป็นกิจกรรมที่รับผิดชอบสำหรับตัดสินใจว่าข้อมูลที่ให้จากการวิเคราะห์นั้นจะต้องปรับซอฟต์แวร์อย่างไรบ้าง เพื่อให้เป็นไปตามที่สถานะของสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป
- การปฏิบัติ (Act) เป็นกิจกรรมที่รับผิดชอบสำหรับกระทำการปรับซอฟต์แวร์ด้วยแอคตูเอเตอร์ (Actuator) และเอฟเฟคเตอร์ (Effector) ให้เป็นไปตามสภาวะแวดล้อมของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



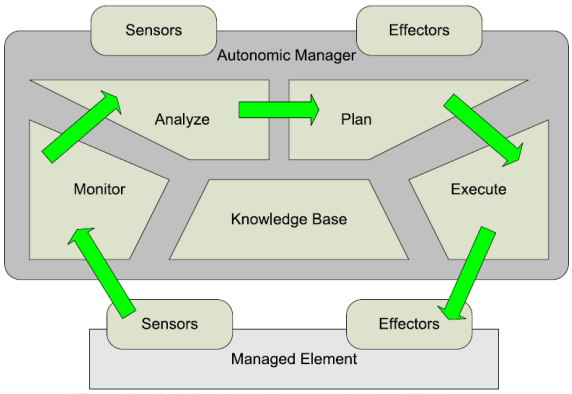
รูปที่ 2.4 กิจกรรมของวงควบคุมของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองได้ [15]

2.1.5 วงควบคุมการปรับตัว MAPE-K

วงควบคุมการปรับตัว MAPE-K นั้นถูกนำเสนอครั้งแรกโดย IBM ในเอกสารทางการของบริษัท [15] ที่ชื่อว่าสถาปัตยกรรมแผนงานสำหรับการคำนวณอัตโนมัติ (An architecture blueprint for automatic computing) ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมแรกสำหรับการปรับตัวเองได้ที่ทำให้เห็นภาพของวงจรควบคุมแสดงชัดเจน โดยการกำหนดการทำงานของส่วนประกอบและส่วนต่อประสานสำหรับแยกส่วนประกอบและจัดการกับวงจรควบคุม

ส่วนย่อยอัตโนมัติแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.5 ประกอบด้วยส่วนย่อยที่จัดการได้ (Managed Element) และตัวจัดการอัตโนมัติสำหรับวงจรควบคุมของสวนประกอบหลัก โดยที่ส่วนของตัวจัดการอัตโนมัติและส่วนย่อยที่จัดการได้จะตอบสนองต่อการควบคุมและกระบวนการตามลำดับในวงจรควบคุม ซึ่งตัวจัดการหรือตัวควบคุมเป็นส่วนประกอบด้วยสองการต่อประสานที่สามารถจัดการได้ นั้นคือตัวตัวรับรู้และตัวปฏิบัติงาน และกลไกเฝ้าระวัง-วิเคราะห์-วางแผน-ดำเนินการ (monitor-analyze-plan-execute) หรือ MAPE-K ซึ่งประกอบไปด้วยการเฝ้าระวัง (Monitor) การวิเคราะห์ (Analyze) การวางแผน (Plan) และการดำเนินการ (Execute) ซึ่งมีส่วนร่วมกับส่วนความรู้ (Knowledge) โดยการเฝ้าระวังนั้นจะใช้ตัวรับรู้เพื่อจัดการกับกระบวนการหรือบริบทของตัวระบบเพื่อกลั่นกรองของข้อมูลที่รวบรวมได้ และจัดเก็บเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องในส่วนความรู้สำหรับการอ้างอิงในอนาคต การวิเคราะห์จะเปรียบเทียบข้อมูลของเหตุการณ์กับรูปแบบในส่วนความรู้เพื่อวินิจฉัยอาการและเก็บอาการสำหรับการอ้างอิงไว้ในส่วนความรู้ การวางแผนจะแปลงอาการและวางแผนเพื่อที่จะดำเนินการในการเปลี่ยนในส่วนของกระบวนการที่จัดการได้ผ่านตัวปฏิบัติงาน ส่วนต่อประสารที่สามารถจัดการได้จะประกอบด้วยเซตของตัวรับรู้และตัวปฏิบัติงานที่จะได้มาตรฐานกับทุกส่วนของส่วนย่อยที่จัดการได้และหน่วยสร้างอัตโนมัติเพื่อสนับสนุนการทำงานร่วมกัน ข้อมูล และส่วนที่ควบคุมร่วมกันในส่วนย่อยอัตโนมัติ ตัวจัดการอัตโนมัติจะรวบรวมการวัดจากส่วนย่อยที่จัดการ

ได้รวมทั้งข้อมูลข่าวสารจากสถานะปัจจุบันและที่ผ่านมาแล้วจากหลายแหล่งความรู้และดังนั้นจึงปรับส่วนย่อยที่จัดการได้ถ้ามีความจำเป็นผ่านส่วนต่อประสานที่สามารถจัดการได้ตามจุดประสงค์ของการควบคุมของตัวเอง



รูปที่ 2.5 วงควบคุมการปรับตัว MAPE-K

2.1.6 บริบท (Context) และการล่วงรู้บริบท (Context Aware)

“บริบทคือข้อมูลใดๆ ที่สามารถใช้ในการจำแนกสถานการณ์ของเอนทิตี โดยที่เอนทิตีเป็นบุคคล สถานที่ หรือวัตถุที่พิจารณาความเกี่ยวเนื่องกับการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้และโปรแกรมประยุกต์ รวมทั้งผู้ใช้งานและโปรแกรมประยุกต์เอง” [16]

ซึ่งการนิยามดังกล่าวทำให้ง่ายต่อการเข้าใจมากขึ้นสำหรับผู้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่จะระบุบริบทให้สำหรับสถานการณ์ของโปรแกรมประยุกต์ ถ้าส่วนหนึ่งของข้อมูลข่าวสารสามารถใช้จำแนกสถานการณ์ของผู้มีส่วนร่วมที่มีปฏิสัมพันธ์กัน ดังนั้นข้อมูลจึงเป็นบริบท

โดยทั่วไปบริบทจะประกอบด้วยเพียงข้อมูลปริยาย ซึ่งทำให้แยกแยะความแตกต่างได้ยากลำบาก เนื่องจากว่าการนิยามที่กล่าวมานั้นจะให้บริบทเป็นบริบทที่ชัดเจนหรือบริบทโดยปริยายที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้

การจัดหมวดหมู่ชนิดของบริบทจะช่วยให้ผู้ออกแบบโปรแกรมประยุกต์ค้นพบส่วนของบริบทที่จะเป็นประโยชน์ในโปรแกรมประยุกต์ โดยสามารถจัดหมวดหมู่ได้เป็น ตำแหน่ง (location) เอกลักษณ์ (identity) กิจกรรม (activity) และ เวลา (Time) ซึ่งเป็นชนิดของบริบทหลักสำหรับการอธิบายของสถานการณ์ของเอนทิตีเฉพาะ

“ระบบจะเป็นระบบการล่วงรู้บริบทหรือไม่ ก็ต่อเมื่อระบบใช้บริบทเพื่อให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและ/หรือ บริการให้กับผู้ใช้งาน ที่ความเกี่ยวข้องขึ้นอยู่กับงานของผู้ใช้งาน”

จากนิยามดังกล่าวเป็นการนิยามโดยทั่วไปสำหรับการคำนวณของการล่วงรู้บริบท ซึ่งการนิยามนี้ชี้เฉพาะไปที่ลักษณะของ “การปรับตัวให้เข้ากับบริบท (adapting to context)” จำเป็นต้อง

ให้พฤติกรรม (behavior) ของโปรแกรมประยุกต์ได้รับการแก้ไขเพื่อให้ได้รับการพิจารณาตามการล่วงรู้บริบท โดยสามารถจัดหมวดหมู่ได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

นำเสนอ (Presentation) ข้อมูลและบริการให้กับผู้ใช้งาน

ดำเนินการ (Execution) โดยอัตโนมัติสำหรับบริการ

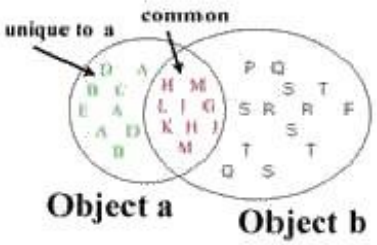
ประมาณการ (Tagging) จากบริบทของข้อมูลสำหรับการเรียกในครั้งต่อไป

2.1.7 การวัดความคล้ายคลึง (Similarity Measures)

ในหลักการพื้นฐานของการวัดความคล้ายคลึงจะเป็นการพิจารณาทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อตัดสินใจว่า 2 วัตถุที่คู่กันมีความคล้ายคลึงกันหรือไม่ มีหลากหลายการทดลองเพื่อศึกษาการวัดความคล้ายคลึงนี้ แต่โดยพื้นฐานแล้วจะพิจารณาว่าวัตถุเหล่านั้นจะเหมือนกัน หรือแตกต่างกัน หรือจะเป็นการกำหนดจำนวนลำดับความคล้ายคลึงกัน ซึ่งหลักการของความคล้ายคลึงกันมีความสำคัญมากแต่จะมีบทบาทน้อยในการสร้างแบบจำลองสำหรับหลายงานทางจิตวิทยาอื่นๆ จะเป็นจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทฤษฎีของการรู้จำ (Recognition) การระบุ (Identification) และการจำแนก (Categorization) ของวัตถุ โดยมีวิธีการวัดความคล้ายคลึงกันหลักๆ คือ การวัดความคล้ายคลึงโดยระยะทาง (Distance-based similarity measures) การวัดความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะ (Feature-based similarity measures) และการวัดความคล้ายคลึงโดยความน่าจะเป็น (Probabilistic similarity measures) ซึ่งงานวิจัยนี้จะวัดความคล้ายคลึงของวัตถุโดยใช้การวัดความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะ

ความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะนำเสนอโดย Tversky ในปี 1977 [17] ว่าความคล้ายคลึงกันเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการจับคู่คุณลักษณะ (Feature-matching) เป็นค่าน้ำหนักของส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่แตกต่างกัน โดยการใช้เซตของวัตถุสามารถเขียนสมการของการวัดความคล้ายคลึง S ของเซต A และ B ได้ โดยที่ความคล้ายคลึงเป็นตัวทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalized) ดังนั้นค่า S จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยที่ค่า f เป็นจำนวนของสมาชิกในเซตดังนี้

$$S(a,b) = \frac{f(A \cap B)}{f(A \cap B) + \alpha f(A - B) + \beta f(B - A)}$$



รูปที่ 2.6 แสดงการหาความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะ

โดยที่ α และ β เป็นค่าคงที่ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงได้แตกต่างกันไปเฉพาะตัว บริบท และคำสั่ง ซึ่งจากแบบจำลองนี้จะเห็นได้ว่าคุณลักษณะที่มีส่วนร่วมกันจะมีความคล้ายคลึงกันมาก แต่คุณลักษณะที่มีเอกลักษณ์จะมีความคล้ายคลึงกันน้อย ซึ่งข้อดีของการวัดความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะนี้สามารถใช้ได้กับการวัดที่นอกเหนือจากวิธีการวัดโดยระยะทางปรกติ

2.1.8 การจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก (Fuzzy clustering and Local Approximation of Membership: FLAME)

การจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก [12] เป็นขั้นตอนวิธีในการจัดกลุ่มข้อมูลที่กำหนดกลุ่มในส่วนที่หนาแน่นของเซตข้อมูลและกระทำการจัดกลุ่มโดยความสัมพันธ์ระหว่างกันของวัตถุข้างเคียง ซึ่งคุณลักษณะหลักของขั้นตอนวิธีนี้คือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุข้างเคียงในพื้นที่ของคุณลักษณะซึ่งจำกัดสมาชิกของวัตถุข้างเคียงในพื้นที่ของความคลุมเครือ ซึ่งขั้นตอนวิธีนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.8.1 การดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน

ในขั้นตอนนี้ โครงสร้างข้อมูลเฉพาะที่ (Local Structure) ถูกดึงออกเป็นวัตถุสนับสนุน (Cluster Supporting Object) ซึ่งเป็นวัตถุที่เป็นศูนย์กลางของการจัดกลุ่มในขั้นตอนต่อไป โดยเป็นการคำนวณหาความคล้ายคลึงกันระหว่างคู่ของวัตถุ และระบุวัตถุข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด ซึ่งการวัดความคล้ายคลึงระหว่างแต่ละวัตถุและวัตถุที่อยู่ใกล้เคียงที่สุดจะถูกใช้เพื่อประมาณการความหนาแน่นรอบวัตถุนั้น และคำนวณเซตของค่าน้ำหนักสำหรับการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือในขั้นตอนต่อไป ซึ่งเซตของความหนาแน่นจะสร้างจากการประมาณการอย่างหยาบของการกระจายของเซตข้อมูล และใช้ขั้นตอนนี้เพื่อระบุกลุ่มของวัตถุสนับสนุน (CSO) และกลุ่มข้อมูลผิดปกติที่เป็นไปได้ (Outlier)

ค่าข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดเคอันดับ (K-nearest neighbor : KNN) สำหรับแต่ละวัตถุจะถูกกำหนดเป็นจำนวนเควัตถุ (k objects) กับค่าที่ความคล้ายคลึงที่มากที่สุดตามการวัดความคล้ายคลึงกัน โดยค่าน้ำหนักจะถูกกำหนดว่าแต่ละวัตถุใกล้เคียงนำไปสู่การประมาณค่าของสมาชิกคลุมเครือสำหรับวัตถุใกล้เคียงนั้นเท่าไหร่ โดยจะคำนวณเป็นค่า W_{xy} ด้วย $\sum_{y \in KNN(x)} w_{xy} = 1$ จากความคล้ายคลึง S_{xy} ระหว่างวัตถุนั้นและวัตถุใกล้เคียงที่สุด เพียงความต้องการสำหรับนิยามค่าน้ำหนักของวัตถุนั้น วิธีการที่ง่ายที่สุดจะใช้สมการดังนี้

$$w_{xy} = \frac{s_{xy}}{\sum_{z \in KNN(x)} s_{xz}}$$

โดยที่ z เป็น วัตถุข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดซึ่งเป็นสมาชิกของค่าข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดเคอันดับของ x

การวัดระยะสามารถเปลี่ยนรูปเป็นการวัดความคล้ายคลึงได้ สำหรับการวัดความเกี่ยวพันของการเปลี่ยนรูปนี้จะใช้เพื่อพิจารณาความใกล้ชิดกันของแต่ละวัตถุ

ความหนาแน่นของแต่ละวัตถุจะมีการคำนวณแบบหนึ่งต่อค่าเฉลี่ยของระยะทางของค่าใกล้เคียงมากที่สุดจำนวนเควัตถุ เซตของกลุ่มวัตถุสนับสนุน (X_{CSO}) จะถูกกำหนดเป็นเซตของวัตถุด้วยค่าความหนาแน่นเฉพาะที่มากที่สุด (Local Maximum Density : LMAXD) ซึ่งเป็นวัตถุที่มีความหนาแน่นที่มากกว่าวัตถุอื่นๆ ที่เป็นวัตถุข้างเคียง โดยค่าเคที่สูงขึ้นจะได้กลุ่มวัตถุสนับสนุนน้อยลงเป็นผลให้จำนวนของกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มน้อยลงไปด้วย

เพื่อการกำหนดกลุ่มของข้อมูลผิดปกติ ซึ่งความหนาแน่นขีดเริ่มเปลี่ยน (density threshold) จะถูกกำหนดขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นที่ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลผิดปกติที่เป็นไปได้ ซึ่งข้อมูลผิดปกติ (Outlier) จะถูกำหนดเป็นเซตของวัตถุที่มีค่าความหนาแน่นเฉพาะที่น้อยที่สุด (Local Minimum Density : LMIND) โดยจะใช้ร่วมกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแปลงในการกำหนดกลุ่มข้อมูลผิดปกติ

2.1.8.2 การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ

ในการจัดกลุ่มคลุมเครือ แต่ละวัตถุจะมีความเชื่อมโยงกับเวกเตอร์สมาชิก (Membership Vector) $p(x)$ แต่ละส่วนย่อย (Element) $p_i(x)$ เป็นส่วนย่อยของเวกเตอร์สมาชิก ซึ่งจะบอกถึงระดับสมาชิกของ x ที่มีความเป็นไปได้ว่าจะอยู่กลุ่มใดของ i โดยที่ i เป็นลำดับของส่วนย่อยของเวกเตอร์สมาชิก

$$x : p(x) = \left(p_1(x), p_2(x), \dots, p_M(x)\right)$$

เมื่อ $0 \le p_i(x) \le 1$; $\sum_{i=1}^{M} p_i(x) = 1$ และ $M = |X_{cso}| + 1$

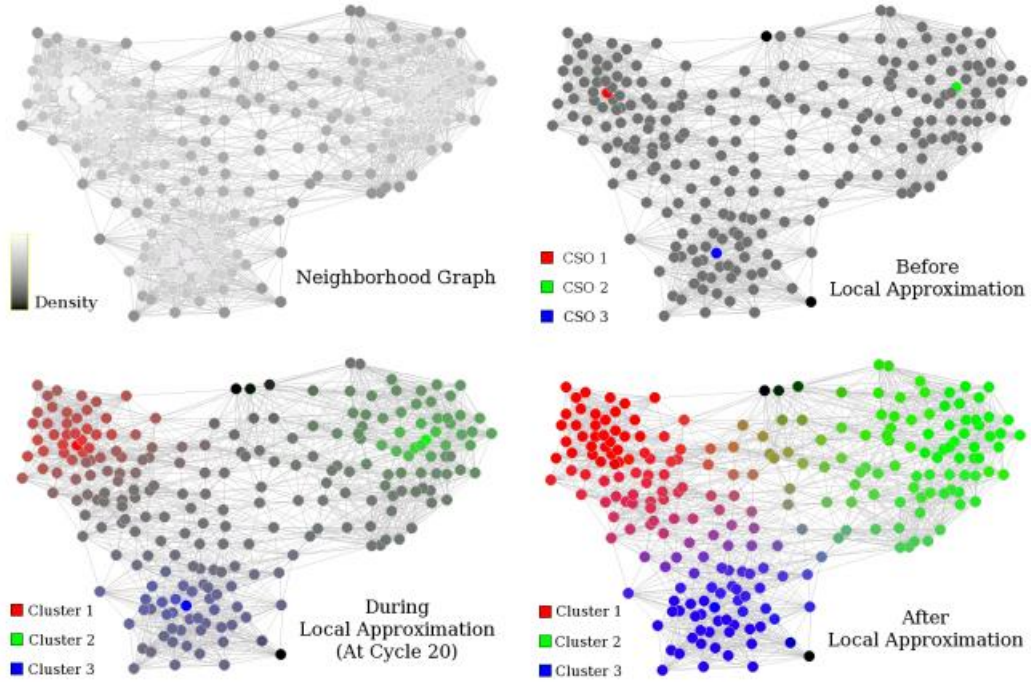
ในการจัดกลุ่มความคลุมเครือ (Fuzzy Clustering) และการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สมาชิก (FRAME), เวกเตอร์สมาชิกจะถูกกำหนดให้แต่ละวัตถุด้วยวิธีกระบวนการทำซ้ำที่ครอบคลุมของการประมาณค่าใกล้เคียง โดยที่กระบวนการทำซ้ำเป็นการทำให้ความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิกให้น้อยที่สุดและประมาณการความผิดพลาดด้วยสมการดังนี้

$$E(\{p\}) = \sum_{x \in X} \left\| p(x) - \sum_{y \in KNN(x)} w_{xy} p(y) \right\|^2$$

แต่ละพจน์เป็นความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิก $p(x)$ และการประมาณการต่อเนื่อง (linear approximation) ของ $p(x)$ โดย $\sum_{y \in KNN(x)} w_{xy} p(y)$ ซึ่งเป็นค่าเวกเตอร์สมาชิกคงที่ของ CSOs และข้อมูลผิดปกติ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงบางวิธีการที่จะทำให้ค่า $p(x)$ ทั้งหมดเท่ากัน

2.1.8.3 การสร้างกลุ่ม

เมื่อคำนวณเซตของสมาชิกคลุมเครือเรียบร้อยแล้วในขั้นตอนก่อนหน้า กลุ่มจะถูกกำหนดโดยขึ้นอยู่กับหนึ่งต่อหนึ่ง (one-to-one) ของวัตถุกับกลุ่มวัตถุสนับสนุน โดยที่วัตถุอาจจะถูกระบุมากกว่าหนึ่งกลุ่มถ้าสมาชิกมีความเหมือนกันสำหรับหลายกลุ่ม บางวัตถุไม่สามารถกำหนดไปยังกลุ่มใดๆ ถ้าไม่มีความเหมือนกับวัตถุอื่น ซึ่งวัตถุที่ไม่สามารถกำหนดไปยังกลุ่มใดๆ ได้ ให้จัดกลุ่มเป็นข้อมูลผิดปกติ ซึ่งแสดงการจัดกลุ่มที่ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการจัดกลุ่มโดยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก [12]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับโครงแบบ (Reconfiguration) และการลดขนาดของแบบจำลองคุณลักษณะ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตในหลายๆ ด้าน และประยุกต์ใช้งานเรื่องดังกล่าวในหลากหลายสาขาวิชาดังนี้

Hassan G. และ Mohamed H. [5] ได้เสนอการใช้รูปแบบการปรับโครงแบบซอฟต์แวร์ (Software Configuration Pattern) สำหรับการแก้ปัญหาในกลุ่มผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่เปลี่ยนแปลงขณะเวลาทำงาน โดยกำหนดเซตของส่วนประกอบซอฟต์แวร์เฉพาะในแบบแผนซอฟต์แวร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงแบบของระบบจากโครงแบบหนึ่งของกลุ่มผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ไปเป็นโครงแบบอื่น โดยใช้เซตของแผนภาพลักษณะ (State Chart) เพื่อกำหนดกรณีของการปรับโครงแบบทั้งหมดที่

เป็นไปได้ ซึ่งส่วนประกอบจะสร้างแบบแผนและส่วนต่อประสาน (Interfaces) และคุณลักษณะไม่ได้สร้างขึ้นจากโมดูล ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขณะเวลาทำงานได้เพราะว่าการปรับโครงแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้จำเป็นต้องรู้และแจกแจงไปยังแผนภาพลักษณะ ในขั้นตอนของการออกแบบ

Hassan G. และ Kenji H. [6] ได้เสนอวิธีการใช้งานแบบจำลองคุณลักษณะพลวัตและสถาปัตยกรรมสายผลิตภัณฑ์ (Product line architecture) สำหรับกลุ่มของสถาปัตยกรรมเชิงบริการ (Service-oriented architecture: SOA) ซึ่งสมาชิก (Member) ในสถาปัตยกรรมเชิงบริการสามารถปรับไปเป็นสมาชิกที่แตกต่างกันในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ในขณะเวลาทำงาน โดยวิธีการนี้ได้รวมแนวความคิดของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์และการจำลองคุณลักษณะกับสถาปัตยกรรมบริการและการปรับซอฟต์แวร์พลวัตเข้าด้วยกัน โดยใช้กรอบการทำงานระบบสร้างสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ด้วยตัวเอง (Self-Architecting Software System: SASSY) ซึ่งใช้แบบแผนการปรับโครงแบบซอฟต์แวร์จากงานเดิม [5]

Hesham S. และ M. Ali B. [18] ได้ประยุกต์ใช้การเปลี่ยนแปลงพลวัตในขณะเวลาทำงานของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในระบบซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวในยานยนต์เพื่อสร้างสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ปรับได้และปรับโครงแบบได้ โดยใช้สถาปัตยกรรมเชิงบริการ (Service-oriented architecture: SOA) เพื่อใช้ในการอธิบายและประกอบส่วนของสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบสมองกลฝังตัวเวลาจริงแบบกระจายในยานยนต์ (In-vehicle Distributed Real-time Embedded System :DRES) เพื่อช่วยให้บรรลุผลของการเปลี่ยนแปลงในขณะเวลาทำงานในสถาปัตยกรรมสายผลิตภัณฑ์ แต่การทำงานของระบบดังกล่าวในมุมมองของความปลอดภัย ซึ่งระบบจะต้องแยกสถานะเสถียรสำหรับการปรับโครงแบบและการกลับมาที่สถานะเดิม และมุมมองของข้อจำกัดทางทรัพยากรจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำและตัวประมวลผลขนาดใหญ่สำหรับการปรับตัวเอง

Marko R. และคณะ [8] เสนอกลไกการการปรับระบบโดยอาศัยคุณลักษณะที่จะลดผลกระทบของการคำนวณหาโครงแบบที่เหมาะสมที่สุดในขณะเวลาทำงาน ซึ่งใช้กฎการปรับตัวแบบใช้คุณลักษณะ (Feature-based Adaptation Rules) เป็นกลไกในการปรับโครงแบบในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต เป็นการเปลี่ยนรูปของแบบจำลองคุณลักษณะและความสอดคล้องของกฎการปรับตัวตามที่กำหนดในหน่วยผูกพัน (Binding Unit) เพื่อพิจารณาว่าคุณลักษณะใดควรจะถอดออก (Remove) หรือนำเข้า (Add) ในกรณีศึกษาจะทำให้เห็นว่าวิธีการนี้ไม่มีร่องรอยของการเชื่อมโยงแบบคงที่และการปรับตัวในขณะเวลาทำงานเพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการปรับตัวแต่หน่วยผูกพันและกฎการปรับตัวเป็นอิสระทำให้ระบบของซอฟต์แวร์มีขนาดใหญ่

Liwei S. และคณะ [3] ได้พิจารณาการเชื่อมโยงกันระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับสูง (High-level variation) ไปยังการพัฒนาซอฟต์แวร์ในระดับต่ำ (Low-level implementation) ที่รองรับการปรับโครงแบบด้วยตัวเองในขณะเวลาทำงาน โดยได้เสนอแนวความคิดใช้แบบจำลองบทบาท (Role model) มาอยู่ในระดับกลางระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อปรับปรุงการตรวจสอบย้อนกลับของสองระดับ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือวิธีการนี้อาจจะยากในการจัดการสินทรัพย์เมื่อพบกับโปรแกรมประยุกต์ขนาดใหญ่ ซึ่งในแบบจำลองโดเมนอาจจะรวมคุณลักษณะจำนวนมากทำให้จำนวนของบทบาทมีมากขึ้นทำให้ควบคุมได้ยาก, แบบจำลองบทบาทถูกออกแบบมาในวิธีเฉพาะกิจ โดยโค้ดสำหรับผูกพันในขณะทำงานจะถูกพัฒนาโดยนักพัฒนาที่มี

ประสบการณ์ ซึ่งขาดเครื่องมือในการใช้งาน และจากกรณีศึกษายังไม่ครอบคลุมความสามารถในการนำไปใช้งานสำหรับการปรับตัว

Tom Dinkelaker และคณะ [9] ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตโดยใช้แบบจำลองคุณลักษณะพลวัต (Dynamic Feature Model) เพื่ออธิบายความหลากหลายในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตและใช้ภาษาเฉพาะโดเมน (Domain-specific language) สำหรับใช้ประกาศการเปลี่ยนแปลงและข้อจำกัดในการสร้างซอฟต์แวร์ โดยวิธีการนี้ได้รวมหลากหลายแนวทางของการเขียนโปรแกรมเชิงลักษณะ (Aspect-oriented programming) สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต โดยใช้ชื่อว่า ลักษณะพลวัต (Dynamic aspect) แบบจำลองของลักษณะในขณะทำงาน (Runtime model of aspect) และ การตรวจสอบและการแยกของการโต้ตอบกันของลักษณะ (Detection and resolution of aspect interaction) แต่วิธีการนี้ออกแบบระบบซอฟต์แวร์จำเป็นต้องเรียนรู้การใช้งานของภาษาเฉพาะโดเมนทำใช้วิธีการนี้ไม่ยืดหยุ่นสำหรับใช้งานกับการออกแบบซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ใดๆ

Jan Bosch และ Rafael Capilla [10] ได้นำเสนอการใช้ไทป์ (Type) และซุปเปอร์ไทป์ (Super-Types) ของการเปลี่ยนแปลงโดยการแก้ไขการเปลี่ยนแปลงในขณะทำงานอาศัยแนวคิดของไทป์และซุปเปอร์ไทป์โดยแนวคิดการเปลี่ยนแปลงของบริบท ซึ่งซุปเปอร์ไทป์ทำหน้าที่เป็นการแยกประเภททั่วไปสำหรับการเปลี่ยนแปลง ในการใช้งานซุปเปอร์ไทป์นี้สามารถแก้ไขการเปลี่ยนแปลงได้อัตโนมัติในแบบจำลองคุณลักษณะในขณะทำงาน โดยจะมุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติเพราะว่าการแก้ไขการเปลี่ยนแปลงของจุดเปลี่ยนแปลงที่มีความต้องการเฉพาะนั้นจะมีการแทรกแซงจากผู้ใช้งาน แต่จุดเปลี่ยนแปลงสามารถรองรับแนวคิดของซุปเปอร์ไทป์ได้ โดยจะกำหนดซุปเปอร์ไทป์ด้วยการเขียนเป็นรายการของสายอักขระที่กำหนดโดยผู้ใช้งานและนำไปใช้ในการจัดหมวดหมู่และจำแนกประเภทของระบบคุณลักษณะ ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการแทรกแซงในการกำหนดซุปเปอร์ไทป์ในระบบที่มีความซับซ้อน

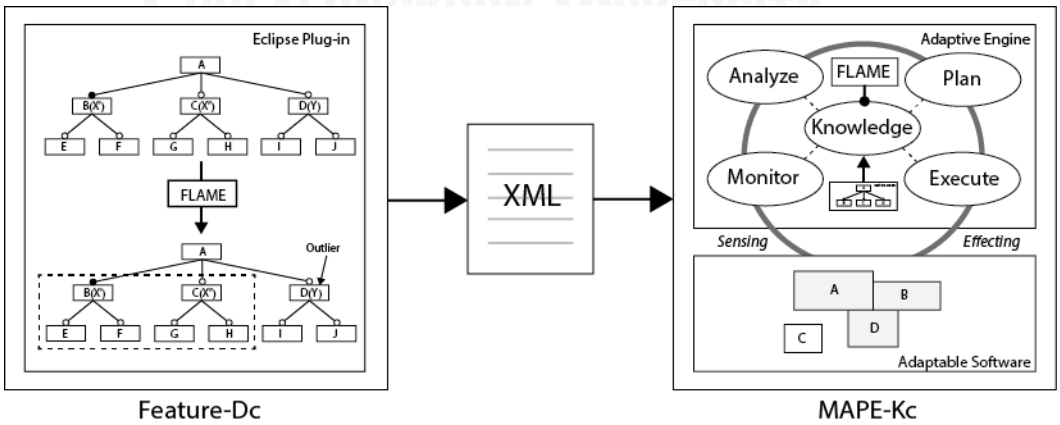
Karsten Saller และคณะ [11] ได้นำเสนอวิธีการลดรูปของแบบจำลองคุณลักษณะ (Reducing Feature Model) สำหรับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด เป็นการทำให้อุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัดสามารถเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขได้ในสายผลิตภัณฑ์พลวัต ด้วยวิธีการนี้แบบจำลองคุณลักษณะจะลดรูปตามบริบทที่เฉพาะของฮาร์ดแวร์ก่อนที่จะติดตั้งลงไปในโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถปรับตัวได้บนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด โดยการลดรูปของแบบจำลองคุณลักษณะนี้เป็นการลดจำนวนของโครงแบบที่เป็นไปได้ที่เข้ากันได้กับอุปกรณ์ที่ซอฟต์แวร์ไปทำงานและลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการทำงานของการปรับตัวเองในขณะทำงาน ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นต้องลดรูปก่อนที่จะติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ไปในแต่ละฮาร์ดแวร์เฉพาะทำให้ผู้พัฒนาระบบซอฟต์แวร์จะต้องปรับปรุงแบบจำลองคุณลักษณะทุกครั้งสำหรับแต่ละฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยืดหยุ่น

บทที่ 3
วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

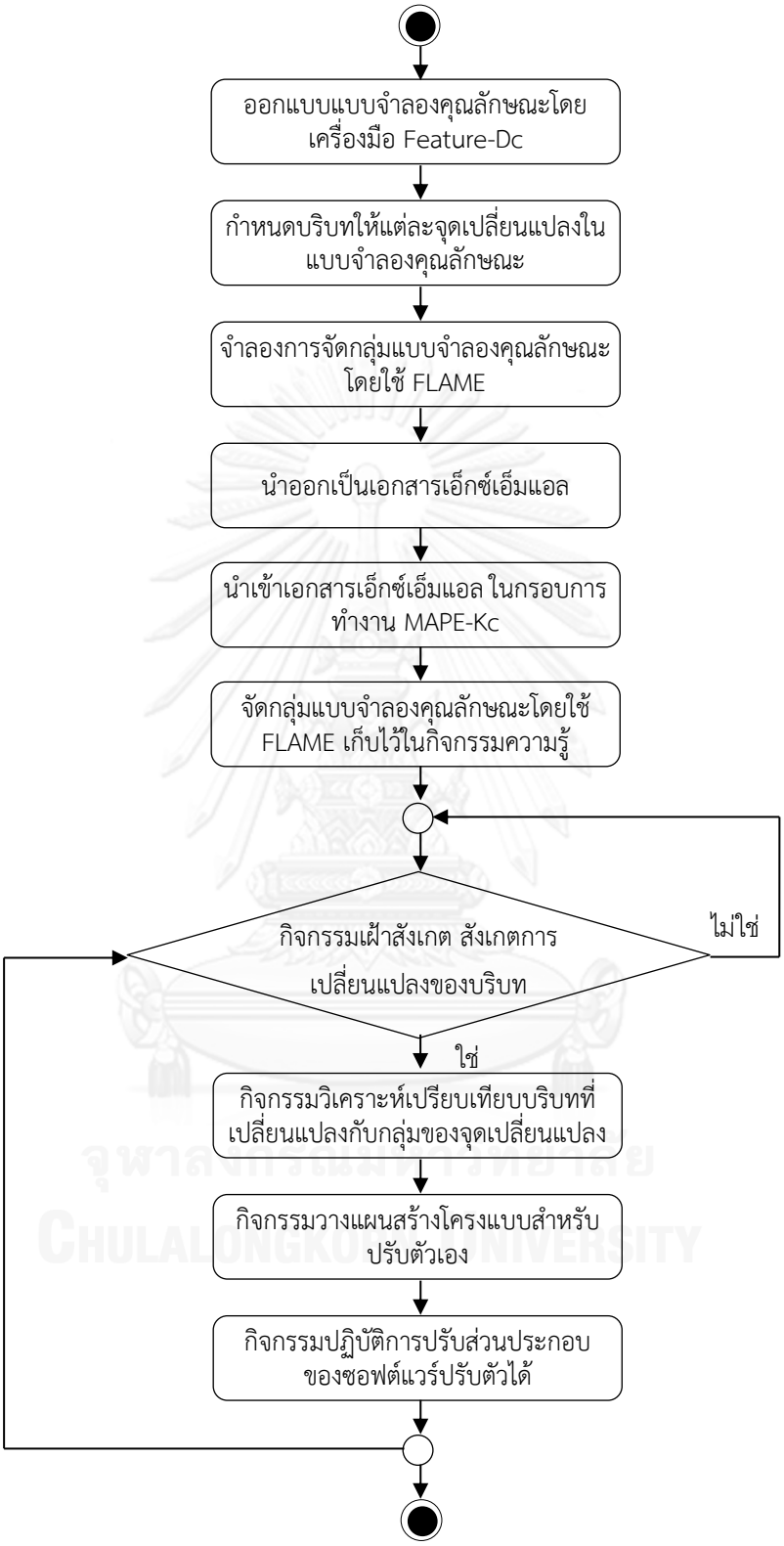
ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต โดยใช้งานขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกมาใช้ในการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ และการออกแบบและพัฒนากรณีศึกษาของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

3.1 ภาพรวมวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

ในงานวิจัยนี้มีแนวความคิดนำเสนอวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ (Adaptive behavior) ของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ซึ่งวิธีการนี้ทำงานบนระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง (Self-Adaptive Software) โดยนำแบบจำลองคุณลักษณะ (Feature Model) มาใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของระบบซอฟต์แวร์ทั้งหมด โดยวิธีการที่นำเสนอนี้จะพิจารณาความคล้ายคลึงกัน (Similarity) ของบริบท (Context) ซึ่งเป็นพฤติกรรมในการปรับที่จุดเปลี่ยนแปลง (Variation Point) ต่างๆ ในแบบจำลองคุณลักษณะ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก (FLAME) มาจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในแบบจำลองคุณลักษณะ โดยการออกแบบและจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะนั้นสามารถดำเนินการได้ด้วยเครื่องมือ Feature-Dc และนำออกเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ เพื่อนำไปใช้ในส่วนของความรู้ของกรอบการทำงาน MAPE-Kc ที่เป็นกลไกในระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมงานวิจัยการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ



รูปที่ 3.2 แผนภาพกิจกรรมภาพรวมงานวิจัยการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ

จากรูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับตามที่เสนอในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ เครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc และกรอบการทำงานกลไกของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง MAPE-Kc ซึ่งทั้งสองส่วนดังกล่าวใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะด้วยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่สมาชิก หรือ FLAME โดยการใช้เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลในการส่งผ่านข้อมูลของแบบจำลองคุณลักษณะจากเครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะไปยังกรอบการทำงานกลไกของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง

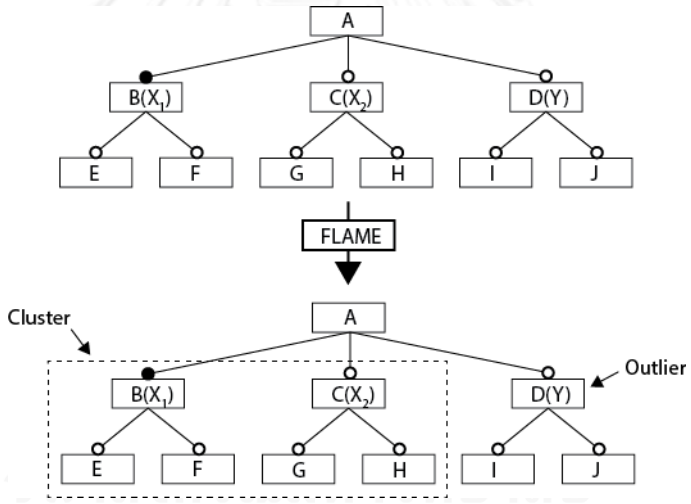
โดยเครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc สามารถออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะซึ่งเป็นแบบจำลองคุณลักษณะทั่วไป ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดของแต่ละคุณลักษณะโดยขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบซอฟต์แวร์ที่ต้องการออกแบบ และสามารถกำหนดบริบทให้กับจุดเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในแบบจำลองคุณลักษณะ หลังจากที่ออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะและกำหนดบริบทให้กับแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงเรียบร้อยแล้วเครื่องมือนี้สามารถจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่สมาชิกซึ่งเป็นการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะที่พิจารณาเฉพาะจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะที่ทำการนำออก โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ และการสร้างกลุ่ม ซึ่งการจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะดังกล่าวเพื่อที่จะตรวจสอบว่าการออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะและการกำหนดบริบทให้กับจุดเปลี่ยนแปลงนั้นถูกต้องเพียงใด ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายของเครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc คือการนำออกเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลเพื่อนำไปใช้ในกรอบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง MAPE-Kc

ซึ่งกรอบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง MAPE-Kc นี้จะนำเข้าเอกสารเอ็กซ์เอ็ม-แอลที่บรรจุข้อมูลของแบบจำลองคุณลักษณะและบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงที่ออกแบบเรียบร้อยแล้วในเครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งกรอบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองซึ่งเป็นสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ กลไกการปรับตัวได้ และซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ โดยที่ทั้งสองส่วนนี้ผู้พัฒนาจำเป็นต้องพัฒนาให้สอดคล้องกับแบบจำลองคุณลักษณะและบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงที่ออกแบบไว้และนำออกมาเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล ในส่วนของกลไกการปรับตัวได้นั้นจะประกอบด้วย 5 กิจกรรมหลักที่ทำงานสัมพันธ์กันคือ กิจกรรมการเฝ้าสังเกต (Monitor) กิจกรรมการวิเคราะห์ (Analysis) กิจกรรมการวางแผน (Plan) กิจกรรมการปฏิบัติงาน (Action) และกิจกรรมความรู้ (Knowledge) โดยที่กิจกรรมความรู้นี้จะนำข้อมูลแบบจำลองคุณลักษณะและบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงที่นำเข้ามาในกรอบการทำงานในรูปแบบของเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลเพื่อนำมาจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะดังกล่าว โดยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่สมาชิกและเก็บไว้ใช้งานในกิจกรรมการวิเคราะห์ของกลไกการปรับตัว จากบริบทที่กิจกรรมการเฝ้าสังเกตตรวจพบว่าบริบทมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่นำกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลงที่ได้จากกิจกรรมการวิเคราะห์นี้ไปใช้ในกิจกรรมการวางแผนโดยสร้างโครงแบบที่สอดคล้องกับกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งนำโครงแบบดังกล่าวไปสู่กิจกรรมการปฏิบัติการเพื่อประกอบส่วนประกอบต่างๆของซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพื่อทำให้ระบบ

ซอฟต์แวร์ทำงานต่อไปได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยสามารถเขียนเป็นภาพรวมของแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 3.2

3.2 วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

ในงานวิจัยนี้เสนอวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ โดยพิจารณาความคล้ายคลึงกันของบริบทการปรับตัวที่จุดเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งบริบทการปรับตัวนั้นจะถูกกำหนดให้กับคุณลักษณะที่มีลักษณะเป็นจุดเปลี่ยนแปลงและเป็นสิ่งที่บ่งบอกพฤติกรรมสำหรับการปรับตัวในระบบปรับตัวได้ ในแบบจำลองคุณลักษณะ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก เพื่อดำเนินการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งจะได้แบบจำลองคุณลักษณะที่ได้ถูกจัดกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลงตามความคล้ายคลึงกันของบริบทการปรับตัว และจุดเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้หรือข้อมูลผิดปกติ (Outlier) เพื่อใช้ในกรอบการทำงานของระบบปรับตัวได้ต่อไป



รูปที่ 3.3 แสดงวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

ในรูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามวิธีการที่นำเสนอ โดยในแบบจำลองคุณลักษณะจะกำหนดบริบทการปรับตัวให้จุดเปลี่ยนแปลงต่างๆ ซึ่งเป็นพฤติกรรมสำหรับการปรับตัวของคุณลักษณะที่มีลักษณะเป็นจุดเปลี่ยนแปลง มีทั้งหมด 3 คุณลักษณะคือคุณลักษณะ $B(X_1)$, $C(X_2)$ และ D(Y) เป็นการแสดงว่าคุณลักษณะ B, C และ D เป็นคุณลักษณะที่มีบริบทสำหรับพฤติกรรมการปรับตัวคือ X_1 X_2 และ Y ตามลำดับ โดยเมื่อผ่านขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีในการจัดกลุ่มคุณลักษณะที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงโดยพิจารณาที่ความเหมือนกันของบริบทที่กำหนดให้แต่คุณลักษณะดังกล่าว การ

พิจารณาบริบทดังกล่าวตามขั้นตอนวิธีแล้วเห็นว่าบริบท X_1 และ X_2 มีความคล้ายคลึงกันจึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยใช้วิธีการวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลง และบริบท Y ไม่มีความคล้ายคลึงกับบริบทอื่นๆ จึงไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มได้ ดังนั้นจะกำหนดให้คุณลักษณะ D ที่มีบริบท Y เป็นจุดเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้หรือข้อมูลผิดปกติ หลังจากการจัดกลุ่มแล้วจะได้แบบจำลองคุณลักษณะดังรูปด้านล่างของรูปที่ 3.3

3.2.1 เมทาเดตาของแบบจำลองคุณลักษณะ

ในแบบจำลองคุณลักษณะทั่วไปนั้น จะไม่มีการกำหนดบริบทให้สำหรับคุณลักษณะที่ทำหน้าที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงต่างๆ เนื่องจากใช้สำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์แบบทั่วไปเท่านั้น แต่เมื่อนำแบบจำลองคุณลักษณะมาใช้สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตที่ทำงานบนระบบปรับตัวเองนั้น คุณลักษณะที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงไม่ได้เลือกคุณลักษณะลูกในขั้นตอนการออกแบบ แต่จะดำเนินการเลือกคุณลักษณะลูกในขณะทำงานของซอฟต์แวร์ ดั้งนั้นจะต้องมีการกำหนดว่าคุณลักษณะดังกล่าวจะเลือกคุณลักษณะลูกได้อย่างไร ซึ่งการเลือกคุณลักษณะลูกตามบริบทนั้นเป็นสิ่งที่เหมาะสม เนื่องจากบริบทจะเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจว่าจะเลือกคุณลักษณะลูกอย่างไรตามสภาวะแวดล้อมและความต้องการของผู้ใช้ที่เปลี่ยนแปลงไป

นอกจากนี้แล้วในแบบจำลองคุณลักษณะจะมีข้อจำกัดในการเลือกแต่ละคุณลักษณะซึ่งอาจจะต้องการหรือไม่ต้องการคุณลักษณะที่มีข้อจำกัดด้วย ดังนั้นระบบปรับตัวเองจึงต้องพิจารณาส่วนของข้อจำกัดนี้ด้วยในการเลือกคุณลักษณะลูกในขณะทำงานของซอฟต์แวร์

ดังนั้นจึงใช้เมทาเดตาเพื่ออธิบายลักษณะของแบบจำลองคุณลักษณะว่าในแต่ละส่วนมีอะไรบ้างและบริบทมีความสำคัญอย่างไรต่อแบบจำลองคุณลักษณะที่ใช้ในวิธีการที่นำเสนอนี้

จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงการเมทาเดตาของแบบจำลองคุณลักษณะที่อธิบายให้ทราบถึงรายละเอียดของแบบจำลองคุณลักษณะสำหรับวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับนี้ โดยจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) FeatureModel เป็นแบบจำลองคุณลักษณะซึ่งเป็นส่วนหลักของแบบจำลองคุณลักษณะซึ่งจะประกอบด้วย Feature และ Configuration และความสัมพันธ์แบบหนึ่งถึงหลายๆ (1...*)
2) Configuration เป็นโครงแบบของแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแบบจำลองคุณลักษณะ FeatureModel และมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)
3) Operation เป็นตัวดำเนินการของคุณลักษณะที่จะเพิ่มหรือลบคุณลักษณะ ของแบบจำลองคุณลักษณะ เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองคุณลักษณะ Feature Model โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

4) Feature เป็นคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งจะประกอบด้วย Relation และ Operation ที่มีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1) Constraint ที่มีความสัมพันธ์แบบศูนย์ถึงหลายๆ (0...*) และ Variation Point ที่มีความสัมพันธ์แบบศูนย์ถึงหนึ่ง (0...1)

5) Constraint เป็นข้อจำกัดของคุณลักษณะ ซึ่งจะมีค่าเป็น Exclude หรือ Require ไปยังคุณลักษณะที่มีข้อจำกัดด้วย เป็นส่วนหนึ่งของคุณลักษณะ Feature โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

6) Relation เป็นความสัมพันธ์ของคุณลักษณะนั้นๆ กับคุณลักษณะแม่ซึ่งจะมีค่าเป็น And (และ) Or (หรือ) และ Xor (ออร์เฉพาะ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของคุณลักษณะ Feature โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

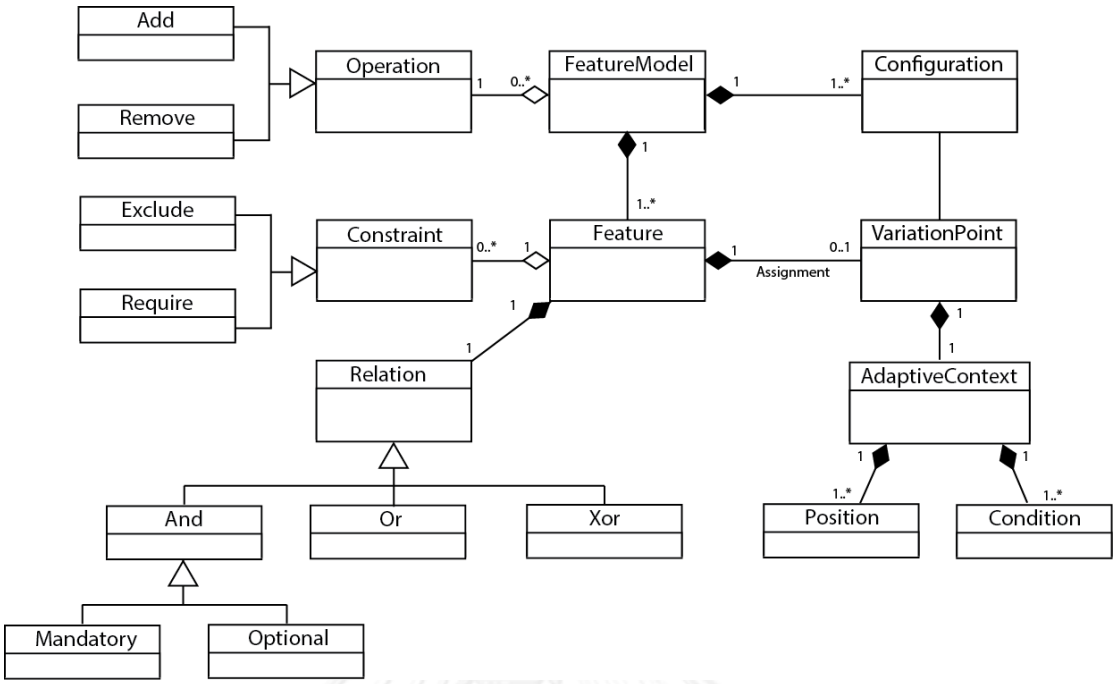
7) VariationPoint เป็นจุดเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะ Feature ที่เป็นคุณลักษณะแม่ที่มีคุณลักษณะลูก ซึ่งจะประกอบด้วย AdaptiveContext มีความสัมพันธ์แบบศูนย์ถึงหลายๆ และเป็นองค์ประกอบของคุณลักษณะ Feature โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

8) AdaptiveContext เป็นบริบทการปรับตัวของคุณลักษณะ Feature ที่เป็นจุดเปลี่ยน-แปลง ซึ่งจะประกอบด้วย Condition และ Position มีความสัมพันธ์แบบหนึ่งถึงหลายๆ (1...*) และเป็นองค์ประกอบของจุดเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะ โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

9) Condition เป็นเงื่อนไขในการปรับตัวของบริบทการปรับตัว เป็นองค์ประกอบของบริบทการปรับตัว Adaptive Context โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

10) Position เป็นตำแหน่งในการปรับตัวของบริบทการปรับตัว เป็นองค์ประกอบของบริบทการปรับตัว Adaptive Context โดยมีความสัมพันธ์แบบหนึ่งเท่านั้น (1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



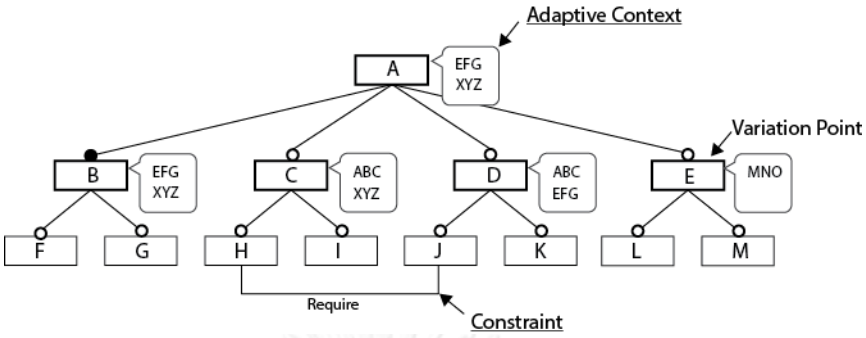
รูปที่ 3.4 เมทาเดตาของแบบจำลองคุณลักษณะ

3.2.2 การวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลง

จากเมทาดาตาของแบบจำลองคุณลักษณะดังที่กล่าวใน 3.2.1 นั้นการวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงจะใช้วิธีการหาความคล้ายคลึงโดยคุณลักษณะของ Tversky เพื่อหาความคล้ายคลึงกัน (s_{xy}) ระหว่าง 2 จุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งเป็นการหาผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักของส่วนที่เหมือนกันของบริบทการปรับตัวและข้อจำกัดของคุณลักษณะลูกของจุดเปลี่ยนแปลงที่มีต่อกัน โดยพิจารณาเป็นเซตของข้อมูล X และ Y ซึ่งมีสมาชิกเป็นบริบทและข้อจำกัดของคุณลักษณะลูก และใช้ทฤษฎีเซตเป็นตัวดำเนินการเพื่อพิจารณาความเหมือนกันของเซตข้อมูล โดยสามารถวัดความคล้ายคลึงกันของ 2 จุดเปลี่ยนแปลงได้ดังสมการดังนี้

$$S_{xy} = \frac{f(\mathrm{X} \cap \mathrm{Y})}{f(\mathrm{X} \cap \mathrm{Y}) + f(\mathrm{X} - \mathrm{Y}) + f(\mathrm{Y} - \mathrm{X})}$$

โดยจากสมการดังกล่าวการวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลง X และ Y จะเป็นอัตราส่วนระหว่างส่วนร่วม (Intersection) ของเซตข้อมูลจุดเปลี่ยนแปลง X และ Y กับผลรวมของส่วนร่วมของเซตข้อมูลจุดเปลี่ยนแปลง X และ Y ส่วนเติมเต็มสัมพัทธ์ (Relative complement) ของเซตข้อมูล X และ Y ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใน X แต่ไม่อยู่ใน Y ส่วนเติมเต็มสัมพัทธ์ของเซตข้อมูล Y และ X ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใน Y แต่ไม่อยู่ใน X ค่าที่ได้จากการวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เท่านั้น



รูปที่ 3.5 การวัดความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ

จากแบบจำลองคุณลักษณะใน รูปที่ 3.5 เป็นตัวอย่างของแบบจำลองคุณลักษณะที่มีการระบุบริบทของการปรับตัวให้กับแต่ละคุณลักษณะที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงและข้อจำกัดของคุณลักษณะลูกของบางจุดเปลี่ยนแปลงที่มีต่อกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นเซตของข้อมูลของจุดเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

$$A = \{'EFG',\ 'XYZ'\}$$
$$B = \{'EFG',\ 'XYZ'\}$$
$$C = \{'ABC',\ 'XYZ',\ 'Require(J:H)'\}$$
$$D = \{'ABC',\ 'EFG',\ 'Require(J:H)'\}$$
$$E = \{'MNO'\}$$

ดังนั้นเมื่อวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงซึ่งจะยกตัวอย่างของการวัดความคล้ายคลึงกันของ 3 คู่จุดเปลี่ยนแปลงดังนี้

จุดเปลี่ยนแปลง A และ B

$$S_{AB} = \frac{f(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})}{f(\mathrm{A} \cap \mathrm{B}) + f(\mathrm{A} - \mathrm{B}) + f(\mathrm{B} - \mathrm{A})}$$

$$S_{AB} = \frac{2}{2+0+0} = 1$$

จุดเปลี่ยนแปลง C และ D

$$S_{CD} = \frac{f(\mathrm{C} \cap \mathrm{D})}{f(\mathrm{C} \cap \mathrm{D}) + f(\mathrm{C} - \mathrm{D}) + f(\mathrm{D} - \mathrm{C})}$$

$$S_{CD} = \frac{2}{2+1+1} = 0.5$$

จุดเปลี่ยนแปลง B และ C

$$S_{BC} = \frac{f(\mathrm{B} \cap \mathrm{C})}{f(\mathrm{B} \cap \mathrm{C}) + f(\mathrm{B} - \mathrm{C}) + f(\mathrm{C} - \mathrm{B})}$$

$$S_{BC} = \frac{1}{1+1+2} = 0.25$$

จุดเปลี่ยนแปลง D และ E

$$S_{DE} = \frac{f(\mathrm{D} \cap \mathrm{E})}{f(\mathrm{D} \cap \mathrm{E}) + f(\mathrm{D} - \mathrm{E}) + f(\mathrm{E} - \mathrm{D})}$$

$$S_{DE} = \frac{0}{0+3+1} = 0$$

จากตัวอย่างการคำนวณดังกล่าวจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันของจุดเปลี่ยนแปลง A และ B มีค่าเป็น 1 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของค่าความคล้ายคลึงกันที่จะต้องอยู่ระหว่าง 0 และ 1 จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 จุดเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกันทั้งหมดโดยไม่มีความแตกต่างกันเลย โดยสมาชิกในเซตข้อมูลที่เป็นส่วนร่วมเท่ากับ 2 และส่วนเติมเต็มสัมพัทธ์ในเซตข้อมูลที่เป็นสมาชิกใน A ที่ไม่ใช้สมาชิกใน B และที่เป็นสมาชิกใน B ที่ไม่ใช้สมาชิกใน A มีค่าเท่า 0

จุดเปลี่ยนแปลง C และ D มีค่าเป็น 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยมีสมาชิกในเซตข้อมูลที่เป็นส่วนร่วมเท่ากับ 2 และส่วนเติมเต็มสัมพัทธ์ในเซตข้อมูลที่เป็นสมาชิกใน C แต่ไม่อยู่ใน D และอยู่ใน D แต่ไม่อยู่ใน C มีค่าเท่ากันคือ 1 โดยที่ผลลัพธ์ดังกล่าวมีค่ามากกว่าผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันของจุดเปลี่ยนแปลง B และ C ซึ่งมีค่าเป็น 0.25 โดยสมาชิกในเซตข้อมูลที่เป็นส่วนร่วมเท่ากับ 1 และสมาชิกส่วนเติมเต็มสัมพัทธ์ที่เป็นสมาชิกใน B ที่ไม่เป็นสมาชิกใน C เท่ากับ 2 แต่สมาชิกใน C ที่ไม่เป็นสมาชิกใน B เท่ากับ 1 เท่านั้นทำให้การวัดความคล้ายคลึงดังกล่าวมีค่าเป็น 0.25 ซึ่งสามารถวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงได้ดังตารางที่ 3.1

จากกรณีดังกล่าวสามารถเรียงลำดับของความคล้ายคลึงกันของจุดเปลี่ยนแปลงทั้ง 4 กรณีได้ดังนี้

$$S_{AB} > S_{CD} > S_{BC} > S_{DE}$$

ตารางที่ 3.1 ผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง

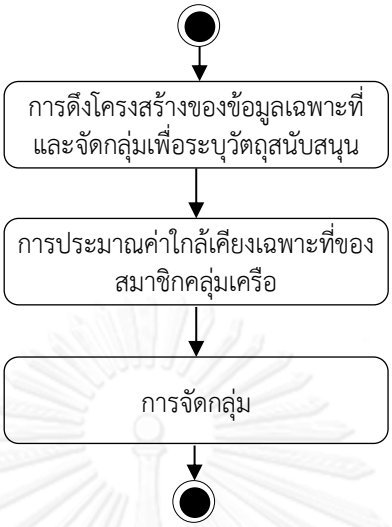
คู่ของจุดเปลี่ยนแปลง	ค่าความคล้ายคลึงกัน
A และ B	1.00
A และ C	0.25
A และ D	0.25
A และ E	0.00
B และ C	0.25
B และ D	0.25
B และ E	0.00
C และ D	0.50
C และ E	0.00
D และ E	0.00

ตารางที่ 3.2 ค่าความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง

S_{xy}	A	B	C	D	E
A	-	1	0.25	0.25	0.00
B	1.00	-	0.25	0.25	0.00
C	0.25	0.25	-	0.50	0.00
D	0.25	0.25	0.50	-	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.00	-
$\sum_{z \in KNN(x)} S_{xz}$	**1.50**	**1.50**	**1.00**	**1.00**	**0.00**

3.2.3 ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

โดยขั้นตอนวิธีของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับนั้น จะใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก (FLAME) ซึ่งมี 3 ขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วใน 2.1.7 คือ การดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน, การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ และการสร้างกลุ่ม โดยสามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.6 แผนภาพกิจกรรมแสดงขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

3.2.3.1 การดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน

เป็นการหาความคล้ายคลึง (s_{xy}) ระหว่างจุดเปลี่ยนแปลง (x) กับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียง (y) รอบๆ จุดเปลี่ยนแปลงนั้น ในแบบจำลองคุณลักษณะ เพื่อคำนวณหาเซตของน้ำหนัก (w_{xy}) สำหรับการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ (Local Approximation) ในขั้นตอนต่อไป โดยสามารถกำหนดค่าเซตของน้ำหนักดังนี้

$$w_{xy} = \frac{s_{xy}}{\sum_{z \in KNN(x)} s_{xz}}$$

โดย z เป็นสมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงที่สุดของจุดเปลี่ยนแปลง x

นอกจากค่าความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงสามารถดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังสามารถหาค่าความแตกต่างกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงได้จากผลต่างของ 1 และค่าความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ดังนี้

$$d_{xy} = 1 - S_{xy}$$

ซึ่งค่าความหนาแน่นของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตามขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกโดยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของ 1 กับค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงใดๆ ดังนี้

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\frac{1}{n}\sum_{y=1}^{n} d_{xy}}$$

การหาความหนาแน่นของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงเพื่อระบุประเภทของจุดเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ในแบบจำลองคุณลักษณะ ดังนี้

- กลุ่มของวัตถุสนับสนุน (Cluster Support Object: CSO)
    - เป็นจุดเปลี่ยนแปลงที่มีค่าที่มากที่สุดของอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างจุดเปลี่ยนแปลงนั้นและจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงเคอันดับ 2 จุดเปลี่ยนแปลงขึ้นไปเมื่อเทียบกับจุดเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในแบบจำลองคุณลักษณะ
    - ค่าความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงที่ถูกพิจารณาว่าเป็นกลุ่มของวัตถุสนับสนุนที่ถูกระบุแล้วจะต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับ 50% ถ้ามากกว่าให้ระบุเป็นส่วนปกติ และพิจารณาจุดเปลี่ยนแปลงที่มีค่าที่มากที่สุดของอัตราส่วนของความหนาแน่นมากที่สุดในลำดับต่อไป
- ข้อมูลผิดปกติ (Outlier)
    - เป็นจุดเปลี่ยนแปลงที่มีค่าที่น้อยที่สุดของอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างจุดเปลี่ยนแปลงนั้นและจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงเคอันดับ น้อยที่สุดเทียบกับจุดเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในแบบจำลองคุณลักษณะ
    - ค่าที่น้อยที่สุดของอัตราส่วนของความหนาแน่นน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของผลต่างของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลง
- ส่วนปกติ (Normal)
    - เป็นจุดเปลี่ยนแปลงที่ไม่เข้าข่ายของกลุ่มของวัตถุสนับสนุนและข้อมูลผิดปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการระบุประเภทของจุดเปลี่ยนแปลงและสร้างเซตของจุดเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถเรียงลำดับตามความหนาแน่นได้ดังนี้

$$\mathrm{X}_{CSO} < \mathrm{X}_{Normal} < \mathrm{X}_{Outlier}$$

จากตัวอย่างของแบบจำลองคุณลักษณะนั้นในขั้นตอนนี้จะต้องกำหนดจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียง ให้กับแต่ละจุดเปลี่ยนแปลง โดยจำนวนของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียง นั้นสามารถกำหนดได้เป็นจำนวนที่น้อยกว่าจำนวนของจุดเปลี่ยนแปลงหนึ่งจำนวน $(|\,N_{VP}\,| - 1)$ ซึ่งในตัวอย่างนี้จะ

กำหนดจำนวนของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงใดๆ มีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งสามารถกำหนดเซตของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงที่มี 3 สมาชิก ดังนี้

$$A = \{B,\ C,\ D\}$$
$$B = \{A,\ C,\ D\}$$
$$C = \{A,\ B,\ D\}$$
$$D = \{A,\ B,\ C\}$$
$$E = \{A,\ C,\ D\ \}$$

จากตัวอย่างของแบบจำลองคุณลักษณะในรูปที่ 3.7 เป็นตัวอย่างของแบบจำลองคุณลักษณะก่อนและหลังการดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุนที่ประกอบไปด้วย 13 คุณลักษณะ ซึ่งมี 5 คุณลักษณะที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลง นั้นคือ คุณลักษณะ A, B, C, D และ E ซึ่งในแต่จุดเปลี่ยนแปลงจะถูกระบุบริบทการปรับตัวเพื่อเป็นตัวกำหนดในการเปลี่ยนแปลงให้จุดเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ซึ่งจากการวัดค่าแตกต่างของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะดังกล่าวสามารถเขียนในตารางที่ 3.4 และ

ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันและความแตกต่างกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง

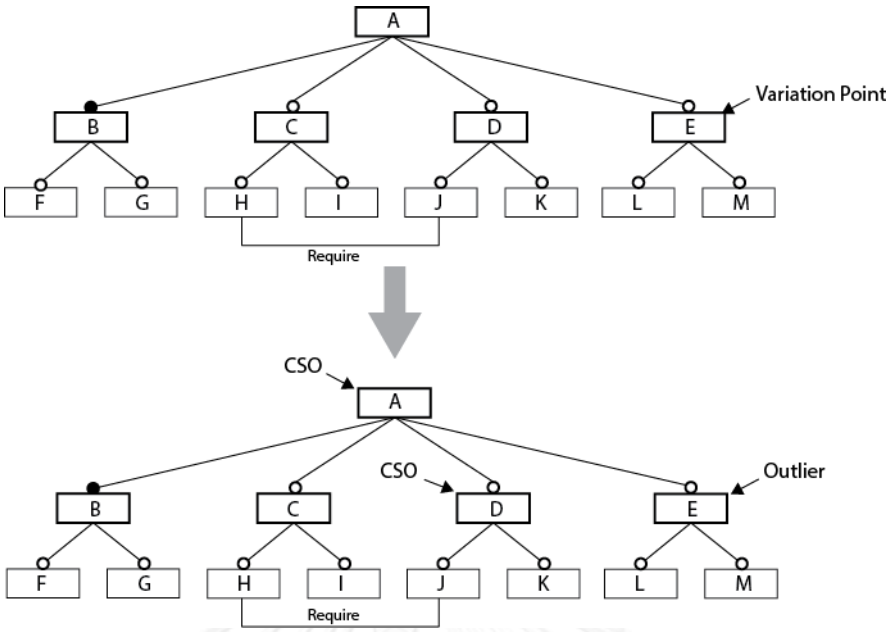
คู่ของจุดเปลี่ยนแปลง	ค่าความคล้ายคลึงกัน	ค่าความแตกต่างกัน
A และ B	1.00	0.00
A และ C	0.25	0.75
A และ D	0.25	0.75
A และ E	0.00	1.00
B และ C	0.25	0.75
B และ D	0.25	0.75
B และ E	0.00	1.00
C และ D	0.50	0.50
C และ E	0.00	1.00
D และ E	0.00	1.00

ตารางที่ 3.4 ค่าความแตกต่างของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง

d_{xy}	A	B	C	D	E
A	-	0.00	0.75	0.75	1.00
B	0.00	-	0.75	0.75	-
C	0.75	0.75	-	0.50	1.00
D	0.75	0.75	0.50	-	1.00
E	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	**0.50**	**0.50**	**0.67**	**0.67**	**1.00**
ความหนาแน่น	**2.00**	**2.00**	**1.49**	**1.49**	**1.00**

ตารางที่ 3.5 ค่าอัตราส่วนของความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงกับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงของแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง

$\frac{\rho_x}{\rho_y}$	A	B	C	D	E
A	-	1.00	0.75	0.75	0.50
B	1.00	-	0.75	0.75	-
C	1.33	1.33	-	1.00	0.67
D	1.33	1.33	1.00	-	0.67
E	-	-	-	-	-
ค่าสูงสุด	**1.33**	**1.33**	**1.00**	**1.00**	**0.67**
ค่าต่ำสุด	**1.00**	**1.00**	**0.75**	**0.75**	**0.50**
ประเภท	**CSO**	**Normal**	**CSO**	**Normal**	**Outlier**



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน

จากค่าความแตกต่างและความหนาแน่นของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงนั้นและความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียง เพื่อนำค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมาพิจารณาว่าจุดเปลี่ยนแปลงในจะเป็นจุดเปลี่ยนแปลงกลุ่มของวัตถุสนับสนุน จุดเปลี่ยนแปลงข้อมูลผิดปรกติ และจุดเปลี่ยนแปลงปกติ ดังตารางที่ 3.5

ซึ่งการกำหนดจุดเปลี่ยนแปลงกลุ่มของวัตถุสนับสนุน จุดเปลี่ยนแปลงข้อมูลผิดปกติ และจุดเปลี่ยนแปลงปกติ นั้น จะเป็นไปตามข้อกำหนดดังที่กล่าวมาข้างต้นดังนี้

กลุ่มของวัตถุสนับสนุน

- จากค่าสูงสุดของอัตราส่วนความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงกับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงจะได้ลำดับของค่าสูงสุดดังกล่าวเป็นคุณลักษณะ A และคุณลักษณะ B ดังนั้นจึงระบุให้คุณลักษณะ A เป็นกลุ่มของวัตถุสนับสนุน และต่อไปพิจารณาคุณลักษณะ B แต่ความคล้ายคลึงของคุณลักษณะ B และคุณลักษณะ A ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ถูกระบุว่าเป็นกลุ่มของวัตถุสนับสนุนแล้วนั้นมีค่าเป็น 0.5 นั้นคือมีความหนาแน่นกัน 50% จึงไม่จัดคุณลักษณะ B เป็นกลุ่มของวัตถุสนับสนุน ดังนั้นจึงพิจารณาคุณลักษณะในลำดับต่อไปเพื่อให้ได้จำนวนของจุดเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างน้อย 2 จุดเปลี่ยนแปลง นั้นก็คือคุณลักษณะ C ซึ่งมีค่าความคล้ายคลึงกับคุณลักษณะ A เป็น 0.25 ซึ่งน้อยกว่า 50% จึงระบุจุดเปลี่ยนแปลง C เป็นกลุ่มของวัตถุสนับสนุน ดังนั้นจากข้อกำหนดดังกล่าวในแบบจำลองคุณลักษณะนี้จะมี 2 จุดเปลี่ยนแปลงที่ถูกระบุเป็นกลุ่มของวัตถุสนับสนุน

ข้อมูลผิดปกติ

- จากค่าต่ำที่สุดของอัตราส่วนความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงกับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงจะเห็นได้ว่าจุดเปลี่ยนแปลง E มีค่าต่ำที่สุดเพียงค่าเดียว เมื่อเทียบกับจุดเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ดังนั้นจึงระบุให้จุดเปลี่ยนแปลง E เป็นข้อมูลผิดปกติ และอีกวิธีคือการพิจารนาจากค่าที่น้อยที่สุดของอัตราส่วนความหนาแน่นเทียบกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

ส่วนปกติ

- จากการระบุกลุ่มของวัตถุสนับสนุนและข้อมูลผิดปกติดังกล่าวนั้น จะเหลือเพียงจุดเปลี่ยนแปลง B และ D ดังนั้นจึงระบุให้ เป็นส่วนปกติ และพิจารณาส่วนนี้เพื่อระบุว่าส่วนปกติดังกล่าวนั้นมีแนวโน้มอยู่ในกลุ่มใดในกลุ่มของวัตถุสนับสนุนและข้อมูลผิดปกติ

จากสมการหาค่าน้ำหนักของจุดเปลี่ยนแปลงที่คำนวณจากค่าความคล้ายคลึงของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงแสดงดังตารางที่ 3.6 ซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปสำหรับการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ

ตารางที่ 3.6 ค่าน้ำหนักจากสมการหาค่าน้ำหนักจากความคล้ายคลึงของแบบจำลองคุณลักษณะตัวอย่าง

W_{xy}	A	B	C	D	E
A	-	0.67	0.25	0.25	0.00
B	0.67	-	0.25	0.25	-
C	1.17	0.17	-	0.50	0.00
D	1.17	0.17	0.50	-	0.00
E	-	-	-	-	-

3.2.3.2 การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือ

การจัดกลุ่มคลุมเครือในแต่ละวัตถุจะมีความเชื่อมโยงกับเวกเตอร์สมาชิก $p(x)$ แต่ละส่วนย่อย $p_i(x)$ จะบอกถึงระดับสมาชิกของ x ในกลุ่ม i ดังนี้

$$x : p(x) = \left(p_1(x), p_2(x), \dots, p_M(x)\right)$$

เมื่อ $0 \le p_i(x) \le 1$; $\sum_{i=1}^{M} p_i(x) = 1$ และ $M = |X_{cso}| + 1$

โดยเวกเตอร์สมาชิกของแต่ละส่วนย่อย $p_i(x)$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 และผลรวมทั้งหมดจะได้เป็น 1 ซึ่งจำนวนของเวกเตอร์สมาชิก M จะมีค่าเป็นจำนวนของกลุ่มของวัตถุสนับสนุนบวกด้วย 1 ซึ่งเป็นจำนวนของข้อมูลผิดปกติ

ในการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยพฤติกรรมการปรับนี้ เวกเตอร์สมาชิกจะถูกกำหนดให้แต่ละจุดเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีกระบวนทำซ้ำที่ครอบคลุมของการประมาณค่าความใกล้เคียง โดยกระบวนการทำซ้ำนี้เป็นการทำให้ความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิกให้น้อยที่สุดและประมาณค่าความผิดพลาดดังนี้

$$E(\{p\}) = \sum_{x \in X} \left\| p(x) - \sum_{y \in KNN(x)} w_{xy} p(y) \right\|^2$$

แต่ละพจน์เป็นความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิก $p_i(x)$ ที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงและการประมาณการต่อเนื่อง (linear approximation) ของ $p(x)$ ด้วย $\sum_{y \in KNN(x)} w_{xy} p(y)$

การกำหนดค่าเริ่มต้นของกระบวนการทำซ้ำสำหรับแต่ละกลุ่มของวัตถุสนับสนุนจะแทนกลุ่มของการจัดกลุ่ม และจะถูกกำหนดให้เป็นค่าเวกเตอร์สมาชิกเฉพาะซึ่งมีเพียงส่วนย่อยในดัชนี (Index) ของจุดเปลี่ยนแปลงที่เป็น CSO จะถูกกำหนดให้เป็น 1 และดัชนีของจุดเปลี่ยนแปลงอื่นๆ กำหนดให้เป็น 0 โดยสำหรับจุดเปลี่ยนแปลงที่เป็นข้อมูลผิดปกติ จะกำหนดค่าของส่วนย่อยของเวกเตอร์สมาชิกที่เป็นวัตถุสนับสนุนเป็น 0 และส่วนย่อยสุดท้ายเป็น 1 และสำหรับจุดเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ทุกเวกเตอร์สมาชิกจะกำหนดค่าให้เป็น $\frac{1}{M}$ เหมือนกันหมด ซึ่งหมายความว่าในขั้นเริ่มต้นของกระบวนการทำซ้ำเพื่อจัดกลุ่มนั้นแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงจะถูกกำหนดให้เป็นค่าที่คลุมเครือว่าจะอยู่ในกลุ่มใด

ซึ่งสามารถกำหนดการคำนวณหาค่าของแต่ละเวกเตอร์สมาชิกในกระบวนการทำซ้ำดังนี้

$$p^{t+1}(x) = \sum_{y \in KNN(x)} w_{xy} p^t(y)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับ $x \in \tilde{X}$ โดยที่ $\tilde{X} = X / X_{CSO} / X_{Outlier}$

จากจำนวนกลุ่มวัตถุสนับสนุนในขั้นตอนการดึงโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุนนั้นมีจำนวน 2 จุดเปลี่ยนแปลง (X_{cso}) ดังนั้นกำหนดจำนวนเวกเตอร์สมาชิกจำนวน $M = |X_{cso}| + 1 = 3$ สมาชิกของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงดังนี้

$$p(x) = \{p_1(x), p_2(x), p_3(x)\}$$

ตารางที่ 3.7 ค่าเริ่มต้นกระบวนการทำซ้ำของแต่ละส่วนย่อยในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง

$p_i(x)$	$p_1(x)$	$p_2(x)$	$p_3(x)$
A	1.00	0.00	0.00
B	0.33	0.33	0.33
C	0.00	1.00	0.00
D	0.33	0.33	0.33
E	0.00	0.00	1.00

หลังจากกำหนดค่าเริ่มต้นของกระบวนการทำซ้ำของแต่ละส่วนย่อยในเวกเตอร์สมาชิกของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงแล้ว จึงเริ่มต้นคำนวณเพื่อปรับปรุงค่าของเวกเตอร์สมาชิกในกระบวนการทำซ้ำในเวกเตอร์สมาชิกที่ไม่ใช่กลุ่มวัตถุสนับสนุนและข้อมูลผิดปกติ เพื่อทำให้ความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิกให้น้อยที่สุดดังนี้ และคำนวณค่าความผิดพลาดจากสมการการประมาณค่าความผิดพลาดจากเวกเตอร์สมาชิกทั้งหมด ในกระบวนการทำซ้ำจะทำจนลู่เข้าหากัน (Converge) ซึ่งจะกำหนดให้เป็นค่าจำกัดของความผิดพลาด เมื่อค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้ถึงค่าจำกัดความผิดพลาดก็จะหยุดกระบวนการทำซ้ำ โดยจากตัวอย่างนี้จะกำหนดค่าจำกัดความผิดพลาดที่ 1×10^{-6} หรือ 1E-6 ในรูปแบบการเขียนทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นทำให้ตัวอย่างนี้ทำกระบวนการทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง และค่าของเวกเตอร์สมาชิกสุดท้ายที่ถูกปรับปรุงค่าก็จะนำไปใช้ในการสร้างกลุ่มในขั้นตอนต่อไป ซึ่งตัวอย่างการคำนวณแต่ละส่วนย่อยในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง B ดังนี้

การคำนวณส่วนย่อยที่ 1 ในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง B

$$p_1{}^{t+1}(B) = (0.67 * 1.00) + (0.17 * 0.33) + (0.17 * 0.00) = 0.72$$

Chulalongkorn University

การคำนวณส่วนย่อยที่ 2 ในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง B

$$p_2{}^{t+1}(B) = (0.67 * 0.00) + (0.17 * 0.33) + (0.17 * 1.00) = 0.22$$

การคำนวณส่วนย่อยที่ 3 ในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง B

$$p_3{}^{t+1}(B) = (0.67 * 0.00) + (0.17 * 0.33) + (0.17 * 0.00) = 0.06$$

ตารางที่ 3.8 การปรับปรุงค่าของเวกเตอร์สมาชิกในการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่

วงรอบที่	S_{xy}	$p_1(x)$	$p_2(x)$	$p_3(x)$	$E(\{p\})$
1	A	1.00	0.00	0.00	0.37
	B	**0.72**	**0.22**	**0.06**	
	C	0.00	1.00	0.00	
	D	0.33	0.58	0.08	
	E	0.00	0.00	1.00	
2	A	1.00	0.00	0.00	1.9E-04
	B	**0.72**	**0.26**	**1.4E-02**	
	C	0.00	1.00	0.00	
	D	0.43	0.56	1.4E-02	
	E	0.00	0.00	1.00	
3	A	1.00	0.00	0.00	6.3E-04
	B	**0.74**	**0.26**	**2.3E-03**	
	C	0.00	1.00	0.00	
	D	0.43	0.57	3.5E-03	
	E	0.00	0.00	1.00	
4	A	1.00	0.00	0.00	3.2E-05
	B	**0.74**	**0.26**	**5.8E-04**	
	C	0.00	1.00	0.00	
	D	0.43	0.56	0.5E-04	
	E	0.00	0.00	1.00	
5	A	1.00	0.00	0.00	1.1E-06
	B	**0.74**	**0.26**	**9.6E-05**	
	C	0.00	1.00	0.00	
	D	0.43	0.56	1.5E-04	
	E	0.00	0.00	1.00	

3.2.3.3 การสร้างกลุ่ม

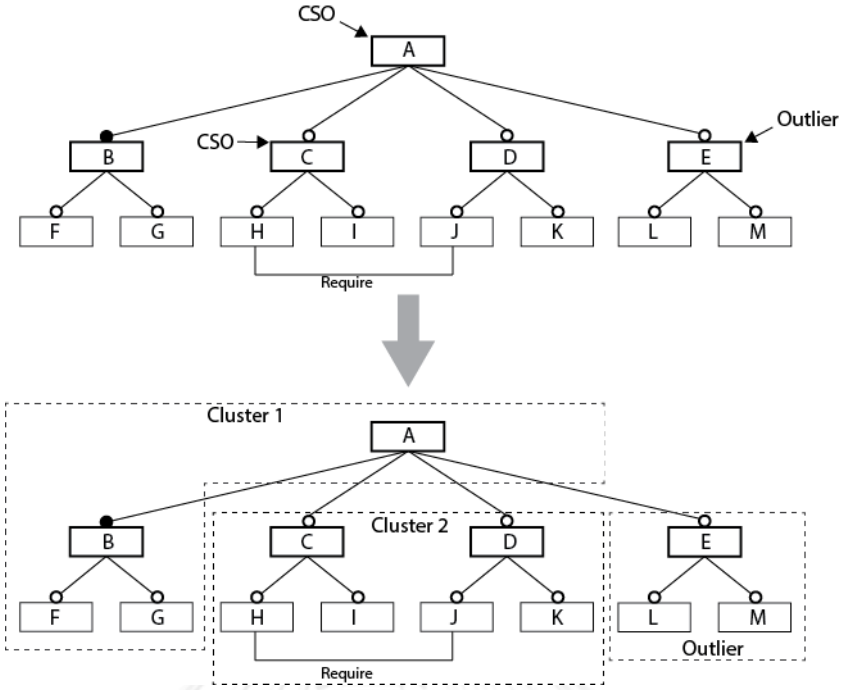
เมื่อคำนวณเซตของสมาชิกความคลุมเครือแล้วในขั้นตอนดังกล่าว กลุ่มสามารถกำหนดได้โดยขึ้นอยู่กับ หนึ่งต่อหนึ่ง (one-to-one) ของจุดเปลี่ยนแปลงจะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มใด โดยขึ้นอยู่กับค่าของสมาชิกความคลุมเครือว่ามีค่ามากในกลุ่มวัตถุสนับสนุนใดก็จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น แต่อย่างไรก็ตามบางจุดเปลี่ยนแปลงที่มีค่าของสมาชิกความคลุมเครือของหลายกลุ่มวัตถุสนับสนุนเท่ากันก็จะถูกจัดให้อยู่ในหลายกลุ่มดังกล่าว และจุดเปลี่ยนแปลงใดที่มีค่าของสมาชิกความคลุมเครือในดัชนีสุดท้ายมากที่สุดก็จะจัดอยู่ในกลุ่มข้อมูลผิดปกติ

จากขั้นตอนการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือจะได้ค่าของสมาชิกเซตข้อมูลของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 3.9 ซึ่งสามารถนำมาสร้างกลุ่มได้โดยพิจารณาว่าในแต่ละสมาชิกของเซตข้อมูลมีค่ามากที่สุดเป็นดัชนีของกลุ่มใด ก็จัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น ซึ่งในท้ายที่สุดจะได้กลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลง โดยจุดเปลี่ยนแปลง B อยู่ในกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลง A และ จุดเปลี่ยนแปลง D อยู่ในกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลง C และจุดเปลี่ยนแปลง E เป็นค่าข้อมูลผิดปกติ โดยสามารถเขียนเซตของกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้ และแสดงการจัดกลุ่มที่ได้ดังรูปที่ 3.8

$$Cluster\ 1 = \{'Feature\ A', 'Feature\ B'\}$$
$$Cluster\ 2 = \{'Feature\ C', 'Feature\ D'\}$$
$$Outlier\ \ = \{'Feature\ E'\}$$

ตารางที่ 3.9 ค่าสมาชิกของเซตข้อมูลของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงสำหรับสร้างกลุ่ม

S_{xy}	$p_1(x)$	$p_2(x)$	$p_3(x)$
A	1.00	0.00	0.00
B	**0.74**	**0.26**	**9.6E-05**
C	0.00	1.00	0.00
D	**0.33**	**0.58**	**1.4E-04**
E	0.00	0.00	1.00



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มในแบบจำลองคุณลักษณะ

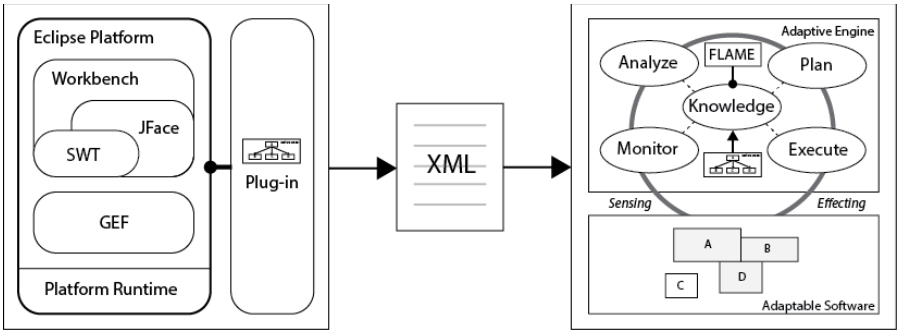
3.3 ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

โดยการออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะที่รองรับการกำหนดบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงนั้น ยังไม่มีเครื่องมือรองรับการกำหนดบริบทของจุดเปลี่ยนแปลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ กำหนดบริบทของจุดเปลี่ยนแปลง และจัดกลุ่มแบบจำลองแบบจำลองคุณลักษณะ โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาเรียกว่า Feature-Dc โดยสามารถนำออกเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล เพื่อใช้ในกระบวนการปรับตัวโดยกรอบการทำงาน MAPE-Kc ช่วยในกระบวนการปรับตัวของระบบปรับตัวเองได้ และอาศัยความคล้ายคลึงกันของบริบทของจุดปรับตัวให้อยู่กลุ่มเดียวกันโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก เพื่อหาความเหมือนกันของบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงในกิจกรรมความรู้ (Knowledge) ของกรอบการทำงาน โดยแสดงให้เห็นถึงภาพรวมการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะและกรอบการทำงาน ดังรูปที่ 3.9

ซึ่งเครื่องมือสำหรับออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc ซึ่งเป็นตัวเสริมของโปรแกรมประยุกต์อีคลิปส์ ที่รองรับการกำหนดบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงและนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่ระบุบริบทของจุดปรับตัว ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีคุณลักษณะลูกมากกว่าหนึ่งคุณลักษณะเพื่อใช้ในกรอบการทำงาน MAPE-Kc นั้นจะอธิบายการออกแบบและการพัฒนาเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะเพิ่มเติมในบทที่ 4

กรอบการทำงาน MAPE-Kc นั้นอ่านแบบจำลองคุณลักษณะและบริบทของจุดปรับตัวจากเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล (XML) ที่นำเข้าไปสู่กระบวนการทำงานโดยกิจกรรมความรู้จะประมวลผล

เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลนี้เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะที่มีในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลและคุณลักษณะที่สร้างขึ้นในระบบซอฟต์แวร์ และใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกเพื่อหาความเหมือนกันของบริบทของจุดปรับตัวในแบบจำลองคุณลักษณะเพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับกิจกรรมอื่นๆ ของกรอบการทำงาน MAPE-Kc ในขณะที่ระบบทำงาน



รูปที่ 3.9 ภาพรวมของเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

3.3.1 ความต้องการที่เป็นหน้าที่หลักของเครื่องมือจัดกลุ่มจำลองคุณลักษณะ

เครื่องมือสำหรับออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะที่รองรับการกำหนดบริบทให้กับจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะนั้น ซึ่งมีความต้องการที่เป็นหน้าที่หลัก (Functional Requirement) ดังนี้

- สามารถสร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะและสร้างคุณลักษณะเริ่มต้นในแบบจำลองคุณลักษณะได้
- สามารถสร้างคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะได้
- สามารถเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะได้
- สามารถลบคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะได้
- สามารถกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะที่เป็นคุณลักษณะของจุดเปลี่ยนแปลงได้
- สามารถเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตามความสัมพันธ์ของแบบจำลองคุณลักษณะ
- สามารถเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของแบบจำลองคุณลักษณะ
- สามารถกำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะของแบบจำลองคุณลักษณะได้
- สามารถจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะได้
- สามารถนำออกแบบจำลองคุณลักษณะที่สร้างขึ้นเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลได้

3.3.2 การออกแบบโครงสร้างเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล

ในการพรรณนาแบบจำลองคุณลักษณะในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล (XML Document) สามารถดำเนินการได้โดยใช้ภาษาเอ็กซ์เอ็มแอล ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของภาษาเอ็กซ์เอ็มแอลทั่วไปประกอบด้วยส่วนของป้ายระบุสวนย่อย (Tag Element) และคุณลักษณะประจำ (Attribute) โดยจะแสดงรายละเอียดของแบบจำลองคุณลักษณะมาตรฐานและเพิ่มเติมส่วนของการกำหนดบริบทในคุณลักษณะที่เป็นจุดปรับตัวซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เป็นคุณลักษณะแม่ที่มีคุณลักษณะลูกมากกว่า 1 คุณลักษณะ ดังรูปที่ 3.10

รายละเอียดของเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่สร้างด้วยเครื่องมือออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะนี้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.10 เป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลของแบบจำลองคุณลักษณะที่ประกอบด้วย 8 คุณลักษณะ อธิบายรายละเอียดดังนี้

```
บรรทัดที่ 1 :  <?xml version=“1.0” encoding=“UTF-8”?>
บรรทัดที่ 2 :  <featureModel>
บรรทัดที่ 3 :      <feature name=“Feature” relation=“and”>
บรรทัดที่ 4 :          <feature name=“Feature1” relation=“and”>
บรรทัดที่ 5 :              <feature name=“Feature4” constraint=
                           “Feature2;Require;Source”/>
บรรทัดที่ 6 :              <feature name=“Feature5”/>
บรรทัดที่ 7 :              <context name=“Context1” condition=
                           “codition1” location=“location1”/>
บรรทัดที่ 8 :          </feature>
บรรทัดที่ 9 :          <feature name="Feature2" constraint=“Feature4;
                       Require;Target”/>
บรรทัดที่ 10 :         <feature name="Feature3" mandatory="true"/>
บรรทัดที่ 11 :     </feature>
บรรทัดที่ 12 :     <context name="Context1"/>
บรรทัดที่ 13 :  </featureModel>
```

รูปที่ 3.10 เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่สร้างขึ้นโดยเครื่องมือ Feature-Dc

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรทัดที่ 1 เป็นส่วนของการประกาศโดยป้ายระบุของส่วนย่อยจะขึ้นด้วย “<?xml” และคุณลักษณะประจำคือ “version=”1.0”” เป็นรุ่นของเอกสาร และ “encoding=”UFT-8” เป็นการเข้ารหัสเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล

บรรทัดที่ 2 เป็นป้ายระบุส่วนย่อยฐาน (Root element) ของแบบจำลองคุณลักษณะ โดยจะแทนด้วย “<featureModel>”

บรรทัดที่ 3 – 6, 8 - 10 เป็นส่วนระบุส่วนย่อยของแต่ละคุณลักษณะ จะขึ้นต้นด้วย “<Feature” และตามด้วยคุณลักษณะประจำ 4 ประเภทคือ

“name=” เป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกชื่อของคุณลักษณะตามด้วยชื่อของคุณลักษณะ

“relation=” เป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะแม่และคุณลักษณะลูกมี 3 แบบ คือ “and” “or” และ “alternative” ซึ่งคุณลักษณะประจำดังกล่าวจะมีเฉพาะคุณลักษณะที่มีคุณลักษณะลูกเท่านั้น ถ้าเป็นคุณลักษณะที่ไม่มีคุณลักษณะลูกจะไม่มีคุณลักษณะประจำนี้ “mandatory=” เป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกความสัมพันธ์ของคุณลักษณะซึ่งมี 2 แบบคือ “mandatory” จะใช้ค่าเป็น “true” และ “optional” จะใช้ค่าเป็น “false” “constraint=” เป็นข้อจำกัดของคุณลักษณะนั้นๆ ที่มีต่อคุณลักษณะอื่นโดยจะตามด้วยชื่อของคุณลักษณะที่มีข้อจำกัดด้วย และตามด้วยคุณลักษณะเฉพาะของข้อจำกัดดังกล่าวซึ่งจะมี 2 ประเภท คือชนิดของข้อจำกัดโดยจะเป็น “Require” หรือ “Exclude” และการเชื่อมโยงว่าจะเป็น “Source” หรือ “Target” ถ้าเป็นคุณลักษณะที่ไม่มีคุณลักษณะลูกจะลงท้ายด้วยป้าย “/>” แต่ถ้าเป็นคุณลักษณะที่มีคุณลักษณะลูกจะลงท้ายด้วย “>” และขั้นต่อไปจะเป็นคุณลักษณะลูก และป้าย “</feature>” เป็นคุณลักษณะส่วนย่อยที่บ่งบอกว่าจบคุณลักษณะที่มีคุณลักษณะลูกแล้ว

บรรทัดที่ 7 เป็นป้ายระบุส่วนย่อยที่บ่งบอกถึงบริบทการปรับของจุดเปลี่ยนแปลง จะขึ้นต้นด้วย “<context” และตามด้วยคุณลักษณะประจำ 3 ประเภทคือ “name=” เป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกถึงชื่อของบริบทการปรับ “condition” เป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกถึงเงื่อนไขของการปรับตัวของบริบทการปรับ และ “location” เป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกถึงตำแหน่งของการปรับตัวของบริบทการปรับ

บรรทัดที่ 12 เป็นป้ายระบุส่วนย่อยที่บ่องบอกถึงบริบทที่มีอยู่ในแบบจำลองคุณลักษณะ จะขึ้นต้นด้วย “<context” และตามด้วยคุณลักษณะ “name=” ซึ่งเป็นคุณลักษณะประจำที่บ่งบอกถึงชื่อของบริบท สำหรับเลือกใช้บริบทของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลง

บรรทัดที่ 13 เป็นป้ายระบุส่วนย่อยที่บ่งบอกส่วนสุดท้ายของแบบจำลองคุณลักษณะโดยจะแทนด้วย “</featureMode>”

3.3.3 กรอบการทำงานระบบปรับตัวเองที่รองรับการจัดกลุ่ม

ตามวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบการทำงาน MAPE-Kc สำหรับกระบวนการปรับตัวในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กลไกการปรับตัว (Adaptive Engine) และซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ (Adaptable Software) ทำงานร่วมกันโดย

การส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันด้วยการรับรู้ (Sensing) และการส่งผล (Effecting) โดยที่ภาพรวมของกรอบการทำงานแสดงในรูปที่ 3.11

ซึ่งกรอบการทำงานที่นำเสนอนี้เพื่อนำเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่ได้จากเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะมาใช้งานเพื่อเป็นข้อมูลในการจัดกลุ่มซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ในส่วนของความรู้

กลไกการปรับตัวได้ มาจากพิมพ์เขียวของบริษัทไอบีเอ็ม (IBM's blueprint) สำหรับระบบปรับตัวเองเรียกว่า MAPE-Kc ซึ่งประกอบด้วย 5 วงจรกิจกรรมดังนี้

การเฝ้าสังเกต (Monitor) เป็นกิจกรรมที่รวบรวมรายละเอียดของข้อมูลจากทรัพยากรที่จัดการได้และเฝ้าสังเกตบริบทที่เปลี่ยนแปลงโดย การรวบรวม (Aggregate), ความสัมพันธ์ร่วมกัน (Correlates) และการกลั่นกรอง (Filter) จนกระทั่งระบบพิจารณาแล้วว่าจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์

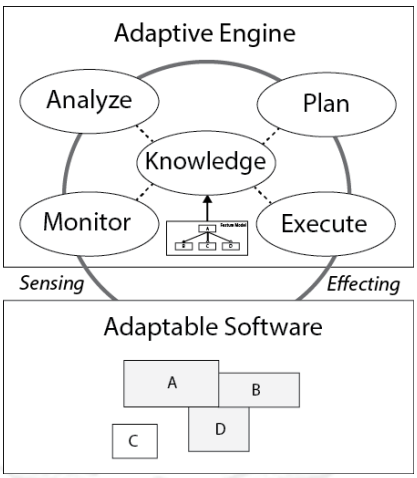
การวิเคราะห์ (Analysis) เป็นกิจกรรมที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนและมีเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงระบบที่ได้จากกิจกกรมการเฝ้าสังเกตโดยใช้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในกิจ กรรมความรู้ (Knowledge) ถ้าวิเคราะห์แล้วว่าจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องส่งผ่านข้อมูลไปยังการวางแผน

การวางแผน (Plan) เป็นกิจกรรมที่ทำการสร้างโครงสร้างของการดำเนินการที่จำเป็นเพื่อทำให้บรรลุเป้าหมายของการเปลี่ยนแปลงแปลงระบบด้วยการสร้างกระบวนคำสั่งที่จะกระทำในทรัพยากรที่จัดการได้เพื่อดำเนินงานตามคำสั่งที่สร้างขึ้น

การปฏิบัติการ (Execute) เป็นกิจกรรมสำหรับเปลี่ยนแปลงตามพฤติกรรมการปรับของทรัพยากรที่จัดการได้โดยใช้ส่วนของการเกิดผลขึ้นอยู่กับการกระทำที่ถูกวางแผนในกิจกรรมการวางแผน

ความรู้ (Knowledge) เป็นกิจกรรมสำหรับเก็บรวบรวมมาตรฐานและแบบจำลองคุณลักษณะโดยจะทำการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะด้วยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก และเพื่อแบ่งปันกับกิจกรรมทั้ง 4 กิจกรรมที่กล่าวมาแล้วในขณะทำงาน

ซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ ประกอบด้วยส่วนของสินทรัพย์ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นแล้วในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่สามารถปรับโครงแบบได้เก็บไว้ในส่วนของสินทรัพย์สำหรับการยึดเหนี่ยวในระหว่างการทำงานของกรอบการทำงานในซอฟต์แวร์ดังรูปที่ 3.11 เมื่อกรอบการทำงานประมวลผลแล้วว่าต้องเปลี่ยนแปลงระบบจากการส่งผลมาจากกระบวนการการปรับโครงแบบที่กิจกรรมวิเคราะห์และกิจกรรมวางแผนไว้แล้ว



รูปที่ 3.11 ภาพรวมกรอบการทำงาน MAPE-Kc

แบบจำลองคุณลักษณะจะถูกอธิบายด้วยเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล ซึ่งจะใช้นำเข้าไปยังกลไกการปรับตัวในช่วงแรกของการทำงานของกรอบการทำงานและสำหรับกระบวนการทำงานต่อไปของกรอบการทำงานดังวิธีการจัดกลุ่มที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถแสดงรายละเอียดของกรอบการทำงานตามแผนภาพลำดับดังรูปที่ 3.12 ดังนี้

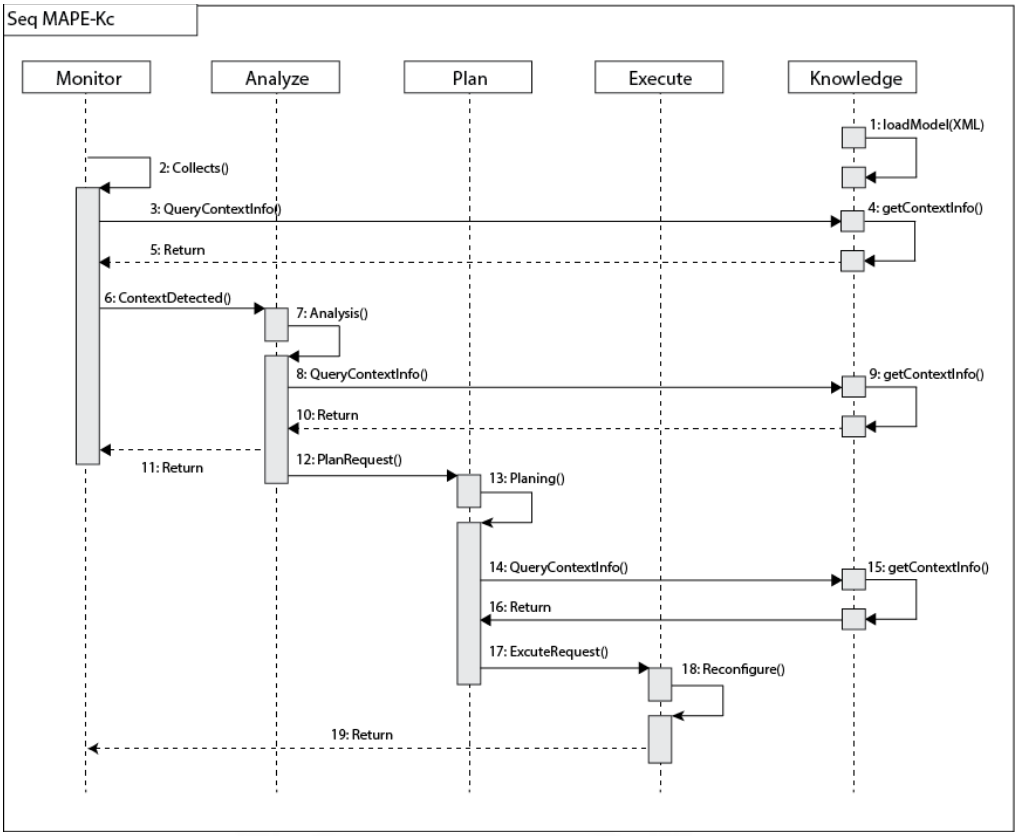
1) นำเข้าเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลเข้ามาในระบบและใช้ขั้นตอนวิธี FLAME ในการจัดกลุ่ม
2) เก็บรวบรวมบริบทที่เปลี่ยนแปลงในกิจกรรมการเฝ้าสังเกต
3) เรียกข้อมูลบริบทจากกิจกรรมความรู้
4) จัดหาข้อมูลบริบทในกิจกรรมความรู้
5) ตอบกลับข้อมูลบริบทสู่กิจกรรมเฝ้าสังเกต
6) ตรวจจับบริบทได้ในกิจกรรมเฝ้าสังเกต โดยเรียกไปยังกิจกรรมวิเคราะห์
7) วิเคราะห์บริบทที่ตรวจจับได้
8) เรียกข้อมูลบริบทจากกิจกรรมความรู้
9) จัดหาข้อมูลบริบทในกิจกรรมความรู้
10) ตอบกลับข้อมูลบริบทสู่กิจกรรมวิเคราะห์
11) ถ้าวิเคราะห์แล้วว่าไม่จำต้องปรับโครงแบบจะส่งกลับไปยังกิจกรรมเฝ้าสังเกต
12) ถ้าวิเคราะห์แล้วว่าจำเป็นต้องปรับโครงแบบ จะเรียกไปยังกิจกรรมวางแผน
13) วางแผนการปรับโครงแบบ
14) เรียกข้อมูลบริบทจากกิจกรรมความรู้
15) จัดหาข้อมูลบริบทในกิจกรรมความรู้

16) ตอบกลับข้อมูลบริบทสู่กิจกรรมวางแผน

17) เรียกไปยังกิจกรรมปฏิบัติการเพื่อร้องขอการปรับโครงแบบ

18) ปรับโครงแบบตามแบบแผนที่สร้างขึ้นในกิจกรรมการวางแผน

19) ส่งกลับลำดับกลับไปยังกิจกรรมการเฝ้าสังเกตเพื่อรวบรวมบริบทอีกครั้ง



รูปที่ 3.12 แผนภาพลำดับของกรอบการทำงานการปรับตัวเอง MAPE-Kc

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

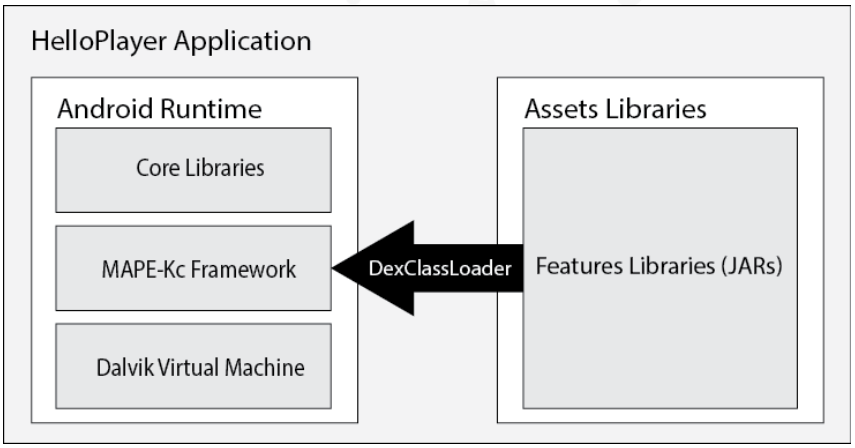
3.4 ออกแบบและพัฒนากรณีศึกษาของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

จากแบบจำลองคุณลักษณะของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแต่ละคุณลักษณะจะต้องมีคุณสมบัติสภาพเป็นส่วนจำเพาะ (Modularity) เพื่อที่จะให้แต่ละคุณลักษณะสามารถยืดเหนี่ยวและปลดปล่อยได้ในขณะทำงาน

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นั้นจะใช้ภาษาจาวาเป็นภาษาสำหรับการพัฒนา ซึ่งแพ็กเกจ (package) ในภาษาจาวามีคุณสมบัติของสภาพเป็นส่วนจำเพาะโดยสามารถจัดเก็บในรูปแบบของการบีบอัดแฟ้มเอกสารเป็นแฟ้มเอกสารจาร์ (JAR file) ซึ่งเป็นเสมือนคุณสมบัติสภาพเป็นส่วนเฉพาะของโปรแกรมประยุกต์ระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวได้

ดังนั้นในกรณีศึกษานี้จะออกแบบให้แต่ละคุณลักษณะอยู่ในรูปแบบของแพ็กเกจและจัดเก็บแต่ละคุณลักษณะในรูปแบบของแฟ้มเอกสารจาร์ ซึ่งจัดเจ็บไว้ในส่วนของทรัพย์สินหลัก โดยที่จะไม่ถูกเรียกใช้งานในตอนเริ่มต้นของระบบ และใช้คุณสมบัติ DexClassloader ของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์เพื่อเรียกใช้งานแฟ้มเอกสารจาร์ที่บรรจุแฟ้มเอกสารเด็กซ์ (DEX file) และอีกคุณสมบัติของภาษาจาวาคือคลาสโหลดเดอร์ (Classloader) เพื่อโหลดคลาสของคุณลักษณะมายังเครื่องเสมือนดาลวิก (Dalvik Virtual Machine) ของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์โดยใช้กรอบการทำงาน MAPE-Kc เพื่อทำให้โปรแกรมประยุกต์เป็นระบบปรับตัวเองได้ โดยแผนภาพกิจกรรมแสดงภาพรวมการออกแบบและพัฒนากรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.13 และสถาปัตยกรรมของกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.14 ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบจะแสดงในบทที่ 5

รูปที่ 3.13 แผนภาพกิจกรรมแสดงภาพรวมการออกแบบและพัฒนากรณีศึกษา

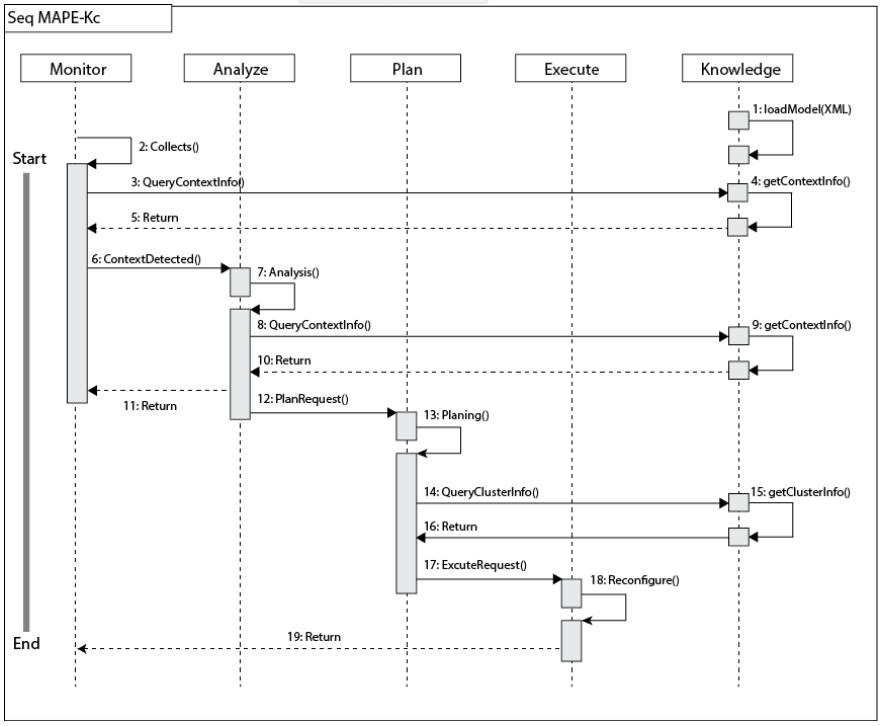


รูปที่ 3.14 ภาพรวมการทำงานของกรณีศึกษาบนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์

3.5 วิธีการประเมินของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

จากวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกในกิจกรรมความรู้ของกรอบการทำงานซอฟต์แวร์ปรับตัว MAPE-Kc ซึ่งในส่วนนี้วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะทำการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงตามบริบทของจุดเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นพฤติกรรมการปรับของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวและข้อจำกัดของคุณลักษณะ ซึ่งในกิจกรรมการเฝ้าสังเกตจะรวบรวมบริบทของการปรับตัวและส่งให้กิจกรรมการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาการปรับตัวและพิจารณากลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลงเพื่อส่งให้กิจกรรมวางแผนสำหรับสร้างโครงแบบของการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ของจุดเปลี่ยนแปลงนั้นๆ และจุดเปลี่ยนแปลงลูกตามบริบทของการเปลี่ยนแปลง และส่งให้กิจกรรมการปฏิบัติการเพื่อทำการบรรจุซอฟต์แวร์ เข้าไปในระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในขณะทำงาน และเมื่อเสร็จสิ้นการปฏิบัติการกรอบการทำงานจะกลับไปดำเนินการกิจกรรมการเฝ้าสังเกตเพื่อสังเกตการและรวบรวมบริบทของระบบซอฟต์แวร์ต่อไป

ซึ่งจากวิธีการทำงานของกรอบการทำงานร่วมกับการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะดังกล่าวสามารถกำหนดวิธีการประเมินผลของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะได้ด้วยการวัดระยะเวลาในการเริ่มต้นเข้าสู่กิจกรรมเฝ้าสังเกตจนกระทั่งกรอบการทำงานกลับมาสู่กิจกรรมเฝ้าสังเกตอีกครั้ง ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวจะรวมการบรรจุส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ไว้ด้วยดัง โดยเรียกระยะเวลาดังกล่าวว่าเป็น ระยะเวลาในการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้



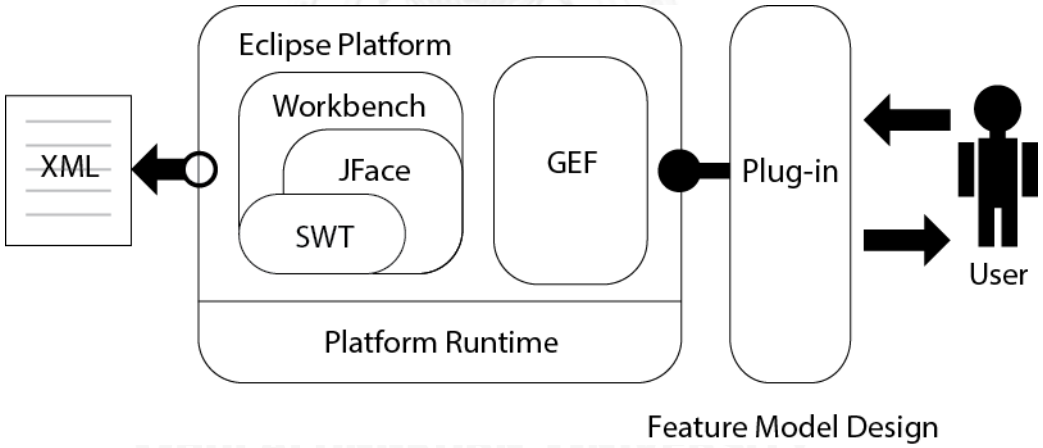
รูปที่ 3. 15 การวัดระยะเวลาในการทำงานกรอบการทำงาน MAPE-Kc

บทที่ 4
การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือ Feature-Dc ซึ่งเป็นตัวเสริมของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ สำหรับสร้างแบบจำลองคุณลักษณะที่รองรับการกำหนดบริบทของจุดปรับของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เชิงพลวัต

4.1 ภาพรวมการออกแบบเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ

เครื่องมือสำหรับออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้จะชื่อว่า Feature-Dc (Dc ย่อมาจาก Design Context) จะเขียนด้วยภาษาจาวาและทำงานเป็นตัวเสริม (Plug-in) ของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ (Eclipse) โดยใช้กรอบการทำงานแก้ไขเชิงกราฟ (Graphical Editing Framework) หรือ จีอีเอฟ (GEF) เพื่อควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้ และสามารถนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลได้แสดงภาพรวมการทำงานของเครื่องมือได้ซึ่งเป็นไปตามความต้องการที่เป็นหน้าที่หลักในบทที่ 3 และแสดงให้เห็นสถาปัตยกรรมของเครื่องมือจากรูปที่ 3.9 ในบทที่ 3 ที่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างเครื่องมือ Feature-Dc และผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพรวมการทำงานของเครื่องมือ Feature-Dc

กรอบการทำงานแก้ไขเชิงกราฟ เป็นกรอบการทำงานที่ใช้สำหรับสร้างเครื่องมือแก้ไขกราฟและแสดงกราฟสำหรับส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบดังรูปที่ 4.1 ดังนี้

1) ส่วน Draw2D *(org.eclipse.draw2d)* เป็นส่วนประกอบของชุดเครื่องมือสำหรับการวางผังและการสร้างรูปสำหรับแสดงรูปภาพกราฟฟิกส์บนเครื่องมือวาด SWT.

2) ส่วน GEF (MVC) *(org.eclipse.gef)* เป็นส่วนของกรอบการทำงานที่ใช้แบบแผนสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์แบบ โมเดล-วิว-คอนโทรนเลอร์ (Model-View-Controller: MVC) ซึ่งจะ

เป็นการส่งเสริมกันของการพัฒนาของการวาดโดยใช้ STW และ Draw2D สำหรับส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์

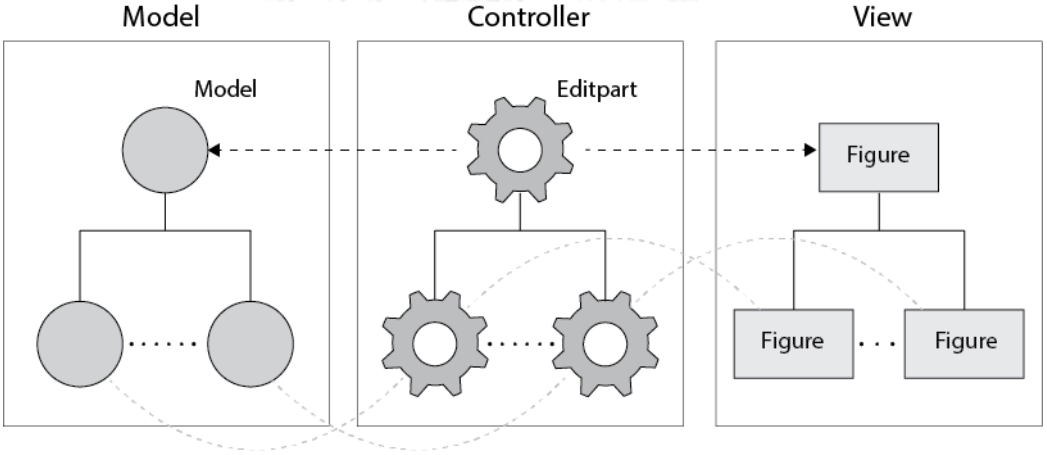
3) ส่วน Zest *(org.eclipse.gef)* เป็นส่วนของชุดเครื่องมือสำหรับวาดรูปที่มีพื้นฐานมาจาก Draw2D ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพของการมองเห็นกราฟฟิกส์ (Graphical views) สำหรับส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์

ในงานวิจัยนี้จะใช้เพียง 2 ส่วนประกอบคือ Draw2D และ GEF เท่านั้น โดยจะใช้ Draw2D สำหรับการวาดแบบจำลองคุณลักษณะและใช้กรอบการทำงาน GEF สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้แบบแผนสถาปัตยกรรมแบบ โมเดล-วิว-คอนโทรลเลอร์ รายละเอียดดังนี้

โมเดล (Model) เป็นส่วนของข้อมูลซึ่งรวบรวมตรรกะของงาน (Business logic) และ ข้อมูล (Information) ไว้ ซึ่งจะถูกใช้งานในทุกส่วนของโปรแกรม ตัวรับรู้เหตุการณ์ (Listener) จะถูกติดมากับวัตถุโมเดลซึ่งจะมีการแจ้งเตือนเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น

วิว (View) เป็นส่วนที่รับผิดชอบในการวาดรูปภาพแบบจำลองและส่งผ่านเหตุการณ์ (Event) ของผู้ใช้งานไปยังตัวรับรู้เหตุการณ์ที่ติดอยู่กับโมเดล

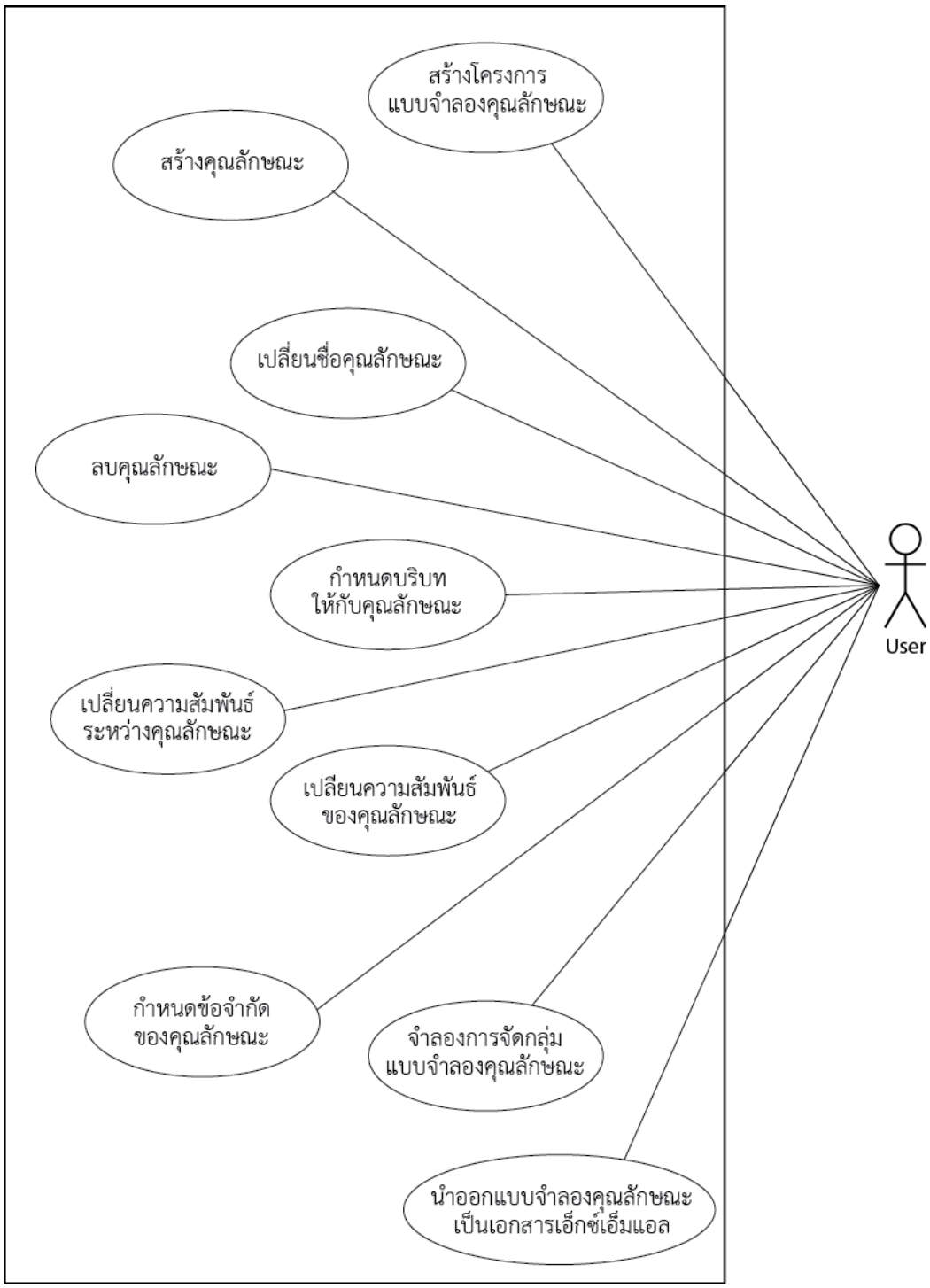
คอนโทรนเลอร์ (Controller) เป็นส่วนที่เชื่อมโยงระหว่างโมเดลและวิว ซึ่งจะทำการปรับปรุงวิวเมื่อโมเดลเปลี่ยนแปลงและจะปรับปรุงโมเดลเมื่อมีเหตุการณ์จากผู้ใช้งานเกิดขึ้นที่วิว



รูปที่ 4.2 แสดงแบบแผนสถาปัตยกรรมแบบ โมเดล-วิว-คอนโทรลเลอร์ของกรอบการทำงานจีอีเอฟ

4.2 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram)

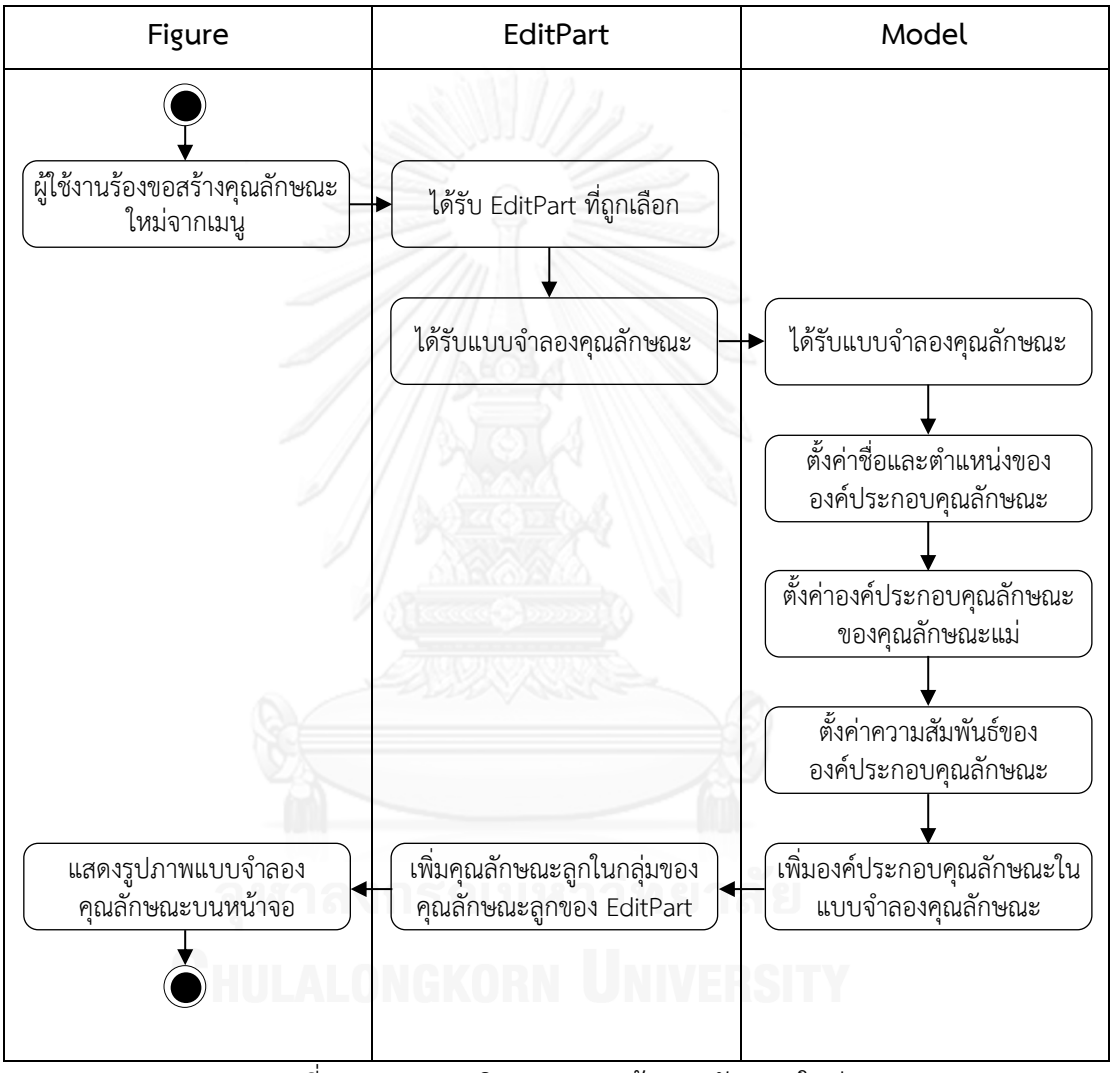
แผนภาพยูสเคสดังรูปที่ 4.3 ใช้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้งาน (User) และระบบ ในระบบเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะนี้มีเพียงแอกเตอร์ (Actor) เดียวคือ User เป็นผู้ใช้งานเครื่องมือเพื่อสร้างแบบจำลองคุณลักษณะและนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลไปใช้ในกลไกปรับตัวได้ของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง ซึ่งคำอธิบายยูสเคสแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.3 แผนภาพยูสเคสของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ Feature-Dc

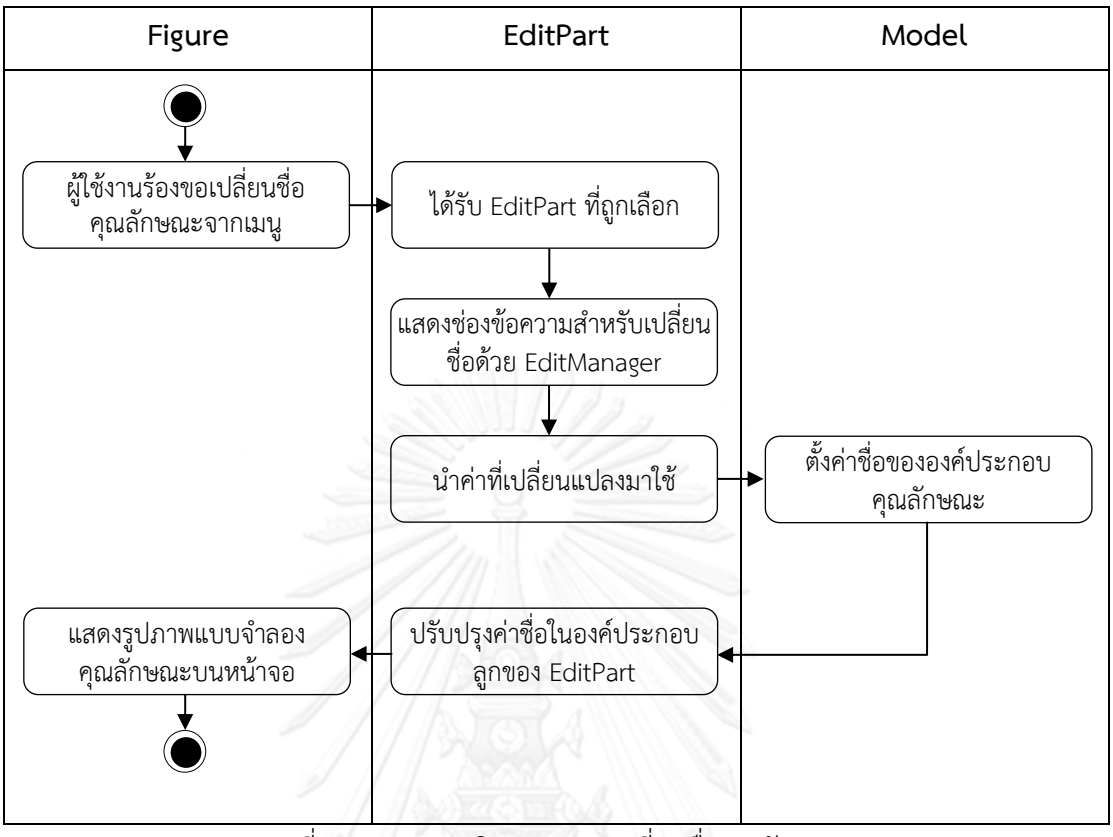
4.3 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram)

เครื่องมือออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะ Feature Dc นี้จะทำงานบนพื้นฐานของแบบแผนสถาปัตยกรรมแบบ โมเดล-วิว-คอนโทรลเลอร์ ดังนั้นการออกแบบแผนภาพกิจกรรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน และจะแสดงแผนภาพกิจกรรมตามกการกระทำ (Action) ที่เกิดขึ้นในเครื่องมือดังนี้

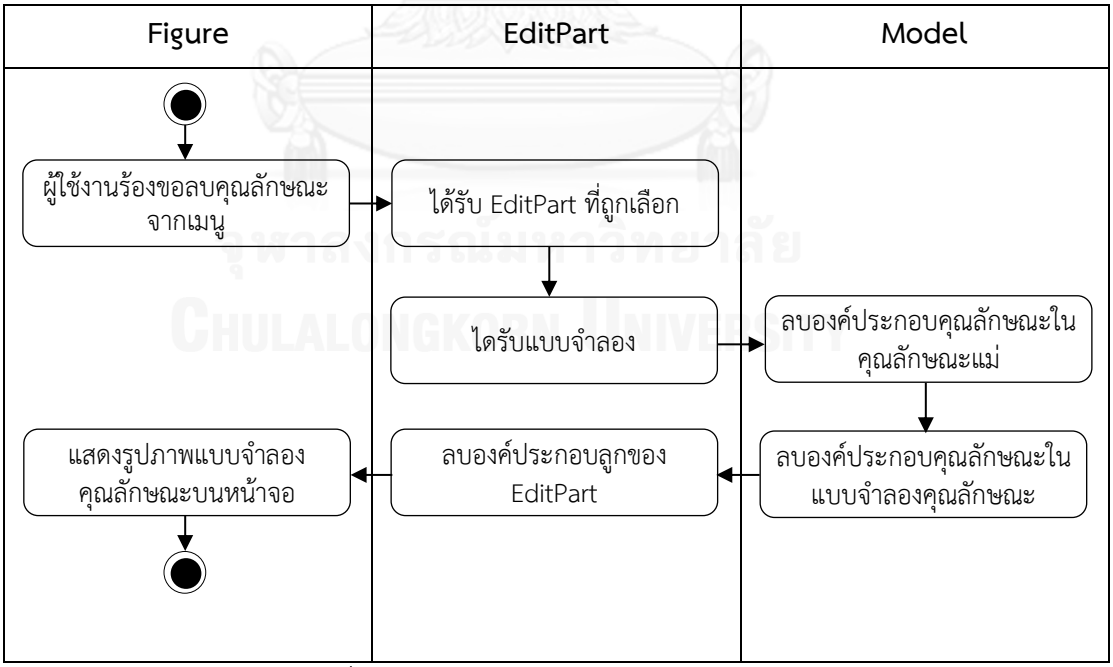


รูปที่ 4.4 แผนภาพกิจกรรมการสร้างคุณลักษณะใหม่

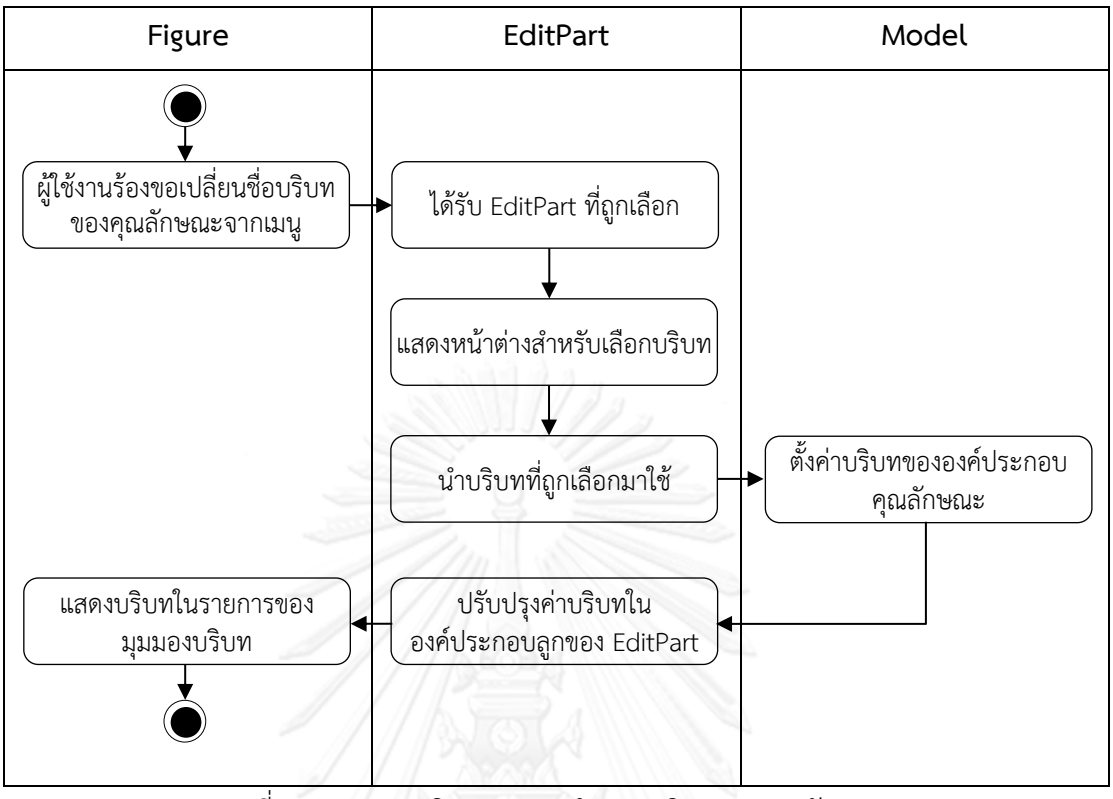
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



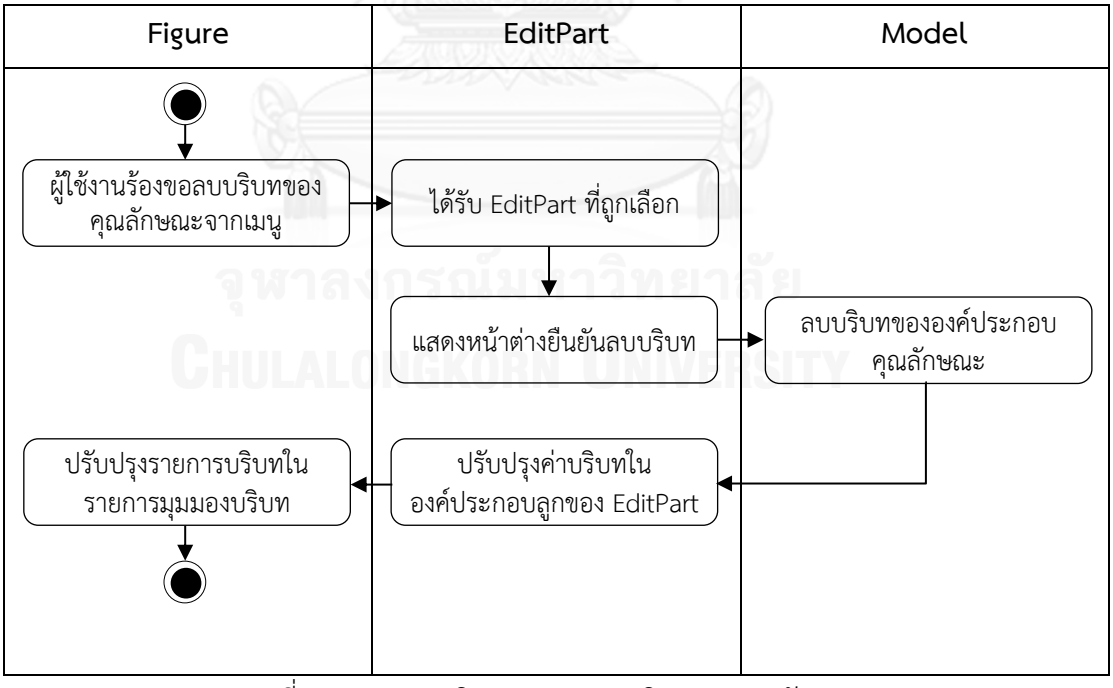
รูปที่ 4.5 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ



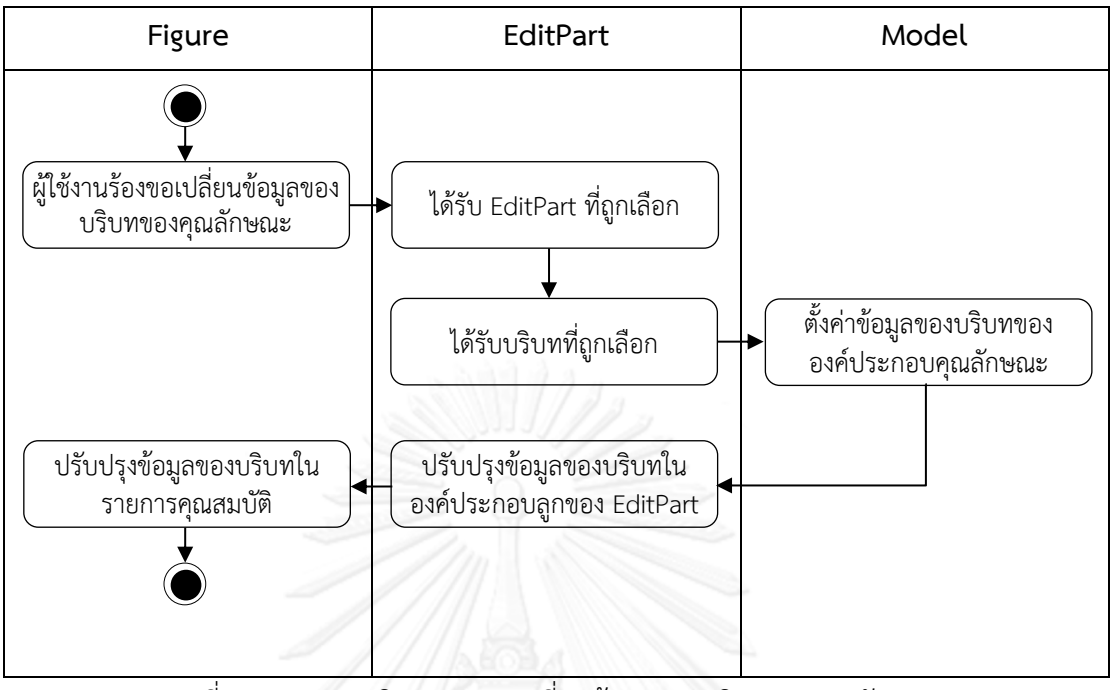
รูปที่ 4.6 แผนภาพกิจกรรมการลบคุณลักษณะ



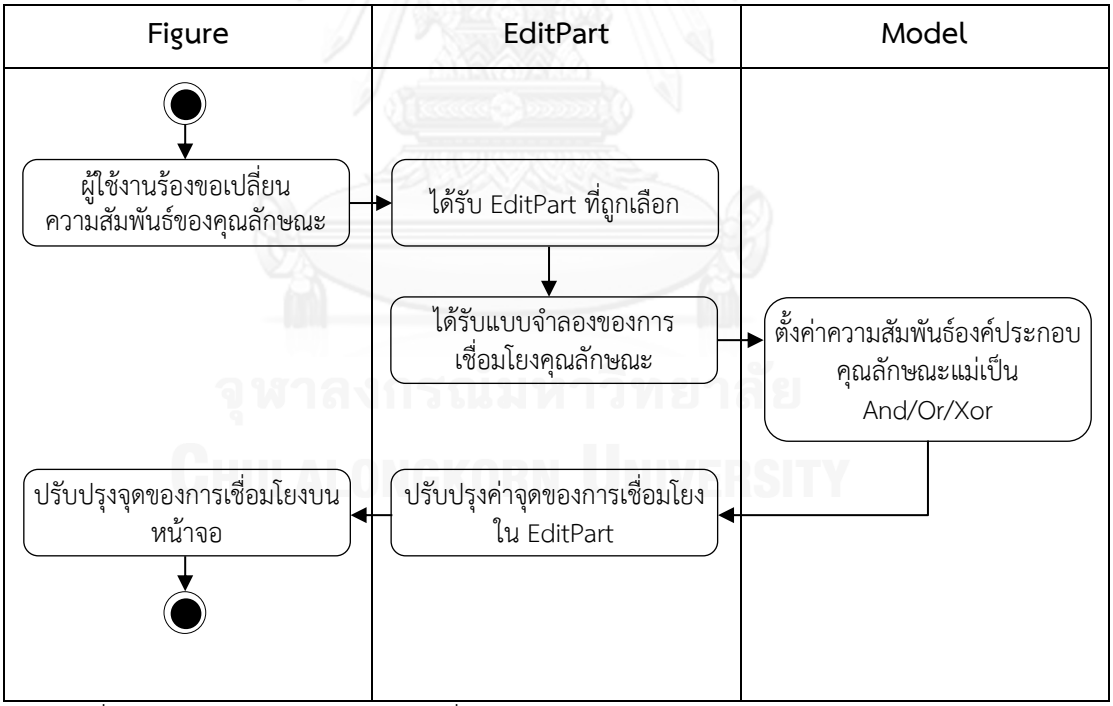
รูปที่ 4.7 แผนภาพกิจกรรมการกำหนดบริบทของคุณลักษณะ



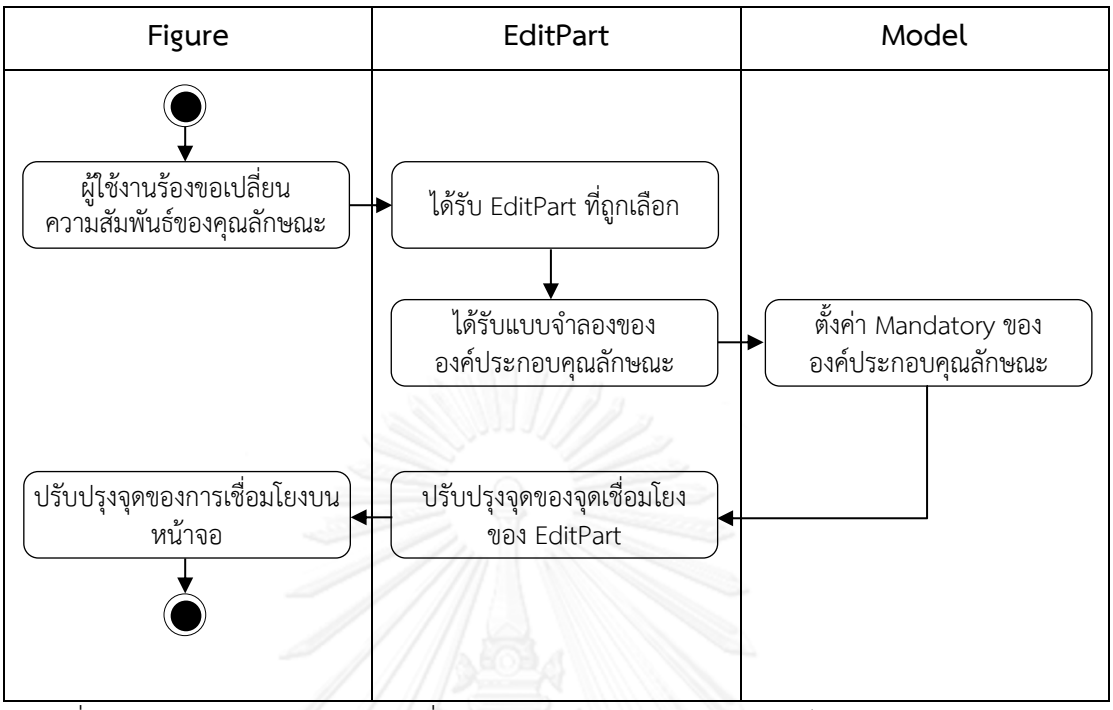
รูปที่ 4.8 แผนภาพกิจกรรมการลบบริบทของคุณลักษณะ



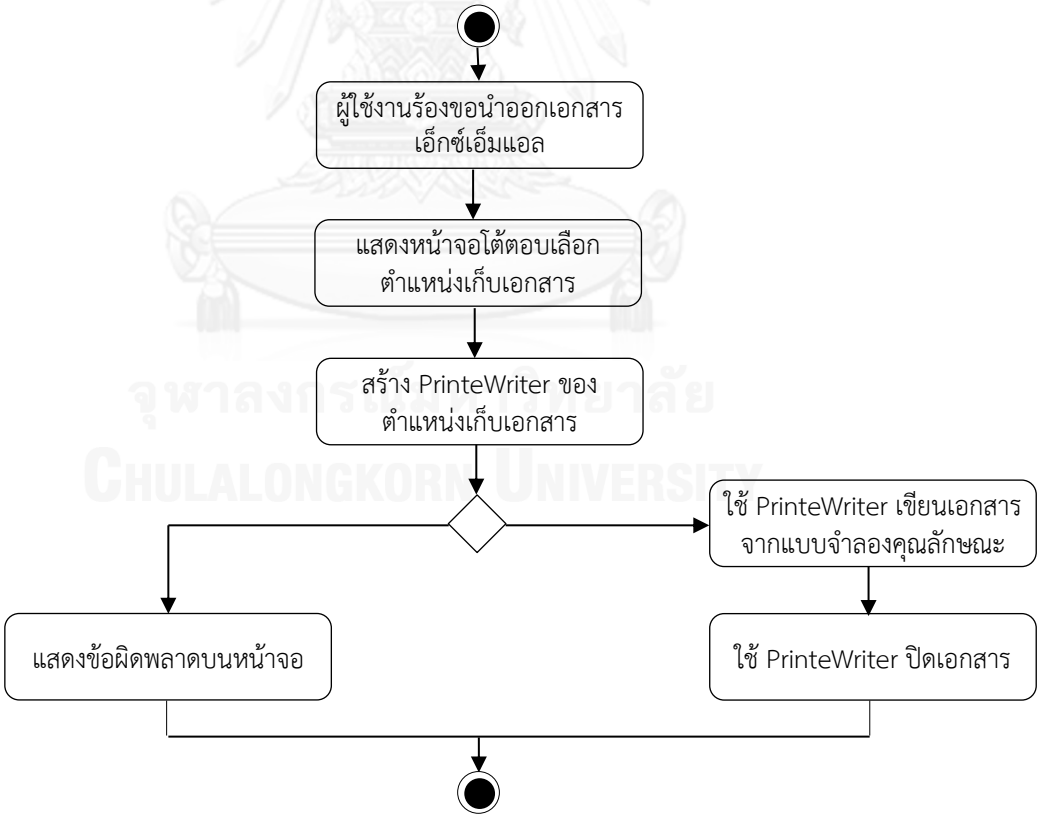
รูปที่ 4.9 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนข้อมูลของบริบทของคุณลักษณะ



รูปที่ 4.10 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเป็น And/Or/Xor



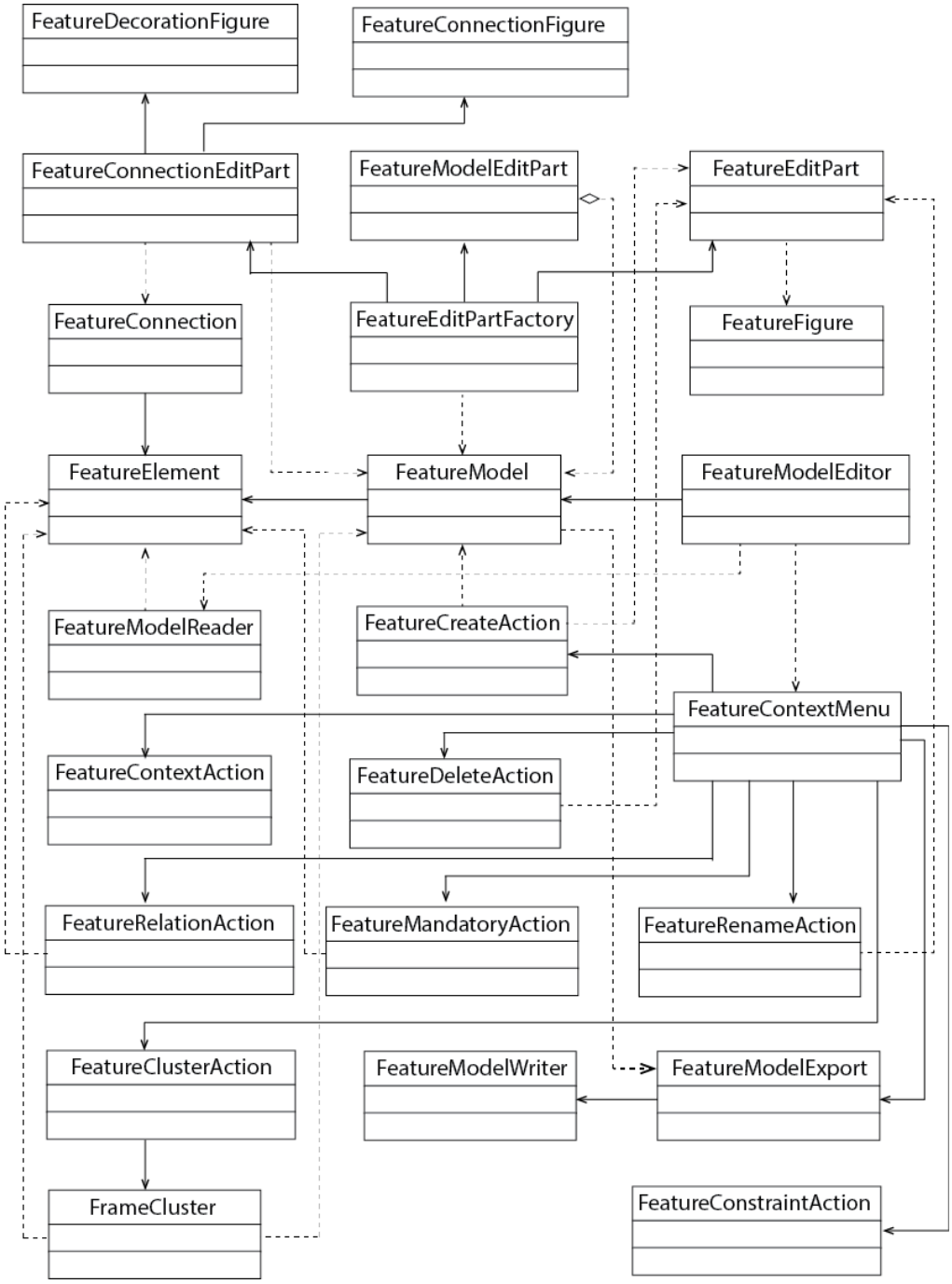
รูปที่ 4.11 แผนภาพกิจกรรมการเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะเป็น Mandatory/Option



รูปที่ 4.12 แผนภาพกิจกรรมการนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล

4.4 แผนภาพคลาส (Class Diagram)

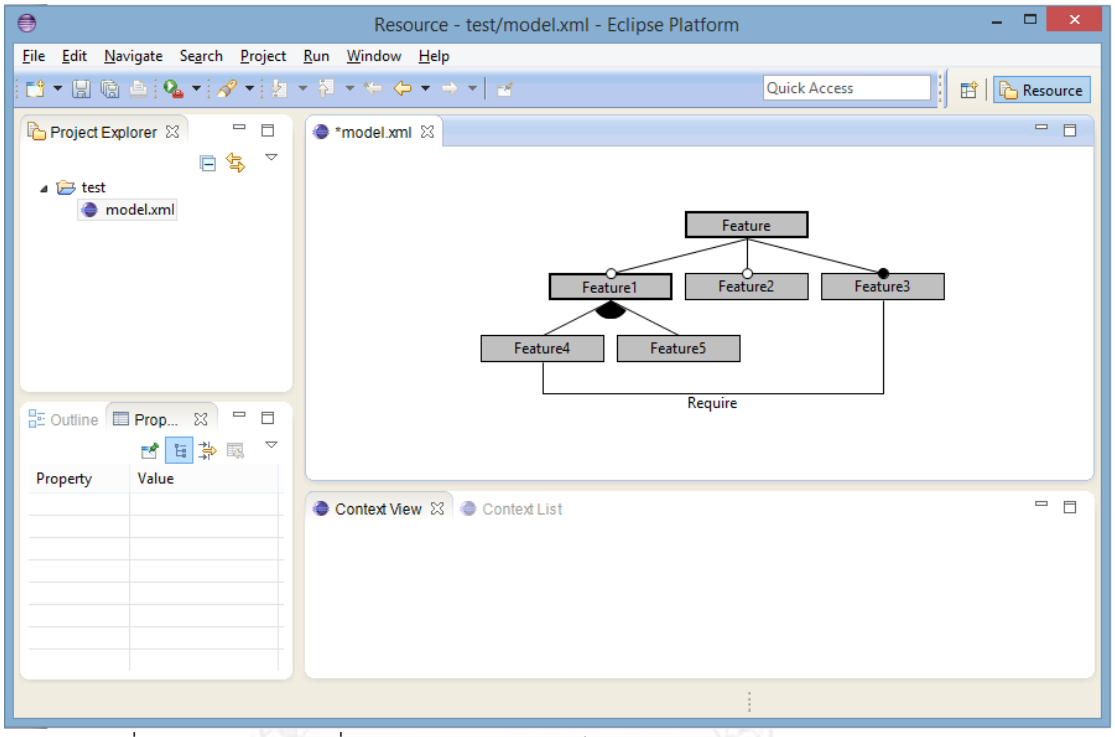
ในแผนภาพคลาสในรูปที่ 4.13 ของเครื่องมือ Feature-Dc นั้นจะประกอบด้วยคลาสทั้งหมด 21 คลาส ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของแต่ละคลาสในการ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกัน ในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.13 แผนภาพคลาสของเครื่องมือ Feature-Dc

4.5 การทดลองใช้งานเครื่องมือ Feature-Dc

ภาพรวมของส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของส่วนเสริมเครื่องมือ Feature-Dc สำหรับออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะในโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ดังที่ได้ออกแบบไว้ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.14 ดูรายละเอียดการใช้งานทั้งหมดได้ในภาคผนวก ข และผลการทดลองในบทที่ 6



รูปที่ 4.14 ภาพรวมเครื่องมือ Feature-Dc เป็นส่วนเสริมในโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์

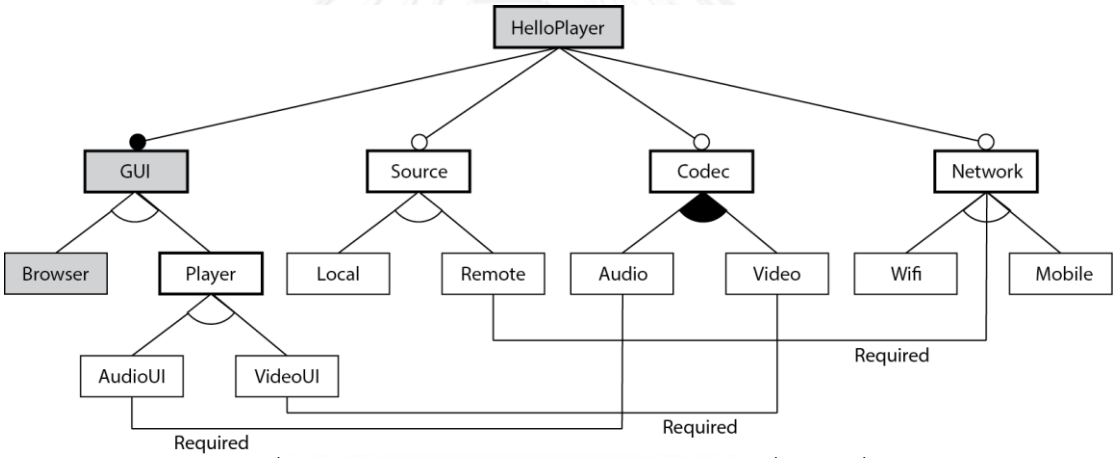
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การออกแบบและพัฒนากรณีศึกษา

ในบทนี้จะใช้กรณีศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นสำหรับวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับ โดยจะแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้ทำงานอย่างไรในโปรแกรมประยุกต์

5.1 ข้อกำหนดความต้องการของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ที่มาของกรณีศึกษานี้เพื่อแสดงให้เห็นสำหรับวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับนี้เป็นโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Application) เครื่องเล่นสื่อ (Media player) ที่สร้างกลุ่มของผลิตภัณฑ์ขึ้นบนระบบที่ใช้สำหรับการเล่นวีดีทัศน์และเพลงบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยที่กรณีศึกษานี้จะปฏิบัติการสำหรับการเปลี่ยนแปลงหลังติดตั้งใช้งาน (Post-deployment) ในความหลากหลายของข้อจำกัดของทรัพยากรฮาร์ดแวร์ของระบบ โดยที่สายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ใช้แบบจำลองคุณลักษณะด้วยแผนภาพคุณลักษณะเพื่ออธิบายความหลากหลายของระบบแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองคุณลักษณะสำหรับระบบเครื่องเล่นสื่อ

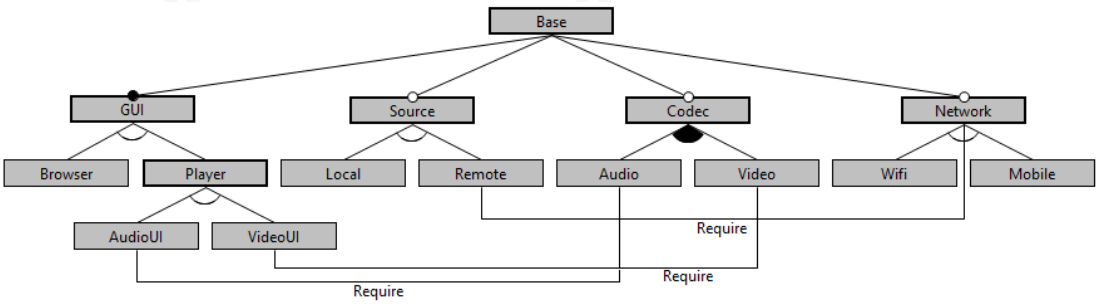
แบบจำลองคุณลักษณะแสดงความหลากหลายของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อสร้างขึ้นจากสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ทั้งหมด 14 คุณลักษณะ ประกอบด้วย

- GUI (Graphic User Interface) เป็นคุณลักษณะของส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของโปรแกรมประยุกต์ สามารถเป็นคุณลักษณะ Browser หรือ Player
- Source เป็นคุณลักษณะของแหล่งของสื่อที่ใช้เล่นในโปรแกรมประยุกต์ สามารถเป็นคุณลักษณะ Local หรือ Remote
- Codec เป็นคุณลักษณะของตัวถอดรหัสของสื่อที่เล่นในโปรแกรมประยุกต์ สามารถเป็นคุณลักษณะ Audio หรือ Video
- Network เป็นคุณลักษณะของเครือข่ายสำหรับแหล่งของสื่อที่ไม่ได้อยู่ในเครื่อง สามารถเป็นคุณลักษณะ Wifi หรือ Mobile

- Browser เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ GUI สำหรับแสดงแฟ้มข้อมูลสื่อที่อยู่ในเครื่องอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยจะแสดงทั้งแฟ้มข้อมูลภาพวีดีทัศน์และแฟ้มข้อมูลเสียงเพลง
- Player เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ GUI สำหรับแสดงเครื่องเล่นแฟ้มข้อมูลภาพวีดีทัศน์และแฟ้มข้อมูลเสียงเพลง สามารถเป็นคุณลักษณะ AudioUI หรือ VideoUI
- AudioUI เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Player สำหรับแสดงเครื่องเล่นแฟ้มข้อมูลเสียงเพลง โดยมีข้อจำกัดความต้องการกับคุณลักษณะ Audio ที่เป็นคุณลักษณะลูกของ Codec
- VideoUI เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Player สำหรับแสดงเครื่องเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ โดยมีข้อจำกัดความต้องการกับคุณลักษณะ Video ที่เป็นคุณลักษณะลูกของ Codec
- Local เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Source สำหรับแหล่งข้อมูลของแฟ้มข้อมูลสื่อที่อยู่ในเครื่องอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ
- Remote เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Source สำหรับแหล่งที่มาของข้อมูลของแฟ้มข้อมูลสื่อที่อยู่บนเครือข่าย
- Audio เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Codec สำหรับตัวถอดรหัสแฟ้มข้อมูลเสียงเพลง โดยมีข้อจำกัดความต้องการกับคุณลักษณะ AudioUI
- Video เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Codec สำหรับถอดรหัสแฟ้มข้อมูลภาพวีดีทัศน์ โดยมีข้อจำกัดความต้องการกับคุณลักษณะ VideoUI
- Wifi เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Network สำหรับใช้เครือข่ายไวไฟ
- Mobile เป็นคุณลักษณะลูกของคุณลักษณะ Network สำหรับใช้เครือข่ายอุปกรณ์เคลื่อนที่

5.2 เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลของกรณีศึกษา

การสร้างเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลของแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาจะใช้เครื่องมือ Feature-Dc ออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะที่สร้างขึ้นดังรูปที่ 5.2 เพื่อออกแบบเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล ซึ่งจะได้เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 แบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาที่สร้างด้วยเครื่องมือ

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<featureModel>
```

```
    <feature name="Base" relation="and">
        <feature name="GUI" relation="alt" mendatory="true">
                <feature name="Browser"/>
                        <feature name="Player" relation="alt">
                          <feature name="AudioUI" constraint="Audio:Require:Source"/>
                          <feature name="VideoUI" constraint="Video:Require:Source"/>
                        <context name=" MediaPlaying" condition="" location=""/>
                        </feature>
                <context name="FileType " condition="" location=""/>
        </feature>
        <feature name="Source" relation="alt">
                <feature name="Local"/>
                <feature name="Remote" constraint="Network:Require:Source"/>
                <context name="FileLocation" condition="" location=""/>
        </feature>
        <feature name="Codec" relation="or">
                <feature name="Audio" constraint="AudioUI:Require:Target"/>
                <feature name="Video" constraint="VideoUI:Require:Target"/>
                <context name="FileType " condition="" location=""/>
        </feature>
        <feature name="Network" relation="alt">
                <feature name="Wifi"/>
                <feature name="Mobile"/>
                <context name="NetworkType" condition="" location=""/>
        </feature>
    </feature>
    <context name="MediaPlaying"/>
    <context name="FileType"/>
    <context name="FileLocation"/>
    <context name="NetworkType"/>
</featureModel>
```

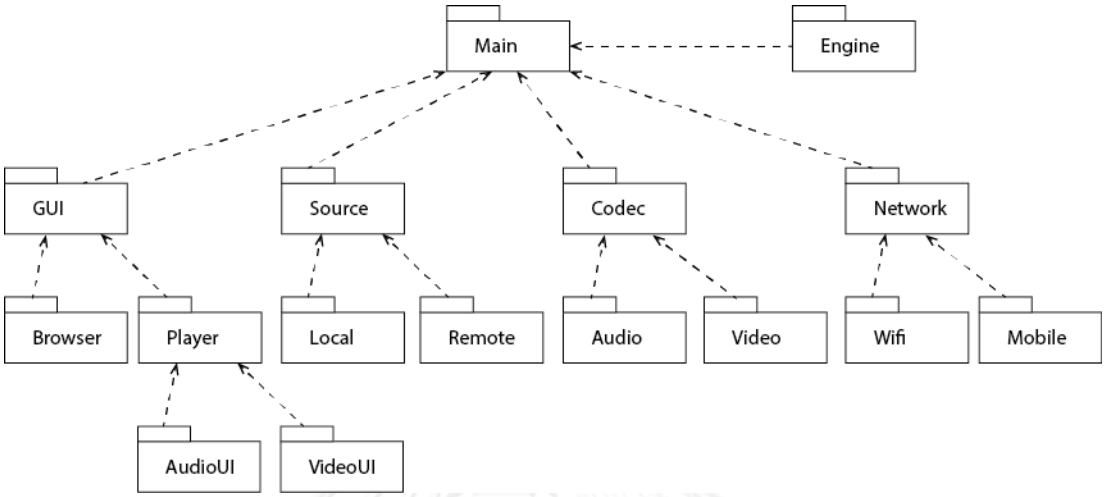
รูปที่ 5.3 เอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลของแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษา

5.3 การออกแบบกรณีศึกษา

จากวิธีการออกแบบกรณีศึกษาในบทที่ 3.4 ดังนั้นจึงสามารถออกแบบแผนภาพแพ็กเกจเพื่อให้เห็นภาพรวมของคุณลักษณะต่างๆ ที่อยู่ในรูปของแพ็กเกจของระบบโปรแกรมประยุกต์เครื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เล่นสื่อแสดงดังรูปที่ 5.4 โดยแพ็กเกจ Main เป็นแพ็กเกจหลักโดยเชื่อมโยงกับคุณลักษณะต่างๆ ตามที่ได้กล่าวดังแบบจำลองคุณลักษณะ โดยจะมีแพ็กเกจ Engine ซึ่งเป็นส่วนของกรอบการทำงาน MAPE-Kc



รูปที่ 5.4 แผนภาพแพ็กเกจของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

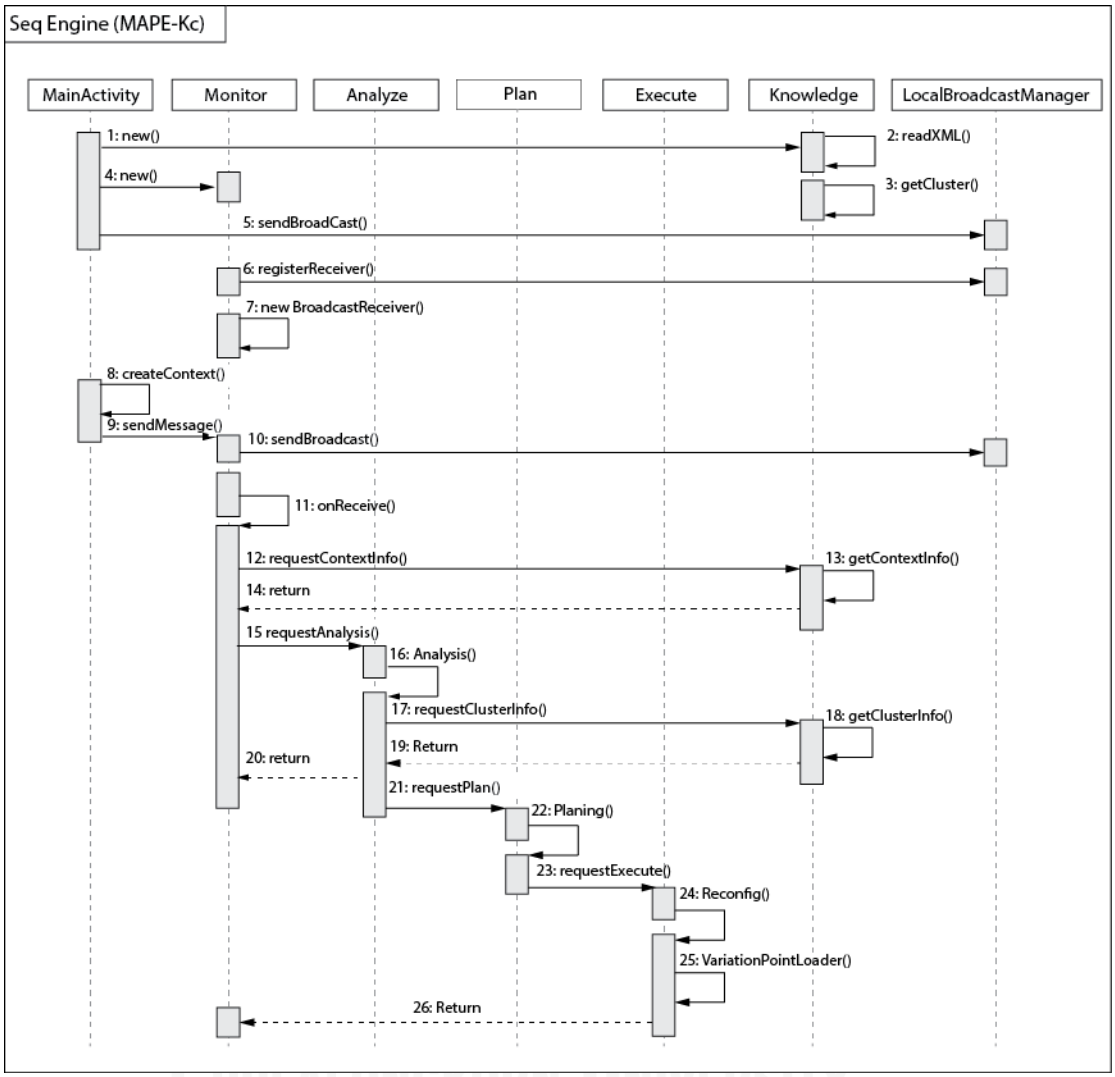
ในการสร้างโปรแกรมประยุกต์บนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์นั้น ในกรณีศึกษานี้จะพัฒนาบนโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ ซึ่งทางแพลตฟอร์มแอนดรอยด์จะมีชุดเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์แอนดรอยด์ (Android Software Development kit) สำหรับช่วยในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ โดยจะต้องติดตั้งลงบนโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์

5.4 การออกแบบกรอบการทำงานของกรณีศึกษา

จากกรอบการทำงาน MAPE-Kc สำหรับวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะดังที่ได้อธิบายไว้แล้ว แต่เมื่อนำมาใช้กับกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อบนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์โดยใช้คลาส LocalBroadcastManager โดยคลาสนี้ช่วยจัดการการลงทะเบียน (Register) และส่งกระจาย (Broadcast) ของอินเทนท์ (Intent) ซึ่งเป็นคำอธิบายนามธรรมสำหรับดำเนินการกระทำ ไปยังวัตถุภายในการประมวลผลของโปรแกรมประยุกต์ และใช้คลาส BroadcastReciever รับอินเทนท์ด้วยเมท็อด onReceive() ที่ส่งด้วยเมท็อด sendBroadCast() ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังแผนภาพลำดับดังรูปที่ 5.5

ในส่วนของการปรับโครงแบบในกรอบการทำงาน MAPE-Kc นั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการสำหรับการการเรียกใช้งานคุณลักษณะที่เก็บอยู่ในแฟ้มเอกสารจาร์ด้วย DexClassloader ของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ ซึ่งจะถูกเรียกใช้ในคลาส Execute หลังจากที่ทำการสร้างแบบแผนสำหรับการปรับโครงแบบเรียบร้อยแล้ว ด้วยคลาส FeatureClassLoader นอกจากนี้แล้ว คลาสนี้ยังถูกเรียกใช้ในคลาสจุดปรับตัวของแต่ล่ะจุดปรับตัวในแบบจำลองคุณลักษณะอีกด้วย ซึ่งโครงแบบจะถูกเปลี่ยนแปลงในกิจกรรมการปฏิบัติ เป็นกระบวนการในการบรรจุส่วนประกอบของโปรแกรมประยุกต์

โดยที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกรายการของแฟ้มเอกสารเพื่อเปิดเล่นแฟ้มเอกสารนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดเหตุการณ์ onReceive() ที่กิจกรรมเฝ้าสังเกตเพื่อดำเนินการต่อไป กิจกรรมวิเคราะห์จะร้องขอข้อมูลการจัดกลุ่มจากกิจกรรมความรู้ซึ่งเก็บข้อมูลของการจัดกลุ่มไว้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 5.5 แผนภาพลำดับกรอบการทำงาน MAPE-Kc ในกรณีศึกษา

5.5 การออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของกรณีศึกษา

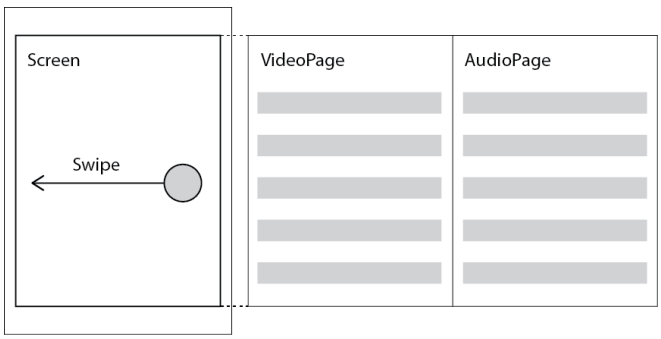
ในการทำงานของโปรแกรมประยุกต์บนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์นั้นจะมีส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับการสร้างโปรแกรมประยุกต์ประกอบไปด้วย 4 ส่วนสำคัญคือ Activities, Services, Content provider และ Broadcast receivers โดยส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดต่อสวนต่อประสานงานผู้ใช้คือ Activities ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้แสดงผลส่วนประสานงานผู้ใช้ โดยจะเรียกใช้คลาส Activity ในระบบจะถูกจัดการแบบกิจกรรมกองซ้อน (Activity Stack) เมื่อ Activity ถูกสร้างขึ้นจะถูกวางซ้อนด้านบนของกองซ้อนและกลายเป็นกิจกรรมที่กำลังทำงาน (Activity running) โดยที่

กิจกรรมก่อนหน้านี้จะถูกเลื่อนไปไว้ด้านล่างของกองซ้อนและจะไม่แสดงให้เห็นจนกระทั้งกิจกรรมที่กำลังทำงานอยู่ถูกยกเลิก ในวงจรชีวิตของกิจกรรมของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ จะประกอบด้วย 4 สถานะที่สำคัญคือ

- กำลังทำงาน (Running) เป็นสถานะของกิจกรรมแสดงบนหน้าจอ
- หยุดการทำงานชั่วคราว (Paused) เป็นสถานะของกิจกรรมที่ไม่ได้รับการสนใจแต่ยังสามารถมองเห็นได้ ซึ่งเป็นสถานะที่กิจกรรมยังคงมีชีวิตอยู่อย่างสมบูรณ์
- หยุดการทำงาน (Stopped) เป็นสถานะของกิจกรรมที่มีกิจกรรมอื่นกำลังทำงานและกิจกรรมถูกซ้อนจากหน้าจอ ซึ่งกิจกรรมยังคงสถานะและข้อมูลขณะทำงานทั้งหมดไว้
- ถูกทำลาย (Destroyed) เป็นสถานะของกิจกรรมที่ถูกทำลาย เนื่องจากผู้ใช้งานหรือระบบพิจารนาว่าให้กิจกรรมหยุดการทำงานชั่วคราวหรือกิจกรรมหยุดการทำงานเนื่องจากว่าทรัพยากรของระบบไม่เพียงพอ

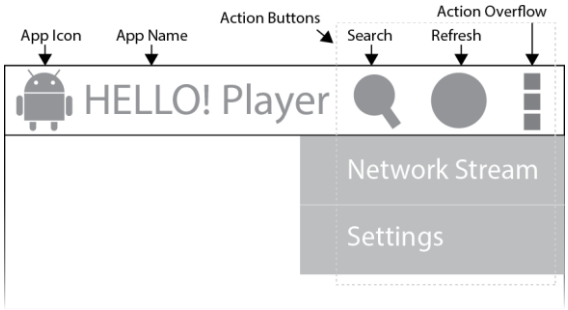
ในส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของกรณีศึกษาจะมีความสำคัญใน 3 คุณลักษณะคือ Browser, AudioUI และ VideoUI โดยการออกแบบและการพัฒนาส่วนต่อประสานผู้ใช้นี้จะใช้ทรัพยากรของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์จะสร้างขึ้นโดยสร้างด้วยคลาส View และ ViewGroup ซึ่งจะควบคุมโดยแฟ้มเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลในแฟ้มเอกสารการวางผัง (Layout) ในส่วนทรัพยากรของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะประกอบด้วย 3 แฟ้มเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลสำหรับ 3 คุณลักษณะที่แสดงผลคือ browser.xml, player_audio.xml และ player_video.xml ดังนี้

1) คุณลักษณะ Browser ในกรณีศึกษานี้จะใช้คลาส ViewPager ซึ่งเป็นคลาสที่สืบถอดมาจากคลาส ViewGroup เพื่อเพิ่มเติมการจัดการการวางผังหน้าจอโดยอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถเลื่อนหน้าจอไปทางซ้ายหรือขวาได้ผ่านข้อมูลของหน้าจอในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล browser.xml โดยสร้างส่วนควบคุมในเมท็อด PageAdapter เพื่อสร้างหน้าสำหรับแสดง โดยในแพ็กเกจ Browser นี้จะสร้างคลาส BrowserActivity เพื่อควบคุมการทำงานดังกล่าว ด้วยการแสดงรายการแฟ้มข้อมูลที่อยู่ในเครื่องที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ทำงานอยู่ด้วยคลาส ListView กำหนดการวางผังในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล browser_fragment.xml โดยแบ่งออกเป็น 2 หน้าคือ หน้าที่แสดงรายการแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ และหน้าที่แสดงรายการแฟ้มข้อมูลเพลง สามารถใช้นิ้วมือเลื่อนหน้าจอไปทางซ้ายหรือขวาได้ โดยหน้าเริ่มต้นจะเป็นหน้าแสดงรายการแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ ดังรูปที่ 5.6

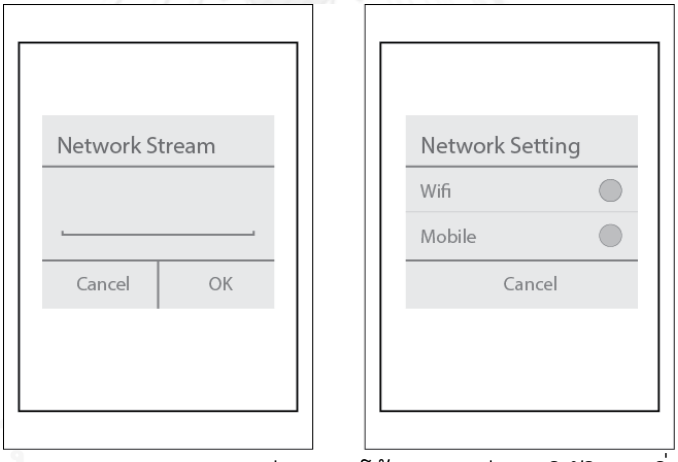


รูปที่ 5.6 ออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ Browser ด้วยการใช้ ViewPager

ในส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ Browser จำเป็นต้องมีส่วนของเมนูซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนของหน้าจอ โดยจะใช้คลาส ActionBar เพื่อแสดงเมนูและควบคุมเมนูส่วนด้านบนของหน้าจอ จะมีส่วนหลักคือ รูปไอคอนของโปรแกรมประยุกต์ (App Icon), ชื่อโปรแกรมประยุกต์ (App Name), ปุ่มปฏิบัติงาน (Action Buttons) ซึ่งจะประกอบด้วย ปุ่มค้นหา (Search), ปุ่มรีเฟรช (Refresh) และปุ่มปฏิบัติงานส่วนเกิน (Action Overflow) เมื่อกดปุ่มนี้จะปรากฏเมนู Network Stream และ Settings ให้เลือก ดังรูปที่ 5.7

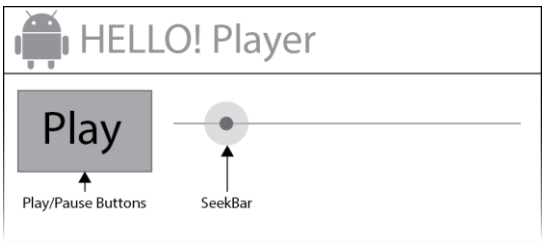


รูปที่ 5.7 แสดงการออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ส่วนของเมนู



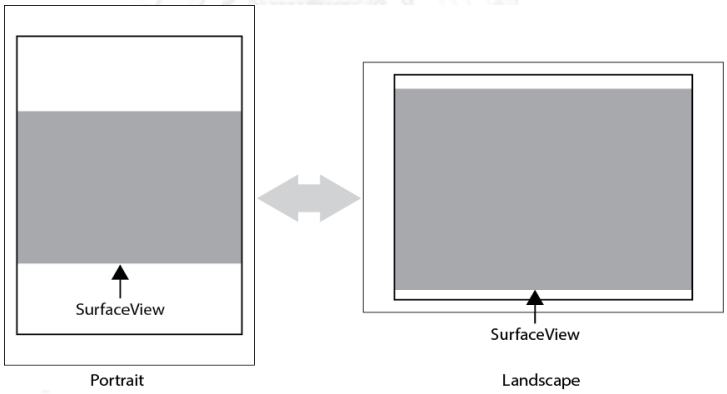
รูปที่ 5.8 แสดงการออกแบบส่วนตอบโต้ของเมนูส่วนปฏิบัติการเพิ่มเติม

2) คุณลักษณะ AudioUI ในกรณีศึกษานี้เป็นส่วนต่อประสานงานผู้ใช้สำหรับเล่นแฟ้มเอกสารเสียงเพลง ควบคุมการวางผังหน้าจอด้วย LinearLayout เป็นคลาสที่สืบทอดมาจากคลาส ViewGroup โดยการจัดวางวัตถุลูกให้อยู่ในแนวเดียวในแนวนอน และใช้ 2 คลาสเพื่อแสดงผลและควบคุมการเล่นเพลงคือ คลาส Button เป็นคลาสสำหรับแสดงปุ่มและควบคุมด้วยการกดปุ่มครั้งแรกสำหรับเล่นเพลง และอีกครั้งสำหรับหยุดเล่นเพลงชั่วคราว และคลาส SeekBar สำหรับแสดงตำแหน่งของการเล่นเพลงและเลื่อนไปยังตำแหน่งของเพลงที่ต้องการ ดังรูปที่ 5.9 โดยกำหนดทั้งสองคลาสนี้ไว้ในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล player_audio.xml และเรียกใช้งานจากคลาส AudioActivity ในแพ็กเกจ Audio ของแพ็กเกจ Player



รูปที่ 5.9 แสดงการออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ AudioUI

3) คุณลักษณะ VideoUI ในกรณีศึกษานี้เป็นส่วนต่อประสานงานผู้ใช้สำหรับเล่นแฟ้มเอกสารภาพวีดีทัศน์ ควบคุมการวางผังหน้าจอด้วย LinearLayout เหมือนกับคุณลักษณะ AudioUI และใช้คลาส SurfaceView เพื่อแสดงผลภาพวีดีทัศน์ โดยจะวางไว้ในตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าจอ และควบคุมการเล่นและการหยุดเล่นชั่วคราวด้วยการสัมผัสที่บริเวณของส่วนแสดงผลภาพวีดีทัศน์ โดยการสัมผัสครั้งแรกเป็นการหยุดเล่นชั่วคราวและสัมผัสอีกครั้งเป็นการเล่นต่อจากการหยุดเล่นชั่วคราว และเมื่อมีการเปลี่ยนแนววางของหน้าจอจากแนวตั้งเป็นแนวนอน ส่วนของการแสดงผลจะปรับเปลี่ยนทั้งขนาดและแนวของการแสดงผลให้สอดคล้องกับแนวของหน้าจอที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 5.10 โดยกำหนดคลาสนี้ไว้ในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล player_video.xml และเรียกใช้งานจากคลาส VideoActivity ในแพ็กเกจ Video ของแพ็กเกจ Player

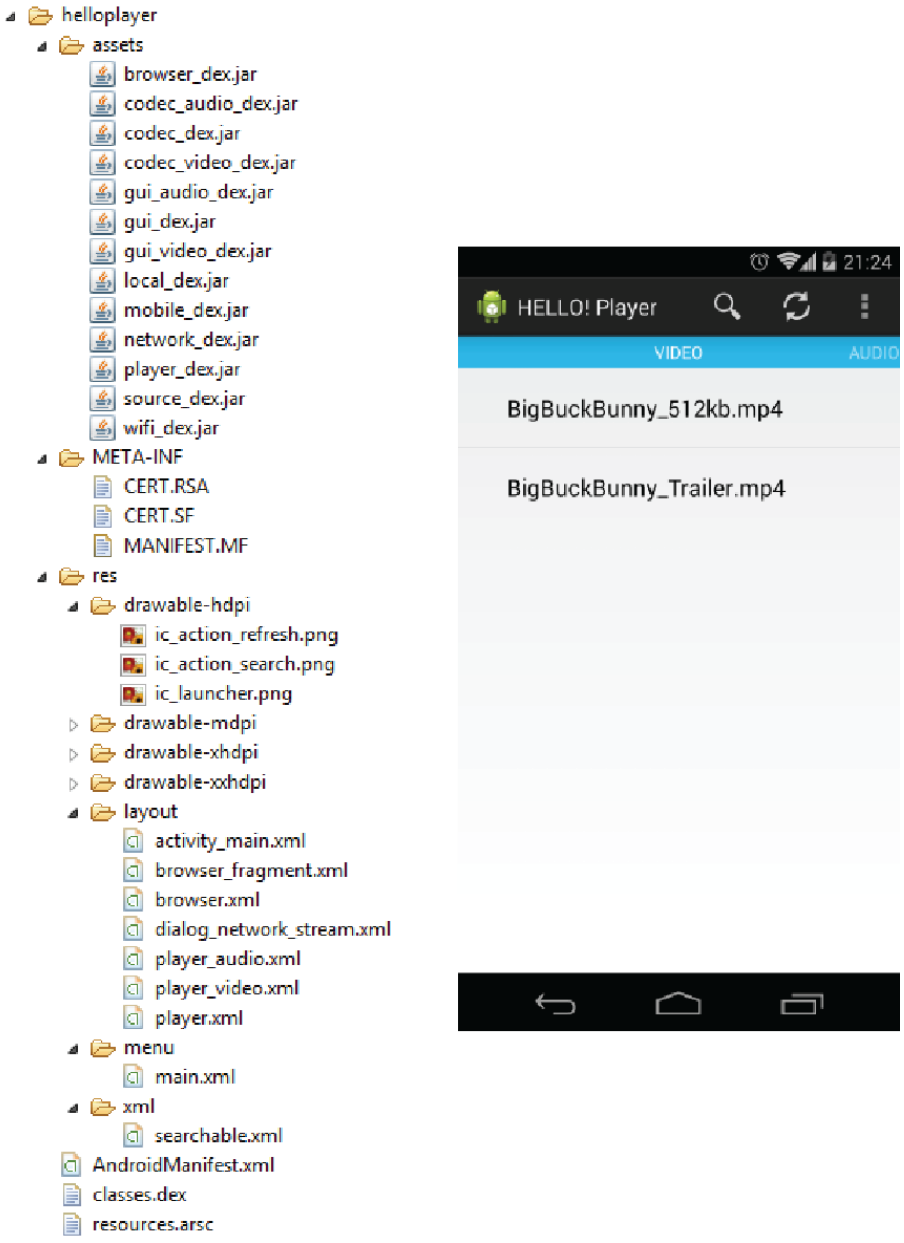


รูปที่ 5.10 แสดงการออกแบบส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของคุณลักษณะ VideoUI

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.6 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์กรณีศึกษา

จากการออกแบบดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมานั้น สามารถนำการออกแบบดังกล่าวมาพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์บนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ ซึ่งใช้ภาษาจาวาและพัฒนาบทโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ และทำการทดสอบโปรแกรมประยุกต์ที่ได้กับอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ทำงานอยู่ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้รุ่น Nexus 5 ของกูเกิลซึ่งเป็นโทรศัพท์มือถือรุ่นมาตรฐานสำหรับผู้พัฒนาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ แสดงหน้าจอของโปรแกรมประยุกต์ดังรูปที่ 5.11 โดยรายละเอียดของการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ที่สร้างขึ้นในภาคผนวก ค



รูปที่ 5.11 หน้าจอของโปรแกรมประยุกต์และแฟ้มข้อมูลต่างๆ ของกรณีศึกษาที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 6
การทดสอบและประเมินผล

จากกรณีศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยพฤติกรรมการปรับทำงานอย่างไร ดังนั้นในบทนี้จะทำการทดสอบและประเมินวิธีการด้วยกรณีศึกษาดังที่กล่าวมา

6.1 การทดสอบระบบ

การทดสอบความถูกต้องของการทำงานของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยพฤติกรรมการปรับนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

6.1.1 เครื่องมือการออกแบบแบบจำลองลองคุณลักษณะ

การทดสอบการทำงานของเครื่องมือการออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะว่าเป็นไปตามหน้าที่ของการทำงานส่วนต่างๆ ตามความต้องการเชิงหน้าที่หลักของเครื่องมือการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ โดยอาศัยวิธีการทดสอบหน้าที่การทำงาน (Black Box Testing) ตามกรณีทดสอบและผลของการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 การทดสอบสร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC01	ทดสอบสร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานสร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะในโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์	1) แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกชนิดของโครงการที่ต้องการสร้าง 2) แสดงหน้าต่างสำหรับกรอกชื่อของโครงการ 3) สร้างรูปคุณลักษณะบนหน้าจอของโปรแกรม 4) สร้างโฟลเดอร์และแฟ้มข้อมูลของโครงการในตำแหน่งที่เลือก	ถูกต้อง	UC01

ตารางที่ 6.2 การทดสอบสร้างคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC02	ทดสอบสร้างคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานสร้างและแสดงรูปภาพของคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะที่ทำงานอยู่	1) แสดงเมนูสำหรับสร้างคุณลักษณะ 2) กำหนดคุณสมบัติเริ่มต้นให้กับคุณลักษณะที่สร้างขึ้น 3) แสดงรูปภาพของคุณลักษณะที่สร้างขึ้น	ถูกต้อง	UC02

ตารางที่ 6.3 การทดสอบเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC03	ทดสอบเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะที่แสดงอยู่บนหน้าจอ	1) แสดงเมนูสำหรับเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ 2) แสดงกรอบข้อความสำหรับกรอกชื่อใหม่ของคุณลักษณะ 3) เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ 4) แสดงรูปภาพคุณลักษณะที่เปลี่ยนชื่อแล้ว	ถูกต้อง	UC03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.4 การทดสอบลบคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC04	ทดสอบลบคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานลบคุณลักษณะที่แสดงอยู่บนหน้าจอ	1) แสดงเมนูสำหรับลบคุณลักษณะ 2) ลบคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ 3) แสดงรูปภาพแบบจำลองคุณลักษณะหลังจากลบคุณลักษณะแล้ว	ถูกต้อง	UC04

ตารางที่ 6.5 การทดสอบกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC05	ทดสอบกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะที่เป็นคุณลักษณะจุดเปลี่ยนแปลง	1) แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกบริบทในแบบจำลองคุณลักษณะ 2) เลือกบริบทจากรายการบริบทบนหน้าต่างที่แสดง 3) กำหนดบริบทให้คุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ 4) แสดงบริบทที่กำหนดในรายการมุมมองบริบท	ถูกต้อง	UC05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.6 การทดสอบลบบริบทของกับคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC06	ทดสอบลบบริบทของคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานลบบริบทของคุณลักษณะที่เป็นคุณลักษณะจุดเปลี่ยนแปลง	1) แสดงเมนูสำหรับลบบริบทเมื่อเลือกบริบทที่ต้องการลบ 2) แสดงหน้าต่างเพื่อยืนยันการลบบริบทที่เลือก 3) ลบบริบทที่เลือกหลังจากยืนยันการลบแล้ว 4) ไม่แสดงบริบทที่ลบแล้วในรายการมุมมองบริบท	ถูกต้อง	UC05

ตารางที่ 6.7 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC07	ทดสอบเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ	1) แสดงเมนูสำหรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ 2) เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะแม่ในแบบจำลองคุณลักษณะ 3) แสดงรูปภาพของความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ	ถูกต้อง	UC06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.8 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC08	ทดสอบเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ	1) แสดงเมนูสำหรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ 2) เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่เลือกในแบบจำลองคุณลักษณะ 3) แสดงรูปภาพของความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ	ถูกต้อง	UC07

ตารางที่ 6.9 การทดสอบกำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC09	ทดสอบกำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานกำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะของแบบจำลองคุณลักษณะ	1) แสดงเมนูรายการสำหรับกำหนดข้อจำกัดเมื่อเลือก 2 คุณลักษณะเท่านั้น 2) แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกประเภทของข้อจำกัดของแบบจำลองคุณลักษณะ 3) แสดงเส้นการเชื่อมโยงของข้อจำกัดระหว่างคุณลักษณะที่เลือก	ถูกต้อง	UC08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.10 การทดสอบลบข้อจำกัดของคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC10	ทดสอบลบข้อจำกัดของคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานลบข้อจำกัดของคุณลักษณะของแบบจำลองคุณลักษณะ	1) แสดงเมนูรายการสำหรับลบข้อจำกัดเมื่อคลิกขวาที่เส้นเชื่อมโยงของข้อจำกัด 2) ไม่แสดงเส้นการเชื่อมโยงเมื่อลบข้อจำกัดของคุณลักษณะแล้ว	ถูกต้อง	UC08

ตารางที่ 6.11 การทดสอบจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC11	ทดสอบจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานจำลองการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ	1) แสดงเมนูสำหรับจำลองการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ 2) แสดงข้อความแสดงกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลง	ถูกต้อง	UC09

ตารางที่ 6.12 การทดสอบยกเลิกจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC12	ทดสอบยกเลิกจำลองจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ	ผู้ใช้งานยกเลิกจำลองการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ	1) แสดงเมนูสำหรับยกเลิกจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ 2) ลบข้อความแสดงกลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลง	ถูกต้อง	UC09

Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.13 การทดสอบนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล

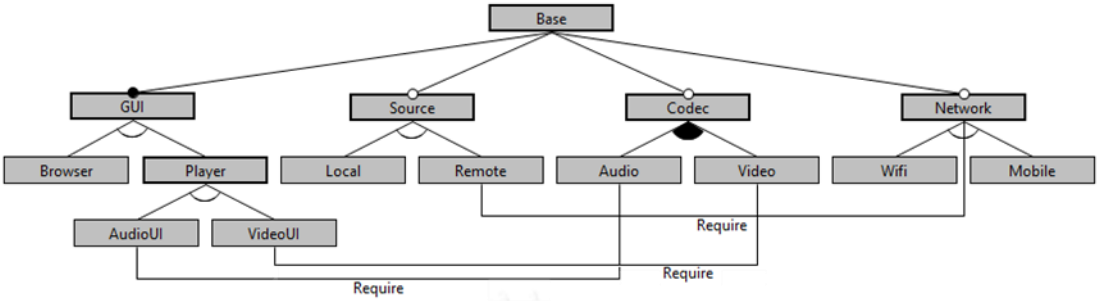
หมายเลขกรณีทดสอบ	การทดสอบ	คำอธิบาย	ผลการทดสอบที่คาดหวัง	ผลการทดสอบจริง	ความสัมพันธ์กับยูสเคส
TC13	ทดสอบนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล	ผู้ใช้งานนำออกแบบจำลองคุณลักษณะที่สร้างขึ้นเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล	1) แสดงเมนูสำหรับเลือกนำออกเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 2) แสดงหน้าต่างเพื่อเลือกตำแหน่งในการบันทึกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล 3) บันทึกแบบจำลองคุณลักษณะออกเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลตามตำแหน่งที่เลือก	ถูกต้อง	UC10

6.1.2 กรณีศึกษา

การทดสอบกรณีศึกษาของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการทดสอบการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับของกรณีศึกษาโดยใช้วิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก และ การทดสอบสถานการณ์เพื่อทดสอบระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจ โดยเป็นระยะเวลาการบรรจุ (Load) ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ ซึ่งเป็นระยะเวลาของการเริ่มต้นปรับตัวของกระบวนการทำงานของกรอบการทำงานในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัตจนกระทั่งปรับตัวเรียบร้อยและทำงานต่อไปตามสถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งระยะเวลาในการการบรรจุดังกล่าวมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (Millisecond) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะและไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ โดยมีสถานการณ์สำหรับทดสอบกรณีศึกษาดังนี้

6.1.2.1 การทดสอบการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับของกรณีศึกษา

จากแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อในบทที่ 5 และวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกหรือ FLAME ซึ่งในบทนี้จะแสดงรายละเอียดการทดสอบของการจัดกลุ่มดังกล่าวอย่างเป็นขั้นตอนตามขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหนับสมาชิกทั้งหมด 3 ขั้นตอนดังนี้



จากแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อจะประกอบด้วย 6 จุดเปลี่ยนแปลงซึ่งแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงจะประกอบด้วยบริบทและข้อจำกัดต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 6.14 จุดเปลี่ยนแปลง บริบท และ ข้อจำกัด ของกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ

จุดเปลี่ยนแปลง	บริบท	ข้อจำกัด
Base	Playing	Require(AudioUI, Audio) Require(VideoUI, Video)
GUI	Playing	-
Player	FileType	-
Source	Location	Require(Remote, Netwotk)
Codec	FileType	Require(AudioUI, Audio) Require(VideoUI, Video)
Network	Location	Require(Remote, Network)

ซึ่งจากตารางดังกล่าวสามารถเขียนเป็นเซตของข้อมูลของจุดเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

$$Base = \{'Playing'\}$$
$$GUI = \{'Playing'\}$$
$$Player = \{'FileType', 'require(Audio: AudioUI)', 'require(Video: VideoUI)'\}$$
$$Source = \{'Location', 'require(Remote: Network)'\}$$
$$Codecs = \{'FileType', 'require(Audio: AudioUI)', 'require(Video: VideoUI)'\}$$
$$Network = \{'Location', 'require(Remote: Network)'\}$$

ดังนั้นเมื่อวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงใดๆ ดังนี้

จุดเปลี่ยนแปลง Base และ GUI

$$S_{Base,GUI} = \frac{f(\text{Base} \cap \text{GUI})}{f(\text{Base} \cap \text{GUI}) + f(\text{Base} - \text{GUI}) + f(\text{GUI} - \text{Base})}$$

$$S_{Base,GUI} = \frac{1}{1+0+0} = 1$$

จุดเปลี่ยนแปลง Base และ Player

$$S_{Base,Player} = \frac{f(\text{Base} \cap \text{Player})}{f(\text{Base} \cap \text{Player}) + f(\text{Base} - \text{Player}) + f(\text{Player} - \text{Base})}$$

$$S_{Base,Player} = \frac{0}{0+1+3} = 0$$

จุดเปลี่ยนแปลง Base และ Source

$$S_{Base,Source} = \frac{f(\text{Base} \cap \text{Source})}{f(\text{Base} \cap \text{Source}) + f(\text{Base} - \text{Source}) + f(\text{Source} - \text{Base})}$$

$$S_{Base,Codec} = \frac{0}{0+1+2} = 0$$

จุดเปลี่ยนแปลง Base และ Codec

$$S_{Base,Codec} = \frac{f(\text{Base} \cap \text{Codec})}{f(\text{Base} \cap \text{Codec}) + f(\text{Base} - \text{Codec}) + f(\text{Codec} - \text{Base})}$$

$$S_{Base,Codec} = \frac{0}{0+1+3} = 0$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุดเปลี่ยนแปลง Base และ Network

$$S_{Base,Network} = \frac{f(\text{Base} \cap \text{Network})}{f(\text{Base} \cap \text{Network}) + f(\text{Base} - \text{Network}) + f(\text{Network} - \text{Codec})}$$

$$S_{Base,Network} = \frac{0}{0+1+2} = 0$$

จากกาคำนวณเบื้องต้นดังกล่าวสามารถสรุปค่าความคล้ายคลึงของแต่ละคู่จุดเปลี่ยนแปลงและจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงได้ดังนี้

ตารางที่ 6.15 ผลลัพธ์ของการวัดความคล้ายคลึงกันของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ

คู่ของจุดเปลี่ยนแปลง	ค่าความคล้ายคลึง	ค่าความแตกต่างกัน
Base และ GUI	1	0
Base และ Player	0	1
Base และ Source	0	1
Base และ Codec	0	1
Base และ Network	0	1
GUI และ Player	0	1
GUI และ Source	0	1
GUI และ Codec	0	1
GUI และ Network	0	1
Player และ Source	0	1
Player และ Codec	1	0
Player และ Network	0	1
Source และ Codec	0	1
Source และ Network	1	0
Codec และ Network	0	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) การดังโครงสร้างของข้อมูลเฉพาะที่และจัดกลุ่มเพื่อระบุวัตถุสนับสนุน

ในตัวอย่างนี้กำหนดให้ของจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงใดๆ มีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งสามารถกำหนดเซตของจุดเปลี่ยนแปลง มี 3 สมาชิกของเซต ดังนี้

$$Base = \{GUI,\ Player,\ Source\}$$
$$GUI = \{GUI,\ Player,\ Source\}$$
$$Player = \{Source,\ Codec,\ Network\}$$
$$Source = \{Player,\ Codec,\ Network\}$$
$$Codec = \{Player,\ Source,\ Network\}$$
$$Network = \{Player,\ Source,\ Codec\}$$

ารางที่ 6.16 ค่าความแตกต่างกันของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะของกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ

d_{xy}	Base	GUI	Player	Source	Codec	Network
Base	-	1	-	-	-	-
GUI	1	-	-	-	-	-
Player	0	0	-	0	1	0
Source	0	0	0	-	0	1
Codec	-	-	1	0	-	0
Network	-	-	0	1	0	-
ค่าเฉลี่ย	1	1	1	1	1	1
ความหนาแน่น	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 6.17 ค่าอัตราส่วนของความหนาแน่นของจุดเปลี่ยนแปลงกับจุดเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ

S_{xy}	Base	GUI	Player	Source	Codec	Network
Base	-	1	-	-	-	-
GUI	1	-	-	-	-	-
Player	1	1	-	1	0	1
Source	1	1	1	-	1	0
Codec	-	-	0	1	-	1
Network	-	-	1	0	1	-
ค่าสูงสุด	1	1	1	1	1	1
ประเภท	CSO	Normal	CSO	CSO	Normal	Normal

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.18 ค่าน้ำหนักจากสมการค่าน้ำหนักจากความคล้ายคลึงของแบบจำลองคุณลักษณะกรณีศึกษาเครื่องเล่นสื่อ

S_{xy}	Base	GUI	Player	Source	Codec	Network
Base	-	1	0	0	0	0
GUI	1	-	0	0	0	0
Player	0	0	-	0	1	0
Source	0	0	0	-	0	1
Codec	0	0	1	0	-	0
Network	0	0	0	1	0	-
ประเภท	CSO	Normal	CSO	CSO	Normal	Normal

2) การประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุ่มเครือ

จากวิธีการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุ่มเครือในบทที่ 3 นั้นจะสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับกระบวนการทำซ้ำของเวกเตอร์สมาชิกแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงที่ทำหน้าที่เป็นกลุ่มวัตถุสนับสนุน ข้อมูลผิดปรกติ และข้อมูลทั่วไป ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.19 ค่าเริ่มต้นกระบวนการทำซ้ำของแต่ละส่วนย่อยในเวกเตอร์สมาชิกของจุดเปลี่ยนแปลง

จุดเปลี่ยนแปลง	$p_1(x)$	$p_2(x)$	$p_3(x)$	$p_4(x)$
Base	1.00	0.00	0.00	0.00
GUI	0.25	0.25	0.25	0.25
Player	0.00	1.00	0.00	0.00
Source	0.00	0.00	1.00	0.00
Codec	0.25	0.25	0.25	0.25
Network	0.25	0.25	0.25	0.25

หลังจากที่กำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับกระบวนการทำซ้ำของเวกเตอร์สมาชิกแต่ละจุดเปลี่ยน-แปลงแล้ว จึงเริ่มต้นคำนวณค่าเพื่อปรับปรุงค่าของเวกเตอร์สมาชิกสมาชิกในกระบวนการทำซ้ำในเวกเตอร์สมาชิกที่ไม่ใช้กลุ่มของวัตถุสนับสนุนหรือข้อมูลผิดปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.20 ตารางแสดงการปรับปรุงค่าของเวกเตอร์สมาชิกในการประมาณค่าความใกล้เคียงเฉพาะที่

วงรอบที่	จุดเปลี่ยนแปลง	$p_1(x)$	$p_2(x)$	$p_3(x)$	$p_4(x)$	$E(\{p\})$
1	Base	1.00	0.00	0.00	0.00	2.25
	GUI	1.00	0.00	0.00	0.00	
	Player	0.00	1.00	0.00	0.00	
	Source	0.00	0.00	1.00	0.00	
	Codec	0.00	1.00	0.00	0.00	
	Network	0.00	0.00	1.00	0.00	
2	Base	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GUI	1.00	0.00	0.00	0.00	
	Player	0.00	1.00	0.00	0.00	
	Source	0.00	0.00	1.00	0.00	
	Codec	0.00	1.00	0.00	0.00	
	Network	0.00	0.00	1.00	0.00	

3) การสร้างกลุ่ม

จากขั้นตอนการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่ของสมาชิกคลุมเครือจะไดค่าของสามาชิกเซตข้อมูลของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงซึ่งจะสามารถนำค่าดังกล่าวมาสร้างกลุ่มได้ 3 กลุ่มดังนี้ ซึ่งจะไม่มีข้อมูลผิดปรกติ

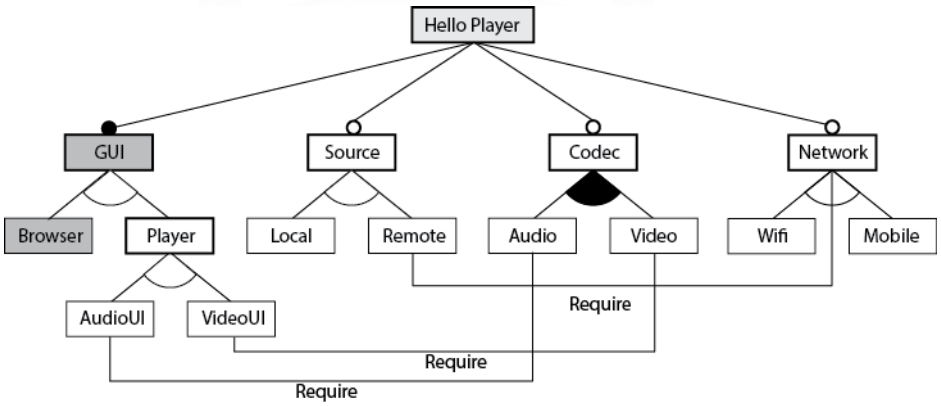
$$Cluster\ 1 = \{'Feature\ Base', 'Feature\ GUI'\}$$
$$Cluster\ 2 = \{'Feature\ Player', 'Feature\ Codec'\}$$
$$Cluster\ 3 = \{'Feature\ Source', 'Feature\ Network'\}$$

ตารางที่ 6.21 ค่าสมาชิกของเซตข้อมูลของแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงสำหรับการสร้ากลุ่มของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

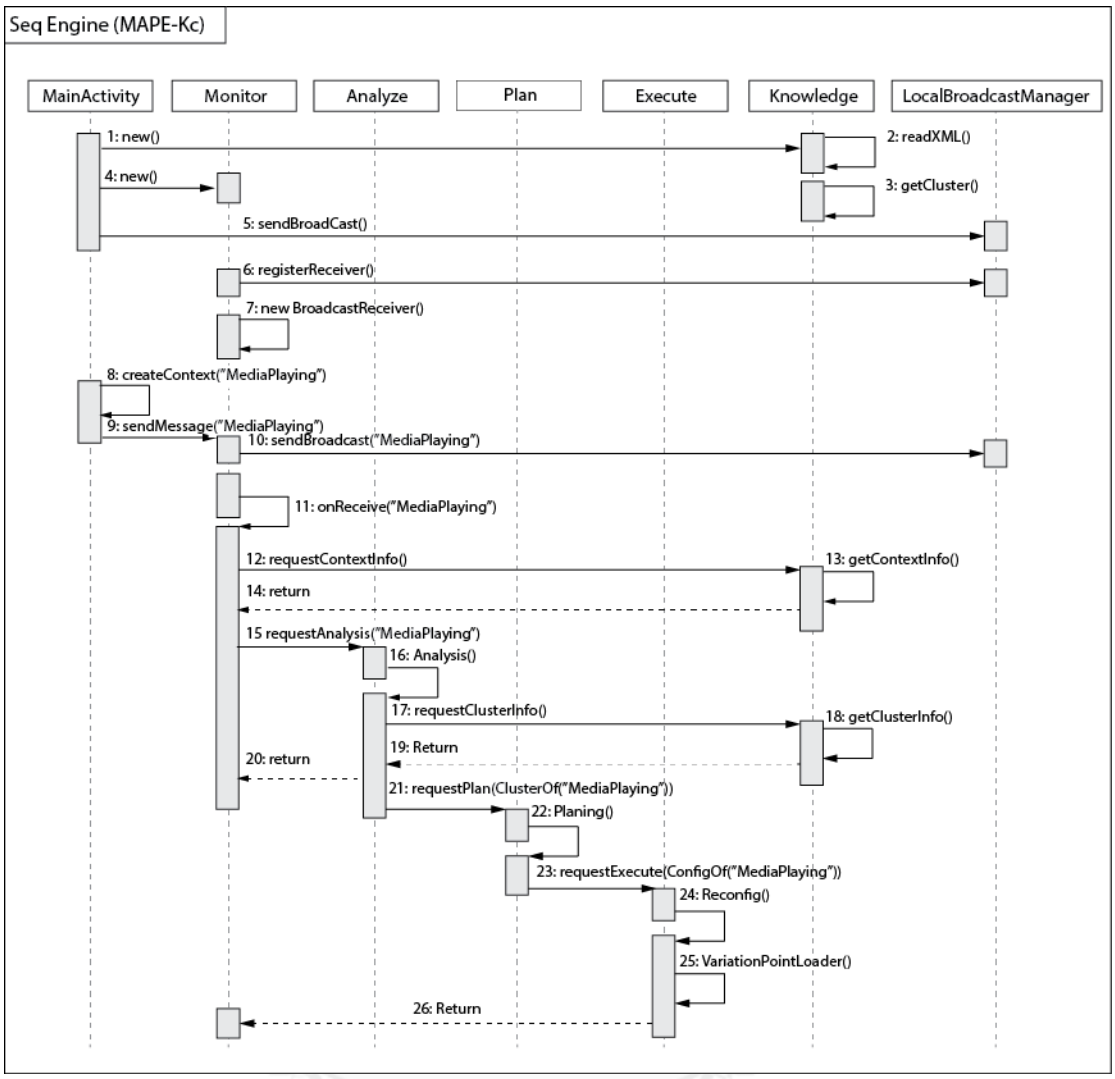
จุดเปลี่ยนแปลง	$p_1(x)$	$p_2(x)$	$p_3(x)$	$p_4(x)$
Base	1.00	0.00	0.00	0.00
GUI	**1.00**	0.00	0.00	0.00
Player	0.00	1.00	0.00	0.00
Source	0.00	0.00	1.00	0.00
Codec	0.00	1.00	0.00	0.00
Network	0.00	0.00	1.00	0.00

6.1.2.2 สถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

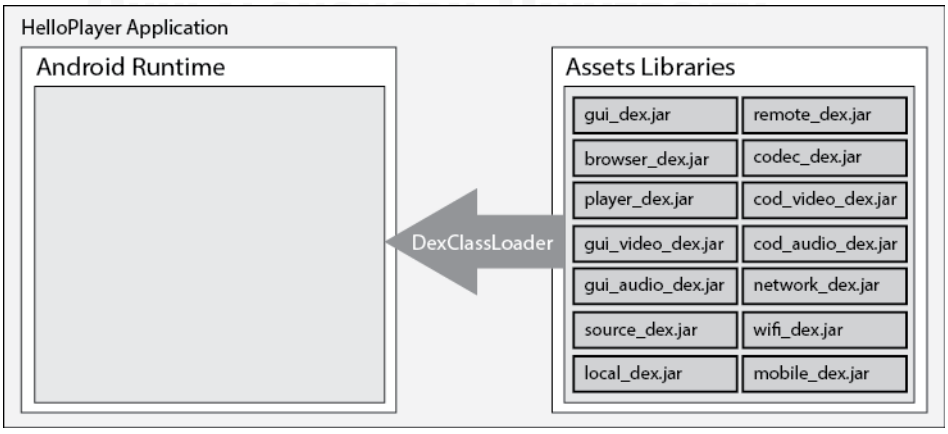
ในสถานการณ์การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ ซึ่งเป็นการปรับตัวของบริบท MediaPlaying โดยกรอบการทำงาน MAPE-Kc จะพิจารณาบริบท MediaPlaying และทำการบรรจุคุณลักษณะจุดเปลี่ยนแปลงที่ถูกจัดกลุ่มนั้นก็คือ GUI ซึ่งเงื่อนไขของบริบทนี้เป็น false นั้นหมายความว่าไม่มีการแฟ้มข้อมูลใดๆ ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง GUI จึงเลือกคุณลักษณะ Browser เพื่อทำการบรรจุเข้ามาในขณะทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งเป็นการบรรจุเพียงบางส่วนดังรูปที่ 6.4 เปรียบเทียบกับโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่มีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะบรรจุส่วนประกอบทั้งหมดดังรูปที่ 6.5



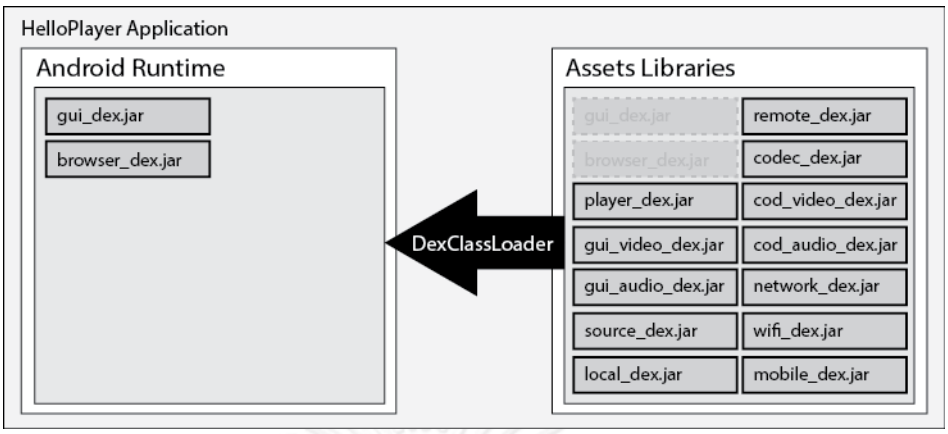
รูปที่ 6.1 แผนภาพแบบจำลองคุณลักษณะของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ



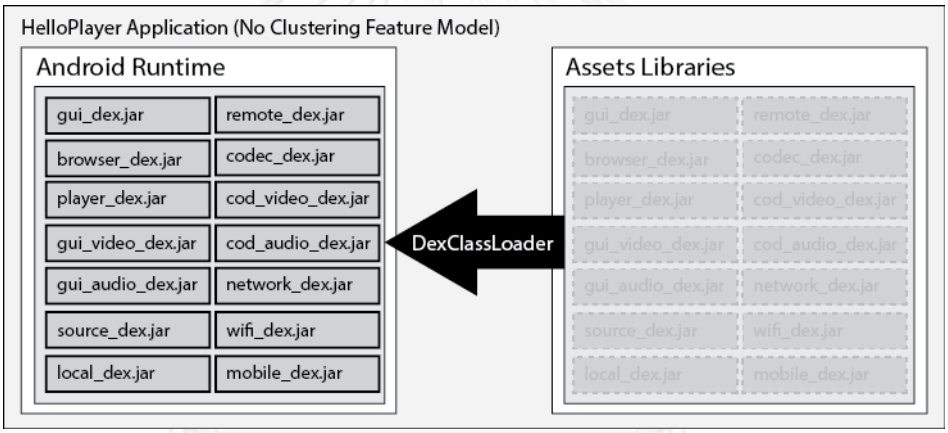
รูปที่ 6.2 แผนภาพลำดับของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ



รูปที่ 6.3 แผนภาพการบรรจุส่วนประกอบก่อนสถานการณ์ของโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ



รูปที่ 6.4 แผนภาพการบรรจุส่วนประกอบของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อที่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ



รูปที่ 6.5 แผนภาพการบรรจุส่วนประกอบของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อที่ไม่ได้จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

ตารางที่ 6.22 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวครั้งแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ครั้งที่	จัดกลุ่ม (ms)	ไม่จัดกลุ่ม (ms)
1	154	385
2	153	433
3	158	370
4	155	377
5	166	403
6	155	350
7	152	386

ครั้งที่	จัดกลุ่ม (ms)	ไม่จัดกลุ่ม (ms)
8	182	413
9	169	398
10	150	391
11	166	376
12	169	399
13	153	370
14	147	407
15	157	394
16	156	383
17	154	377
18	189	392
19	154	389
20	140	386

6.1.2.3 สถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์หลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ในสถานการณ์การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์หลังจากเข้าสู้โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ ซึ่งเป็นการปรับตัวของบริบท FileType และ FileLocation โดยกรอบการทำงาน MAPE-Kc จะพิจารณาบริบท FileType และ FileLocation และทำการบรรจุคุณลักษณะจุดเปลี่ยนแปลงที่ถูกจัดกลุ่มนั้นก็คือ Player และ Codec ซึ่งเงื่อนไขของบริบท FileType เป็น video ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Player จึงเลือกคุณลักษณะ VideoUI และ Codec เลือกคุณลักษณะ Video และเงื่อนไขของบริบท FileLocation เป็น Local ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Source เลือกคุณลักษณะ Local เพื่อทำการบรรจุเข้ามาในขณะทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งเป็นการบรรจุเพียงบางส่วนดังรูปที่ 6.7 เปรียบเทียบกับโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่มีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะบรรจุส่วนประกอบทั้งหมดดังรูปที่ 6.5 และมีขั้นตอนของการทำการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

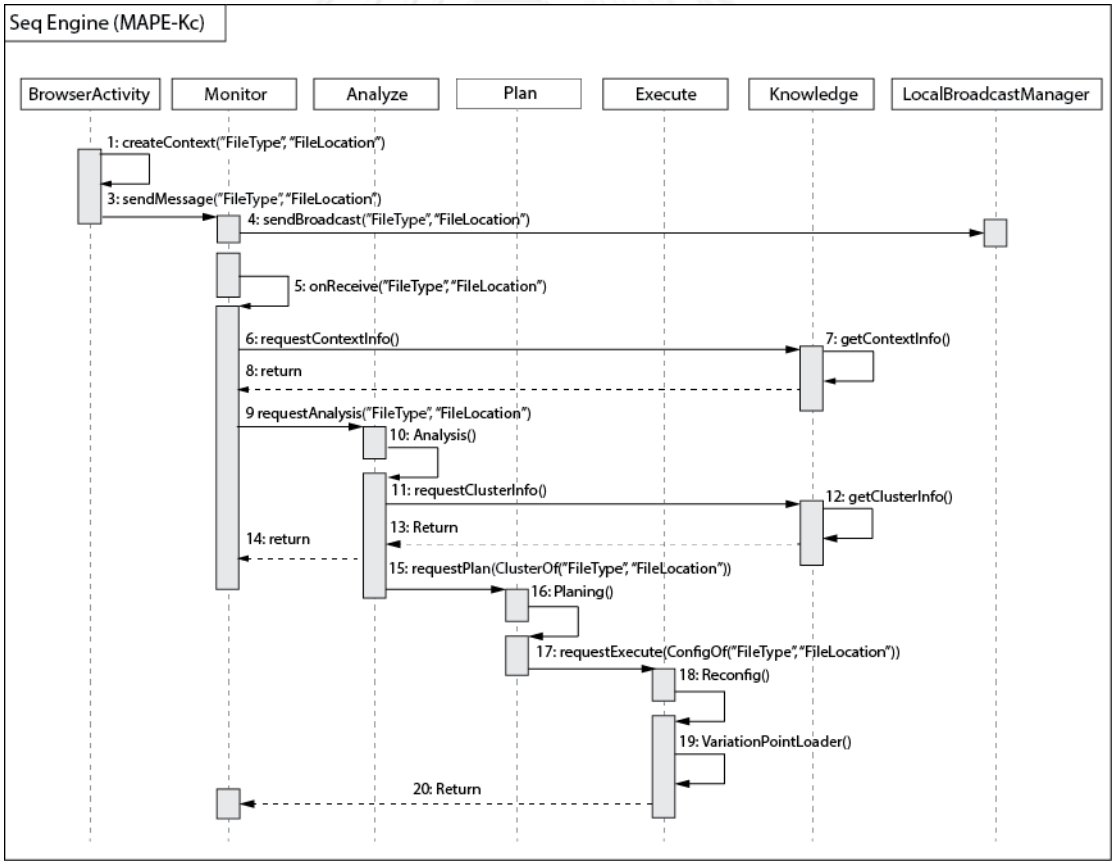
- เปิดโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อขึ้นมาแต่เนื่องจากโปรแกรมประยุกต์นี้กำหนดให้เริ่มต้นต้องมีการปรับตัวของบริบท MediaPlaying ซึ่งเหมือนกับสถานการณ์การทดลองที่ 6.1.2.1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ซึ่งต้องนำระยะเวลาดังกล่าวไปรวมกับขั้นตอนที่ 2 เพื่อพิจารณาระยะเวลาบรรจุทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2

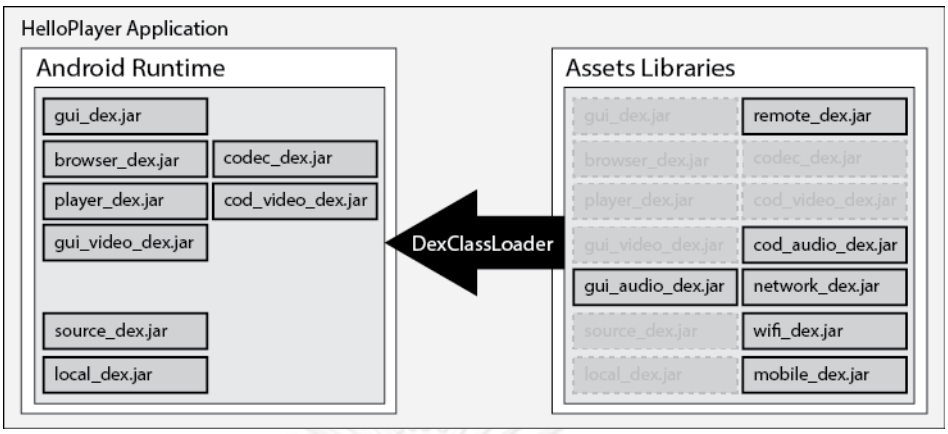
- เปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์จากราบการของแฟ้มข้อมูลที่เป็นผลมาจากการปรับตัวครั้งแรกในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการปรับตัวตามบริบท FIleType และ FileLocation cจะแสดงการเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ของแฟ้มข้อมูลที่ถูกเลือก แต่การวัดระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้จะใช้การวัดตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งมีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวแล้วกลับมาที่กิจกรรมเฝ้าดู

หมายเหตุ

เนื่องจากการทดสอบโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อที่ไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะนั้น เมื่อมีการเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในขั้นตอนที่ 2 จำเป็นต้องมีการแก้ไขในส่วนของซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพื่อกำหนดตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ ทำให้เสมือนว่ามีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้อีกครั้ง ซึ่งถ้าไม่กำหนดตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลดังกล่าวจะทำให้โปรแกรมประยุกต์ไม่สามารถทำงานได้ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องบันทึกระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในขั้นตอนที่ 2 ด้วย



รูปที่ 6.6 แผนภาพลำดับของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์หลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ



รูปที่ 6.7 แผนภาพการบรรจุส่วนประกอบของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์หลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ตารางที่ 6.23 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์หลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ครั้งที่	จัดกลุ่ม (ms)		ไม่จัดกลุ่ม (ms)	
	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2
1	168	368	409	155
2	173	394	414	159
3	186	401	433	149
4	176	375	437	153
5	170	397	396	153
6	158	370	409	151
7	170	366	394	156
8	191	364	482	144
9	162	373	408	156
10	167	378	409	162
11	172	353	438	144
12	173	383	381	143
13	167	399	407	155
14	207	362	442	177
15	166	357	422	147
16	169	364	417	141
17	167	364	403	147
18	176	367	394	143
19	161	392	399	150
20	160	367	402	163

6.1.2.4 สถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลเพลงหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ในสถานการณ์การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลเพลงหลังจากเข้าสู้โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ ซึ่งเป็นการปรับตัวของบริบท FileType และ FileLocation โดยกรอบการทำงาน MAPE-Kc จะพิจารณาบริบท FileType และ FileLocation และทำการบรรจุคุณลักษณะจุดเปลี่ยนแปลงที่ถูกจัดกลุ่มนั้นก็คือ Player และ Codec ซึ่งเงื่อนไขของบริบท FileType เป็น audio ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Player จึงเลือกคุณลักษณะ AudioUI และ Codec เลือกคุณลักษณะ Audio และเงื่อนไขของบริบท FileLocation เป็น Local ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Source เลือกคุณลักษณะ Local เพื่อทำการบรรจุเข้ามาในขณะทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งเป็นการบรรจุเพียงบางส่วนดังรูปที่ 6.8 เปรียบเทียบกับโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่มีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะบรรจุส่วนประกอบทั้งหมดดังรูปที่ 6.5 และมีขั้นตอนของการทำการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

- เปิดโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อขึ้นมาแต่เนื่องจากโปรแกรมประยุกต์นี้กำหนดให้เริ่มต้นต้องมีการปรับตัวของบริบท MediaPlaying ซึ่งเหมือนกับสถานการณ์การทดลองที่ 6.1.2.1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ซึ่งต้องนำระยะเวลาดังกล่าวไปรวมกับขั้นตอนที่ 2 เพื่อพิจารณาระยะเวลาบรรจุทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2

- เปิดแฟ้มข้อมูลเพลงจากราบการของแฟ้มข้อมูลที่เป็นผลมาจากการปรับตัวครั้งแรกในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการปรับตัวตามบริบท FIleType และ FileLocation cจะแสดงการเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงของแฟ้มข้อมูลที่ถูกเลือก แต่การวัดระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้จะใช้การวัดตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งมีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวแล้วกลับมาที่กิจกรรมเฝ้าดู

<u>หมายเหตุ</u>

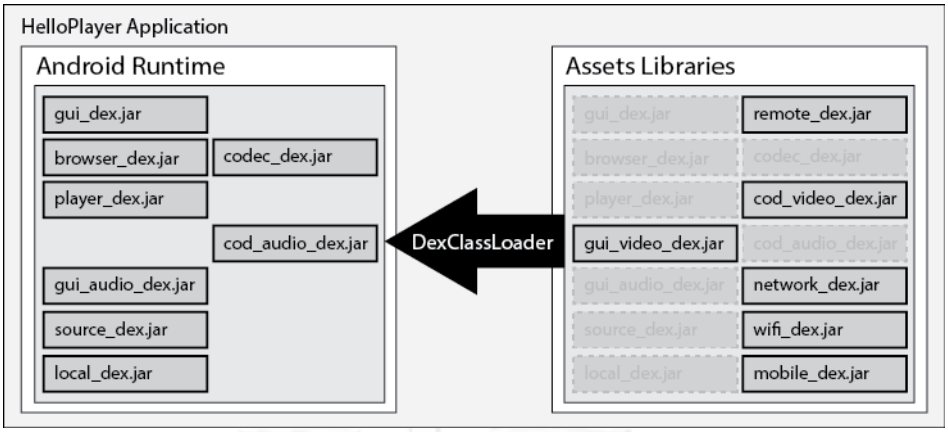
เนื่องจากการทดสอบโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อที่ไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะนั้นเมื่อมีการเปิดแฟ้มข้อมูลเพลงในขั้นตอนที่ 2 จำเป็นต้องมีการแก้ไขในส่วนของซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพื่อกำหนดตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลเพลง ทำให้เสมือนว่ามีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้อีกครั้ง ซึ่งถ้าไม่กำหนดตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลดังกล่าวจะทำให้โปรแกรมประยุกต์ไม่สามารถทำงานได้ถูกต้องดังนั้นจึงต้องบันทึกระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในขั้นตอนที่ 2 ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.24 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลเพลงหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ครั้งที่	จัดกลุ่ม (ms)		ไม่จัดกลุ่ม (ms)	
	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2
1	169	369	403	148
2	165	364	417	158
3	162	344	458	144
4	164	359	434	163
5	177	386	423	157
6	188	396	396	157
7	164	362	406	162
8	178	347	435	156
9	168	405	418	162
10	158	344	396	150
11	178	346	413	158
12	161	352	412	136
13	156	358	417	162
14	173	361	509	158
15	162	409	404	160
16	164	395	403	151
17	177	354	408	143
18	166	380	441	138
19	158	398	441	148
20	171	400	399	140

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6.8 แผนภาพการบรรจุส่วนประกอบของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลเพลงหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

6.1.2.5 สถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครือข่ายโดยใช้เครือข่ายหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ในสถานการณ์การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครือข่ายหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ ซึ่งเป็นการปรับตัวของบริบท FileType และ FileLocation โดยกรอบการทำงาน MAPE-Kc จะพิจารณาบริบท FileType FileLocation และ NetworkType และทำการบรรจุคุณลักษณะจุดเปลี่ยนแปลงที่ถูกจัดกลุ่มนั้นก็คือ Player Codec Source และ Network ซึ่งเงื่อนไขของบริบท FileType เป็น video ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Player จึงเลือกคุณลักษณะ VideoUI และ Codec เลือกคุณลักษณะ Video และเงื่อนไขของบริบท FileLocation เป็น Network ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Source เลือกคุณลักษณะ Remote และเงื่อนไขของบริบท NetworkType ซึ่งกำหนดจากการเลือกที่เมนูของโปรแกรมประยุกต์โดยเลือกเป็นไวไฟ ดังนั้นจุดเปลี่ยนแปลง Network จึงเลือกคุณลักษณะ Wifi สำหรับติดต่อเครือข่าย เพื่อทำการบรรจุเข้ามาในขณะทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งเป็นการบรรจุเพียงบางส่วน รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบกับโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่มีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะบรรจุส่วนประกอบทั้งหมดดังรูปที่ 6.5 และมีขั้นตอนของการทำการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

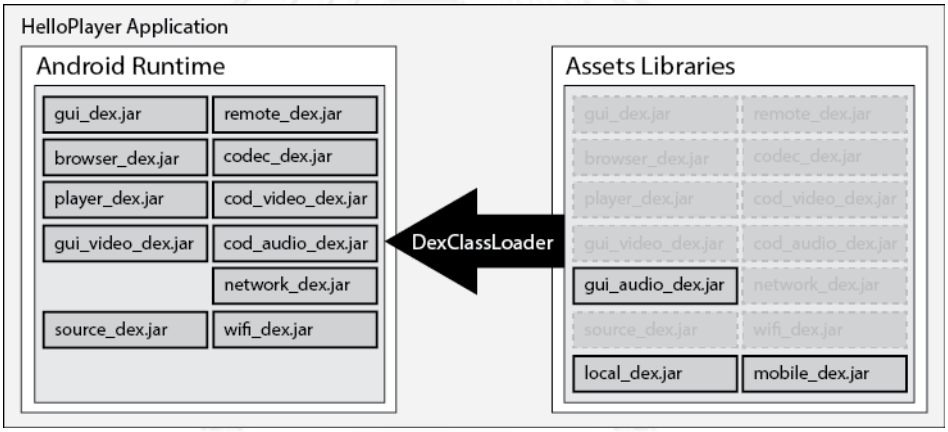
- เปิดโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อขึ้นมาแต่เนื่องจากโปรแกรมประยุกต์นี้กำหนดให้เริ่มต้นต้องมีการปรับตัวของบริบท MediaPlaying ซึ่งเหมือนกับสถานการณ์การทดลองที่ 6.1.2.1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ซึ่งต้องนำระยะเวลาดังกล่าวไปรวมกับขั้นตอนที่ 2 เพื่อพิจารณาระยะเวลาบรรจุทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2

- เปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์จากหน้าต่างสำหรับใส่ตำแหน่งของของแฟ้มข้อมูลจากเครือข่าย ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการปรับตัวตามบริบท FIleType และ FileLocation จะแสดงการเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงของแฟ้มข้อมูลที่ถูกระบุ แต่การวัดระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้จะใช้การวัดตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งมีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวแล้วกลับมาที่กิจกรรมเฝ้าดู

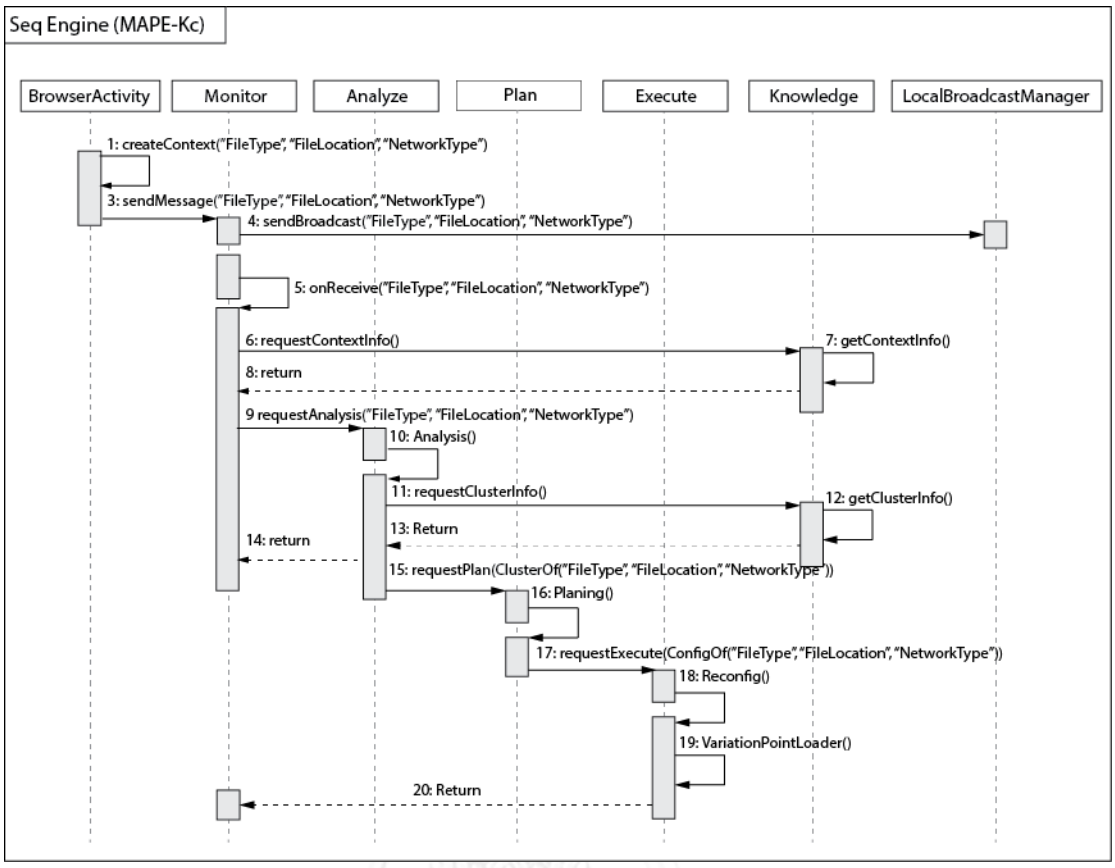
หมายเหตุ

เนื่องจากการทดสอบโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อที่ไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะนั้น เมื่อมีการเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในขั้นตอนที่ 2 จำเป็นต้องมีการแก้ไขในส่วนของซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพื่อกำหนดตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ ทำให้เสมือนว่ามีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้อีกครั้ง ซึ่งถ้าไม่กำหนดตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลดังกล่าวจะทำให้โปรแกรมประยุกต์ไม่สามารถทำงานได้ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องบันทึกระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในขั้นตอนที่ 2 ด้วย



รูปที่ 6.9 แผนภาพการบรรจุส่วนประกอบของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครือข่ายโดยใช้เครือข่ายไวไฟหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

Chulalongkorn University



รูปที่ 6.10 แผนภาพลำดับของสถานการณ์สำหรับทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครือข่ายหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ตารางที่ 6.25 ผลการทดสอบระยะเวลาการบรรจุของสถานการณ์ทดสอบการปรับตัวเมื่อเปิดแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครือข่ายโดยใช้เครือข่ายหลังจากเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

ครั้งที่	จัดกลุ่ม (ms)		ไม่จัดกลุ่ม (ms)	
	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2
1	157	380	387	145
2	159	367	432	158
3	171	397	393	181
4	199	426	374	168
5	173	370	382	156
6	163	370	402	145
7	160	423	387	144
8	166	441	389	182
9	178	408	407	151
10	164	404	426	138

ครั้งที่	จัดกลุ่ม (ms)		ไม่จัดกลุ่ม (ms)	
	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2
11	168	385	397	166
12	186	377	440	222
13	186	381	397	169
14	160	357	415	163
15	143	329	416	179
16	171	329	443	166
17	187	356	424	191
18	168	410	412	188
19	166	395	416	171
20	157	377	390	150

หมายเหตุ: จัดกลุ่ม คือ การจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามวิธีการที่นำเสนอ

ไม่จัดกลุ่ม คือ การไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

6.2 การประเมินผลระบบ

จากการทดลองระบบนำมาสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง ของแต่ละสถานการณ์ทดสอบ โดยการเปรียบเทียบระยะเวลาในการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ ในสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต ระหว่างการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะและการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะนั้น จะสามารถสรุปเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังตารางที่ 6.26

ตารางที่ 6.26 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการจัดกลุ่มแบบจำลองและการไม่จัดกลุ่มแบบจำลอง

สถานการณ์	ค่าเฉลี่ย (ms)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	จัดกลุ่มแบบ	ไม่จัดกลุ่ม	จัดกลุ่มแบบ	ไม่จัดกลุ่ม
สถานการณ์ทดสอบที่ 1	158.95	388.95	11.3	17.4
สถานการณ์ทดสอบที่ 2	546.7	567.2	17.5	23.84
สถานการณ์ทดสอบที่ 3	539.4	574.2	23.8	27.7
สถานการณ์ทดสอบที่ 4	553.2	573.1	34.7	32.1

การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยประชากรของระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจของการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ (M1) และจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ (M2) ตาม

ขั้นตอนของกรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน (Independent Samples) ในระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

1) ตั้งสมมติฐาน

ตั้งสมมติฐานทางสถิติ ดังนี้

$H_0: M1 = M2$

$H_1: M1 \neq M2$

2) กำหนดนัยสำคัญ $\propto = 0.5$

3) เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบ

เนื่องจาก t-test มี 2 สูตร ก่อนตัดสินใจว่าใช้สูตรใดจะต้องทำการทดสอบหาค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่

การทดสอบ f-test

ตั้งสมมุตฐานทางสถิติ

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_1^2$

$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_1^2$

จาก $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$

เมื่อพิจารณาเป็นการทดสอบแบบสองทางดังนั้นจึงต้องใช้ $\alpha = \frac{0.05}{2} = 0.025$ ในตารางเปิดเมื่อ df1 = 20 – 1 = 19 และ df2 = 20 – 1 = 19

จะได้ค่าวิกฤตของ F เท่ากับ 2.5089 ($F_{ตาราง}$ = 2.5089)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับสถานการณ์ที่ 1

$$F_{คำนวน} = \frac{11.3^2}{17.4^2} = 2.35$$

สำหรับสถานการณ์ที่ 2

$$F_{คำนวน} = \frac{17.5^2}{23.8^2} = 1.85$$

สำหรับสถานการณ์ที่ 3

$$F_{คำนวน} = \frac{23.8^2}{27.7^2} = 1.35$$

สำหรับสถานการณ์ที่ 4

$$F_{\text{คำนวน}} = \frac{34.7^2}{32.1^2} = 0.85$$

ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 นั้นคือ $\sigma_1^2 = \sigma_1^2$

จากผลการทดสอบจึงตัดสินใจเลือกใช้สถิติ t-test แบบความแปรปรวนร่วม (Pooled variance)

$$t = \frac{\overline{x1} - \overline{x2}}{\sqrt{S_p^2\left(\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}\right)}}; df = n_1 + n_2 - 2$$

4) กำหนดขอบเขตวิกฤต

กำหนด $\alpha = 0.05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว $H_1: M1 \neq M2$ ค่าวิกฤตของ t ณ df = 20 + 20 – 2 = 38 และ $\alpha = \frac{0.05}{2} = 0.025$ จะได้ค่าวิกฤตของ t ($t_{\text{ตาราง}}$) = 2.02

5) คำนวณค่าสถิติทดสอบตามสูตร

$$t = \frac{\overline{x1} - \overline{x2}}{\sqrt{S_p^2\left(\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}\right)}}; df = n_1 + n_2 - 2$$

แทนค่าในสูตร สำหรับสถานการณ์ที่ 1

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$S_p^2 = \frac{(20 - 1)11.3^2 + (20 - 1)17.4^2}{20 + 20 - 2} = 214.36$$

$$t = \frac{481.2 - 180.5}{\sqrt{214.36\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20}\right)}} = 64.8$$

แทนค่าในสูตร สำหรับสถานการณ์ที่ 2

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$S_p^2 = \frac{(20\ -1)17.5^2 + (20-1)23.84^2}{20+20-2} = 437.29$$

$$t = \frac{567.2 - 546.7}{\sqrt{437.29\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20}\right)}} = 3.10$$

แทนค่าในสูตร สำหรับสถานการณ์ที่ 3

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}$$

$$S_p^2 = \frac{(20\ -1)23.8^2 + (20-1)27.7^2}{20+20-2} = 666.86$$

$$t = \frac{574.2 - 539.4}{\sqrt{666.86\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20}\right)}} = 4.26$$

แทนค่าในสูตร สำหรับสถานการณ์ที่ 4

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}$$

$$S_p^2 = \frac{(20\ -1)34.7^2 + (20-1)32.1^2}{20+20-2} = 1117.25$$

$$t = \frac{573.1 - 553.2}{\sqrt{1117.25\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20}\right)}} = 1.88$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6) สรุปตัดสินใจ

เนื่องจาก $t_{คำนวณ}$ ของสถานการณ์ที่ 1 ถึง 3 มีค่าเป็น 64.88 3.10 และ 4.26 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า $t_{ตาราง}$ = 2.02 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 แต่ $t_{คำนวณ}$ ของสถานการณ์ที่ 4 มีค่าเป็น 1.88 ซึ่งน้อยกว่า $t_{ตาราง}$ ดังนั้นปฏิเสธ H_1 และยอมรับ H_0 นั้นคือระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะและการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในสถานการณ์ที่ 1 ถึง 3 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในสถานการณ์ที่ 4

จากการหาค่าเฉลี่ยและการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยประชากรดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะใช้ระยะเวลาในบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ของการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจน้อยกว่าการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะมากกว่า 45% ในสถานการณ์เปิดเข้าโปรแกรมประยุกต์ และ 4 – 6% ในสถานการณ์ที่มีการเปิดแฟ้มข้อมูลสำหรับเล่นสื่อ และค่าเฉลี่ยประชากรของระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะไม่เท่ากับการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าเฉลี่ยประชากรของระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในการเปลี่ยนแปลงของการตัดสินใจของการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะในสถานการณ์เล่นแฟ้มข้อมูลจากระบบเครือข่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต การออกแบบเครื่องมือการสร้างแบบจำลองคุณลักษณะรวมทั้งการออกแบบและสร้างกรณีศึกษาของวิธีการดังกล่าวสามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

7.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถสร้างวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะตามพฤติกรรมการปรับเพื่อการจัดการการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัติสำหรับสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต โดยวิธีการอาศัยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก หรือ FLAME มาพิจารณาความคล้ายคลึงกันของบริบทซึ่งเป็นพฤติกรรมการปรับและข้อจำกัดของคุณลักษณะของจุดเปลี่ยนแปลง โดยจัดให้จุดเปลี่ยนแปลงที่มีความคล้ายคลึงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยออกแบบแบบจำลองคุณลักษณะและกำหนดบริบทและข้อจำกัดของคุณลักษณะของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะและจำลองการจัดกลุ่มของแบบจำลองคุณลักษณะด้วยเครื่องมือ Feature-Dc โดยนำออกเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลเพื่อใช้ในกรอบการทำงานปรับตัวเอง MAPE-Kc ที่สามารถจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจากเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่นำเข้ามาในกรอบการทำงานในตอนเริ่มต้นการทำงานของกรอบการทำงานโดยกิจกรรมความรู้และนำกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะมาใช้ในกิจกรรมการวิเคราะห์เพื่อสร้างโครงแบบสำหรับการปรับตัวคุณลักษณะในกิจกรรมการวางแผนและนำโครงแบบดังกล่าวไปใช้ในกิจกรรมการปฏิบัติการเพื่อบรรจุซอฟต์แวร์ตามโครงแบบที่วางแผนไว้

เพื่อการตรวจสอบวิธีการดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้สร้างกรณีศึกษาเป็นโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อบนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์และทดลองปรับโครงแบบตามสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งผลการทดลองทำงานของกรณีศึกษาพบว่าในสถานการณ์การทำงานของโปรแกรมประยุกต์ในระยะเริ่มต้นหลังจากเปิดโปรแกรมประยุกต์การจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะใช้เวลาในการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้น้อยกว่าไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะมีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพียงบางส่วนในขณะที่การไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะมีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ทั้งหมด และในสถานการณ์การทำงานของโปรแกรมประยุกต์หลังจากนั้นมีความแตกต่างของระยะเวลาในการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพียงเล็กน้อย และในสถานการณ์ที่เปิดแฟ้มข้อมูลจากเครือข่ายระยะเวลาในการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะมีผลกับการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพียงในสถานการณ์มีการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เพียงบางส่วนเท่านั้น แต่ถ้าในสถานการณ์การปรับตัวที่จำเป็นต้องบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้คราวละมากๆ การจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะจะไม่มีผลกับระยะเวลาการบรรจุซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ เมื่อเทียบกับการไม่จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

7.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

7.2.1 ข้อจำกัดของวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยพิจารณาความคล้ายกลึงของจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะโดยอาศัยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกนั้น หากในแบบจำลองคุณลักษณะประกอบด้วยจุดเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีความคล้ายคลึงกันจะทำให้วิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะที่เสนอในงานวิจัยนี้ไม่มีผลกับระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวที่ออกแบบด้วยแบบจำลองคุณลักษณะดังกล่าว หรือในแบบจำลองคุณลักษณะที่แต่ละจุดเปลี่ยนแปลงมีความคล้ายคลึงกันทั้งหมดจะทำให้ได้กลุ่มของจุดเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีผลกับการปรับตัวเองของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวได้เช่นกัน

7.1.1 ข้อจำกัดของเครื่องมือการออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ

เครื่องมือการออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะจะไม่รองรับป้ายส่วนระบุย่อยของเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลด้วยตัวเองนั้น หลังจากที่เข้าไปใช้เครื่องมืออีกครั้งจะต้องทำการปรับสภาพของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ใหม่ทุกครั้งเพื่อให้สอดคล้องกับเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่เปลี่ยนไป

การวางผังของรูปภาพคุณลักษณะในเครื่องมือการออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะนั้นจะไม่ได้ระนาบในบางครั้งที่มีการเพิ่มคุณลักษณะใหม่เข้าไปในแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งสามารถเลื่อนให้รูปของคุณลักษณะตรงตามที่ต้องการได้ แต่เมื่อมีการเปิดหรือปรับขนาดของหน้าต่างโปรแกรมประยุกต์ก็จะกลับไปเป็นไม่ได้ระนาบเหมือนเดิม

7.1.2 ข้อจำกัดของกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เครื่องเล่นสื่อ

โปรแกรมประยุกต์ของกรณีศึกษานั้นจะมีการแก้ไขเทรดของโปรแกรมประยุกต์ในขณะทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งอาจจะทำให้ระบบปฏิบัติการมีความบกพร่องชั่วคราวได้ และการเล่นแฟ้มข้อมูลสื่อในกรณีศึกษายังจำกัดอยู่เป็นบางชนิดของแฟ้มข้อมูลซึ่งแพลตฟอร์มแอนดรอยด์รองรับเท่านั้น และในกรณีศึกษานี้การปรับตัวเองได้นั้นจะเป็นเพียงการบรรจุเข้าซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ไปยังระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง แต่ไม่สามารถที่จะทำการบรรจุออกซอฟต์แวร์ปรับตัวได้ในขณะทำงาน ซึ่งจะทำให้ขนาดของซอฟต์แวร์ในขณะทำงานนั้นมีขนาดเพิ่มขึ้นจากการปรับตัวในแต่ละครั้งของกรอบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเอง

7.3 แนวทางการวิจัยต่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิกมาใช้ในการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะ ซึ่งอาจจะมีขั้นตอนวิธีในการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ หรืออาจจะนำคุณลักษณะลูกมาพิจารณามากขึ้นซึ่งก็อาจจะทำให้การจัดกลุ่มมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในกรณีศึกษาการของงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถที่จะทำการบรรจุออกซอฟต์แวร์ปรับตัวได้จากระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองได้ ดังนั้นการวิจัยต่ออาจจะต้องหาวิธีในการบรรจุออกของซอฟต์แวร์ปรับตัวได้จากระบบซอฟต์แวร์ปรับตัวเองในขณะทำงานเพื่อเทียบขนาดของซอฟต์แวร์ในขณะทำงานตามหลักการของสายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์พลวัต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] Software Engineering Institute, "A Framework for Software Product Line Practice," [Online]. Available: http://www.sei.cmu.edu/productlines/.

[2] S. Hallsteinsen, M. Hinchey, S. Park and K. Schmid, "Dynamic Software Product Lines," *Computer,* vol. 41, no. 4, pp. 93-95, 2008.

[3] L. Shen, X. Peng, J. Liu and W. Zhao, "Towards Feature-Oriented Variability Reconfiguration in Dynamic Software Product Lines," in *Proceedings of the 12th international conference on Top productivity through software reuse*, 2011.

[4] S. H. E. S. d. a. Nelly Bencomo, "A View of the Dynamic Software Product Line Landscape," *Computer,* vol. 45, no. 10, p. 36 – 41, 2012.

[5] H. Gomaa and M. Hussein, "Dynamic Software Reconfiguration in Software Product Families," *LNCS,* vol. 3014/2004, pp. 435-444, 2004.

[6] H. Gomaa and K. Hashimoto, "Dynamic software adaptation for service-oriented product lines," in *Proceedings of the 15th International Software Product Line Conference*, 2011.

[7] F. Dalpiaz, P. Giorgini and J. Mylopoulos, "Software self-reconfiguration: a BDI-based approach," in *Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2009.

[8] M. Rosenmüller, N. Siegmund, M. Pukall and S. Apel, "Tailoring dynamic software product lines," *10th ACM international conference on Generative programming and component engineering,* pp. 3-12, 2011.

[9] T. Dinkelaker, R. Mitschke, K. Fetzer and M. Mezini, "A Dynamic Software Product Line Approach Using Aspect Models at Runtime," in *In First Workshop on Composition and Variability'10 Rennes*, 2010.

[10] R. C. Jan Bosch, "Dynamic Variability in Software-Intensive Embedded System Families," *Computer,* vol. 45, no. 10, p. 28 – 35, 2012.

[11] S. O. A. S. J. S. M. L. Karsten Saller, "Reducing Feature Model to Improve Runtime Adaptivity on Resource Limited Devices," *Proceedings of the 16th International*

Software Product Line Conference, vol. 2, p. 135 – 142, 2012.

[12] L. a. M. E. Fu, "FLAME, a novel fuzzy clustering method for the analysis of DNA microarray data," *BMC bioinformatics,* vol. 8, no. 1, p. 3, 2007.

[13] K. Schmid, E. Rommes and Frank J. van der and Schmid, Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering, Springer-Verlag New York, Inc., 2007.

[14] K. C. Kang, S. G. Cohen, J. A. Hess, W. E. Novak and S. A. Peterson, "Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study," Technical Report CMU/SEI-90-TR-021, 1990/11.

[15] C. H. Betty, L. Rogério , G. Holger, I. Paola and M. Jeff, "Software Engineering for Self-Adaptive Systems: A Research Roadmap," in *Software Engineering for Self-Adaptive Systems*, vol. 4, Springer-Verlag, 2009, pp. 1-26.

[16] G. D. Abowd, A. K. Dey, P. J. Brown, N. Davies, M. Smith and P. Steggles, "Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness," in *HUC '99 Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, 1999.

[17] A. Tversky, "Features of Similarity," *Psychological Review,* vol. 84, pp. 327-352, 1977.

[18] H. Shokry and M. A. Babar, "Dynamic Software Product Line Architectures Using Service-Based Computing for Automotive Systems," *Software Product Line Conference,* vol. 2, pp. 53-58, 2008.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
คำอธิบายยูสเคสของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ

ตารางที่ ก.1 คำอธิบายยูสเคส สร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC01	**ชื่อยูสเคส :** สร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : สร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะซึ่งเป็นส่วนเสริมของโปรแกรมประยุกต์อีคลิปส์	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. แสดงหน้าต่างเพื่อเลือกแบบชนิดของโครงการ 2. แสดงหน้าต่างตั้งชื่อโครงการ 3. สร้างโฟลเดอร์และเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลเริ่มต้น 4. สร้างและแสดงรูปภาพแบบจำลองคุณลักษณะเริ่มต้นที่หน้าจอ	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

ตารางที่ ก.2 คำอธิบายยูสเคส สร้างคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC02	**ชื่อยูสเคส :** สร้างคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : สร้างคุณลักษณะใหม่ในแบบจำลองคุณลักษณะพร้อมทั้งตั้งชื่อให้คุณลักษณะที่สร้างขึ้น	

ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. สร้างคุณลักษณะในโมเดลของกรอบการทำงาน GEF 2. แสดงรูปภาพแบบจำลองคุณลักษณะบนหน้าจอโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -

ตารางที่ ก.3 คำอธิบายยูสเคส เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC03	**ชื่อยูสเคส :** เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะที่มีอยู่แล้ว	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. แสดงกรอบข้อความสำหรับกรอกข้อความใหม่เพื่อเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ 2. เปลี่ยนชื่อของคุณลักษณะในโมเดลของกรอบการทำงาน GEF 3. แสดงคุณลักษณะที่เปลี่ยนชื่อแล้ว	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.4 คำอธิบายยูสเคส ลบคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC04	**ชื่อยูสเคส :** ลบคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : ลบคุณลักษณะที่มีอยู่แล้ว	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. ลบคุณลักษณะที่เลือกในโมเดลของกรอบการทำงาน GEF 2. ลบรูปภาพคุณลักษณะบนหน้าจอโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

ตารางที่ ก.5 คำอธิบายยูสเคส กำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC05	**ชื่อยูสเคส :** กำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : กำหนดแบบบริบทสำหรับคุณลักษณะ	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ :	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกบริบทที่มีอยู่ในแบบจำลองคุณลักษณะ 2. เลือกบริบทที่ต้องการกำหนดให้กับจุดเปลี่ยนแปลงที่เลือกอยู่ 3. กำหนดบริบทของคุณลักษณะในโมเดลของกรอบการทำงาน GEF 4. แสดงบริบทที่เลือกในรายการของมุมมองบริบท
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -

ตารางที่ ก.6 คำอธิบายยูสเคส เปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC06	**ชื่อยูสเคส :** เปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : เปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเป็น And หรือ Or หรือ Xor	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะแม่เป็น And หรือ Or หรือ Xor 2. เปลี่ยนจุดเชื่อมต่อคุณลักษณะแม่เป็นเส้นเชื่อมต่อปกติ และจุดเชื่อมต่อที่คุณลักษณะลูกเป็นวงกลมตามความสัมพันธ์ปัจจุบันสำหรับ And 3. เปลี่ยนจุดเชื่อมต่อคุณลักษณะแม่เป็นรูปเส้นโค้งทึบรัศมีตามเส้นเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะและจุดเชื่อมต่อที่คุณลักษณะลูกเป็นจุดเชื่อมโยงปกติสำหรับ Or 4. เปลี่ยนจุดเชื่อมต่อคุณลักษณะแม่เป็นรูปเส้นโค้งโปร่งรัศมีตามเส้นเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะและจุดเชื่อมต่อที่คุณลักษณะลูกเป็นจุดเชื่อมโยงปกติ	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

ตารางที่ ก.7 คำอธิบายยูสเคส เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC07	**ชื่อยูสเคส :** เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะเป็น Mandatory หรือ Optional	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่เลือกเป็น Mandatory หรือ Optional 2. เปลี่ยนจุดเชื่อมต่อคุณลักษณะลูกเป็นวงกลมโปร่งสำหรับ Mandatory ของความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะแบบ And 3. เปลี่ยนจุดเชื่อมต่อคุณลักษณะลูกเป็นวงกลมโปร่งสำหรับ Optional ของความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะแบบ And	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

ตารางที่ ก.8 คำอธิบายยูสเคส กำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC08	**ชื่อยูสเคส :** กำหนดข้อจำกัดของคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : กำหนดข้อจำกัดให้กับคู่คุณลักษณะที่เลือก เป็น Require หรือ Exclude	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : -	

Extend : - Generalization : -
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. แสดงหน้าต่างเพื่อเลือกชนิดของข้อจำกัด 2. กำหนดคุณลักษณะที่มีข้อจำกัดด้วยและชนิดของให้ทั้งสองคุณลักษณะที่เลือก 3. แสดงเส้นเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะที่มีข้อจำกัดด้วย 4. ลบข้อจำกัดของคุณลักษณะและไม่แสดงเส้นเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะ
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -

ตารางที่ ก.9 คำอธิบายยูสเคส จำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

หมายเลขยูสเคส : UC09	**ชื่อยูสเคส :** จำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : จำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มความคลุมเครือและการประมาณค่าใกล้เคียงเฉพาะที่สำหรับสมาชิก	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. จัดกลุ่มของคุณลักษณะที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะโดยแสดงสัญลักษณ์เป็นเครื่องหมายนขลิขิตวงเล็บก้ามปูและตัวเลขของกลุ่มที่จุดเปลี่ยนแปลงนั้นอยู่ 2. ยกเลิกการจัดกลุ่มจุดเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองคุณลักษณะและลบสัญลักษณ์แสดงกลุ่มบนจุดเปลี่ยนแปลง	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.10 คำอธิบายยูสเคส นำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล

หมายเลขยูสเคส : UC10	**ชื่อยูสเคส :** นำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล
ผู้เกี่ยวข้องหลัก : ผู้ใช้งานเครื่องมือ	
รายละเอียด : นำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล	
ความสัมพันธ์ : Association : ผู้ใช้งานเครื่องมือ Use : - Extend : - Generalization : -	
กระแสเหตุการณ์ปกติ : 1. แสดงหน้าต่างเพื่อเลือกตำแหน่งสำหรับเก็บเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล	
กระแสเหตุการณ์ทางเลือก : -	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข
การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ

จากแผนภาพคลาสในบทที่ 4 สามารถเขียนการ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของเครื่องมือจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ข.1 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModel

<table>
<tr><td colspan="2">ชื่อคลาส : FeatureModel</td><td>ไอดี : 1</td><td>ชนิด : Concrete, Domain</td></tr>
<tr><td colspan="2">รายละเอียด :
คลาสแทนแบบจำลองคุณลักษณะ</td><td colspan="2">ความสัมพันธ์กับยูสเคส :</td></tr>
<tr><td colspan="2">ความรับผิดชอบ :
- เก็บกลุ่มคุณลักษณะ
- จัดหาคุณลักษณะทั้งหมดหรือด้วยชื่อ
- จัดหาคุณลักษณะฐาน
- เพิ่มคุณลักษณะในกลุ่มคุณลักษณะ
- ลบคุณลักษณะในกลุ่มคุณลักษณะ
- เพิ่มตัวรับรู้เหตุการณ์
- ลบตัวรับรู้เหตุการณ์
- ปรับปรุงการตำแหน่งของคุณลักษณะเพื่อการจัดเรียง</td><td colspan="2">ผู้ทำงานร่วมกัน :
- FeatureModelEditor</td></tr>
<tr><td colspan="4">คุณสมบัติ :
- features (FeatureElement)
- listener (FeatureModelListener)</td></tr>
<tr><td colspan="4">ความสัมพันธ์ :
Generalization (a-kind-of) :
Aggregation (has-parts) : FeatureModelEditor
Other Association :</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.2 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureElement

<table>
<tr><td>ชื่อคลาส : FeatureElement</td><td>ไอดี : 2</td><td>ชนิด : Concrete, Domain</td></tr>
<tr><td colspan="2">รายละเอียด :
คลาสแทนคุณลักษณะในแบบจำลองคุณลักษณะ</td><td>ความสัมพันธ์กับยูสเคส :</td></tr>
<tr><td colspan="2">ความรับผิดชอบ :
- จัดหาชื่อของคุณลักษณะ
- จัดหาตำแหน่งของคุณลักษณะ
- จัดหาขนาดของคุณลักษณะ
- จัดหาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ
- จัดหาคุณลักษณะแม่
- จัดหาคุณลักษณะลูก
- กำหนดชื่อของคุณลักษณะ
- กำหนดตำแหน่งของคุณลักษณะ
- กำหนดขนาดของคุณลักษณะ
- กำหนดความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ
- กำหนดคุณลักษณะแม่
- กำหนดคุณลักษณะลูก</td><td>ผู้ทำงานร่วมกัน :
-</td></tr>
<tr><td colspan="3">คุณสมบัติ :
- x (int)
- y (int)
- height (int)
- width (int)
- name (String)
- relation (Relation)
- Mandatory (boolean)
- parent (FeatureElement)
- children (FeatureElement)
listender (FeatureListener)</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :

ตารางที่ ข.3 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConnection

ชื่อคลาส : FeatureConnection	ไอดี : 3	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสแทนการเชื่อมต่อของแต่ละคุณลักษณะในลักษณะของการเชื่อมโยงจุดต้นและจุดปลาย		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - จัดหาคุณลักษณะต้นทาง - จัดหาคุณลักษณะปลายทาง - กำหนดความสัมพันธ์ของคุณลักษณะที่เชื่อมต่อ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : - Parent (FeatureElement) - Child (FeatureElement) - listender (FeatureConnectionListener)		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.4 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureEditPartFactory

ชื่อคลาส : FeatureEditPartFactory	ไอดี : 4	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสสำหรับสร้างส่วนแก้ไขของส่วนต่างๆ ใน		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :

กรอบหารทำงาน GEF โดยจะสร้างคลาส FeatureModel-EditPart, FeatureEditPart และ FeatureConnection-EditPart	
ความรับผิดชอบ : - สร้างส่วนแก้ไขต่างๆ	ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -	
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :	

ตารางที่ ข.5 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelEditPart

ชื่อคลาส : FeatureModelEditPart	ไอดี : 5	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสของส่วนแก้ไขของแบบจำลองคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - สร้างรูปภาพแบบจำลองคุณลักษณะ - สร้างนโยบายของส่วนแก้ไข - เพิ่มส่วนลูกในส่วนแก้ไข - ลบส่วนลูกในส่วนแก้ไข - ปรับปรุงความสัมพันธ์ของส่วนแก้ไข		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.6 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureEditPart

<table>
<tr><td>ชื่อคลาส : FeatureEditPart</td><td>ไอดี : 6</td><td>ชนิด : Concrete, Domain</td></tr>
<tr><td colspan="2">รายละเอียด :
คลาสส่วนแก้ไขของคุณลักษณะ</td><td>ความสัมพันธ์กับยูสเคส :</td></tr>
<tr><td colspan="2">ความรับผิดชอบ :
- สร้างรูปภาพคุณลักษณะ
- สร้างนโยบายของส่วนแก้ไข
- จัดหาแบบจำลองคุณลักษณะ
- แสดงกรอบแก้ไขสำหรับเปลี่ยนชื่อ
- แสดงกรอบแก้ไขสำหรับกำหนดบริบท
- เพิ่มตัวรับรู้เหตูการณ์
- ลบตัวรับรู้เหตุการณ์
- จัดหารูปภาพคุณลักษณะ
- จัดหารายการคุณลักษณะเชื่อมต่อต้นทาง
- จัดหารายการคุณลักษณะเชื่อมต่อปลายทาง
- กำหนดป้ายชื่อในรูปคุณลักษณะ
- ปรับปรุงการแสดงผลหน้าจอ
- กำหนดตำแหน่งให้รูปภาพคุณลักษณะ
- กำหนดขนาดให้รูปภาพคุณลักษณะ
- ปรับปรุงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ</td><td>ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน</td></tr>
<tr><td colspan="3">คุณสมบัติ : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">ความสัมพันธ์ :
Generalization (a-kind-of) :
Aggregation (has-parts) :
Other Association :</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.7 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConnectionEditPart

ชื่อคลาส : FeatureConnectionEditPart	ไอดี : 7	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสส่วนแก้ไขการเชื่อมต่อของคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - สร้างรูปภาพการเชื่อมต่อคุณลักษณะ - สร้างนโยบายของส่วนแก้ไข - ปรับปรุงการแสดงผลหน้าจอของการเชื่อมต่อ - จัดหาจุดยึดติดของการเชื่อมต่อต้นทาง - จัดหาจุดยึดติดของการเชื่อมต่อปลายทาง - จัดหารูปภาพการเชื่อมต่อ - ปรับปรุงความสัมพันธ์ของการเชื่อมต่อ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.8 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureFigure

ชื่อคลาส : FeatureFigure	ไอดี : 8	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสรูปภาพคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - วาดรูปภาพคุณลักษณะบนหน้าจอ - กำหนดชื่อของรูปภาพที่วาดขึ้น - กำหนดการเลือกของรูปภาพ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ :		

- nameFigure (Label) - lineBorder (LineBorder)
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :

ตารางที่ ข.9 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureDecorationFigure

ชื่อคลาส : FeatureDecorationFigure	ไอดี : 9	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสรูปภาพจุดเชื่อมต่อ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : -		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ :		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.10 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConnectionFigure

ชื่อคลาส : FeatureConnectionFigure	ไอดี : 10	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสรูปภาพเส้นเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - จัดหาการเชื่อมโยงคุณลักษณะ - จัดหาจุดเชื่อมต่อปลายทาง		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน

- จัดหาจุดเชื่อมต่อต้นทาง	
คุณสมบัติ : -	
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :	

ตารางที่ ข.11 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureContextMenu

ชื่อคลาส : FeatureContextMenu	ไอดี : 11	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสรายการเมนูสำหรับการกระทำใดๆ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - แสดงรายการเมนูบนหน้าจอ - สร้างการกระทำสำหรับสร้างคุณลักษณะ - สร้างการกระทำสำหรับลบคุณลักษณะ - สร้างการกระทำสำหรับเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ - สร้างการกระทำสำหรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ - สร้างการกระทำสำหรับนำออกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.12 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureCreateAction

ชื่อคลาส : FeatureCreateAction	ไอดี : 12	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสสร้างคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - สร้างคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.13 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureDeleteAction

ชื่อคลาส : FeatureDeleteAction	ไอดี : 13	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสลบคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - ลบคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.14 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureRenameAction

ชื่อคลาส : FeatureRenameAction	ไอดี : 14	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.15 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureContextAction

ชื่อคลาส : FeatureContextAction	ไอดี : 15	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสกำหนดบริบทคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - กำหนดบริบทคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.16 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureRelationAction

ชื่อคลาส : FeatureRelationAction	ไอดี : 16	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเป็น AND OR และ Alternative		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - เปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.17 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureMandatoryAction

ชื่อคลาส : FeatureMandatoryAction	ไอดี : 17	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - เปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.18 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelExport

ชื่อคลาส : FeatureModelExport	ไอดี : 18	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - นำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.19 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelWriter

ชื่อคลาส : FeatureModelWriter	ไอดี : 19	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสเขียนแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - เขียนแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.20 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelReader

ชื่อคลาส : FeatureModelReader	ไอดี : 20	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสอ่านแบบจำลองคุณลักษณะจากเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - อ่านแบบจำลองคุณลักษณะจากเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.21 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureModelEditor

ชื่อคลาส : FeatureModelEditor	ไอดี : 21	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสหน้าจอการทำงาน		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - สร้างหน้าจอการทำงานของเครื่องมือ - บันทึกแบบจำลองคุณลักษณะในโฟลเดอร์โครงงาน - กำหนดการเปลี่ยนแปลงบนหน้าจอ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.22 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureClusterAction

ชื่อคลาส : FeatureClusterAction	ไอดี : 22	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.23 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FlameCluster

ชื่อคลาส : FrameCluster	ไอดี : 23	ชนิด : Concrete, Domain
รายละเอียด : คลาสจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ		ความสัมพันธ์กับยูสเคส :
ความรับผิดชอบ : - จัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะโดยใช้ FLAME		ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน
คุณสมบัติ : -		
ความสัมพันธ์ : Generalization (a-kind-of) : Aggregation (has-parts) : Other Association :		

ตารางที่ ข.24 การ์ดแสดงความรับผิดชอบและผู้ทำงานร่วมกันของคลาส FeatureConstraintAction

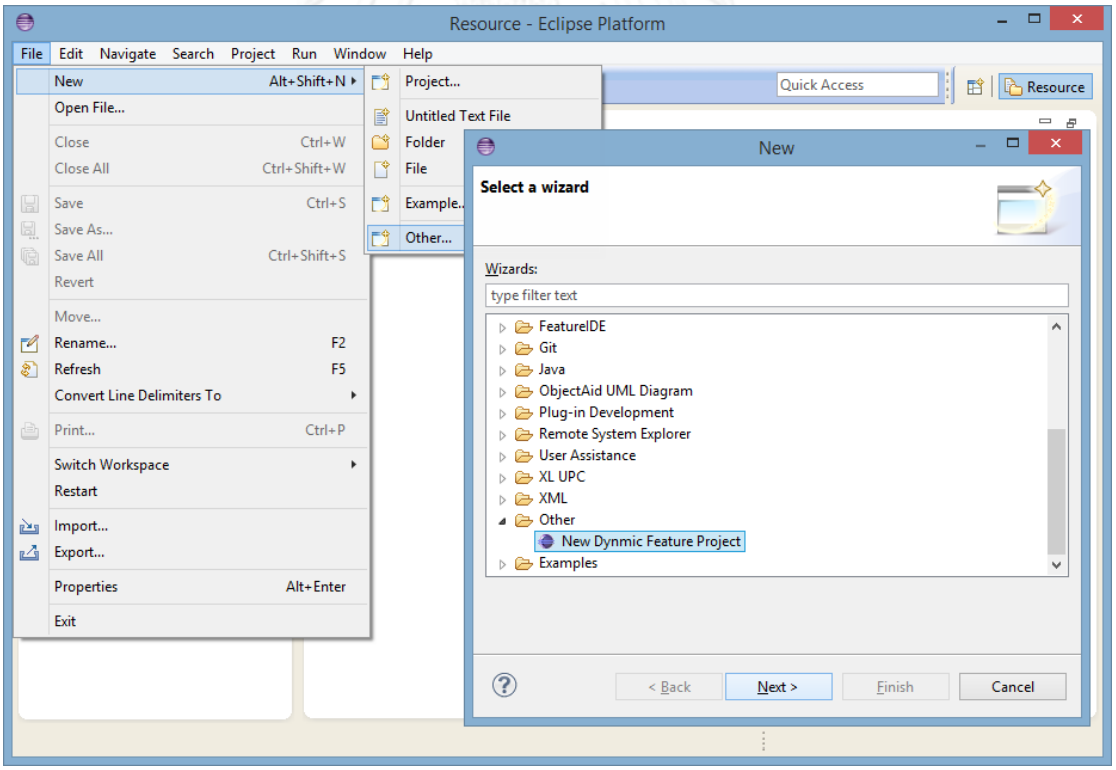
<table>
<tr><td>ชื่อคลาส : FeatureConstraintAction</td><td>ไอดี : 23</td><td>ชนิด : Concrete, Domain</td></tr>
<tr><td colspan="2">รายละเอียด :
คลาสกำหนดข้อกำจัดให้กับคู่ของคุณลักษณะ</td><td>ความสัมพันธ์กับยูสเคส :</td></tr>
<tr><td colspan="2">ความรับผิดชอบ :
- แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกชนิดของข้อจำกัด
- กำหนดข้อจำกัดให้กับคู่ของคุณลักษณะโดยขึ้นอยู่กับชนิดที่เลือก</td><td>ผู้ทำงานร่วมกัน : ผู้ใช้งาน</td></tr>
<tr><td colspan="3">คุณสมบัติ : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">ความสัมพันธ์ :
Generalization (a-kind-of) :
Aggregation (has-parts) :
Other Association :</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

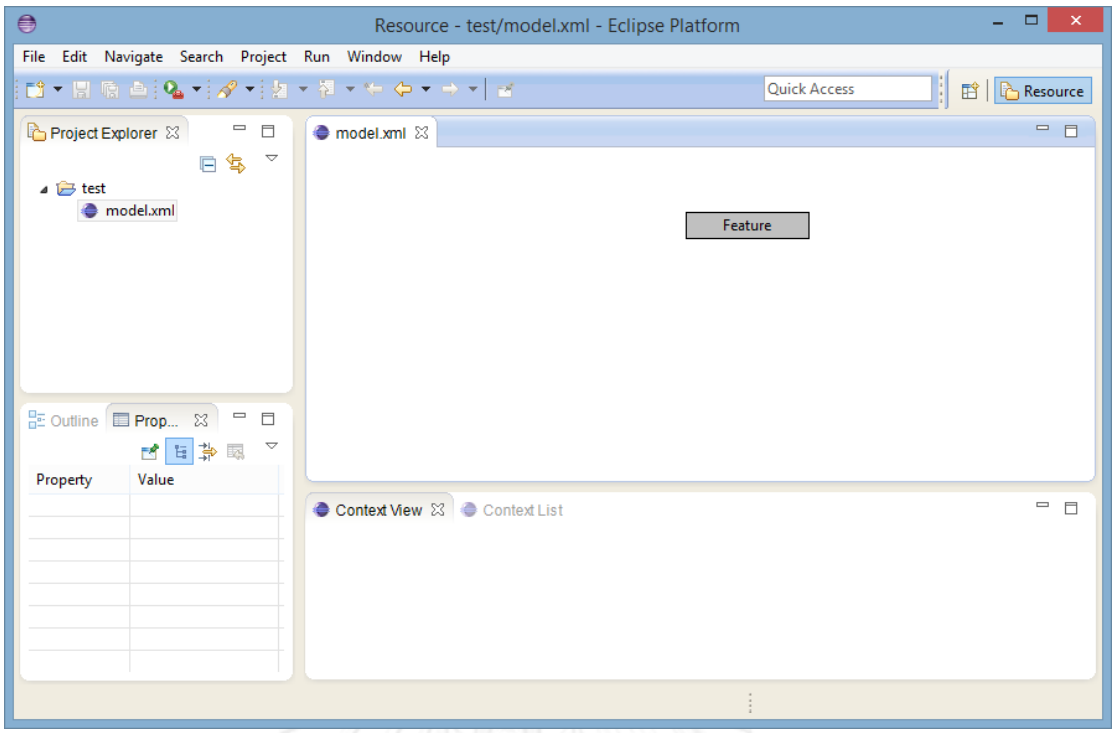
ภาคผนวก ค
การใช้งานของเครื่องมือสร้างแบบจำลองคุณลักษณะ

ภาพรวมของส่วนต่อประสานงานผู้ใช้ของส่วนเสริมเครื่องมือออกแบบและสร้างแบบจำลองคุณลักษณะในโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ ตามลักษณะของยูสเคสดังต่อไปนี้

1. สร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะ จะใช้แบบแผนของเครื่องมือช่วยเหลือพื้นฐานสำหรับการสร้างโครงการของโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ ซึ่งจะได้โครงการใหม่ภายใต้พื้นทำงานปัจจุบัน (Workspace) โดนเลือกที่ New -> Other -> New Dynamic Feature Project ดังรูปที่ 34 (ก) และจะปรากฏหน้าต่างเพื่อสร้างโครงการใหม่ และใส่ชื่อโครงการที่ต้องการและกดปุ่ม “Finish” เพื่อสร้างโครงการใหม่ โดยที่เครื่องมือจะสร้างโฟลเดอร์ของโครงการและเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลเบื้องต้น และแสดงคุณลักษณะเบื้องต้นโดยกำหนดชื่อเป็น “Feature” หลังจากสร้างโครงการแบบจำลองคุณลักษณะและสร้างคุณลักษณะบางส่วนแล้วจะปรากฏแบบจำลองคุณลักษณะดัง รูปที่ ค.2



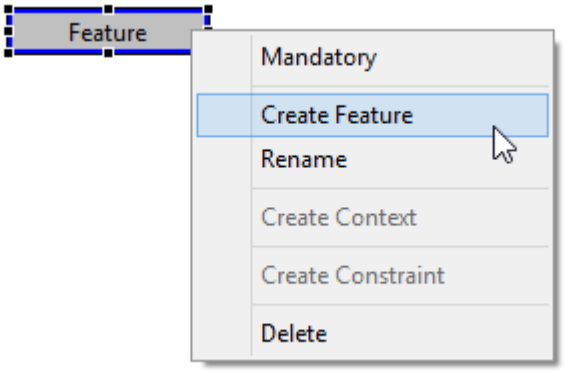
(ก)



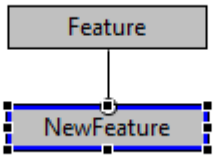
(ข)

รูปที่ ค.1 หน้าต่างเบื้องต้นหลังจากสร้างโครงงานของเครื่องมือ

2. สร้างคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่คุณลักษณะที่มีในแบบจำลอง คุณลักษณะจะปรากฏเมนู และเลือก Create Feature ดังรูปที่ ค.2 (ก) หลังจากนั้นจะปรากฏคุณลักษณะใหม่ขึ้นมาบนหน้าจอดังรูปที่ ค.2 (ข)



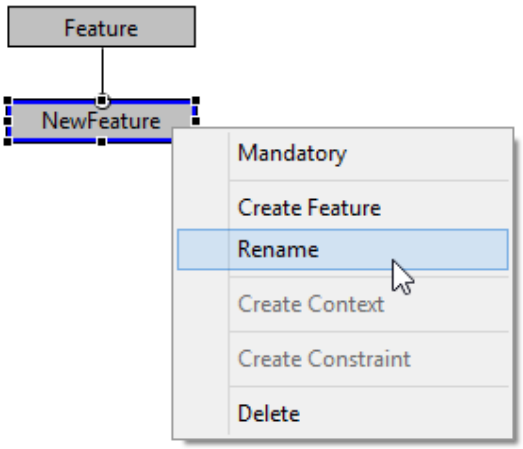
(ก)



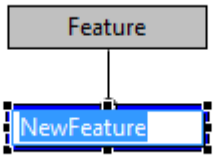
(ข)

รูปที่ ค.2 การสร้างคุณลักษณะ

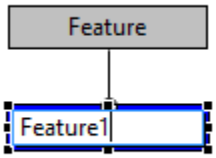
3. เปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่คุณลักษณะที่ต้องการเปลี่ยนชื่อ และเลือก Rename จากเมนูที่ปรากฏดังรูปที่ ค.3 (ก) จะปรากฏกล่องข้อความที่เน้นข้อความที่เป็นชื่อปัจจุบันของคุณลักษณะที่เลือกดังรูปที่ ค.3 (ข) โดยสามารถเปลี่ยนชื่อของคุณลักษณะได้ตามต้องการดังรูปที่ ค.3 (ค) หลังจากตกลงแล้วคุณลักษณะจะเปลี่ยนชื่อไปเป็นชื่อใหม่ดังรูปที่ ค.3 (ง)



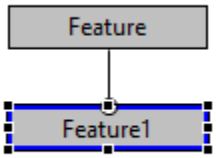
(ก)



(ข)



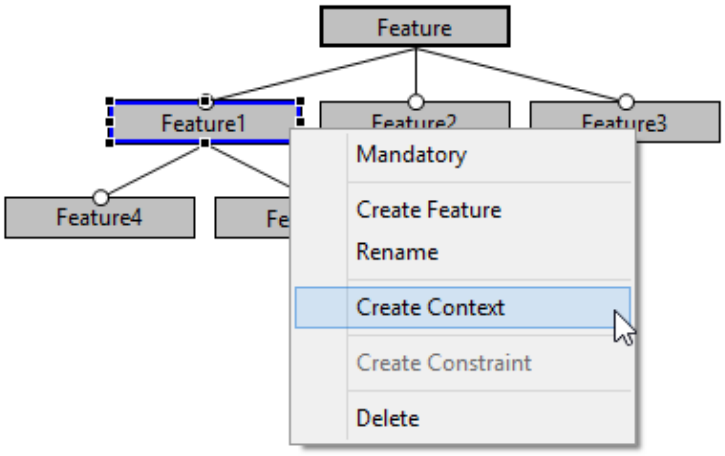
(ค)



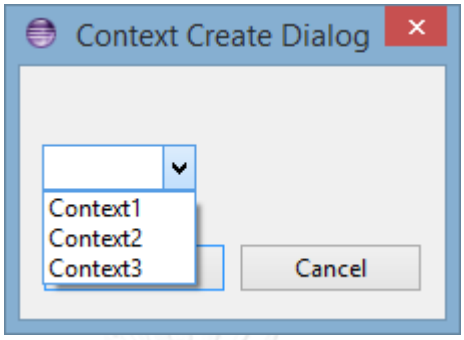
(ง)

รูปที่ ค.3 ขั้นตอนการเปลี่ยนชื่อคุณลักษณะ

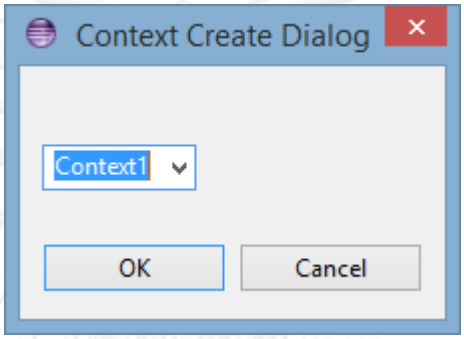
4. กำหนดบริบทในกับคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่คุณลักษณะที่ต้องการกำหนดบริบท และเลือก Modify Context จากเมนูที่ปรากฏดังรูปที่ ค.4 (ก) จะปรากฏกล่องข้อความสำหรับใส่ชื่อของบริบทดังรูปที่ ค.4 (ข) และใส่ชื่อของบริบทได้ตามที่ต้องการดังรูปที่ 26 (ค) หลังจากที่ตกลงบริบทของคุณลักษณะจะเปลี่ยนไปดังรูปที่ ค.4 (ง) ซึ่งการกำหนดหรือแก้ไขบริบทนั้นเมนูที่แสดงนั้นจะใช้งานได้เฉพาะคุณลักษณะที่มีคุณลักษณะลูกมากกว่าหนึ่งคุณลักษณะเท่านั้น โดยแสดงดังรูปที่ ค.5 (ก) สำหรับเมนู Modify Context ที่ใช้งานได้ และรูปที่ ค.5 (ข) สำหรับเมนู Modify Context ที่ใช้งานไม่ได้



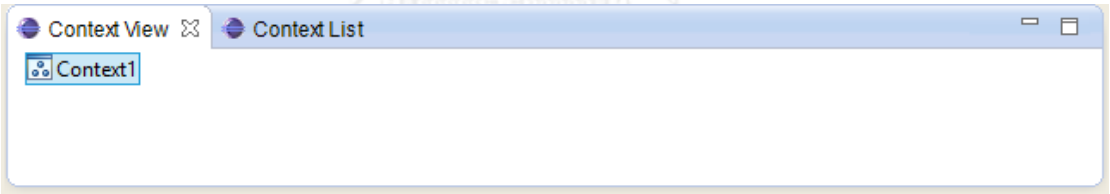
(ก)



(ข)

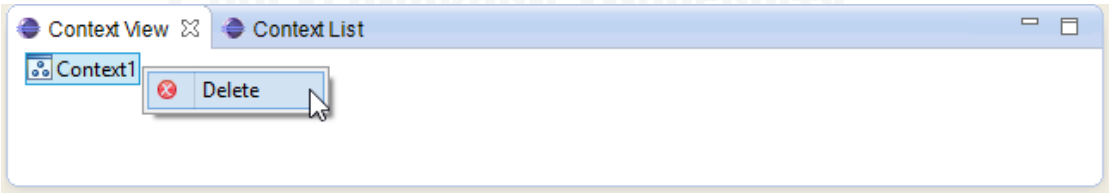


(ค)

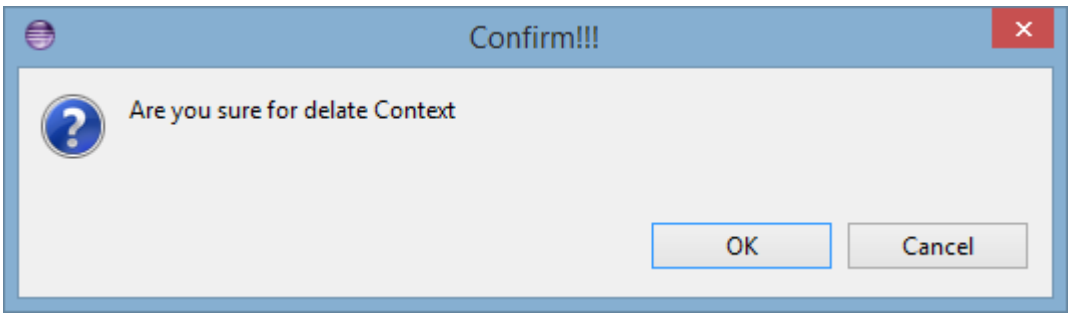


(ง)

รูปที่ ค.4 การกำหนดบริบทให้กับคุณลักษณะ



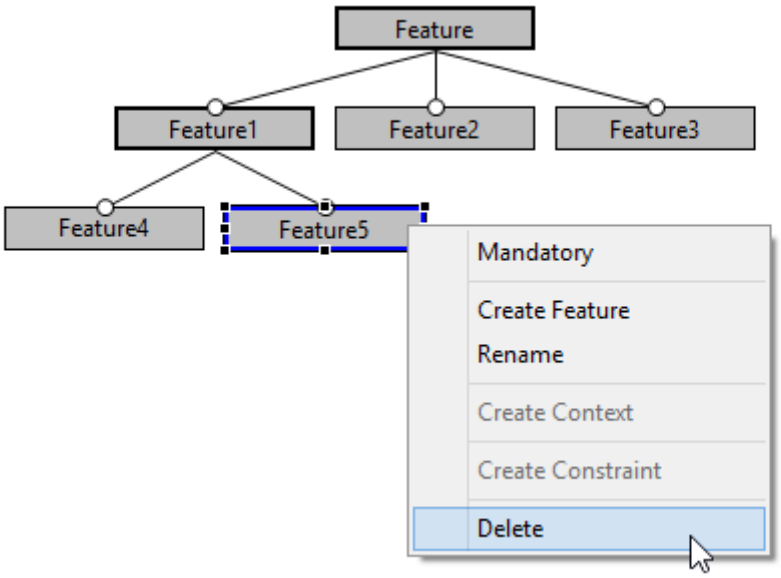
(ก)



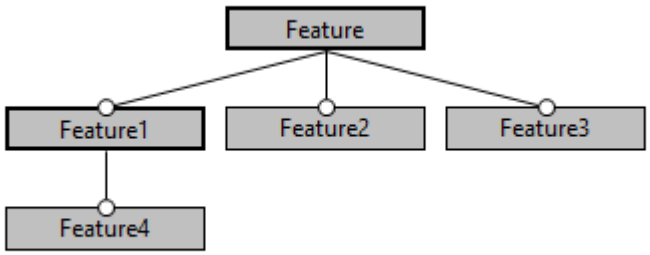
(ข)

รูปที่ ค.5 การลบบริบทของคุณลักษณะที่เลือก

5. การลบคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่คุณลักษณะที่ต้องการลบ และเลือก Delete จากเมนูที่ปรากฏดังรูปที่ ค.6 (ก) หลังจากนั้นคุณลักษณะดังกล่าวก็จะหายไปดังรูปที่ ค.6 (ข)



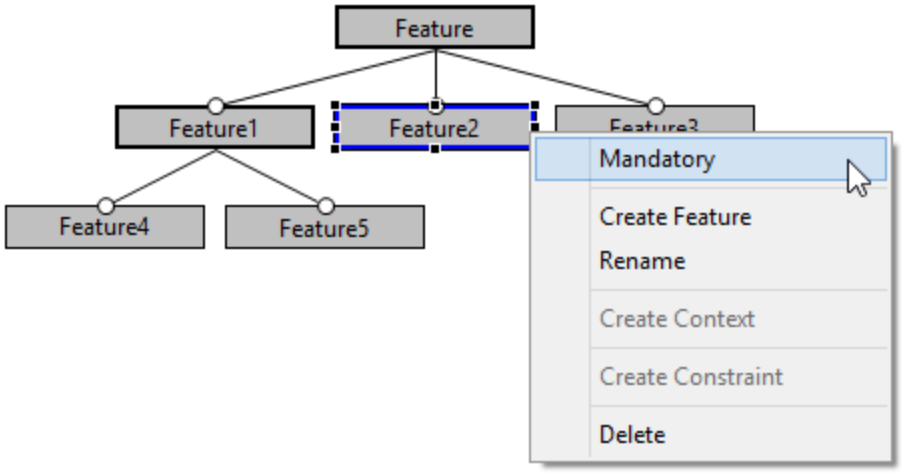
(ก)



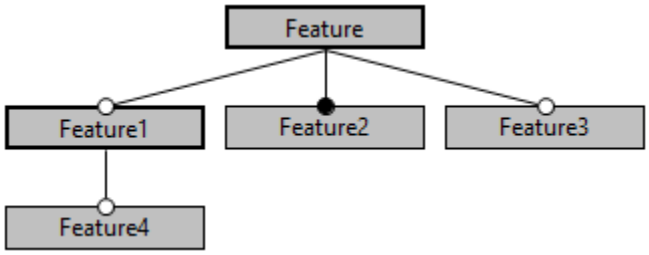
(ข)

รูปที่ ค.6 การลบคุณลักษณะ

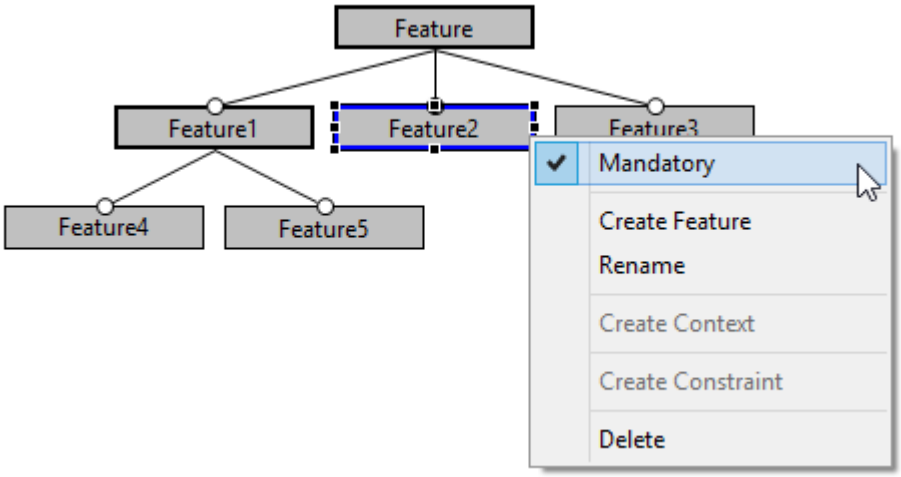
6. การเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่คุณลักษณะที่ต้องการเปลี่ยนความสัมพันธ์ และเลือก Mandatory จากเมนูที่ปรากฏดังรูปที่ ค.7 (ก) โดยที่ถ้าคุณลักษณะที่เลือกมีความสัมพันธ์แบบ Mandatory อยู่แล้วจะปรากฏเครื่องหมายถูกที่หน้าคำว่า Mandatory หลังจากนั้นคุณลักษณะที่เลือกเปลี่ยนความสัมพันธ์จะเปลี่ยนรูปของความสัมพันธ์ไปเป็นรูปวงกลมโปล่ง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบ Optional ดังรูปที่ ค.7 (ข) แต่คุณลักษณะดังกล่าวยังคงถูกเลือกและแสดงคุณลักษณะหลังจากที่ไม่ถูกเลือกแล้วดังรูปที่ ค.7 (ค) จะเห็นได้ว่ารูปของความสัมพันธ์เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน และการเปลี่ยนความสัมพันธ์กลับไปเป็นแบบ Mandatory ดำเนินการโดยการคลิกเมาส์ขวาที่คุณลักษณะที่ต้องการเปลี่ยนความสัมพันธ์แต่จะเห็นได้ว่าจะไม่มีเครื่องหมายถูกหน้าคำว่า Mandatory ดังรูปที่ ค.7 (ง) เนื่องจากคุณลักษณะที่เลือกเป็นแบบ Optional หลังจากนั้นคุณลักษณะที่เลือกเปลี่ยนความสัมพันธ์จะเปลี่ยนรูปความสัมพันธ์ไปเป็นรูปวงกลมทึบ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบ Mandatory ดังรูปที่ ค.7 (จ) และหลังจากไม่เลือกแล้วดังรูปที่ ค.7 (ฉ)



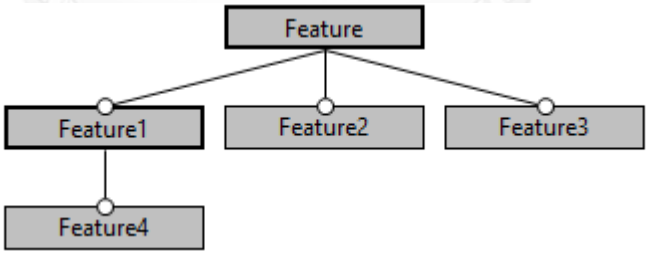
(ก)



(ข)



(ค)

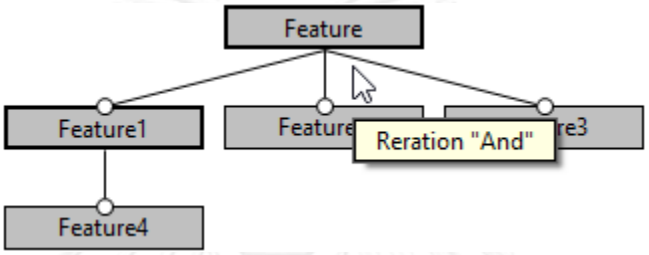


(ง)

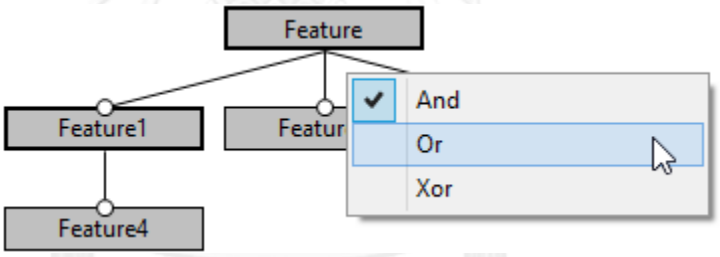
รูปที่ ค.7 การเปลี่ยนความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ

7. การเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะจะมี 3 แบบคือ ความสัมพันธ์แบบ “And”, ความสัมพันธ์แบบ “Or” และ ความสัมพันธ์แบบ “Alternative” ซึ่งเมื่อนำเมาส์ไปอยู่ที่ตำแหน่งของความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ จะแสดงข้อความที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ ค.8(ก) การเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่บริเวณตำแหน่งของความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ จะปรากฏ

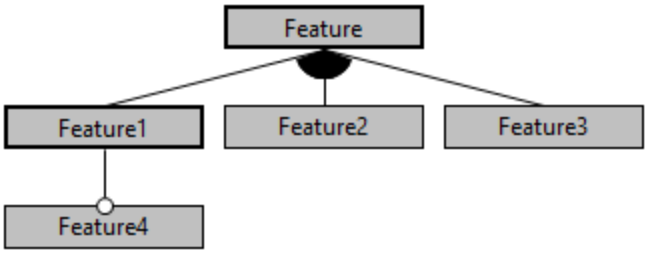
เมนูสำหรับเลือกของความสัมพันธ์ทั้ง 3 ซึ่งจะปรากฏเครื่องหมายถูกที่ความสัมพันธ์ปัจจุบัน ดังรูปที่ ค.8 (ข) เป็นการเลือกเปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบ "Or" หลังจากเลือกความสัมพันธ์ที่ต้องการเปลี่ยนแล้วรูปของความสัมพันธ์จะเปลี่ยนไปเป็นเส้นโค้งทึบดังรูปที่ ค.8 (ค) และการเปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบ “Alternative” แสดงดังรูปที่ ค.8 (ง) และ (จ) รูปความสัมพันธ์จะเปลี่ยนไปเป็นเส้นโค้งโปร่ง และการเปลี่ยนความสัมพันธ์กลับไปเป็นแบบ “And” แสดงดังรูปที่ ค.8 (ฉ) และ (ช) รูปความสัมพันธ์จะเปลี่ยนเป็นไม่มีครึ่งวงกลมแต่จุดเชื่อมต่อที่คุณลักษณะลูกจะแสดงเป็นความสัมพันธ์แบบ “Optional” ด้วยรูปวงกลมโปร่ง และความสัมพันธ์แบบ “Alternative” ด้วยรูปวงกลมทึบ



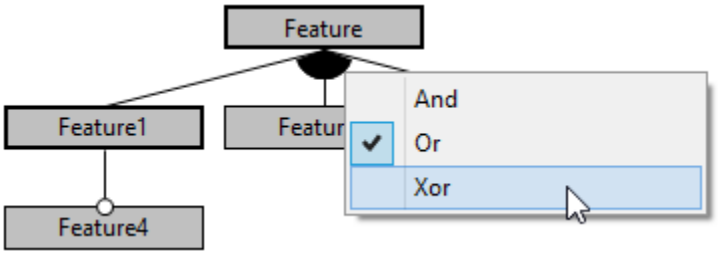
(ก)



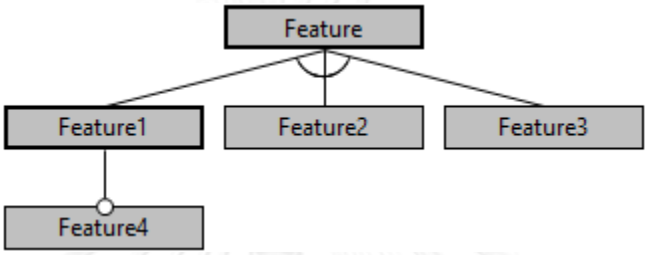
(ข)



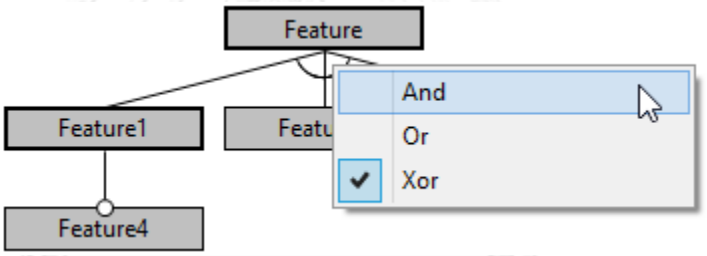
(ค)



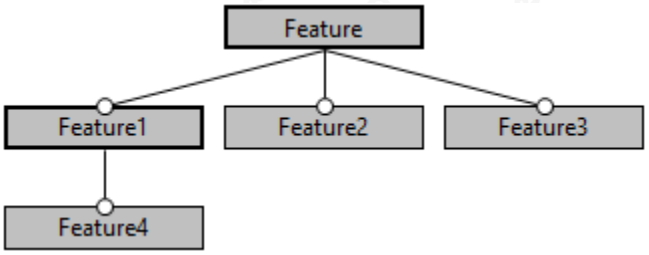
(ง)



(จ)



(ฉ)

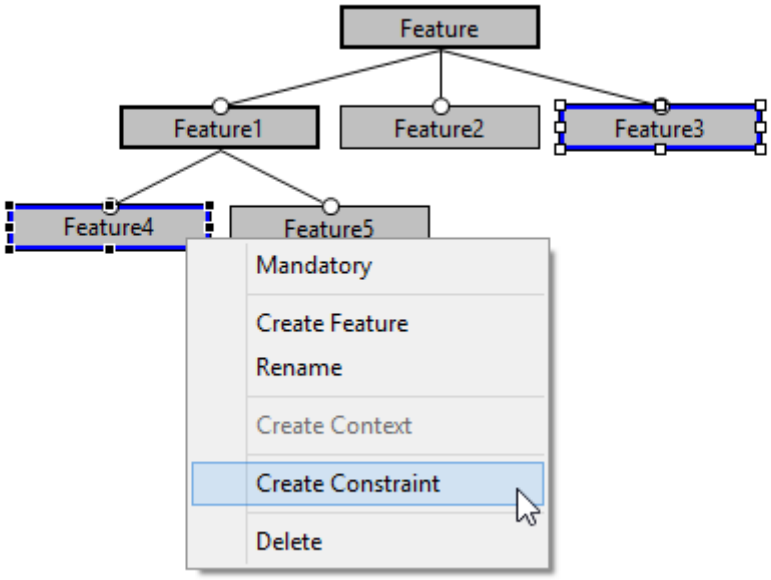


(ช)

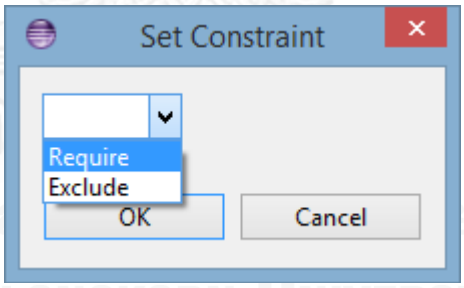
รูปที่ ค.8 การเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ

8. การกำหนดข้อจำกัดให้กับคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการกำหนดข้อจำกัดต่อกันดังนั้นคลิกเมาส์ขวา และเลือก “Create Constraint” ดังรูปที่ ค.9 (ก) จะปรากฏหน้าต่างเพื่อให้เลือกชนิดของข้อจำกัด ซึ่งจะสามารถเลือกได้เป็น “Require” และ

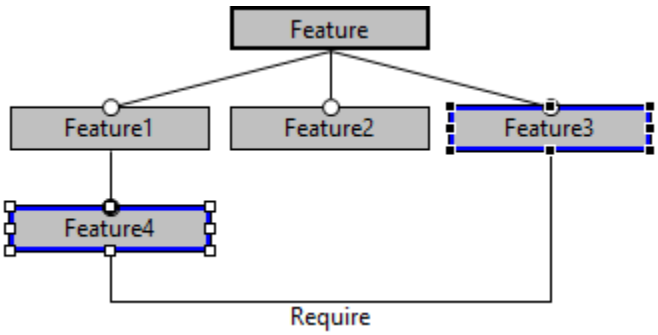
“Exclude” หลังจากนั้นคลิกที่ปุ่ม OK ดังรูปที่ ค.9 (ข) ในรูปแบบจำลองคุณลักษณะจะปรากฏเส้นเชื่อมระหว่างคุณลักษณะที่กำหนดข้อจำกัดดังรูปที่ ค.9 (ค) เมื่อคลิกขวาที่เส้นของข้อจำกัดของคุณลักษณะจะปรากฏรายการ “Delete Constraint” ดังรูปที่ ค.9 (ง) เพื่อลบข้อจำกัดของคุณลักษณะดังรูปที่ ค.9 (จ)



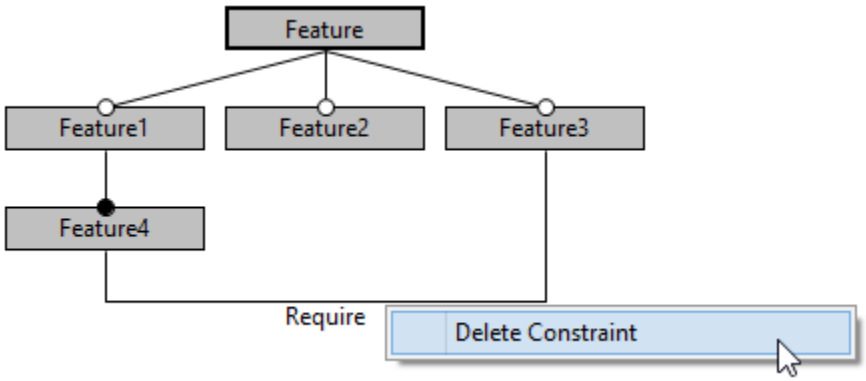
(ก)



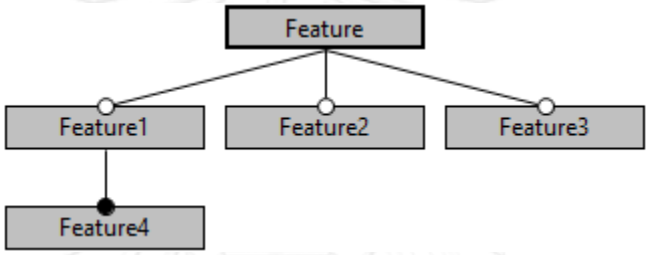
(ข)



(ค)



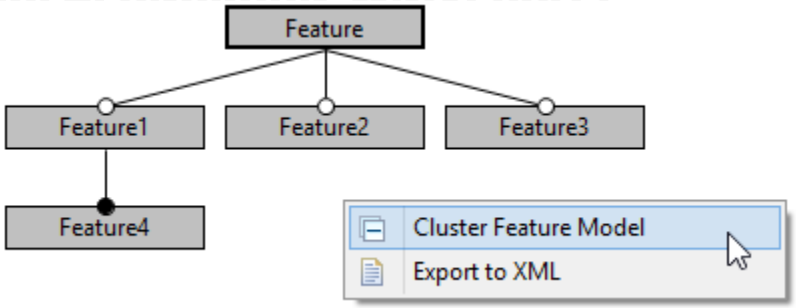
(ง)



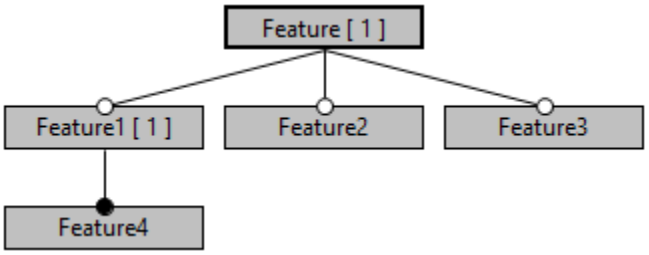
(จ)

รูปที่ ค.9 การกำหนดข้อจำกัดให้กับคุณลักษณะ

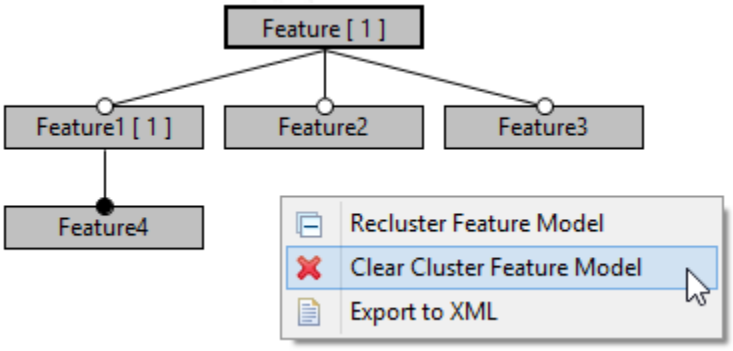
9. การจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่พื้นหลังของส่วนที่ทำงานบนหน้าจอ และเลือก “Cluster Feature Model” ดังรูปที่ ค.10 (ก) หลังจากนั้นจะแสดงคุณลักษณะที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงได้รับการจัดกลุ่มดังรูปที่ ค.10 (ข) และล้างการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะด้วยการเลือก “Clear Cluster Feature Model” ดังรูปที่ ค.10 (ค) และการจัดกลุ่มใหม่รูปที่ ค.10 (ง)



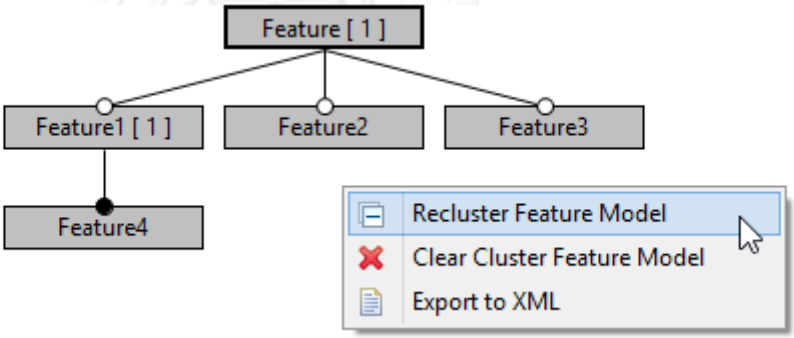
(ก)



(ข)



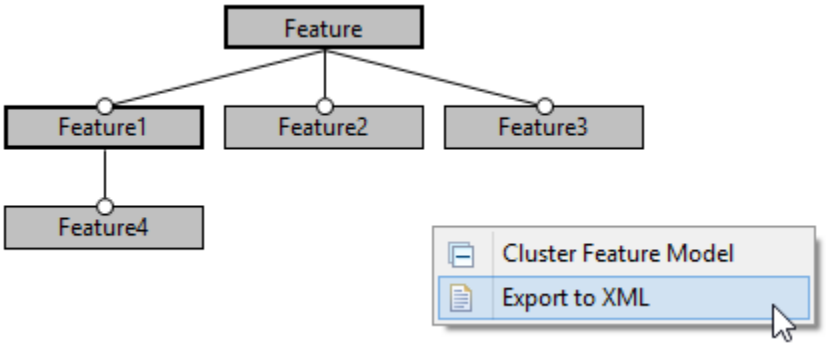
(ค)



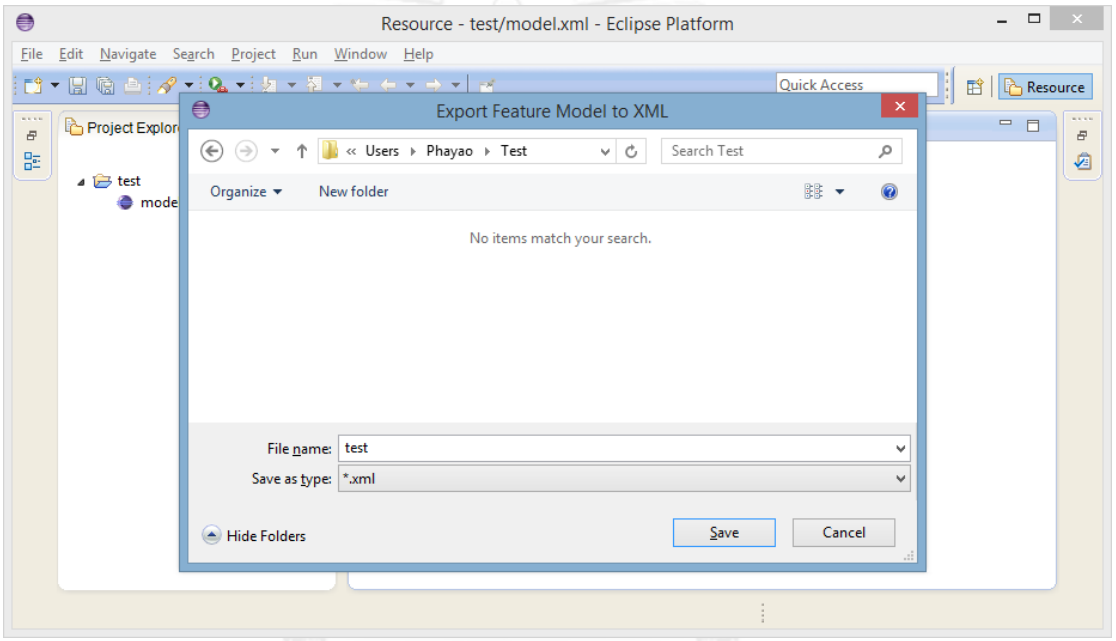
(ง)

รูปที่ ค.10 การจำลองการจัดกลุ่มแบบจำลองคุณลักษณะ

10. การนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล ดำเนินการด้วยการคลิกเมาส์ขวาที่พื้นหลังของส่วนที่ทำงานบนหน้าจอ และเลือกเมนู Export to XML ที่ปรากฏเมนูเพียงเมนูเดียว ดังรูปที่ ค.11 (ก) หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างสำหรับเลือกสถานที่ที่ต้องการบันทึกเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล โดยกรอกชื่อของเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอลที่ต้องการและกดปุ่ม Save เพื่อบันทึก ดังรูปที่ ค.11 (ข)



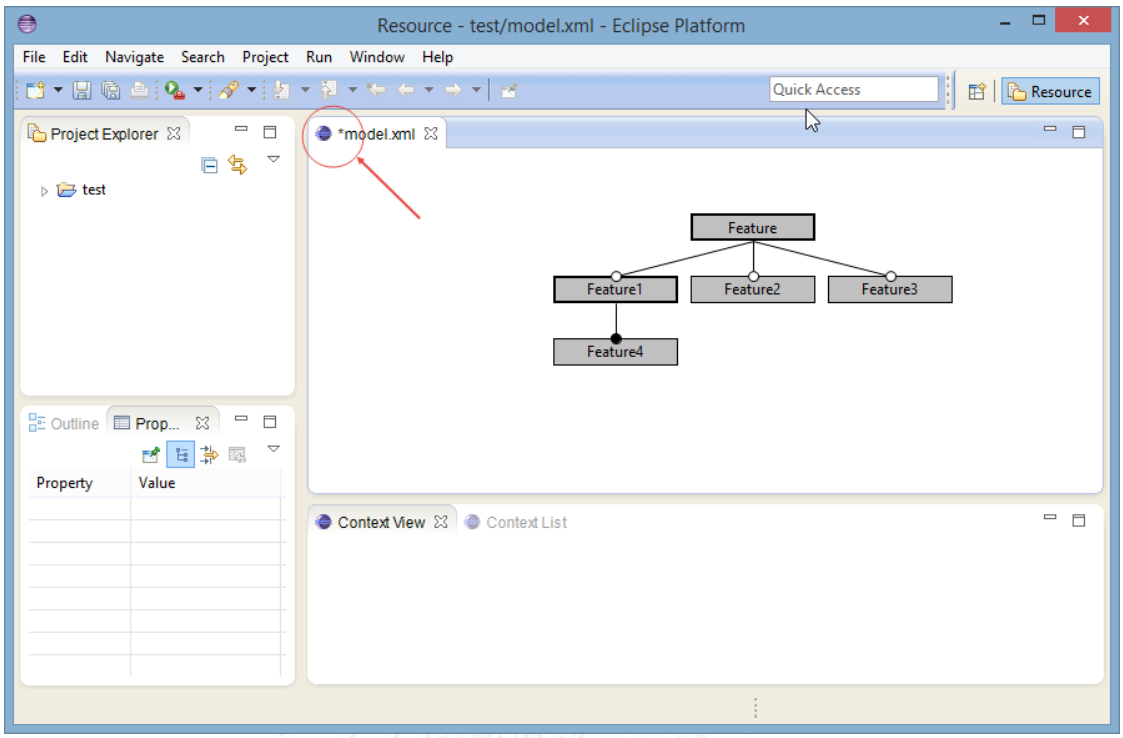
(ก)



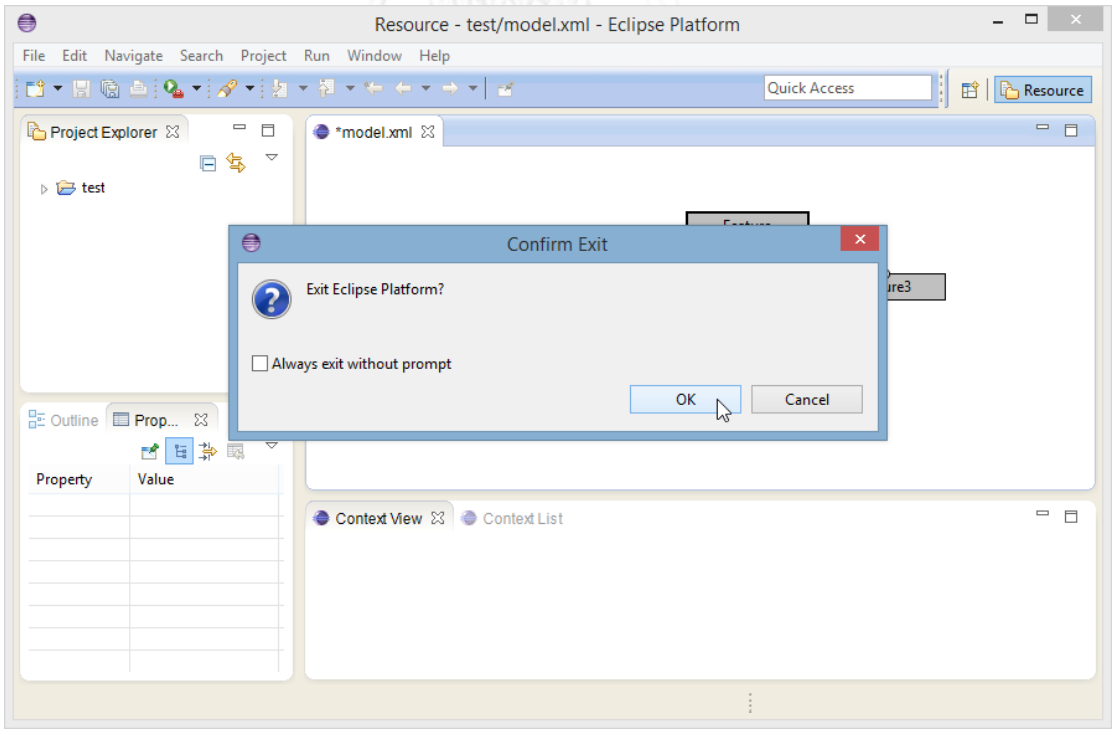
(ข)

รูปที่ ค.11 การนำออกแบบจำลองคุณลักษณะเป็นเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล

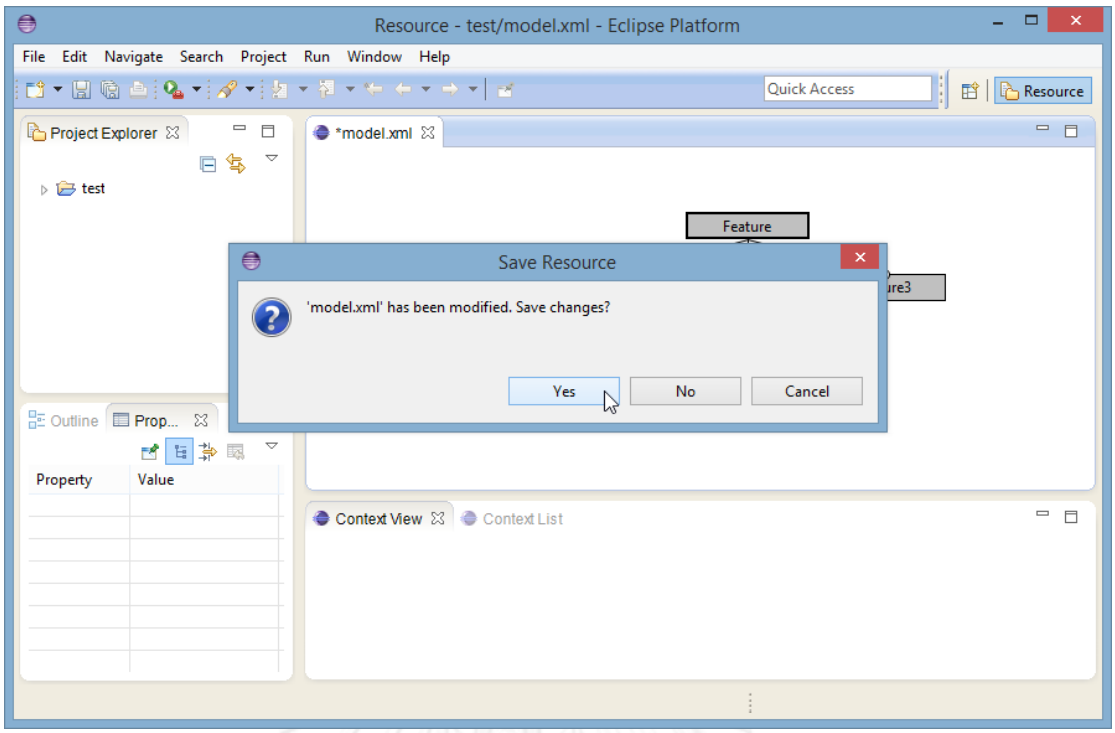
11. การเปลี่ยนแปลงใดๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว ในเครื่องมือการสร้างแบบจำลองคุณลักษณะนั้น ด้านบนชื่อของแท็บจะมีสัญลักษณ์ดอกจันทร์นำหน้าชื่อของเอกสารเอ็กซ์เอ็มแอล ดังรูปที่ ค.12 (ก) และเมื่อต้องการปิดหน้าต่างของเครื่องมือจะปรากฏหน้าต่างเตือนเพื่อยืนยันการบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังรูปที่ ค.12 (ค) หลังจากหน้าต่างเตือนเพื่อการออกจากโปรแกรมประยุกต์อิคลิปส์ดังรูปที่ ค.12 (ข) โดยการบันทึกจะเป็นการบันทึกไว้ในโครงการของเครื่องมือที่สร้างขึ้น


Resource - test/model.xml - Eclipse Platform
File Edit Navigate Search Project Run Window Help
Quick Access
Resource
Project Explorer
test
*model.xml
Feature
Feature1
Feature2
Feature3
Feature4
Outline
Prop...
Property
Value
Context View
Context List

(ก)


Resource - test/model.xml - Eclipse Platform
File Edit Navigate Search Project Run Window Help
Quick Access
Resource
Project Explorer
test
*model.xml
Confirm Exit
Exit Eclipse Platform?
Always exit without prompt
OK
Cancel
Outline
Prop...
Property
Value
Context View
Context List

(ข)



(ค)

รูปที่ ค.12 การเตือนเพื่อการบันทึกหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในเครื่องมือ

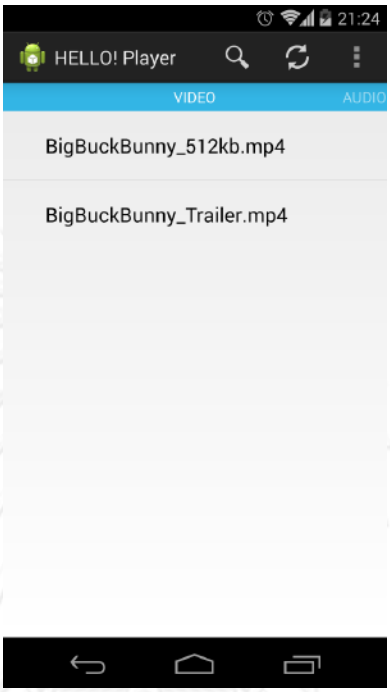
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง
การใช้งานกรณีศึกษาโปรแกรมประยุกต์เล่นสื่อ

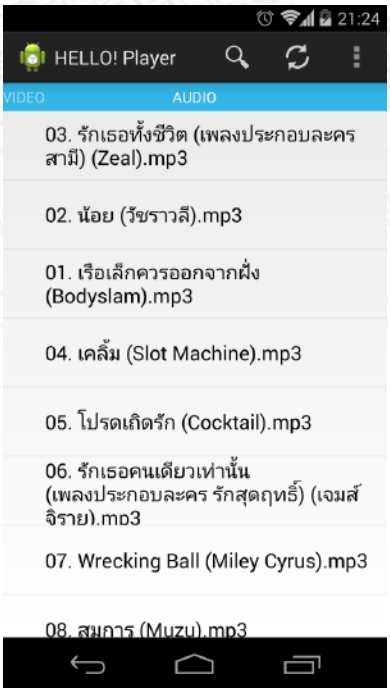
หลังจากติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นบนอุปกรณ์สมาร์ทโฟนจะปรากฏไอคอนของโปรแกรมประยุกต์บนหน้าจอดังรูปที่ ง.1 ในงานวิจัยนี้จะใช้สมาร์ทโฟนรุ่น Nexus 5 ซึ่งเป็นสมาร์ทโฟนที่เหมาะสำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ โดยจะอธิบายวิธีการใช้งานดังต่อไปนี้

รูปที่ ง.1 ไอคอนโปรแกรมประยุกต์บนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ

1. เปิดโปรแกรมประยุกต์ หลังจากที่คลิกที่ไอคอนของโปรแกรมประยุกต์ที่ติดตั้งบนหน้าจอสมาร์ทโฟนแล้ว จะปรากฏหน้าจอของโปรแกรมประยุกต์แสดงรายการแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ดังรูปที่ ง.2 และเมื่อเลื่อนหน้าจอมาทางขวาจะแสดงรายการของแฟ้มข้อมูลเพลงดังรูปที่ ง.3

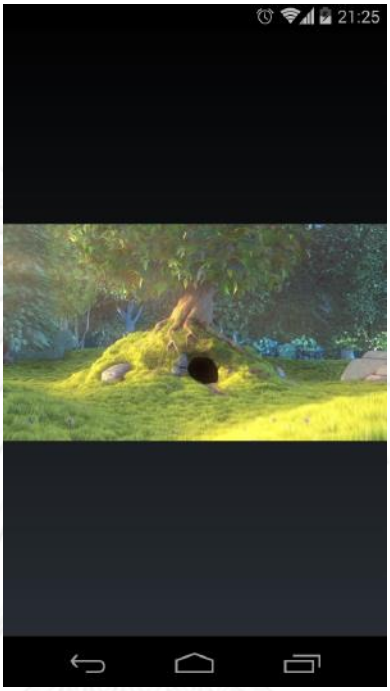


รูปที่ ง.2 หน้าจอรายการแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ของโปรแกรมประยุกต์

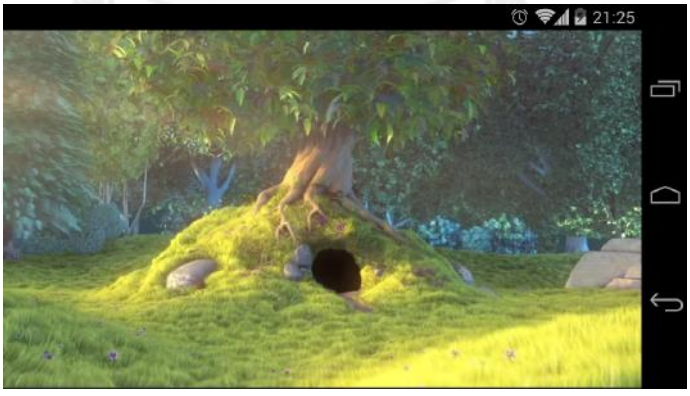


รูปที่ ง.3 หน้าจอรายการแฟ้มข้อมูลเพลงของโปรแกรมประยุกต์

2. เล่นภาพวีดีทัศน์ ดำเนินการได้โดยการคลิกที่ตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ที่ต้องการเล่น หลังจากนั้นหน้าจอจะปรากฏหน้าจอสำหรับเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ดังรูปที่ ง.4 และเมื่อปรับแนวของหน้าจอเป็นแนวนอนภาพของวีดีทัศน์จะเปลี่ยนไปเป็นแนวนอนดังรูปที่ ง.5

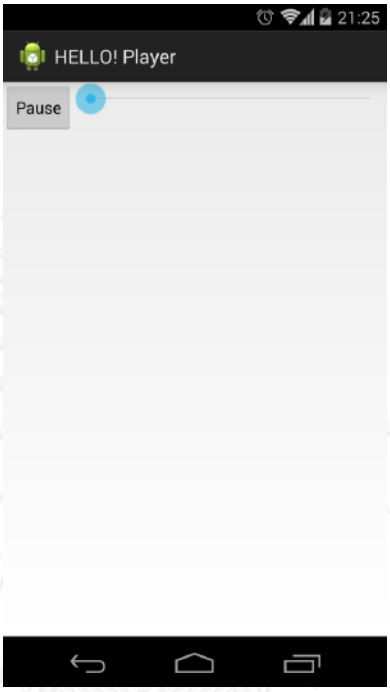


รูปที่ ง.4 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในแนวตั้ง

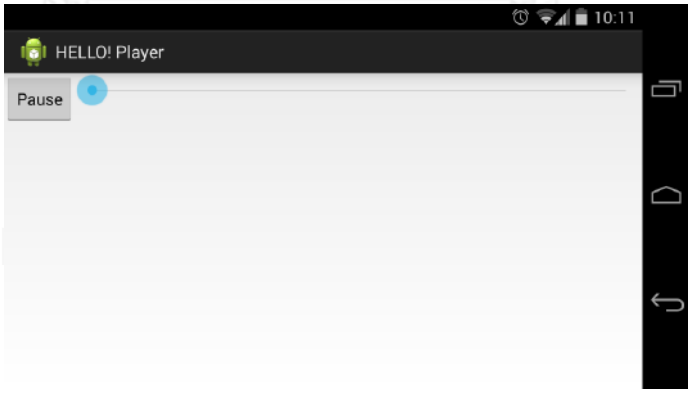


รูปที่ ง.5 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในแนวนอน

3. เล่นเสียงเพลง ดำเนินการได้โดยการคลิกที่ตำแหน่งของแฟ้มข้อมูลเพลงที่ต้องการเล่นหลังจากนั้นจะปรากฏหน้าจอสำหรับเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงดังรูปที่ ง.6 และ รูปที่ ง.7

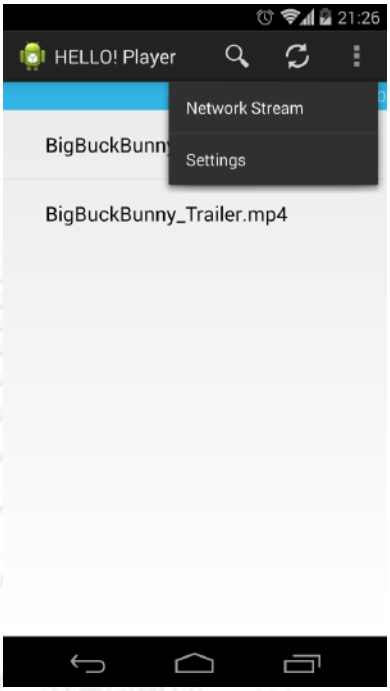


รูปที่ ง.6 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงในแนวตั้ง



รูปที่ ง.7 หน้าจอการเล่นแฟ้มข้อมูลเพลงในแนวนอน

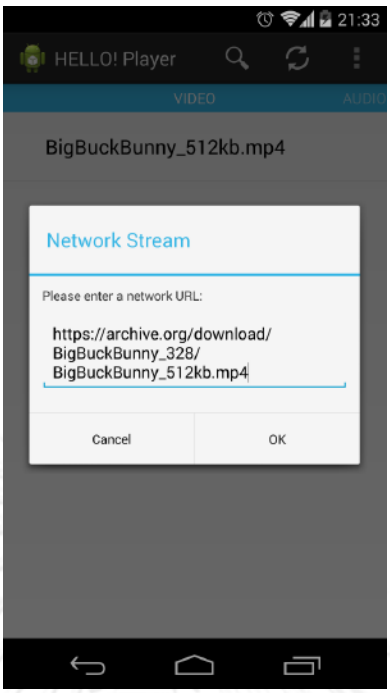
4. แสดงเมนูปุ่มปฏิบัติงานเพิ่มเติม เมื่อคลิกที่ปุ่มปฏิบัติงานเพิ่มเติมจะแสดงเมนู 2 รายการคือ “Network Stream” และ “Settings” ดังรูปที่ ง.8



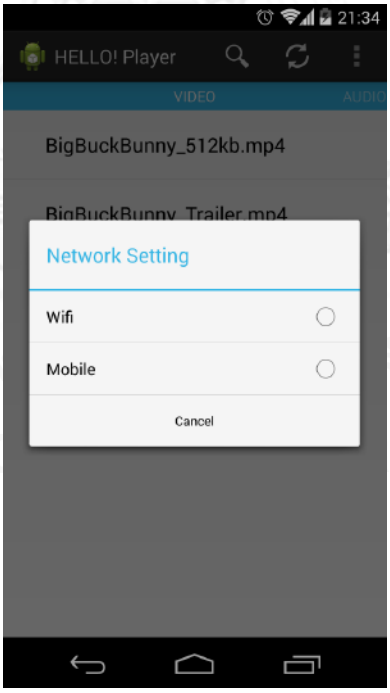
รูปที่ ง.8 หน้าจอเมนูของปุ่มปฏิบัติการเพิ่มเติม

5. เล่นแฟ้มข้อมูลในเครือข่าย หลักจากคลิกที่ “Network Stream” จากเมนูที่ปรากฏจากการคลิกปุ่มปฏิบัติงานเพิ่มเติม จะปรากฏส่วนตอบโต้สำหรับใส่ที่อยู่ของแฟ้มข้อมูลในเครือข่ายดังรูปที่ ง.9 เมื่อใส่ข้อมูลในช่องแล้ว กดปุ่ม “OK” จะปรากฏหน้าจอสำหรับเล่นภาพวีดีทัศน์เหมือนกับการเล่นแฟ้มข้อมูลวีดีทัศน์ในเครื่อง แต่ภาพวีดีทัศน์จะปรากฏช้ากว่าเนื่องจากต้องดาวน์โหลดข้อมูลจากเครือข่าย

6. เลือกตั้งค่าเครือข่าย สามารถดำเนินการได้โดยการคลิกที่ “Settings” จากเมนูที่ปรากฏจากการคลิกปุ่มปฏิบัติงานเพิ่มเติม จะปรากฏส่วนตอบโต้สำหรับเลือกระบบเครือข่ายดังรูปที่ ง.10 สามารถเลือกได้เป็น “Wifi” เป็นการใช้ระบบเครือข่ายไวไฟและ “Mobile” เป็นการใช้ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ ง.9 หน้าจอส่วนตอบโต้สำหรับใส่ที่อยู่ของแฟ้มข้อมูลในเครือข่าย



รูปที่ ง.10 หน้าจอส่วนตอบโต้สำหรับเลือกตั้งค่าเครือข่าย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พเยาว์ บุญอ่อน เกิดเมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2527 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2549 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ที่ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาต้น 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University