หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-oriented programming) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิธีการในการพัฒนาซอฟต์แวร์เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายด้านได้แก่ เอ็นแคปซูเลชั่น (Encapsulation) การสืบทอดคุณสมบัติ (Inheritance) และโพลีมอร์ฟิซึม (Polymorphism) ที่ทำให้องค์ประกอบย่อยของซอฟต์แวร์มีความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ได้ดีขึ้น ทำให้ลดระยะเวลาในการพัฒนาลง นอกจากนั้นยังสามารถพัฒนาเป็นเฟรมเวิร์ค (Framework) ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้พัฒนาซอฟต์แวร์ต่อไป [1,2] วัตถุในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุสามารถจำแนกประเภทได้ 2 ประเภทคือ

1) วัตถุที่คอยตอบสนองต่อคำร้องขอ (Passive objects)

วัตถุที่คอยตอบสนองต่อคำร้องขอคือวัตถุที่ไม่มีส่วนควบคุมเป็นของตนเองจะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีวัตถุอื่นส่งข้อความร้องขอ (Message) มายังวัตถุนั้น แล้วจึงทำให้เกิดการประมวลผลฟังก์ชันสมาชิกของวัตถุ ในระหว่างที่กำลังประมวลผลคำสั่งภายในฟังก์ชันสมาชิกอาจมีคำสั่งที่เป็นการส่งข้อความร้องขอไปยังวัตถุอื่น ดังนั้นจึงทำให้การประมวลผลย้ายไปยังวัตถุอื่นที่ได้รับข้อความร้องขอแทน เมื่อวัตถุที่รับข้อความร้องขอทำการประมวลผลเสร็จสิ้น การประมวลผลจะกลับมายังวัตถุที่เป็นผู้ส่งข้อความร้องขออีกครั้งหนึ่งเพื่อทำการประมวลผลคำสั่งที่เหลือต่อไป

2) วัตถุพร้อมทำงาน (Active objects)

วัตถุพร้อมทำงานคือวัตถุที่ทำงานได้โดยไม่ต้องรอข้อความร้องขอจากวัตถุอื่นซึ่งหมายถึงวัตถุพร้อมทำงานแต่ละตัวมีส่วนควบคุมเป็นของตนเองโดยสามารถประมวลผลได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นจึงทำให้การทำงานของวัตถุพร้อมทำงานในระบบเป็นการทำงานที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน [1,2,4,5]

ตัวอย่างพฤติกรรมของวัตถุทั้งสองประเภทนี้สามารถแสดงได้จากสิ่งที่มีอยู่ในความเป็นจริง เช่น การกำหนดให้การทำงานของสัญญาณไฟจราจรเป็นการทำงานในลักษณะเดียวกับวัตถุที่คอยตอบสนองต่อคำร้องขอ ระบบของสัญญาณไฟจราจรจะต้องมีตัวควบคุมศูนย์กลาง (Controller) เป็นตัวกำหนดให้สัญญาณไฟจราจรแต่ละตัวเปลี่ยนสีไฟสัญญาณ โดยที่ตัวควบคุมศูนย์กลางจะเป็นตัวส่งสัญญาณไปยังสัญญาณไฟจราจรนั้น ถ้ากำหนดให้การทำงานของสัญญาณไฟจราจรเป็นการทำงานในลักษณะเดียวกับวัตถุพร้อมทำงาน สัญญาณไฟจราจรแต่ละตัวสามารถเปลี่ยนไฟสัญญาณได้โดยตนเองโดยไม่ต้องมีตัวควบคุมศูนย์กลางเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนไฟสัญญาณ ดังนั้นสัญญาณไฟจราจรแต่ละตัวจะต้องมีนาฬิกาภายในตัวเองเป็นตัวกำหนดให้ทราบว่าจะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟเมื่อใดอีกทั้งจะต้องมีส่วนตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อใช้ตรวจสอบว่าจะต้องเปลี่ยนสัญญาณไฟเป็นสีใดต่อไป

Toshimi Minoura และ Sungwoon Choi ได้เสนอ "ระบบวัตถุพร้อมทำงานแบบโครงสร้าง" (Structural Active Object System: SAOS) [1,2] ซึ่งเป็นแนวความคิดสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงวัตถุ

ที่ประกอบด้วยกลุ่มของวัตถุพร้อมทำงานที่สามารถทำงานได้พร้อมๆ กัน แนวคิดนี้มีข้อดีที่ถือว่าเป็นส่วนสำคัญและเป็นจุดเด่นคือ การสนับสนุนการสร้างโปรแกรมประยุกต์จากส่วนประกอบแบบโครงสร้างและแบบลำดับชั้น (Structural and hierarchical composition) ผู้พัฒนาสามารถสร้างองค์ประกอบที่เป็นวัตถุพร้อมทำงานได้จากการประกอบองค์ประกอบย่อยที่เป็นวัตถุพร้อมทำงานเข้าด้วยกันซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ สำหรับพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานจะถูกกำหนดด้วยประโยคการเปลี่ยนแปลง (Transition statement) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ชนิดได้แก่ กฎการเปลี่ยนแปลง (Transition rules) สมการกำหนดค่า (Equational assignments) และส่วนกำหนดเหตุการณ์ (Event routines) งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบให้เป็นเฟรมเวิร์คเพื่อให้สามารถนำไปใช้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ได้

ต่อมา พรศิริ หมื่นไชยศรี ได้เสนอวิธีการเชื่อมองค์ประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้แผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ที่ถูกต่อเติม (Extended Entity-Relationship Diagram: EERD) เพื่อใช้เป็นแบบ (Template) และรายการเลือก (Menu) สำหรับสร้างโปรแกรมประยุกต์ โดยทำการพัฒนาเครื่องมือชื่อว่า "สิ่งแวดล้อมสำหรับพัฒนาโปรแกรมด้วยแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์" (Entity-Relationship Software Development Environment : ERSDE) [3] ซึ่งประกอบด้วยบรรณาธิกร 3 ชนิดได้แก่ บรรณาธิกรสำหรับสร้างชนิดของเอนทิตี (Entity-type editor) ใช้สำหรับสร้างชนิดของเอนทิตีที่เป็นวัตถุพร้อมทำงาน บรรณาธิกรสำหรับสร้างเค้าร่าง (Schema editor) ใช้สำหรับสร้างแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ที่ถูกต่อเติมเพื่อใช้เป็นเค้าร่าง และบรรณาธิกรสำหรับสร้างโปรแกรมประยุกต์ (Application editor) ทำหน้าที่นำแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ที่ถูกต่อเติมมาใช้เป็นรายการเลือกสำหรับสร้างโปรแกรมประยุกต์ตามเค้าร่างที่กำหนด ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือผู้ใช้งานสามารถสร้างโปรแกรมประยุกต์จากการเชื่อมต่อองค์ประกอบโดยมีแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ที่ถูกต่อเติมเป็นแนวทางในการเชื่อมต่อโดยที่ไม่ต้องมีการลองผิดลองถูก เมื่อทำการเชื่อมองค์ประกอบเหล่านี้เข้าด้วยกันแล้วระบบสามารถแสดงผลการทำงานได้ทันทีเพราะแต่ละองค์ประกอบเป็นวัตถุพร้อมทำงาน ผู้ใช้งานสามารถสร้างโปรแกรมประยุกต์ในขอบเขตใหม่ที่แตกต่างกันด้วยสิ่งแวดล้อมนี้ได้ นอกจากนั้นยังเป็นการสนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบซอฟต์แวร์และการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ลดระยะเวลาในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ได้เป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะสามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้พัฒนาโดยสามารถสร้างชุดคำสั่งได้ในบางส่วน แต่ยังไม่สามารถสร้างชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานได้

ต่อมา จันทร์พร ลัภยพร ได้พัฒนาบรรณาธิกรสำหรับกำหนดพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงาน ในงานวิจัยที่ชื่อ "การพัฒนาบรรณาธิกรสำหรับกำหนดพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานแบบวิชวล" [5] ซึ่งเป็นบรรณาธิกรที่ถูกทำการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มเติมในสิ่งแวดล้อมสำหรับพัฒนาโปรแกรมด้วยแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ บรรณาธิกรนี้สามารถใช้กำหนดพฤติกรรมให้กับวัตถุพร้อมทำงานในรูปของประโยคการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้กำหนดพฤติกรรมให้กับวัตถุพร้อมทำงานในระบบวัตถุพร้อมทำงานแบบโครงสร้าง บรรณาธิกรนี้สามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้พัฒนาโปรแกรมเนื่องจากมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิกจึงทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถนำข้อมูลพฤติกรรมที่ได้มาทำการสร้างเป็นชุดคำสั่งในส่วนพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานได้โดยอัตโนมัติ แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดพฤติ

กรรมให้กับวัตถุพร้อมทำงานด้วยบรรณาธิกรสำหรับกำหนดพฤติกรรมไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองเชิงพฤติกรรม (Behavioral model) ของวัตถุพร้อมทำงานได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นของวัตถุพร้อมทำงานในภาพรวมได้

แผนภาพสเตทชาร์ท (Statechart diagram) เป็นแผนภาพหนึ่งที่กำหนดไว้ในยูเอ็มแอล (UML) เพื่อใช้แสดงแบบจำลองเชิงพฤติกรรมของวัตถุซึ่งสามารถใช้อธิบายการตอบสนองต่อเหตุการณ์ของวัตถุเมื่ออยู่ในสถานะต่างๆ [6,7,8,9] แต่แผนภาพสเตทชาร์ทยังไม่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานได้อย่างสมบูรณ์ เพราะ

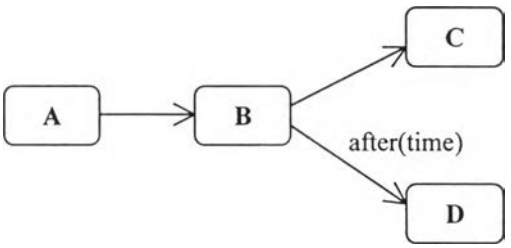
1) แผนภาพสเตทชาร์ทไม่มีสัญลักษณ์สำหรับใช้แสดงเหตุการณ์การเปลี่ยนค่าของตัวแปรพร้อมทำงาน

ตัวแปรพร้อมทำงานคือตัวแปรสมาชิกของวัตถุพร้อมทำงานซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวเริ่มต้นการทำงานของกฎการเปลี่ยนแปลงและสมการกำหนดค่า เมื่อใดที่ตัวแปรพร้อมทำงานเปลี่ยนแปลงค่าจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการประมวลผลกฎการเปลี่ยนแปลงหรือสมการกำหนดค่าที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรพร้อมทำงานนั้น ดังนั้นการแสดงพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานด้วยแผนภาพสเตทชาร์ทจึงจำเป็นต้องแสดงเหตุการณ์การเปลี่ยนค่าของตัวแปรพร้อมทำงาน ประเภทของเหตุการณ์ที่ยูเอ็มแอลได้กำหนดไว้สำหรับแผนภาพสเตทชาร์ทมี 4 ประเภทคือ เหตุการณ์ประเภทเรียกการทำงาน (Call event) เหตุการณ์ประเภทสัญญาณ (Signal event) เหตุการณ์ประเภทการเปลี่ยนแปลง (Change event) และเหตุการณ์ประเภทเวลา (Time event) แต่สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ทั้ง 4 ประเภทไม่สามารถใช้แสดงเหตุการณ์การเปลี่ยนค่าของตัวแปรพร้อมทำงานได้ เนื่องจากสัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเรียกการทำงานคือชื่อของการทำงาน (Operation's name) และเหตุการณ์ประเภทสัญญาณคือชื่อของสัญญาณ (Signal's name) ดังนั้นสัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเรียกการทำงานและเหตุการณ์ประเภทสัญญาณจึงไม่สามารถแสดงถึงการเปลี่ยนค่าของตัวแปรพร้อมทำงานได้ สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทการเปลี่ยนแปลงเป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจากประโยคบูลีน (Boolean expression) ซึ่งไม่ใช่การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรพร้อมทำงานดังนั้นจึงไม่สามารถใช้กับการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรพร้อมทำงานได้ สำหรับสัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาซึ่งใช้แสดงเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นหลังจากผ่านเวลาที่กำหนดไปแล้ว ดังนั้นจึงไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนค่าของตัวแปรพร้อมทำงาน

2) สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาในปัจจุบันไม่สามารถใช้แสดงเหตุการณ์ในอนาคตของวัตถุพร้อมทำงานได้อย่างสมบูรณ์

เหตุการณ์ในอนาคตคือเหตุการณ์ที่ถูกกำหนดให้เกิดขึ้นหลังจากผ่านช่วงเวลาหนึ่งไปแล้ว สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาถูกใช้เป็นสัญลักษณ์สำหรับแสดงเหตุการณ์ในอนาคตเพราะสามารถแสดงให้ทราบถึงช่วงเวลาในการหน่วงการเกิดของเหตุการณ์ได้ สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาในปัจจุบันกำหนดให้การดำเนินของเวลาเริ่มต้นเมื่อมีการเข้าสู่สถานะใดสถานะหนึ่งและการเกิดของเหตุการณ์ในอนาคตจะถูกยกเลิกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงออกจากสถานะนั้นก่อนเวลาดำเนินครบตามที่กำหนด ดังตัวอย่างของแผนภาพสเตทชาร์ทในรูปที่ 1.1 ซึ่งใช้สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาระบุในการเปลี่ยนแปลงจากสถานะ B ไปยังสถานะ D การดำเนินของเวลาจะเริ่มต้นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ

มายังสถานะ B เมื่อเวลาดำเนินผ่านช่วงเวลาที่กำหนดไปแล้วจึงเกิดเหตุการณ์ขึ้นเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะ D แต่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะ C ก่อนถึงเวลาที่กำหนดการเกิดของเหตุการณ์ในอนาคตนี้จะถูกยกเลิก จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาในปัจจุบันขึ้นอยู่กับเหตุการณ์การเข้าสู่สถานะและเหตุการณ์การออกจากสถานะจึงทำให้สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลาในปัจจุบันไม่สามารถใช้แสดงเหตุการณ์ในอนาคตของวัตถุพร้อมทำงานได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีบางกรณีที่การกำหนดเหตุการณ์ในอนาคตให้กับวัตถุพร้อมทำงานไม่ต้องการให้การเริ่มต้นของเหตุการณ์ในอนาคตขึ้นอยู่กับการเข้าสู่สถานะหรือการยกเลิกของเหตุการณ์ในอนาคตขึ้นอยู่กับการออกจากสถานะ ซึ่งรายละเอียดและตัวอย่างได้แสดงไว้ในบทที่ 3



รูปที่ 1.1 สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ประเภทเวลา

3) แผนภาพสเตทชาร์ทไม่มีสัญลักษณ์สำหรับใช้แสดงการกระทำในอนาคตของวัตถุพร้อมทำงาน

การเรียกฟังก์ชันล่วงหน้าและการกำหนดค่าล่วงหน้าของวัตถุพร้อมทำงานเป็นรูปแบบของการกระทำที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเพราะการประมวลผลจะเกิดขึ้นหลังจากผ่านเวลาหน่วงที่กำหนดไปแล้วแต่แผนภาพสเตทชาร์ทไม่มีสัญลักษณ์สำหรับใช้แสดงการกระทำในอนาคตดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่สามารถแสดงการกระทำแบบการเรียกฟังก์ชันล่วงหน้าและการกำหนดค่าล่วงหน้าด้วยแผนภาพสเตทชาร์ทได้

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีความมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงแผนภาพสเตทชาร์ทให้สามารถแสดงแบบจำลองเชิงพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานในระบบวัตถุพร้อมทำงานแบบโครงสร้างได้ โดยสามารถแก้ปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นด้วยการเพิ่มเติมสัญลักษณ์ที่จำเป็นให้กับแผนภาพสเตทชาร์ท หลังจากนั้นจึงทำการพัฒนาบรรณาธิกรสำหรับสร้างแผนภาพสเตทชาร์ทเพื่อใช้กำหนดพฤติกรรมให้กับวัตถุพร้อมทำงานและทำการปรับปรุงตัวสร้างชุดคำสั่งให้สามารถทำการแปลงจากแผนภาพสเตทชาร์ทไปเป็นชุดคำสั่งของวัตถุพร้อมทำงานได้ ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในขอบเขตใหม่มีความรวดเร็วขึ้นเนื่องจากสามารถแปลงจากแบบจำลองไปเป็นชุดคำสั่งได้ทันที

1.2 วัตถุประสงค์

1) ปรับปรุงแผนภาพสเตทชาร์ทให้สามารถอธิบายพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานในระบบของวัตถุพร้อมทำงานแบบโครงสร้าง

2) ออกแบบและพัฒนาบรรณาธิกรสำหรับสร้างแผนภาพสเตทชาร์ทและตัวสร้างชุดคำสั่งซึ่งสามารถแปลงจากแผนภาพสเตทชาร์ทเป็นชุดคำสั่งพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงาน

ของสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) ปรับปรุงแผนภาพสเตทชาร์ทให้สามารถอธิบายพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานได้โดยครอบคลุมประโยคการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 แบบ ได้แก่ กฎการเปลี่ยนแปลง สมการกำหนดค่า และส่วนกำหนดเหตุการณ์

2) ออกแบบและพัฒนาบรรณาธิกรสำหรับสร้างแผนภาพสเตทชาร์ทเพื่อใช้กำหนดพฤติกรรมให้กับวัตถุพร้อมทำงานโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1) สามารถแสดงตัวแปรสมาชิกและฟังก์ชันสมาชิกของชนิดของเอนทิตีที่นำมาสร้างเป็นเค้าร่างเพื่อให้สามารถใช้อ้างอิงได้ในขณะที่กำลังทำการสร้างแผนภาพสเตทชาร์ท

2.2) มีส่วนสำหรับสร้างแผนภาพสเตทชาร์ทโดยสัญลักษณ์ที่ใช้สร้างจะเป็นสัญลักษณ์ที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานเท่านั้น

2.3) สามารถทำการจัดเก็บแผนภาพสเตทชาร์ทในรูปของแฟ้มข้อมูลแล้วสามารถเรียกแฟ้มข้อมูลนั้นเพื่อทำการแก้ไขในภายหลังได้

3) พัฒนาเพิ่มเติมตัวสร้างชุดคำสั่งของบรรณาธิกรสำหรับสร้างเค้าร่างให้มีความสามารถในการแปลงจากแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ที่ถูกต่อเติมและแผนภาพสเตทชาร์ทไปเป็นชุดคำสั่งของวัตถุพร้อมทำงานในภาษาจาวาได้โดยมีข้อกำหนดว่า ไวยากรณ์ที่ใช้กำหนดในแผนภาพสเตทชาร์ทจะต้องเป็นไวยากรณ์ที่ถูกต้องตามภาษาจาวาจึงจะได้ชุดคำสั่งที่สามารถนำไปใช้งานได้

4) ทำการทดสอบบรรณาธิกรสำหรับสร้างเค้าร่าง โดยการสร้างโปรแกรมประยุกต์ 4 ระบบ ได้แก่ ระบบแถวคอย ระบบแท็งก์ ระบบเครือข่ายท้องถิ่น และระบบเครื่องปรับอากาศ

5) ทำการประเมินผลการสร้างชุดคำสั่งโดยใช้ร้อยละของจำนวนบรรทัดคำสั่งที่สร้างได้โดยอัตโนมัติเปรียบเทียบกับผลจากงานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาบรรณาธิกรสำหรับกำหนดพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานแบบวิชวล" [5]

6) ภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรมคือ ภาษาจาวา โดยใช้ตัวแปลภาษาเป็น JDK 1.2 ขึ้นไป

7) ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาแนวคิดและการใช้งานของระบบวัตถุพร้อมทำงานแบบโครงสร้าง

2) ปรับปรุงแผนภาพสเตทชาร์ทให้สามารถแสดงแบบจำลองเชิงพฤติกรรมของวัตถุพร้อมทำงานได้อย่างสมบูรณ์

3) ศึกษารายละเอียดของสิ่งแวดล้อมสำหรับพัฒนาโปรแกรมด้วยแผนภาพเอนทิตีและความสัมพันธ์ในแง่ของการใช้งานและองค์ประกอบภายในของซอฟต์แวร์

4) ออกแบบโปรแกรม

5) พัฒนาโปรแกรม

6) ทดสอบโปรแกรมและทำการประเมินผล

7) สรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์