บทที่ 3

การออกแบบส่วนรับเข้าสั่งการด้วยเสียง

ในส่วนนี้เสนอถึงแนวทางการวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนของการออกแบบวิธีการควบคุม ส่วนของการเลือกเสียงที่ไม่ต้องการความหมายมาใช้ในการควบคุม ส่วนของการแบ่งแยกเสียงที่ไม่ต้องการความหมาย ส่วนของการเชื่อมโยงคำสั่งที่ได้จากเสียงไปยังคำสั่งที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และส่วนของการพัฒนาโปรแกรม

แนวทางในการพัฒนาส่วนรับเข้าด้วยเสียงที่นำเสนอ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในด้านของ

- ใช้จำนวนคำสั่งที่ผู้ใช้ต้องเปล่งเสียงเพื่อควบคุมตัวชี้ตำแหน่งให้น้อยที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้ง่ายในการจดจำคำสั่ง และการลดจำนวนคำสั่งให้น้อย ส่งผลให้มีความถูกต้องในการรู้จำเสียงมากขึ้น
- ไม่ยึดติดกับภาษา หรือสำเนียงต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้ได้กับผู้ใช้ที่หลายสัญชาติ
- สามารถตอบสนองกับผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหน่วงเวลาต่าง ๆ
- ใช้ความพยายามในการใช้งานให้น้อยที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้ติดต่อกันได้เป็นเวลานาน
- ครอบคลุมการทำงานที่จำเป็นต้องใช้ในระบบปฏิบัติการวินโดวส์

3.1 การศึกษารูปแบบการควบคุมคอมพิวเตอร์

การเริ่มต้นการออกแบบตัวชี้ตำแหน่ง เริ่มจากการศึกษารูปแบบวิธีการควบคุมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งรูปแบบการควบคุมคอมพิวเตอร์ ตามลักษณะของงานในการควบคุมดังต่อไปนี้

- งานในการเลือกเป้าหมาย

การเลือกเป้าหมาย เป็นงานสำคัญในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ในปัจจุบัน เพราะการแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้มักออกแบบในรูปของสัญรูป หรือในรูปแบบอื่น ๆ ที่ผู้ใช้ต้องนำตัวชี้ตำแหน่งไปยังเป้าหมาย เพื่อใช้งาน หรือเข้าถึงเป้าหมายดังกล่าว

ผู้ใช้จะทำการใช้อุปกรณ์ชี้ตำแหน่งในการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่งไปยังเป้าหมายที่ต้องการ จากนั้นผู้ใช้อาจจะเลือกดำเนินการไปยังเป้าหมายได้ ซึ่งการดำเนินการของเป้าหมายประกอบด้วย การคลิก การคลิกสองครั้ง การคลิกขวา การเลื่อนหน้าจอ การลากและวาง

- งานในการเลือกวัตถุ

การเลือกวัตถุ ต่างจากการเลือกเป้าหมาย ในแง่ของความหมายของเป้าหมาย เป้าหมายที่เป็นวัตถุจะแทนถึงคำสั่งที่สามารถเรียกใช้ได้ เช่นวัตถุที่แสดงถึงการสั่งปิดคอมพิวเตอร์ ส่วนการเลือกเป้าหมายทั่วไป เป้าหมายที่ถูกเลือกอาจจะไม่มีความหมายใด ๆ อาทิเช่นต้องการเลื่อนตัวชี้ตำแหน่งไปที่ตำแหน่งใดก็ตามในโปรแกรม เพื่อใช้ในการเลื่อนหน้าจอ โดยเป้าหมายที่ตัวชี้ตำแหน่งวางนั้น ไม่แทนถึงคำสั่งใด ๆ

วัตถุต่าง ๆ ปรากฏอยู่ในรายการ เช่นรายการเริ่มต้นของระบบปฏิบัติการ หรือในส่วนที่เก็บวัตถุ เช่นในรายการเลือกที่ปรากฏในโปรแกรมต่างๆ วิธีการเข้าถึงสามารถทำได้โดยการเรียกใช้รายการ หรือเรียกใช้ส่วนที่จัดกับวัตถุเหล่านั้น จากนั้นเลือกวัตถุที่ต้องการ

จากลักษณะการเข้าถึงในลักษณะดังกล่าว สามารถใช้ตัวชี้ตำแหน่งในการทำงานเหล่านั้น หรือใช้แป้นพิมพ์ โดยการกดปุ่มลัดต่าง ๆ เพื่อเรียกรายการ จากนั้นใช้ปุ่มลูกศรเพื่อย้ายตำแหน่งของวัตถุที่ลูกเลือกไปยังวัตถุที่ต้องการ

ข้อแตกต่างของการใช้ตัวชี้ตำแหน่ง และแป้นพิมพ์ในการเลือกวัตถุของผู้ใช้คอมพิวเตอร์ คือความแม่นยำในการเลือกวัตถุเป้าหมาย เพราะในกรณีที่วัตถุมีเป้าหมายมีขนาดเล็ก หรือในรายการมีวัตถุอื่นจำนวนมาก การใช้ตัวชี้ตำแหน่งในการเลือกอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการเลือกเป้าหมายได้

- งานในการเลือกโปรแกรมที่ทำงานอยู่

ผู้ใช้สามารถเลือกโปรแกรมที่ทำงานอยู่ โดยการเลื่อนตัวชี้ตำแหน่งไปยังแถบแสดงโปรแกรมที่ทำงานอยู่ หรือการเรียกใช้แป้นพิมพ์ลัด โดยการกดปุ่ม Alt และปุ่ม Tab หรือกดปุ่ม Shift ปุ่ม Alt และปุ่ม Tab พร้อมกัน ในการสลับโปรแกรมที่ทำงานอยู่

3.2 การออกแบบวิธีการใช้ตัวชี้ตำแหน่ง

เพื่อให้สามารถทำงานได้ครอบคลุมในทุกการทำงาน ภายใต้ข้อจำกัดของคำสั่งที่เลือกใช้ได้อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องออกแบบลักษณะการทำงานให้อยู่ในลักษณะของรายการเลือกหลายสถานะ และในแต่ละสถานะจะมีรายการให้ผู้ใช้เลือกวัตถุในรายการเหล่านั้น ที่ผู้ใช้ต้องทำการเลือกวัตถุที่อยู่ในรายการ เพื่อเข้าถึงการทำงานในลักษณะต่าง ๆ

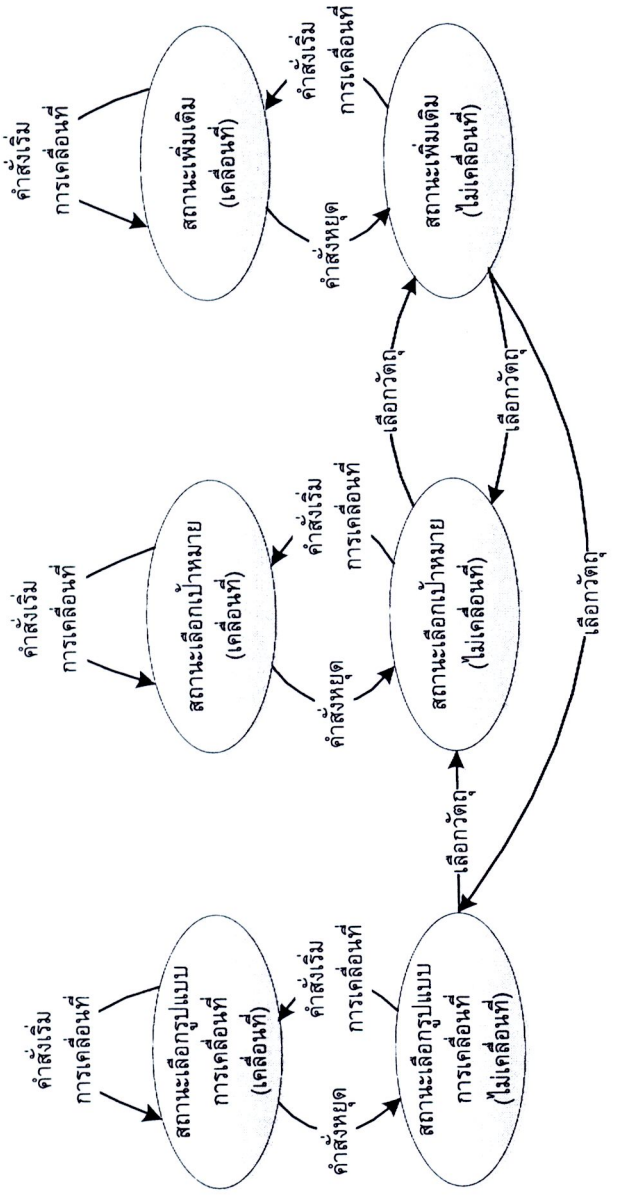
สถานะในการทำงานสามารถแบ่งได้เป็น 3 สถานะ คือ

1. สถานะเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่ เป็นสถานะที่ใช้เลือกรูปแบบการเคลื่อนที่ ให้สอดคล้องกับงานที่ผู้ใช้ต้องการทำ

2. สถานะเลือกเป้าหมาย เป็นสถานะที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่ง หรือเปลี่ยนเป้าหมายของวัตถุที่ต้องการเลือก โดยรูปแบบการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุเป็นไปตามรูปแบบที่เลือกไว้จากสถานะที่ใช้ในการเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่

3. สถานะเพิ่มเติม เป็นสถานะที่ใช้ในการเลือกการกระทำเพิ่มเติมเช่น คลิก หรือคลิกสองครั้ง หลังจากที่ตัวชี้ตำแหน่งเข้าถึงตำแหน่งที่ต้องการ

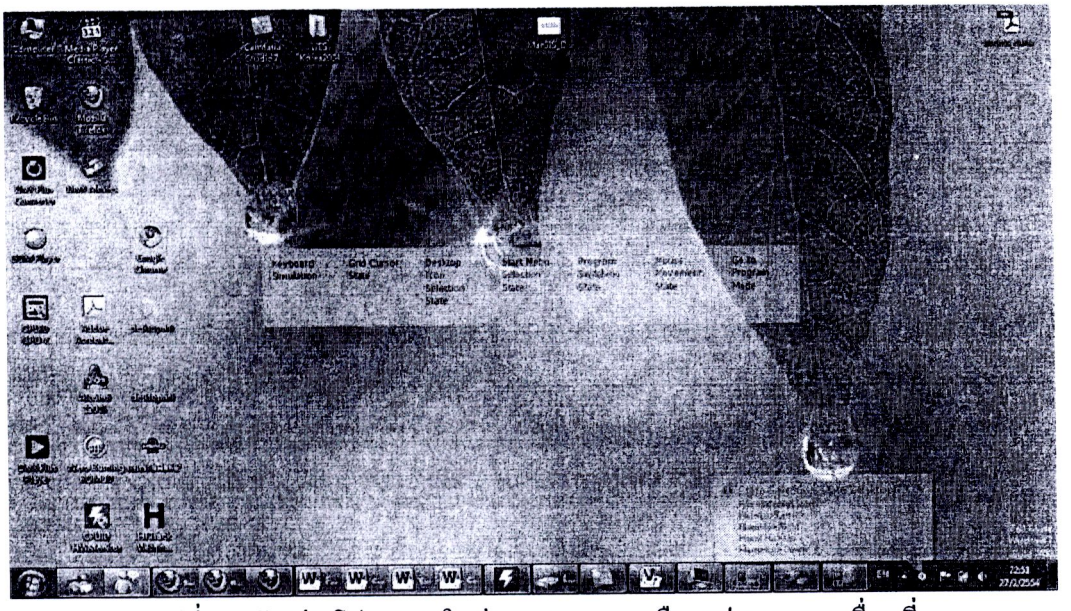
โดยทั้งสามสถานะ จะแบ่งย่อยเป็นสองสถานะคือ สถานะที่มีการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่ง หรือตัวระบุวัตถุ และสถานะที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่ง หรือตัวระบุวัตถุ โดยผู้ใช้สามารถเปลี่ยนสถานะ ได้เมื่อตัวชี้ตำแหน่งหยุดการเคลื่อนที่เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยวงรีแทนถึงสถานะต่าง ๆ และเส้นหมายถึงการเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับคำสั่งตามที่ระบุไว้ในเส้นตามทิศทางที่ลูกศรไป



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงสถานะของโปรแกรม

3.2.1 สถานะเลือกรูปแบบการควบคุม

ในส่วนนี้ได้ออกแบบการแสดงรายการให้แสดงตามแนวนอน และปรากฏที่กึ่งกลางของหน้าจอ โดยวัตถุที่แสดงในรายการเลือกแทนถึงรูปแบบการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการเลือกโดยการเลื่อนไปทางซ้ายและขวา โดยเริ่มเคลื่อนที่เมื่อมีการสั่งให้เคลื่อนที่ และหยุดเมื่อได้รับคำสั่งหยุด และใช้คำสั่งเลือกวัตถุเพื่อเข้าถึงวัตถุนั้น ๆ และในระหว่างการใช้งานจะมีแถบแสดงคำสั่งที่แทนเสียงแต่ละเสียง แสดงที่มุมล่างขวาของหน้าจอ สำหรับกรณีที่ผู้ใช้ลืมคำสั่งในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโปรแกรมในส่วนของรายการเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่

3.2.2 สถานะเลือกเป้าหมาย

ในส่วนนี้จะแสดงถึงรูปแบบการควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ หรือตัวชี้ตำแหน่งเพื่อใช้ในการเลือกเป้าหมายต่าง ๆ โดยรูปแบบการเคลื่อนที่นั้นได้ออกแบบให้สอดคล้องกับงานที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 3.1 ดังต่อไปนี้

1. งานในการเลือกเป้าหมาย

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้เสียงในการสั่งการตัวชี้ตำแหน่งเพื่อใช้ในการเข้าถึงเป้าหมายมีอย่างแพร่หลาย และมีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่นิยมใช้ในการควบคุมตัวชี้ตำแหน่งดังต่อไปนี้คือ

- รูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง (Cursor Movement Mode)

ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ขวา บน และล่าง เมื่อได้รับคำสั่งเคลื่อนที่ และหยุดเมื่อได้รับคำสั่งหยุด เพื่อลดความเหนื่อยในการใช้งาน ซึ่งต่างจากในงานวิจัยของ [8], [9] ที่ให้ตัวชี้

ตำแหน่งเคลื่อนที่เมื่อมีการเปล่งเสียง และหยุดเมื่อไม่มีการเปล่งเสียง โดยเมื่อตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่ถึงขอบด้านใดด้านหนึ่งของหน้าจอ ตัวชี้ตำแหน่งจะเปลี่ยนตำแหน่งไปที่ด้านตรงข้าม และยังคงเคลื่อนที่ต่อไป เช่นเมื่อเคลื่อนถึงด้านบนสุดจะทำการย้ายกลับมาทางด้านล่างสุด แต่ยังคงเคลื่อนที่ขึ้นต่อไป โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่งมีค่าคงที่กำหนดไว้ที่ 80 จุดต่อวินาที การคำนวณความเร็วในส่วนนี้จะอธิบายในส่วนที่ 5.1

- รูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่แบบตาราง (Grid Cursor Mode)

ใช้วิธีการเข้าถึงแบบตาราง เหมือนในงานวิจัย [10] แต่ในงานวิจัยนี้ใช้เสียงอัม เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของช่องที่สนใจ ไปยังช่องที่ต้องการ โดยการเคลื่อนที่ในทิศทางหลักทั้ง 4 ทิศทาง แทนที่จะเชื่อมโยงช่องต่าง ๆ กับคำสั่งต่าง ๆ โดยตรง เพราะในระบบที่ออกแบบนี้ มีเสียงในการสั่งการที่จำกัด ส่งผลให้ในการใช้เสียงแทนช่องต่าง ๆ ในตาราง จะทำให้แบ่งช่องตารางได้น้อย แต่การออกแบบในวิธีที่นำเสนอใหม่นี้ ทำให้สามารถแบ่งช่องของหน้าจอได้อย่างไม่จำกัด โดยเมื่อเคลื่อนที่ถึงขอบทางด้านซ้าย จะกลับไปเริ่มต้นที่ขอบทางด้านขวาของแถวที่อยู่ด้านบน และเมื่อเคลื่อนที่ถึงขอบทางด้านขวา จะกลับไปเริ่มต้นที่ขอบทางด้านซ้ายของแถวที่อยู่ด้านล่าง

2. งานในการเลือกวัตถุ

รูปแบบการเคลื่อนที่ในการเลือกวัตถุที่นำเสนอนี้ ได้จำลองการควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุด้วยแป้นพิมพ์ โดยเรียกว่ารูปแบบที่แทนการกดแป้นลูกศร (Arrow Key Mode) ทำหน้าที่จำลองการกดปุ่มบนแป้นลูกศรซึ่งประกอบด้วย ปุ่มเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ทางขวา ทางด้านบน และทางด้านล่าง โดยจะทำการจำลองการกดปุ่มดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง จนกว่าจะมีคำสั่งหยุด

จากกระบวนการเลือกวัตถุ ในบางครั้งจำเป็นต้องมีการเรียกรายการ หรือเลือกส่วนที่จัดเก็บวัตถุเหล่านั้น ดังนั้นจึงได้สร้างรูปแบบการเคลื่อนที่ ที่ใช้ในการเข้าถึงรายการ หรือส่วนที่เก็บวัตถุที่เป็นที่นิยม ดังต่อไปนี้

- รูปแบบที่ใช้เลือกวัตถุในรายการเริ่มต้นของวินโดวส์ (Start Menu Selection Mode)

จำลองการกดปุ่มวินโดว์ เพื่อเรียกรายการเริ่มต้นของวินโดวส์ จากนั้นเรียกใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ที่แทนการกดแป้นลูกศรเพื่อใช้ในการเลือกวัตถุที่อยู่ในรายการเริ่มต้นของวินโดวส์ ซึ่งวัตถุในรายการเริ่มต้นของวินโดวส์ประกอบด้วยโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้รูปแบบนี้ใช้ในการเปิดโปรแกรมต่าง ๆ

- รูปแบบที่ใช้เลือกสัญรูปบนเดสก์ท็อป (Desktop Icon Selection Mode)

สั่งการให้สัญรูปบนเดสก์ท็อปถูกโฟกัส จากนั้นเรียกใช้รูปแบบที่แทนการกดแป้นลูกศรเพื่อใช้ในการเลือกสัญรูปบนเดสท็อป รูปแบบนี้ใช้ในการเปิดโปรแกรม หรือเอกสารต่าง ๆ ที่วางอยู่บนเดสก์ท็อป

- รูปแบบที่ใช้เลือกวัตถุในรายการของโปรแกรมประยุกต์ (Application Menu Mode)

ทำการจำลองการกดปุ่ม Alt เพื่อเรียกใช้รายการของโปรแกรมประยุกต์ จากนั้นเรียกใช้รูปแบบที่แทนการกดแป้นลูกศรเพื่อใช้ในการเลือกวัตถุต่าง ๆ ในรายการ

3. งานในการเลือกโปรแกรมที่ทำงานอยู่

เรียกรูปแบบการเคลื่อนที่นี้ว่ารูปแบบที่ใช้เลือกโปรแกรมที่กำลังทำงานอยู่ (Program Switching Mode) โดยจำลองการกดปุ่ม Alt และปุ่ม Tab พร้อมกัน หรือปุ่ม Shift ปุ่ม Alt และปุ่ม Tab พร้อมกันอย่างต่อเนื่อง และหยุดเมื่อได้รับคำสั่งหยุด เพื่อใช้ในการเลือกโปรแกรมที่ทำงานอยู่ หรือใช้ในการสลับระหว่างโปรแกรมที่กำลังทำงานอยู่

โดยในทุกรูปแบบการควบคุม จะมีคำสั่งเพื่อเรียกสถานะเพิ่มเติมให้ปรากฏขึ้นมา เมื่ออยู่ในสถานะที่ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่ยังไม่ถือว่าสิ้นสุดการทำงานของรูปแบบการเคลื่อนที่นั้น ผู้ใช้สามารถกลับมาเลื่อนตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่ง หรือวัตถุที่ต้องการเลือกใหม่ได้

3.2.3 สถานะเพิ่มเติม

ในส่วนนี้จะแสดงสิ่งเพิ่มเติมที่สามารถทำได้ หลังจากที่ตัวชี้ตำแหน่ง หรือวัตถุที่กำลังเลือกหยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งสิ่งเพิ่มเติมทั้งหมดจะแสดงในรายการตามแนวนอน และใช้วิธีการเลือกเช่นเดียวกับในส่วนของสถานะเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่ โดยจำนวนสิ่งเพิ่มเติมที่สามารถทำได้ขึ้นกับรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เลือกก่อนหน้า โดยสิ่งเพิ่มเติมที่ปรากฏในรูปแบบการเคลื่อนที่ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.1

จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าการกระทำเพิ่มเติมประเภทการคลิก การคลิกสองครั้ง การคลิกขวา การเลื่อนหน้าจอ การลากและวาง ซึ่งเป็นการกระทำเพิ่มเติมของตัวชี้ตำแหน่ง ปรากฏอยู่ในรูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง และเข้าถึงแบบตาราง เพราะสองรูปแบบนั้นแทนการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่ง และทำให้ตัวชี้ตำแหน่งหยุดที่เป้าหมาย จึงสามารถสั่งการการกระทำดังกล่าวไปยังเป้าหมายได้ ต่างจากรูปแบบอื่นที่ตัวชี้ตำแหน่งไม่ได้อยู่ที่เป้าหมาย แต่เป้าหมายถูกเลือกจากการกดปุ่มลัดจากแป้นพิมพ์ จึงทำได้เพียงการสั่งการให้วัตถุที่ถูกเลือกนั้นทำงาน หรือการจำลองการคลิกขวาโดยกดที่แป้นพิมพ์ลัด

ตารางที่ 3.1 แสดงสิ่งเพิ่มเติมที่ปรากฏในรูปแบบการเคลื่อนที่ต่าง ๆ

ชื่อสิ่งเพิ่มเติม	รายละเอียด	ปรากฏใน
Back to State Selection State	กลับสู่สถานะเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่	ทุกรูปแบบการเคลื่อนที่
Back	กลับสู่สถานะเลือกเป้าหมาย โดยใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ที่ใช้งานอยู่	ทุกรูปแบบการเคลื่อนที่
Click	คลิกไปยังตำแหน่งที่ตัวชี้ตำแหน่งอยู่	รูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง และเข้าถึงแบบตาราง
Double Click	คลิกสองครั้งไปยังตำแหน่งที่ตัวชี้ตำแหน่งอยู่	รูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง และเข้าถึงแบบตาราง
Right Click	คลิกขวาไปยังตำแหน่งที่ตัวชี้ตำแหน่งอยู่หรือที่วัตถุที่เลือกอยู่	ทุกรูปแบบการเคลื่อนที่
Drag on/off	ลากหรือวาง (สลับกัน)วัตถุที่ตัวชี้ตำแหน่งชี้อยู่	รูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง และเข้าถึงแบบตาราง
Active	เรียกใช้วัตถุที่ถูกเลือก	ทุกรูปแบบการเคลื่อนที่ยกเว้นรูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง และเข้าถึงแบบตาราง
Scroll Up/Down	เลื่อนหน้าจอที่กำลังทำงานขึ้น หรือลงโดยเมื่อเรียกใช้งาน ระบบจะทำการเลื่อนหน้าจออย่างต่อเนื่อง และหยุดเมื่อได้รับคำสั่งหยุด	รูปแบบที่ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง และเข้าถึงแบบตาราง

3.3 ส่วนของการเลือกเสียงที่เหมาะสม

จากในส่วนที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าคำสั่งหลักในการควบคุมส่วนรับเข้าที่ออกแบบในลักษณะของรายการได้แก่ คำสั่งในการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเลื่อนตำแหน่งของวัตถุที่สนใจในรายการ และเปลี่ยนตำแหน่งของเป้าหมาย และชุดคำสั่งในการหยุด หรือเรียกใช้วัตถุต่าง ๆ ในรายการ ซึ่งสองคำสั่งนั้นไม่สามารถสั่งการได้พร้อมกัน เพราะตัวชี้ตำแหน่ง หรือตำแหน่งของวัตถุที่ถูกเลือกต้องทำการหยุดการเคลื่อนที่ก่อน จึงจะสามารถเรียกใช้ได้

ดังนั้นจึงสามารถแบ่งเสียงที่ต้องการใช้ออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะงานที่ใช้ในการควบคุมคือ เสียงที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ ควรใช้ชนิดของเสียงที่สามารถทำการแบ่งแยก

ออกเป็นหลายชนิด เพื่อใช้ในการควบคุมในทิศทางต่าง ๆ และเสียงที่ใช้ในการควบคุมคำสั่งหยุดหรือเรียกใช้วัตถุต่าง ๆ ควรเป็นเสียงที่สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว เพราะใช้ในการหยุดการเคลื่อนที่ แต่ไม่จำเป็นต้องแบ่งเป็นเสียงย่อยหลายเสียง

จากคุณสมบัติดังกล่าว เสียงที่สอดคล้องกับคุณสมบัติดังกล่าวได้แก่ เสียงฮัม และเสียงเสียดแทรก ดังแสดงรายละเอียดในส่วนที่ 2.1.6

สาเหตุที่เลือกใช้เสียงฮัมแทนที่จะใช้เสียงสระ เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้คือ

- เสียงฮัมใช้การเคลื่อนที่ของอวัยวะภายในช่องปากน้อยกว่าเสียงสระ เพราะไม่ต้องจัดรูปร่างของอวัยวะภายในช่องปาก
- มีขั้นตอนการหาค่าคุณลักษณะของเสียงที่ง่ายกว่า และแม่นยำมากกว่า โดยค่าความถี่มูลฐานของเสียงฮัมสามารถคำนวณหาได้โดยใช้หลักการของอัตสหสัมพันธ์ ดังแสดงในส่วนที่ 2.1.3 จากปัจจัยดังกล่าวทำให้นิยมใช้เสียงฮัมในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการประมวลผลน้อย เช่นการควบคุมอุปกรณ์พกพา [21] และการควบคุมรถเข็นคนพิการ [22]

จากงานวิจัย [14] แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ไม่สามารถจดจำระดับของเสียงฮัมได้ เพราะผู้ใช้ส่วนใหญ่มักจะรู้ว่าเสียงฮัมระดับไหนสูงกว่าเสียงระดับไหน แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเสียงที่ฮัมออกมานั้นมีความถี่เท่าใด หรือต่างจากเสียงฮัมระดับเดิมมากเท่าใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงแบ่งเสียงฮัมออกเป็น 2 ระดับ คือเสียงฮัมที่มีระดับเสียงสูง เรียกว่าฮัมสูง และเสียงฮัมที่มีระดับเสียงต่ำเรียกว่าฮัมต่ำ เพื่อให้ง่ายในการจดจำ

การแบ่งเสียงฮัมออกเป็น 2 ระดับ ทำให้มีคำสั่งให้เลือกใช้เพียง 2 คำสั่ง ซึ่งไม่เพียงพอในการสั่งการให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางหลักสี่ทิศทาง ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้การรวมกันของเสียงฮัมสูงและฮัมต่ำ เรียกรวมว่าฮัมสูงต่ำ และการรวมกันของเสียงฮัมต่ำและเสียงฮัมสูง เรียกรวมว่าฮัมต่ำสูง เพื่อสร้างเป็นอีก 2 คำสั่ง ต่างจากงานวิจัย [10] ที่ใช้เวลาในการเปล่งเสียงรวมกับระดับของเสียงฮัม เพราะผู้ใช้จะไม่ทราบได้แน่ชัดว่าเวลาใดที่โปรแกรมเริ่มรับรู้ว่ามีเสียงฮัมเกิดขึ้น โดยเฉพาะการฮัมเสียงสูง ที่บางครั้งผู้ใช้เริ่มจากฮัมเสียงต่ำแล้วไล่ระดับเสียงขึ้นเป็นระดับสูง จึงทำให้โปรแกรมรับรู้ว่ามีการเกิดขึ้นของฮัมเสียงสูง เมื่อระยะเวลาผ่านมาเป็นระยะหนึ่งแล้ว

สำหรับเสียงเสียดแทรกนั้น ได้เลือกใช้เสียงเสียดแทรกที่มีฐานกรณ์บริเวณปุ่มเหงือก เพราะมีช่วงที่มีพลังงานสูงในช่วงความถี่ที่สูงกว่าเสียงเสียดแทรกที่มีฐานกรณ์บริเวณอื่น แต่อย่างไรก็ตามระบบไม่ได้แบ่งเสียงเสียดแทรกออกเป็นเสียงย่อย ๆ ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถเปล่งเสียงเสียดแทรกที่มาจากฐานกรณ์อื่นได้ แต่ต้องมีคุณลักษณะทางสัญญาณเสียงตรงตามที่กำหนดไว้ ก็ถือว่าเป็นเสียงเสียดแทรกได้เช่นกัน

3.4 ส่วนของการรู้จำเสียง

ขั้นตอนการรู้จำเสียงจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์ระดับกรอบสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์ว่าสัญญาณเสียงในกรอบสัญญาณนั้นเป็นเสียงฮัมต่ำ เสียงฮัมสูง เสียงเสียดแทรก หรือเสียงเงียบ และส่วนของการวิเคราะห์ระดับส่วนของกรอบสัญญาณ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสียงฮัม เพื่อแยกออกเป็นเสียงฮัม 4 รูปแบบ

3.4.1 การวิเคราะห์ระดับกรอบสัญญาณ

คุณลักษณะที่ใช้ในการแบ่งแยกเสียงประกอบด้วย

- ค่าพลังงานของเสียงในช่วง 0 – 10000 เฮิร์ต แทนด้วย Eall มีคำตอบเป็นสูงกว่า หรือต่ำกว่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้

- ค่าพลังงานของเสียงในช่วง 5500 – 6500 เฮิร์ต แทนด้วย Ehigh มีคำตอบเป็นสูงกว่า หรือต่ำกว่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้

- ค่าความเป็นคาบ มีคำตอบว่าเป็นคาบหรือไม่เป็นคาบ

- ค่าของระดับเสียง แทนด้วย f0 มีคำตอบเป็นสูงกว่า หรือตำกว่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้

การวัดค่าพลังงานวัดจากผลรวมของผลลัพธ์จากการแปลงฟูริเยร์แบบวิยุตในช่วงความถี่ดังกล่าว และค่าความเป็นคาบ และค่าของระดับเสียงวัดจากผลลัพธ์ของอัตสหสัมพันธ์ ในกรณีที่สัญญาณไม่มีความเป็นคาบ จะไม่สามารถวัดค่าของระดับเสียงได้

เส้นขีดแบ่งของค่าพลังงานเสียงในช่วง 0 – 10000 เฮิร์ต และ 5500 – 6500 เฮิร์ต เป็นค่าที่ขึ้นกับส่วนรับเข้าของระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีการกำหนดขนาดการขยายสัญญาณที่แตกต่างกันไป สำหรับเส้นขีดแบ่งของระดับเสียงเป็นค่าที่ขึ้นกับผู้ใช้ เพราะผู้ใช้แต่ละคนมีระดับของเสียงที่แตกต่างกันไป บางคนอาจจะมีเสียงแหลม แต่บางคนอาจจะมีเสียงทุ่ม

การหาค่าของเส้นขีดแบ่งของพลังงานเสียงในช่วง 0 – 10000 เฮิร์ต หาจากจุดกึ่งกลางระหว่างพลังงานเสียงในช่วง 0 – 10000 เฮิร์ตของเสียงเงียบ กับเสียงเสียดแทรก การหาค่าของเส้นขีดแบ่งของพลังงานเสียงในช่วง 5500 – 6000 เฮิร์ต หาจากจุดกึ่งกลางระหว่างพลังงานเสียงในช่วง 5500 – 6000 เฮิร์ตของเสียงฮัม กับเสียงเสียดแทรก การหาค่าของเส้นขีดแบ่งของระดับเสียงหาจากจุดกึ่งกลางของระดับเสียงของเสียงฮัมที่มีระดับเสียงต่ำ และเสียงฮัมที่มีระดับเสียงสูง

หน้าที่ของแต่ละคุณสมบัติที่ต่าง ๆ อธิบายได้ดังต่อไปนี้

- คุณลักษณะ Eall ใช้ในการแยกเสียงเงียบออกจากเสียงเสียดแทรก และเสียงฮัม
- คุณลักษณะ Ehigh และค่าความเป็นคาบ ใช้ในการแบ่งแยกเสียงเสียดแทรกออกจากเสียงฮัม เหตุผลที่ต้องใช้ 2 คุณลักษณะ ในการแยกเสียงฮัมออกจากเสียงเสียดแทรก เพราะป้องกันเสียงรบกวนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เสียงเสียดแทรกเข้ามาในระบบ

- คุณลักษณะระดับเสียง ใช้ในการแบ่งแยกเสียงเสียงฮัมออกเป็นเสียงฮัมที่มีระดับเสียงสูง และเสียงฮัมที่มีระดับเสียงต่ำ

ดังนั้นการระบุว่ากรอบของเสียงที่รับเข้ามาเป็นเสียงใด สามารถพิจารณาจากค่าคุณสมบัติดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติที่ใช้ในการแบ่งแยกเสียงชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเสียง	ขีดแบ่งของ Eall	ขีดแบ่งของ Ehigh	ขีดแบ่งของ F0	ความเป็นคาบ
ฮัมสูง	สูงกว่า	ต่ำกว่า	สูงกว่า	เป็นคาบ
ฮัมต่ำ	สูงกว่า	ต่ำกว่า	ต่ำกว่า	เป็นคาบ
เสียงแทรก	สูงกว่า	สูงกว่า	---	ไม่เป็นคาบ
เสียงเงียบหรือเสียงอื่นๆ	ต่ำกว่า	ไม่พิจารณา	ไม่พิจารณา	ไม่พิจารณา
	สูงกว่า	ต่ำกว่า	---	ไม่เป็นคาบ

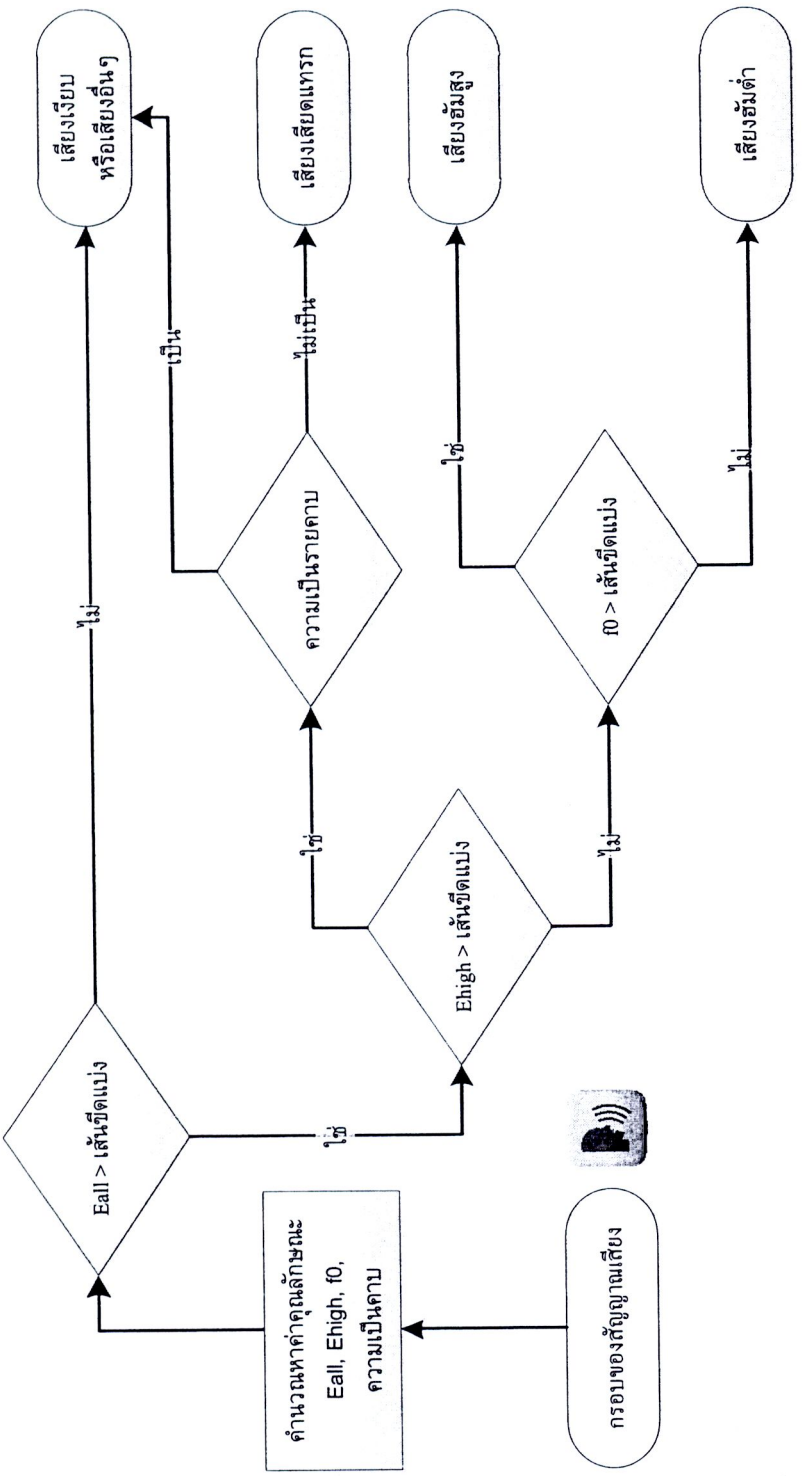
จากตารางที่ 3.2 สามารถสรุปเป็นกระบวนการในการแบ่งแยกเสียงชนิดต่าง ๆ ในกรอกเสียงที่รับเข้ามา ได้ดังรูปที่ 3.3

3.4.2 การวิเคราะห์ระดับส่วนของกรอบสัญญาณ

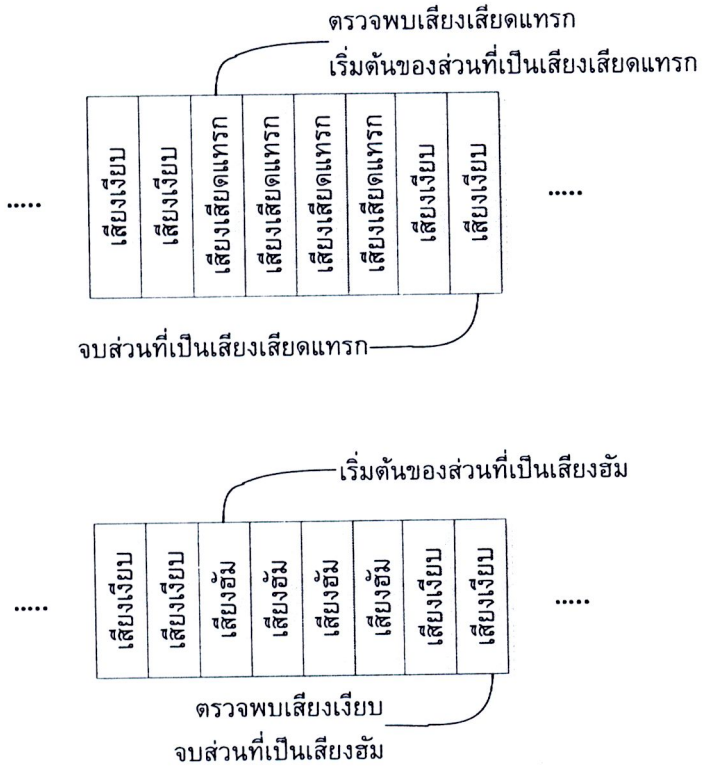
ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ต่อจากส่วนของการวิเคราะห์ในระดับของกรอบสัญญาณ โดยจะพิจารณาส่วนของกรอบของสัญญาณเสียงที่เป็นเสียงฮัมที่ติดกันเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปว่าเป็นเสียงฮัมสูง เสียงฮัมต่ำ เสียงฮัมสูงต่ำ หรือเสียงฮัมต่ำสูง

จุดเริ่มต้นของส่วนที่เป็นเสียงฮัมหรือเสียงเสียดแทรกคือกรอบสัญญาณแรกที่เป็นเสียงฮัมหรือเสียงเสียดแทรกชนิดใดก็ตามที่เข้ามาในระบบต่อจากเสียงเงียบ และกรอบสัญญาณสุดท้ายของส่วนที่เป็นเสียงฮัมหรือเสียงเสียดแทรก คือกรอบสัญญาณที่สองที่มีเสียงเงียบเข้ามาในระบบต่อจากเสียงฮัมหรือเสียงเสียดแทรก

เนื่องจากการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าเสียงฮัมในส่วนของเสียงฮัมนั้นเป็นเสียงฮัมชนิดใดจำเป็นต้องให้ผู้ใช้เปล่งเสียงฮัมนั้นจนเสร็จสิ้นก่อน ดังนั้นระบบจะคืนผลลัพธ์ก็ต่อเมื่อผู้ใช้เปล่งเสียงเสร็จ ต่างจากเสียงเสียดแทรกที่ไม่จำเป็นต้องแบ่งแยกเป็นเสียงอื่น ๆ ดังนั้นระบบสามารถทำการระบุได้ทันทีเมื่อมีกรอกสัญญาณเสียงเสียดแทรก เข้ามาในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงกระบวนการในการแบ่งแยกเสียงชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงเหตุการณ์ในการวิเคราะห์ระดับส่วนของกรอบสัญญาณ

คุณลักษณะที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับส่วนประกอบด้วย

- คุณสมบัติ HumLa เป็นค่าร้อยละของจำนวนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมต่ำในส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัม เทียบกับจำนวนกรอบของสัญญาณในส่วนนั้นทั้งหมด

- คุณสมบัติ HumL1 เป็นค่าจำนวนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมต่ำในช่วงครึ่งแรกของส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัม

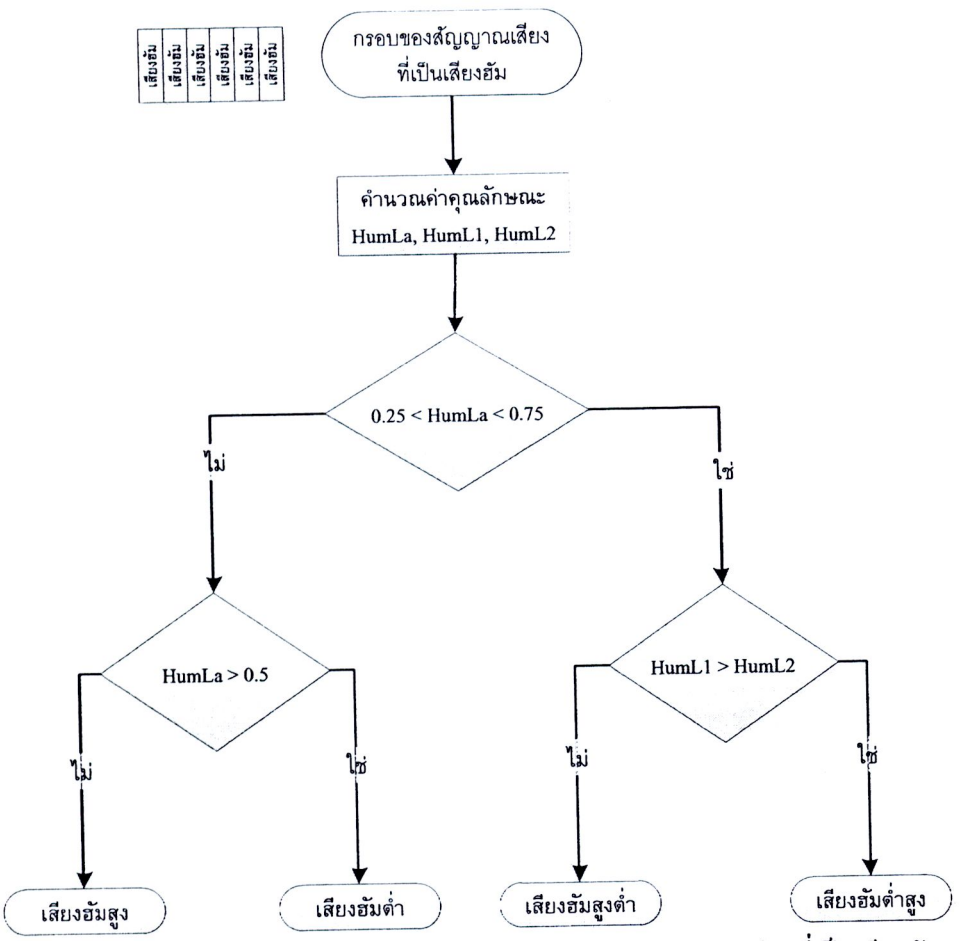
- คุณสมบัติ HumL2 เป็นค่าจำนวนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมต่ำในช่วงครึ่งหลังของส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัม

การวิเคราะห์ส่วนของเสียงฮัม เริ่มจากการแบ่งส่วนกรอบสัญญาณที่เป็นของเสียงฮัมออกเป็น 2 ประเภทคือ ส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมที่มีเพียงหนึ่งระดับเสียง ได้แก่เสียงฮัมสูง และเสียงฮัมต่ำ และส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมที่มีสองระดับเสียง ได้แก่เสียงฮัมต่ำสูง และเสียงฮัมสูงต่ำ โดยใช้ค่าคุณสมบัติ HumLa เป็นตัวแบ่งแยก ซึ่งในกรณีที่ค่าคุณลักษณะ HumLa มีค่าอยู่ระหว่าง 25% ถึง 75% ถือว่าส่วนของกรอบสัญญาณนั้นเป็นประเภทที่มีเสียงฮัมสองระดับ เพราะมีการปนกันของเสียงฮัมต่ำและฮัมสูง จึงทำให้ค่าคุณลักษณะ HumLa มีค่าในช่วงดังกล่าว แต่ถ้าไม่ได้อยู่ในช่วงดังกล่าวถือว่าส่วนของกรอบสัญญาณนั้นเป็นประเภทที่มีเสียงฮัมหนึ่งระดับเสียง

ในกรณีที่เป็นส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมที่มีเพียงเสียงฮัมหนึ่งระดับเสียง ระบบจะทำการแบ่งแยกต่อไปว่าเป็นเสียงฮัมต่ำ หรือฮัมสูงโดยวิเคราะห์จากค่าคุณสมบัติ HumLa ซึ่งในกรณีที่ค่าคุณลักษณะ HumLa มีค่ามากกว่า 50% ถือว่าส่วนของสัญญาณนั้นเป็นเสียงฮัมต่ำ เพราะมีกรอบของสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมต่ำมากกว่าครึ่ง แต่ในกรณีที่ค่าคุณลักษณะ HumLa มีค่าน้อยกว่า 50% ถือว่าเป็นเสียงฮัมสูง

ในกรณีที่เป็นส่วนของกรอบสัญญาณที่เป็นเสียงฮัมที่มีเสียงฮัมสองระดับ ระบบจะทำการแบ่งแยกต่อไปว่าเป็นเสียงฮัมต่ำสูง หรือเสียงฮัมสูงต่ำ โดยวิเคราะห์จากค่าคุณลักษณะ HumL1 และค่าคุณลักษณะ HumL2 โดยในกรณีที่ค่าคุณลักษณะ HumL1 มีค่ามากกว่าค่าคุณลักษณะ HumL2 ถือว่าเป็นเสียงฮัมต่ำสูง เพราะมีกรอบของที่เป็นเสียงฮัมต่ำในช่วงครึ่งแรกมากกว่า ในทางกลับกันถือว่าเป็นเสียงฮัมสูงต่ำ

กระบวนการในการวิเคราะห์ในระดับส่วนของกรอบสัญญาณเสียงที่เป็นเสียงฮัมสามารถสรุปได้ดังแผนภาพ ดังรูปที่ 3.5 โดยแสดงค่าที่เป็นค่าร้อยละในรูปแบบของทศนิยม



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงกระบวนการในระดับส่วนของกรอบสัญญาณเสียงที่เป็นเสียงฮัม

3.5 การเชื่อมโยงคำสั่งกับเสียงในการควบคุม

จากลักษณะการออกแบบในส่วนที่ 3.2 สามารถแบ่งคำสั่งได้เป็น 2 ประเภทคือ คำสั่งที่ใช้เริ่มต้นการเคลื่อนที่ และคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมคำสั่งหยุด หรือเรียกใช้วัตถุต่าง ๆ

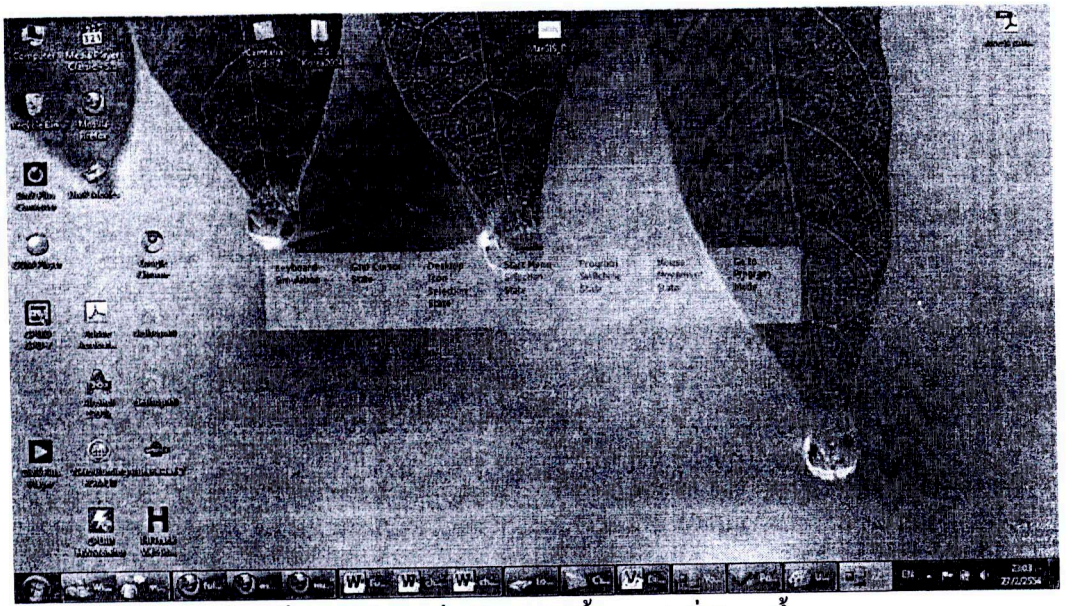
โดยทิศทางการเคลื่อนที่แบ่งได้เป็น 4 ทิศทาง และเนื่องจากในการออกแบบรายการของในสถานะต่าง ๆ ของระบบ ออกแบบในแนวนอนเป็นหลัก จึงทำให้มีการเรียกใช้คำสั่งในการเคลื่อนที่ตามแนวนอนมากกว่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เสียงฮัมที่มีหนึ่งระดับเสียงในการควบคุม เพราะง่ายในการเปล่งเสียงมากกว่าเสียงฮัมที่ประกอบด้วยสองระดับเสียง โดยกำหนดให้เสียงฮัมต่ำแทนการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย และเสียงฮัมสูงแทนการเคลื่อนที่ไปทางขวา สำหรับการเคลื่อนที่ไปทางด้านบนแทนด้วยเสียงฮัมต่ำสูง และการเคลื่อนที่ไปทางด้านล่างแทนด้วยเสียงฮัมสูงต่ำ

การควบคุมคำสั่งหยุด หรือเรียกใช้วัตถุต่าง ๆ ใช้เสียงเสียดแทรกในการสั่งการ เพราะสามารถตอบสนองในการสั่งการได้รวดเร็ว

3.6 ตัวอย่างการควบคุม

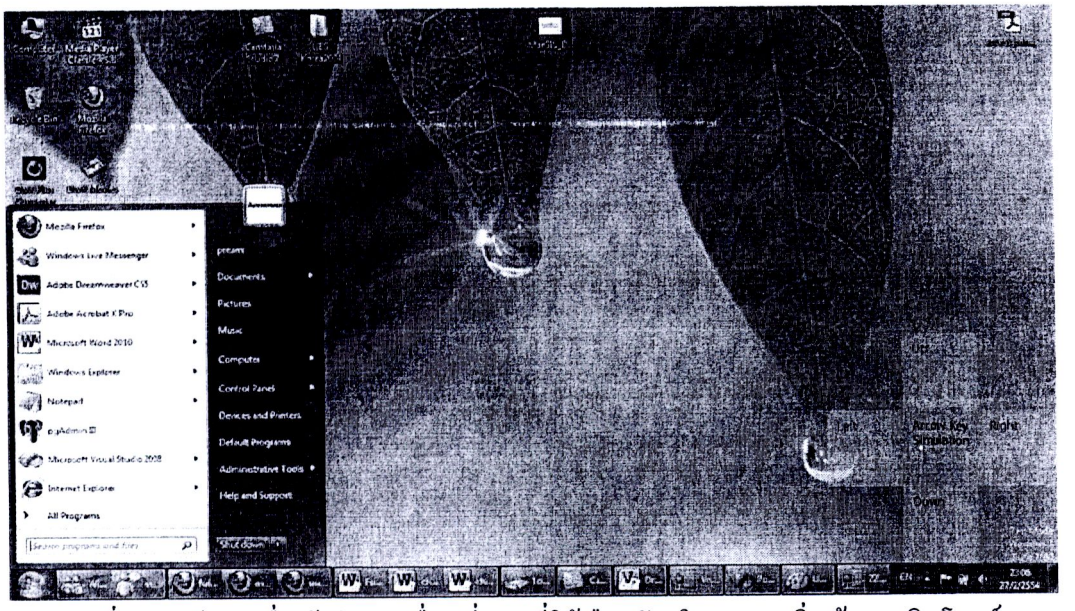
ตัวอย่างการเข้าถึงเป้าหมายนี้ แสดงการเข้าถึงไฟล์ที่อยู่ในไดร์ฟ D และเปิดไฟล์ชื่อ 1.doc ในกรณีที่เริ่มระบบปฏิบัติการ สามารถทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกโหมดการเคลื่อนที่แบบเลือกวัตถุในรายการเริ่มต้นของวินโดวส์ (Start Menu Selection Mode) เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ถูกเลือกตอนเริ่มอยู่แล้ว ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หน้าต่างเริ่มต้นของตัวชี้ตำแหน่งที่พัฒนาขึ้นมา

2. ทำการเรียกใช้โหมดการเคลื่อนที่แบบนั้นโดยการออกเสียงเสียดแทรก ส่งผลให้เปิดรายการเริ่มต้นของวินโดวส์ขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยแถบด้านขวาล่างแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่วัตถุที่ถูกเลือก



รูปที่ 3.7 หน้าต่างเมื่อเข้าสู่การเคลื่อนที่แบบที่ใช้เลือกวัตถุในรายการเริ่มต้นของวินโดวส์

3. จากนั้นใช้เสียงฮัมทั้ง 4 แบบ เลื่อนวัตถุที่สนใจไปที่เป้าหมายที่ต้องการ โดยใช้คำสั่งดังแสดงในรูปที่ 3.8 วัตถุที่ถูกเลือกจะเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ผู้ใช้สั่ง โดยก่อนการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ผู้ใช้ควรทำการหยุดการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่งก่อนด้วยการเปล่งเสียงเสียดแทรกก่อนแล้วจึงสั่งให้ตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่ต่อไป

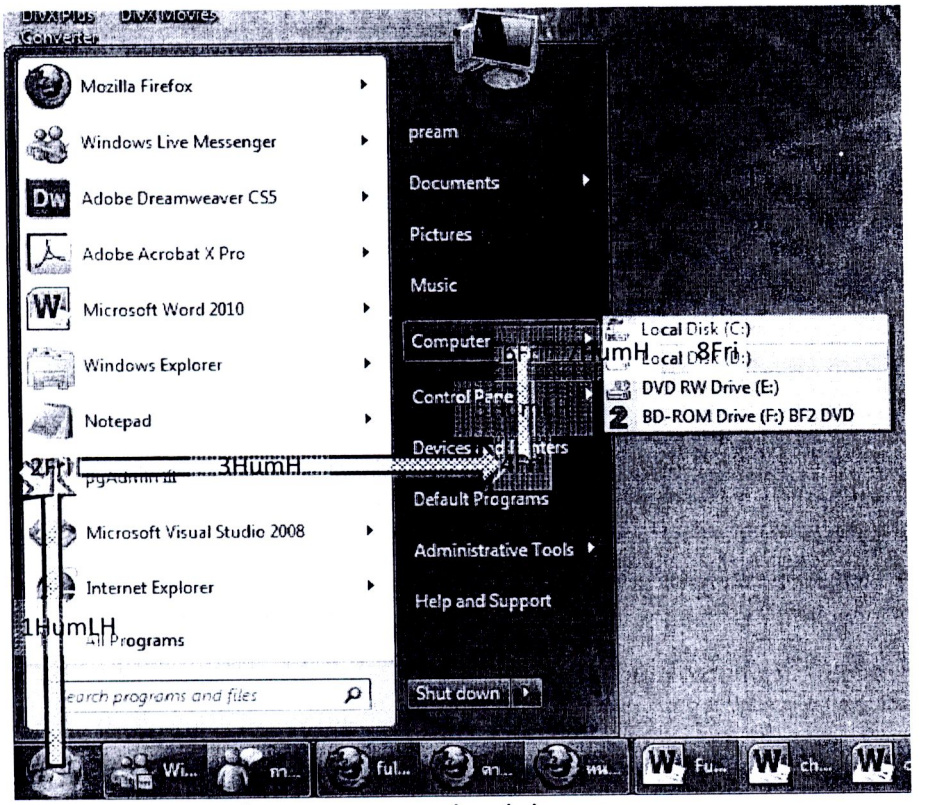
4. เมื่อเปล่งเสียดแทรกอีกครั้ง จะแสดงรายการตัวเลือกขึ้นมา ให้ทำการเลือกที่คำสั่งที่ใช้ในการเรียกใช้วัตถุ (Active) ด้วยการเปล่งเสียงเสียดแทรก ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เพื่อใช้ในการเรียกวัตถุนั้นทำงาน

5. จากนั้นเลือกใช้รูปแบบการสั่งการที่แทนถึงตัวชี้ตำแหน่งเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการเข้าถึงเป้าหมายที่อยู่ใกล้กัน โดยการออกเสียงฮัมสูงเพื่อเลื่อนวัตถุที่สนใจไปทางขวา และออกเสียงเสียดแทรกเพื่อหยุดการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่ง และออกเสียงเสียดแทรกอีกครั้งเพื่อเลือกการเคลื่อนที่ในรูปแบบนั้น แสดงในรูปที่ 3.10 โดยในขณะที่มีการเคลื่อนที่ สีของวัตถุที่ถูกเลือกจะมีสีที่แตกต่างไป

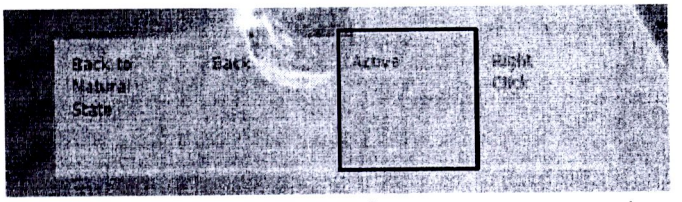
6. ทำการเลื่อนตัวชี้ตำแหน่งโดยใช้เสียงคำสั่งเหมือนกับขั้นตอนที่ 1 โดยในขณะที่ตัวชี้ตำแหน่งกำลังเคลื่อนที่ จะแสดงลูกศรเพื่อให้ผู้ทดลองทราบว่าตัวชี้ตำแหน่งกำลังเคลื่อนที่ในทิศทางใด ดังแสดงในรูปที่ 3.11

7. ออกเสียงเสียดแทรกเพื่อเรียกสถานะเพิ่มเติม โดยจะแสดงรายการเพิ่มเติมขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยแสดงให้เห็นว่ารายการในรูปแบบการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันจะไม่เหมือนกัน เปรียบเทียบในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.9

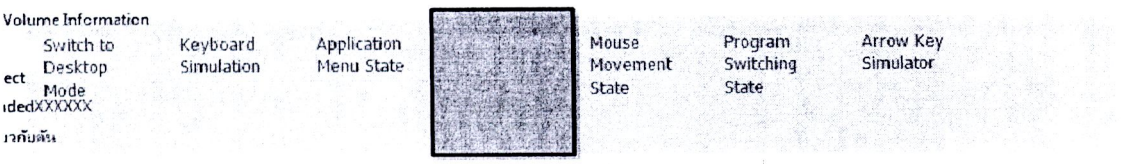
8. จากนั้นเลื่อนวัตถุที่สนใจไปทางขวา ด้วยการออกเสียงคำสั่งฮัมสูง จากนั้นออกเสียงเสียดแทรกเพื่อหยุดการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สนใจ เมื่อวัตถุที่แทนถึงการกระทำคลิกสองครั้ง (Double Click) ถูกเลือก และออกเสียงเสียงแทรกเพื่อทำการเลือกใช้วัตถุดังกล่าว ซึ่งหมายถึงการทำคลิกสองครั้งไปยังไฟล์ เพื่อทำการเปิดไฟล์นั้น



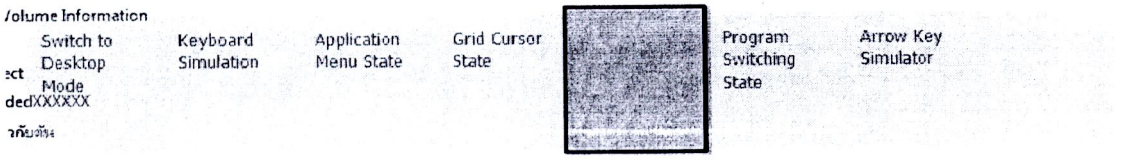
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการเคลื่อนที่เพื่อเข้าถึงในรายการ



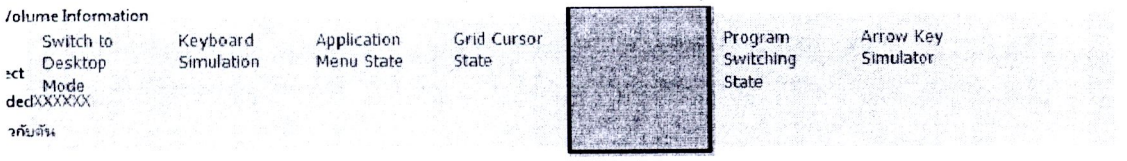
รูปที่ 3.9 รายการของสถานะเพิ่มเติมของรูปแบบที่ใช้เลือกวัตถุในรายการเริ่มต้นของวินโดวส์



1 HumH เคลื่อนที่ไปทางขวา

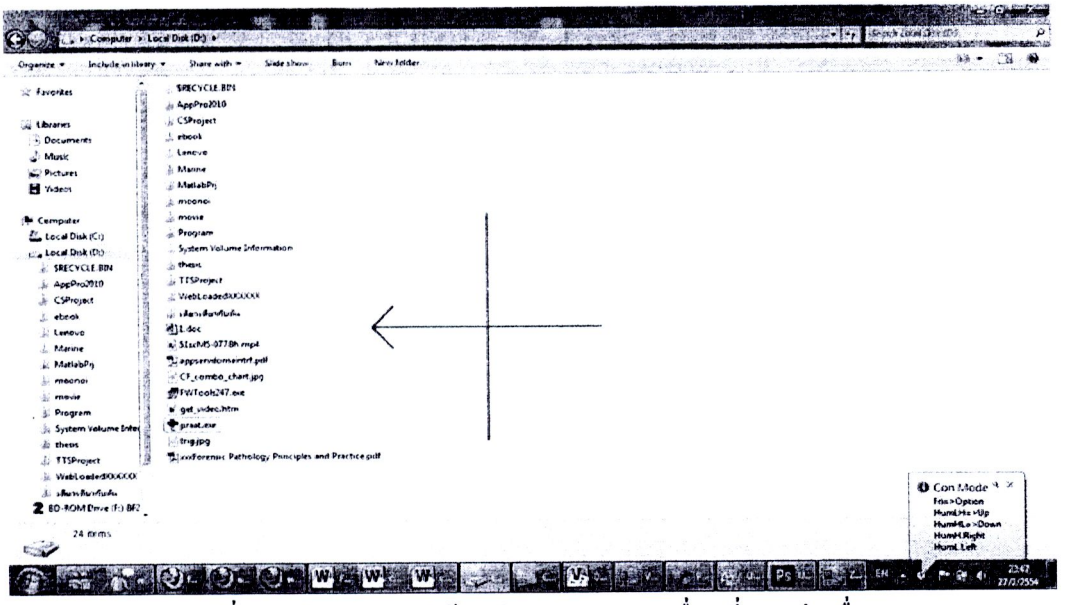


2 Fri หยุดการเคลื่อนที่



3 Fri เรียกใช้วัตถุ

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการเลือกวัตถุในรายการ



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง

รูปที่ 3.12 รายการของสถานะเพิ่มเติมของรูปแบบการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่งแบบต่อเนื่อง

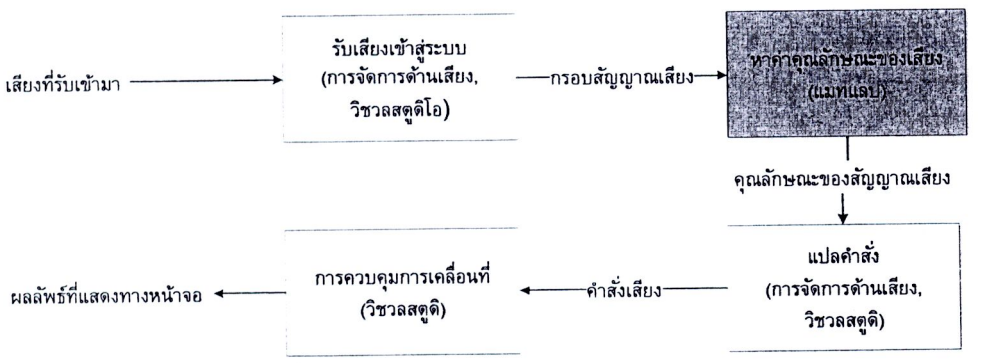
3.7 วิธีการพัฒนาโปรแกรม

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมจะใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์วิชวลสตูดิโอดอตเน็ต 2008 ร่วมกับไมโครซอฟท์ดอตเน็ตเฟรมเวิร์ก 3.5 ในการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ โดยใช้ภาษา C# เป็นหลัก และใช้โปรแกรมแมทแลป 2008 ในการพัฒนาส่วนของการวิเคราะห์สัญญาณโดยจะทำการแปลโปรแกรม (Compile) ในส่วนที่พัฒนาขึ้นมาโดยแมทแลป 2008 ให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ DLL เพื่อให้สามารถเรียกใช้ได้โดยในโปรแกรมไมโครซอฟท์วิชวลสตูดิโอดอตเน็ต 2008

ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมเป็นไปดังรูปที่ 3.13 โดยเสียงที่รับเข้ามาจากทางไมโครโฟนจะนำเข้ามาในโปรแกรมโดยใช้คลาสที่ดอตเน็ตเฟรมเวิร์กจัดเตรียมไว้ โดยเสียงที่รับเข้ามามีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต จากนั้นแบ่งเสียงนั้นออกเป็นกรอบเวลา โดยใช้กรอบของสัญญาณที่มีช่วงเวลา 0.2 วินาที และ โดยแต่ละกรอบของสัญญาณจะมีขนาดความคาบเกี่ยวกับกรอบสัญญาณอื่นเป็นช่วงเวลา 0.1 วินาที หลังจากที่ทำการแบ่งสัญญาณเป็นกรอบของสัญญาณดังกล่าวแล้วจะนำกรอบของสัญญาณส่งไปประมวลผลด้วยโปรแกรมแมทแลปต่อ

วิธีประมวลผลในส่วนของโปรแกรมแมทแลปได้ทำตามขั้นตอนในส่วนที่ 3.3.1 โดยโปรแกรมแมทแลปจะคืนผลลัพธ์เป็นค่าของ Eall Ehigh ค่าความเป็นคาบ และค่า f0 กลับไปยังโปรแกรมในส่วนของการประมวลผลสัญญาณเสียง จากนั้นโปรแกรมจะนำค่าเหล่านั้นไปเปรียบเทียบกับเส้นขีดแบ่งต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ว่ากรอบของสัญญาณเสียงนั้นเป็นเสียงประเภทไหน จากนั้นโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ต่อไปในระดับส่วนของกรอบสัญญาณตามขั้นตอนในส่วนที่ 3.3.2 จากนั้นโปรแกรมในส่วนของการประมวลผลสัญญาณเสียงจะทำการคืนผลลัพธ์เป็นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมไปยังโปรแกรมในส่วนของการควบคุมส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

ในส่วนของโปรแกรมในส่วนของการควบคุมส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ จะทำตามขั้นตอนในส่วนที่ 3.1 โดยเสมือนเป็นโปรแกรมหนึ่งที่อยู่เหนือโปรแกรมอื่น และการประมวลผลรูปภาพต่าง ๆ ของส่วนนี้ใช้เพียงคลัง (Library) System.Drawing ของไมโครซอฟท์ดอตเน็ตเฟรมเวิร์กเท่านั้น ไม่ได้มีการใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับไดเร็คเอ็ก หรือเทคโนโลยีอื่น ๆ เข้ามาช่วย



รูปที่ 3.13 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม