

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
3 การหาจุดในพิกัดสามมิติ.....	11
3.1 บทนำ.....	11
3.2 สมการการคำนวณหาจุดในพิกัดสามมิติ.....	11
3.3 สมการการสะท้อนของจุดสามมิติโดยใช้กระจกโค้ง 2 ตัว.....	14
3.4 การหาจุดสามมิติ บนผิวกระจกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	15
3.4.1 ผลการทดสอบ.....	20
3.5 การคำนวณหาจุดในพิกัดสามมิติจากจุดบนผิวกระจกโค้ง.....	21
3.6 สรุป.....	23
4 การบูรณะสถานะแวดล้อมสามมิติด้วยตัวตรวจรู้แบบเลนส์ - กระจกและการไหลเชิงแสง.....	25
4.1 บทนำ.....	25
4.2 การไหลเชิงแสง (Optical flow).....	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	ผลการทดสอบระบบ.....	26
4.4	ทดสอบย่านการทำงานของระบบ.....	51
4.5	ตารางผลการทดสอบตอนที่ 4.3.....	81
4.6	ตารางผลการทดสอบตอนที่ 4.4.....	82
4.7	การเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ติดต่อกัน.....	86
4.8	วิเคราะห์และสรุป.....	88
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1	สรุป.....	93
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	94
	รายงานอ้างอิง.....	97
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. รายละเอียดทางเทคนิคของกล้องที่ใช้ในการทดสอบ.....	99
	ภาคผนวก ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	103
	ภาคผนวก ค. ประวัติผู้วิจัย.....	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเลือกพารามิเตอร์ของระบบ (กระจกโค้ง A).....	19
3.2 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเลือกพารามิเตอร์ของระบบ (กระจกโค้ง B).....	20
3.3 ผลการทดลองการคำนวณจุดในพิกัดสามมิติ.....	22
4.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X.....	81
4.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z.....	82
4.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน XYZ.....	82
4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 11.....	82
4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 12.....	83
4.6 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 13.....	83
4.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 21.....	83
4.8 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 22.....	84
4.9 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 23.....	84
4.10 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 31.....	84
4.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 32.....	85
4.12 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 33.....	85
4.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 41.....	85
4.14 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 42.....	86
4.15 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 43.....	86
ก.1 รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคของกล้องทดสอบ.....	102

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มุมมองของกระจกแบบต่าง ๆ (ก) กระจกทรงไฮเปอร์โบล่า (ข) กระจกทรงกลม (ค) กระจกทรงกรวย.....	4
2.2 กระจกโค้งแบบต่าง ๆ (ก) ทรงวงรี (ข) ทรงไฮเปอร์โบล่า (ค) ทรงกรวย.....	6
2.3 การสะท้อนของผิวกระจกโค้ง (ก) การสะท้อนซึ่งตัดกับจุดโฟกัส (ข) การสะท้อนแบบตั้งฉาก.....	7
2.4 ผลการใช้สมการเชิงอนุพันธ์กับกระจกโค้ง (ก) ตารางเปรียบเทียบ (ข) ภาพที่ได้ จากกระจกโค้งรูปครึ่งทรงกลม (ค) ภาพที่ได้จากกระจกโค้งรูปพาราโบล่า (ง) ภาพหลังจากใช้สมการเชิงอนุพันธ์ในการแปลงตารางเปรียบเทียบ.....	8
2.5 แบบจำลองระบบกระจกของ Fiala and Basu (2002).....	9
3.1 แผนผังการบูรณะสถานะแวดล้อมสามมิติ.....	11
3.2 แบบจำลองการฉายของจุดในพิกัดสามมิติ.....	12
3.3 แบบจำลองการฉายของจุดในพิกัดสามมิติ ตัดขวางตามแนวแกน Z.....	13
3.4 แบบจำลองการฉายของจุดในพิกัดสามมิติ ตัดขวางตามแนวแกน Z โดยใช้กระจกโค้ง 2 ตัว.....	15
3.5 ภาพด้านข้างของกระจกโค้ง A.....	16
3.6 ภาพด้านล่างของกระจกโค้ง A.....	17
3.7 เป้าหมายของระบบที่ได้จากการวัด (ก) กระจกโค้ง A (ข) กระจกโค้ง B.....	18
3.8 ผลจากการฝึกสอนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (ก) กระจกโค้ง A (ข) กระจกโค้ง B.....	21
3.9 ภาพถ่ายตารางเปรียบเทียบ.....	22
3.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างจุดจริง (*) กับจุดที่คำนวณได้ (o).....	23
4.1 โครงสร้างการคำนวณการไหลเชิงแสงแบบสามมิติ.....	25
4.2 แบบจำลองการทดสอบระบบ.....	26
4.3 ภาพวัตถุทดสอบ.....	27
4.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบตามแนวแกน X.....	27
4.5 การไหลของแสงของวัตถุระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$	28
4.6 การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$	30
4.7 การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$	32
4.8 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4 โดย “ o ” เป็นจุดเริ่มต้น “ $*$ ” เป็นจุดที่ 2 “ $+$ ” เป็นจุดที่ 3 “ $\times$ ” เป็นจุดที่ 4	34
4.9 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4	34
4.10 การเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบตามแนวแกน Z	35
4.11 การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$	36
4.12 การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$	38
4.13 การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$	40
4.14 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4 โดย “ o ” เป็นจุดเริ่มต้น “ $*$ ” เป็นจุดที่ 2 “ $+$ ” เป็นจุดที่ 3 “ $\times$ ” เป็นจุดที่ 4	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4..... 42
4.16	การเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบในแนวแกน XYZ..... 43
4.17	การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ 44
4.18	การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ 46
4.19	การไหลของแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$ (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ ของวัตถุโดย o เป็นจุดที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ 48
4.20	กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4..... 50
4.21	เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4..... 50
4.22	การเคลื่อนที่ในย่านทดสอบ..... 51
4.23	การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 11 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5..... 52
4.24	กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 11 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5..... 52
4.25	เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 11..... 53
4.26	เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)..... 53
4.27	การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 12 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5..... 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 12 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	55
4.29 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 12	55
4.30 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)	56
4.31 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 13 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5	57
4.32 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 13 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	57
4.33 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 13	58
4.34 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)	58
4.35 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 21 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5	59
4.36 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 21 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	60
4.37 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 21	60
4.38 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)	61
4.39 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 22 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5	62
4.40 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 22 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	62
4.41 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 22	63
4.42 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)	63
4.43 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 23 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.59 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 41 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5	74
4.60 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 41 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	75
4.61 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 41	75
4.62 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง (→) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง (→)	76
4.63 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 42 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5	77
4.64 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 42 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	77
4.65 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 42	78
4.66 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง (→) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง (→)	78
4.67 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 43 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5	79
4.68 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 43 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5	80
4.69 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 43	80
4.70 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง (→) กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง (→)	81
4.71 ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบ	87
4.72 ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบโดยใช้การไหลเชิงแสง	88
4.73 ย่านการทำงานที่มีประสิทธิภาพของระบบ	91
5.1 ตัวอย่างมุมมองของระบบ (ก) กระจก B มีขนาดใหญ่ (ข) กระจก B มีขนาดเล็กลง	95
ก.1 กล้องที่นำมาทดสอบ	100
ก.2 รายละเอียดขนาดของตัวกล้อง (มม.) (ก) มุมมองด้านข้าง (ข) มุมมองด้านหน้า (ค) มุมมองด้านล่าง	101