

การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน

Ball Beam Control



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45715
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน

BALL BEAM CONTROL

ผู้จัดทำ

1. นาย อภิชัย งามเอกเชื้อ รหัสนักศึกษา 41014517



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน

อภิศ งามเอกเอื้อ

อ.ถาวร เบลญจนาสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นจากผลงานที่ได้ทำการศึกษาเพื่อควบคุมระบบ ลูกบอลบนคานซึ่งเป็นระบบพลศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถใช้การควบคุมแบบ ป้อนกลับอัตโนมัติในการควบคุมได้ โดยจะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ หลังจากนั้นทำการประมาณค่าระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นระบบเชิงเส้น โดยการสร้างเงื่อนไขการ ประมาณค่าระบบ เพื่อลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ระบบ หลังจากนั้นทำการออกแบบตัว ควบคุม ซึ่งออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยโปรแกรมMATLAB แล้วทำการสร้างชิ้น งานขึ้นมา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้ออกแบบ

BALL BEAM CONTROL

Apiyot Ngam-Eg-ua

Taworn Benjanarasuth Advisor

2001

Abstract

The purpose of this thesis is to investigate the usage of control system theory in the ball and beam system which is one of the non-linear applications. The mathematical model of the system is first developed. The original physical model is non-linear but it is linearized for simplicity in analysis and design. Then the appropriate controllers are studied and designed. The resulted control systems are simulated by using MATLAB program to variety their stability and performance. Finally ,the actual ball and beam system is constructed.

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

1-1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1-2 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงการ	1
1-3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ	2
1-4 เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์	2

บทที่ 2 การประมวลผลภาพ

2-1 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข	3
2-2 สัญญาณข้อมูลภาพจากดิจิทัลวิดีโอ	5
2-3 ข้อมูลภาพชนิดบีตแมป	6

บทที่ 3 สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบ

บทที่ 4 การควบคุมแบบพีไอดี

4-1 ธรรมชาติของการควบคุม	17
4-2 ความหมายของการควบคุมแบบอัตโนมัติ	18
4-3 กริยาการควบคุม	19
4-4 การรวมกริยาการควบคุม	24

บทที่ 5 ส่วนประกอบของระบบและการเขียนโปรแกรม

5-1 แผนผังรวมของวงจร	26
5-2 คอมพิวเตอร์และการควบคุม	26
5-3 พอร์ทขนาน	27
5-4 กล้องตรวจจับวัตถุ	28
5-5 วงจรขับมอเตอร์	29
6-6 โครงสร้างทางกลศาสตร์	30

บทที่ 6 ผลการทดลอง

6-1 พารามิเตอร์ของระบบ 32

6-2 ผลการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB 33

6-3 การหาค่าแรงลูกบอล 35

บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์

7-1 สรุปผลการทำงาน 36

7-2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 36

7-3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต 37

ก.ภาคผนวก

ข.กิตติกรรมประกาศ

ค.หนังสืออ้างอิง

รูปที่ 1-1 แสดงแบบจำลองของลูกบอลบนคานใน 2 มิติ	1
รูปที่ 2-1 ภาพอัตราการส่งสัญญาณวิดีโอที่อัตรา 24 เฟรมต่อวินาที	6
รูปที่ 2-2 โครงสร้างของบิตแมปไฟล์	7
รูปที่ 2-3 แสดงการเก็บข้อมูลของแต่ละพิกเซล	10
รูปที่ 3-1 แสดงแรงที่กระทำต่อลูกบอลในขณะเคลื่อนที่	11
รูปที่ 3-2 แสดงการหาความเร็วเชิงมุมของลูกบอล	12
รูปที่ 3-3 แสดงการหาความเร็วเชิงเส้นของลูกบอล	13
รูปที่ 3-4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์	15
รูปที่ 3-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ	16
รูปที่ 4-1 ความเข้าใจในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม	18
รูปที่ 4-2 ระบบควบคุมแบบลูฟปิดหรือแบบอัตโนมัติ	19
รูปที่ 4.3 Block Diagram ของตัวควบคุมสองตำแหน่ง	20
รูปที่ 4-4 ในกรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0 แต่เอาต์พุตคิริเวทียังมีการตอบสนอง	23

รูปที่5-1 แสดงแผนผังรวมของระบบ	26
รูปที่5-2 แสดงขาของพอร์ทขนาน	27
รูปที่5-3 แสดงลักษณะภายนอกของกล้องQUICKCAM	28
รูปที่5-4 แสดงการหาตำแหน่งของลูกบอลและคาน	28
รูปที่5-5 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	29
รูปที่5-6 แสดงโครงสร้างทางกลศาสตร์	30
รูปที่5-7 แสดงจุดเชื่อมต่อระหว่างฐานกับคาน	30
รูปที่6-1 แสดงลักษณะของคาน	32
รูปที่6-2 แสดงผลการทดลองด้วยตัวควบคุมแบบพี	34
รูปที่6-3 แสดงผลการทดลองด้วยตัวควบคุมแบบพีดี	34
รูปที่6-4 แสดงการหาตำแหน่งลูกบอลที่ตำแหน่ง31	35
รูปที่6-4 แสดงการหาตำแหน่งลูกบอลที่ตำแหน่ง72	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

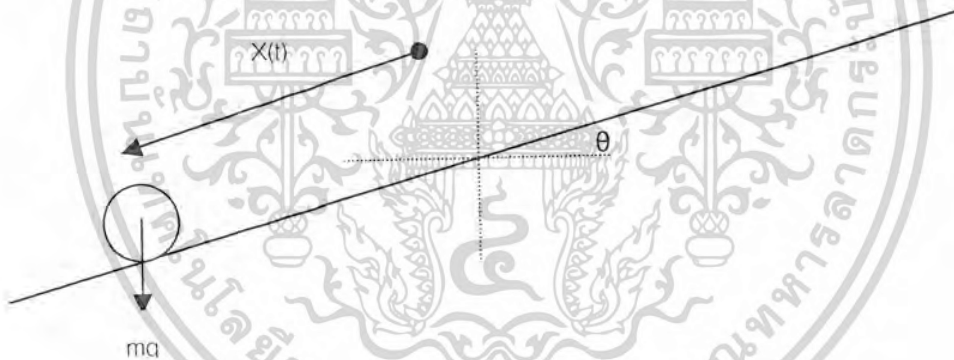
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน เป็นการควบคุมระบบพลศาสตร์ แบบไม่เป็นเชิงเส้นแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้การควบคุมแบบป้อนกลับอัตโนมัติในการควบคุมระบบได้

ระบบดังกล่าวประกอบด้วย คาน และลูกบอลทรงกลมไว้ในคาน ซึ่งลูกบอลสามารถเคลื่อนที่ได้ในแกนเดียว โดยการถลึงไปบนคาน และปราศจากการสั่นไถล สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกบอลทำได้โดยควบคุมการหมุนของคาน

สำหรับเป้าหมายของการควบคุมระบบ คือ ต้องการควบคุมลูกบอลให้หยุดนิ่งอยู่บนคาน ณ ตำแหน่งใด ๆ ตามต้องการ



รูป 1.1 แสดงแบบจำลองของลูกบอลบนคานใน 2 มิติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงการ

- 1) ควบคุมระบบตัวอย่าง คือ ระบบของลูกบอลบนคาน และ หาแบบจำลองของระบบดังกล่าว
- 2) ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบต่าง ๆ อาทิตัวควบคุมแบบPID และทำการเขียนแบบระบบควบคุมด้วย โปรแกรม MATLAB
- 3) ศึกษาและทดลองใช้กลไกเป็นอุปกรณ์วัดกับระบบควบคุม
- 4) สร้างแบบจำลองของระบบควบคุมลูกบอลบนคานและวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่จำเป็น
- 5) ออกแบบสร้างและทดลองควบคุมระบบควบคุมลูกบอลบนคานที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ

การศึกษาและจัดทำโครงการเริ่มต้นตั้งแต่ทำการศึกษาเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ หลังจากนั้นทำการประมาณค่าระบบซึ่งไม่เป็นเชิงเส้น ให้เป็นระบบเชิงเส้น โดยการลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ระบบ จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุม

จากนั้นทำการออกแบบระบบ พร้อมทั้งประกอบขึ้นเป็นระบบจริง และทำการทดลองในส่วนต่าง ๆ ของระบบ และหาผลสรุปและวิเคราะห์ โดยวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาปัญหานี้ คือ จะสามารถควบคุมลูกบอลและคานได้อย่างไร โดยให้สถานะสุดท้ายของลูกบอลหยุดนิ่ง และในสถานะสุดท้ายคานจะหยุดนิ่งอยู่ในแนวระดับ

1.4 เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิณญาณิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิณญาณิพนธ์ฉบับนี้ คือ ในบทที่2จะกล่าวถึงขบวนการการประมวลผลภาพในบทที่ 3 จะทำการหาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของระบบ ในบทที่4จะกล่าวถึงทฤษฎีในการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี ในบทที่ 5 จะอธิบายการออกแบบระบบจริงและส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของระบบ ทั้งในแนวคิดและเหตุผล ในบทที่ 6 เป็นส่วนผลที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ผล ซึ่งประกอบด้วยการทำพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ และผลการจำลองการควบคุมระบบ ส่วนในบทที่ 7 ซึ่งเป็นบทสุดท้าย จะสรุปและวิจารณ์ผลการดำเนินงานของโครงการนี้

บทที่ 2

การประมวลผลภาพ

2.1 การประมวลผลภาพเชิงเลข (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข หมายถึง การนำภาพที่พบทั่วไปมาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยภาพที่นำมาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์นี้จะถูกแทนที่ด้วยตัวเลขให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ แต่ภาพที่ได้โดยส่วนมากแล้วจะเป็นภาพที่ได้จากตัวรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชัน $f(x,y)$ ที่ต่อเนื่องในระนาบ 2 มิติ โดยจะเป็นสัดส่วนกับความสว่างหรือความเข้มของภาพที่ตำแหน่ง (x,y) ซึ่งเรียกว่า ระดับสีเทา (Gray level)

2.1.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

ภาพข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Image) เป็นภาพที่ถูกตัดแปลงมาจากอนาลอก อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพอนาลอกถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เรียกว่า พิกเซล (pixel) ในแต่ละพิกเซล จะถูกระบุตำแหน่งโดย (x,y) และค่าระดับสีเทาของพิกเซล โดยเราสามารถแปลงภาพเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลได้ โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

เมื่อเรานำสัญญาณอนาลอกที่ต้องการประมวลผลมาผ่านส่วนที่เรียกว่า ดิจิไทเซอร์ (Digitizer) ซึ่งมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล อุปกรณ์ส่วนนี้ได้แก่ กล้องโทรทรรศน์ดิจิไทเซอร์ จากนั้นทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อที่จะประมวลผลสัญญาณด้วยระบบคอมพิวเตอร์ฟังก์ชันของภาพ $f(x,y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพ ซึ่งเราเรียกว่า การสุ่มภาพ (Image Sampling) ของฟังก์ชันที่ได้เรียกว่า การควอนไทซ์ระดับสีเทา (Gray level quantization) ก็จะได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล

สมมุติว่าสัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x,y)$ ถูกดิจิไทซ์ในระนาบ x และ y เป็นช่วงเท่า ๆ กัน เราสามารถจัด $f(x,y)$ ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการที่ 2.1

$$f(x,y) = \begin{matrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) \dots f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) \dots f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & f(N-1,2) \dots f(N-1,N-1) \end{matrix} \quad (2.1)$$

ซึ่งทางขวาของสมการ จะเรียกได้ว่า ภาพดิจิทัล และทุกๆสมาชิกของเมตริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล จากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเราสามารถทราบขนาดของความละเอียดของภาพ $N \times N$ พิกเซล และจำนวนระดับของเกรย์สเกล ในทางปฏิบัติการทำคอนโตนเซชันในระบบภาพดิจิทัล จะมีค่าดังสมการที่ 2.2

$$B = N \times N \times M \text{ บิต} \quad (2.2)$$

เมื่อ $B =$ ขนาดของข้อมูลภาพที่เป็นดิจิทัล

$G =$ จำนวนของเกรย์สเกลที่ต้องใช้ในการเก็บภาพ

$M =$ จำนวนบิตที่ใช้ในการแทนข้อมูลภาพ 1 พิกเซล

โดย M สามารถหาได้จาก

$$G = 2^M$$

2.1.2 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพแบบดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลภาพจะมีความเข้มตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป แต่ที่ใช้กันมากจะใช้กันที่ค่าระดับความเข้มของจุดภาพเท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งจะทำให้ค่าของจุดภาพอยู่ในช่วง (0-255) โดยใช้เนื้อที่เก็บข้อมูลภาพขนาด 1 ไบต์ หรือ 8 บิต สำหรับข้อมูล 1 จุดภาพ ($2^8 = 256$) ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความละเอียดของระดับความเข้มสูง ๆ อาจจะต้องการจำนวนบิตสำหรับเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิต อาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิต โดยค่าความเข้มของจุดภาพเท่ากับ 2^{16} และ 2^{24} โดยจะแยกให้ชัดเจนดังนี้

1. ภาพ 2 ระดับ คือมีเพียงแค่จุดขาวกับจุดดำเท่านั้น โดยแต่ละจุดภาพเป็นข้อมูลขนาด 1 บิต
2. ภาพ 16 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงได้ 16 ระดับสี หรือ 16 เกรย์สเกล ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือขาวดำ
3. ภาพ 256 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 8 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงได้ 256 ระดับสี หรือ 256 เกรย์สเกล ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือขาวดำ
4. ภาพทิวทัศน์ (True color) คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิต ทำให้สามารถแสดงผลภาพได้เหมือนจริงที่สุด เพราะสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 ระดับสี โดยจะแสดงได้แค่ภาพสีเท่านั้น ไม่สามารถแสดงภาพขาวดำได้

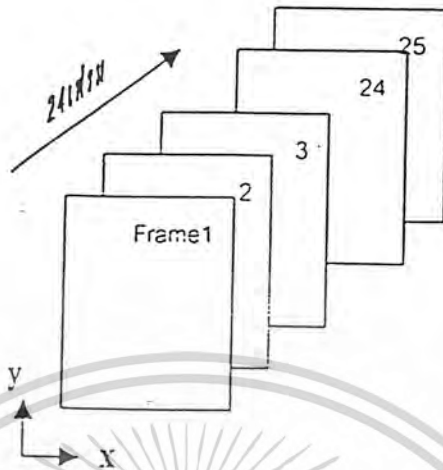
การแสดงผลนี้ใช้วิธีตั้งค่าของแม่สีในตารางสี โดยอาจเลือกสีเป็นแบบ 16 สี จาก 64 สี หรือ 16 สี จาก 262,144 สี หรือ 256 สี จาก 262,144 สี ขึ้นอยู่กับโหมดการแสดงผลสำหรับทรูคัลเลอร์ จะไม่มีการการเลือกสี แดงผลโดยการส่งค่าสี RGB ผ่าน D/A สีละ 8 บิต ออกไปความแตกต่างของการแสดงผลสีและขาวดำ คือ ภาพขาวดำจะต้องตั้งให้แม่สีทั้งสามสีมีค่าเท่ากัน เนื่องจาก VGA กำหนดให้แม่สีแต่ละสีใช้ได้เพียง 64 ระดับสีเท่านั้น หากต้องการให้เห็นทั้ง 256 ระดับ ต้องแสดงในโหมดทรูคัลเลอร์ แล้วให้ RGB มีค่าเท่ากัน ซึ่งในโหมดนี้ จะสามารถใช้วีซีดีได้ 8 บิต สำหรับแต่ละแม่สี

โดยทั่วไปวิธีการประมวลผลภาพเชิงเลขที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักวัตถุภายในภาพได้นั้นแบ่งได้สองระดับด้วยกันคือ การประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low level Image Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High level Image Processing) การประมวลผลภาพระดับต่ำจะเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลขเกือบทั้งหมด เพื่อหาตัวแปรต่าง ๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้ในการประมวลผลระดับสูงต่อไป

การประมวลผลภาพในระดับสูง เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลระดับต่ำมาตีความหรือเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักและเข้าใจภาพได้สำหรับความแตกต่างของการประมวลผลภาพระดับต่ำและสูง คือ ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผล โดยที่การประมวลผลภาพระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างของจุดโดยตรงส่วนการประมวลผลภาพระดับสูงนั้นข้อมูลภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแสดงในรูปของสัญลักษณ์ ซึ่งจะแสดงถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพ เช่น ขนาด หรือ รูปร่างของวัตถุในภาพ

2.2 สัญญาณข้อมูลภาพจากดิจิตอลวิดีโอ

การส่งสัญญาณข้อมูลภาพจากวิดีโอ จะมีลักษณะการส่งที่เป็นลำดับภาพเดี่ยวหรือเฟรม (frame) ที่ฉายต่อเนื่องกันดังรูปที่ 2.1 เช่น ระบบวิดีโอ NTSC จะส่งด้วยอัตราเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที โดยดิจิตอลวิดีโอแต่ละเฟรมจะเป็นข้อมูลภาพดิจิตอลในลักษณะของเมตริกซ์ ซึ่งแต่ละจุดจะเรียกว่า พิกเซล มีค่าของระดับความเข้มสี โดยทั่วไปจะใช้เกรย์สเกลที่มีค่าตั้งแต่ 0-255 โดย 0 แทนความมืดมากที่สุด และ 255 แทนความสว่างมากที่สุด



รูปที่ 2.1 ภาพการส่งสัญญาณวิดีโอที่อัตรา 24 เฟรมต่อวินาที

2.3 ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

2.3.1 รูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

รูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป เป็นฟอร์แมตของวินโดว์บิตแมป (Bitmap) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับไฟล์กราฟิกบนวินโดว์ ซึ่งจะใช้ในการตัดต่อ หรือสำเนาภาพต่าง ๆ ลงบนคลิปบอร์ด (Clipboard) เมื่อเวลาจัดเก็บไฟล์ที่มีสกุล BMP ซึ่งเป็นฟอร์แมตที่ยังสามารถใช้เป็นเวดจ์เปเปอร์ได้อีกด้วย

2.3.2 โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ข้อมูลเฮดเดอร์ (Header)
2. ข้อมูลจานสี (Palette)
3. ข้อมูลภาพ (Data)

1. ข้อมูลเฮดเดอร์ คือ ข้อมูลที่อยู่บริเวณส่วนหัวของไฟล์ ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลที่บอกรายละเอียดต่าง ๆ ของภาพ เช่น ความกว้าง ความยาวของภาพ จำนวนสี จำนวนบิต ความละเอียด

2. ข้อมูลงานสี คือ ข้อมูลที่บอกถึงชุดของงานสี ที่เกิดจากการผสมแม่สีทั้งสาม คือ แดง เขียว และน้ำเงิน มาผสมกันได้เป็นสีต่าง ๆ ซึ่งถ้ามีจำนวนสีน้อย ๆ ก็จะมีการเก็บค่างานสีนี้ลงไฟล์ไปด้วย แต่ถ้าเป็นแบบ 24 บิต จะไม่มีค่างานสี แต่จะใช้วิธีการเก็บค่าแม่สีลงไปเป็นข้อมูลแทน

3. ข้อมูลภาพ คือ ข้อมูลสีของภาพแต่ละจุดที่มาประกอบกันเป็นรูปภาพ ซึ่งค่าที่เก็บนี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการชี้ตาราง Palette หมายเลขอะไร เช่น จุดที่มีค่าเป็น 10 ก็ไปเปิดดูตารางหมายเลข 10 สมมุติว่า $R = 0, G = 100, B = 0$ ก็จะได้จุดนี้เป็นสีเขียว แต่ถ้าเป็นแบบ 24 บิตจะอ่านข้อมูลขึ้นมา 3 ค่า เป็นค่าแม่สี RGB แล้วนำไปผสมบนหน้าจอแทน

ไฟล์ข้อมูลชนิดบิตแมปมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Bitmapfileheader เป็นส่วนที่บอกข้อมูลของไฟล์ bitmapinfo เป็นส่วนที่แสดงขนาดและข้อมูลสีของภาพ ส่วนสุดท้ายคือ Pixel data เป็นส่วนเก็บข้อมูลสีแต่ละพิกเซล



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของบิตแมปไฟล์

BITMAPINFOHEADER

Byte	Data	Detail
1-2	File Type	Must be ASCII text "BM"
3-6	Size of file	In double word (32-bit integer)
7-10	Reverse for future	Must be zero
11-14	Byte offset to bitmap data	Offset from bitmapfileheader

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลในBitmapfileheader

BITMAPINFO

โครงสร้างของ bitmapinfo เขียนได้เป็นดังนี้

```
typedef struct tagBITMAPINFO { // bmi
    BITMAPINFOHEADER    bmiHeader ;
    RGBQUAD             bmiColors[1] ;
}BITMAPINFO ;
```

BITMAPINFO ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ BITMAPINFOHEADER เป็นส่วนที่บอกขนาดและข้อมูลสีของภาพบิตแมป และ RGBQUAD ซึ่งจะเก็บค่าตารางสีสำหรับเทียบค่าจากค่าของแต่ละพิกเซล

BITMAPINFOHEADER

โครงสร้างสามารถเขียนได้ดังนี้

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER { // bmih
    DWORD    biSize;
    LONG     biWidth;
    LONG     biHeight;
    WORD     biPlanes;
    WORD     biBitCount;
    DWORD    biCompression;
    DWORD    biSizeImage;
    LONG     biXiPelsPerMeter;
    LONG     biYiPelsPerMeter;
    DWORD    biClrUsed;
    DWORD    biClrImportant;
}BITMAPINFOHEADER;
```

โดยแต่ละฟิลด์จะมีความหมายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

biSize	จำนวนไบต์ของ Header file
biWidth,biHeight	บอกขนาดความกว้าง และยาวของภาพในรูปของพิกเซล
biPlanes	เป็น 1 เสมอ
biBitCount	จำนวนบิตต่อ 1 พิกเซล
biCompression	แสดงการบีบอัดข้อมูล
biSizeImage	บอกขนาดของไฟล์
biXiPelsPerMeter	ความยาวแนวนอนในหน่วยพิกเซลต่อเมตร
biYiPelsPerMeter	ความยาวแนวตั้งในหน่วยพิกเซลต่อเมตร
biClrUsed	จำนวนสีในตารางสีที่จะถูกชี้ด้วยค่าพิกเซลในบิตแมป
biClrImportant	เป็นเลขที่แสดงว่าข้อมูลสีมีความสำคัญในการแสดงผลของบิตแมป ถ้าเป็นศูนย์แสดงว่าทุกสีมีความสำคัญ

RGBQUAD

มีโครงสร้างดังนี้

```
typedef struct tagRGBQUAD { // rgbq
    BYTE    rgbBlue;
    BYTE    rgbGreen;
    BYTE    rgbRed;
    BYTE    rgbReserved;
}RGBQUAD;
```

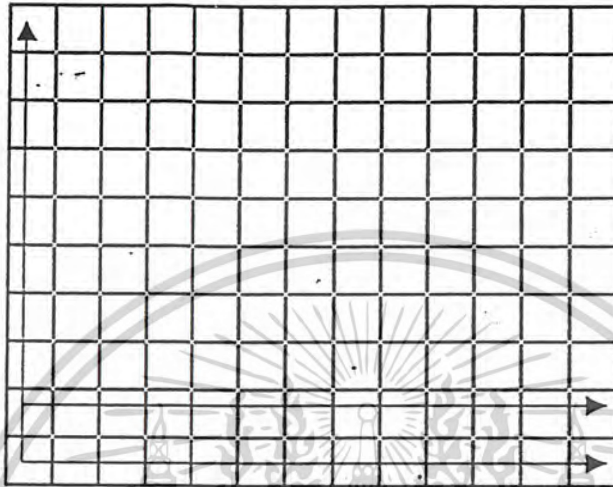
RGBQUAD จะเป็น โครงสร้างที่แสดงความเข้มของสีแดง เขียว และ น้ำเงิน โดยมีความหมายของแต่ละฟิลด์ดังนี้

rgbBlue	แสดงความเข้มของสีน้ำเงิน
rgbGreen	แสดงความเข้มของสีเขียว
rgbRed	แสดงความเข้มของสีแดง
rgbReserved	ต้องมีค่าเป็น 0

ในส่วนของ bmiColors ของโครงสร้าง BITMAPINFO จะประกอบด้วยอาร์เรย์ของ RGBQUAD เพื่อเป็นตารางเปรียบเทียบ สีของข้อมูลในแต่ละพิกเซล

Pixel data

เป็นส่วนเก็บข้อมูลสีของแต่ละพิกเซลของภาพ โดยข้อมูลแรกจะเป็นค่าสีของพิกเซลที่อยู่
แถวล่างสุดที่ตำแหน่งซ้ายสุด ข้อมูลลำดับต่อไปจะเรียงทางขวาจากแถวล่างจนถึงแถวบนสุด



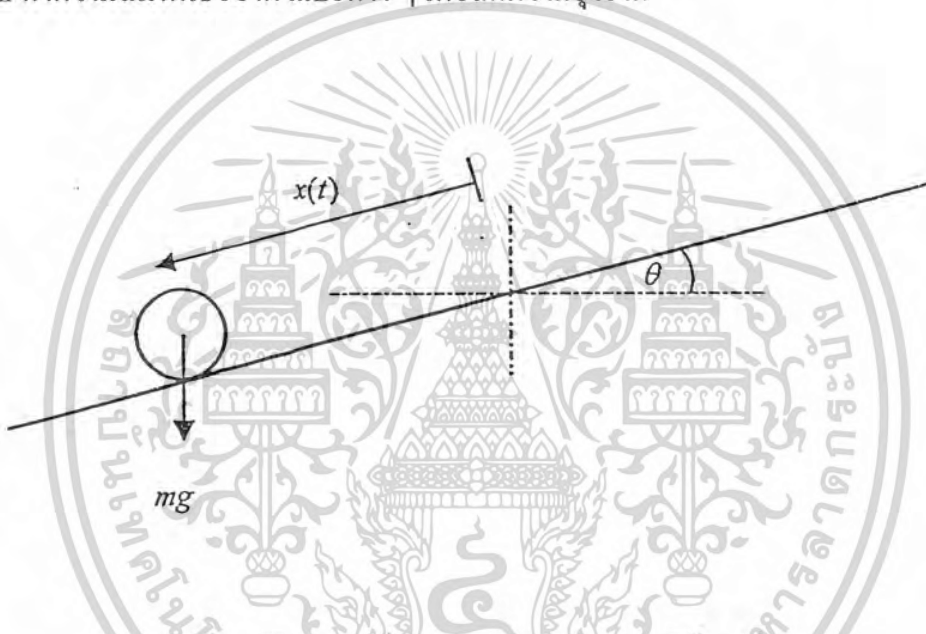
รูปที่ 2.3 แสดงการเก็บข้อมูลของแต่ละพิกเซล

บทที่ 3

การสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบ

สมการของระบบประกอบด้วยสมการการเคลื่อนที่ของลูกบอลและคานและสมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

สมการการเคลื่อนที่ของลูกบอลและคานพิจารณาจากรูปที่ 3.1 โดยการใช้ lagrang's equation หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อลดความยุ่งยาก



รูปที่ 3.1 แสดงแรงที่กระทำต่อลูกบอลขณะเคลื่อนที่

จาก $L = U - V$ (3-1)

เมื่อ U คือ kinetic energy

V คือ potential energy

ซึ่ง $u = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I_b\omega^2 + I_a\theta^2$ (3-2)

เมื่อ m คือ มวลของลูกบอล

V คือ ความเร็วเชิงเส้นของลูกบอล

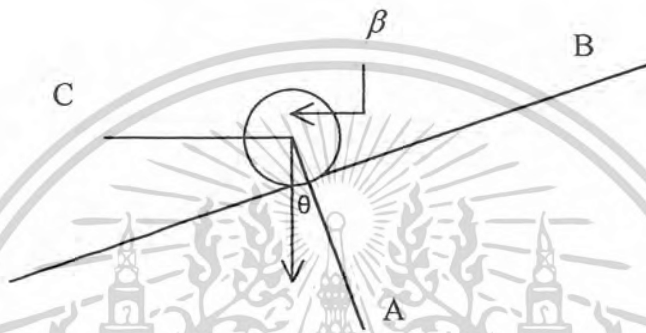
I_b คือ moment of inertia ของลูกบอล

I_a คือ moment of inertia ของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W คือ ความเร็วเชิงมุมของลูกบอล
 θ คือ มุมที่คานทำกับแนวราบ

ความเร็วเชิงมุมของลูกบอลหาได้จากรูปที่ 3.2



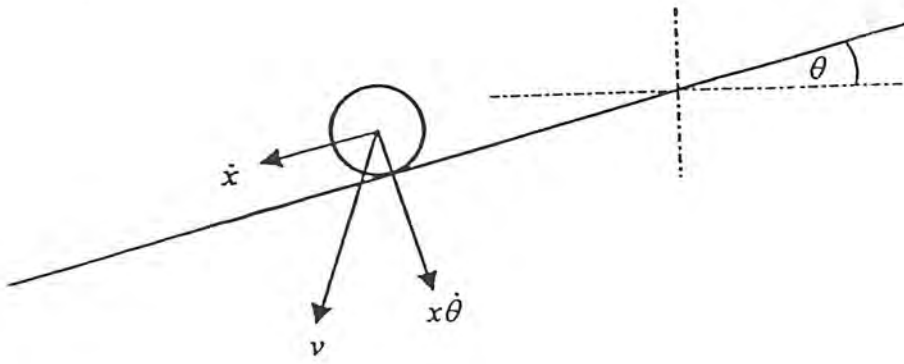
รูปที่ 3.2 แสดงการหาความเร็วเชิงมุมของลูกบอล

มุมที่ลูกบอลหมุนไปเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงในแนวตั้ง : $\alpha = \beta + \theta$ (3-3)
 $= \frac{x}{r} + \theta$

เมื่อ r คือรัศมีการหมุนของลูกบอล

ดังนั้นความเร็วเชิงมุม คือ $w = \frac{d(x + \theta)}{dt \cdot r}$
 $= \frac{1}{r} \frac{dx}{dt} + \frac{d\theta}{dt}$

ความเร็วเชิงเส้นหาได้จากรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการหาความเร็วเชิงเส้นของลูกบอล

$$v = (\dot{x}^2 + (x\dot{\theta})^2)^{1/2} \quad (3-5)$$

แทนสมการที่ (3-4) และ (3-5) ในสมการที่(3-1) ได้ดังนี้

$$L = \frac{1}{2} m(\dot{x}^2 + (x\dot{\theta})^2) + \frac{1}{2} I_b \left(\frac{\dot{x}}{r} + \dot{\theta} \right)^2 + \frac{1}{2} I_a \dot{\theta}^2 \quad (3-6)$$

Lagrang's equation ของการเคลื่อนที่ของลูกบอลคือ

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial x} \right) = F \quad (3-7)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \theta} \right) = T \quad (3-8)$$

เมื่อเราให้ x และ θ เป็นตัวแปรอิสระ และ F และ T คือแรงภายนอกที่กระทำในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรอิสระทั้งสอง

โดยที่ $F = mg \sin \theta$

และ $T = T_1 + mg \cos \theta$

กำหนดให้

1. moment of inertia และ มวล ของลูกบอลมีค่าน้อยมากถือว่าไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของคาน
 2. θ และ $\dot{\theta}$ มีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้งได้โดยให้มีค่าเป็น 0 สามารถทำให้ $\sin \theta = \theta$
- และจาก Lagrangian's equation ในสมการที่ (3-7) และ (3-8) จะได้

$$(m + \frac{I_b}{r^2})\ddot{x} = mg\theta \quad (3-9)$$

$$I_a\ddot{\theta} = T_1 \quad (3-10)$$

moment of inertia ของลูกบอลทรงกลมที่รัศมี R คือ $I_b = \frac{2}{5}mR^2$ แทนค่าลงในสมการที่(3-9)

ได้

$$[1 + \frac{2(R)^2}{5r}]\ddot{x} = g\theta \quad (3-11)$$

จากสมการที่ (3-10) และ(3-11)ทำการแปลงลาปลาซเพื่อหา transfer function จะได้

$$\frac{X(s)}{\theta(s)} = \frac{g}{[1 + \frac{2(R)^2}{5r}]s^2} \quad (3-12)$$

$$\frac{\theta(s)}{T_1(s)} = \frac{1}{I_a \cdot s^2} \quad (3-13)$$

ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าเป็น transfer function ของลูกบอลและคานตามลำดับ

เนื่องจากระบบใช้มอเตอร์ทำการควบคุมมุมของคานเพื่อควบคุมตำแหน่งของลูกบอล ดังนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่าง input voltage (V_1) ของมอเตอร์กับ θ ได้ดังนี้

สมการทางไฟฟ้าของมอเตอร์ คือ

$$v_1 = R_a i_a + \frac{L di_a}{dt} + v_g \quad (3-14)$$

$$v_g = K_a \omega \quad (3-15)$$

สมการแสดง torque ของมอเตอร์คือ

$$\begin{aligned} T_m &= K_t i_m \\ &= T_f + I_m \dot{\theta} + I_a \dot{\theta} + B\theta \end{aligned} \quad (3-16)$$

ทำการแปลงลาปลาซสมการที่ (3-14), (3-15) และ (3-16) เพื่อหา transfer function ได้

$$v_1(s) - v_g(s) = (R_a + sL_a) I_a \quad (3-17)$$

$$v_g(s) = K_a \omega(s) \quad (3-18)$$

$$T_m(s) - T_f(s) = (B + s(I_a + I_m)) \omega(s) \quad (3-19)$$

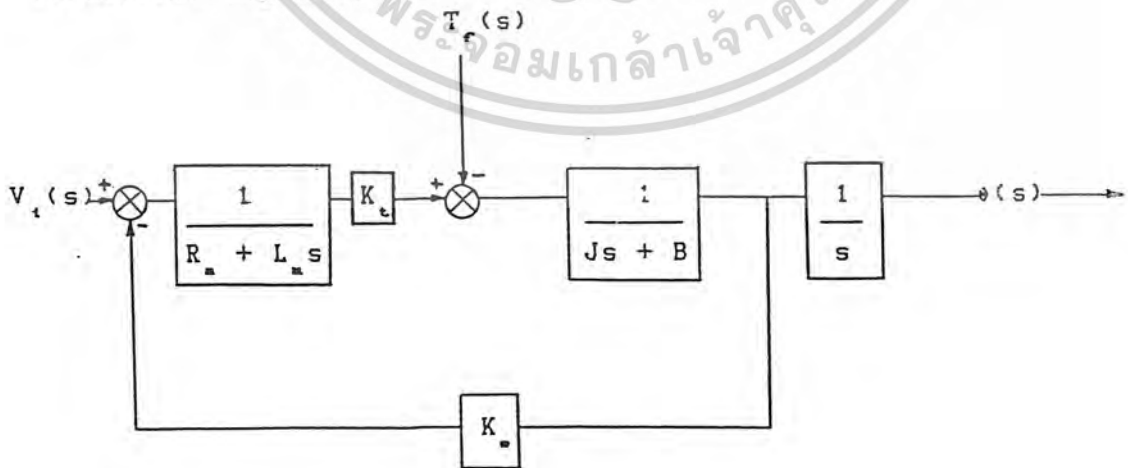
และจาก

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

แปลงลาปลาซได้

$$s\theta(s) = \omega(s)$$

เขียนเป็น block diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์

ถ้าให้ $T_f = 0$ และ L_a มีค่าน้อยมากๆจะได้ transfer function โดยประมาณดังนี้

$$\frac{\theta(s)}{V_1(s)} = \frac{K_t}{sR_a(Js + B) + sK_tK_a} \quad (3-21)$$

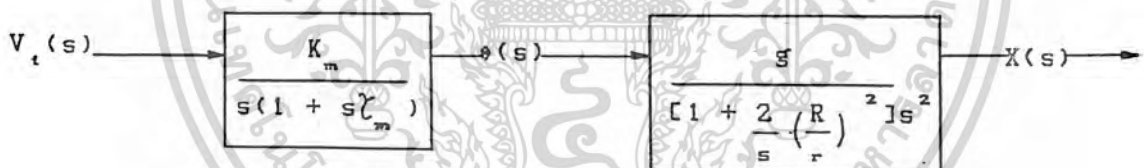
$$= \frac{K_m}{s(1 + s\zeta_m)} \quad (3-22)$$

เมื่อ

$$K_m = \frac{K_t}{R_a B + K_t K_a}$$

$$\zeta_m = \frac{R_a J}{R_a B + K_t K_a}$$

สามารถนำ transfer function ของลูกบอลและคานมาเขียนรวมกันเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ
ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 4

การควบคุมแบบพีไอดี

การควบคุมพีไอดีที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่เปรียบเทียบหาความแตกต่าง (ค่าคลาดเคลื่อน) ระหว่างค่าของเอาต์พุตจริงของระบบกับค่าของอินพุตอ้างอิง จากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นเพื่อที่จะไปทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมนี้จะเรียกว่า “ กริยาควบคุม (control action) ”

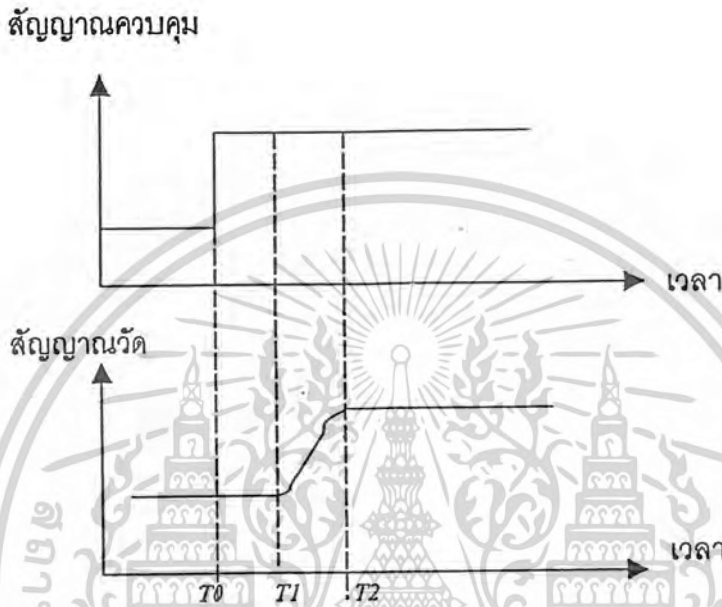
4.1 ธรรมชาติของการควบคุม

ตามรูปที่ 4.1 เมื่อสัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่เวลา $T = T_0$ สัญญาณของตัวแปร โพรเซสจะคงเดิมจนถึงเวลา T_1 ตัวแปร โพรเซส จะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งถึงเวลา T_2 ลักษณะนี้เรียกว่า โพรเซส มีความช้าในการตอบสนอง (Process time lag) ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น Dead time และ Capacity lag time ซึ่งจะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) Dead time คือ ช่วงเวลาที่นับจากขณะที่สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลง ไปจนกระทั่งสัญญาณวัดของตัวแปร โพรเซสเริ่มเปลี่ยนแปลง ดังในรูปที่ 4.1 Dead time มีค่าเท่ากับ $T_1 - T_0$ โดยทั่วไปแล้ว Dead time มักเกิดกับวัตถุที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งทำให้ Dead time ขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราอาจเรียก Dead time ได้ว่าเป็น Distance Velocity lag หรือ Transportation lag ในระบบควบคุม Dead time จะเป็นเวลาที่ตัวควบคุมรอเพื่อที่จะทราบผลของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุมที่ตัวควบคุมได้ส่งออกไปแล้ว ยิ่ง Dead time มีค่ามาก ตัวควบคุมยิ่งต้องรอนานขึ้น “ Dead time ทำให้ตัวควบคุมยากขึ้น ”

2) Capacity lag ความเร็วในการตอบสนองประเภทนี้จะเป็นตัวจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวัด ไม่ให้มีค่ามากเกินไป ยิ่ง Capacity lag มีค่ามากอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณวัดยังมีค่าน้อย ช่วงสภาวะที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะสมดุลย์ (Steady state)

เดิมไปสู่สถานะใหม่จะนานขึ้น รูปที่ 4.1 คือช่วงระยะระหว่าง T_1 กับ T_2 ในการควบคุมถ้าระบบจะมีค่า Capacity lag ยิ่งมากสัญญาณวัดจะยิ่งเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ตัวควบคุมสามารถเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุมไปต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้อย่างง่ายยิ่งขึ้น ทำให้การควบคุมง่ายขึ้น

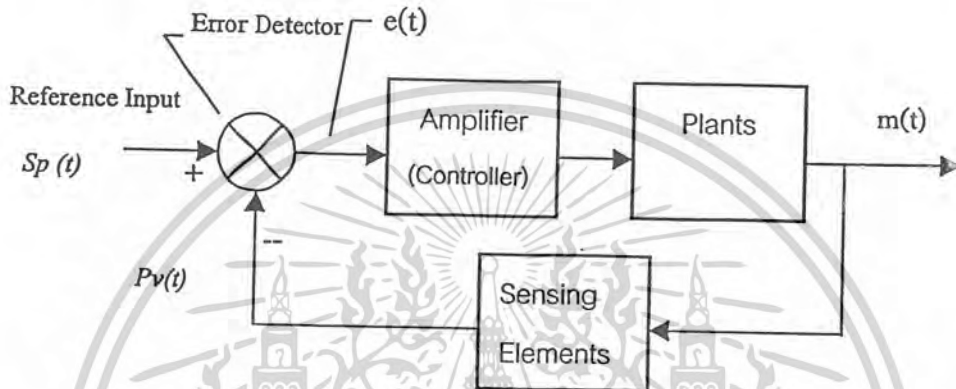


รูปที่ 4.1 ความช้าในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม

4.2 ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ

ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งส่วนมากจะเป็นสัญญาณระดับต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีแอมพลิฟายเพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงเพียงพอและเอาที่พุดของตัวควบคุมจะถูกส่งไปยังส่วนของตัวกระทำ (Actuator) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า วาล์ว นิวแมติกส์ หรืออื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 4.2 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมซึ่งคู่ร่วมกับวัดสัญญาณ (Sensing Element) ตัวควบคุมในที่นี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าคลาดเคลื่อน (Error Detector) และแอมพลิฟาย สำหรับอุปกรณ์วัดสัญญาณนั้นเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาที่พุดไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสม เช่น แปลงด้วยค่าแรงดันหรือสัญญาณไฟฟ้าโดยอาศัย โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ซึ่งจะใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาที่พุดกับสัญญาณอ้างอิงได้ อุปกรณ์วัดสัญญาณนี้จะอยู่ในส่วนป้อนกลับ (Feedback Path) ของระบบปิด (Close Loop) ส่วนค่าที่กำหนดไว้ (Set Point) ของตัว ควบคุมนั้นจะต้อง

ถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอินพุตอ้างอิงที่มีหน่วยเดียวกันกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณเมื่ออุปกรณ์วัดค่าคลาดเคลื่อนตรวจวัดค่าคลาดเคลื่อนระหว่างอินพุตอ้างอิงและสัญญาณป้อนกลับได้แล้วก็จะถูกส่งค่าคลาดเคลื่อนนี้ไปยังแอมพลิฟายเพื่อขยายค่าคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงพอที่จะไปทำให้ตัวกระทำในระบบทำงานได้



รูปที่ 4.2 ระบบควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ

4.3 กริยาของการควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะของกริยาการควบคุมดังนี้

1. กริยาการควบคุมแบบสองตำแหน่ง (two-position)
2. กริยาการควบคุมแบบ proportional
3. กริยาการควบคุมแบบ Integral
4. กริยาการควบคุมแบบ Derivative
5. กริยาการควบคุมแบบ proportional plus integral
6. กริยาการควบคุมแบบ proportional plus derivative
7. กริยาการควบคุมแบบ proportional plus integral plus derivative

ตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้าหรือแรงดันของของไหล เช่น น้ำมันหรือลมเป็นแหล่งจ่ายกำลัง ดังนั้นตัว ควบคุมอัตโนมัติจึงจะแบ่งออกตามลักษณะของกำลังงานในการทำงานของระบบได้เช่นตัวควบคุมแบบนิวเมติกส์ (pneumatic) ตัว

ควบคุมแบบไฮดรอลิก (hydraulic) หรือตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นต้น การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ตัวควบคุมแบบไหน จะต้องพิจารณาจากธรรมชาติของระบบ สภาพ การทำงาน ความปลอดภัย ความเที่ยงตรง ความไวใจได้ ราคา ขนาดและ น้ำหนัก และอื่นๆเป็นต้น

4.3.1 กริยาการควบคุมแบบสองตำแหน่ง (two-position)

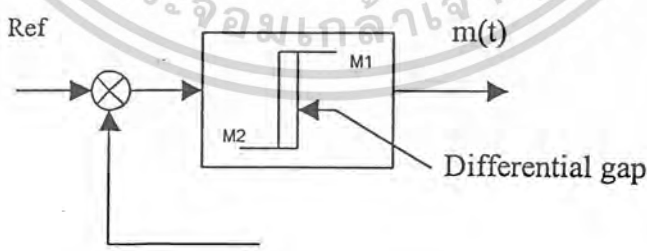
ในระบบการควบคุมแบบสองตำแหน่งนั้นตัวกระทำจะทำงานในตำแหน่งที่คงที่เพียงสองตำแหน่งเท่านั้น ในบางครั้งจึงมีชื่อเรียกง่าย ๆ ว่า On และ Off การควบคุมแบบสองตำแหน่งนี้จะเป็นการควบคุมแบบง่าย ๆ และราคาไม่แพง ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานควบคุมทางอุตสาหกรรมกำหนดให้สัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุมเป็น $m(t)$ และสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเป็น $e(t)$ ฉะนั้นในการควบคุมแบบสองตำแหน่ง สัญญาณ $m(t)$ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบ นั่นคือ

$$m(t) = M_1 \quad \text{สำหรับ } e(t) > 0$$

$$m(t) = M_2 \quad \text{สำหรับ } e(t) < 0$$

โดยที่ M_1 และ M_2 เป็นค่าคงที่

รูปที่ 4.3 แสดงถึง block diagram ของตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง และสำหรับช่วงซึ่งสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปก่อนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง (switching) ของการควบคุมนี้เรียกว่า differential gap ดังแสดงในรูปช่วง differential gap นี้เอาต์พุทของตัวควบคุม $m(t)$ จะยังคงรักษาค่าเดิมอยู่จนกระทั่งสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.3 block diagram ของตัวควบคุมสองตำแหน่งหรือแบบ on-off

เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจากค่าศูนย์ในบางกรณี differential gap นั้นเป็นผลจากการเสียดทานที่ไม่ได้คิดไว้ก่อนแต่ในบางครั้งก็ต้องทำให้มีช่วง differential gap เพื่อป้องกัน On-Off บ่อยเกินไป

4.3.2 กริยาการควบคุมแบบ proportional

ข้อเสียของการควบคุมแบบคือการแกว่งของค่าตัวแปร โพรเซสรอบๆค่าเป้าหมายเนื่องจากสัญญาณควบคุมมีแค่สองค่า (On หรือ Off) ขณะที่สัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย สัญญาณควบคุมจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไปไม่ สมดุลกับค่าความผิดพลาด เพื่อจะกำจัดความแกว่งเราจึงควรจะกำหนดให้สัญญาณควบคุมมีสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดความคลาดเคลื่อนขณะสัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย การควบคุมที่ใช้หลักการนี้เราเรียกว่า Proportional Control ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก $m_p(t)$ กับสัญญาณขาเข้า $S_{inp}(t)$ ที่ค่าเป้าหมาย $S_{outp}(t)$ ใดๆแสดงได้ดังนี้

$$m_p(t) = K_p e(t) + b$$

$m_p(t)$ = สัญญาณขาออก
 $e(t)$ = ค่าคลาดเคลื่อน ($S_{outp}(t) - S_{inp}(t)$)
 $S_{outp}(t)$ = ค่าเป้าหมาย
 $S_{inp}(t)$ = สัญญาณขาเข้า
 b = สัญญาณควบคุมขณะ ไม่มีความผิดพลาด ($S_{outp} = S_{inp}$)
 K_p = Proportional Gain มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

อัตราการตอบสนองต่อคลาดเคลื่อนของ Proportional ถูกกำหนดด้วยค่า Proportional Gain (K_p) เราให้ค่าจำกัดความของ Proportional Gain ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า (กรณีค่าเป้าหมายคงที่) ทำให้สัญญาณขาออกเปลี่ยนแปลงไป 100 เปอร์เซ็นต์

ในการควบคุมแบบพรอปพอร์ชันแนล โดยทั่วไปสัญญาณของ โพรเซสจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมที่สภาวะใดสภาวะหนึ่งเท่านั้น ถ้าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้ คือเกิดสิ่งรบกวน สัญญาณวัดจะมีค่าต่างไปจากค่าเป้าหมายที่สภาวะ สมดุล ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุล เรียกว่า ออฟเซต (offset) ขนาดของออฟเซตขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งรบกวน (Disturbance) และค่า K_p ยิ่ง K_p มีค่าน้อยออฟเซตยังมีค่ามากในทางกลับกันถ้า

K_p มีค่ามากออฟเซตจะมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ดีถ้าค่า $K_p = \alpha$ สัญญาณการวัดก็จะเกิดการแกว่ง เนื่องจากกรณีนี้กริยาพรีออพพอร์ชันแนลจะทำงานเหมือนเป็น on-off

ข้อดีของกริยาพรีออพพอร์ชันแนลเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสองตำแหน่งตัวแปร โพรเซสจะมีเสถียรภาพดีกว่า (ไม่แกว่ง) ถ้าเราปรับ K_p ได้เหมาะสมแต่มีข้อเสียคือเกิดออฟเซต การควบคุมแบบนี้จะเหมาะกับ โพรเซสที่สิ่งรบกววนขนาดไม่มากนัก Dead time มีค่าน้อยและ Capacity Lag มีขนาด ปานกลาง

4.3.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral

ในการควบคุมแบบ Integral นั้นค่าของเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะมีความสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้

$$\frac{d}{dt} m_I(t) = K_I e(t)$$

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt$$

โดยที่ $K_I = \text{Integral Gain}$ ที่สามารถปรับค่าได้

การควบคุมแบบ Integral เป็นกริยาหนึ่งที่ใช้งานบ่อยๆ ในระบบการ ควบคุม โดยมีพื้นฐานเกี่ยวเนื่องกับเหตุการณ์ในอดีตของค่าเอเรอร์ซึ่งเกิดขึ้นในการผันแปรทางการควบคุมของการควบคุมนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ โหมดรีเซต (Reset) ” ถ้าการควบคุมแบบ Proportional กำหนดการป้อนกลับบนพื้นฐานของค่าคลาดเคลื่อนในอดีตที่เกิดขึ้นดั่งนั้นเป็นไป ได้ว่า เมื่อขณะใดขณะหนึ่งถ้าค่าของเอเรอร์เป็นศูนย์แล้วการควบคุมแบบอินทิกรัลยังคงถูกป้อนกลับอยู่เพราะเกิดจากค่าคลาดเคลื่อนในอดีต จากนั้นเราสามารถมองเห็นภาพของกริยาแบบนี้เทอมของ Integral สามารถคำนวณจากพื้นที่สุทธิ (net area) ภายใต้เส้นกราฟค่าคลาดเคลื่อน ต่อเวลา การกระทำเอาต์พุตถูกพบว่าเป็นการคูณ ด้วยค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า “ Integral Gain ” ดั่งนั้น

$$m_I(t) = K_I A_e(t) + b_I(0)$$

$A_e(t) =$ พื้นที่สุทธิของค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลาคำนวณจาก เวลา $t=0$

$B_I(0) =$ สัญญาณควบคุมขณะไม่มีค่าคลาดเคลื่อน ที่เวลา $t=0$

กริยาควบคุมแบบ Integral สามารถกำหนดเอาต์พุตอัตโนมัติเพื่อเผชิญการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้

4.3.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative

การกระทำในกริยาแบบนี้ถูกพิจารณาว่าเป็น การปฏิบัติกรของการ ควบคุมอยู่บนพื้นฐานของอัตราเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ค่าคลาดเคลื่อนที่แท้จริงเป็นศูนย์ การกระทำ Derivative ยังจะให้การตอบสนอง ได้เฉพาะอัตราเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการ เปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนนั้นทำให้เรียกบ่อยๆว่า “เรทแอกชั่น (rate action)” การตอบสนองของการปฏิบัติ Derivative จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าคลาดเคลื่อนในขณะนี้โดยเฉพาะแต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนในขณะนั้นแต่เพื่อให้กระจายเอาท์พุท จำเป็นต้องปรับค่าบางสิ่ง โดยค่าคลาดเคลื่อนที่กำลังเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว นั้นจะประกันได้ว่าเอาท์พุท จะ ไม่เป็นศูนย์เว้นเสียแต่จะมีเงื่อนไขอื่น



รูปที่ 4.4 ในกรณีที่ค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์แต่เอาท์พุทดีริเวทีฟมีการตอบสนอง

อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนสามารถถูกประมาณ โดยการเอาผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสองค่าหารด้วยความต่างของเวลา ดังนี้

$$m_D(t) = K_D \frac{e_p(t_1) - e_p(t_0)}{t_1 - t_0}$$

K_D = ค่าเดริวาทีฟเกน

$e_p(t_1)$ = ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา t_1

$$e_p(t_0) = \text{ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา } t_0$$

สังเกตได้ว่าไม่ว่าไม่มีเทอมเอาที่พหุของการควบคุมออกมาเมื่อมีอัตราที่เปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนเริ่มต้นเป็นศูนย์ด้วยเหตุนี้การควบคุมแบบ Derivative จะไม่ใช้งานแบบโคเคเดี่ยว เพราะว่าจะไม่ตอบสนองที่ค่าคลาดเคลื่อนคงที่ (fixed error)

4.4 การรวมกริยาของการควบคุม

4.4.1 กริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral

กริยาการควบคุมแบบนี้สามารถจะแสดงได้ด้วย สมการต่อไปนี้

$$m_{PI}(t) = K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt$$

ทั้ง K_p และ K_I เป็นค่าที่ปรับได้โดยที่การปรับ K_I นั้นจะเป็นการปรับกริยาการควบคุม Integral ส่วนการปรับค่าของ K_p นั้นจะมีผลต่อส่วน Proportional ซึ่ง Proportional จะมี Offset ถ้ามีสิ่งรบกวน โพรเซส (Disturbance) เพื่อจะกำจัด Offset โดยพนักงานไม่จำเป็นต้องคอยปรับตัว ควบคุมบ่อยๆ เราจำเป็นต้องให้ตัวควบคุมที่สามารถปรับค่า Bias โดยอัตโนมัติ ขนาดของกริยา Integral ขณะใดขณะหนึ่งจะไม่สัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อนในขณะนั้น แต่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของค่าคลาดเคลื่อนสะสม $\int e(t) dt$ ผลของกริยา Integral จะเหมือนกับการปรับค่า Bias จนกระทั่งค่าคลาดเคลื่อนหมดไป อัตราการตอบสนองของกริยา Integral ขึ้นอยู่กับการปรับค่า K_I ยิ่ง K_I มีค่าน้อยลงการตอบสนองยิ่งจะเร็วขึ้น ข้อดีของการเพิ่มกริยา Integral จะเสมือนการเพิ่ม Capacity Lag เข้าไปในระบบควบคุมตัวแปร โพรเซส เปลี่ยนแปลงเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ช้าลงกริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จึงเหมาะสมกับ โพรเซสที่ค่อนข้างไวอยู่แล้วคือ ทั้ง Dead time และ Capacity Lag มีค่าน้อย

4.4.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Derivative

กริยาการควบคุมของตัวควบคุมแบบนี้จะอยู่ในรูปของสมการต่อไปนี้

$$m_{PD}(t) = K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt}$$

ค่าของ K_p และ K_D นั้นจะเป็นค่าที่สามารถปรับได้และในบางครั้งจะเรียกกริยาการควบคุมแบบ derivative ว่า rate control ทั้งนี้เพราะขนาดของสัญญาณเอาที่พหุของกริยาควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอัตราเปลี่ยนแปลงของสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนกริยาการควบคุมแบบ Derivative มีคุณลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้า โดยที่ K_D จะเป็นช่วงเวลาซึ่งกริยาการควบคุมแบบ

Derivative ถ้าหน้ากริยาการควบคุม Proportional แต่อย่างไรก็ตามกริยาการควบคุมแบบ Derivative จะคาดการณ์ล่วงหน้าไม่ได้ถ้าการกระทำนั้นยังไม่เกิดขึ้น

ถึงแม้ว่ากริยาการควบคุมแบบ Derivative มีข้อดีคือมีคุณลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้าแต่มันก็มีข้อเสียคือมันจะขยายสัญญาณรบกวน (noise) และอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิด saturation ในการกระทำได้ นอกจากนี้ตัวควบคุมแบบ derivative ยังไม่สามารถจะใช้ตัวเดียวโดดๆได้เพราะการควบคุมของมันจะมีผลเฉพาะช่วงของทรานเซียนส์(transient) เท่านั้น

4.4.3 กริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus Derivative

กริยาการควบคุมแบบนี้ได้จากการรวมเอากริยาการควบคุมแบบ Proportional กริยาการควบคุมแบบ Integral และกริยาการควบคุม Derivative เข้าด้วยกัน กริยาการควบคุมแบบ PID สามารถจะแสดงในรูปสมการต่อไปนี้

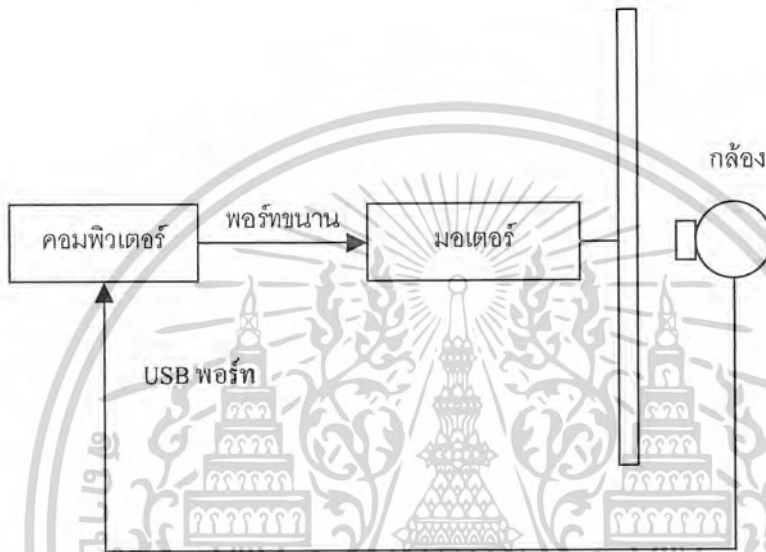
$$m_{PID}(t) = K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} + K_p K_I \int_0^t e(t) dt$$

กริยา Integral ในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus จะทำให้การควบคุมตอบสนองต่อค่าคลาดเคลื่อนช้าลงกรณีที่โปรเซสช้าอยู่แล้ว อาจจำเป็นต้องเพิ่มกริยา Derivative เพื่อลดความช้าของระบบควบคุมการเพิ่มกริยาเข้าไปในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จะทำให้ผลตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น สัญญาณเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น ข้อดีของการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus Derivative คือระบบควบคุมจะตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ไวขึ้นทำให้เสถียรภาพในการควบคุมดีกว่าแบบ Proportional Plus Integral สำหรับโปรเซสที่ตอบสนองช้าการควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับโปรเซสที่มี Capacity Lag และ Dead Time ขนาดไม่มากนัก

บทที่ 5

ส่วนประกอบของระบบและการเขียนโปรแกรม

5.1 แผนผังรวมของระบบ



รูป 3.1 แสดงแผนผังรวมของระบบ

ระบบควบคุมประกอบด้วย ลูกบอลทรงกลม อยู่บนคานทรงกระบอก จุดศูนย์กลางของคานด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของคาน โดยควบคุมผ่านวงจรควบคุมแรงบิด

ด้านบนของคานมีกล่องตรวจจับวัตถุเพื่อวัดตำแหน่งของลูกบอลแล้วนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผล และนำมาควบคุมโดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์

3.2 คอมพิวเตอร์และการควบคุม

การเขียนโปรแกรมควบคุมมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี วิธีแรกได้แก่การเขียนบนโปรแกรมควบคุมตามสมการ โดยตรงเลย โดยใช้โปรแกรมแบบตามเวลาจริง (realtime control) แต่ทั้งนี้ โปรแกรมควบคุมต้องรัดกุมและทำงานได้รวดเร็ว เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้จะต้องมีความเร็วมากพอที่จะทำให้คาบการสุ่มสัญญาณ ณ เวลาต่างๆ มีค่าน้อยมากจนสามารถใช้แทนสมการสเตปแบบต่อเนื่องแทน

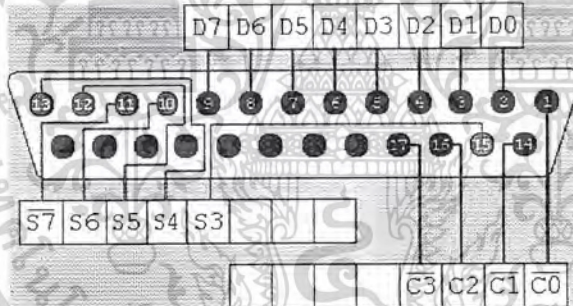
ระบบได้ ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการแปลงสมการแบบต่อเนื่องให้เป็นสมการแบบดิครีตก่อนแล้วจึงเขียนโปรแกรมควบคุมตามสมการดิครีต โดยกำหนดค่าการสุ่มสัญญาณที่แน่นอน

ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการเลือกคอมพิวเตอร์ที่ใช้และเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพที่ดี จึงใช้วิธีแปลงสมการต่อเนื่อง ให้เป็นสมการดิครีต แล้วจึงนำไปเขียน โปรแกรมควบคุม

หลังจากที่ได้สมการแบบต่อเนื่องของระบบแล้ว ทำการแปลงสมการแบบต่อเนื่องให้เป็นสมการแบบดิครีตได้โดยใช้โปรแกรม MATLAB และใช้โปรแกรมนี้วิเคราะห์ระบบ และแสดงผลการวิเคราะห์ระบบออกมาในรูปกราฟ เมื่อได้ระบบเวลาดิครีตอันเป็นที่น่าพอใจแล้ว จึงเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาวิชวลเบสิก

การรับส่งสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตนั้น รับส่งผ่านทางพอร์ตขนานและกล้องตรวจจับวัตถุ

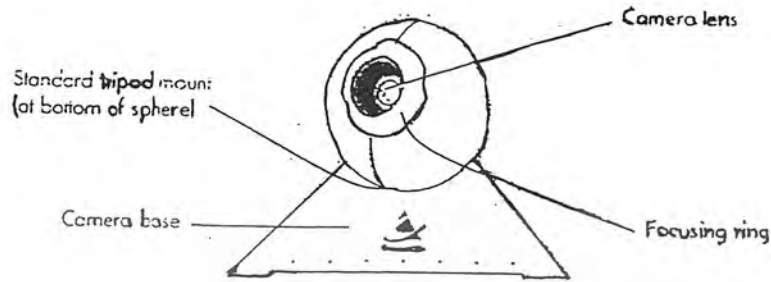
5.3 พอร์ตขนาน



รูปที่ 5.2 แสดงขาของพอร์ตขนาน

ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมโดยใช้ “วิชวลเบสิก” เพื่อควบคุมฮาร์ดแวร์ ผ่านพอร์ตขนานได้ ทั้งการส่งค่าไปควบคุม(Output) และการรับค่าตรวจสอบ(Input) โดยใช้ไฟล์ DLL(Dynamic Link Library)เข้ามาช่วย เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชันติดต่อกับพอร์ตได้โดยอาศัยไฟล์ โกลบารีซึ่งเขียนขึ้นมาจากภาษาซีอีกทีหนึ่งเนื่องจากใน วิชวลเบสิก ไม่มีโกลบารีในการควบคุมพอร์ต โดยตรง

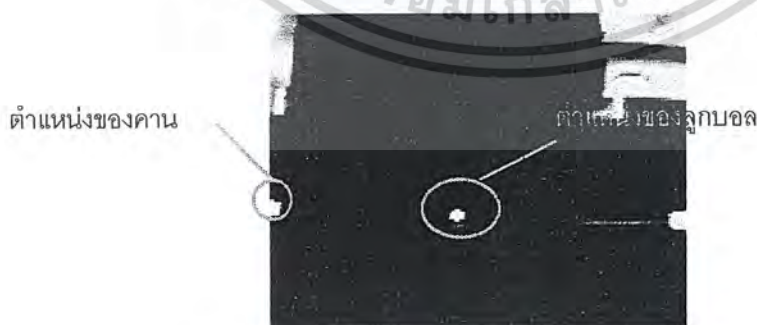
5.4 กล้องตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะภายนอกของกล้อง Quickcam

กล้องตรวจจับวัตถุใช้กล้อง QUICKCAM รุ่น express ของบริษัท Logitech ทำงานผ่านพอร์ต USB โดยอาศัยชุดพัฒนาโปรแกรมของทางบริษัทในการเขียน โปรแกรมเพื่อที่จะหาระยะห่างจากจุดที่ต้องการ โดยอาศัยกรรมวิธีในการประมวลผลภาพ (Image processing) และภาษา วิชวลเบสิก การประมวลผลภาพ

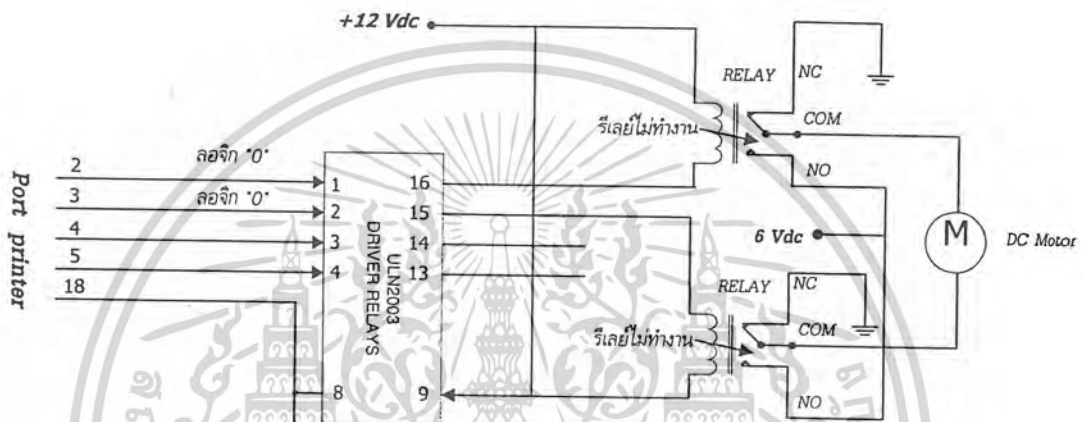
ในการหาตำแหน่งของลูกบอลและมุมของคาน อาศัยค่าความเปรียบต่างระหว่างสีขาว และสีดำ โดยไลบรารีของ QCSDK สามารถปรับแต่งค่าความเปรียบต่าง ,ค่าความสว่าง และค่าเกณฑ์ ได้ ทำให้สะดวกในการหาตำแหน่งของลูกบอลที่มีสีขาวจากฉากที่มีสีดำ



รูปที่ 5.4 แสดงการหาตำแหน่งของลูกบอลและคาน

โดยจะมีการบันทึกภาพในลักษณะบิตแมท(Bitmap) แล้วนำมาแยกรายละเอียดของภาพโดยอาศัยวิธีที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 จะได้ออกมาเป็นมาเป็นพิกเซล โดยในที่นี้จะหาจุดศูนย์กลางของลูกบอล และคาน

5.5 วงจรขับมอเตอร์



รูป 5.5 แสดงวงจรขับมอเตอร์

การขับมอเตอร์ที่ออกแบบในบทที่ 2 ใช้การควบคุมแรงดันจึงต้องอาศัย IC เฉพาะซึ่งไม่สามารถหาได้จึงออกแบบวงจรเป็นแบบสองตำแหน่ง โดยอาศัยกระแสที่ได้จากขาของพอร์ต โดยตรงซึ่งมีค่าต่ำจึงนำมาผ่าน IC ของบริษัท Motorola เบอร์ MC1413 ซึ่งภายในประกอบด้วยวงจร Darlington เพื่อที่จะทำการขยายกระแสและแรงดัน หลังจากนั้นอาศัยการควบคุมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุมแบบใช้สัญญาณแบบคาบและใช้การควบคุมความต่างศักย์แทน

5.6 โครงสร้างทางกลศาสตร์

ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคานเป็นระบบที่ต้องการความเที่ยงตรงมาก ต้องเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว และต้องสามารถทนต่อแรงบิดจากมอเตอร์ได้และมีน้ำหนักเบา จึงเลือกใช้ท่อ พลาสติกPVC



รูป 5.6 แสดงโครงสร้างทางกลศาสตร์

5.6.1 ลูกบอลและคาน

ลูกบอลเป็นลูกบิดพลาสติก ซึ่งสามารถลื่นไถได้อย่างอิสระบนคานที่เป็นท่อพลาสติกสีดำ ทั้งนี้ตัวคานติดต่อกับเพลาลูกเบี้ยวอย่างมั่นคงด้วยเซตสกรู (setscrew) และคานจะรับแรงบิดจากมอเตอร์ผ่านทางเพลาลูกเบี้ยว



รูปที่ 5.7 แสดงจุดเชื่อมต่อระหว่างฐานกับคาน

5.6.2 โครงสร้างยึดจับและฐาน

โครงสร้างยึดจับและฐาน ต้องยึดจับมอเตอร์เข้าด้วยกันอย่างมั่นคงไม่ให้คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม โดยเฉพาะเมื่อมีแรงบิดจากมอเตอร์ ดังนั้น โครงสร้างจะต้องมีน้ำหนักมากพอที่จะทำให้ทรงตัวอยู่ได้

5.6.3 ขาดังกลิ้ง

ขาดังกลิ้งเป็นอุปกรณ์ในการยึดจับกลิ้งให้อยู่ในระยะเวลาที่เหมาะสม สร้างขึ้นมาจากแท่งเหล็ก



บทที่ 6

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะทำการหาค่าพารามิเตอร์คุณลักษณะของระบบเพื่อให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่สมบูรณ์แบบ จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB และ ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุมกับแรงบิด(torque)ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์ในการควบคุมระบบต่อไป

6.1 พารามิเตอร์ของระบบ

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในบทที่ 2 จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีทั้งสามารถวัดได้โดยตรง หรือได้จากการคำนวณดังนี้

6.1.1 รัศมีของลูกบอล

รัศมีของลูกบอล(R) = 0.0025 เมตร

6.1.2 น้ำหนักของคาน

น้ำหนักของคาน(m) = 0.0257 กิโลกรัม

6.1.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของคาน

260 mm

แกนการเคลื่อนที่

รูป 4.1 แสดงลักษณะของคาน

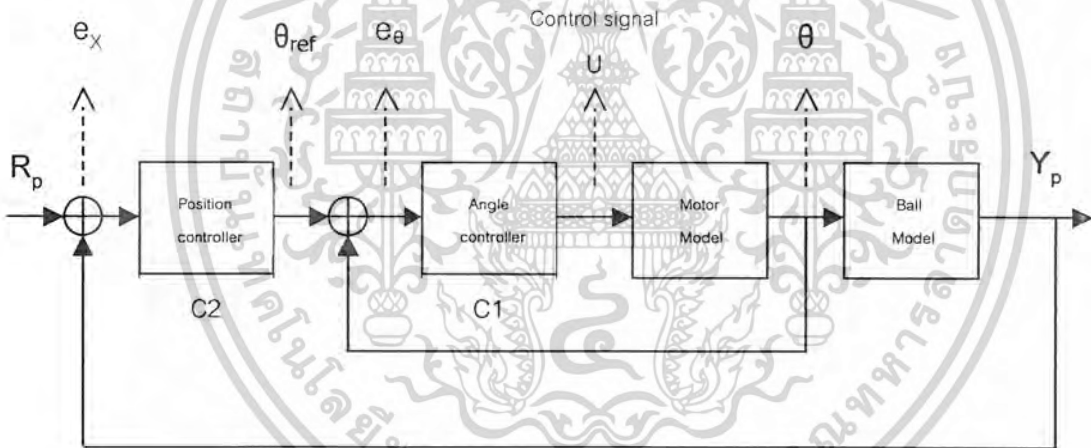
โครงสร้างหลักของคานเป็นท่อทรงกระบอก ยาว 260 มิลลิเมตร ดังรูป 4-1 ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการหาโมเมนต์ของความเฉื่อย (moment of inertia) จึงสมมติให้หาโมเมนต์ของความเฉื่อยของทรงกระบอกกลวง ยาว 260 มิลลิเมตร ที่หมุนรอบแกนการเคลื่อนที่เดิม แทนการหาโมเมนต์ของคานจริง ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกัน

จากสูตร โมเมนต์ของความเฉื่อยของทรงกระบอกกลวงที่หมุนรอบแกนการเคลื่อนที่เดียวกับแกนเคลื่อนที่ดังรูป 4-1 ได้ว่า

$$J_{beam} = \frac{1}{12} ml^2 \quad (4-1)$$

6.2 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB

6.2.1 แบบจำลองของระบบ

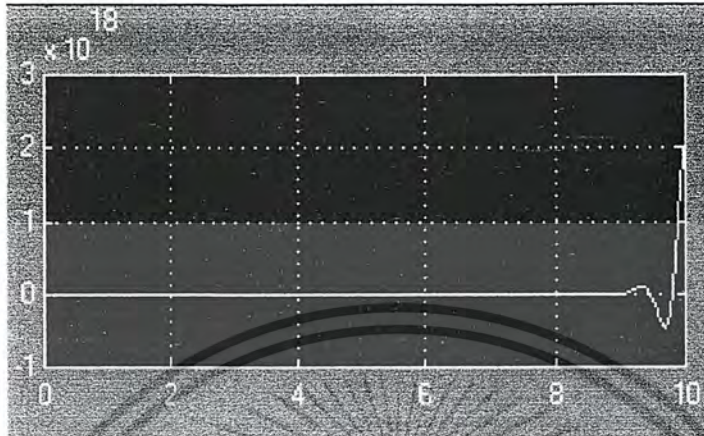


รูปที่ 6.2 แบบจำลองของระบบ

โดยในระบบออกแบบให้มีตัวควบคุม 2 ตัวดังรูป โดยตัวแรกจะทำหน้าที่ควบคุมมุมของคาน และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของลูกบอล ซึ่งในการทดลองนี้ให้ค่าเกนของตัวควบคุมทั้ง 2 มีค่าเท่ากัน

6.2.2 ผลการจำลองระบบด้วย P-Controller

ระยะทาง

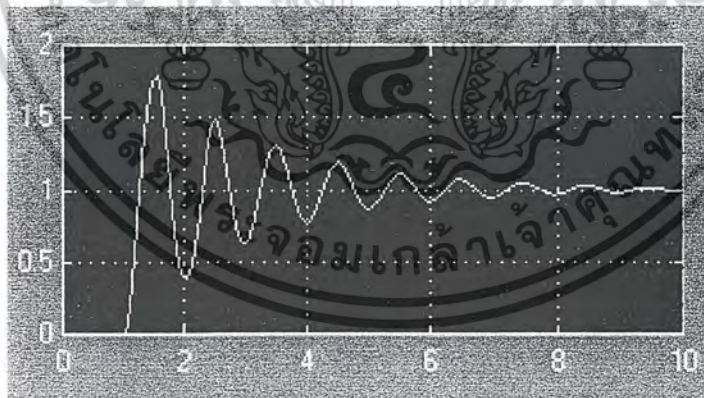


เวลา

รูปที่ 6.3 แสดงผลการทดลองด้วย P-Controller ค่าเกน=500 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราใส่ค่าเกนให้กับระบบมากๆ ระบบจะ Unstable

6.2.3 ผลการจำลองระบบด้วย PD-Controller

ระยะทาง

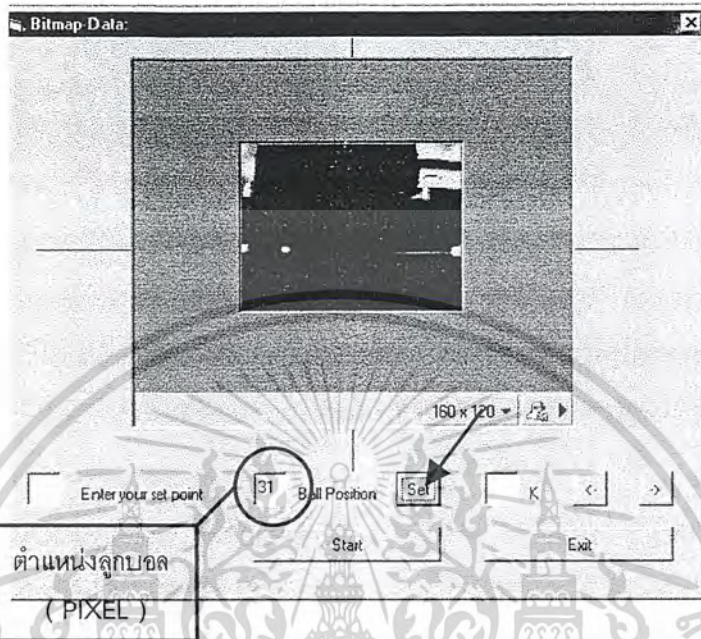


เวลา

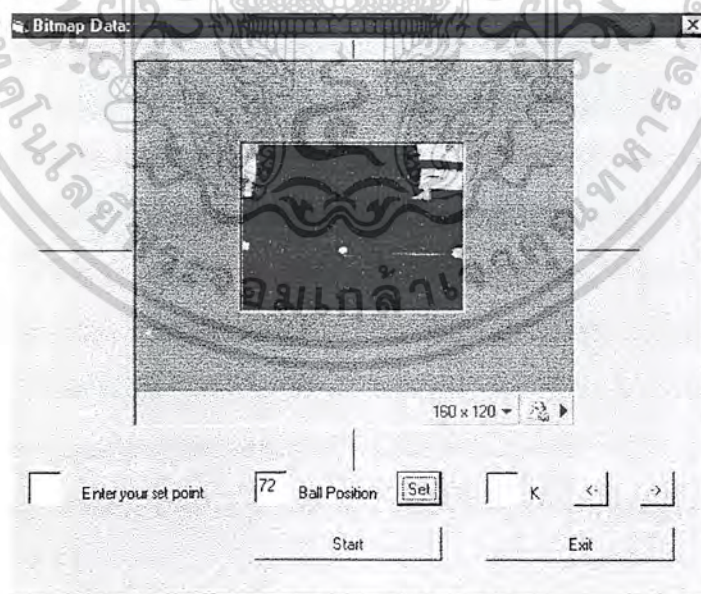
รูปที่ 6.4 แสดงผลการทดลองด้วย PD-Controller ค่าเกน=500

จะเห็นได้ว่าระบบจะมีเสถียรภาพที่ดีขึ้นและจะเข้าสู่ Steady-State

6.3 การหาดำแหน่งลูกบอล



รูปที่ 6.5 แสดงการวัดหาดำแหน่งลูกบอลที่ตำแหน่ง 31



รูปที่ 6.6 แสดงการวัดหาดำแหน่งลูกบอลที่ตำแหน่ง 72

จากรูปที่ 4-5 และ 4-6 เป็นการทดสอบหาดำแหน่งของลูกบอลในตำแหน่งต่างๆ

โดยจะทดสอบโดยการ click ที่ปุ่ม set เพื่อให้โปรแกรมทดสอบว่าลูกบอลอยู่ ณ ตำแหน่งใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา³⁵ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

7.1 สรุปผลการทำงาน

จากการศึกษาและหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ และทำการแทนค่าพารามิเตอร์ของระบบ ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยประมาณและได้ทำการออกแบบตัวควบคุม โดยใช้โปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งทำการจำลองผลการควบคุมระบบและหาค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ต้องใช้ในการควบคุมระบบ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

สำหรับด้านอุปกรณ์ โครงสร้างทางกลศาสตร์ประกอบขึ้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากการทดสอบสามารถใช้งานได้โดยสมบูรณ์

สำหรับ โปรแกรมการควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว การเชื่อมต่อทุกส่วนของระบบเรียบร้อยแล้ว แต่ในการควบคุมยังมีความผิดพลาดอยู่เนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และวงจรขับ

7.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข

- 1) ในการออกแบบ ใช้การควบคุมแรงดัน โดยตรง ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถหาไอซีที่จะใช้ได้ จึงมีการใช้วงจรขับแบบon-offแทนซึ่งจะทำให้การควบคุมเป็นการควบคุมความต่างศักย์ทำให้ พารามิเตอร์ต่างๆมีค่าเปลี่ยนไป เป็นเหตุให้ระบบทำงานผิดพลาด
- 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์ที่มีการทรอบเนื่องจากต้องการแรงบิดในการควบคุมการหมุนของคาน และไม่สามารถหามอเตอร์ที่ไม่ทรอบที่ให้แรงบิดในขณะใกล้เคียงกันได้ ซึ่งการที่มอเตอร์มีการทรอบนั้นทำให้เกิดปัญหาต่อเสถียรภาพของระบบเป็นอย่างมาก คือ มีช่วงการหน่วงเวลา เมื่อหมุนกลับขึ้นมา เนื่องจากแบ็คแลชของมอเตอร์ แรงบิดและความเร็วขณะหมุนไปและหมุนกลับ ไม่เท่ากัน มีแรงเสียดทานสถิตมากและไม่คงที่ วิธีการแก้ไขควรเลือกมอเตอร์ที่ไม่มีการทรอบ แล้วทำให้โครงสร้างทางกลศาสตร์มีน้ำหนักเบาลง หรืออีกวิธีหนึ่งคือใช้มอเตอร์ที่มีการทรอบเหมือนเดิมแต่เลือกใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จะทำให้ผลคั้งกล่าวน้อยลง

7.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

- 1) ใช้ตัวควบคุมแบบอื่นในการควบคุมระบบ ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนโปรแกรมควบคุมเท่านั้น
- 2) ออกแบบโปรแกรมที่มีตัวกรอง(Filter)เพื่อลดสัญญาณรบกวนรบกวนที่เกิดขึ้น
- 3) เปลี่ยนภาษาที่ใช้เป็นภาษาอื่นเช่น วิซวลซี++ ,Delphi ที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานกับอุปกรณ์มากกว่า





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 38 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

HIGH VOLTAGE, HIGH CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

The seven NPN Darlington connected transistors in these arrays are well suited for driving lamps, relays, or printer hammers in a variety of industrial and consumer applications. Their high breakdown voltage and internal suppression diodes insure freedom from problems associated with inductive loads. Peak inrush currents to 600 mA permit them to drive incandescent lamps.

The MC1411,B device is a general purpose array for use with DTL, TTL, PMOS, or CMOS Logic. The MC1412,B contains a zener diode and resistor in series with the input to limit input current for use with 14 to 25 Volt PMOS Logic. The MC1413,B with a 2.7 kΩ series input resistor is well suited for systems utilizing a 5 Volt TTL or CMOS Logic. The MC1416,B uses a series 10.5 kΩ resistor and is useful in 8 to 18 Volt MOS systems.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ and rating apply to any one device in the package unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	V_O	50	V
Input Voltage (Except MC1411)	V_I	30	V
Collector Current — Continuous	I_C	500	mA
Base Current — Continuous	I_B	25	mA
Operating Ambient Temperature Range	T_A	20 to -85 -40 to -85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to -150	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance — Junction-to-Ambient	θ_{JA}	67 100	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Case 648, P Suffix			
Case 751B, D Suffix			

ORDERING INFORMATION

Plastic DIP	SOIC	Ambient Temperature Range
MC1411P (ULN2001A) MC1412P (ULN2002A) MC1413P (ULN2003A) MC1416P (ULN2004A)	MC1411D MC1412D MC1413D MC1416D	20 $^\circ$ to +85 $^\circ\text{C}$
MC1411BP MC1412BP MC1413BP MC1416BP	MC1411BD MC1412BD MC1413BD MC1416BD	-40 $^\circ$ to +85 $^\circ\text{C}$

MC1411,B MC1412,B MC1413,B MC1416,B

PERIPHERAL DRIVER ARRAYS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

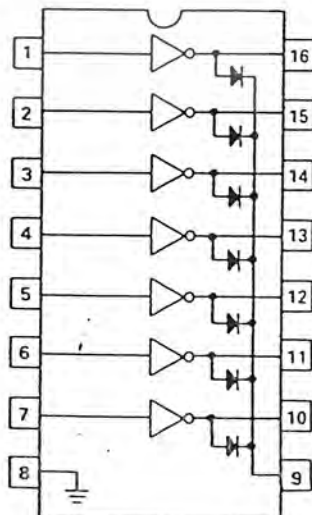


P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751B
(SO-16)

PIN CONNECTIONS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Leakage Current ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +85^\circ\text{C}$) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +85^\circ\text{C}$, $V_I = 6.0\text{ V}$) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +85^\circ\text{C}$, $V_I = 1.0\text{ V}$)	I_{CEX}	—	—	100 50 500 500	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 350\text{ mA}$, $I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$) ($I_C = 200\text{ mA}$, $I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$) ($I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{CE(sat)}$	—	1.1 0.95 0.85	1.6 1.3 1.1	V
Input Current — On Condition ($V_I = 17\text{ V}$) ($V_I = 3.85\text{ V}$) ($V_I = 5.0\text{ V}$) ($V_I = 12\text{ V}$)	$I_{I(on)}$	—	0.85 0.93 0.35 1.0	1.3 1.35 0.5 1.45	mA
Input Voltage — On Condition ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 250\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 125\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 275\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$)	$V_{I(on)}$	—	—	13 2.4 2.7 3.0 5.0 6.0 7.0 8.0	V
Input Current — Off Condition ($I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$, $T_A = +85^\circ\text{C}$)	$I_{I(off)}$	50	100	—	μA
DC Current Gain ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$)	h_{FE}	1000	—	—	—
Input Capacitance	C_i	—	15	30	pF
Turn-On Delay Time (50% E_I to 50% E_O)	t_{on}	—	0.25	1.0	μs
Turn-Off Delay Time (50% E_I to 50% E_O)	t_{off}	—	0.25	1.0	μs
Clamp Diode Leakage Current ($V_R = 50\text{ V}$)	I_R	—	—	50 100	μA
Clamp Diode Forward Voltage ($I_F = 350\text{ mA}$)	V_F	—	1.5	2.0	V

TYPICAL PERFORMANCE CURVES — $T_A = 25^\circ\text{C}$

FIGURE 1 — OUTPUT CURRENT versus INPUT VOLTAGE

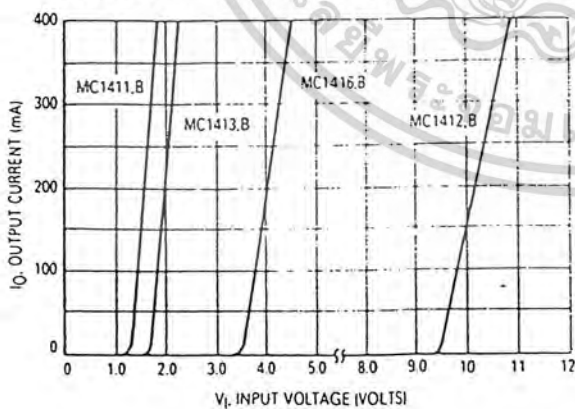
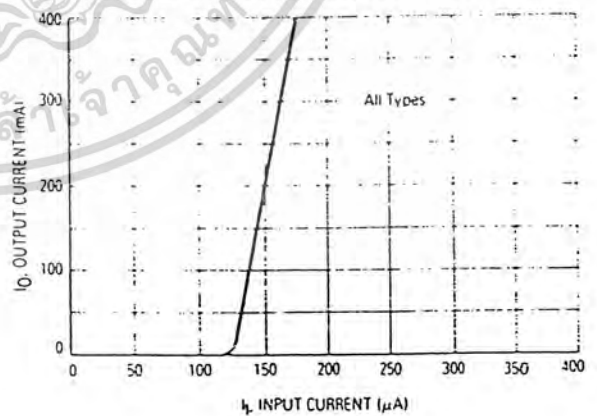


FIGURE 2 — OUTPUT CURRENT versus INPUT CURRENT



TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES — $T_A = 25^\circ\text{C}$ (continued)

FIGURE 3 — TYPICAL OUTPUT CHARACTERISTICS

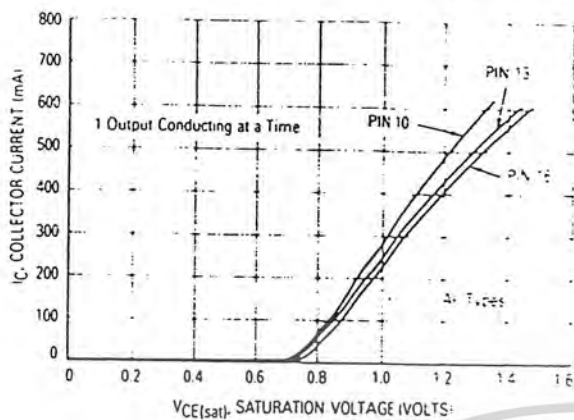


FIGURE 4 — INPUT CHARACTERISTICS — MC1412.B

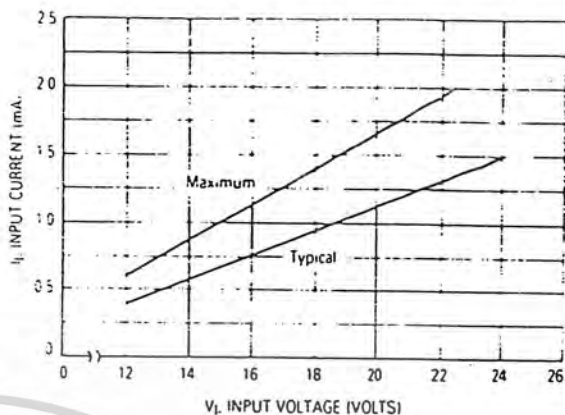


FIGURE 5 — INPUT CHARACTERISTICS — MC1413.B

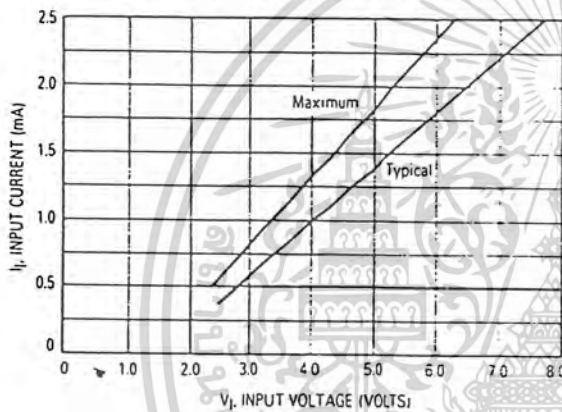


FIGURE 6 — INPUT CHARACTERISTICS — MC1416.B

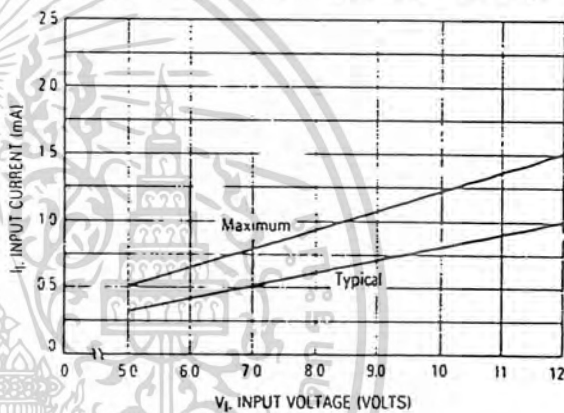
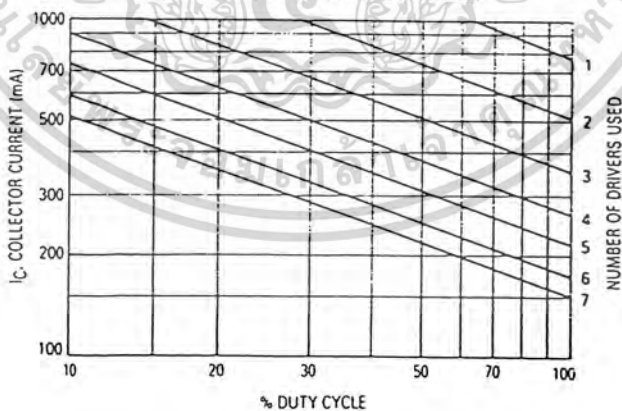
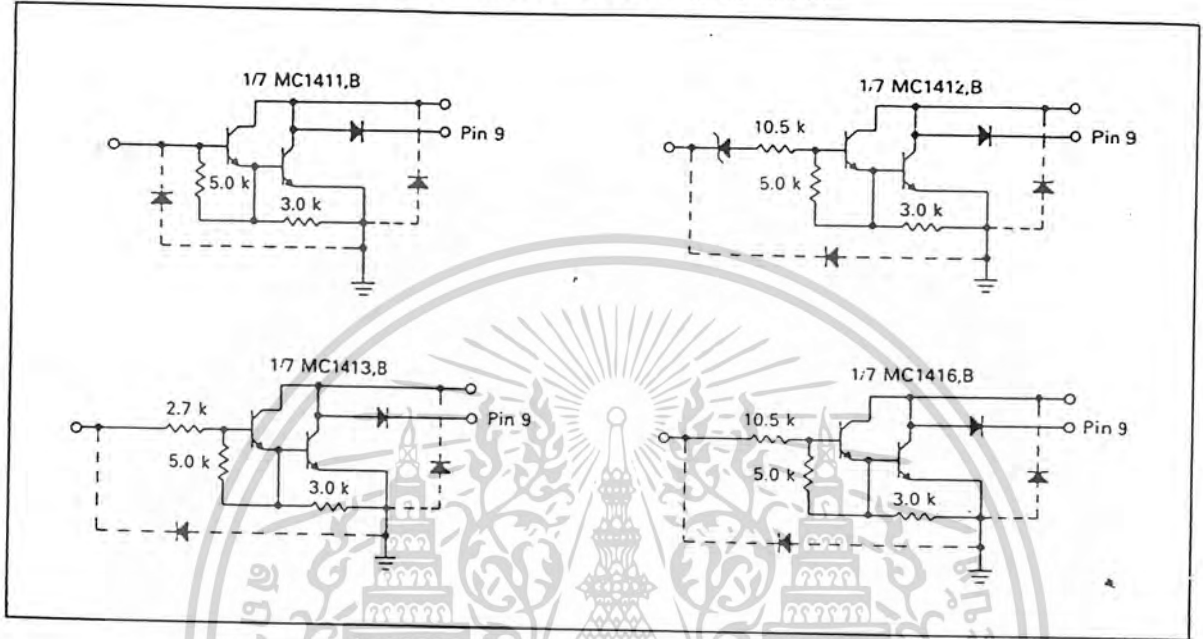


FIGURE 7 — MAXIMUM COLLECTOR CURRENT versus DUTY CYCLE (AND NUMBER OF DRIVERS IN USE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 41 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 8 — REPRESENTATIVE CIRCUIT SCHEMATICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ถาวร เเบญจนราสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้การดูแล และให้คำแนะนำในการทำโปรเจกครั้งนี้

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ น้อง และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 43 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ธนู กังวานใจ, ประชา เทศพานิช, ปริญญาพนธ์เรื่อง“การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน”ปีการศึกษา 2537:คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. มงคลชน ศรีอมร, ฐาปนา นามประดิษฐ์, ปริญญาพนธ์เรื่อง“การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน”ปีการศึกษา 2541:คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. Logitech Quickcam, “Logitech Quickcam SDK 1.0 Microsoft Visual Basic Progaming Guide”,electronic edition,2000
4. Ogata K., “Modren Control Engineerin”,3th Edition,Eagle cliffs, N.J.:Prentice Hall,Inc.1997
5. Ogata K., “Discrete-time Control System”,2th Edition,Eagle cliffs, N.J.:Prentice Hall,Inc.1995