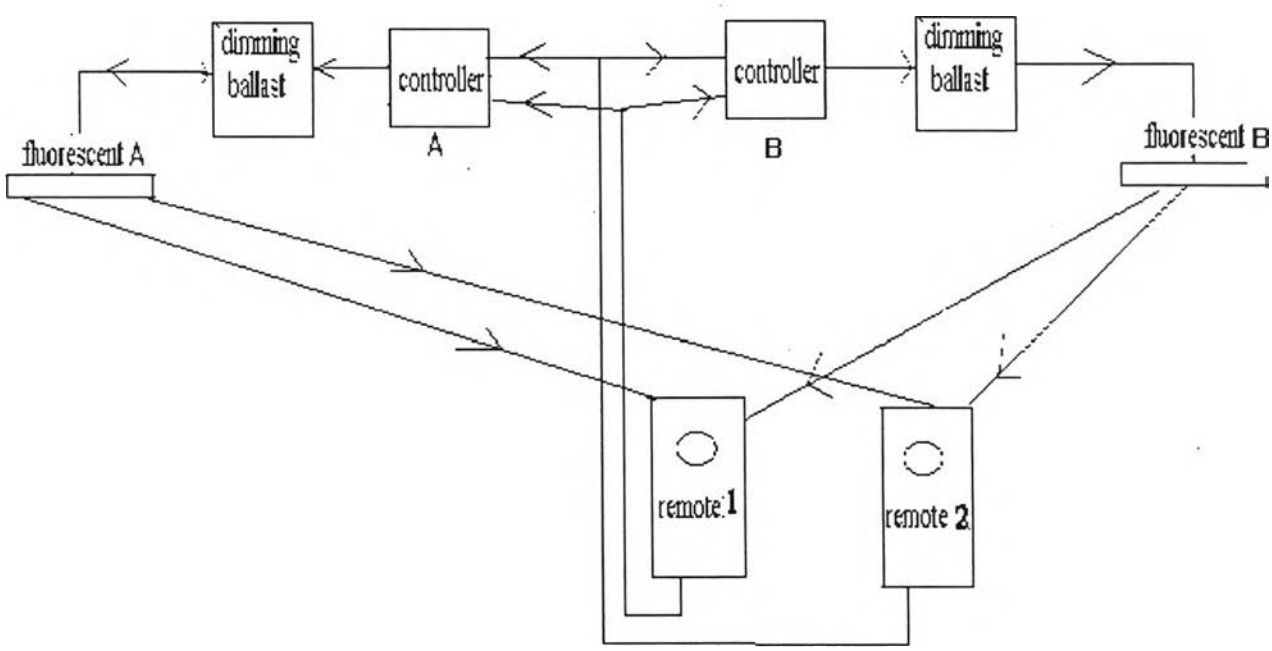
บทที่2
โครงสร้างและการทำงานของระบบ

ระบบควบคุมความสว่างภายในอาคารทั่วไปจะเป็นลักษณะระบบการควบคุมจากส่วนกลาง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอระบบควบคุมความสว่างแบบกระจาย สำหรับผู้ใช้หลายคนซึ่งระบบนี้ผู้ใช้แสงสว่างในแต่ละพื้นที่สามารถควบคุมความสว่างในพื้นที่ทำงานของตนได้และชุดควบคุมสามารถเคลื่อนย้ายไปยัง ณ พื้นที่ต่างๆได้ ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกและคล่องตัวในการใช้งาน ระบบควบคุมแสงสว่างประกอบด้วยตัวควบคุมที่ผู้ใช้ที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงในพื้นที่ทำงานตามความต้องการของผู้ใช้ และชุดควบคุมแสงของหลอดพร้อมบัลลาสต์ที่สามารถควบคุมแสงหลอดฟลูออเรสเซ็นต์เพื่อใช้การควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ การทำงานของระบบค่อนข้างซับซ้อนเพราะการควบคุมแสงจะต้องมีการสื่อสารระหว่างตัวควบคุมต่าง ๆ เพื่อใช้ในการควบคุมและรับส่งข้อมูล สำหรับการควบคุมเพื่อให้สะดวกต่อการอธิบายจึงได้ใช้แผนภาพอธิบายการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบควบคุม และระบบสื่อสาร

2.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 2. 1 โครงสร้างของระบบที่ประกอบด้วยตัวควบคุมที่หลอด 2 ชุด และตัวควบคุมที่ผู้ใช้ 2 ชุด

หอสมุดกลาง จุฬา บรรณสารการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทั่วไปแล้วแนวทางและวิธีการควบคุมความสว่างสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ จะสามารถใช้ได้กับระบบที่ประกอบด้วยชุดควบคุมความสว่างที่หลอด,ชุดควบคุมความสว่างที่ผู้ใช้และบัลลาสต์หรี่แสงพร้อมด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่จำกัดจำนวน แต่เพื่อให้ง่ายต่อการจำลองการทำงานของระบบจริงจะศึกษาระบบที่ประกอบด้วย ชุดควบคุมสำหรับผู้ใช้ 2 คน และชุดควบคุมสำหรับหลอด 2 หลอด เท่านั้น เริ่มต้นชุดควบคุมความสว่างที่หลอดจะเป็นชุดควบคุมที่หลอดพร้อมด้วยบัลลาสต์หรี่แสงจำนวน 1 ชุด ต่อ 1 หลอด และชุดควบคุมความสว่างที่ผู้ใช้ 1 ชุด ต่อ 1 คน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจการทำงานของระบบจะเริ่มจากการนิยามความหมายของคำต่าง ๆ ดังนี้

ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ (user controller) เป็นชุดควบคุมที่ผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้จะมีเซนเซอร์รับแสง ณ พื้นที่ที่มีตัวควบคุมที่ผู้ใช้วางอยู่เพื่อวัดปริมาณแสงบนพื้นที่ทำงานและนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณแสงที่ผู้ใช้ต้องการที่ป้อนผ่านปุ่มกดเพื่อกำหนดปริมาณแสงให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้

ชุดควบคุมที่หลอด (lamp controller) เป็นชุดควบคุมปริมาณแสงที่หลอดให้ได้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ได้แต่ในบางครั้งอาจจะไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ โดยการควบคุมผ่านตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับแสงจากหลอดที่ควบคุมโดยชุดควบคุมที่หลอดนั้น

ในแง่การใช้งาน ผู้ใช้ 1 คน สามารถควบคุมความสว่างของหลอดหลายหลอดได้ โดยผู้ใช้จะควบคุมแสงสว่างที่มาจากหลอดที่มีผลกระทบกับความสว่างในพื้นที่ทำงานที่มีชุดควบคุมที่ผู้ใช้วางอยู่ได้ ดังนั้นจึงเป็นได้ที่ผู้ใช้หลายคนสามารถควบคุมความสว่างของหลอดเดียวกันได้ ด้วยเหตุนี้ ทำให้การควบคุมความสว่างที่หลอด 1 หลอด เป็นไปตามคำสั่งของผู้ใช้หลายคนร่วมกัน แต่การควบคุมความสว่างที่หลอดก็จะให้ความสำคัญกับผู้ใช้ ที่ได้รับผลแสงสว่างจากหลอดนั้นมาก โดยใช้ค่าระยะทางเป็นตัวบอก ถ้าผู้ใช้อยู่ห่างจากหลอดที่ควบคุมความสว่างมากก็แสดงว่า ผู้ใช้คนนั้นได้รับอิทธิพลต่อหลอดนั้นน้อย ถ้าผู้ใช้อยู่ใกล้หลอดที่ควบคุมความสว่างมากก็แสดงว่าผู้ใช้ได้รับอิทธิพลแสงสว่างจากหลอดนั้นมาก เนื่องจากค่าระยะทางไม่สามารถหาได้จริงแต่จะใช้เป็นค่าขนาดของแสงที่รับจากสัญญาณมอดูเลตรหัสหลอด โดยค่าขนาดของแสงเป็นอัตราส่วนผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง จึงจำเป็นต้องมีการใส่รหัสหลอดเพื่อบอกให้รู้ว่าขนาดของสัญญาณแสงที่ได้รับนั้นเป็นขนาดของแสงที่หลอดส่งมาบนพื้นที่ทำงาน
จึงได้นิยามคำอื่นเพิ่มเติมดังนี้

ค่าขนาดของสัญญาณแสงที่ได้รับ (detected light signal) คือ องค์ประกอบของสัญญาณแสงที่เกิดจากการมอดูเลตแสงของหลอดที่ตัวเซนเซอร์ตรวจจับขนาดสัญญาณมอดูเลตได้ ขนาดของสัญญาณแสงที่วัดได้จะเป็นข้อมูลที่ใช้บอกอิทธิพลของแสงจากหลอดที่มีผลต่อพื้นที่ใช้งานนั้น โดยชุดควบคุมที่ผู้ใช้เมื่อตรวจจับขนาดของสัญญาณแสงได้ก็จะส่งกลับไปให้ยังชุดควบคุมหลอด ที่ชุดควบคุมหลอดจะใช้ค่าขนาดของสัญญาณแสงที่ได้รับจากแต่ละผู้ใช้ เพื่อประเมินหาค่าในน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละคนที่มีอิทธิพลต่อชุดควบคุมหลอด ค่าให้น้ำหนักดังกล่าวยังสามารถบอกให้ทราบว่าหลอดใดมีอิทธิพลต่อตัวควบคุมที่ผู้ใช้

ค่าให้น้ำหนัก(weight)(W) คือ ค่าน้ำหนักที่ตัวควบคุมที่หลอดให้กับตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าขนาดของสัญญาณแสงที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับจากหลอดหนึ่งเทียบกับผลรวมของสัญญาณแสงที่จากชุดควบคุมที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับแสงจากหลอดนั้น ดังนั้นค่าให้น้ำหนักจะเป็นตัวกำหนดอิทธิพลของคำสั่งจากผู้ใช้ว่ามีผลต่อการควบคุมความสว่างบนพื้นที่ใช้งานมากน้อยเพียงไร

ค่าความคลาดเคลื่อน(error)(E) คือ ความแตกต่างระหว่างความสว่างที่ผู้ใช้ต้องการกับความสว่างที่ผู้ใช้ได้รับจริง ตัวควบคุมที่ผู้ใช้จะทำการส่งข้อมูลนี้ไปยังชุดควบคุมหลอด เพื่อให้ชุดควบคุมหลอดทำการประมวลผลและเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับกำหนดการปรับความสว่างของหลอด ในการประมวลผลการควบคุมความสว่างของชุดควบคุมที่หลอดจะใช้การคำนวณหาค่าสมรรถนะซึ่งค่าสมรรถนะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงทิศทางการปรับว่าควรปรับไปในทิศทางใด

ค่าสมรรถนะ (Performance Index) (P) คือค่าความไม่พอใจที่คำนวณได้ 2 ครั้ง ณ เวลาต่างกัน เพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการปรับแสง ถ้าผลต่างเป็นลบก็แสดงว่า ให้ปรับไปในทิศทางเดิม แต่ถ้าผลต่างเป็นบวกก็ให้เปลี่ยนทิศทางในการปรับจนกว่าจะได้ค่าสมรรถนะต่ำสุด

ค่าดัชนีความไม่พอใจของผู้ใช้ (disatisfaction index) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ความไม่พอใจของผู้ใช้ซึ่งตัวควบคุมที่หลอดจะต้องพยายามปรับตามความเข้มของแสงไปในทิศทางที่จะลดค่าดัชนีความไม่พอใจ ให้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ค่าดัชนีความไม่พอใจของผู้ใช้ คือผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองคูณกับค่าให้น้ำหนักของผู้ใช้ทุกคนที่รับแสงจากหลอดที่ควบคุมโดยชุดควบคุมหลอดชุดนั้น ชุดควบคุมหลอดแต่ละชุดคำนวณค่าความไม่พอใจของตนเองจากข้อมูลความคลาดเคลื่อนและค่าให้น้ำหนักเฉพาะข้อมูลที่หลอดของตนได้รับจากตัวควบคุมที่ผู้ใช้ต่างๆส่งมา

2.2 หลักการทำงานของระบบ

จะแยกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบควบคุม และระบบสื่อสาร

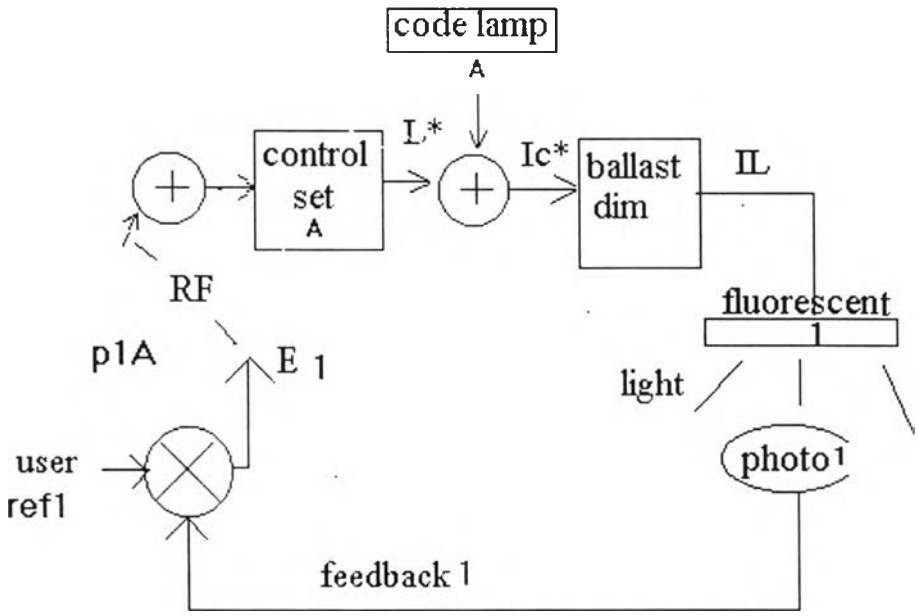
1. ระบบการควบคุม

1.1 หลักการของระบบการควบคุม

ระบบการควบคุมเป็นลักษณะการควบคุมแบบกระจาย โดยจะมีตัวควบคุมจากผู้ใช้แต่ละคนเป็นผู้ควบคุมแสงสว่าง ณ พื้นที่ที่ใช้งานนั้น ๆ โดยการควบคุมแสงสว่างของผู้ใช้แต่ละคนสามารถควบคุมได้ตามต้องการ แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการให้แสงสว่าง ณ พื้นที่ที่ตนต้องการไปมีผลกระทบต่อพื้นที่ใช้งานของผู้อื่นน้อยที่สุด โดยในการปรับความสว่างเป็นลักษณะค่อย ๆ ปรับไปช้า ๆ ไม่เกิดความรำคาญต่อผู้ใช้ และได้อาศัยหลักการการอยู่ร่วมกันของสังคมมนุษย์ ถ้าผู้ใดได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแสงจนเกินยอมรับได้ ก็จะออกมาทำการสั่งการเปลี่ยนแปลงแสง แต่ถ้าผู้ใช้ไม่ได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงแสงน้อยก็จะยังพอยอมรับแสงนั้นได้ โดยไม่มีการออกมาสั่งการเปลี่ยนแปลงแสง ลักษณะการควบคุมแบบนี้จะเป็นการประนีประนอมการใช้แสงร่วมกันระหว่างผู้ใช้หลาย ๆ คน โดยถือว่าผู้ใช้แต่ละคนก็มีความสามารถในการควบคุมแสงสว่าง ณ พื้นที่ใช้งานของตนได้อยู่ระดับหนึ่ง ก็ถือว่าเป็นประโยชน์โดยตรงกับผู้ใช้งานในแง่การควบคุม ซึ่งแต่เดิมมีลักษณะการควบคุมแบบรวมศูนย์กลาง ซึ่งไม่สามารถเข้าถึงการใช้งานของผู้ใช้แต่ละพื้นที่ได้โดยตรง ดังนั้น การเสนอลักษณะการควบคุมแบบกระจายนี้ก็น่าจะเป็นแนวทางใหม่ที่ดีสำหรับผู้ใช้งาน ณ พื้นที่ใช้งานในบริเวณต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีลักษณะการควบคุมแบบกระจายนี้จะใช้ค่าน้ำหนักของแสงแต่ละหลอดที่มีอิทธิพลต่อความสว่างของพื้นที่ใช้งานมาเป็นตัวควบคุมให้แสงแต่ละหลอดมีการปรับไปในทิศทางที่ต้องการควบคุมความสว่างของพื้นที่บริเวณนั้น ซึ่งการจะทราบค่าน้ำหนักของแสงแต่ละหลอดมาได้นั้น จะได้มาจากการสื่อสารทางด้านแสง โดยใช้หลักการขนาดแสงแปรผกผันกับระยะทาง ซึ่งก็คือ ตัวควบคุมที่ผู้ใช้อยู่ห่างจากหลอดมาก ค่าขนาดของแสงที่รับได้ก็จะได้น้อย แต่ถ้าตัวควบคุมที่ผู้ใช้อยู่ใกล้กับหลอดมาก ค่าขนาดของแสงที่รับได้ก็จะได้มากตามไปด้วย โดยที่ค่าขนาดของแสงที่รับได้จะมาจากขนาดของแสงแต่ละหลอดที่ถูกมอดูเลตด้วยข้อมูลรหัสหลอดแล้วจะส่งค่าขนาดของแสงที่รับได้กลับไปให้ยังหลอด เพื่อทำการแปลงให้เป็นค่าน้ำหนักของแสงเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณแสงที่หลอดแต่ละหลอดให้ได้ปริมาณแสงตามความต้องการ ดังนั้น ตัวแปรในระบบควบคุมจึงขึ้นกับ ค่าความผิดพลาดและค่าให้น้ำหนัก

จากการควบคุมดังกล่าว จะไม่สามารถทำได้ตามต้องการของผู้ใช้ทุกคนเสมอไปขึ้นอยู่กับค่าความต้องการ,ค่าแสงป้อนกลับและค่าให้น้ำหนักของผู้ใช้แต่ละคน โดยหลอดจะถูกควบคุมปริมาณแสงตามการประมวลผลตัวควบคุมหลอด โดยตัวควบคุมหลอดจะรับข้อมูลของแต่ละผู้ใช้มาก่อนแล้วค่อยประมวลผลการควบคุมแสง โดยใช้หลักค่าสมรรถนะมีค่าต่ำสุด เพื่อให้ผู้ใช้ทุก

คนไม่พึงพอใจกับแสงที่ตัวเองได้รับน้อยที่สุด ลักษณะการปรับระดับแสงจะเป็นการปรับแสงแบบเพิ่มหรือลดระดับแสงทีละขั้น เนื่องจากไม่ต้องการให้ผู้ใช้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงระดับแสงอย่างชัดเจนจนผู้ใช้มีความรู้สึกรำคาญ จะเป็นลักษณะค่อย ๆ ปรับจนผู้ใช้ไม่เกิดความรู้สึกว่ามีการเปลี่ยนระดับแสงจนเป็นที่สังเกตเห็นได้ เนื่องจากการปรับระดับแสงจะเป็นไปแบบทีละขั้น ทำให้ใช้เวลานานในการปรับระบบกว่าจะเข้าสู่เป้าหมายหรือค่าที่ต้องการไว้ได้ แต่ก็มีบางครั้งที่ไม่สามารถควบคุมให้ได้ตามเป้าหมาย เนื่องจากมีความต้องการของผู้ใช้มีการขัดแย้งกันมาก จึงใช้หลักการประนีประนอมแสงโดยให้ผู้ใช้แต่ละคนมีความไม่พึงพอใจน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับผู้ใช้โดยรวม

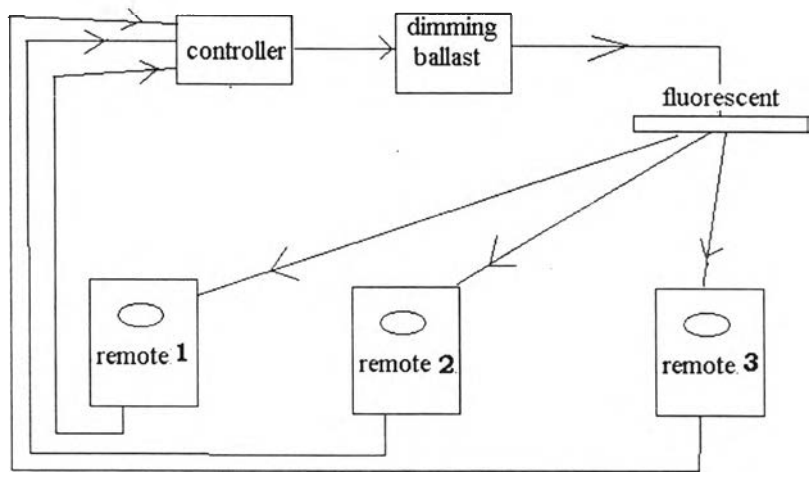


รูปที่ 2. 2 การทำงานของระบบตัวควบคุมที่หลอด 1 หลอด และตัวควบคุมที่ผู้ใช้ 1 ชุด

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแสงของหลอดA โดยมีคำสั่งจากผู้ใช้คนที่ 1 ในการสั่งควบคุมแสงของหลอด A และแสดงให้เห็นถึงการสื่อสาร 2 ทาง คือ โดยทางแสงจากหลอดไปยังตัวควบคุมที่ผู้ใช้และทางคลื่นวิทยุจากผู้ใช้ไปยังชุดควบคุมหลอด

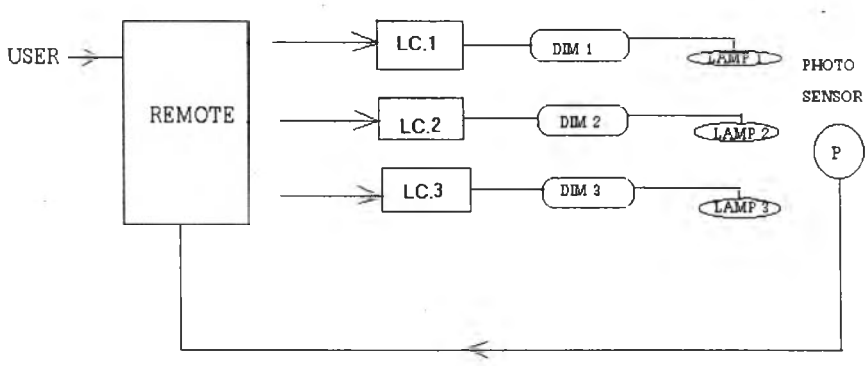
ดังนั้น การมองระบบการควบคุมโดยรวมสามารถจำแนกได้ 4 แบบ

1. ระบบที่ประกอบด้วยตัวควบคุมที่ผู้ใช้ชุดเดียวและตัวควบคุมที่หลอดชุดเดียว
2. ระบบที่ประกอบด้วยตัวควบคุมที่ผู้ใช้หลายชุดและตัวควบคุมที่หลอดชุดเดียว
3. ระบบที่ประกอบด้วยตัวควบคุมที่ผู้ใช้ชุดเดียว และตัวควบคุมที่หลอดหลายชุด
4. ระบบที่ประกอบด้วยตัวควบคุมที่ผู้ใช้หลายชุดและตัวควบคุมที่หลอดหลายชุด



Multi input single output

รูปที่ 2. 3 การทำงานของระบบตัวควบคุมที่หลอด 1 หลอด และตัวควบคุมที่ผู้ใช้หลายชุด



Single input muti output

รูปที่ 2. 4 การทำงานของระบบตัวควบคุมที่หลอด หลาย หลอด และตัวควบคุมที่ผู้ใช้ 1 ชุด

1.2 วิธีการควบคุม

<u>การตรวจหาค่าสมรรถนะที่จุดต่ำสุด</u> วิธีการติดตามทิศการเปลี่ยนแปลง(gradient search) หรือ การส่งสัญญาณรบกวนและสังเกต (Perturb and observe algorithm) ระบบนี้จะนิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากมีวิธีการควบคุมที่ไม่ซับซ้อน และใช้พารามิเตอร์ในการตรวจจับน้อยคือค่าความผิดพลาดและค่าให้น้ำหนักแสง การตรวจหาจุดดัชนีต่ำสุดจะทำโดยการควบคุมให้ลดค่าหรือเพิ่มค่ากระแสที่จ่ายให้บัสลาสต์หรี่แสงเป็นจังหวะ ๆ อยู่ตลอดเวลาแล้วตรวจจับหาค่าสมรรถนะต้องการจุดต่ำสุด หากค่าสมรรถนะลดลงในจังหวะเวลาต่อไปก็จะให้ส่งสัญญาณต่อไปในทิศทางเดิม มิฉะนั้นให้กลับทิศทางการส่งสัญญาณตรงข้ามกับทิศทางเดิม ระบบนี้จะมีลักษณะการลองผิดลองถูกและมีการปรับระดับแสงสว่างแบบเป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา ระบบจะไม่เข้าสู่จุดต่ำสุดที่แท้จริงแต่จะแกว่งรอบ ๆ จุดค่าดัชนีความต้องการต่ำสุด

<u>ค่าให้น้ำหนัก</u>จะเป็นตัวบ่งบอกถึงขนาดของปริมาณแสงที่ควรจะใช้ในการควบคุมปริมาณแสงที่บัลลาสต์หรี่แสง ค่าน้ำหนักของแสงจะถูกคำนวณโดยชุดควบคุมหลอดโดยนำค่าขนาดของแสงที่รับได้จากตัวควบคุมที่ผู้ใช้แต่ละคนได้รับแล้วส่งกลับมาให้ยังหลอดของตัวเอง

ค่าให้น้ำหนัก = ขนาดของสัญญาณแสงของหลอดที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้แต่ละคนได้รับ / ขนาดของแสงที่ผู้ใช้ แต่ละคนได้รับมารวมกัน

WEIGHT 1A = Detect light 1A / (Detect light 1A + Detect light 2A)

<u>ทิศทางการปรับ</u> ขึ้นอยู่กับผลต่างของค่าสมรรถนะ(Performance Index) ของค่าปัจจุบันและค่าอดีต ถ้าผลต่างเป็นลบก็แสดงว่าดำเนินการปรับมาในทิศทางที่ถูกต้องแล้วแต่ถ้าผลต่างเป็นบวกก็แสดงว่าดำเนินการปรับมาในทิศทางที่ผิดให้กลับทิศ

PERFORMANCE INDEX = WEIGHT *ERROR^2

P = W*E^2

DIFFERENT PERFORMANCE = NEW PERFORMANCE - OLD PERFORMANCE

$\Delta P = P - P0$

<u>ค่าสมรรถนะ</u>(Performance index) ขึ้นอยู่กับปริมาณค่าการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (error)และ ค่าให้น้ำหนัก(weight)

<P. A> = (W1A*|E1A|^2)+ (W2A*|E2A|^2)

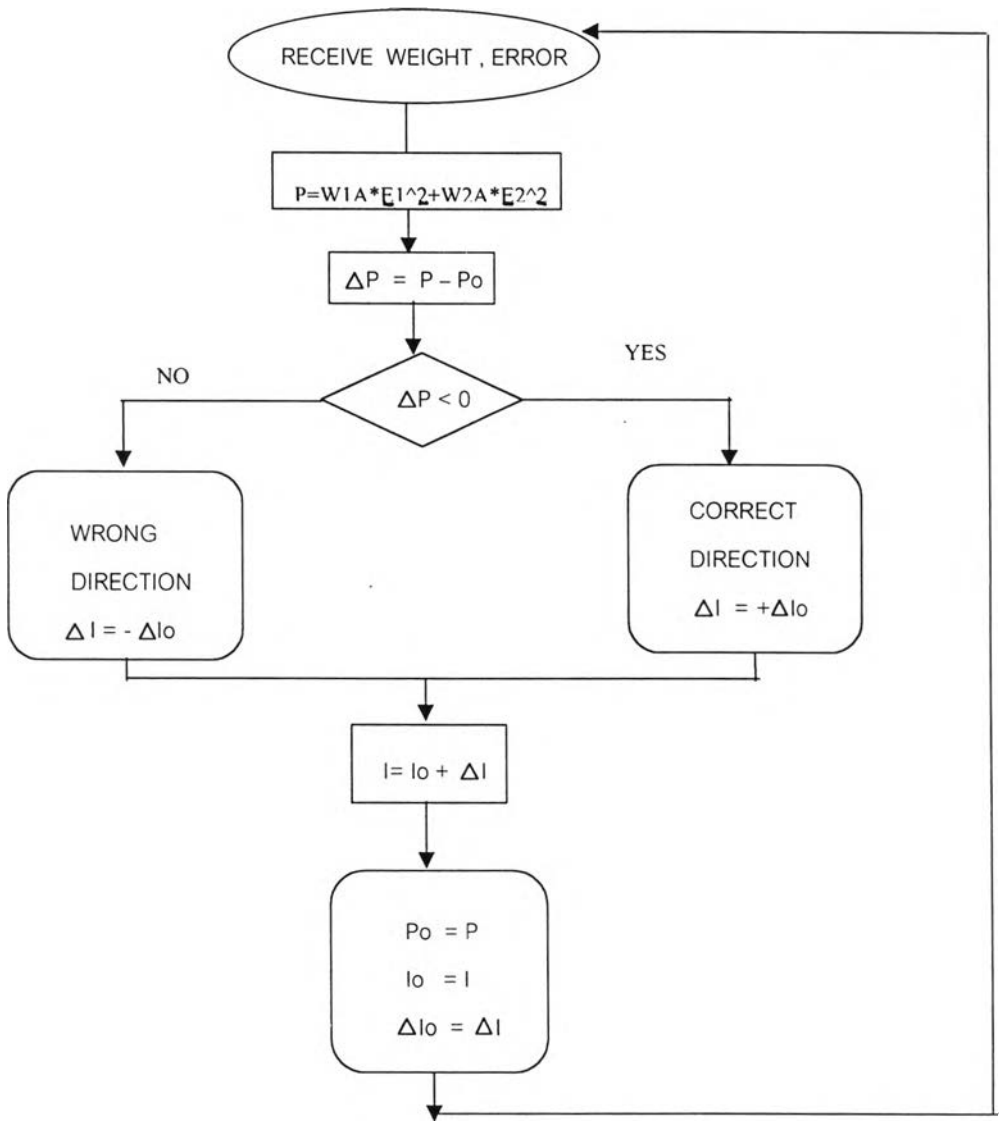
P. A = ค่าสมรรถนะ(Performance Index) ของหลอดที่A

W1A = ค่าน้ำหนักของแสงของหลอดที่Aเทียบกับตัวควบคุมผู้ใช้คนที่1

W2A = ค่าน้ำหนักของแสงของหลอดที่Aเทียบกับตัวควบคุมผู้ใช้คนที่2

E1A= ค่าความคลาดเคลื่อนของแสงของหลอดที่Aเทียบกับตัวควบคุมผู้ใช้คนที่1

E2A = ค่าความคลาดเคลื่อนของแสงของหลอดที่Aเทียบกับตัวควบคุมผู้ใช้คนที่2



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการหาค่าสมรรถนะต่ำสุด

จากแผนภาพหาค่าสมรรถนะต่ำสุดวิธีนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงกระแสควบคุมเพิ่มไปทีละขั้นโดยตรง เมื่อพบว่า ค่าสมรรถนะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงก็จะสั่งให้ระบบทำงานไปในทิศเดิมกับการทำงานในขณะนั้นแต่ถ้าค่าสมรรถนะเพิ่มขึ้น ก็จะต้องสั่งให้ระบบทำงานไปในทิศตรงข้ามกับทิศเดิมในขณะนั้น โดยคาดหมายว่า ค่าสมรรถนะจะมีค่าลดลง

I แทน กระแส , P แทน ค่าสมรรถนะ , o แทน ค่าเดิม, สามเหลี่ยม แทน ความแตกต่าง

2. ระบบการสื่อสาร

2.1 หลักการของระบบการสื่อสาร

จากลักษณะการควบคุมแบบกระจายนี้ จะต้องใช้การสื่อสาร 2 ทาง ซึ่งก็คือ การสื่อสารทางแสงและการสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ การสื่อสารทางแสงใช้เพื่อหาค่าขนาดของสัญญาณแสงที่ได้รับ ส่วนการสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุใช้เพื่อการแจ้งค่าขนาดของสัญญาณแสงที่ได้รับกลับไปให้ยังหลอดแต่ละหลอด และมีการส่งค่าความผิดพลาดของแสงที่ได้จากปริมาณแสงที่ผู้ใช้ต้องการกับปริมาณแสงที่รับได้จากการป้อนกลับทั้งหมด ณ พื้นที่ที่ใช้งานนั้น ๆ ไปให้หลอดทุกหลอดทราบ

2.2 วิธีการใช้สื่อในการสื่อสาร

2.2.1 การสื่อสารทางแสงเป็นการมอดูเลตข้อมูลที่ต้องการส่งเข้าไปทางแสงแล้วใช้แสงที่มอดูเลตด้วยความถี่ข้อมูลเป็นตัวส่งข้อมูลที่ต้องการได้โดยการสร้างตัวส่งข้อมูลทางแสงและสร้างตัวรับข้อมูลทางแสง

- ตัวส่งข้อมูลทางแสง ใช้วิธีการสร้างความถี่สูงค่าหนึ่งมอดูเลตกับความถี่ของข้อมูลที่ต้องการส่ง

- ตัวรับข้อมูลทางแสง เป็นวงจรรับข้อมูลทางแสง โดยมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ เป็นตัวตรวจจับแสงและมีการใช้วงจรกรองผ่านแถบมากรองข้อมูลที่ต้องการส่งมาด้วย

ประโยชน์การสื่อสารทางแสง

เพื่อรับรู้การตอบสนองป้อนกลับอันเนื่องจากการควบคุมแสงที่หลอด ทำให้ทราบว่า แสงที่ถูกควบคุมโดยหลอดมีผลต่อพื้นที่ใช้งานมากน้อยแค่ไหน ทำให้สามารถควบคุมปริมาณแสงที่จ่ายให้กับพื้นที่ใช้งานอยู่ได้อย่างเหมาะสม

ลักษณะข้อมูลทางแสงประกอบด้วย รหัสหลอด+abc+ รหัสตรวจสอบข้อผิดพลาด

จุดประสงค์หลักการสื่อสารทางแสง เพื่อต้องการทราบขนาดปริมาณแสงที่พื้นที่ใช้งานได้รับอันเนื่องมาจากแสงแต่ละหลอด โดยข้อมูลรหัสหลอดของแต่ละหลอดจะส่งมาคนละเวลากัน ทำให้ทราบว่าปริมาณแสงแต่ละหลอดผลต่อพื้นที่ใช้งานเป็นปริมาณเท่าไหร่

2.2.2 การสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ เป็นการใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลจากตัวควบคุมที่ผู้ใช้ไปยังหลอดได้ โดยมี ตัวส่งคลื่นวิทยุอยู่ที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ และตัวรับคลื่นวิทยุจะอยู่ที่หลอด เมื่อมีการส่งข้อมูลที่เป็นค่าขนาดของแสงที่รับได้ของแสงไปยังหลอด ซึ่งค่าขนาดแสงที่รับได้จากการสื่อสารทางแสงจากหลอดไปยังตัวควบคุมที่ผู้ใช้ การส่งข้อมูลป้อนกลับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมแสงที่หลอด และมีการส่งข้อมูลความต้องการแสงจากผู้ใช้ไปยังหลอดด้วย

วิธีการติดต่อรับส่งข้อมูลใช้คลื่นวิทยุ จากตัวควบคุมที่ผู้ใช้ไปยังหลอด โดยใช้วิธีสื่อสารระหว่างไมโครโปสเซสเซอร์ของตัวส่งกับไมโครโปสเซสเซอร์ตัวรับโดยใช้การส่งเก้าบิทเพื่อที่จะแยกข้อมูลระหว่างรหัสหลอดกับข้อมูลหลอด

-การส่งรหัสหลอดเป็นแบบ 9 บิต โดยบิตที่ 9 เป็น '1'

-การส่งข้อมูลหลอดเป็นแบบ 9 บิต โดยบิตที่ 9 เป็น '0'

ลักษณะข้อมูลที่ส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ ประกอบด้วย

-รหัสหลอด 9 บิต(address lamp)+ รหัสตัวควบคุมที่ผู้ใช้ (address remote)+ค่าขนาดของแสงที่รับได้(peak detect)+ค่าความคลาดเคลื่อนของแสง(error command)+รหัสตรวจสอบข้อผิดพลาด (crc check)

จุดประสงค์หลักการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ คือ ต้องการส่งข้อมูลปริมาณแสงที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้รับได้กลับไปให้หลอด โดยจะต้องรู้ว่าเป็นปริมาณแสงที่มาจากหลอดใดและมาจากตัวควบคุมที่ผู้ใช้ตัวใดซึ่งก็คือ การตรวจสอบการตอบสนองแบบป้อนกลับว่า มาจากพื้นที่ใช้งานใดซึ่งจะนำไปใช้ ในการประมวลผลการควบคุมแสงด้วยค่าน้ำหนักซึ่งจะอยู่ที่หลอดแต่ละหลอด

2.3 การสื่อสารระหว่างซีพียูหลายตัว (Multi Processor Communication)

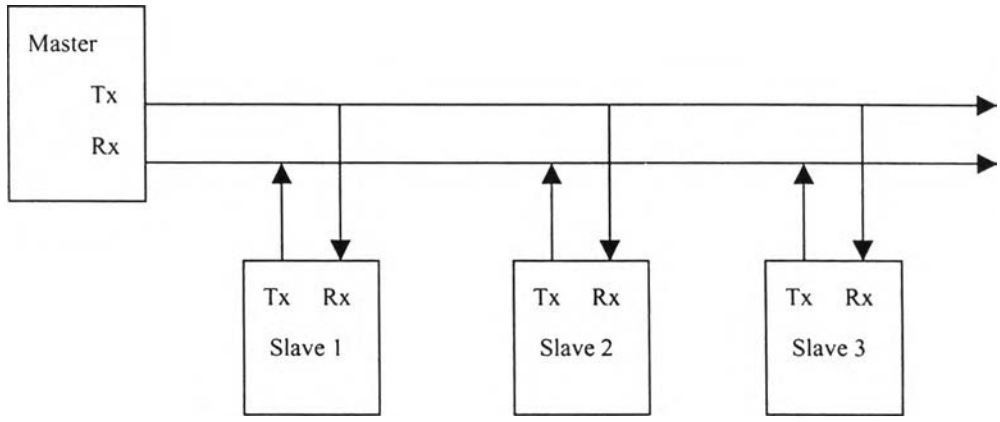
การติดต่อสื่อสารทั่วไปจะใช้การติดต่อสื่อสารแบบจุดต่อจุดซึ่งมีตัวส่ง 1 ตัวและตัวรับ 1 ตัว แต่ในบางครั้งการควบคุมจำเป็นต้องทำการสื่อสารแบบหลายจุด ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์8051 สามารถเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูลกันได้หลายตัว การทำงานของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในโหมด 2 และโหมด 3 มีการทำงานพิเศษที่สามารถใช้สำหรับการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างซีพียูหลายตัวได้ การทำงานทั้ง 2 โหมดนี้ข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกนำไปเก็บในบิต RB8 เราสามารถโปรแกรมเพื่อกำหนดให้พอร์ตอนุกรมส่งสัญญาณร้องขออินเตอร์รัพต์ได้เมื่อรับข้อมูลเข้ามาแล้วได้ค่าใน RB8 = 1 ซึ่งการควบคุมนี้กำหนดจากการเซตบิต SM2 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON การทำงานในการเชื่อมต่อสื่อสารกับซีพียูหลายตัวจะมีลักษณะการทำงานดังนี้ ในระบบที่เชื่อมต่อแบบหลายจุดเรากำหนดให้ซีพียูตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นซีพียูหลัก (Master) สำหรับควบคุมการติดต่อกับซีพียูตัวอื่น ๆ ซึ่งเรียกว่าเป็นซีพียูรอง (Slave) สัญญาณ TxD ของซีพียูหลักต่อเข้ากับสัญญาณRxD ของซีพียูรองทุกตัว ทำให้ข้อมูลจากซีพียูหลักสามารถส่งไปยังซีพียูรองได้ทุกตัว ที่ตัวซีพียูรองจะมีตำแหน่งของตัวเองที่กำหนดไว้จากโปรแกรมหรือฮาร์ดแวร์ โดยมีการแบ่งลักษณะของข้อมูลที่ใช้ส่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. ข้อมูลที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Address Byte)

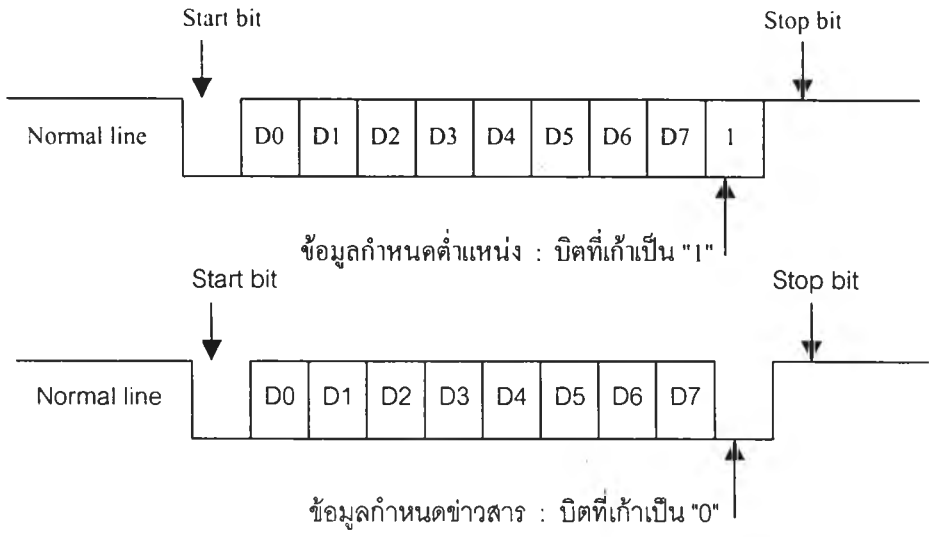
ข้อมูลที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่งจะมีค่าบิตข้อมูลบิตที่ 9 (D8) มีค่าเป็น 1 ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของซีพียูรอง ที่ซีพียูหลักต้องการติดต่อด้วย ลักษณะของข้อมูลที่กำหนดตำแหน่งแสดงในรูป

2. ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลข่าวสาร (Data Byte)

เป็นไบต์ที่ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการรับและส่งข้อมูล และนำไปใช้งานโดยข้อมูลไบต์นี้จะกำหนดให้บิตที่9 เป็น 0 ซึ่งรูปแบบของไบต์ข้อมูลจะเป็นดังรูป เมื่อซีพียูหลักต้องการส่งข้อมูล 1 บล็อกไปให้กับซีพียูรองตัวใดตัวหนึ่งในหลาย ๆ ตัว ขั้นแรกซีพียูหลักต้องส่งค่า 1 ไบต์ ซึ่งถือเป็นตัวบอกตำแหน่งของซีพียูรอง (Address byte) ออกไปก่อนเพื่อเป็นการเลือกซีพียูรองที่ต้องการให้รับข้อมูล โดยข้อมูล 1 ไบต์นี้จะแตกต่างกับข้อมูลอื่น ๆ คือบิตที่ 9 มีค่าเป็น 1 ข้อมูลไบต์นี้ถูกส่งออกไปยังซีพียูรองทุกตัว หากเรากำหนดให้ซีพียูรองทุกตัวมีค่าบิต SM2 = 1 เมื่อซีพียูรองทุกตัวได้รับข้อมูลไบต์ตำแหน่งแล้วจะเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้นภายในตัวซีพียูรอง ซีพียูรองจะทำการตรวจสอบว่าตำแหน่งที่รับมานั้นมีค่าตรงกับตัวเองหรือไม่ ซีพียูรองที่มีตำแหน่งตรงกับตำแหน่งที่รับได้จะทำการเคลียบิตSM2 และเตรียมรับข้อมูลที่เป็นข่าวสารต่อไป สำหรับซีพียูรองที่มีตำแหน่งไม่ตรงกับตำแหน่งที่รับมาก็จะยังคงค่า SM2 = 1 อยู่ต่อไป และจบโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์แล้วกลับไปทำโปรแกรมที่ค้างอยู่และรอการอินเตอร์รัพต์ที่จะเกิดขึ้นจากการรับไบต์ตำแหน่งอีก หลังจากซีพียูหลักส่งข้อมูลไบต์แรกซึ่งเป็นตำแหน่งออกไปแล้ว จะเริ่มส่งข้อมูลซึ่งถือเป็นไบต์ข้อมูลมีบิตที่ 9 เป็น 0 ตามออกไป ข้อมูลนี้จะมีเพียงซีพียูที่มีตำแหน่งตรงกันเท่านั้นที่รับข้อมูลไว้ การส่งข้อมูลก็จะเป็นระหว่างซีพียูหลักกับซีพียูที่มีตำแหน่งตรงกันเท่านั้น เมื่อการส่งข้อมูลสิ้นสุดลงซีพียูหลักจะต้องส่งข้อมูลไบต์สุดท้ายที่ใช้เป็นตัวบอกให้ด้านรับทราบว่าสิ้นสุดข้อมูล (END of transmission)ก็ได้ เมื่อซีพียูรองได้รับรหัสนี้แล้วก็จะทราบว่าเป็นข้อมูลตัวสุดท้ายและจะหยุดการรับข้อมูล แล้วเซตค่าบิต SM2 = 1 เพื่อเริ่มต้นรอรับการส่งข้อมูลที่เป็นตำแหน่งในรอบต่อไป บิต SM2 จะไม่มีผลในโมด 0 สำหรับการใช้งานในโมด 1 หาก SM2 = 1 การอินเตอร์รัพต์ของการรับข้อมูลจะไม่เกิดขึ้นหากไม่มี Stop bit เข้ามา



การสื่อสารระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัว



รูปที่2.6 แสดงการสื่อสารระหว่างซีพียูหลายตัว

2.4 การชนกันของข้อมูล

2.4.1 <u>การชนกันทางแสง</u>

-สาเหตุ : เกิดจากแสงแต่ละหลอดเกิดการส่งข้อมูลรหัสของหลอดมาพร้อมกัน

-ผลลัพธ์ : ทำให้ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับข้อมูลทางแสงเพื่อใช้แสงแบบป้อนกลับมีการผิดพลาด

-วิธีแก้ไข : เมื่อตรวจสอบพบว่า เกิดการชนทางแสงให้เพิกเฉยต่อการส่งข้อมูลทางแสงนั้น ให้รอการส่งข้อมูลทางแสงรอบใหม่ โดยมีการส่งข้อมูลแสงออกเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลา

-วิธีการตรวจสอบว่าเกิดการชน : ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์รอรับการตรวจสอบข้อมูลทางแสงจากตัวรับแสงว่าได้ถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องก็แสดงว่าเกิดการชน แต่ถ้าถูกต้องก็แสดงว่าไม่ เกิดการชน โดยดูจากรหัสตรวจสอบข้อผิดพลาด

2.4.2 <u>การชนกันทางคลื่นวิทยุ</u>

-สาเหตุ : เกิดจากการที่ผู้ใช้หลายคนมีการกดคำสั่งเปลี่ยนแปลงพร้อมกัน หรือมีการส่งค่าความผิดพลาดขึ้นพร้อมกัน

-ผลลัพธ์ : ทำให้ตัวควบคุมแสงที่หลอด เกิดการประมวลผลผิดพลาดในการควบคุมแสงที่หลอด เนื่องจากไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นคำสั่งของจากผู้ใช้คนใด

-วิธีแก้ไข : เมื่อตรวจสอบพบว่า เกิดการชนทางคลื่นวิทยุให้เพิกเฉยต่อคำสั่งขอเปลี่ยนแปลงแ สงนั้น ให้รอการส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุใหม่ โดยผู้ใช้เมื่อไม่ได้รับการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงแสงก็จะกดขอเปลี่ยนแปลงแสงใหม่เอง หรืออาจจะรอกการส่งค่าความผิดพลาดใหม่มาก็ได้

-วิธีการตรวจสอบว่าเกิดการชน : โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตรวจสอบว่าจากตัวรหัสตรวจสอบข้อผิดพลาด ถ้าตัวรหัสตรวจสอบข้อผิดพลาดของตัวส่ง และตัวรับตรงกันก็แสดงว่าไม่เกิดการชน แต่ถ้าไม่ตรงกันก็แสดงว่าการชนข้อมูลเกิดขึ้น

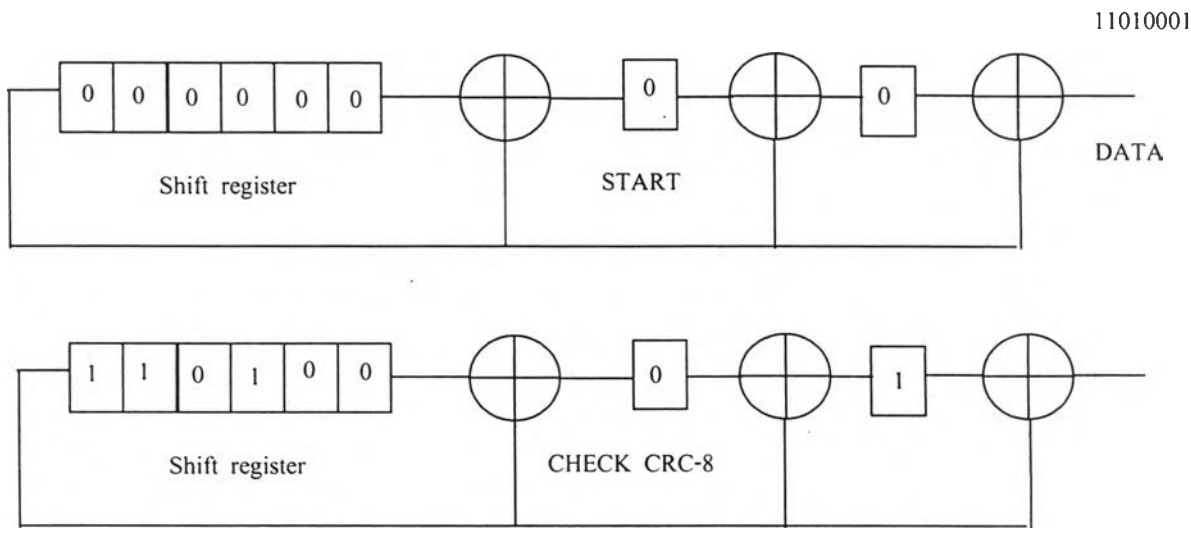
2.5 การตรวจสอบข้อผิดพลาดการสื่อสาร

ใช้การตรวจสอบข้อผิดพลาดแบบซ้ำรอบ (Cyclical Redundancy Check) (CRCS) เป็นรูปแบบหนึ่งของการตรวจสอบข้อผิดพลาด วัตถุประสงค์ของการใช้รหัสตรวจสอบข้อผิดพลาด (error code) คือ เพื่อคำนวณหาจำนวนที่มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสตริงของข้อมูลที่กำลังถูกส่งออกไป การคำนวณนี้กระทำโดยฝ่ายส่ง ส่วนฝ่ายรับก็ทำการคำนวณกับข้อมูลที่ได้รับด้วยพื้นฐานของสูตรเดียวกัน โดยคาดหวังว่าข้อผิดพลาดในข้อมูลจะส่งผลถึงจำนวนที่คำนวณได้ ดังนั้น ข้อผิดพลาดก็สามารถตรวจจับได้

การคำนวณ CRC มีหลายแบบ

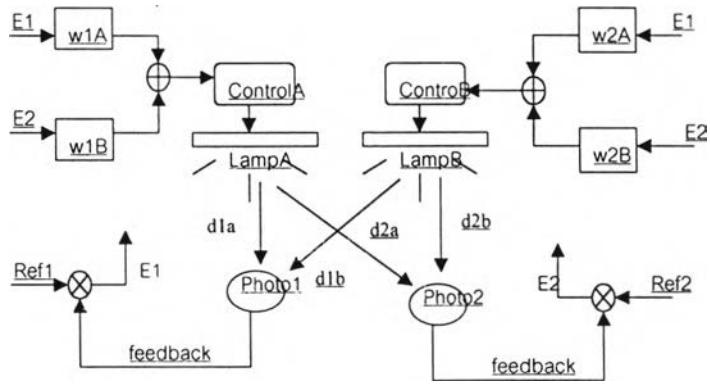
ซึ่งประกอบขึ้นเป็นข่าวสารถูกกระทำเสมือนเป็นจำนวน เลขฐานสอง ขนาดใหญ่ ขั้นแรก เลขจำนวน (n) จะถูกเพิ่มต่อท้ายจำนวน ขนาดใหญ่เพื่อเป็นการคูณด้วย (2n) จากนั้นจำนวนผลลัพธ์ (ซึ่งใหญ่ขึ้น) จะถูกหารด้วยจำนวน (d) ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐาน CRC ที่ใช้เศษที่เหลือจากการหารจะถูกส่งไปให้อุปกรณ์ฝ่ายรับ ซึ่งจะทำการคำนวณแบบเดียวกัน แล้วนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบ เพื่อดูว่า มีข้อผิดพลาดหรือไม่

ตัวอย่าง ข้อมูล (data) ประกอบด้วย 11010001 บิตที่เก้าจะเป็นผลรวมของบิตทั้งหมดที่ถูกกระทำด้วย I' s complement จะได้เป็นเลขคี่ ดังนั้น ' 1' จะไปปรากฏที่ตัวเริ่มต้นของข้อมูลจะกลายเป็น 111010001 ถ้าการรับข้อมูลเป็น 111010001 แล้วแสดงว่าข้อมูลที่ได้รับนั้นถูกต้องรูปแสดงการคำนวณ CRC ตัวอย่างการคำนวณในรูป ในแต่ละข้อมูลเริ่มต้นการคำนวณที่ Xo โดยใช้การคำนวณแบบตรรกศาสตร์ในการประมวลผลแบบบูลีน Exclusive OR โดยใช้ซอฟแวร์คำนวณแบบ 8 บิต โดยทำการคำนวณ CRC จำนวน 0-255 รอบ โดยทำการคำนวณค่า CRC ปัจจุบันกับค่าที่เข้ามาโดยใช้ exclusive OR โปรแกรมแสดงการคำนวณ CRC

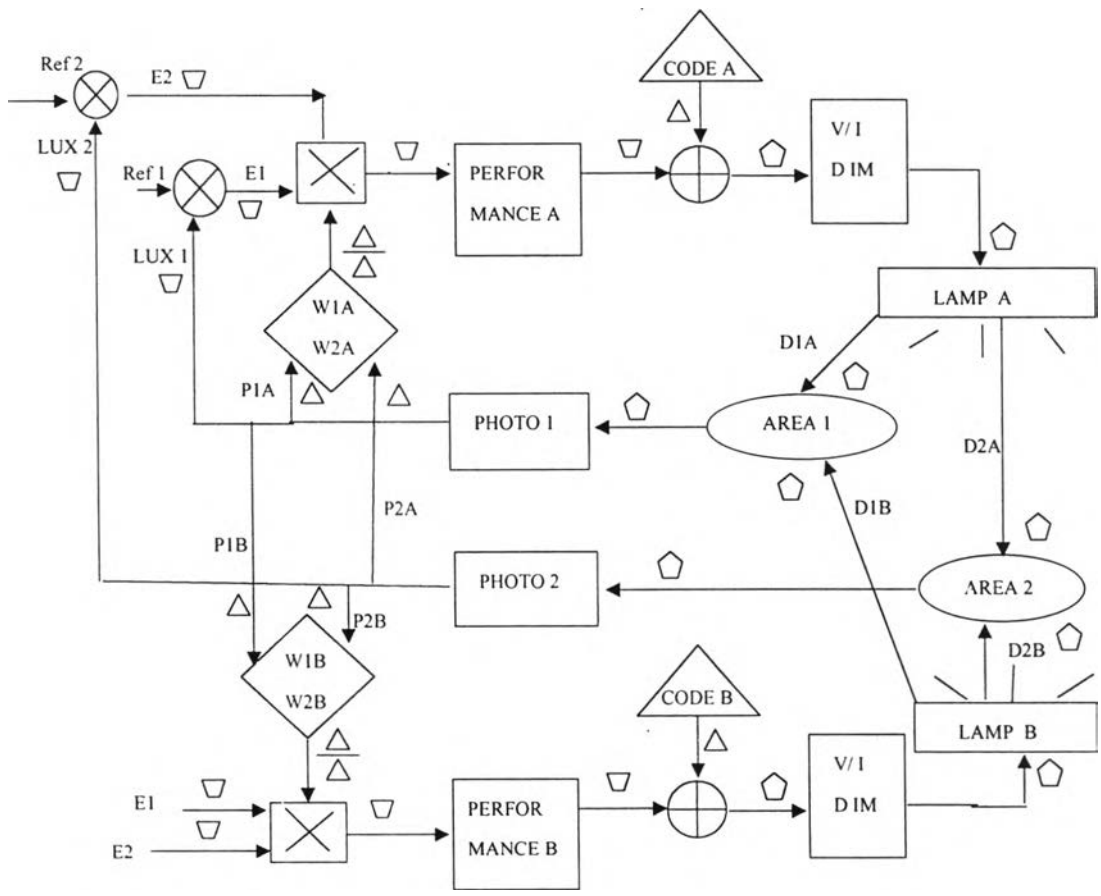


รูปที่2.7 แสดงการคำนวณ CRC

2.3 <u>การทำงานของระบบ</u> **(ก)**



(ข)



รูปที่ 2. 8 ไดอะแกรมการทำงานตัวควบคุมที่หลอด 2ชุด และตัวควบคุมที่ผู้ใช้ 2 ชุด

จากรูปที่ 2. 8 (ก) ไดอะแกรมการทำงานจะเห็นว่าประกอบด้วย

1. ตัวควบคุมที่ผู้ใช้มี 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะประกอบด้วย ชุดเปรียบเทียบปริมาณแสงที่ต้องการ Ref กับ ปริมาณแสงที่ได้รับ Lux และชุดเซ็นเซอร์ (photo sensor) เพื่อวัดขนาดของสัญญาณแสงที่รับได้ (detected light signal) (PIA, P2A, P1B, P2B)และปริมาณแสงที่ได้รับ (Lux)

2. ชุดควบคุมที่หลอดมี 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะประกอบด้วยชุดรับค่าความคลาดเคลื่อน (error) คูณกับค่าให้น้ำหนัก (weight) เพื่อนำไปประมวลผลหาค่าสมรรถนะ (Performance) และชุดประเมินค่าให้น้ำหนักจากขนาดของสัญญาณแสงที่รับได้ (P1A, P2A, P1B, P2B) และชุดสร้างสัญญาณรหัสหลอด(code A,code B)

3. ชุดบัลลาสต์หรี่แสงพร้อมหลอด (Dim + Lamp) 2 ชุด

เริ่มต้นระบบจะเปิดไฟที่ค่าสว่างสุดหมดทุกหลอด จากนั้นหลอดจะเริ่มสร้างสัญญาณรหัสหลอด จ่ายลงมาผ่านแสง เพื่อที่ตัวควบคุมหลอดจะได้ทำความรู้จักกับตัวควบคุมที่ผู้ใช้ หลังจากตัวควบคุมที่ผู้ใช้รับทราบแล้วว่ามีตัวควบคุมหลอดที่มีรหัสหลอดนี้อยู่ก็จะทำส่งข้อมูลของตัวควบคุมที่ผู้ใช้กลับขึ้นไปยังตัวควบคุมหลอด เพื่อให้เป็นปฏิกริยาสนองกลับไปยังตัวควบคุมที่หลอดว่ามีตัวควบคุมที่ผู้ใช้ที่สามารถรับข้อมูลของตัวควบคุมหลอดนั้นได้ หลังจากที่ตัวควบคุมที่หลอดและตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้ทำความรู้จักกันเรียบร้อยแล้ว ต่อไปตัวควบคุมที่หลอดก็จะรับทราบแล้วว่าตัวควบคุมที่ผู้ใช้คนใดได้รับอิทธิพลต่อการควบคุมแสงสว่างที่หลอดของตน ต่อจากนั้นตัวควบคุมหลอดก็จะทำการประมวลผลคำสั่งของตัวควบคุมที่ผู้ใช้ที่ได้ส่งมา เพื่อที่จะทำการปรับระดับแสงสว่างให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้

จะสังเกตได้ว่าตอนเริ่มต้นตัวควบคุมที่หลอดจะทำการสร้างสัญญาณรหัสหลอดของตัวมันเองขึ้นมาก่อนแล้วทำการมอดูเลตทางแสงส่งข้อมูลรหัสหลอดมายังที่ตัวควบคุมผู้ใช้อยู่ ถ้าตัวควบคุมที่ผู้ใช้สามารถรับรหัสหลอดที่หลอดส่งมาได้ก็แสดงว่า ตัวควบคุมที่หลอดมีอิทธิพลต่อตัวควบคุมที่ผู้ใช้ซึ่งเป็นการรับรู้ว่าตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับอิทธิพลจากแสงหลอดใดบ้าง โดยแต่ละหลอดจะสร้างสัญญาณรหัสหลอดออกมาเลื่อมกันทางเวลาตามรหัสหลอด เมื่อตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับสัญญาณที่มอดูเลตมาจากหลอดก็จะมาทำการสร้างสัญญาณทางคลื่นวิทยุส่งกลับขึ้นไปให้ยังหลอด เพื่อเป็นการบอกให้ตัวควบคุมที่หลอดทราบว่า แสงของหลอดที่ตัวควบคุมหลอดมีอิทธิพลต่อพื้นที่ใช้งานของผู้ใช้มากน้อยเพียงไร เพื่อที่ตัวควบคุมหลอดจะได้สามารถประมวลผลคำสั่งของผู้ใช้ตามอิทธิพลของแสงแต่ละหลอดที่มีผลต่อพื้นที่ใช้งาน

ดังนั้น เมื่อตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับคำสั่งจากผู้ใช้ก็จะมีการเปรียบเทียบค่าคำสั่งความเข้มแสงที่ต้องการจากผู้ใช้กับแสงที่ได้รับการป้อนกลับจากตัววัดแสงที่ตัวควบคุมผู้ใช้เองแล้วส่งเป็นค่าความผิดพลาดกลับขึ้นไปที่ตัวควบคุมที่หลอด ที่ตัวควบคุมหลอดก็จะรับค่าให้น้ำหนักและความผิดพลาดโดยหลอดที่มีค่าให้น้ำหนักมากก็แสดงว่า หลอดนั้นมีอิทธิพลต่อความสว่างบนพื้นที่ใช้งานนั้นมากจึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของผู้ใช้นั้นมีผลมากต่อการควบคุมปริมาณแสงที่หลอดนั้นมากตามไปด้วย และถ้ามีค่าให้น้ำหนักน้อยก็แสดงว่าค่าความผิดพลาดของหลอดนั้นมีอิทธิพลต่อการควบคุมปริมาณแสงที่หลอดนั้นน้อยไปด้วยซึ่งจะเป็นการประมวลผลคำสั่งจากผู้ใช้หลายคนเข้าด้วยกันแล้วจึงทำการการควบคุมกระแสที่จ่ายออกให้บัลลาสต์หรี่แสง เพื่อนำไปควบคุมความสว่างที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ต่อไป

จากรูปที่ 2. 8 (ข) ไดอะแกรมการทำงาน

กำหนดให้สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมแทนไฟตรง, สามเหลี่ยมแทนไฟสลับ, ห้าเหลี่ยมแทนไฟตรง+ไฟสลับ

เริ่มต้นระบบจะมีสร้างรหัสหลอด (ไฟสลับ) พร้อมกับปริมาณแสงพิกัดหลอดออกมาให้ (ไฟตรง)ที่หลอดทำให้ที่ตัวรับแสงสามารถได้ปริมาณทั้งสองสัญญาณแล้วมีการส่งผ่านคลื่นวิทยุกลับขึ้นไปให้ยังชุดควบคุมหลอดเพื่อทำการประเมินค่าให้น้ำหนักและค่ากระแสที่ต้องการควบคุมไปยังชุดบัลลาสต์หรี่แสงและหลอด จะเห็นได้ว่าชุดควบคุมที่ผู้ใช้จะมีการสั่งทั้งค่าปริมาณไฟตรง และไฟสลับขึ้นไปชุดควบคุมหลอด แต่เนื่องจากค่าให้น้ำหนักเป็นการคำนวณอัตราส่วนของไฟสลับกับไฟสลับ ทำให้ตัดทอนกันไป ดังนั้นปริมาณคำสั่งที่นำไปใช้ที่ชุดควบคุมจึงเฉพาะแค่ไฟตรง