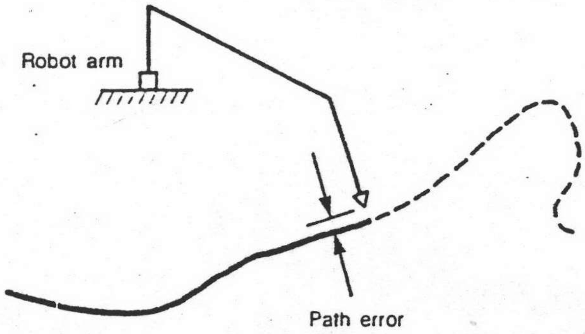
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เทคนิคการควบคุมการเคลื่อนที่

การจำแนกวิธีการควบคุมทางเดินแบบต่อเนื่อง

เทคนิคการควบคุมทางเดินแบบต่อเนื่อง สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีขึ้นอยู่กับข้อมูลเกี่ยวกับทางเดินที่ใช้ในการคำนวนเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ อย่างแรกเป็นการควบคุมแบบเซอร์โว (servo control) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 วิธีการนี้ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับทางเดินที่จะเคลื่อนที่ถัดไป ตัวควบคุมอาจจะเก็บข้อมูลของทางเดินที่จะเคลื่อนที่ไว้แต่การคำนวนหาสัญญาณที่ใช้ในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ทั้งหมด ได้จากการคำนวนหาค่าความผิดพลาดของทางเดินที่ผ่านมาและตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบัน การควบคุมชนิดนี้มักพบใช้ในปัจจุบันกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและระบบควบคุมการผลิต (procress control)

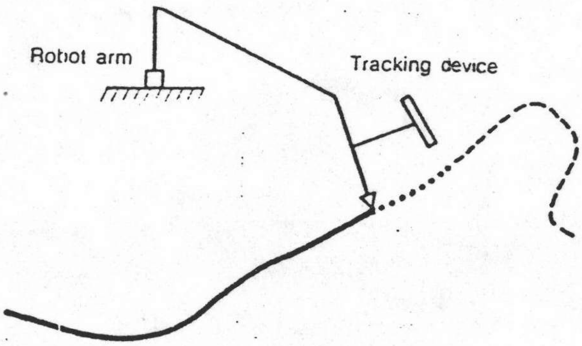


Basic Servo Control

รูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมแบบเซอร์โว

ชนิดที่ 2 เรียกวิธีการควบคุมแบบพรีวิว (preview control) หรืออาจเรียกอีกอย่างว่า ฟีดเฟอร์เวิดร์ (feed-forword) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สาเหตุเนื่องจากวิธีการนี้ต้องรู้ข้อมูลเกี่ยวกับทางเดินที่จะเคลื่อนที่ถัดไปจากตำแหน่งที่อยู่ การคำนวนหาสัญญาณที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้งหมด คำนวนจากค่าผิดพลาด(error)ทั้งในอดีตที่เคลื่อนที่ผ่านมาและอนาคตที่จะเคลื่อนที่ไปถึง ตัวอย่างของการควบคุมแบบพรีวิว เช่นกรณีขับรถไปตามถนน สายตาจะมอง

เส้นทางที่เคลื่อนที่ เมื่อพบทางโค้ง จะต้องชลอความเร็วลงก่อนที่จะถึงทางโค้งเพื่อป้องกันไม่ให้รถวิ่งออกแนวถนน วิธีการควบคุมแบบพรีวิวมีลักษณะคล้ายวิธีการนี้



รูปที่ 3.2 แสดงการควบคุมแบบพรีวิว

<u>การควบคุมแบบพรีวิวกับสเตปปิ้งมอเตอร์</u>

ทฤษฎีการควบคุมทั่วๆไป ตัวแปรมักเป็นค่าปริมาณในแบบอนาลอก และการป้อนกลับถูกออกแบบโดยกระทำแบบเวลาต่อเนื่อง(continuous time) ระบบการควบคุมในแบบอนาลอก สามารถเปลี่ยนเป็นระบบการควบคุมแบบดิจิตอล โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งจะต้องประมาณค่าเวลาและจำกัดเวลาที่ใช้ในการคำนวนระบบควบคุม ถ้าคอนโทรนลูฟ(control loop)ใช้เวลาในการคำนวนคงที่ เราสามารถหาเวลาที่ใช้โดยการนับจำนวนลูฟแล้วประมาณค่า

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในระบบควบคุมทางเดิน โดยจะยกตัวอย่างระบบที่ใช้ควบคุมเป็นแบบข้อต่อเดียว(single joint) สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวน คือตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนที่ในเวลาที่กำหนดให้ $X_d(K)$ และตำแหน่งที่อยู่จริง $X(K)$ สำหรับการควบคุมโดยใช้สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นแอคทูเอเตอร์(actuator) ระยะจุดหมายที่ต้องการเคลื่อนที่ไปถึง ถูกนำไปคำนวนหาสัญญาณควบคุม เพื่อที่จะนำไปแปลงเป็นอัตราสเตป(step rate) ที่เหมาะสม เพื่อแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดจากการเคลื่อนที่ และรักษาทางเดินให้อยู่ในแนวทางเดินที่ต้องการ ผู้คุ้นเคยกับการใช้สเตปปิ้งมอเตอร์อาจจะสงสัยว่า ทำไมจึงใช้คอมพิวเตอร์ในการส่งอัตราสเตป ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดความผิดพลาด แทนที่จะใช้การคำนวนหาจำนวนสเตปที่ต้องการเคลื่อนที่ไปถึง แล้วส่งจำนวนพัลส์แก่มอเตอร์ในช่วงเวลาต่อไป สาเหตุที่ไม่ใช้วิธีการดังกล่าว เพราะต้องการจำกัดปัญหาอันเนื่องมาจากการคลาดสเตป ในกรณีที่ภาระของมอเตอร์ไม่สามารถคาดประมาณได้

ดังนั้นจึงต้องจัดหาอุปกรณ์ป้อนกลับเพื่อใช้ในการควบคุมแบบปิดลูฟ

แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการแก้ไขแบบ สัดส่วนและแบบอินทิกรัลสำหรับแก้ไขความผิดพลาดจากทางเดินที่กำหนด โดยมีรูปแบบของการควบคุมเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง(discrete) ของสเตปปิ้งมอเตอร์ รูปแบบมาตราฐานของการควบคุมแบบสัดส่วนและแบบอินทิกรัล(PI) มีดังนี้

$$U_c(k) = K_p E(k) + K_i \sum_{j=0}^{K} E(k) \qquad (3.1)$$

$$E(k) = X_d(k) - X(k) \qquad (3.2)$$

เมื่อ $U_c(k)$ คือค่าสัญญาณควบคุมในเวลาสุ่มรอบที่ k

$E(k)$ คือค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ในเวลาสุ่มรอบที่ k

$X_d(k)$ คือจุดอ้างอิงที่ต้องการเคลื่อนที่ไปถึง

$X(k)$ คือจุดตำแหน่งจริง

K_p เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวขยายแบบสัดส่วน

K_i เป็นสัมประสิทธิ์ตัวขยายแบบอินทิกรัล

เทอมของอินทิกรัลได้จากการรวมผลจากความผิดพลาดของทางเดินทั้งหมด ในอดีตจนถึงปัจจุบัน การที่ตัวควบคุมแบบ PI จะสามารถควบคุมทางเดินได้ดีต้องทำการปรับค่าตัวขยาย K_p และ K_i ให้มีค่าดีที่สุด

ถ้าเรามีข้อมูลเกี่ยวกับทางเดินข้างหน้าบางส่วน ซึ่งอาจใช้อุปกรณ์เช่น vision หรือ tactile sensing ทำหน้าที่เก็บข้อมูลล่วงหน้าถัดไปจากตำแหน่งที่กำลังเคลื่อน ดังนั้นเราจะได้ค่า X_d ถัดไป นำไปใช้ในการคำนวนหาสัญญาณควบคุมแบบพรีวิว แนวความคิดเกี่ยวกับการควบคุมแบบพรีวิว มักถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบเซอร์โว ดังนั้นเราสามารถนำการแก้ไขแบบพรีวิวรวมเข้ากับการแก้ไขแบบ พี.ไอ. ที่ใช้กับสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยค่าความผิดพลาดของเทอมพรีวิวที่ใช้ในการคำนวนได้มาจาก

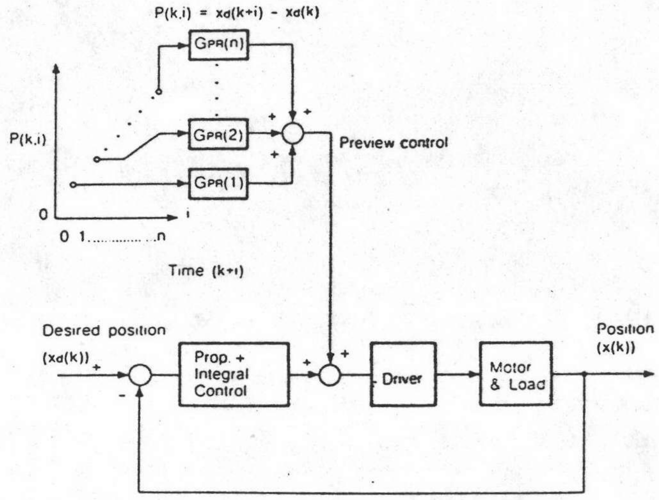
$$P(k,n_p) = X_d(k+n_p) - X_d(k) \qquad (3.3)$$

เมื่อ $P(k,n_p)$ คือค่าความคลาดเคลื่อนของพรีวิว

n_p คือค่าจำนวนจุดอ้างอิงถัดไปจากตำแหน่งปัจจุบัน

$X_d(k+n_p)$ คือจุดพรีวิวก้าวที่ n_p

วิธีการที่รวมเอาการควบคุมแบบพรีวิวกับการควบคุมแบบ พีไอ (PI) แสดงในรูปที่ 3.3 โดยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวขยายแบบพรีวิวมีค่าเฉพาะตัวในแต่ละจุด สมการที่ใช้ในการ



รูปที่ 3.3 แสดงระบบการควบคุมแบบ พี.ไอ.พี กับสเตปปิ้งมอเตอร์

ควบคุมโดยการรวมเทอมการแก้ไขของพรีวิว จะได้

$$U_c(k) = K_p E(k) + K_i \Sigma E(j) + \sum_{i=1}^{n} K_{pr}(i)P(k,i) \qquad (3.4)$$

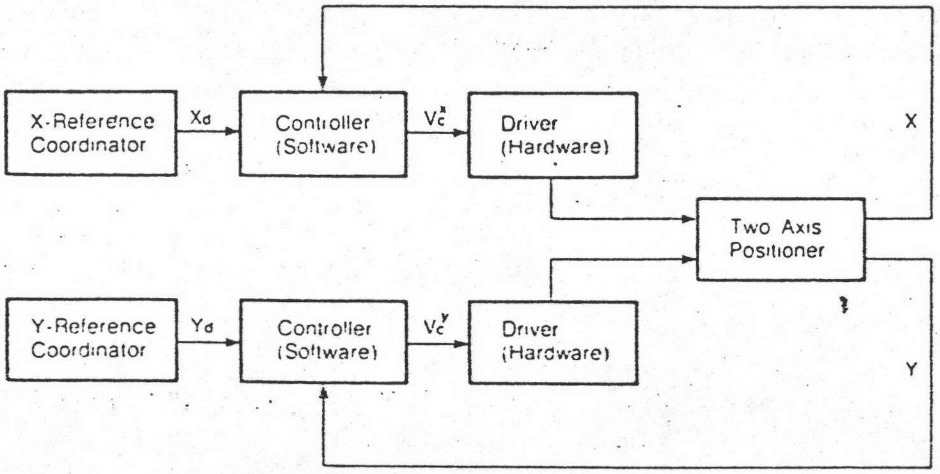
n เป็นจำนวนข้อมูลของพรีวิว

เพื่อที่จะให้เห็นผลจากการรวมเทอมของพรีวิว โดยจะยกตัวอย่างทางเดินของข้อต่อเดียวนี้ เคลื่อนที่ในทิศทาง +X ในรอบต่อไปของการควบคุมแบบเซอร์โว ในกรณีนี้เทอมของค่าผิดพลาดแบบพรีวิวจะมีค่าเป็นบวก(positive) กับอัตราขยายของพรีวิว ซึ่งจะมีผลในการเพิ่มอัตราของสเตปก่อนถึงจุดเปลี่ยนทางเดิน ดังนั้นตัวควบคุมสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของทางเดิน และเริ่มเพิ่มความเร็วก่อนการแทร๊ก(tracking) เกิดขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าเส้นทางที่เคลื่อนที่ถัดไปเปลี่ยนในทิศทาง -X จะทำให้ชลอความเร็วก่อนที่การแทร๊กจะถึงจุดเปลี่ยน

ความโค้ง ดังนั้นเราจะเรียกตัวควบคุมแบบใหม่จากการรวม แบบสัดส่วน แบบอินทิกรัลและแบบพรีวิวว่า ตัวควบคุมแบบ พี.ไอ.พี.

การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.พี. กับโต๊ะ X-Y

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทดสอบระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.พี. ของสเตปปิ้งมอเตอร์เป็นโต๊ะ X-Y ที่มีการเคลื่อนที่แบบคาร์ทีเซียน (cartesian coordinate) โดยมีลีดสกรู(lead screw) ที่เปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อน ต่อเข้ากับแกนของเพลาสเตปปิ้งมอเตอร์และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการคลาดสเตป(miss step) จะใช้ออฟติกกัลอินคริเม้นซ์เอนโคดเดอร์ (optical increment encoder) สำหรับป้อนสัญญาณกลับโดยต่อเข้ากลับแต่ละแกนของลีดสกรู



รูปที่ 3.4 แสดงการประยุกต์ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.พี กับโต๊ะ X-Y

เนื่องมาจากเราไม่มีเครื่องมือ vision หรือ tractile sensing สำหรับส่งข้อมูลพรีวิวไปยังตัวควบคุม ดังนั้นเราจะใช้ข้อมูลของทางเดินที่เก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์แทน ปัญหาอีกอย่างเกี่ยวกับการเลือกสัมประสิทธิ์ตัวขยายของพรีวิวที่จะทำให้สมรรถนะของระบบดีที่สุดเนื่องมาจากค่าเหล่านี้มีค่าเฉพาะตัว เพื่อลดความยุ่งยากดังกล่าวเราจะลดจำนวนพรีวิวให้เหลือเพียงจุดเดียว ดังนั้นสมการข้างต้นจะเปลี่ยนไปเป็น

$$U_c(k) = K_p E(k) + K_i \Sigma E(j) + K_{pr} P(k,n) \qquad (3.5)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนจุดล่วงหน้าของพรีวิว

การสร้างจุดพิกัดอ้างอิงสำหรับเส้นทางเดินแบบต่อเนื่อง

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด ด้วยความเร็วคงที่ตลอดระยะทางที่เคลื่อนที่ สิ่งสำคัญคือการสร้างจุดอ้างอิงสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง จุดอ้างอิงที่สร้างขึ้นที่อยู่ชิดกัน จะอยู่ห่างกันเป็นระยะทางที่คาดว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่กำหนดในช่วงเวลาแต่ละรอบของการควบคุม ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\Delta s = V_{des} * T \qquad (3.6)$$

Δs คือระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในแต่ละรอบของการควบคุม

V_{des} คือความเร็วที่กำหนด

T คือเวลาในการสุ่มค่า

เมื่อทราบระยะทางที่เคลื่อนที่ ก็สามารถนำไปหาจุดพิกัด X-Y ในแต่ละแนวแกนเส้นทางเดินอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ ได้จากการรวมเส้นตรงและเส้นโค้งประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีวิธีการสร้างดังนี้

1. <u>เส้นตรง</u> ข้อมูลจำเป็นที่ต้องใช้ในการสร้างเส้นตรง ได้แก่

1.1 จุดเริ่มต้น (x_o, y_o)

1.2 จุดสิ้นสุด (x_{end}, y_{end})

ค่าความชันของเส้นตรงได้จากสมการ

$$\tan\theta = \frac{y_{end} - y_o}{x_{end} - x_o} \qquad (3.7)$$

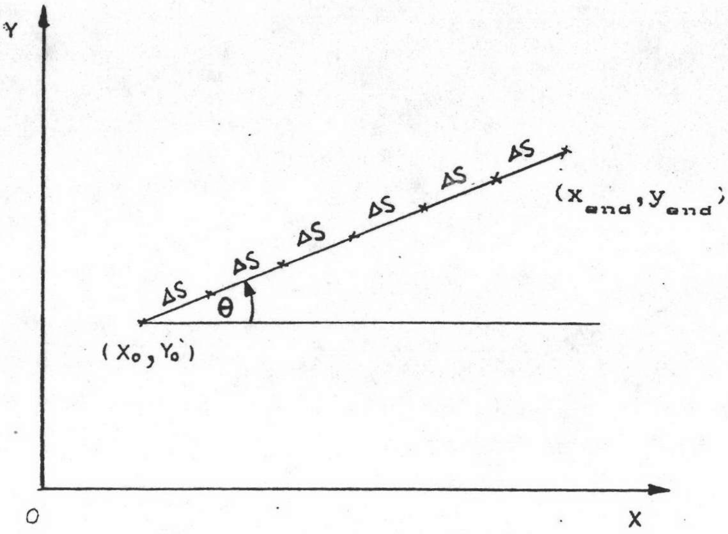
$$\theta = \tan^{-1}\frac{y_{end} - y_o}{(x_{end} - x_o)} \qquad (3.8)$$

ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมด

$$s = \sqrt{(x_{end}-x_o)^2 + (y_{end}-y_o)^2} \quad (3.9)$$

จำนวนจุดอ้างอิงที่ต้องสร้างขึ้น

$$n = s/\Delta s \quad (3.10)$$



รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างจุดพิกัดอ้างอิงในแบบเส้นตรง

จุดพิกัดอ้างอิงในแต่ละแนวแกน จะได้จากสมการที่ (3.11) และ (3.12)

$$x_i = x_o + (i*\Delta s)\cos\theta \quad (3.11)$$

$$y_i = y_o + (i*\Delta s)\sin\theta \quad (3.12)$$

2. <u>เส้นโค้ง</u> ข้อมูลที่ต้องใช้ในการสร้างเส้นโค้งประกอบด้วย

2.1 จุดศูนย์กลาง (x_c,y_c)

2.2 รัศมีส่วนโค้ง (r_o)

2.3 มุมเริ่มต้นเทียบกับแกน X (θ_o)

2.4 มุมสิ้นสุดเทียบกับแกน X (θ_{end})

จากระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในแต่ละรอบของการควบคุม Δs นำไปหาค่ามุมที่เคลื่อนที่ $\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \cos^{-1}[(2r_o^2-\Delta s^2)/(2r_o^2)] \quad \text{rad} \tag{3.13}$$

จำนวนมุมทั้งหมดที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมด

$$\theta = (\theta_{end} - \theta_o)\frac{\pi}{180} \tag{3.14}$$

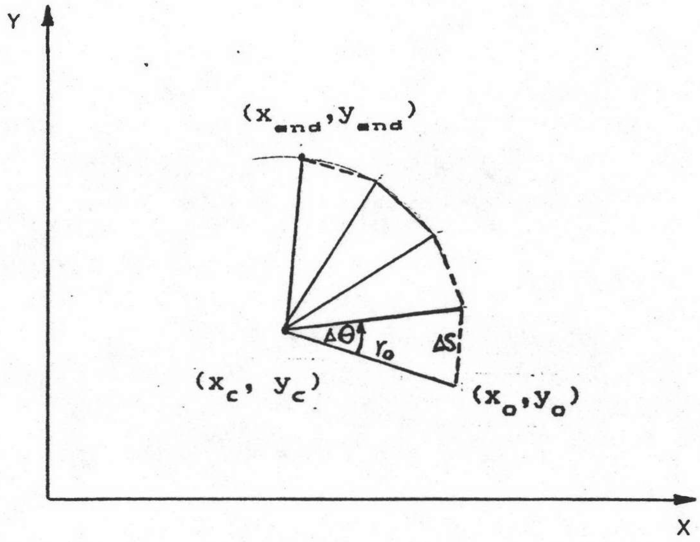
จำนวนจุดอ้างอิงทั้งหมด

$$n = \theta/\Delta\theta \tag{3.15}$$

จุดพิกัดอ้างอิงในแต่ละแนวแกนของเส้นโค้งหาได้จากสมการที่ (3.16) และ (3.17)

$$x_i = r_o*\cos(\theta_o + i*\Delta\theta) + x_c \tag{3.16}$$

$$y_i = r_o*\sin(\theta_o + i*\Delta\theta) + y_c \tag{3.17}$$



รูปที่ 3.6 แสดงการสร้างจุดพิกัดอ้างอิงในแบบเส้นโค้ง

014311