

VARIANTE EN EL ALGORITMO PID PARA EVITAR EL USO DE UN GENERADOR DE TRAYECTORIA TRAPEZOIDAL

Sergio ALBERINO

Pablo FOLINO

Claudio VERRASTRO

Grupo de Inteligencia Artificial
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951- (C1179AAQ) Buenos Aires, ARGENTINA

E-mail: pfolino@hotmail.com
lonrot@hotmail.com
cverra@cae.cnea.gov.ar

Abstract: Se utilizará un controlador PID para un control de posición de motores de C.C., usados en una plataforma robot. Para evitar el problema de sobrecorriente en el arranque se implementa un crecimiento de la velocidad controlado por la ecuación de un "moving average", evitando así utilizar un generador de trayectoria Trapezoidal.

Key-Words: Proporcional, integral, derivativo, moving average, trayectoria, trapezoidal

I. ORIGEN DEL PROYECTO : LA NECESIDAD DE UN CONTROL DE POSICIÓN

La idea es controlar la posición de una plataforma robot autónoma, construida por el Grupo de Inteligencia Artificial (G.I.A.) de la Facultad Regional Buenos Aires (F.R.B.A.) de la Universidad Tecnológica Nacional (U.T.N.).

Para ello se desarrolló una placa con microcontrolador para control de motores de C.C. utilizando PWM. Uno de los motores es el encargado llevar la rueda de dirección a la posición angular deseada y el segundo motor, por otra parte, controla la tracción a fin de darle desplazamiento a la plataforma.

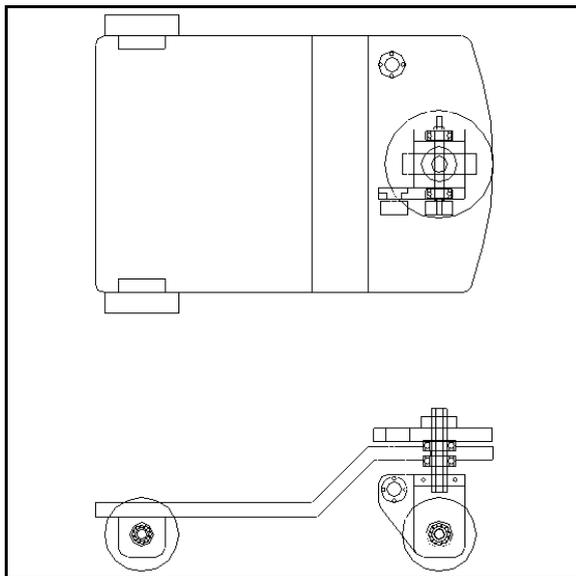


Fig. 1: esquema básico de la plataforma móvil implementada

Con la intención de reducir el error de posición se implementó un control Proporcional-Integral-Derivativo (PID) básico en forma digital utilizando como procesador el microcontrolador de 8bits AVR AT90S8515 de Atmel que tiene una salida PWM integrada.

Un motor de corriente continua (MCC) posee ventajas apreciables con respecto a un motor paso a paso. Generalmente se usan los motores de MCC cuando se necesita *torque*. La principal desventaja cuando se trabaja con éste tipo de motores es el control cuando se necesitan bajas velocidades, sin que pierda *torque*. Una de las técnicas más utilizadas es el control de modulación por ancho de pulso (PWM Power Width Modulation), que consiste en mandar pulsos de amplitud constante, variando su ciclo de actividad, manteniendo el período constante.

La idea surgió de la nota de aplicación AN-532¹, que implementaba el circuito con un microcontrolador PIC y usaba un PID más un generador de trayectoria trapezoidal.

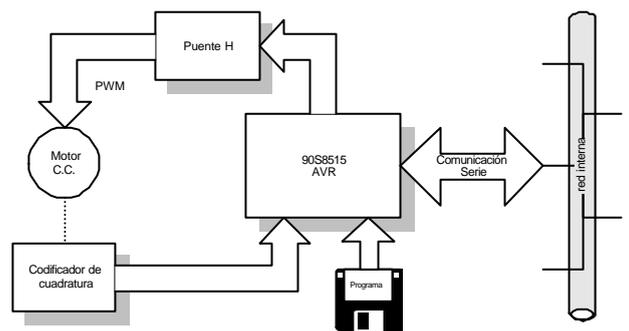


Fig.2: Esquema básico del controlador

II. INTRODUCCIÓN

El control Proporcional Integral Derivativo es la solución ideal para sistemas de control que deseen corregir su respuesta tanto en el transitorio como en el régimen estacionario. ofreciéndonos una gran libertad de acción al tener tres parámetros (K_p , K_i y K_d) con los que ajustar el lazo de control.

El control P.I.D., además, tiene la ventaja de ser un método probado y aplicado en muchas sistemas de control, por lo que existe abundante información y ejemplos de aplicación.

Por otra parte el generador de trayectoria trapezoidal, para lograr un perfil de velocidad controlado, con un tramo de aceleración constante, otro de velocidad constante y finalmente una desaceleración constante, es también un método utilizado ampliamente en el control de posición, probado y difundido.

Sin embargo la aplicación simultanea del P.I.D y el generador de trayectoria trapezoidal con el fin de aprovechar sus respectivas virtudes en el control de posición, resulta compleja y de poca utilidad ya que algunos de sus efectos se contraponen y terminan por interferirse.

Luego de haber experimentado con ambas soluciones (P.I.D y el generador de trayectoria trapezoidal) se optó por un control P.I.D al que se le incorpora un control de velocidad inicial implementado con un "moving average" que agrega una cuarta constante al lazo, K_t que representa la constante de tiempo inicial para que el sistema alcance la velocidad nominal.

III. PROBLEMA QUE DEBE AFRONTAR EL CONTROLADOR

Típicamente el control P.I.D. responde con una acción que es proporcional al error de posición (*posición actual – posición anterior*). En el momento inicial, cuando se le indica al controlador que debe moverse a una nueva posición, el error es grande y por lo tanto el controlador responde con un valor de salida importante. Esto hace que el motor pase de la inactividad a tratar de desarrollar la velocidad máxima, produciéndose un sobre pico de corriente que produce varios efectos negativos: Un fuerte exigencia para la batería que debe suministrar el pico de corriente, posibilidad de error por resbalamiento de las ruedas de tracción, interferencia eléctrica, y reducción de la vida útil del motor y otras partes mecánicas.

IV. EL ALGORITMO P.I.D.

El P.I.D. como su nombre lo indica, realiza un control proporcional + Integral + derivativo, lo cual significa que si bien tiene una acción proporcional al error entre la salida y el valor deseado, también puede corregir el error permanente y mejorar la respuesta en el transitorio. La ecuación típica es:

$$y[n] = K_p \cdot e[t] + K_i \int e(t) dt + K_d d(e(t))/dt$$

Referencias:

K_p = Constante del control proporcional

K_d = Constante del control diferencial

K_i = Constante del control integral

$e[t]$ = error de posición (*posición actual – posición anterior*)

Cuando se trata de un control digital se utiliza un algoritmo P.I.D. discreto como el siguiente

$$y[n] = K_p \cdot e[n] + K_i \cdot a[n] + K_d \cdot (e[n-1] - e[n])$$

$$a[n] = \sum e[n]$$

$e[n]$ = error de posición (*posición actual – posición anterior*)

$e[n-1]$ = error de posición del ciclo anterior

$a[n]$ = suma algebraica de los errores de posición

Sentido de las constantes del PID

El controlador más simple y efectivo que puede usarse es el control proporcional, que presenta una salida proporcional al error entre la salida deseada y la obtenida. La desventaja de este controlador es que a medida que el error disminuye, es decir cuando la salida tiende al valor deseado, pierde "fuerza" ya que como el error tiende a cero la acción correctiva también tiende a cero y no se llega nunca al valor deseado de salida.

La acción Integral justamente corrige este defecto, elevando el tipo de sistema y eliminando el error en el régimen permanente

La acción derivativa mejora el transitorio y reduce el tiempo de establecimiento (el tiempo que tarda en llegar al valor deseado, o a un porcentaje del mismo)

En el siguiente cuadro se reducen estas características indicando qué ocurre cuando aumentan los valores de K_p , K_i y K_d

	Sobre impulso	Tiempo de establecimiento	Error permanente
K_p	Aumenta	No afecta	Disminuye
K_i	Aumenta	Aumenta	Elimina
K_d	Disminuye	Disminuye	No afecta

Si bien esto no es exactamente así, ya que los efectos de las constantes del PID dependen a su vez unas de otras., expresa el sentido de estas constantes.

Efecto Anti Windup

Como la integral resulta de la sumatoria de los errores de cada ciclo, se corre el riesgo de saturar la integral para valores de error relativamente grandes, lo que trae aparejado oscilaciones bruscas y el problema de que al tener la sumatoria un valor grande se hace mayor el tiempo necesario para reducir la suma cuando se reduce el error.

Para evitar esto se hace trabajar a la integral solo dentro de valores de posición cercanos a la posición deseada de modo de integrar solo errores pequeños.

Diagrama de flujo del control P.I.D.

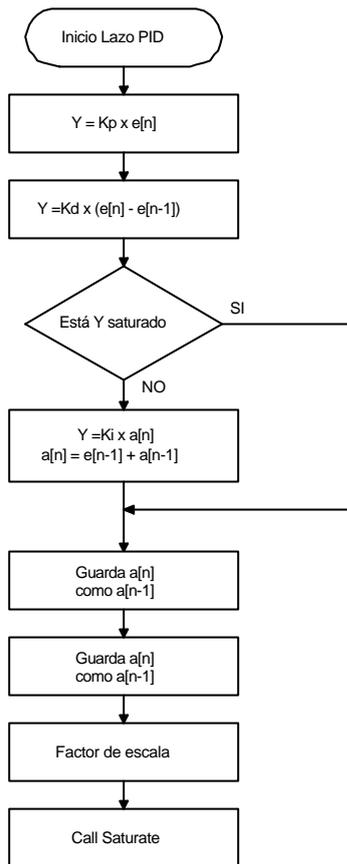


Fig. 3: Digrama de flujo del control PID

V. GENERADOR DE TRAYECTORIA TRAPEZOIDAL

Para lograr un movimiento suave tanto en la dirección como en la tracción, se desarrolló un algoritmo que permitiera generar un perfil de velocidad de forma trapezoidal. (según la AN 532).

Esto significa que el movimiento comienza con una determinada aceleración constante hasta alcanzar la velocidad máxima deseada, luego continuará a velocidad constante, y finalmente comenzará a frenarse con desaceleración constante, finalizando su recorrido en la posición final deseada. La aceleración, la velocidad máxima y la posición final se envían como comandos al microcontrolador.



Fig. 4: Trayectoria Trapezoidal

El generador de trayectoria trapezoidal se dedica a “mentirle” al control PID sobre la posición a la que debe llegar, controlando así el valor del error de posición y como eso determina (en forma proporcional-integral-derivativa) la salida PWM para el motor, entonces es posible controlar la aceleración y velocidad del sistema según las ecuaciones clásicas de MRUV.

$$v(t) = V_0 + a.t$$

$$y(t) = Y_0 + V_0.t + \frac{1}{2}a.t^2$$

El microcontrolador recibía velocidad máxima y aceleración, para hacer estos cálculos

VI. MOVING AVERAGE

La técnica de moving average es muy utilizada para obtener promedios sobre muestras a medida que estas “van ingresando”. La idea consiste en tomar N muestras, sumarlas y dividir las por N, con lo que se obtiene el promedio. Pero a su vez, con el ingreso de cada nueva muestra se le suma ese nuevo valor (sobre N) y se le resta una muestra promedio (el promedio sobre N)

La ecuación queda correspondiente queda así

$$P[n] = (N-1) P[n-1] / N + X/N$$

O, lo que es lo mismo

$$P[n] = P[n-1] - P[n-1]/N + X/N$$

$$P[n] = 1/N (N.P[n-1] - P[n-1] + X)$$

Cuando X pasa de un valor cero a otro valor constante, o lo que es lo mismo

$$X = K . u(t)$$

El promedio tiende al valor K después de que hayan pasado varios ciclos.

Por ejemplo si N=10 y K=1 (escalón unitario)

$$P[n] = P[n-1] - P[n-1]/N + X/N$$

Ciclo	Prom	P-1	P-1/N	K/N
0	0	0	0	0
1	0.1	0	0	0.1
2	0.19	0.1	0.01	0.1
3	0.271	0.19	0.019	0.1
4	0.344	0.271	0.027	0.1
5	0.41	0.344	0.034	0.1
6	0.469	0.41	0.041	0.1
7	0.522	0.469	0.047	0.1
8	0.57	0.522	0.052	0.1
9	0.613	0.57	0.057	0.1
10	0.652	0.613	0.061	0.1

Como puede verse para N ciclos se llegó al 65% del valor final. El Promedio alcanza el valor K para aproximadamente 5 veces N ciclos. Lo cual se asemeja mucho al caso de una ecuación del tipo

$$y = K(1 - e^{-t/\tau})$$

Donde N se comporta como una constante de tiempo, cuyo valor temporal tendrá que ver también con un factor de escala dado por el intervalo de tiempo de cada ciclo.

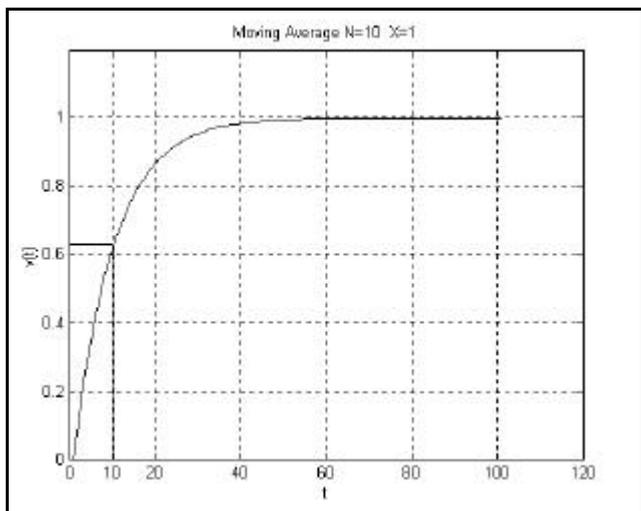


Fig. 5: Respuesta del moving average al escalón

VII. EL PROBLEMA Y LA SOLUCIÓN PROPUESTA

El problema con el control de trayectoria trapezoidal es que consume bastante tiempo del microcontrolador haciendo el cálculo de la posición correspondiente para lograr la aceleración y velocidad requeridos.

También ocurre que, en el P.I.D. + generador de trayectoria trapezoidal, cuando el dispositivo se acerca a la posición final la integral no está funcionando correctamente porque el generador de trayectoria le “miente” su posición continuamente por lo que el error de posición se hace mínimo y la integral no “acumula” lo suficiente para hacer una corrección.

Si el control de trayectoria no comete error en alcanzar su posición final, la integral no funciona y se hace innecesaria (el control de trayectoria hace el trabajo completo), pero si no es así, la corrección de posición ocurrirá un lapso después de detenido el dispositivo siendo muy lento si la constante integral es pequeña o muy brusco si la constante es grande.

Lo mismo ocurre con la derivada. Como el P.I.D. sigue la trayectoria trazada no hay cambios significativos en la pendiente de la posición y el término derivativo del P.I.D. no alcanza un valor significativo.

En definitiva el PID se encarga de “seguir” al control de trayectoria y entonces se pierden sus virtudes

(corrección de errores) en pos del control de velocidad y aceleración.

En conclusión ambos métodos de control tienen defectos y virtudes, pero el uso simultáneo es un desperdicio de recursos para poca ganancia.

<i>PID solo</i>	<i>PID + control de trayectoria trapezoidal</i>	<i>PID + Moving average</i>
Sencillo	Muchos cálculos	Algunos cálculos
Arranca con vel.máxima (pico elevado de corriente en el motor)	Arranca suavemente en función de la “a” indicada	Arranca suavemente en función de “Kt”
Desacelera en función de “Kp, Ki y Kd”	Desacelera en función de la “a” indicada	Desacelera en función de “Kp, Ki y Kd”
Se indica posición + Kp, Ki y Kd	Se indica posición + Kp, Ki., Kd, a, vel. Max.	Se indica posición + Kp, Ki, Kd y Kt

La propuesta consiste en dejar un P.I.D. libre, sin el generador de trayectoria, de modo que realice la corrección de errores en función de las variaciones reales de la posición pero agregándole un limitador de velocidad inicial implementado con un moving average de velocidad, que actúa como un integrador extra en el inicio del movimiento para reducir el sobrepico de corriente.

El moving average es controlado por la constante Kt que representa la constante de tiempo necesaria para alcanzar el valor nominal de salida, con lo que el sistema queda controlado por cuatro variables (PID y t)

Al no utilizar el generador de trayectoria trapezoidal, perdemos la posibilidad de definir la velocidad y aceleración del sistema. Pero como la variable a controlar es la posición, la velocidad y aceleración solo son importantes en virtud de su utilidad para la corrección de errores de posición (por ejemplo reduciendo el sobreimpulso en el arranque)

Pero además, con el moving average, por tratarse de un promedio, estamos agregando un filtro que absorbe las variaciones indeseadas que pueda haber durante el tiempo que tarda en llegar a la velocidad máxima.

La implementación del moving average para mejorar el arranque también se aprovechó para realizar un control de velocidad de la plataforma móvil. con perfiles “suavizados” de velocidad. De hecho el método propuesto es compatible con un límite de velocidad al igual que el control de Trayectoria.

VIII. CONCLUSIONES

En la práctica se probaron los tres métodos de control: PID solo, PID + control de trayectoria trapezoidal, y PID + Moving average.

Primero se utilizó el PID solo, con el que se obtuvieron buenos resultados en cuanto a la corrección de errores, pero con el inconveniente de una alta exigencia de las baterías y fuentes utilizadas en la experimentación. Luego se ensayó un PID + control de trayectoria trapezoidal, que mejoró el problema inicial, pero con inconvenientes en la programación por la excesiva cantidad de líneas de programa y la necesidad de mayor memoria y potencia de cálculo.

Además, analizando estos inconvenientes se observó la interferencia de efectos entre el PID y el generador de trayectoria.

Se plantearon tres opciones:

- la posibilidad de migrar a un microcontrolador superior. (el micro debía calcular la trayectoria, y también la integral y la derivada)
- Eliminar el PID (El control de trayectoria hace todo)
- Eliminar el control de trayectoria trapezoidal

Se optó por simplificar la programación eliminando el generador de trayectoria y reemplazándolo por un sistema más natural, donde el PID opera libremente.

El agregado final del moving average corrigió el inconveniente del PID y aportó la posibilidad de controlar la pendiente de aceleración en forma sencilla. Además de agregar un filtro de la variable controlada durante su acción.

Esta fue la solución que en la práctica resultó más eficiente (mejores prestaciones con menores exigencias de hardware) y la que actualmente estamos utilizando.

IX. REFERENCIAS

¹MICROCHIP - Nota de Aplicación AN-532
“*Servo Control of a DC-Brush Motor*”

OGATA, Katsuhiko – “*Ingeniería de control moderno*”, 3^o edición PRENTICE HALL, México, 1998, Pag. 669-692

X. AGRADECIMIENTOS

A toda la gente del Grupo de Inteligencia Artificial, por su colaboración y apoyo.