

Control de una plataforma diferencial por medio de escalamiento temporal

Control of a differential platform using time scaling

Katherine Tovar¹, Miguel Ángel Escobar², Danilo Rairán³

ktovarp@correo.udistrital.edu.co¹, maescobar@correo.udistrital.edu.co², drairan@udistrital.edu.co³

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Resumen—El propósito de este documento es de dar a conocer que el escalamiento temporal puede ser utilizado como una herramienta de control. Dado que facilita cambiar la escala de tiempo de un sistema, ya sea este muy rápido o muy lento, a una escala de tiempo más cómoda y manejable. Para así, facilitarle al ser humano que realiza el control al nuevo sistema, tomar de manera correcta y con el tiempo necesario las decisiones que crea convenientes para llevar a cabo un control o de contar con el tiempo para corregir errores de ser necesario. Así, se puede emplear el escalamiento temporal para controlar el movimiento de la plataforma diferencial DaNI 2.0 a modo de simulación. El desarrollo de este procedimiento se lleva a cabo en el software Matlab y Simulink.

Palabras clave— Escalamiento temporal, Factor de escalamiento, plataforma diferencial.

I. INTRODUCCIÓN

El ser humano es uno de los mejores controladores, debido a que cuenta con la capacidad para realizar cualquier tipo de actividad en la que involucre la toma de decisiones, de esta forma es capaz de corregir cualquier situación que se presente, para así optar por el mejor camino hacia su objetivo. Sin embargo, las capacidades del ser humano se ven limitadas por el tiempo, ya que, si la persona realiza el control por un periodo de tiempo muy largo, puede aburrirse y cometer errores, se distraería, si, por el contrario, el tiempo de control es demasiado corto, la persona no podría reaccionar adecuadamente y le sería imposible realizar cualquier acción. Pero al utilizar el “escalamiento temporal”, el tiempo ya no sería una limitación para el ser humano al momento de realizar el control, como se muestra en [1], además sería capaz de controlar diferentes plantas o sistemas, ya sean estos muy rápidos o muy lentos, como se puede observar en [2], donde se tratan sistemas tales como, el control de temperatura, el control de posición de un motor dc y el sistema de levitación magnética. (Para llevar a cabo) el proceso de escalamiento temporal, se deben seguir ciertos pasos, como los mencionados en [3]: primero se debe escalar el sistema; como segundo paso, el ser humano controla el sistema escalado; en el tercero la red neuronal copia el desempeño de la persona; y como último paso, la red neuronal controla el sistema original. De esta forma el escalamiento temporal se convierte en el método que le permite al ser humano sobrepasar limitaciones al momento de controlar procesos muy rápidos o muy lentos

El objetivo principal de este documento es presentar la

aplicación del escalamiento temporal para un sistema específico, en este caso el control de movimiento de la plataforma diferencial DaNI 2.0, ya que el sistema que se va a tratar es un sistema rápido para ser controlado por un ser humano en tiempo real. Lo que se busca es controlarlo de manera escalada y a modo de simulación, para que luego pueda ser controlado de una manera más fácil por cualquier ser humano.

Para el proceso de control se parte del modelo matemático de la plataforma diferencial a controlar, el cual está compuesto por una serie de ecuaciones cinemáticas, como se observa en el trabajo realizado en [4], ya que en este utilizan el modelo matemático de la plataforma diferencial, pero realizan el control de movimiento por medio de funciones sigmoideas. Así mismo se tiene en cuenta el estudio realizado en [5], en donde utilizaron el escalamiento temporal para controlar la orientación y posición del modelo del auto Ford Focus, primero a manera de simulación y luego aplicando los resultados arrojados por estas simulaciones para ser probadas con el auto real en maniobras de aparcamiento. También es importante considerar el trabajo en [6], en donde también trabajan con el modelo matemático de la plataforma a controlar, pero realizan el control de movimiento basándose en emociones emuladas, en donde cada estado emocional ayuda a tomar las decisiones del controlador para dirigir al robot.

Ahora, al trabajar el sistema con tiempo escalado, la tasa de cambio entre el tiempo real y el escalado, se ve reflejado en una constante, kt . A esta constante se le llama factor de escalamiento y es la que permite variar el tiempo del sistema. Si este factor de escalamiento es mayor que 1, genera un sistema rápido, esto quiere decir que la simulación se hace más rápida que en la realidad, por el contrario, si es un factor de escalamiento menor que 1, genera un sistema lento, o sea que el tiempo de la simulación transcurre más lento que el real.

En este trabajo se presenta la selección del mejor factor de escalamiento, kt , el cual permite que el control que debe llevar a cabo un ser humano, se ejecute de una manera cómoda y fácil y que cuente con el tiempo necesario para reaccionar ante cualquier situación. Por tal razón se realizaron pruebas de simulación, experimentando con siete factores de escalamiento, kt . Se simuló que la plataforma diferencial, recorriera una trayectoria definida, la cual debía completar 4 vueltas. Al final de todo este proceso se comparan los datos

obtenidos de cada kt, para así elegir el que se adapte al sistema con el menor error, en cuanto a distancia y ángulo con respecto a la trayectoria de referencia que se ha presentado.

Para llevar a cabo este proceso de escalamiento, se emplea la herramienta Matlab y Simulink, las cuales permiten realizar el control de la plataforma diferencial, modificando desde estas los parámetros para aplicar el escalamiento temporal, en este caso ya no se utilizaría el tiempo real del sistema, si no que se pasa a tiempo escalizado, es decir, se puede pasar de milisegundos a segundos.

II. MODELO MATEMÁTICO DE LA PLATAFORMA DIFERENCIAL

En el modelo matemático de la plataforma diferencial DaNI 2.0, se deben considerar parámetros como los expuestos y explicados en [7], la distancia entre las ruedas, $b = 0.37$ m, la velocidad lineal de la rueda derecha, v_R , la velocidad lineal de la rueda izquierda, v_L , las variables de posición inicial del sistema x_0 , y_0 y θ_0 , ya que son fundamentales para el funcionamiento de la plataforma diferencial, como resultado de esto obtendríamos las 3 ecuaciones de movimiento que se muestran en la ecuación 1, las cuales permiten determinar las coordenadas del robot en cada instante de tiempo.

$$\begin{aligned}\theta &= \theta_0 + \frac{1}{b} \int_0^t (v_R - v_L) dt \\ x &= x_0 + \frac{1}{2} \int_0^t (v_R + v_L) \cos(\theta) dt \\ y &= y_0 + \frac{1}{2} \int_0^t (v_R + v_L) \sin(\theta) dt\end{aligned}\quad (1)$$

Además de las ecuaciones de movimiento, es necesario contar con la función de transferencia de la dinámica de los motores de la plataforma diferencial, lo cual se muestra en la ecuación 2, en donde $Vel(s)$ es la velocidad lineal de cada rueda, mientras $V(s)$ es la velocidad de referencia, la cual se establece por medio del voltaje con el cual se alimenta a cada motor.

$$H(s) = \frac{Vel(s)}{V(s)} = \frac{6.9}{s^2 + 5.3s + 6.9}\quad (2)$$

Partiendo de las ecuaciones 1 y 2 se construye el modelo matemático de la plataforma diferencial. Para la simulación del robot se optó por utilizar un diagrama de bloques hecho en simulink, como se muestra en la figura 1.a. La dinámica de los motores se encuentra en los bloques denominados *Rueda izquierda* y *Rueda derecha*. Las ecuaciones cinemáticas, están dentro del bloque llamado *Modelo cinemático*. Los valores iniciales para el funcionamiento de este movimiento son las entradas x_0 , y_0 , θ_0 y b , las cuales son constantes.

Como se puede observar en la figura 1.b, al ser la velocidad de la rueda derecha mayor que la velocidad de la rueda izquierda, la plataforma diferencial se dirige hacia el lado izquierdo. Este es el punto de partida de control, ya que para poder controlar el movimiento de la plataforma diferencial, se deben ir variando las velocidades de los motores, para así, dirigir la plataforma diferencial hacia el objetivo establecido.

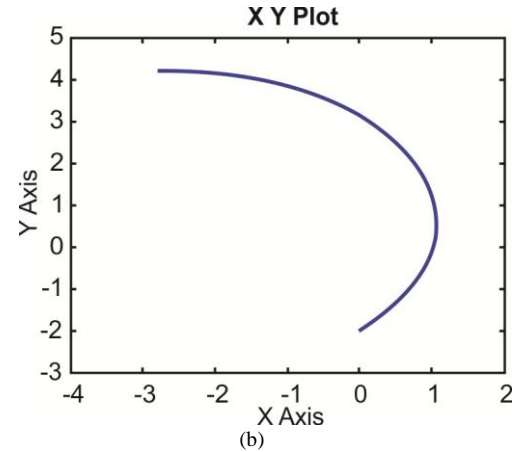
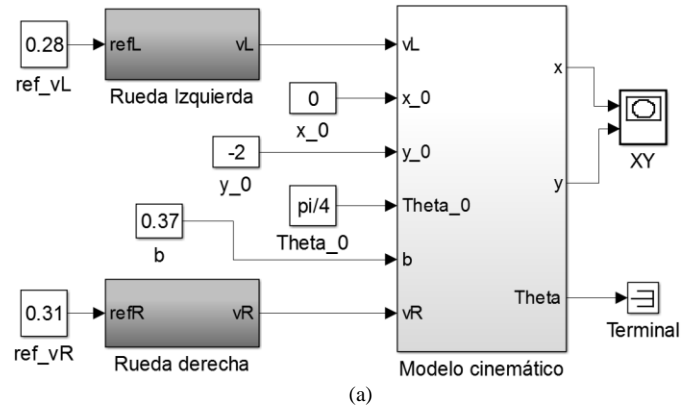


Figura 1. Modelo cinemático de la plataforma diferencial. a) Modelo de la plataforma diferencial en simulink, b) simulación de movimiento.

III. ESCALAMIENTO TEMPORAL DE LA PLATAFORMA DIFERENCIAL

Con el fin de realizar el escalamiento temporal de la plataforma diferencial, primero se deben obtener las funciones de transferencia de las ecuaciones de movimiento del robot, así, al contar con todos los parámetros que necesita la plataforma diferencial para realizar el movimiento. Lo siguiente es modificar la función de transferencia de la dinámica de los motores de las ruedas y las funciones de transferencia de las ecuaciones de movimiento de la plataforma diferencial. Esto, con el fin de aplicarles el algoritmo del escalamiento temporal, como se explica en [1], lo cual se hace posible por el desplazamiento de los polos y ceros de la función de transferencia hacia el origen del plano S, esto se logra escalando los polos y ceros de la función de transferencia y multiplicándolos por un factor de escalamiento kt. Al efectuar esto lo que cambia es la escala de tiempo, es decir, la forma y la amplitud del sistema escalizado y el original es la misma. Este método de escalamiento se puede aplicar a cualquier sistema, no importa la cantidad de polos y ceros que este tenga, por otro lado, el factor de escalamiento, kt, desempeña una función fundamental en el proceso de escalamiento, dado que este convierte los sistemas lentos a rápidos si el valor del kt es mayor a uno y, viceversa si el valor del kt es menor a uno. Lo que se busca con esto es hacer que el sistema sea más lento, con el fin que sea más fácil controlar

el modelo de la plataforma diferencial por un ser humano. De esta forma, las ecuaciones 1 y 2 de la plataforma diferencial, pasan a ser las ecuaciones 3 y 4 respectivamente ya escalizadas.

$$\begin{aligned}\theta &= \theta_0 + \frac{1}{b} * \frac{kt}{s} (v_R - v_L) \\ x &= x_0 + \frac{1}{2} * \frac{kt}{s} (v_R + v_L) \cos(\theta) \\ y &= y_0 + \frac{1}{2} * \frac{kt}{s} (v_R + v_L) \sin(\theta)\end{aligned}\quad (3)$$

$$H(s) = \frac{6.9 * kt^2}{s^2 + 5.3s + kt + 6.9 * kt^2}\quad (4)$$

Después de aplicar este cambio al sistema, se puede trabajar de una manera más cómoda para el ser humano. Además, el sistema original no sufre ninguna alteración en su funcionamiento, ya que, al emplear el escalamiento temporal, ya no es necesario tener en cuenta el tiempo en el cual se obtienen los datos, si no el orden en que estos datos se van adquiriendo, es decir, que al escalizar el sistema no va a importar que la simulación se complete en segundos o minutos, dependiendo del valor en el factor de escalamiento que se esté trabajando, si no, la cantidad de muestras que se recolecten, dado que, tanto para el tiempo no escalizado como para el tiempo escalizado, este número de muestras debe ser igual.

IV. CONTROL UTILIZANDO ESCALAMIENTO TEMPORAL

Al utilizar el escalamiento temporal para controlar la plataforma diferencial DaNI 2.0, se deben llevar a cabo una serie de procedimientos, los cuales se desarrollan de la siguiente manera; primero, se obtiene el modelo matemático de la plataforma diferencial, que se muestra en las ecuaciones 1 y 2, luego se aplica el algoritmo de escalamiento temporal a la ecuación 1 y 2, para así escalizar esta y obtener la ecuación 3 y 4 como se mostró anteriormente.

Cuando se realiza el cambio en las ecuaciones 1 y 2, lo que se busca es escalizar el sistema, para que sea más lento que el sistema original. Esto se logra gracias a que se coloca un factor de escalamiento kt menor que 1.

Para el segundo paso se empieza a controlar la plataforma diferencial, entrenando con 7 diferentes factores de escalamiento kt , hasta lograr seguir lo mejor posible la trayectoria de referencia establecida y tratar de hacerlo con el mínimo error en distancia y ángulo. Este proceso se llevó a cabo utilizando la interfaz gráfica que se muestra en la figura 2.a, desde esta se puede cambiar el número de vueltas a realizar y el factor de escalamiento kt . La interfaz gráfica cuenta con tres partes, en la parte superior, aparece la pista que se debe seguir, para este caso se estableció completar 4 vueltas, esta trayectoria se crea a partir de la ecuación 5.

$$\begin{aligned}x &= \cos(w * t) \\ y &= \sin(2w * t)\end{aligned}\quad (5)$$

También incluye la referencia que se debe seguir y la plataforma diferencial, la referencia se muestra como un cuadrado y la plataforma diferencial se muestra también como un cuadrado, pero cuenta con una línea que parte desde el centro de este cuadrado y es la que le permite a la persona que controla tener un guía al momento de realizar la simulación, esto con el fin de no perder la orientación de la plataforma diferencial con respecto a la referencia. En la esquina inferior izquierda de la figura 2.a, se encuentra la ventana de guía, la cual contiene la referencia y la plataforma diferencial, en esta se puede obtener una aproximación de la distancia a la cual se encuentra la referencia y la plataforma diferencial, además permite ver el ángulo que se forma entre ellas. La función de esta ventana es corregir tanto el error de la distancia como el del ángulo, entre ambas a lo largo de la simulación, esto con el fin de obtener los mejores resultados. En la esquina inferior derecha se encuentra la ventana de control, en esta se controla con el puntero del ratón del computador, y permite mover la plataforma diferencial de izquierda a derecha y aumentar o disminuir la velocidad moviendo el puntero de arriba abajo respectivamente.

Los pasos mencionados anteriormente se desarrollan por medio de Simulink, como se muestra en la figura 2.b, el cual permite relacionar el control realizado por el puntero al modelo escalizado de la plataforma diferencial.

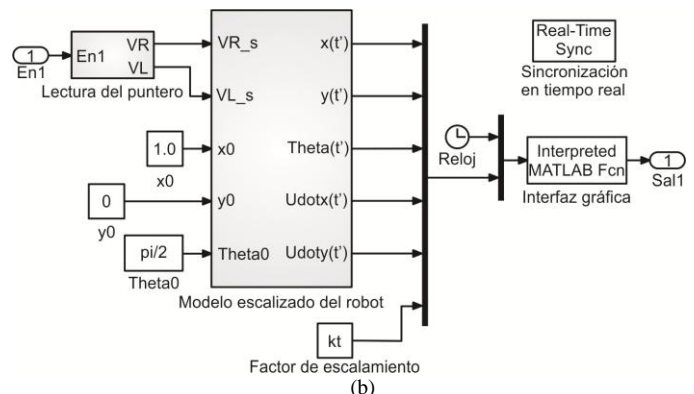
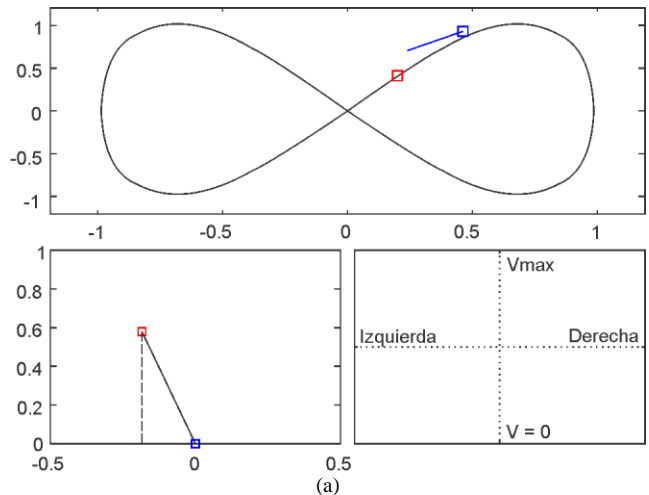


Figura 2. Captura de datos y modelo escalizado. a) Interfaz gráfica, b) modelo escalizado de la plataforma diferencial.

En el tercer paso del procedimiento de control mediante escalamiento temporal se entrena una red neuronal, proporcionándole los datos obtenidos en el paso anterior. Esta red copia las acciones que se realizan en las simulaciones, con los diferentes kt . Esto para luego ser colocada en la simulación, con el sistema escalado y así observar el comportamiento de esta al seguir la referencia. Si los resultados son satisfactorios esta se prueba en el sistema que corre a tiempo no escalado.

Para el cuarto paso, la red neuronal se coloca en el sistema original, para que esta lo controle y así, de manera automática, la red neuronal controla a la plataforma diferencial.

V. SELECCIÓN DEL kt MÁS ADECUADO

La forma de seleccionar el kt más adecuado consiste en entrenar siete factores de escalamiento, kt , los cuales son: $1/4$, $1/3$, $5/12$, $1/2$, $7/12$, $2/3$ y $3/4$. Para la elección de estos factores de escalamiento, se parte de la mitad del tiempo real y se buscan valores cercanos a este, con el fin que no se alejen demasiado de $1/2$, para así garantizar que al momento de realizar las simulaciones, estas no sean muy lentas o que estén demasiado cercanas al tiempo real y se buscan valores cercanos a este, por derecha y por izquierda, con el fin que no se alejen demasiado de $1/2$, para así poder garantizar que al momento de realizar las simulaciones, estas no fueran muy lentas o demasiado cercanas al tiempo real de la plataforma diferencial, dado que, para valores kt altos a los establecidos, el tiempo de simulación es rápido y complicado para controlar la plataforma diferencial con el menor error posible, por otro lado, valores por debajo de los kt seleccionados, hacen que el tiempo en simulación sea más largo, haciendo que el control sea tedioso y aburrido para el ser humano que se encuentre entrenando con el sistema.

Para cada factor de escalamiento kt se realizaron 20 simulaciones, de estas se eligieron las cinco mejores de cada factor de escalamiento kt . Esta elección se basa en el promedio entre el índice de error de la distancia y el índice de error del ángulo, las cuales se llamaron IR e ITh, respectivamente. Con el valor del índice final, IF , de cada factor de escalamiento kt , se construyó la gráfica de la figura 3, en la cual se muestran los siete factores de escalamiento kt dentro de una caja rectangular, en la cual los bordes superior e inferior corresponden al cuartil 3 y al cuartil 1, respectivamente, esta medida se usa para obtener estadísticamente el 75% y el 25% de las muestras. De esta grafica se señalan los valores máximos (extremo superior), mínimos(extremo inferior) y la mediana(línea dentro del rectángulo) de los cinco valores que se obtuvieron para comparar cada factor de escalamiento, y así, de esta grafica se selecciona el kt con el índice más bajo, es decir, $kt = 5/12$.

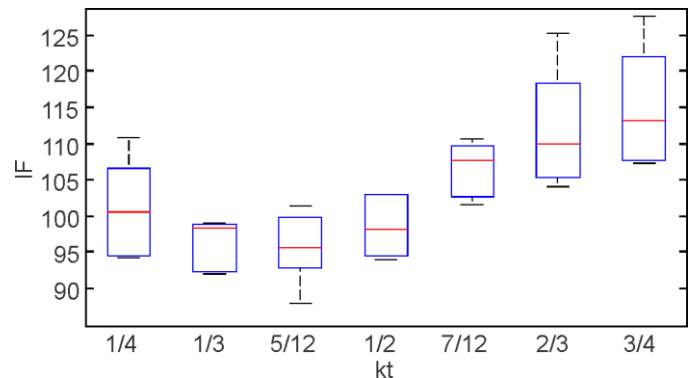


Figura 3. Resultado experimental de los siete factores de escalamiento kt

VI. CONCLUSIONES

Se observa que al realizar el control por medio del escalamiento temporal se obtiene un mejor manejo de la plataforma diferencial DaNI 2.0, a modo de simulación, ya que es posible hallar un factor de escalamiento kt , el cual es apropiado para que un humano realice el control de manera adecuada, contando con el tiempo suficiente para reaccionar ante cualquier situación y así mismo estar en capacidad de corregir en caso de cualquier eventualidad.

Por otra parte, el ser humano debe contar con el tiempo suficiente para adaptarse a cualquier cambio en la escala de tiempo que esté trabajando. Si no cuenta con el tiempo necesario de entrenamiento en esa nueva escala, es muy probable que los resultados no sean satisfactorios al momento de realizar el control, ya que la persona no podrá reaccionar correctamente a los cambios que se le presenten por causa de no haber tenido el debido tiempo de preparación, el cual va relacionado con la complejidad del sistema, debido a que, si el sistema es sencillo al ser humano le costara menos tiempo para adaptarse al sistema y realizar el control de forma satisfactoria, en caso contrario, necesitaría de más tiempo de entrenamiento para acondicionarse a ese tipo de escala y así obtener resultados óptimos.

En cuanto a trabajo futuro, es interesante observar este método de control, aplicado a sistemas más complejos, y así usar las habilidades únicas que tienen los seres humanos para controlar.

VII. REFERENCIAS

- [1] D. Rairán, "Time scaling, a key to control dynamical systems", (sin publicar).
- [2] A. Mateus, D. Rairán, "Aprovechamiento de las habilidades humanas para el control de sistemas dinámicos lineales", trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2014.
- [3] K. Tovar, A. Escobar, D. Rairán "Escalamiento temporal", [en línea], Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, junio 2016. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=lorHgoBXOnY>
- [4] J. D. Rairán, "Robot path optimization based on a reference model and sigmoid functions", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2015.

- [5] Bálint Kiss and Emese Szádeczky-Kardoss, “Time-scaling in the control of mechatronic systems”, *New Developments in Robotics Automation and Control*, pp. 411 – 426, 2008.
- [6] J. D. Rairán, L. F. Niño “Robot-motion control based on anticipatory emotions”, (sin publicar).
- [7] F. Salem, “Dynamic and Kinematics Models and Control for Differential Drive Mobile Robots”, *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 253-263, junio 2013.