

Análisis del Control de Tráfico Utilizando Lógica Difusa

Samuel Ibarra, *Estudiante de Maestría en la Universidad Tecnológica de Panamá, ing.samuelibarra@gmail.com*

Abstract—Este documento presenta el trabajo final de la materia Control Inteligente, dictada por el profesor Danilo Caceres, en la cual se estudiaron distintas formas de control entre las cuales se puede destacar las redes neuronales y la lógica difusa, siendo este último tema el objeto de estudio a tocar en este documento. En este documento realizaremos un estudio de un artículo que aplica los conceptos y algoritmos típicos que se suelen utilizar en la lógica difusa, para tener una mejor comprensión del tema y a su vez, desarrollar habilidades de análisis de temas relacionados a este tipo de lógica. Se presentaran en este documento seis partes, las cuales tendrán como objetivo explicar con nuestras palabras los conceptos utilizados para el análisis difuso.

Index Terms—Lógica difusa, señal de tráfico, controlador de lógica difusa, intersección urbana, grado de emergencia

I. INTRODUCCIÓN

EN La logica difusa fue formulada en 1965 por el matemático e ingeniero Lotfi A. Zadeh. En esta, se busca adaptar mejor los calculos logicos, intentando hacerlos mas parecidos al mundo real en el que vivimos, desarrollando esta para que logre entener variables linguisticas tan comunes como hace mucho calor, no es muy alto, el ritmo del corazon esta un poco acelerado. Su teoria de conjuntos posee operaciones que se realizan en la logica clasica como lo son la union, la interseccion, diferencia, negacion o complemento.

Los conjuntos difusos poseen ciertas características como el universo de discurso de ellas, la funcion de membresia, que es la medida de pertenencia del elemento al conjunto, su dominio y su imagen. Las reglas difusas pueden aplicarse tanto a conjuntos discretos como a conjuntos continuos. Las operaciones basicas para determinar la mayoria de las operaciones que se pueden realizar se basan en el minimo y el maximo, que vienen a reemplazar la union y la interseccion de un elemento de logica clasica. Las operaciones en los conjuntos difusos tienen que ser conmutativos, asociativos, distributivos, seguir las reglas de identidad, transitivos, inmutativos, seguir con la ley de idempotencia y la ley de morgan. La unica ley que no cumple es la ley de la complementariedad en el cual la union de un conjunto con su negado no es igual a el universo de discurso, como suele ser en la logica clasica.

La logica difusa se basa en reglas heurísticas de la forma si, entonces. En donde el antecedente y el consecuente son

ambos conjuntos difusos. Por ejemplo: SI hace muchísimo frio, ENTONCES aumento drasticamente la temperatura.

Las graficas mas utilizadas dentro de la logica difusa para representar las funciones de membresia de distintos elementos pueden separarse en continuas y discretas. Siendo estas en el lado discreto la funcion triangular abierta y cerrada, y la funcion trapezoidal abierta y cerrada. Las graficas mas utilizadas dentro de la logica difusa para representar las funciones de membresia de distintos elementos pueden separarse en continuas y discretas. Siendo estas en el lado discreto la funcion triangular abierta y cerrada, y la funcion trapezoidal abierta y cerrada.

En el lado continuo, las funciones de membresia suelen ser gaussiana, de campana genegalizada y sigmoidal. Una de las operaciones mas importantes en la logica difusa es la relacion de dos conjuntos difusos, llamado R. En esta puede conocerse mediante una matriz, que grado de implicacion tiene una relacion de dos variables especificas cuando ambas se dan. Es un producto cartesiano que puede verse mediante una grafica de la matriz en tres dimensiones.

Se pueden a su vez, realizarse operaciones en las relaciones de los conjuntos difusos mediante las composiciones difusas, y asi inferir las relaciones en variables no relacionadas directamente mediante funciones. La conjuncion, disyuncion, negacion, implicacion, equivalencia, XOR y XNOR se representan en la logica difusa, mediante ecuaciones de minimos y maximos combinadas, en los cuales podemos encontrar una respuesta difusa a la operacion realizada.

Este documento se estudiara el control de trafico de una intersección aislada, realizado para mejorar el control del flujo vehicular en las calles de Beijing, China. En el documento se toman distintas premisas para realizar el diseño en logica difusa, como un grado de urgencia para vehiculos que poseen prioridad sobre otros y necesiten pasar la interseccion. Lo que se busca controlar finalmente son los tiempos utilizados por los semaforos, para reducir en mayor medida el congestionamiento vehicular de una interseccion, evaluando al final del documento el resultado obtenido.

=====

II. ESTADO DEL ARTE

En esta sección, se analizarán distintos artículos científicos o libros, en los cuales se ha tratado anteriormente el tema de la lógica difusa aplicada al control del tráfico vehicular. El estudio de estos documentos son importantes para poder comprender como ha progresado el estudio de este tema en los últimos años. P

Realizado el mas de abril de 2020. Este documento es un análisis del estudio publicado por el departamento de automatización de la universidad Tsinghua, sobre el Control de las señales de Tráfico en una intersección Urbana Basado en Lógica Difusa en Beijing, China. El estudio fue realizado para realizar una propuesta y analizar la mejora posible que podría tener el trafico local utilizando como caso de estudio una intersección aislada

TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY ISSN 1007-0214 14/22 pp502 - 507 Volume 7, Number 5, October 2002

A. *Traffic Control and Transport Planning:: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach*

Al resolver problemas de ingeniería de la vida real, a menudo se encuentra información lingüística que a menudo es difícil de cuantificar usando técnicas matemáticas "clásicas". A través de las suposiciones hechas por el analista al formar el modelo matemático, la información lingüística a menudo se ignora. Por otro lado, una amplia gama de parámetros de ingeniería de tráfico y transporte se caracterizan por la incertidumbre, la subjetividad, la imprecisión y la ambigüedad. Los operadores humanos, los despachadores, los conductores y los pasajeros utilizan este conocimiento subjetivo o información lingüística a diario al tomar decisiones. Las decisiones sobre la elección de ruta, el modo de transporte, la hora de salida más adecuada o el envío de camiones son tomadas por conductores, pasajeros o despachadores. En cada caso, el tomador de decisiones es un humano. El entorno en el que un experto humano (controlador humano) toma decisiones suele ser complejo, lo que dificulta la formulación de un modelo matemático adecuado. Por lo tanto, el desarrollo de sistemas de lógica difusa parece justificado en tales situaciones. En ciertas situaciones, aceptamos la información lingüística mucho más fácilmente que la información numérica. En la misma línea, somos perfectamente capaces de aceptar valores numéricos aproximados y tomar decisiones basadas en ellos. En una gran cantidad de casos, utilizamos exclusivamente valores numéricos aproximados. Debe enfatizarse que las estimaciones subjetivas de los diferentes parámetros de tráfico difieren de un despachador a otro, de conductor a conductor y de pasajero a pasajero.

B. *Traffic Simulation System Based on Fuzzy Logic*

La llegada de los sistemas inteligentes de transporte ha llevado a la simulación de tráfico a convertirse en uno de los enfoques más utilizados para Análisis de tráfico en apoyo del diseño y evaluación de sistemas de tráfico. La capacidad de simulación de tráfico para emular el tiempo. La variabilidad de los eventos de tráfico lo convierte en una instalación inigualable para capturar la complejidad de los sistemas de tráfico. Hay muchas investigaciones que implementan problemas de tráfico difusos pero específicos y hay muchas aplicaciones de simulación de tráfico pero sin Soporte para lógica difusa. Este documento presenta un entorno de simulación, diseñado para probar y evaluar cualquier lógica difusa sistema de gestión de tráfico basado. El usuario podría simular cualquier intersección de tráfico aislada o red de intersección con múltiples carriles. También podría especificar parámetros de entrada, crear reglas difusas que controlen el flujo de tráfico y simular el modelo para monitorear eficiencia del modelo al notar los parámetros de salida. Una interfaz gráfica de usuario permite la visualización de la simulación, incluyendo Animación de movimientos de vehículos. Desde 1977 comenzó el primer intento de resolver el problema de las intersecciones de tráfico utilizando lógica difusa, un estudio realizado por Pappis y Mamdani. El estudio consideró un cruce único de dos calles de sentido único. Más tarde se extendió a dos intersecciones consecutivas por Nakatsuyama et al. en 1984. Entonces Favilla

et al. expandió el trabajo a múltiples carriles en 1993, pero aún con una sola intersección. Un estudio más reciente una intersección de múltiples líneas aisladas. Todos los estudios de la literatura relacionada mencionada en este estudio o no son una aplicación de la lógica difusa para Casos específicos. En este artículo usamos lógica difusa para resolver problemas de cualquier número de intersecciones y carriles consecutivos. El usuario puede diseñar y construir intersecciones utilizando una interfaz gráfica y luego conectar su diseño a un motor difuso, simular el diseño y ajustar, revisar y comparar los resultados. El documento está organizado de la siguiente manera. La sección 2 Describe el controlador de tráfico. Luego se proponen las Secciones 3 y 4, el simulador de tráfico y el motor difuso, respectivamente. Luego, la sección 5 presenta el estudio de caso y los resultados. Finalmente, la Sección 6 da la conclusión del trabajo.

C. *Fuzzy Logic Based Autonomous Traffic Control System*

El objetivo de este documento es diseñar e implementar un control de semáforo basado en lógica difusa sistema para resolver los problemas de congestión del tráfico. En este sistema, cuatro parámetros de entrada: Llegada, Cola, Vehículo peatonal y de emergencia y dos parámetros de salida: extensión en verde y peatón Se usan señales. Usando Fuzzy Rule Base, el sistema extiende o termina la señal verde de acuerdo con a la situación del tráfico en el cruce. Ante la presencia de un vehículo de emergencia, el sistema decide qué señal (es) deben ser rojas y cuánto se debe dar una extensión a Green Signal para Vehículo de emergencia. El sistema también monitorea la densidad de personas y toma decisiones en consecuencia. Para verificar el algoritmo de diseño propuesto, se adopta la simulación MATLAB y se obtienen los resultados mostrar concurrencia a los valores calculados de acuerdo con el modelo Mamdani del control difuso Sistema.

El rápido crecimiento de la población en las zonas urbanas aumenta continuamente la densidad de vehículos que resulta en congestión de tráfico, Los controladores de semáforos convencionales fallan en controlar situaciones en el que el tráfico está sobresaturado. Por lo general, el control se basa en horarios fijos y están programados en un plan de "hora del día". En la medida en que los sistemas difusos puedan copiar la capacidad de inteligencia humana, este podrá ser implementada para controlar el trafico sobresaturado y utilizarse como reemplazo al control basado en tiempos fijos.

Pappis y Mamdani simularon un modelo de cruce de trafico bidireccional en el que cada sentido tiene un solo carril de flujo de tráfico. Más tarde, en 2005, se simularon modelos basado en lógica difusa para una intersección aislada de cuatro brazos en la que se utilizaron funciones de membresía triangular.

Un sistema prototipo para monitorear la congestión del tráfico en una intersección se diseñó usando Visual Basic 6 y MATLAB. La intersección de tráfico se simuló en Visual Basic 6 y se obtuvieron datos estadísticos de la densidad de tráfico de Visual Basic 6 se envió a MATLAB para decidir el tiempo de extensión de la señal. Recientemente, un

La comparación del simulador de semáforo basado en lógica difusa con el controlador de luz convencional mostró que

el controlador de tráfico basado en lógica difusa redujo el tiempo de espera en el lado de la cola. Askerzade y Mahmood calcularon el tiempo de extensión óptimo para un cruce de tráfico aislado basado en lógica difusa en que compararon diferentes algoritmos de controlador de lógica difusa con controlador de tiempo fijo. Ellos encontraron ese controlador Sugeno proporciona menos tiempo de espera en el flujo de tráfico. Este trabajo propuesto está diseñado teniendo en cuenta los problemas de congestión de tráfico del área de Samanabad de Ciudad de Lahore (Pakistán). El trabajo de diseño propuesto para el sistema de control de tráfico consta de cuatro entradas variables: llegada, cola, peatón y vehículo de emergencia, y dos variables de salida: extensión en Señales verdes y peatonales utilizadas para controlar la situación del sistema de control de tráfico. por extensión en las señales verdes y peatonales, el controlador detecta el no. de automóviles (para el este, colas occidental, norte y sur), la densidad de peatones y la presencia de vehículos de emergencia de detectores después de cada período de muestreo. De esta manera, este trabajo de investigación difiere de aquellos mencionado anteriormente y contribuirá para el trabajo futuro. Los criterios de diseño y la estructura básica del trabajo propuesto se describen en la Sección 2 y la Sección 3. La Sección 4 ofrece el algoritmo simplificado de lógica difusa diseñado para el Sistema de Control de Tráfico. Sección 5 describe los resultados y el trabajo de simulación gráfica de este sistema. Conclusión y trabajo futuro se da en Sección 6.

D. Urban Intersection Traffic Signal Control Based on Fuzzy Logic

Este artículo presenta un método de control de señal de tráfico adaptativo de lógica difusa para un aislado intersección de cuatro enfoques con movimientos pasantes y giros a la izquierda. En el método propuesto, la lógica difusa. El controlador puede hacer ajustes a la sincronización de la señal en respuesta a los cambios observados. El término "grado de urgencia" que puede describir las diferentes demandas de los usuarios para una luz verde se utiliza en la toma de decisiones de lógica difusa. Además, un modelo de controlador difuso de tres niveles decide si extender o terminar la fase de señal actual y la secuencia de fases. Los resultados de la simulación muestran que el controlador difuso puede ajustar el tiempo de la señal en respuesta a las condiciones cambiantes del tráfico en tiempo real y que el controlador de lógica difusa propuesto conduce a menos demoras en los vehículos y un menor porcentaje de vehículos detenidos.

Las señales de tránsito son esenciales en el transporte. administración de redes. Una serie de señal de tráfico Los métodos de control se han desarrollado en el pasado. Recientemente, un importante foco de investigación ha sido la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, tales como sistemas expertos, lógica difusa, redes neuronales y algoritmos genéticos para intersección control de señal.

Se utilizaron conjuntos difusos para determinar los grados de saturación y el desplazamiento entre señales adyacentes para minimizar las paradas en el enfoque dominante. En un contexto de red, la lógica difusa se puede utilizar para calcular

la duración del ciclo, las divisiones y el desplazamiento, y también para determinar cuándo se requiere la coordinación de las uniones para aliviar el tráfico en las intersecciones críticas. Los sistemas de control de señales de tráfico de lógica difusa propuesto por Niittymaki y Kikuchi se basaron en el principio de extensión difusa utilizado en el trabajo seminal de Pappis y Mamdani. Trabía diseñó un controlador de señal basado en lógica difusa para un enfoque fourap intersección aislada con a través y movimientos de giro a la izquierda. El controlador difuso consulta regularmente las condiciones del tráfico para decidir si extender o terminar un green actual fase. En el estudio de Niittymaki y Pursula y la China Postdoctoral Science Foundation, el grupo de control de señales difusas trabajó de la misma manera que el control tradicional, pero las extensiones fueron ajustados por un extensor difuso, y las secuencias de fase fueron seleccionadas por un selector difuso. Una revisión más exhaustiva de las aplicaciones de la lógica difusa para el control de señales de tráfico se puede encontrar en Sayers. Este artículo presenta un controlador de señal de tráfico adaptativo basado en lógica difusa para una intersección aislada con cuatro enfoques y cuatro fases. El controlador puede ajustar el tiempo de la señal en respuesta a situaciones de tráfico. El término "grado de urgencia" que puede describir los diferentes usuarios La demanda de tiempo verde se utiliza en nuestro enfoque. Los resultados de la simulación muestran que el controlador difuso tiene la capacidad de ajustar el tiempo de la señal en respuesta a las condiciones cambiantes del tráfico y que el controlador propuesto genera menos demoras en el vehículo y un menor porcentaje de vehículos detenidos que el controlador accionado por el tráfico.

III. DIAGRAMA DEL ALGORITMO DEL DOCUMENTO SELECCIONADO

En el control difuso del tráfico vehicular, se presenta el algoritmo para la obtención de los valores específicos de las funciones de membresía para las 4 variables que se utilizan en el control. Cada variable, tiene como salida 2 valores, correspondientes a las dos funciones de membresía que se encuentran superpuestas en el rango en donde se encuentren las mediciones. Podemos observar en la figura 1, la forma en que los datos son obtenidos a partir de los sensores. Estos pasos pueden ser resumidos de la siguiente forma:

1. Conversión Análoga - Digital: Se debe conocer el rango de salida análoga del sensor. En el caso particular del artículo, se muestra que el valor que puede dar como salida el sensor es una salida de 0 a 5 voltios, que es una señal de control. Esta señal debe ser multiplicada por el rango que existe entre las variables lingüísticas de un dato medido, conociendo también los valores posibles que puede devolver el sensor. En el caso particular de la primera variable, que representa la cantidad de carros llegando al semáforo, el rango de las variables lingüísticas es de 10, por lo que se multiplica por este valor.

2. Comparador de Región: Para continuar con el proceso de conversión a variable difusa, se debe conocer en que funciones de membresía se encuentra la variable, para poder utilizar el cálculo correcto, para esto se utiliza un comparador que clasifica la variable en tres rangos o regiones posibles.

3. Sustractor: Para el cálculo de la función de pertenencia, dentro de los rangos permitidos, se consideran los tres casos posibles en los cuales la variable podría encontrarse, por lo que se restan a la variable de entrada, los valores de 30, 20 y 10 en el caso de la primera variable, ya que en estos puntos se encuentran los límites de los rangos posibles. Esta resta dará como resultado la distancia faltante para llegar al límite del siguiente rango, y por relación de triángulos, se podrá encontrar el valor de membresía de la variable medida.

4. Multiplexor: En este bloque, se elige la operación adecuada que satisfaga con las reglas de la lógica difusa, por lo que valores negativos no podrán darse como salida de este bloque. El a su vez recibe información de el comparador para conocer cual operación debe realizar. El bloque devuelve el valor de membresía de la variable respecto a la primera función de membresía. Conocemos que en un rango, coexisten dos funciones de membresía, y por lo tanto, la variable medida puede tomar ambos valores, por lo que el valor de la función faltante será calculada en el siguiente bloque.

5. Divisor y Sustracción: Por último, la diferencia calculada, en terminos de distancia es transformada por medio de relación de triángulos, en un valor de membresía. Se debe mencionar que en casos como la tercera variable, que tiene una diferencia entre regiones de 5, este número debe ser el utilizado para calcular la membresía, ya que el triángulo de las funciones de membresía de esta variable tiene como base un rango menor. Finalmente, para calcular el valor de membresía respecto a la otra función se aprovecha su complementariedad en los rangos o regiones seleccionadas, para utilizar el valor calculado para f_1 y utilizarlo de manera negada en f_2 . Estas serán las dos salidas que entrarán a formar parte de las 8 totales que se utilizan en el cálculo de las relaciones de interferencia y las reglas lingüísticas de las salidas.

IV. EXPLICAR A DETALLE DOS ECUACIONES

En el documento que ha sido nuestro objeto de estudio, podemos destacar dos ecuaciones que pueden ser consideradas como las más importantes para llegar a la solución de los conjuntos difusos estudiados. La primera ecuación es la ecuación que permite encontrar los valores a los que pertenecen nuestras medidas de nuestros sensores al ser utilizados dentro de los conjuntos difusos planteados para cada variable. La ecuación obedece la sencilla ecuación :

A. Cálculo de Membresía dinámica

$$f_1 = (K - x \cdot C)/C \quad (1)$$

siendo K una variable condicional que depende del rango en el que se encuentra la entrada y C la longitud del rango. Este puede estar dentro de tres rangos, los cuales cambiarán el valor de K para los calculos posteriores. La ecuación tiene esta forma ya que conocemos que las funciones de membresía son de forma triangular. Esto nos dice que la relación entre el valor mas alto del triángulo en el eje y, es decir, el 1 de pertenencia de la función de membresía está guardando la misma relación que el valor que se desea encontrar de pertenencia en una

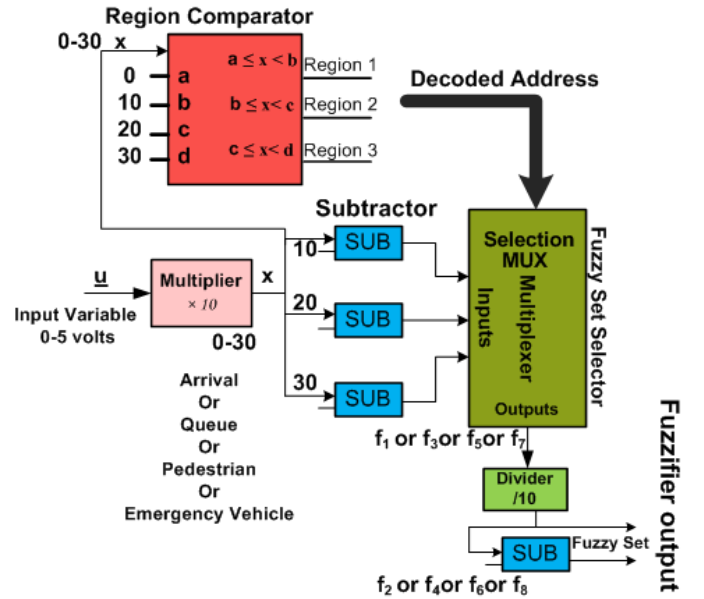


Fig. 1. En la imagen se muestra el algoritmo principal para la obtención de los datos recolectados por los sensores, en forma difusa. Es la forma en la que automáticamente obtenemos valores difusos a partir de los sensores.

distancia x respecto a uno de los valores de corte para las funciones de membresía. Lo que todo esto significa, es que si encontramos la diferencia existente entre el punto mínimo de el triángulo de la función de membresía, podremos encontrar cual es la pertenencia de este simplemente al dividir esta diferencia entre la distancia entre rangos, ya que la altura del triángulo siempre será la pertenencia 1. Esta ecuación solo es válida para funciones de membresía de forma triangular.

Es de esta forma, que si necesitamos determinar la membresía de un valor x , primero lo restaremos a su límite superior, para encontrar la diferencia respecto a la función primera, luego procederemos a multiplicar este número por la relación triangular mayor, es decir, $1/C$ para luego determinar mediante esta multiplicación, el valor de pertenencia. La función que no se ha calculado siempre será la conjugada del valor calculado, ya que las funciones de membresía son exactamente complementarias entre sí para un rango determinado.

B. Cálculo del Singleton

El singleton puede ser calculado de la siguiente forma:

$$O_0 = (\sum S_i \cdot R_i) / \sum R_i \quad (2)$$

La ecuación que podemos explicar es la ecuación necesaria para generar el singleton que causa la salida real del sistema difuso. En el paper se utiliza el centro de promedio o C.O.A. para determinar cual es el valor mas acertado para dar como salida del sistema difuso. Para este cálculo se toman en cuenta dos variables importantes calculadas en el sistema como lo son, la lógica lingüística de la salida representada por la letra S y las salidas R provenientes del cálculo de interferencia entre funciones de entrada.

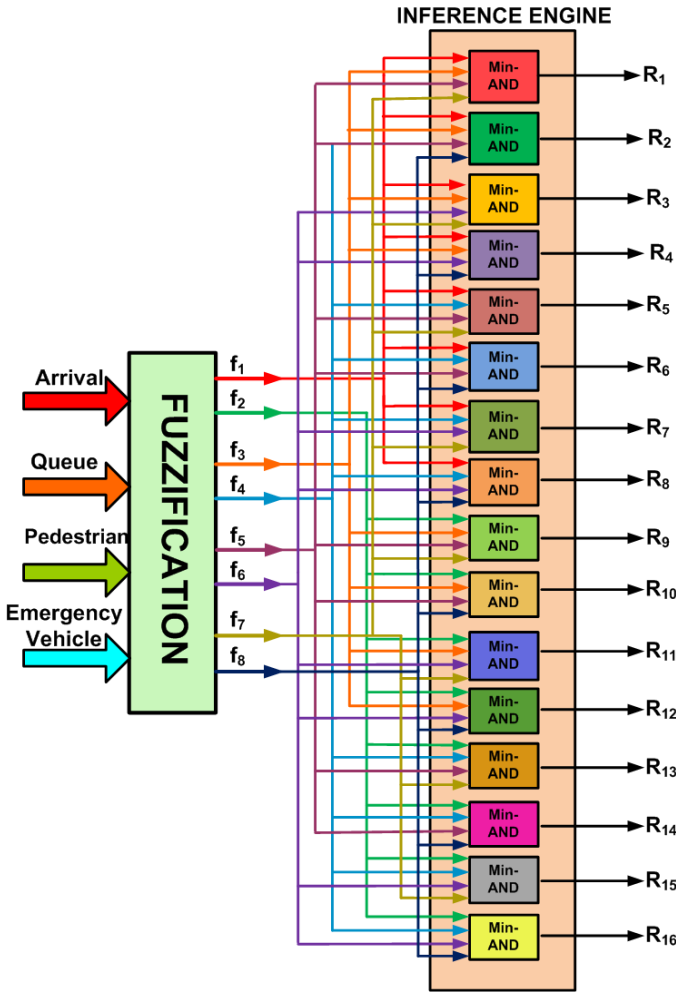


Fig. 2. Cálculo de la interferencia entre variables de entrada mediante compuertas min-AND que determinan la salida de 16 valores a utilizar en conjunto con la regla base a implementar por parte del experto en tráfico vehicular.

Se utilizan para cualquier cálculo de un singleton un total de 16 valores de S y 16 valores de R. Son necesarias esta cantidad de datos, ya que esta son la cantidad de combinaciones posibles que se pueden realizar con las funciones de salidas de las interferencia entre funciones realizadas por compuertas and que devuelven el mínimo, además que las combinaciones posibles para valores concretos dentro de la lógica lingüística también presentan 16 variaciones posibles. Se obtiene la multiplicación de estas 16 variables para obtener las salidas individuales tipo singleton para cada caso, pero luego son sumadas para así al dividir la cantidad total entre la sumatoria de los valores de interferencia, se pueda encontrar el valor que corresponda al centro del promedio de las salidas de los singletons calculados individualmente en las multiplicaciones. De esta forma, el sistema difuso se convierte a un sistema lógico clásico nuevamente y el semáforo puede obtener valores concretos.

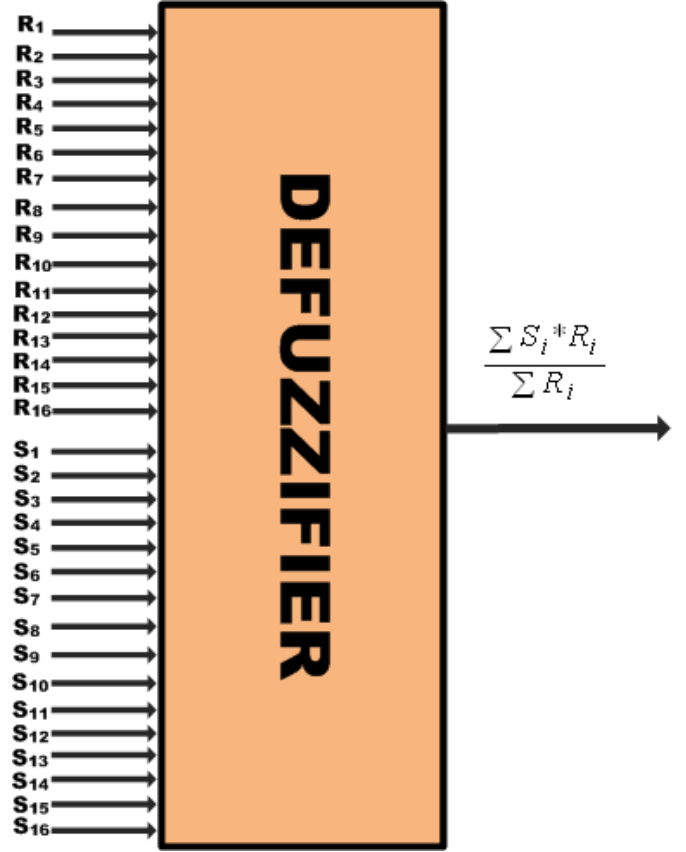


Fig. 3. Cálculo de la interferencia entre variables de entrada mediante compuertas min-AND que determinan la salida de 16 valores a utilizar en conjunto con la regla base a implementar por parte del experto en tráfico vehicular.

V. EXPLICACIÓN DE CADA UNA DE LAS PARTES DEL ARTÍCULO

Haremos una breve explicación de las partes del artículo estudiado, para una mayor comprensión de la solución propuesta y la forma en que se lleva a cabo la solución.

A. Introducción

En el artículo estudiado, se presenta la problemática de la automatización de los sistemas de control de tráfico, como un sistema que no se está llevando de la mejor forma, ya que en la mayoría de los lugares, este control de las señales de tránsito se da con sistemas de tiempo fijo, modificados dependiendo del día de la semana y la hora en el mejor de los casos. Pero no es un sistema que realmente se ajusta dinámicamente a los cambios que naturalmente se dan en el transcurrir del día. En los momentos en el que el tráfico vehicular se encuentra realmente saturado, podemos encontrar que el sistema de control basado en lógica difusa se presenta como una alternativa fuerte, ya que esta puede imitar la inteligencia humana y sus capacidades. En la introducción además se presentan distintas investigaciones que se han realizado con anterioridad en donde se pueden ver los distintos métodos utilizados para modelar el control del tráfico y en los cuales se ha llegado a la conclusión de que el control del tráfico con lógica difusa logra disminuir

el tiempo de espera de los vehículos. También se menciona que el documento presentado tiene como objetivo mejorar el control del tráfico y los tiempos de congestión en Pakistan. Se menciona muy superficialmente la forma en que se tiene pensado llevar a cabo el estudio del sistema con cuatro variables de entrada, las cuales son la llegada de vehículos, la espera de vehículos, cantidad de peatones y vehículos de emergencia. Por último se define de forma muy breve de qué tratará cada parte del documento así como el orden del mismo.

B. Criterios de diseño para el controlador de tráfico propuesto

En esta sección se mencionan las premisas en las cuales se diseñará el control difuso. Lo que podemos destacar es que será una intersección aislada en la cual solo podrá moverse un carril a la vez, las vueltas en U solo serán permitidas siempre que la luz verde esté habilitada. No estará permitido el giro a la izquierda, entendiéndose que en el caso de esta región estudiada, los carros circulan del lado izquierdo, por lo que el giro a la izquierda generalmente no necesita acción del semáforo. También se menciona que el controlador dará prioridad siempre a los vehículos que sean de emergencia, cambiando el estado del semáforo para que puedan pasar con prontitud. Se presenta la secuencia en la que funcionaría el semáforo y el paso peatonal, así como una imagen que muestra la intersección que se esta tomando en consideración para el diseño del controlador.

C. Estructura básica del controlador de tráfico propuesto

Se muestra en la sección simplemente un diagrama para representar de forma básica el controlador difuso. En este, cuatro valores de sensores serían introducidos al controlador difuso, con lo que el difusor o conversor a valores difusos devolvería ocho valores lingüísticos, dos por cada entrada. Luego, estos valores lingüísticos serán procesados por una serie de reglas definidas por pensamiento humano del tipo si, entonces. Luego de realizar el regreso de la lógica difusa a valores concretos, podremos entonces calcular los tiempos respectivos para la señal de tráfico y la señal de peatones.

D. Diseño del algoritmo

En esta sección se determinan las funciones de membresía a utilizar dentro de las variables que se estarán leyendo mediante sensores. Cada variable tendrá cuatro funciones de membresía que determinará en que variable lingüística se encuentra, así como la forma en que se utilizarán las variables en el algoritmo. En los carros que estarán llegando, tendremos un universo de discurso de 0 a 30 autos, al igual que en los autos que se encuentran en espera, para los peatones en espera se tendrá un universo de discurso de 15 peatones, mientras que en los automóviles de emergencia se tendrá en cuenta la distancia que estos tienen en relación a la intersección, siendo 0 el valor al estar en la intersección y 45 la distancia más alejada a la que se le puede sensar. Las variables de salida para el tiempo de control, también tendrán funciones de membresía los cuales representarán la forma de interpretar las variables de salida del controlador difuso.

Se mencionan los rangos encontrados en cada una de las entradas del controlador difuso, así como se muestran las gráficas de las funciones de membresía para cada una de las variables de entrada. Son mostradas las regiones en las cuales se podrán clasificar a futuro las variables de entrada y se vuelven a mencionar las variables lingüísticas de cada variable de entrada. La tabla que puede resaltarse dentro de las presentadas, es la tabla 7 que muestra el resultado de la conversión a parámetros difusos de las entradas en un valor concreto dado. Esta tabla será estudiada a profundidad en otra sección.

En los siguientes puntos, se menciona la máquina de interferencia, utilizada básicamente para encontrar la relación de cada variable respecto a las demás, el selector de reglas y el convertidor Difuso - Clásico que nos devolverá los valores correspondientes a los tiempos del semáforo.

E. Resultados y discusión de gráficas

Podemos observar primeramente una representación del convertidor Difuso-Clásico o defuzzificador que logra utilizar los resultados de la máquina de interferencia y el selector de reglas para dar como resultado un singleton de salida. Para esto, se utiliza en el documento el método del centro de promedio (C.O.A.) con el cual se determina el tiempo de cambio del semáforo. Se muestran las distintas tablas que se utilizaron como reglas humanas y la salida de la maquina de interferencia, así como una simulación en matlab utilizando las mismas entradas que las utilizadas en el ejemplo del documento, obteniendo un grado de exactitud muy grande respecto a matlab. Por ultimo se muestra la función de salida respecto a las variables de entrada que relacionan tanto el tiempo de llegada y de espera de los autos con el tiempo de espera del semáforo vehicular. Así mismo se determina la relación de los vehículos que llegan y la densidad peatonal, con el tiempo de espera de las señales peatonales. Esta gráfica presentada en tres dimensiones, muestra de mejor forma la relación que existe entre las variables de entrada y la salida del controlador difuso.

F. Explicación de la Conclusión

El sistema creado mediante razonamiento difuso, es un sistema versátil que puede mejorar los tiempos de congestión de las calles en cualquier ciudad, así como puede también monitorear el flujo de peatones de cualquier punto de la intersección y tiene una respuesta rápida para los vehículos que son de emergencia y requieren un tiempo de paso muy elevado. Estas medidas pueden bajar el consumo de combustible y reducir la contaminación ambiental.

VI. CONCLUSIÓN PROPIA DEL DOCUMENTO ESTUDIADO

El documento presenta una buena metodología para el diseño del sistema de control de tráfico, aunque no muestra en ningún punto en específico la relación de los tiempos de cambio entre cada una de las direcciones de la intersección, tampoco muestra si se podría alargar el tiempo peatonal al encontrarse en sincronía con el tiempo del semáforo ya que

sería desaprovechado el tiempo del semáforo si por ejemplo tendríamos un tiempo de semáforo de 60 segundos y un tiempo de paso peatonal de 15 segundos. Falta también implementar los giros a la derecha como un tiempo que podría ser afectado por el paso peatonal, ya que entre ellos interferirían en el caso que la intersección varíe un poco respecto a la imagen mostrada en este caso de estudio. A pesar de estos puntos, ellos han definido las premisas iniciales para evitar tocar estos temas mencionados, a fin de simplificar el diseño del sistema, pero debe considerarse si se quiere aplicar realmente en un futuro a ciudades congestionadas. La propuesta planteada y diseñada en el documento es más que válida para continuar estudiando esta opción como una que podría mejorar de gran manera el tráfico de ciudades con grandes tiempos de congestiónamiento en donde los métodos de control convencionales para los tiempos de los semáforos parecen no ser de ayuda para el flujo vehicular.

Sería una buena iniciativa, aumentar la cantidad de funciones de membresía y observar el comportamiento del control de tráfico. Esta medida se puede tomar ya que este control se puede clasificar como un control lento, debido a que los valores que son sensados en este, no varían drásticamente en el tiempo, por lo que la máquina que esté realizando los cálculos puede permitirse el tener cálculos más grandes y más complejos.

VII. APLICACIÓN DE LÓGICA DIFUSA MEDIANTE TOOLBOX DE SCILAB

En la presente sección se realizará la prueba de la lógica difusa empleada en el documento estudiado para el cálculo del tiempo de las señales de control de tráfico. Para esto, haremos uso de las herramientas suministradas por el toolbox de Scilab para lógica difusa.

Se debe destacar que en la aplicación desarrollada se muestran dos variables de las cuatro que se utilizarían en el documento. Esto se hizo para simplificar la forma en que se muestran los resultados.

VIII. CONCLUSIÓN

En resumen, este documento contiene el análisis final de la lógica difusa que se ha aplicado a lo largo del tiempo en los distintos sistemas de control de tráfico. Se han utilizado distintos tipos de entrada, pero generalmente lo que se busca es que los carros no se aglomeren en la intersección y que haya una mayor fluidez. Esto siempre podrá ayudar a disminuir la contaminación en largo plazo, bajar el consumo de la gasolina, así como disminuir el estrés colectivo generado en las horas pico en cualquier ciudad. Es un sistema que debe ser estudiado, ya que se deben considerar la instalación de sensores para su correcta utilización, y esto conllevaría también un trabajo de concientización y de cuidado de estos sensores una vez instalados. Se considera en la mayoría de los modelos, los vehículos de emergencia, ya que estos deben tener paso expedito a través de las intersecciones vehiculares, por lo que estos deberían tener un identificador que pueda notificar a los controladores de toda la región, cual es su movimiento para así poder moverse con facilidad por la ciudad. También

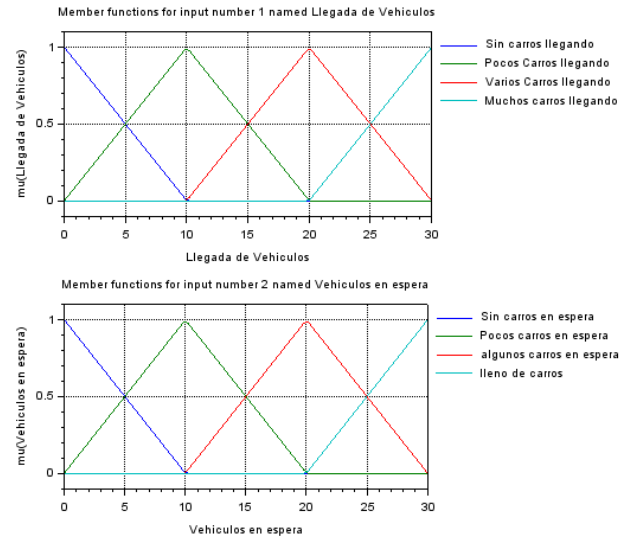


Fig. 4. Señales de entrada de la lógica difusa implementada en el control de tráfico. Esta es la versión utilizada con el toolbox de scilab.

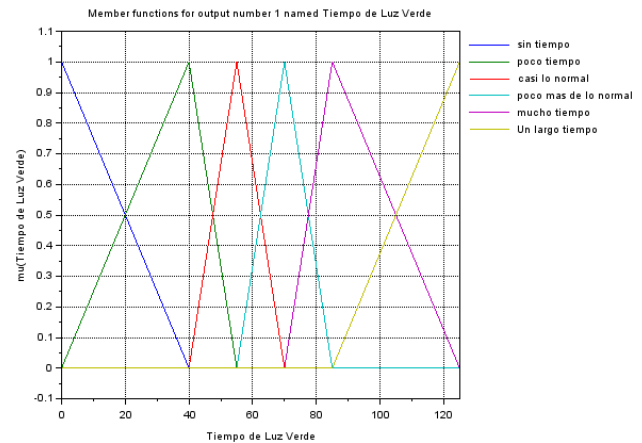


Fig. 5. Señales de salida de la lógica difusa implementada en el control de tráfico. Esta es la versión utilizada con el toolbox de scilab. Cabe mencionar que las funciones de membresía no son exactamente las mismas que en el documento estudiado, sino que han sido modificadas por nuevas funciones de membresía.

como es mencionado en la conclusión previa del documento, se debe tomar en cuenta que los pasos peatonales pueden interferir en el paso vehicular si este no se sincroniza de manera correcta, por lo que ambas variables deberán tener una relación directa, para poder aprovechar de mejor forma el tiempo de circulación dado por el controlador de tráfico. Finalmente, la herramienta de lógica difusa es muy intuitiva y fácil de utilizar, por lo que se pueden desarrollar proyectos mas complejos de distintos temas solamente conociendo el comportamiento general del problema y asignando de la mejor forma las variables lingüísticas de la salida y sus reglas si entonces para obtener los resultados esperados en el control de otras aplicaciones.

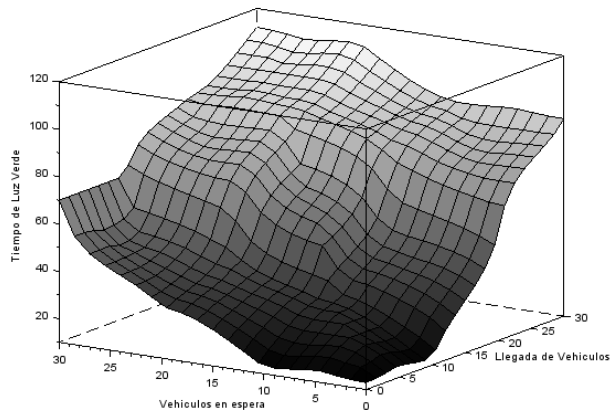


Fig. 6. Se puede ver en la imagen, la representación en tres dimensiones de la matriz de relación de las entradas con las salidas, al utilizar las variables lingüísticas y la lógica de si entonces, para realizar las inferencias necesarias para realizar el gráfico.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al profesor Danilo Cáceres por la idea de compartir con nosotros formas de desarrollar sistemas de control en la herramienta open source llamada Scilab, ya que hay distintas herramientas que no pueden ser utilizadas debido a su alto costo. Además, por introducir a la clase la gran herramienta que puede llegar a convertirse LaTeX, ya que a pesar que lleva tiempo acostumbrarse, facilita mucho las cosas en el aspecto visual y profesional del documento.



Samuel Ibarra Ingeniero electromecánico especialista en Pruebas y Mediciones de equipos eléctricos de alta potencia, actualmente cursando una maestría en ingeniería eléctrica con especialización en electrónica digital y automatización. No posee experiencia previa en documentos o revistas de divulgación científica, pero actualmente realiza proyectos orientados a tecnologías basadas en algoritmos de aprendizaje automático. Con hambre de conocimiento y de aportar en el ámbito de la investigación científica.

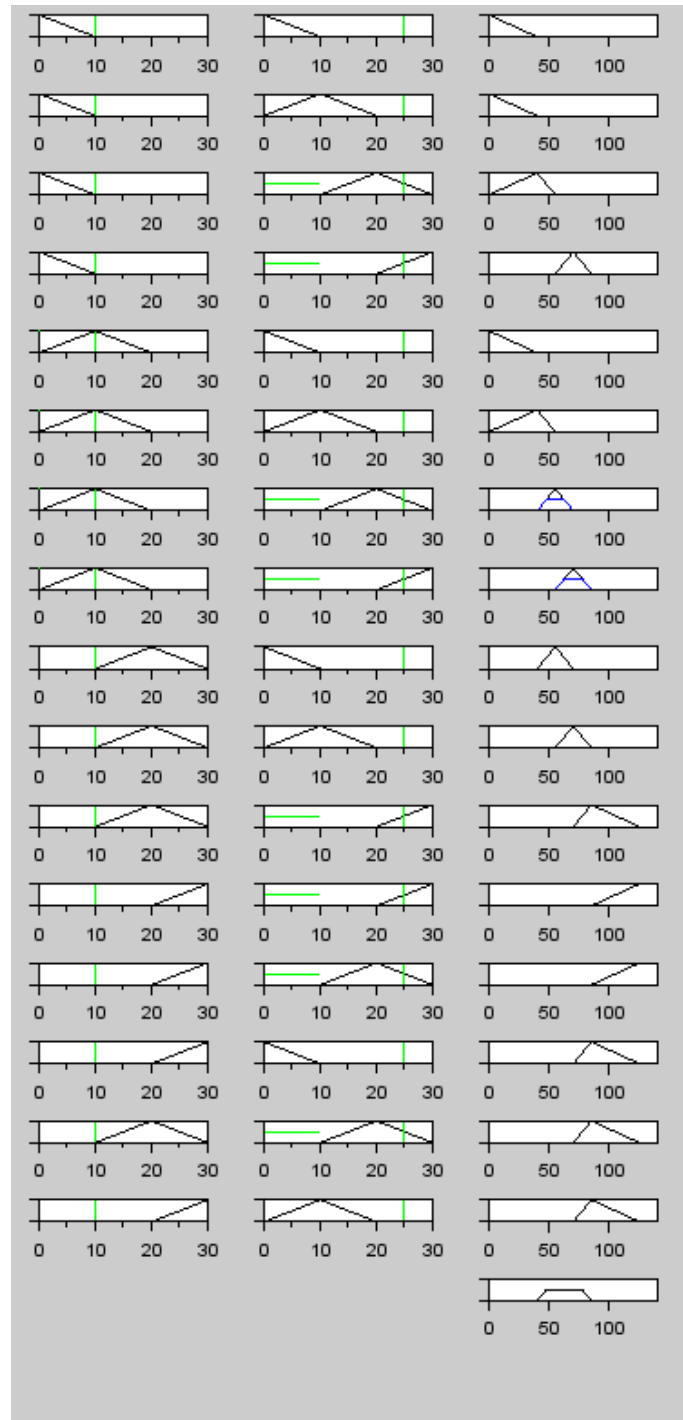


Fig. 7. Esta imagen muestra las 16 opciones distintas que pueden tener dos variables difusas con 4 funciones de membresía cada una. Se pueden obtener 16 distintas soluciones, para las cuales debemos decidir mediante el si entonces, cual sería su salida deseada.