

CONTROL DE TRÁFICO ADAPTATIVO PARA UNA INTERSECCIÓN DE DOS ACCESOS

Sergio A. Rojas*

sar@colombiamix.com

Carolina Escobar y Yensi Fonseca P.**

sar@colombiamix.com

Jecaes@lettera.net

En Colombia, los semáforos normales se programan con tiempos estáticos e intervalos constantes en sus ciclos. Cuando un evento extraordinario ocurre (como colisiones o pinchadas) el tráfico se vuelve anormal en una de las accesos pertenecientes a la intersección, resultando retrasos y haciendo que la programación del semáforo sea inadecuada para manejar la situación. En este artículo se presenta un modelo de comportamiento adaptativo para estudiar la optimización de las demoras de tiempo en una intersección de dos accesos controlada por semáforos usando Algoritmos Genéticos (AG)

Palabras claves: Semáforos adaptativos, aplicaciones de AG

Normal traffic lights in Colombia are programmed with static and constant time intervals in their cycles. When an extraordinary event occurs (like collisions or punctures) the traffic becomes abnormal in one of the ways belonging to the intersection, resulting in delays and making the programming of the traffic light inadequate to manage the situation. In this paper we present an adaptive behavior model to study the optimization of the delay time in a intersection of two ways controlled by traffic lights, using Genetic Algorithms (GA)

Keywords: Adaptive traffic lights, genetic algorithms applications

Introducción

El creciente número de vehículos en las avenidas conlleva a la instalación de semáforos para regular el cruce en las intersecciones. Infortunadamente, en Colombia los semáforos están programados con intervalos de tiempo constantes e invariables de rojo y verde durante todo el día, y una programación diferente, aunque también constante, por la noche. El problema con estos intervalos de tiempo estáticos se produce cuando ocurre un evento inesperado, como un choque o un pinchazo, situaciones en las cuales el tráfico normal se altera. En tal caso, el tiempo de demora de los vehículos en espera para cruzar se incrementa; la atención de los usuarios que van en el mismo sentido se vuelve muy lenta, causando mayor tiempo de espera en la cola, y haciendo necesaria la presencia de un policía de tránsito para regular y resolver el problema.

* Ingeniero de Sistemas, profesor Universidad Distrital F.J.C., adscrito a la Facultad de Ingeniería, Proyecto Curricular de Ingeniería de Sistemas.

** Tecnólogos en Sistematización de Datos Universidad Distrital F.J.C.

En este artículo se presenta un modelo de semáforos en dos intersecciones capaces de adaptar sus intervalos de tiempo de rojo y verde. El modelo¹ usa Algoritmos Genéticos (AG) para encontrar la mejor programación, esto es, los mejores intervalos de tiempo para los ciclos de los semáforos, cuando una situación extraordinaria se detecta en alguno de los accesos. Se realizó una simulación del modelo propuesto y aquí se describen los resultados encontrados, comparados con el modelo clásico usado tradicionalmente.

1. Semáforos en Intersecciones

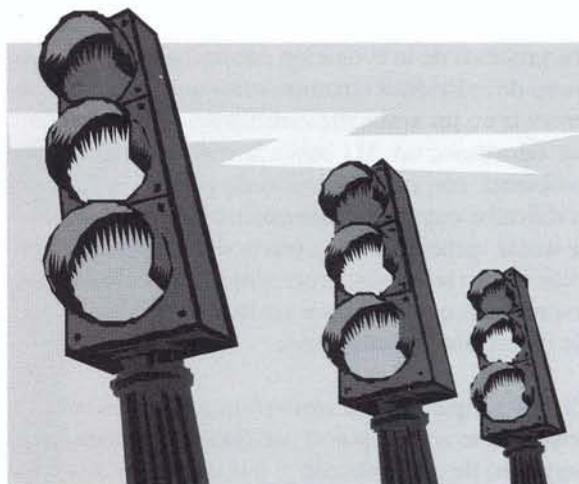
La existencia de intersecciones en los accesos públicos trae como consecuencia compartir una misma porción de superficie para diferentes flujos vehiculares, que al coincidir en el tiempo y el espacio, deben ser regulados para evitar accidentes. Este es el papel desempeñado por los semáforos, cuyo objetivo primordial es prevenir accidentes, aunque también son usados para optimizar el número de vehículos atendidos en todos los accesos, minimizar el tiempo de demoras en las colas y organizar el acceso para mejores usos. Este estudio se centró en la optimización del número de vehículos atendidos, buscando la mejor programación de intervalos de tiempo de los semáforos para asegurar más bajos niveles de congestión en el tráfico.

Cada semáforo tiene un ciclo que determina el tiempo de duración de todos los cambios de luces de verde y rojo. La duración entre el comienzo de la luz de un ciclo y el comienzo del próximo es llamada fase. Así, la intersección objeto de este estudio cuenta con dos fases. El tiempo de distribución en cada fase debe ser directamente proporcional al volumen de tráfico para efectuar los respectivos movimientos. El modelo clásico usado para encontrar la solución de distribución óptima de tiempo entre las fases para semáforos en una intersección es el siguiente²:

$$C_0 = (1.5L + 5) / (1 - Y) \quad (1)$$

En donde:

Y = Sumatoria de los valores correspondientes a la



tasa entre el flujo real y el flujo de saturación, en cada fase

L = Sumatoria de los tiempos intermedios.

El valor de Y se calcula como se muestra en (2):

$$Y = \sum_{i=1}^2 q_i / s_i, \text{ con } Y < 1 \quad (2)$$

En donde:

q_i = Flujo o intensidad del acceso, y
 s_i = Flujo de saturación del acceso.

Por su parte L está dado por (3).

$$L = nl + P \quad (3)$$

donde:

l = Tiempo de arranque
 n = Número de fases
 P = Tiempo de despeje

Este modelo es el que frecuentemente se utiliza en los semáforos de las ciudades de Colombia³.

2. El Enfoque de los Algoritmos Genéticos (AG)

Los AG son un método utilizado para la optimización de problemas complejos (Golberg, 1989) y otras aplicaciones de búsqueda (Mitchell, 1995), (Marti-

¹ (Escobar et al., 2000) Trabajo de grado presentado para optar al título de Tecnólogas en Sistematización de Datos, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital F.J.C.
² Cal et al., 1994; Cantú, 1976
³ De acuerdo con la información suministrada por los funcionarios de la ETB encargados de la semaforización.

nez et al., 1999). La idea esencial está inspirada en los procesos de la evolución natural: usando un conjunto de individuos (cromosomas) que luchan por sobrevivir en un ambiente cambiante. Viéndolo como un algoritmo, un AG busca la mejor solución a un problema, con una población de posibles soluciones codificadas como cromosomas evolucionando durante varias generaciones, a través de operadores genéticos como selección, cruce y mutación. De esta forma realizan una búsqueda masiva en paralelo dentro de un espacio de soluciones.

El AG simple trabaja con cromosomas binarios; la selección se realiza por el método de la ruleta, tiene un punto de cruce aleatorio, y la mutación ocurre en un bit de un individuo (Golberg, 1989). Su contenido es el siguiente:

1. Se genera una población inicial aleatoria.
2. Mientras que no se cumpla la condición final, se itera:
 - a. Evalúa cada individuo de acuerdo con la función de aptitud
 - b. Selecciona las mejores soluciones de acuerdo a la aptitud de los individuos
 - c. Cruza los individuos de acuerdo a una tasa de recombinación
 - d. Cambia un (algunos) bit (s) aleatorios de individuos de acuerdo a una tasa de mutación

La finalidad de este trabajo es aplicar un AG simple para adaptar la programación de tiempo en los semáforos, de forma tal que se optimice el servicio cuando esté bloqueado algún acceso. En la siguiente sección se define la codificación del cromosoma y la función evaluadora de la aptitud diseñada para este problema.

3. Un Modelo Adaptativo para Semáforos

El semáforo adaptativo funciona con la programación normal de tiempo (dada por el modelo clásico), hasta que alguna condición sea disparada por los sensores (de peso o infrarrojos) instalados en el acceso. Esa condición informa al sistema algunos eventos inesperados, esto es, las demoras de tiempo crecientes de los vehículos (colas), ya sea por un accidente, un obstáculo en uno de los accesos, simplemente por un incremento del volumen del tráfico o

también por la distribución actual de tiempo no adecuada. Cuando ocurre tal condición, se aplica el AG para encontrar una distribución de tiempo que haga mejor la atención de los semáforos.

Para este estudio se asume la situación simplificada vista en la Figura 1: una intersección de dos accesos con una sola dirección en la que se regula exclusivamente vehículos (no peatones), y se consideran únicamente intervalos para verde y rojo (no ámbar).

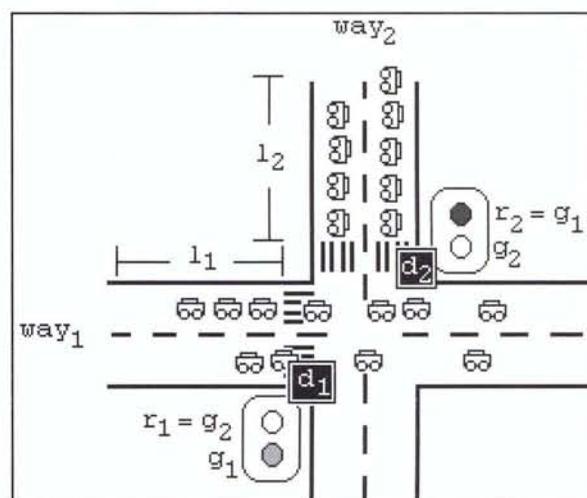


Figura 1. Intersección de dos vías

3.1. Diseño del cromosoma

Cuando el sistema dispara la condición anormal podrá comportarse utilizando dos distribuciones de tiempo diferentes: en el primer intervalo la duración de la fase del acceso obstruido tiene preferencia, dándole más importancia a su tasa de atención; en el segundo intervalo la duración no es sesgada, despachando sin preferencia y equitativamente ambos accesos. Teniendo en cuenta lo anterior, el cromosoma se diseñó para que representará los siguientes valores:

- g_{11} : Tiempo de verde para el acceso 1 durante el intervalo 1
- g_{12} : Tiempo de verde para el acceso 2 durante el intervalo 1
- t_1 : Duración del intervalo 1
- g_{21} : Tiempo de verde para el acceso 1 durante el intervalo 2
- g_{22} : Tiempo de verde para el acceso 2 durante el intervalo 2
- t_2 : Duración del intervalo 2

Como en el AG simple los cromosomas son cadenas binarias, se utilizó la estructura que se observa en la figura 2. El largo total del cromosoma es 32 bits.

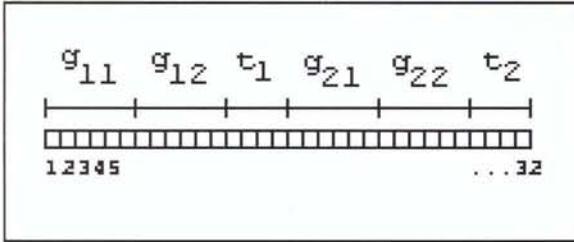


Figura 2. El cromosoma usado en el modelo

Cada una de las posiciones en el cromosoma (gen) es binaria, de tal forma que la información codificada por cada subconjunto de genes, corresponde a la representación binaria de un número decimal. Así, g_{ij} es un parámetro que toma valores en el intervalo $[0,63]$ (tiene 6 bits asignados, medidos en términos de segundos), y t_i toma valores en el intervalo $[0,15]$ (tiene asignados 4 bits, medidos en minutos). De esta forma el tiempo de verde que toma el acceso j va desde 0 segundos hasta aproximadamente 1 minuto, mientras que la duración de la aplicación de los programas en cada ciclo puede ser de 0 hasta 15 minutos, para un máximo posible de 30 minutos, tiempo que se considera prudente para solucionar el problema que obstruye el tráfico antes de regresar a la programación del ciclo normal (modelo teórico clásico). Así por ejemplo, el siguiente cromosoma,

10000100010001110101100011111001

significa que el semáforo debe poner g_1 en 33 seg. y g_2 en 8 seg., y funcionar con esta distribución durante 14 min.; después de esto, debe cambiar g_1 a 22 seg. y g_2 a 15 sec. y aplicarlos durante 17 min. Al finalizar los 31 min., el semáforo debe ser reprogramado con los tiempos de fase dados por el modelo clásico.

3.2. Función de aptitud

La función de aptitud informa cuán óptimo es el cromosoma para que la distribución y los intervalos de tiempos codificados agilicen la atención en ambos

accesos, en otras palabras, para decrementar la longitud de las colas.

Se asume que los datos mostrados en la Figura 1 se pueden adquirir sin mucha dificultad en un cruce real, utilizando algún tipo de sensores: l_j es el número promedio de vehículos detenidos (longitud del estado inicial) del acceso j antes de usar el AG, d_j es el tiempo de despeje en el acceso j (tiempo empleado por el vehículo del flujo saliente en avanzar de la línea de pare hasta pasar la región de conflicto, asumiendo que es una velocidad constante para todos los vehículos en la cola). Con estos datos y los valores codificados por el cromosoma se define la llamada "tasa de movilización", como se observa en (4).

$$m_{ij} = c_i(d_j g_{ij}) / l_{ij} + \sum_{k=1}^{2c_i} r_j(k) \quad (4)$$

En donde:

$c_i = t_i * 60 / g_{i1} + g_{i2}$, es el número de veces que pasa el ciclo i durante el intervalo de duración t_i

$r_j(k)$, es el número de vehículos que llegan al acceso j en el paso k , de acuerdo con una distribución de probabilidad de llegada de vehículos (se utilizó la distribución de Poisson durante las simulaciones).

l_{ij} es la longitud inicial de la cola del acceso j durante el intervalo i .

En particular, $l_{ij} = L_j / 2c_i$

$$l_{2j} = L_j + \sum_{k=1} (r_j(k)) - c_i(d_j g_{ij}) \quad (5)$$

es decir, la longitud inicial del intervalo 1 corresponde al estado inicial de las colas en cada acceso, mientras que la longitud inicial en el intervalo 2 corresponde a la longitud final luego del intervalo 1.

La tasa de movilización m_{ij} se optimiza cuando es ≥ 1 (se despacharon todos los vehículos que esperaban en la cola) y empeora cuando tiende a 0 (no se atiende a ningún vehículo que espera en la cola del acceso). Adviértase que en este modelo m_{ij} tomará valores que pertenezcan al intervalo $[0,1]$ (o sea, que si da ≥ 1 se trunca a 1).

Como la idea del modelo es favorecer al acceso obstaculizado durante el primer intervalo, y dar atención igualitaria a ambos accesos durante el segundo⁴, se asignan unos factores de ponderación que indican la importancia que tiene la tasa de movilización para cada acceso en cada intervalo, así:

- En el primer intervalo la tasa de movilización del acceso 1 (el obstaculizado) tiene un factor de ponderación (o de importancia) del 80 %, mientras que el acceso 2 tiene el 20%.
- En el segundo intervalo se asigna una ponderación de 50% para la tasa de movilización del acceso 1 y 50% para la tasa de movilización del acceso 2

En definitiva, la función de aptitud para evaluar a un individuo de la población, se define en (6):

$$f(x) = 0,8m_{11}(x, L_1, d_1) + 0,2m_{12}(x, L_2, d_2) + 0,5m_{21}(x, L_1, d_1) + 0,5m_{22}(x, L_2, d_2) \quad (6)$$

para x que codifica los parámetros t_i y g_{ij} , y L_j y d_j , como constantes conocidas antes de comenzar la evaluación. Los individuos más aptos serán aquellos que tengan un mayor valor de $f(x)$, nótese que $0 < f(x) < 2$.

Parámetro utilizados y resultados

Los parámetros usados en la simulación fueron: tamaño de la población = 100; probabilidad de cruce = 0.8; probabilidad de mutación = 0.05.

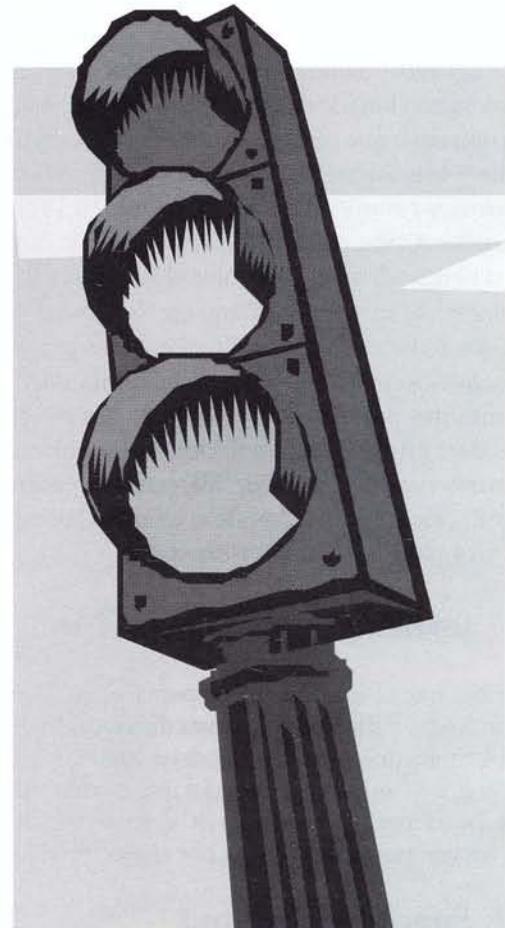
Para la obtención de los resultados y la prueba del modelo en el caso del tráfico obstruido se realizaron diferentes pruebas con los parámetros mostrados anteriormente para el AG. Se hicieron experimentos con 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 evoluciones y se obtuvieron los siguientes resultados:

En 1000 evoluciones se encontraron 20 cromosomas con una aptitud = 2. Se tomó uno de ellos que cumplía con la mejor aproximación 80/20 para el primer intervalo y 50/50 para el segundo, y se observó que la cola se disipó cuando el tráfico estaba obstruido, a

diferencia de la programación con el modelo clásico en donde se quedaban atascados cinco vehículos sin alcanzar a cruzar la intersección

De manera similar ocurrió para las otras ejecuciones en donde se encontraron 13, 20, 20 y 33 individuos con la máxima aptitud, respectivamente para las 2000, 3000, 4000 y 5000 evoluciones

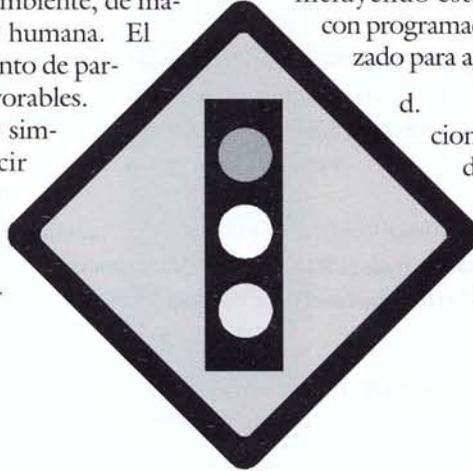
Al evaluar uno de los individuos más aptos después de 5000 evoluciones del AG, que se supone debe ser la mejor solución que se adapta al problema, se encontró que no solo se disipó la cola, sino que además sobraron 10 segundos promedio de tiempo de verde en el acceso 1, y 5 segundos promedio en el acceso 2.



⁴ Esto es similar al papel que cumplen los policías de tránsito cuando ayudan a resolver un trancón: le dan prioridad al acceso truncado, negando el derecho a la vía (tiempo de verde), del otro acceso

Conclusiones

Los ciclos constantes de la distribución de tiempo en los sistemas actuales de semáforos en Colombia crean desventajas para el manejo del creciente volumen de tráfico y tasas de accidentes. Un enfoque adaptativo usando AG parece ser una buena alternativa para diseñar sistemas de regulación de tráfico más autónomos y con más calidad, que adapten su comportamiento a medida que cambia su ambiente, de manera rápida y sin la intervención humana. El modelo presentado aquí es un punto de partida que muestra expectativas favorables. Sin embargo se hicieron muchas simplificaciones que podrían inducir complejidad cuando sean tenidas en cuenta. El trabajo futuro se orienta hacia superar esas simplificaciones, y a considerar experimentos más reales:



- a. Complementar el modelo del problema de intersección de dos accesos, incluyendo semaforización para peatones y tiempos de ámbar para evitar colisiones, etc.
- b. Realizar experimentos con situaciones del mundo real trabajando con diferentes tipos de sensores y usando el modelo para obtener resultados de tiempo real
- c. Estudiar técnicas adaptativas más completas, incluyendo estructuras de datos sin binarios, con programación evolutiva o aprendizaje reforzado para agentes autónomos (autómatas)
- d. Aplicar el modelo a otras situaciones similares como la transmisión de datos, puesto que tienen muchas características que coinciden (lo mismo que en el tránsito de vehículos se presentan embotellamientos, colisiones, etc.).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cal, R.; Reyes, M. (1994) *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Alfaomega, 7a. ed.
- Cantú, R. (1976) *Los semáforos y el control dinámico del tránsito*. Representaciones y servicios de ingeniería.
- Escobar, C.; Fonseca Y. (2000). *Control adaptativo de luces de semáforo para tráfico en intersección de dos vías (SCALS)*. Trabajo de grado en Tecnología de Sistematización de Datos, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
- Martínez, J.; Rojas, S. A. (1999). *Informática Evolutiva: un nuevo camino para la solución de problemas de ingeniería*. Unidad de Publicaciones de Universidad Nacional de Colombia.
- Mitchell, M.; Forrest, S. "Genetic Algorithms and Artificial Life". In: Langton, C. (Ed.) (1995). *Artificial Life: an Overview*. The MIT Press/Bradford Books.