

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

PROYECTO DE GRADO
INGENIERIA EN COMPUTACION

**Algoritmos evolutivos en
sincronización de semáforos en el
Corredor de Garzón**

Alvaro Acuña
Efrain Arreche
2014

Supervisor: Sergio Nesmachnow

CENTRO DE CALCULO - INSTITUTO DE COMPUTACION
MONTEVIDEO, URUGUAY

Algoritmos evolutivos en sincronización de semáforos en el Corredor de Garzón

Acuña, Alvaro - Arreche, Efrain

Proyecto de Grado

Instituto de Computación - Facultad de Ingeniería

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay, diciembre de 2014

ALGORITMOS EVOLUTIVOS EN SINCRONIZACIÓN DE SEMÁFOROS EN EL CORREDOR DE GARZÓN

RESUMEN

El proyecto propone el estudio de la sincronización de semáforos como problema de optimización multiobjetivo, y el diseño e implementación de un algoritmo evolutivo para resolver el problema con alta eficacia numérica y desempeño computacional en un escenario real utilizando simulaciones del tráfico.

Se toma como aplicación la sincronización de semáforos del “Corredor de Garzón” (Montevideo, Uruguay) dado que la cantidad de cruces, calles, tráfico y cantidad de semáforos lo hace un problema interesante desde el punto de vista de su complejidad. Además es real y admitido por las autoridades responsables los problemas en este sentido por lo que todavía hay espacio para la mejora de los tiempos promedio de los viajes.

El problema de sincronización de semáforos es NP-difícil y no existe (hasta el momento) un método determinístico que lo resuelva, se buscará mediante un algoritmo evolutivo llegar a una configuración aceptable de los semáforos minimizando los tiempos de espera de los vehículos y mejorando de esta manera la calidad del tráfico. Buscamos demostrar que estas técnicas son aplicables a escenarios reales y que deberían considerarse en el abanico de posibilidades disponibles.

Palabras clave: Algoritmo Evolutivo, Sincronización semáforos, escenario real, Cluster

Índice general

1. Introducción	1
1.0.1. Motivación y contexto	1
1.0.2. Objetivos	2
1.0.3. Limitaciones y alcance	2
1.0.4. Enfoque	2
1.0.5. Contacto con el publico	2
1.0.6. Estructura del documento	2
2. Marco Teórico	3
2.0.7. Problema del transito vehicular	3
2.0.8. Corredor Garzón	4
2.1. Algoritmos Evolutivos	4
2.1.1. Algoritmos Genéticos	4
2.1.2. Funcionamiento	6
2.1.3. Algoritmos genético multiobjetivo	6
2.1.4. Algoritmo Genético Paralelo	6
2.1.5. Maestro-Esclavo	7
2.1.6. Algoritmo a desarrollar	7
2.2. Simulación y herramientas	7
2.2.1. Simuladores de tráfico	7
2.2.2. Modelo de trafico	8
2.2.3. Representaciones	8
2.2.4. Configuración de la simulación	9
2.3. Herramientas	13
2.3.1. Open Street Map:	13
2.3.2. SUMO (Simulation of Urban MObility)	13
2.3.3. Por que usar SUMO?	14
2.3.4. NetConvert	14
2.3.5. DUaRouter	14
2.3.6. Traffic Modeler	14
3. Presentación y trabajos relacionados	15
3.1. Presentación	15
3.2. Formulación matemática	15
3.3. Por que usar algoritmo genéticos?	15
3.4. Estado del arte	15
3.5. Resumen	19

4. Estrategia de resolución	21
4.1. Librería Malva	21
4.2. Especificación del Algoritmo Genético utilizado	22
4.2.1. Representación	22
4.2.2. Codificación	22
4.2.3. Inicialización	23
4.2.4. Función fitness	23
4.2.5. Operadores	23
4.2.6. Criterio de parada	23
4.3. Multiobjetivo	24
4.4. Algoritmo Paralelo	24
4.5. Resumen	24
5. Análisis Experimental	25
5.1. Descripción de escenarios	25
5.1.1. Caso base	25
5.1.2. Escenario Inicial	25
5.1.3. Escenario Alternativo	25
5.2. Desarrollo y Plataforma de ejecución	25
5.3. Ajuste de parámetros de algoritmos	26
5.3.1. Tiempo de simulación	26
5.4. Resultados	26
5.4.1. Resultado simulación caso base	27
5.4.2. Resultado Escenario Inicial (Algoritmo Secuencial)	27
5.4.3. Resultado Escenario Alternativo (Algoritmo Secuencial)	27
5.4.4. Resultado de ejecución en paralelo.	27
5.4.5. Comparación caso base vs Algoritmo Secuencial	27
5.4.6. Comparación Algoritmo Secuencial vs Algoritmo Paralelo	27
5.4.7. Escalabilidad de Algoritmo Paralelo	27
5.5. Resumen	27
6. Conclusiones y trabajo futuro	29
6.1. Conclusiones	29
6.2. Trabajo futuro	29
Bibliografía	29

Índice de figuras

2.1. Modelo Maestro-Esclavo	7
2.2. Tramo del mapa de Garzon de OSM	9
2.3. Mapa cargado en SUMO luego del modelado y procesamiento	10
2.4. Planilla electrónica para el conteo manual en Camino Ariel	11
2.5. Mapa del TrafficModeler con las áreas de trafico. Círculos del mismo color indican trafico especificado entre esas áreas	12
2.6. Simulacion de trafico en SUMO en el curce entre Bulevar Battle y Ordoñez y el Corredor Garzon.	13

Índice de cuadros

List of Algorithms

1.	Algoritmo Genético	6
2.	Algoritmo Genético de Malva	22

Capítulo 1

Introducción

*He llamado a este principio, por el cual cada pequeña variación,
si útil, es preservada, con el término de Selección Natural*

— Charles Darwin, El origen de las especies

En esta sección se pretende introducir al lector en el contexto general donde se desarrolla este trabajo así como los objetivos buscados.

1.0.1. Motivación y contexto

Los algoritmos evolutivos han demostrado su utilidad en problemas complejos y particularmente uno de ellos es la sincronización de semáforos. Se busca desarrollar un algoritmo que logre resolver este problema con buenas métricas. Por la flexibilidad inherente de este algoritmo es que no está destinado a resolver el problema en una zona en particular sino que se podría aplicar en forma general.

En este sentido se eligió la zona del corredor Garzón que presenta particularidades que la destacan y la hacen interesante desde el punto de vista de la investigación de nuestro algoritmo. Su complejidad viene dado por el largo del tramo, la cantidad de cruces, la complejidad y cantidad de semáforos en cada uno de ellos, las distintas reglas de tráfico aplicadas a cada tramo como por ejemplo exclusividad del ómnibus, o distinción para doblar a la izquierda, tráfico vehicular y transporte público, calles no paralelas, entre otros.

Por tanto al probar que el algoritmo funciona en esta zona tan compleja se puede tener confianza de que se comportaría adecuadamente en otras zonas que no presentan tanta complejidad y obtener buenos resultados.

1.0.2. Objetivos

Estos son los objetivos básicos que se plantearon al inicio del proyecto.

- Estudio del problema del trafico y la sincronización de semáforos.
- Relevamiento de información sobre trabajos relacionados en este ámbito.
- Creación de un algoritmo evolutivo que resuelva el problema en la zona del corredor Garzón.
- Confección de el mapa y la configuración relativa a semáforos, trafico y reglas de transito.
- Demostrar que los algoritmos evolutivos pueden solucionar problemas complejos en escenarios reales, siendo una herramienta perfectamente utilizable.
- Aplicar técnicas de computación de alto desempeño para aumentar el rendimiento de la solución.
- Probar la escalabilidad de la solución.

1.0.3. Limitaciones y alcance

La información exacta sobre la configuración de los semáforos y la densidad de trafico no esta disponible públicamente, por tanto el revelamiento de datos hecho in-situ fue realizado para un numero determinado de calles para tener una aproximación útil.

Lo que se pretende modelar es el trafico vehicular y transporte publico por tanto la simulación de peatones no están incluidos.

1.0.4. Enfoque

Se creará un programa que implemente un algoritmo evolutivo que utiliza un simulador de trafico para obtener las métricas a optimizar.

1.0.5. Contacto con el publico

Cabe destacar que este proyecto se presento en Ingeniera demuestra 2014, siendo bien recibido por el publico. Constatando de primera mano que la problemática es real y llegando a la conclusión que los Ingenieros tienen las herramientas necesarias para solucionar problemas que afectan directamente a la sociedad.

1.0.6. Estructura del documento

El capítulo 2 brinda el marco teórico necesario para poder comprender los siguientes capítulos, se da una introducción sobre los algoritmos evolutivos, el problema del trafico y el corredor Garzón particularmente. En el capitulo 3 se muestran los trabajo relacionados enfocando en algoritmos genéticos para la sincronización de semáforos. En el capítulo 4 se explica la estrategia seguida para la resolución del problema y se da en detalle el diseño de la misma. El capítulo 5 cuenta con tablas, gráficas e información relacionada con el análisis experimental realizado en los distintos escenarios que se eligieron. El capítulo 6 da las conclusiones finales y el trabajo a futuro que se puede realizar.

Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se aborda el marco teórico necesario para comprender mas fácilmente el desarrollo de los capítulos posteriores. Se analiza el problema del trafico en general, los simuladores y la teoría detrás del algoritmo a utilizar.

2.0.7. Problema del transito vehicular

En gran parte del mundo se esta produciendo un crecimiento sostenido del parque automotor lo que ocasiona una serie de problemas que afectan la calidad de vida de las personas relacionados con el agravamiento de las congestiones vehiculares (CEPAL, 2003).

Este problema tiene un gran impacto en el desarrollo de las ciudades por lo que es un componente principal en los planes estratégicos para su crecimiento.

La congestión ocasiona una progresiva merma en la velocidad promedio de circulación, lo que incrementa la duración de los viajes, aumenta el consumo de combustible y la contaminación atmosférica y sonora, lo que repercute directamente en la salud de las personas. Ademas se genera una exigencia en las vías de transito que ocasiona un deterioro mayor de calles y rutas.

Uruguay no escapa a este fenómeno en particular Montevideo, donde el aumento del parque automotor esta en ascenso constante desde el 2005 (INE, 2014) Y según proyecciones el crecimiento seguiría en un promedio de 4.5 % anual hasta el 2020. (BBVAResearch, 2013)

Esto viene de la mano con el sostenido aumento de las ventas de vehículos desde el 2003 (Autoanuario, 2014)

Los expertos indican que la congestión ya esta instalada y la infraestructura vial no acompasa este crecimiento. Ademas se indica que Montevideo es la ciudad con mas semáforos por automóvil en Latinoamerica. Con mas de 620 cruces semaforizados, alguno de los cuales no están coordinados.(Subrayado, 2013)

Por todo esto es relevante el tema de la sincronización de semáforos para agilizar el transito y no generar congestiones, aumentando la velocidad promedio de los viajes y mejorando las perspectivas de desarrollo de la ciudad así como la calidad de vida de sus habitantes.

2.0.8. Corredor Garzón

El corredor Garzón esta ubicado en Montevideo Uruguay, fue construido como parte de un plan de movilidad que incluye otros 4 corredores. Presenta un carril exclusivo para ómnibus y preferenciales <http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/stm-transporte-metropolitano/plan-de-movilidad/corredores>

Tiene 6km de largo , extendiéndose desde ... hasta ..

Agregar mapa y poner referencia de donde se saco

Los problemas de sincronización de semáforos fueron admitidos en varias publicaciones.

18 diciembre 2013 - Corredor Garzón lucha contra el tiempo Dice que antes de Garzon se demoraba promedio 18 minutos, y al inaugurar el corredor 30 minutos. Después se mejoro algo para equilibrar los tiempos Para el jerarca, eso se dio con la diferencia de que hoy hay 15 semáforos más y se ganó en seguridad”. En concreto, tras la obra, se pasó de tener 5 semáforos a 20. Según Campal, su des-coordinación inicial, entre otros aspectos, fue lo que provocó tales demoras, generando malestar en los usuarios. inversión de 60 millones

4 agosto 2013 - Garzon desde un omnibus

30 julio 2013 - Intendetnta admite errores La intendenta admte errores y dice: no se ha logrado sincronizar los semáforos. Hay un tema con el software,(y) la empresa subcontratada no ha dado los resultados esperados

Abril 2013 - Otro Corredor con obras paralizadas por criticas a GARZON

2.1. Algoritmos Evolutivos

Los algoritmos evolutivos son métodos no determinísticos que se inspiran en la evolución natural de las especies utilizando conceptos como población, cruzamiento, mutación, selección, etc. Estos se utilizan para resolver problemas de optimización y búsqueda, entre otros (Nesmachnow, 2002).

Es una técnica iterativa que busca en cada paso mejorar las soluciones por medio de operadores y basado en un criterio predefinido para maximizar o minimizar.

Este tipo de solución a demostrado su utilidad en una amplia variedad de problemas complejos.

2.1.1. Algoritmos Genéticos

El algoritmo genético es uno de los mas populares dentro de los algoritmos evolutivos.

La idea base es que partiendo de una población inicial de individuos se seleccionan los mejores en base a su aptitud respecto a solucionar el problema y estos se utilizan para generar nuevos individuos ya sea por combinación o modificación. Por tanto en cada paso obtenemos mejores soluciones hasta detenernos usando un criterio de parada ya sea el numero de iteraciones o cuando ya no se puede mejorar mas la solución.

Un individuo es una codificación de la solución que resuelve el problema. La población inicial puede generarse aleatoriamente o basándose en algún conocimiento previo. La función de evaluación indica que tan buena o apta es una solución en comparación con las demás. En cada iteración la cual se llama generación se aplican operadores de cruzamiento estos son formas de combinar a los individuos para obtener otros que potencialmente sean una mejor solución y también cambios aleatorios sobre los individuos llamado mutación.

Por tanto se van seleccionando, combinando y cambiando las mejores soluciones en un proceso que va obteniendo mejores soluciones. El criterio de parada nos indica cuando termina este proceso, ya sea por que se alcanza un numero de generaciones predefinidos o por que la mejora no es evidente. Al final se devuelve la mejor solución encontrada en todo el proceso.

Hay que indicar que no es una técnica exacta pero si logra muy buenas aproximaciones y es muy buena en problemas complejos por su flexibilidad y robustez.

Representación de soluciones

No podemos trabajar directamente sobre las soluciones, por lo que tenemos que codificarlas en un modelo que nos sirva para poder aplicar el algoritmo. La inspiración biológica se ve en los nombres que adopta esta representación, llamada Cromosoma que es un vector de genes y cada valor de un gen se llama alelo. En general se codifica un vector de números binarios o reales de largo fijo, lo que facilita la aplicación de los operadores.

Función de Evaluación

Indica que tan bueno es un individuo para resolver el problema en cuestión con un valor conocido como Fitness. Este se utiliza para seleccionar a los mejores y de esta forma guiar la exploración hacia la mejor solución. Se deben tener en cuenta las restricciones del problema para que las soluciones no factibles no sobrevivan. En general es donde se consume el mayor tiempo del algoritmo en comparación con los demás operadores.

Operador de Selección

Existen diversos operadores de selección , su función es que las mejores características de los individuos se mantengan en las siguientes generaciones. Ruleta: Torneo: Elitismo:

Cruzamiento

Su función es combinar individuos para lograr mejores soluciones. Existe una tasa que se puede modificar para indicar la probabilidad de que se realice el cruzamiento. Cruzamiento de un punto: Cruzamiento azar

Mutación

Indica el método utilizado para modificar un individuo, esto se realiza para lograr mas diversidad y no caer en máximos locales. En general aplica una modificación aleatoria en el cromosoma. También hay una tasa de probabilidad, en general es baja.

Reemplazo

Se indica cual es el criterio que debemos tomar para crear una nueva población, ya sea tomando solo los nuevo hijos creados, comparando también con los padres o aplicando algún otro criterio.

Criterio de parada

Indica cuando debe terminar el algoritmo, puede ser definiendo un numero fijo de generaciones o analizando si la mejora en soluciones se estanco.

2.1.2. Funcionamiento

El esquema básico de funcionamiento es el siguiente:

Algorithm 1 Algoritmo Genético

```

1: Inicializo( Pob(0))
2: generacion = 0
3: while No llegue al criterio de parada do
4:   Evaluar Pob(generacion)
5:   Padres = Seleccionar(Pob(generacion))
6:   Hijos = Cruzamiento(Padres) y Mutacion(Padres)
7:   NuevaPob = Reemplazar Pob(generacion) con Hijos
8:   generacion++
9: end while
10: return Mejor solución

```

2.1.3. Algoritmos genético multiobjetivo

En este caso se busca una solución que satisfaga de forma simultanea las restricciones y varios objetivos diferentes.

Por que elegir multiobjetivo en este problema?

La intendencia apoya el cambio del trafico en la ciudad de Montevideo para que se haga mayor uso del transporte urbano[] y disminuir la cantidad de automóviles circulantes para disminuir el trafico y la contaminación. En este sentido se da prioridad a los ómnibus, por esta razón el algoritmo a desarrollar podrá variar los diferentes pesos para dar mas prioridad a la velocidad promedio de ómnibus y del resto de los vehículos.

Se busca que la gente prefiera el ómnibus, uno de los factores es la duración del viaje, si se logra mejorar esto se estaría cumpliendo uno de los objetivos de la intendencia SUMO brinda mucha información referente a los viajes, por lo que tenemos varias métricas a elegir para nuestro algoritmo. Entre ellas se destacan: Cantidad de vehículos que llegaron a destino, Tiempo de viaje promedio, Tiempo de ocupación promedio, velocidad promedio global, tiempo parado q emite gases. Decidimos usar la velocidad promedio separando entre ómnibus y autos. De esta forma podemos optimizar ambos en el sentido multiobjetivo, o priorizar uno sobre el otro.

2.1.4. Algoritmo Genético Paralelo

Los problemas complejos suelen requerir una alta demanda computacional por lo que aplicar técnicas de paralelización es útil para lograr tiempos de ejecución menores.

Existen varios niveles de paralelización ya sea a nivel global enfocándonos en paralizar la función fitness, a nivel de la población, o a nivel del individuo. (Nesmachnow, 2002)

En el caso de los algoritmos genéticos gran parte del tiempo se realiza en la etapa de evaluación, cerca de un 90 % del tiempo. Por esta razón es una forma buena de distribuir la carga en varios procesadores para que las evaluaciones se realicen en paralelo.

2.1.5. Maestro-Esclavo

En este modelo un proceso maestro es el encargado de realizar los operadores básicos del algoritmo y distribuir a procesos esclavos la evaluación de la función fitness para un conjunto de individuos, el esclavo devuelve el resultado y luego el maestro es el encargado de continuar ejecutando los operadores.

De este modo aumenta la eficiencia computacional del algoritmo ya que una de las funciones mas costosas es distribuida entre varios nodos.

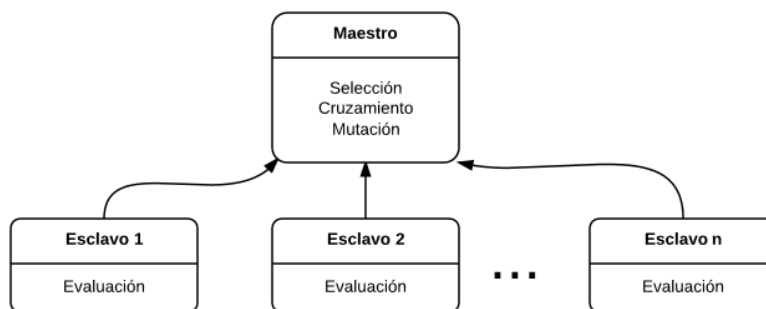


Figura 2.1: Modelo Maestro-Esclavo

2.1.6. Algoritmo a desarrollar

El algoritmo a desarrollar viene con el malva

Los parametros se van a buscar: poblacion, mutacion, cruzamiento

La funcion objetivo es multiobjetivo, tambien se buscara la mejor relacion

Es paralelo en la funcion fitness, creando hilos con un enfoque maestro esclavo.

2.2. Simulación y herramientas

2.2.1. Simuladores de tráfico

Los simuladores de tráfico son programas que simulan el movimiento de vehículos sobre una red de calles, es una herramienta muy usada en la investigación de tráfico vehicular, así como estudio de congestiones o análisis de impacto que tendrán nuevas infraestructuras. Las razones para usar una simulación son varias, entre ellas se encuentra la rapidez, ya que la simulación se puede realizar en tiempo mucho mas rápido que en la realidad, el costo en dinero ya que no estamos afectando el escenario real y tampoco tenemos que modificar o detener el escenario real para probar nuevos parámetros. Además nos sirve para poder prever situaciones que podrían darse bajo determinadas circunstancias.

Los simuladores se pueden dividir en microscópicos o macroscópicos según el nivel de detalle de la simulación. Un simulador macroscópico modela el tráfico vehicular como un fluido. En cambio un simulador microscópico simula el movimiento de cada vehículo según sus características particulares.

SUMO(SUMO, a) es uno de los simuladores abiertos mas populares, es microscópico y utiliza una serie de archivos XML que representan las rutas, los vehículos y el trafico.

Cuanto mas crece el numero de vehículos y la complejidad de la red de mapas mas difícil se hace crear la entrada básica que necesita el simulador. Aunque existen diversas herramientas que ayudan a este proceso aun se requiere un trabajo manual para el acondicionamiento de estos archivos.

En las siguientes secciones se muestra mas en detalle algunas de sus funcionalidades y características.

2.2.2. Modelo de trafico

Esta es la representación de la circulación de vehículos, aquí exponemos algunos de los mas populares.

Aleatorios: Genera diferentes recorridos que seguirán los vehículos aleatoriamente

JTR (junction turning ratio) : basados en probabilidades en los cruces es decir cuando un vehículo llega a un cruce tiene cierta probabilidad de seguir o doblar.

Basado en áreas: Se especifican áreas como un conjunto de calles y se realizan recorridos entre ellas.

Basado en Actividad: Se especifica la cantidad de casas, vehículos y población en un determinado lugar y el modelo genera la densidad de trafico que se producirá basado en los tipos de actividades que se realizan comúnmente como ir al trabajo, hacer las compras, ir a la escuela, etc

Definido por el usuario: que permiten determinar la ruta de los vehículos con mayor detalle.

2.2.3. Representaciones

Red de calles

La red de calles se representa como un grafo dirigido en un archivo xml con extensión .net.xml . Allí se especifican los nodos, y vértices así como sus atributos. También se representan los semáforos. Esto se genera utilizando una herramienta para convertir un mapa al formato que SUMO utiliza.

Representación Trafico

En este caso también se utiliza un archivo xml donde se definen las rutas y los recorridos. Un recorrido representa el movimiento de un vehículo de un punto inicial hacia un punto final (El recorrido se hacen en tiempo de ejecución utilizando el camino mas corto basado en el trafico).

Representación del tiempo

El tiempo se representa como una serie de pasos discretos, cada uno durando un segundo. Este valor se puede modificar aunque es recomendado dejarlo así para que sea consistente.

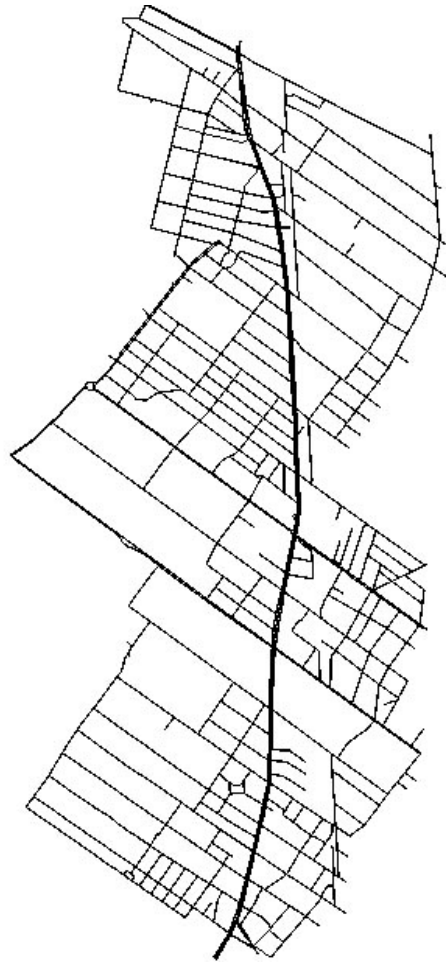


Figura 2.3: Mapa cargado en SUMO luego del modelado y procesamiento

Trabajo de campo realizado

Al no contar con datos públicos sobre la configuración de los semáforos de la zona, realizamos un revelamiento in-situ con las siguientes características.

Se seleccionaron 5 cruces que presentan diferentes características para poder modelar las variantes tanto de cruces con alto tráfico, medio y bajo. Estos son: Camino Ariel, Battle y Ordoñez, Plaza Videla, Camino Colman y Aparicio Saravia.

Se eligió el día miércoles, que estuviera soleado y entre las 15 y 17 horas para no tener los sesgos que se producen los fines de semana o días de lluvia. Se realizaron filmaciones de 30 min en los cruces y luego se analizaron los videos para realizar el conteo manual con la posibilidad de enlentecer el video para mayor facilidad. Luego se completa una planilla excel donde se tiene la información de vehículos que recorren Garzón, la calle que cruza y los que doblan. También discriminamos entre vehículos y ómnibus que recorren Garzón.

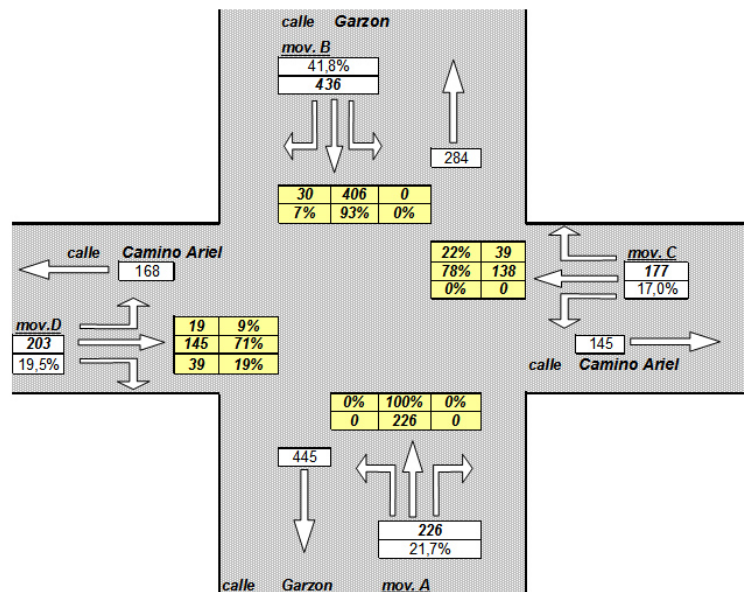


Figura 2.4: Planilla electrónica para el conteo manual en Camino Ariel

Ademas se realizaron recorridas de punta a punta del corredor a una velocidad constante para verificar los tiempos obtenidos en la simulación para este recorrido.

Para obtener la configuración de los semáforos se realizo un recorrido en bicicleta por el corredor cronometrando la duración del tiempo en cada esquina de cada semáforo. Tanto de ida como de vuelta para corroborar que fueran correctos. Estos tiempos fueron verificados por los vídeos obtenidos.

Creación del modelo del trafico

Con los datos relevados se creo un modelo vehicular de la ciudad [poner el mapa] que brinda una aproximación sobre la densidad de trafico y la velocidad promedio de circulación.

Se utilizo el programa Traffic Modeler (Papaleontiou) con lo que se logra generar modelos de trafico complejo de manera visual y sencilla. Se opto por un modelo de movilidad entre áreas lo que permite una buena granularidad al especificar la densidad de trafico.



Figura 2.5: Mapa del TrafficModeler con las áreas de trafico. Círculos del mismo color indican trafico especificado entre esas áreas

Actualmente no se cuenta con información publica relativa a la configuración de los semáforos en la ciudad, aunque cabe destacar que en el futuro se prevé crear un sistema centralizado de sincronización de semáforos. (Observador) En este caso se agrego la información sobre la configuración de los semáforos de los datos relevados.

Se manejan dos tipos de vehículos autos y ómnibus cada uno con características distintas tanto de tamaño, aceleración y velocidad máxima.

Se agregaron las frecuencias y los distintos recorridos de los ómnibus obtenidos de datos públicos de la Intendencia de Montevideo (IMM) Estos incluyen las líneas urbanas 'G', la '409', '522' y '148'. Las líneas de ómnibus suburbanas realizan un mismo trayecto

y las generalizamos con el nombre 'A'. Todas las líneas de ómnibus fueron cargadas con las paradas correspondientes y se hicieron variantes en los viajes dentro de una misma línea para simular el hecho de que no siempre se para en las mismas paradas.

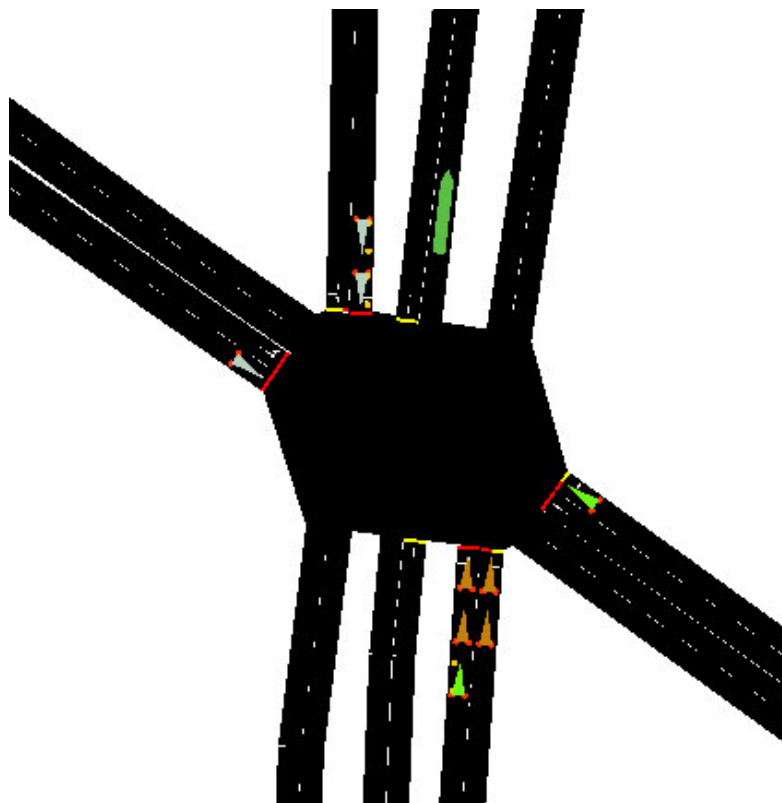


Figura 2.6: Simulación de tráfico en SUMO en el curce entre Bulevar Battle y Ordoñez y el Corredor Garzon.

2.3. Herramientas

Aquí se muestra información útil sobre las herramientas utilizadas.

2.3.1. Open Street Map:

Es un proyecto en donde una comunidad crea mapas libres y editables (OSM, a). Cuenta con cerca de 1.8 millones de usuarios y mas de 20.000 que editaron algo en el ultimo mes (OSM, b) por lo que es muy activa. Se utilizan datos de GPS móviles, fotografías satelitales y otras fuentes libres para crear los mapas y editarlos.

2.3.2. SUMO (Simulation of Urban MObility)

Es un simulador de tráfico gratis y abierto que nos permite modelar redes de calles, vehículos, transporte publico, ciudadanos y semáforos (SUMO, a). Sigue un modelo microscópico ya que realiza la simulación individual explicita de cada elemento. Además incluye un conjunto de herramientas destinadas a facilitar la generación de tráfico, construcción de mapas, etc.

2.3.3. Por que usar SUMO?

otras alternativas? Revisar estado del arte? Sumo es gratis Nos permite utilizarlo sin interfaz gráfica por linea de comando lo que aumenta sensiblemente la velocidad ed ejecución, y nos permite visualizar la interfaz gráfica una vez completada la optimización para ver exactamente como se comporta el sistema en la simulación.

Sumo presenta varias salidas con información interesante: (SUMO, b) La salida obtenemos el tiempo de simulación, la cantidad de emitidos y la cantidad de completados. Buscamos que sea ¿80Permite la ejecución tanto por linea de comando como una interfaz gráfica para visualizar

2.3.4. NetConvert

Utilizado para la generación de la red a partir de un mapa. Por ejemplo podemos transformar un mapa de Open Street Map en archivo XML de red que SUMO reconoce. Este programa viene integrado con SUMO

2.3.5. DUaRouter

Genera recorridos de vehículos basado en dinámicas definidas por el usuario. Esta utilidad viene integrada con SUMO.

2.3.6. Traffic Modeler

Herramienta para la generación de trafico de manera visual y luego transformarlo para que sea reconocido por SUMO. (Papaleontiou)

Escenarios

Capítulo 3

Presentación y trabajos relacionados

3.1. Presentación

3.2. Formulación matemática

3.3. Por que usar algoritmo genéticos?

El problema de sincronización de semáforos es NP-Hard y no existe (hasta el momento) un método determinístico que lo resuelva, se buscará mediante algoritmos evolutivos llegar a una configuración aceptable minimizando los tiempos de espera de los automóviles, mejorando así la configuración actual de los semáforos del corredor de Garzón.

[no se si esto va aca]

3.4. Estado del arte

La investigación del estado del arte se realizo con dos objetivos en mente el primero analizar las distintas soluciones que existen actualmente para el problema y segundo para encontrar nuevas prácticas, algoritmos o utilidades que pudieran fortalecer la solución.

El problema del tráfico optimizando las luces de los semáforos se puede resolver por muchos métodos como autómata celular[], redes neuronales (López et al., 1999), lógica difusa (G. Y. Lim and Hong, 2001), redes de petri (DiFebbraro et al., 2002), sistema expertos[]? o programación lineal[]? por lo tanto la cantidad de soluciones encontradas fue abundante y variada por esto se decidió enfocarse en soluciones lo más cercanas a la propuesta y en otras que tuvieran alguna particularidad interesante para destacar.

- J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio. Genetic algorithms and cellular automata: A new architecture for traffic light cycles optimization. 2004

Este trabajo se basa en tres puntos: El uso de algoritmos genéticos para la optimización, simulación de autómatas celulares para la función de evaluación del tráfico, y un cluster para realizar ejecuciones en paralelo. El modelo es pequeño con 5 calles de 2 vías que se intersectan. La codificación del cromosoma es una tira de números enteros, donde se codifica para cada intersección cual calle esta habilitada en cada

ciclo. Usa una estrategia de selección elitista donde los 2 mejores se clonan a la siguiente generación, y el resto es generado por cruzamiento de 2 puntos, además usa mutación variable dependiendo .

Para la evaluación se usa el tiempo medio, esto es desde el momento que un vehículo entra en la red hasta que sale. Se utilizó un cluster y programación paralela utilizando MPI 2 con una estrategia master-slave, el master envía los cromosomas a los esclavos que evalúan y devuelven el resultado y luego el master se encarga de generar la siguiente población.

Se compararon los resultados con una simulación aleatoria y con una fija, obteniendo la solución propuesta mejores resultados en todos los casos evaluados

Este mismo grupo realizó trabajos similares expandiendo esta investigación, como los siguientes.

- J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio. Applying a traffic lights evolutionary optimization technique to a real case: “las ramblas” area in santa cruz de tenerife. 2008 Lo interesante de este estudio es que se aplica lo expuesto en el trabajo anterior en un lugar real (Santa Cruz de Tenerife) para validar los resultados. Algunas mejoras que se introdujeron fueron que el cromosoma se codifica utilizando como código Gray lo que dicen mejora el rendimiento en mutación y cruzamiento. La población inicial son nueve “soluciones” provistas por la alcaldía de la ciudad. Tanto la estrategia de selección como de cruzamiento y mutación es similar al anterior trabajo

El modelo se discretizó quedando en 42 semáforos, 26 entradas y 20 salidas. Las soluciones provistas por la alcaldía se simularon y se utilizó para comparar con los resultados obtenidos por el algoritmo que en términos generales logra un aumento del rendimiento de hasta 26 %.

- J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio. Traffic signal optimization in “la almazara” district in saragossa under congestion conditions, using genetic algorithms, traffic microsimulation, and cluster computing. 2010 Este trabajo es similar al anterior pero se destacan algunos cambios, por ejemplo se probaron 4 diferentes funciones de fitness: Cantidad de vehículos que llegaron a destino, Tiempo de viaje promedio, tiempo de ocupación promedio, velocidad promedio global. También agrega medidas correspondientes al gas total emitido por los vehículos que tiene relación con la velocidad a la que van. El modelo discretizado de la zona de “La Almozara” cuenta con 17 semáforos, 7 intersecciones, 16 entradas y 18 salidas. Se simuló tanto un caso estándar como casos de alta congestión de tráfico, las comparaciones se hacen respecto a las distintas funciones de fitness y los distintos escenarios planteados logrando buenos resultados.
- SÁNCHEZ. Estudio de la optimización del tráfico rodado mediante el ajuste de los ciclos de semáforos por algoritmos genéticos en dispositivos de computación paralela usando modelización discreta: Ejemplos de aplicación. 2007 En esta tesis se conjugan varios de sus trabajos que ya comentamos, ampliando y profundizando en varios puntos.
- J. Penner, R. Hoar, and C. Jacob. Swarm-based traffic simulation with evolutionary traffic light adaptation. 2002 Este trabajo se centra en un modelo de simulación

basado en enjambres, utilizando el programa SurJe[] para el mapa y la simulación. Luego se optimiza utilizando un algoritmo genético cuya función de fitness es el tiempo promedio de los vehículos dentro de la red. El cromosoma cuenta con la secuencia y duración de los semáforos, así como relación con los semáforos complementarios, la mutación tiene en cuenta esto para que no ocurra en una misma intersección 2 luces verdes. El cruzamiento se hace entre los distintos semáforos con una probabilidad mas alta si esta en la misma intersección.

El modelo cuenta con una ruta de 2 vías, con 3 carriles, y 3 intersecciones con 1 ruta de 2 vías y un solo carril. Se comparan 3 escenarios distintos obteniendo mejoras significativas con respecto al inicio.

Luego se realiza otro escenario mas complejo de 28 semáforos y 9 intersecciones logrando buenos rendimientos de hasta 26

- D. H. Stolfi. Optimizacion del trafico rodado en ciudades inteligentes. 2012 Este trabajo se basa en el concepto de una ciudad inteligente enfocando en la movilidad inteligente ya que indica que los atascos del trafico provocan no solo perdidas económicas sino también contaminación ambiental.

Para ello propone utilizar un algoritmo inteligente que tomando en cuenta el estado de congestión de las rutas sugiere al usuario cual es la ruta mas rápida a su destino, utilizando un dispositivo en el automóvil que se enlazara por wifi con los semáforos (que cuentan con sensores). Por lo tanto el trabajo no se basa en la optimización de las señales de los semáforos existentes sino agrega encima de esto un sistema de búsqueda de mejor ruta.

Para el modelo utiliza una zona de la ciudad de Málaga obtenido desde Open Street Map, cuenta con 8 entradas y 8 salidas , para la simulación utiliza SUMO. Los vehículos modelados son : turismo, monovolumen, furgoneta, camión donde se varia la longitud, velocidad y probabilidad que entre en la red de trafico.

Se intenta minimizar los tiempo de viaje de los vehículos que circulan por la red. Para ellos se utiliza un algoritmo genético cuya estrategia de selección consiste en tomar los 2 peores individuos y reemplazándolo por los 2 mejores hijos encontrados. En el cromosoma se representa cada sensor, con los destinos y rutas posibles. La función de fitness tiene en cuenta la cantidad de viajes completados durante el tiempo de ejecución, el tiempo medio utilizado, y el retraso medio. Se prueban varias estrategias de cruzamiento y mutación. Las ejecuciones tienen un tiempo fijo de duración.

Compara el resultado con una simulación por defecto realizada con el programa DuaRouter que viene con SUMO donde se generaron 64 itinerarios diferentes, esto se prueba en 3 escenarios diferentes. Las simulaciones se realiza hasta con 800 vehículos,se concluye que al aumentar la cantidad de vehículos (mas de 400) en el sistema la solución mejora sustancialmente el resultado base.

- K. T. K. Teo, W. Y. Kow, and Y. K. Chin. Optimization of traffic flow within an urban traffic light intersection with genetic algorithm. 2010 Este trabajo presenta un modelo simple con una sola intersección en donde se intenta optimizar los tiempos de los semáforos para lograr mejor rendimiento.El cromosoma representa los tiempos de la luces verdes, el cruzamiento toma 80 de información de un padre y 20 del otro. La función de fitness es el largo de las colas generadas. La simulación

tiene un tiempo fijo de 600 segundos por generación pero no se detalla el tipo que se utilizo. Las conclusiones indican que la optimización usando algoritmos genéticos es buena para el problema del flujo de trafico.

- D. J. Montana and S. Czerwinski. Evolving control laws for a network of traffic signals. 1996 Utiliza un enfoque adaptativo con sensores que analizan el trafico en tiempo real (un sensor para saber cuantos autos pasan y otro para saber que tan larga es la cola) tomando en consideración los cambios que se producen con respecto al caso promedio y cambiando los tiempos de las señales en forma acorde. La premisa se basa en la inteligencia colectiva en donde agentes individuales realizan tareas simples que al interactuar producen resultados globales.

Se aplica programación genética mas específicamente STGP (strongly typed genetic programming [Montana, 1995]) que aprende el árbol de decisión que sera ejecutado por todas las intersecciones cuando decida el cambio de fase. Ademas un algoritmo genético híbrido busca diferentes contantes que serán usadas en los arboles de decisión, permitiendo una especialización en las diferentes geometría y flujo de trafico

La medida básica de efectividad en la función de evaluación es el “Delay” , esto es el total de tiempo perdido por causa de las señales de trafico. Se probaron 3 modelos distintos que tienen 4 intersecciones. El simulador usado utiliza una versión especial de TRAF-NETSIM[].

El experimento arroja buenos resultados en cuando a la performance de la red comparando con un ciclo fijo, y que presenta buena adaptabilidad en diferentes circunstancias. Marca el hecho de que el modelo es simple y de tamaño pequeño, y que es una incógnita como funcionara con problemas mas complejos.

- A. Vogel, C. Goerick, and W. von Seelen. Evolutionary algorithms for optimizing traffic signal operation. 2000

La solución utiliza un enfoque auto-adaptable para mejorar el trafico tanto en el corto como el largo plazo a través de la optimización de las señales de trafico en las intersecciones de una red de rutas. Al darle dinamismo a cada intersección se mejora el rendimiento de la red.

Destaca el hecho que dada una configuración de señalización aun siendo optimizada usando simulaciones es difícil que sea la mejor en todas las situaciones o en casos extremos (horas picos). Para solucionar esto proponen un sistema auto-adaptable que toma la información del trafico actual usando detectores de vehículos y de espacios.

Utiliza el concepto de fases para representar las distintas posibilidades en la señalización de la intersección, y cuanto tiempo debe permanecer en esa fase. Esto provoca que cuanto mas fases mas cantidad de secuencias son agregadas. Utiliza algoritmos evolutivos donde cada individuo representa un sistema de fases junto con sus parámetros. usa. El fitness se obtiene simulando ese sistema en un modelo de trafico. Este modelo es relativamente pequeño una intersección con 4 brazos, cada uno con 3 líneas una de ellas para doblar a la izquierda, la del medio para ir derecho, y la restante para giros a la derecha. La ruta principal tiene el doble de densidad vehicular que la que la cruza.

El simulador utilizado esta basado SIMVAS++ []

Los resultados indican que la ventaja de usar conocimiento experto para configurar los parámetros iniciales es mínimo ya que llega muy rápido a resultados similares. Tanto la búsqueda de los mejores parámetros como en estructuras mas simples el algoritmo se comporta con buenos resultados.

- N. M. Rouphail, B. B. Park, and J. Sacks. Direct signal timing optimization: Strategy development and results. 2000

Se estudia una pequeña red de trafico con 9 intersecciones con semáforos en la ciudad de Chicago(Usa), contando con parking, rutas de ómnibus y paradas así como con vehículos. Se toman valores reales en horas pico AM y PM, comprobando que las colas que se generan en la simulación coinciden con la realidad. Usa el programa TRANSYT-7F[] (Que permite visualizar mapas y contiene optimización de varios algoritmos genéticos. Se probaron 12 estrategias distintas en 7F y la mejor fue simulada en CORSIM[] 100 veces. Se midió el tiempo de demora en la red y el largo de las colas producidas La performance de la red aumentó considerablemente usando este método

3.5. Resumen

Existen variedad de soluciones propuestas al problema de la sincronización de semáforos y todas logran buenos resultados en mayor o menor medida.

... indicar que dentro del estado del arte nuestra propuesta es mas compleja, con mas semáforos largo, cruces, etc

Capítulo 4

Estrategia de resolución

En este capítulo se presenta el algoritmo desarrollado, su estructura, parámetros y configuración.

4.1. Librería Malva

Malva [<http://themalvaproject.github.io/>] surge como una variante del proyecto Mallba [<http://neo.lcc.uma.es/mallba/easy-mallba/index.html>]. Propone la actualización, mejora y desarrollarlo como un proyecto de código abierto colaborativo. Su objetivo es proveer de varios esqueletos de heurísticas de optimización que puedan ser utilizados y extendidos de manera fácil y eficiente.

Los esqueletos se basan en separar dos conceptos: El problema concreto que se quiere resolver y por otro lado el método utilizado para resolverlo. Por tanto un esqueleto se puede ver como un template genérico que se instancia para resolver un problema particular, manteniendo todas las funcionalidades genéricas.

Utiliza el lenguaje c++ dado su alto nivel, modularidad y flexibilidad. Los esqueletos se ofrecen como un conjunto de clases requeridas que son las que el usuario deberá modificar para adaptarlo a su problema y las provistas, que incluyen todos los aspectos internos del esqueleto y son independientes del problema particular. Los esqueletos provistos o sea los algoritmos soportados son Algoritmos genéticos y CHC[].

4.2. Especificación del Algoritmo Genético utilizado

Se utiliza el el algoritmo genético provisto por la librería Malva llamado NewGA. Entre sus características se encuentra que tiene la posibilidad de reemplazar padres por hijos, la selección de los padres se realiza por torneo de 3 individuos, y la selección de hijos por ruleta.

Mas adelante se realizara un ajuste de parámetros para determinar la población, factor de mutación y de cruzamiento usados por el algoritmo.

El siguiente esquema muestra el algoritmo utilizado. (MalvaAlgoritmo)

Algorithm 2 Algoritmo Genético de Malva

```

1:  $t = 0$ 
2: Inicializo(  $P(t)$ )
3: Evaluar estructuras en (  $P(t)$ )
4: while No termine do
5:    $t++$ 
6:   Seleccionar  $C(t)$  de  $P(t-1)$ 
7:   Recombinar estructuras en  $C(t)$  formando  $C'(t)$ 
8:   Mutar estructuras en  $C'(t)$  formando  $C''(t)$ 
9:   Evaluar estructuras en  $C''(t)$ 
10:  Reemplazar  $P(t)$  de  $C''(t)$  y  $P(t-1)$ 
11: end while

```

4.2.1. Representación

Para poder explicar la representación del problema de los semáforos del corredor Garzón, es preciso compartir algunas definiciones que usaremos a lo largo de la propuesta: Cruce: se define como el lugar de intersección de dos o más vías de circulación. Fase: es la configuración de las luces de los semáforos en un determinado cruce; un cruce tiene hasta 8 fases. Por ejemplo una fase de un cruce puede ser “rrrrGGrrrrGG” durante 52 segundos. Donde “G” es Verde, “r” es Rojo y “y” es Amarillo. Es importante que el algoritmo evolutivo a implementar no genere soluciones que no sean viables por lo que éste no debe de poder modificar la combinación de luces de cada fase y de

esta manera no se generarán fases con combinaciones de luces equivocadas (podría generar accidentes de tránsito). En pos de un mejor rendimiento y ya que en realidad no modifican los tiempos reales del paso de los vehículos, se omitieron las fases que tienen luces amarillas en la representación del cromosoma. El cromosoma se va a agrupar lógicamente en cruces, definimos el valor de un gen como el tiempo que demora una fases de un cruce (sin considerar las amarilla, estas quedan fijas con el valor obtenido en la realidad) o la fase con la que inicia un cruce, por lo que el tamaño del cromosoma depende de la cantidad de cruces y de la cantidad de fases que tiene cada cruce, teniendo así la información de todos los cruces.

4.2.2. Codificación

A continuación se muestra un ejemplo en el cual se mapea un cruce representado en el cromosoma y un cruce representado en el archivo de configuración de semáforos que utiliza el simulador SUMO. Como se mencionó anteriormente se omite el valor de la luz

amarilla en el cromosoma y se mantiene el valor real recabado y el valor que tiene el cromosoma en el gen de inicio de fase se corresponde con el valor de “offset” en el XML. Cruce representado en el cromosoma:

4.2.3. Inicialización

Para la inicialización de la población se toma como referente la configuración obtenida con los datos in situ, luego para cada cruce se hacen variar las duraciones de las fases de manera aleatoria entre un rango de 5 segundos a 60 segundos (estos valores son configurables) y la fase inicial se hace variar aleatoriamente entre la cantidad de fases del cruce (se cuentan las luces amarillas).

4.2.4. Función fitness

Para evaluar un individuo, lo que se hace es crear un archivo XML de configuración de señalización de tránsito que utiliza el simulador SUMO en base al cromosoma del individuo, luego se ejecuta el simulador con la configuración generada, el tiempo de simulación devuelto será el valor de la función de fitness.

4.2.5. Operadores

Selección

Cruzamiento

Se utilizará cruzamiento de un punto (1PX), implementado específicamente para el problema, seleccionando el intervalo entre 2 cruces como punto de corte, por ejemplo: Esto hace que si un tramo del corredor es bueno, esta propiedad se mantenga.

Mutación

La mutación también fue implementada específicamente para el problema, utilizaremos dos tipos de mutación: Mutación de duración de fase: para cada fase de cada cruce se hace variar su duración sumando o restando una cantidad dada de segundos entre un rango determinado con una probabilidad dada. Mutación de inicio de cruce: se elige aleatoriamente una fase con la cual va a arrancar inicialmente el cruce con una probabilidad dada.

4.2.6. Criterio de parada

Cantidad de generaciones: Es la cantidad de generaciones con la cual se toma el criterio de parar la ejecución del algoritmo, el número de generaciones que vamos a usar es x Probabilidad de convergencia: La convergencia se define como la relación entre los N mejores valores de fitness de las generaciones anteriores contra el mejor valor de la generación actual. Nosotros vamos a utilizar N con el valor de x y una probabilidad de convergencia de x

4.3. Multiobjetivo

4.4. Algoritmo Paralelo

Agregar diagrama de maestro esclavo

4.5. Resumen

Capítulo 5

Análisis Experimental

En esta sección se presenta la descripción de los escenarios , la plataforma de ejecución y el análisis experimental.

Este se divide en dos etapas, primero se realiza la configuración parametrica para encontrar la mejor ejecución del algoritmo. Luego se realizan las pruebas donde se comparan los resultados entre los distintos escenarios.

5.1. Descripción de escenarios

En todos los escenarios se utiliza los datos obtenidos del trafico vehicular, configuración de semáforos y frecuencia de los ómnibus.

5.1.1. Caso base

Esto representa la situación actual en términos de trafico, red vial y sincronización de semáforos del corredor Garzón.

Se valida su correctitud comparando los tiempos obtenidos en la simulación con tiempos obtenidos in-situ de los recorridos de ida y vuelta para los vehículos. Y utilizando las frecuencias de acceso publico en el caso de los ómnibus.

5.1.2. Escenario Evolutivo

En este caso se ejecuta el algoritmo evolutivo sobre el caso base para obtener una nueva sincronización de semáforos optimizada que repercutirá en la calidad del trafico.

5.1.3. Escenario Alternativo

Luego de analizar aquellos puntos que se entienden podrían atentar contra el buen funcionamiento del Corredor, se agregan algunas modificaciones al escenario base para intentar mejorarlo.

- Limitar cruces a la izquierda
- Eliminar paradas
- Agregar calles paralelas a Garzon
-

5.2. Desarrollo y Plataforma de ejecución

Los algoritmos fueron desarrollados usando la librería Malva que fue extendida en el código base para soportar la creación de nuevos hilos de ejecución para lograr el funcionamiento en paralelo.

Los escenarios fueron ejecutados en el cluster fing.

Cluster: Es un conjunto de computadoras independientes conectadas para que trabajen integradas como un solo sistema. De esta forma se consigue un alto rendimiento en la ejecución de tareas.

Cluster Fing: Es una infraestructura de alto desempeño, que brinda soporte en la resolución de problemas complejos que demandan un gran poder de computo.

Descripcion del hardware:

- 9 servidores de cómputo

- Quad core Xeon E5430, 2x6 MB caché, 2.66GHz, 1.333 MHz FSB.

- 8 GB de memoria por nodo.

- Adaptador de red dual (2 puertos Gigabit Ethernet).

- Arquitectura de 64 bits.

- Servidor de archivos: 2 discos de 1 TB, capacidad ampliable a 10 TB.

- Nodos de cómputo: discos de 80 GB.

- Switch de comunicaciones

- Dell Power Connect, 24 puertos Gigabit Ethernet.

- Switch KVM (16 puertos) y consola.

- UPS APC Smart RT 8000VA.

5.3. Ajuste de parámetros de algoritmos

Se busca la mejor configuración inicial de los parámetros realizando pruebas experimentales con diferentes combinaciones.

- Criterio de parada

- Tamaño de la población

- Probabilidad de mutación

- Probabilidad de cruzamiento

Para esto se realizaron 20 ejecuciones independientes para el algoritmo secuencial inicial. El criterio de parada se eligió por el numero de generación.

Para la población se probaron 32, 64, 128 . Los resultado indicaron que

Para el cruzamiento 0.5, 0.8, 1 Para mutación 0.01, 0.05 y 0.1

La mejor configuración obtenida fue: Población:120, mutación:0.01 , cruzamiento: 1

Las gráficas muestras el promedio de las 20 ejecuciones para resolver el escenario inicial.

5.3.1. Tiempo de simulación

Cada simulación tiene una duración fijada en base a ajustes previos realizados para que al menos 80 % de los vehículos emitidos al inicio llegaron a su destino con un 90 % de confianza (este parámetro lo explicamos en ajuste de parámetros? hay q poner algo de shapiro-wilk de confianza). Esto permite mantener constante el tiempo de ejecución total del algoritmo y saber cuanto demorara su ejecución teniendo en cuenta la población y generaciones configuradas. De esta forma se logra una mayor confianza a la hora de comparar los resultados.

5.4. Resultados

Presentaremos los resultados obtenidos utilizando los parámetros óptimos para el escenario inicial, el escenario modificado, y la prueba en el cluster.

5.4.1. Resultado simulación caso base

5.4.2. Resultado Escenario Inicial (Algoritmo Secuencial)

5.4.3. Resultado Escenario Alternativo (Algoritmo Secuencial)

5.4.4. Resultado de ejecución en paralelo.

5.4.5. Comparación caso base vs Algoritmo Secuencial

Análisis comparativo : test paramétrico H1) los resultados de mejor fitness tienen una distribución normal. H2) Existe una diferencia significativa entre los de conjuntos de muestras obtenidos por el algoritmo y la realidad.

El test de normalidad de Shapiro-Wilks resultó ser verdadero en ambos casos con un alto porcentaje de confiabilidad y luego al realizar los test T-student [] resulto tener menos de 0,0001 lo que se considera una diferencia que estadísticamente es significativa. Esto confirma algo que resulta evidente ya que al comparar el promedio de los mejores fitness con la realidad encontramos una diferencia de un 31,8casos son bastante acotados ya que hay mucha cantidad de vehículos con grandes/medias distancias.

Con los resultados obtenidos en las ejecuciones para los escenarios 1 y 2 se obtuvo un mejor fitness de 661 y 515 respectivamente, comparado con el tiempo de la configuración real que demora 1019 y 690, las soluciones son muy buenas.

5.4.6. Comparación Algoritmo Secuencial vs Algoritmo Paralelo

Speedup se define como ...

5.4.7. Escalabilidad de Algoritmo Paralelo

Ejecutar en 4, 8 ,16, 32

5.5. Resumen

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

A pesar de que el problema de sincronización de semáforos es un problema difícil de abordar, los resultados obtenidos muestran la capacidad de los algoritmos genéticos para resolver problemas de este tipo, obteniendo resultados muy buenos.

El enfoque multiobjetivo aun siendo básico dio buenos resultados en el sentido de priorizar un tipo de trafico u otro.

El desarrollo de algoritmos con capacidad de paralelización son fundamentales sobre todo en problemas complejos que requieren mucho poder de computo como el que se abordo. Y demuestran que son útiles en acelerar el procesamiento.

6.2. Trabajo futuro

Bibliografía

- Autoanuario. Gráficas y cuadros de valores estadísticos del mercado nacional. http://www.autoanuario.com.uy/index_mercado_graficas.html, 2014.
- BBVAResearch. Uruguay situación automotriz. https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2014/05/1303_SitAutomotrizUruguay_2013.pdf, 2013.
- CEPAL. Congestión de tránsito, el problema y cómo enfrentarlo. <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/9/13059/cue-87.pdf>, 2003.
- DiFebraro, Giglio, and Sacco. On applying petri nets to determine optimal offsets for coordinated traffic light timings. *Proc. IEEE 5th Int. Conf. Intell. Transportation Syst.*, pages 773–778, 2002.
- J. J. K. G. Y. Lim and Y. S. Hong. The optimization of traffic signal light using artificial intelligence. *10th IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst*, page 1279–1282, 2001.
- IMM. Intendencia municipal de montevideo. <http://www.montevideo.gub.uy>.
- INE. Transporte y comunicaciones. http://www.ine.gub.uy/biblioteca/uruguayencifras2014/Uruguay_en_cifras_2014_Cap_11.pdf, 2014.
- S. López, P. Hernandez, A. Hernandez, and M. Garcia. Artificial neural networks as useful tools for the optimization of the relative offset between two consecutive sets of traffic lights. *Foundations and Tools for Neural Modeling*, page 795–804, 1999.
- MalvaAlgoritmo. Algoritmo genetico de malva. <https://github.com/themalvaproject/malva/wiki/Algorithms:-Genetic-Algorithm>.
- D. J. Montana and S. Czerwinski. Evolving control laws for a network of traffic signals. 1996.
- S. Nesmachnow. Evolución en el diseño y clasificación de algoritmos genéticos paralelos,. 2002.
- Observador. Imm sincronizará 400 semáforos para agilizar el tránsito capitalino. <http://www.elobservador.com.uy/noticia/292066/imm-sincronizara-400-semaforos-para-agilizar-el-transito-capitalino/>.
- OSM. Open street map. www.openstreetmap.org/, a.
- OSM. Osm stats. <http://osmstats.neis-one.org/>, b.

- L. Papaleontiou. Sumo traffic modeler. <http://sourceforge.net/projects/trafficmodeler/>.
- J. Penner, R. Hoar, and C. Jacob. Swarm-based traffic simulation with evolutionary traffic light adaptation. 2002.
- N. M. Rouphail, B. B. Park, and J. Sacks. Direct signal timing optimization: Strategy development and results. 2000.
- SÁNCHEZ. Estudio de la optimizacion del trafico rodado mediante el ajuste de los ciclos de semaforospor algoritmos geneticos en dispositivos de computacion paralela usando modelizacion discreta: Ejemplos de aplicacion. 2007.
- J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio. Genetic algorithms and cellular automata: A new architecture for traffic light cycles optimization. 2004.
- J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio. Applying a traffic lights evolutionary optimization technique to a real case: “las ramblas” area in santa cruz de tenerife. 2008.
- J. Sánchez, M. Galán, and E. Rubio. Traffic signal optimization in “la almazara” district in saragossa under congestion conditions, using genetic algorithms, traffic microsimulation, and cluster computing. 2010.
- D. H. Stolfi. Optimizacion del trafico rodado en ciudades inteligentes. 2012.
- Subrayado. Expertos en tránsito: “el colapso está establecido” en montevideo. <http://www.subrayado.com.uy/Site/noticia/23835/expertos-en-transito-el-colapso-esta-establecido-en-montevideo>, 2013.
- SUMO. Simulation of urban mobility. http://sumo.dlr.de/wiki/Main_Page, a.
- SUMO. Sumo output. <http://sumo.dlr.de/wiki/Simulation/Output>, b.
- K. T. K. Teo, W. Y. Kow, and Y. K. Chin. Optimization of traffic flow within an urban traffic light intersection with genetic algorithm. 2010.
- A. Vogel, C. Goerick, and W. von Seelen. Evolutionary algorithms for optimizing traffic signal operation. 2000.