

Generación de rutas de viaje con base a un sistema de información geográfico

Jesús Yaljá Montiel Pérez, Rodolfo Romero Herrera, José Luis López Bonilla

Resumen.--Mediante el uso de una base de datos geográfica integrada por un sistema de información geográfico, se utiliza una red neuronal de tipo Hopfield, que proporciona una ruta de viaje de un punto a otro considerando condiciones ambientales ideales y adversas dentro del mapa del sistema.

Index Terms--Geographic information systems, Neural networks.

I. INTRODUCCIÓN.

La generación de rutas de viaje en sistemas computacionales sigue siendo un problema a resolver, y así como obtener resultados óptimos. Un sistema que sea operacional y aplicable, por ejemplo a una ciudad, debe de considerar direcciones de circulación de vehículos, nombres de calles y avenidas, condiciones ambientales en tiempo real, así como factores eventuales de repavimentación u otros. El considerar estas múltiples variables en un sistema generador de rutas dará resultados confiables y, en determinados casos óptimos.

El sistema descrito en este artículo puede tener su principal aplicación en la industria que necesite distribuir sus productos, o bien en sector privado.

En investigación este sistema puede ser implementado en la navegación de robots móviles en un escenario previamente conocido.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema que se describe se encuentra actualmente a nivel de simulación entre una computadora base o servidor y una computadora móvil o cliente, comunicados de forma inalámbrica entre sí mediante módulos de radio frecuencia. El móvil necesita desplazarse de un lugar a otro dentro de una ciudad limitada a esta etapa de simulación. La computadora servidor contiene una base de datos geográfica de una sección de mapa real con formato original de CAD [1]. La base de datos tiene atributos para las calles del mapa como son: nombre, dirección de circulación y número de semáforos.

Jesús Yaljá Montiel Pérez, yalja@ipn.mx, Escuela Superior de Cómputo. Becario COFAA IPN, miembro IEEE.

Rodolfo Romero Herrera, romeroh@ipn.mx, Escuela Superior de Cómputo. Becario COFAA IPN, miembro IEEE.

José Luis López Bonilla, jlopezb@ipn.mx, Sección de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Becario COFAA y EDI, IPN.

Tanto la computadora servidor como la cliente continuamente poseen la posición del móvil. Con este dato y un punto destino a través de una red neuronal de tipo Hopfield se genera una propuesta de ruta a seguir considerando condiciones ambientales.

III. ESTACIÓN BASE

La estación base se encarga de monitorizar al móvil (o móviles) y, mediante un procesamiento de datos de un sistema de información geográfico (SIG), proporcionarle una ruta de viaje [2].

Los datos enviados y recibidos por el móvil son transmitidos por el puerto serial de la computadora con la norma RS-232 a través de módulos de radio frecuencia a 315MHz, Fig. 1.

Para el envío de datos se utiliza una variación del protocolo de transmisión de archivos kermi [3]. Las tramas utilizadas están compuestas por dos partes: la cabecera y la información que depende del tipo de trama que se está enviando.

La cabecera se define mediante:

E_Origen: longitud de dos bytes y sirve para identificar la estación transmisora, 0 para estación base y cualquier valor entero positivo diferente de cero para cualquier móvil.

E_base: dos bytes para identificar la estación receptora, 0 para la estación base y cualquier valor entero positivo diferente de cero para cualquier móvil.

Longitud_de_cabecera: un byte que identifica el tamaño de la cabecera que abarca desde E_Origen hasta tipo_de_trama.

Longitud_total: dos bytes para identificar el tamaño total de la trama.

Checksum: cuatro bytes con los cuales se identifica si la transmisión de información fue realizada correctamente.

Tipo_de_trama: un byte para indicar el tipo de trama que se está enviando.

El tipo de información lo define este último campo y los tipos aceptados de tramas son los siguientes:

1. Trama de inicialización. Se envía el aviso de que se

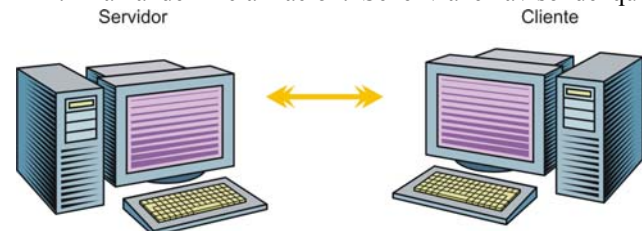


Figura 1. Simulación de comunicación servidor y móvil.

empezará a transmitir una trama.

2. Trama ACK. Se confirma que los datos fueron recibidos de manera correcta.

3. Trama NACK. Se confirma que existe un error en la transferencia de datos.

4. Trama final de transmisión. Se avisa que se ha terminado de enviar tramas.

5. Trama de prueba. Se verifica la conexión enviando un OK.

6. Trama de posición. Se incluyen las coordenadas de ubicación del móvil.

7. Trama de petición de posición. La estación base pide el envío de coordenadas de un móvil en específico.

Las diferentes tramas que se pueden tener se ajustan completamente a las necesidades de comunicación del sistema.

La estación móvil posee un mapa simple de la región donde se desplazará, mientras que en la estación base tiene el mismo mapa, pero complementado con una base de datos geográfica e información de condiciones ambientales. Datos que conforman al SIG. Esta estación base, también posee los algoritmos de la red neuronal que decide la ruta que debe de seguir el móvil en base a la información del SIG [4, 5, 6].

La base de datos geográfica en que se basa el SIG es generada originalmente por la digitalización de un mapa. Los mapas son generados y algunos digitalizados por departamentos federales. Además, se cuenta con datos estadísticos que se utilizan en el SIG, como son: factores de lluvia por región, número de accidentes por avenida, manifestaciones y principales rutas de estas, diferentes tipos de obras públicas, tránsito vehicular en calles y avenidas, [7, 8].

El formato original del mapa es *.dwg de AUTOCAD y únicamente contiene de manera vectorial a escala polígonos y líneas que representan las calles del mapa. Como paso para que el mapa sea incluido en el SIG es necesario revisar la digitalización, ya que en ocasiones se tienen errores de tipo gráfico. Por ejemplo, que no fue cerrado algún polígono, entre otros errores.

Para construir el SIG es necesario adicionarle al mapa gráfico la información que se necesita para su aplicación, y esto se hace en forma de capas, Fig. 2.

La capa base es la información vectorial de las calles, niveles (en este caso no se utiliza), nombre de las calles como tercera capa, direcciones de flujo vial, y así la información que se requiera.

Para crear el SIG se tiene un mapa vectorial referenciado con tablas alfanuméricas que son las ya mencionadas capas. Las tablas tienen un formato de base de datos *.dbf.

La referenciación, o más bien georreferenciación, se realiza con el software ArcView con el cual se construye el SIG usando una computadora Sun Solaris [9]. El resultado de la georreferenciación es un archivo en formato *.dbf, cuya información ya está asociada al mapa vectorial, y es accesible desde cualquier manejador de base de datos como SQL

Server. Este archivo contiene datos de coordenadas que corresponden al mapa, así como toda la información que se tenía originalmente por las capas.

La georreferenciación de datos hacia el mapa vectorial contiene los siguientes elementos para cada calle del mapa:

ID_CALLE: identificador único de la calle (int).

NOM_CALLE: Nombre de las calle/avenida (char).

SENTIDO: Cantidad asociada a los posibles puntos cardinales (int).

TOPES: Cantidad de topes (int).

SEMÁFOROS: Cantidad de semáforos (int).

Una vez que se ha construido el SIG, se introducen los datos en una red neuronal como entrenamiento previo antes de utilizarlo en la aplicación.

La red neuronal que se utiliza para esta aplicación es de tipo Hopfield [10, 11]. Este tipo de red es de adaptación probabilística, recurrente y de una sola capa con funciones booleanas de umbral.

El entrenamiento de la red es relativamente simple y consiste en calcular pesos en la red. Los valores $X_0, X_1, \dots, X_{n-1}$ son vectores con la información normalizada de la base de datos del SIG y tienen valores +1 o -1.

El cálculo de los pesos se hace mediante el algoritmo:

$$t_{ij} = \begin{cases} \sum_{s=0}^{M-1} X_i^s \cdot X_j^s & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (1)$$

donde M es el número de clases que se desea aprender (para este caso $M=47$ rutas), X_i^s es el valor del i-ésimo elemento de la s-ésima clase.

En notación matricial tenemos que:

$$\bar{T} = \sum_{i=0}^{M-1} \bar{X}_i^T \bar{X}_i \quad (2)$$

Donde $\bar{X}_i$ es el i-ésimo patrón a almacenar.

$\bar{X}_i^T$ es el mismo vector transpuesto. T es el producto de los vectores anteriores.

En términos generales la matriz t_{ij} se obtiene multiplicando cada vector X que define una posible ruta (para el caso de



Figura 2. Sistema de Información Geográfica construido a partir de capas o tablas relacionales.

prueba se tienen 47 rutas X posibles), por ese mismo vector transpuesto. Se suman los productos anteriores y la matriz resultante debe tener la diagonal en ceros de acuerdo con lo que establece la teoría de diseño de Hopfield, [12].

Iniciando el aprendizaje del algoritmo de la red neuronal con patrones inicializados con $\mu_i(0)=X_i$. $0 \leq i \leq N$

Donde $\mu_i(0)$ es la salida de la red en el tiempo $t=0$. X son valores -1 a +1 del patrón de entrada y N es el número de entradas a la red ($N=23$ para estas pruebas). Con esto se itera el algoritmo hasta converger de acuerdo a (3):

$$\mu_j(t+1) = F \left[\sum_{i=0}^{N-1} t_{ij} \cdot \mu_i(t) \right] \quad (3)$$

para $0 \leq j \leq N-1$

Donde

$$F = \begin{cases} +1 & \text{si } X > 0 \\ -1 & \text{si } X < 0 \\ \mu_j(t) & \text{si } X = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Debido al rango permitido de X para una red neuronal de Hopfield entre -1 y +1, los identificadores de cada calle en el SIG es dividido entre 1000. Por ejemplo, un identificador de calle 133 es usado por la red como 0.133 cumpliendo el rango de este tipo de red neuronal.

La ruta con mayor longitud posible es de 23 elementos. Por lo tanto, ese es el número máximo de elementos o calles en los vectores de entrenamiento.

Aún cuando las rutas sean más cortas que este número, los elementos faltantes son puestos a 1 y de esta manera no se afecta la salida de la red neuronal.

Con esto se procede a entrenar la red teniéndose los siguientes aspectos a considerar: a) Introducir patrones de entrenamiento más representativos. Significa que la red tiene que aprender algunas rutas (previamente introducidas) para aproximarlas con las que se ingresen (patrones de entrada).

b) Comenzar el algoritmo de aprendizaje. La red empezará a aplicar la regla de aprendizaje a los patrones de entrada, que le son proporcionados por la estación móvil. c) Retroalimentar las entradas de la red hasta que encuentre la ruta óptima. La propia naturaleza de la red retroalimenta sus entradas hasta que encuentre la solución buscada, es decir, hasta que clasifique en alguno de los patrones de entrenamiento previamente introducidos. Y d) Presentar el resultado. La red devuelve la ruta óptima que será desplegada en ambas estaciones, la base y la móvil.

La programación de la red neuronal se realizó en Visual Basic 6.0,

El programa simulador de condiciones viales y ambientales es el encargado de generar de manera aleatoria factores que puedan afectar en un momento dado el cálculo de la ruta óptima.

Algunos de estos factores o condiciones importantes son: El factor de lluvia, número de accidentes, las manifestaciones, obras públicas y tránsito vehicular en las calles y avenidas. Estos datos son de tipo estadístico reales.

IV. PRUEBAS

En las pruebas del sistema se introdujeron datos de inicio y destino a la red neuronal. Comprobando el patrón de datos de salida, resultó satisfactorio en la elección de la ruta de viaje con respecto a las rutas posibles y analizadas visualmente.

Las pruebas realizadas se hicieron enviando datos de simulación de viaje por el robot móvil hacia la estación base.

Para el caso de la estación móvil, se conectó una computadora a éste para visualizar su propio mapa y órdenes de viaje.

La red neuronal obtuvo un patrón de ruta de viaje tomando en cuenta hora, día y condiciones ambientales estadísticas. La zona de prueba de simulación fue una zona centro de Atizapan, Estado de México, México. El monitoreo del móvil tiene retrasos de 2 segundos en el envío de su posición actual, lo cual no representa para caso práctico ninguna dificultad. La velocidad de transmisión fue de 2400 bps.

De dos pruebas que se muestran en este artículo, la primera no muestra condiciones ambientales adversas, mientras que en la segunda se generaron condiciones viales adversas (lluvia, manifestaciones, obras públicas, tráfico vehicular) en algunas de las calles (arcos) que componen este camino.

El sistema está diseñado para que, si no existiesen condiciones viales adversas, la red neuronal elija una ruta óptima con base a la distancia menor entre dos puntos. Según esto, una de las pruebas realizadas fue la siguiente: se eligió la ruta que va de las calles Joselito Huerta a Bernardo Bátiz, con identificador de calle 22 y 127 respectivamente (este inicio y destino se eligen en el software y automáticamente se muestra su identificador). En este caso no se consideran condiciones viales adversas. Con estas condiciones se tienen almacenadas dos posibles rutas para ir de la calle inicio a la calle destino. Estas rutas se encuentran almacenadas en la red posteriormente de su entrenamiento. Con lo que los vectores X que se tienen son:

[0.002 0.003 0.059 0.076 0.083 0.092 0.097 0.109 0.113 0.115 0.120 0.123 0.124 0.127 1 1 1 1 1 1 1 1]

[0.002 0.003 0.059 0.058 0.056 0.053 0.051 0.049 0.045 0.062 0.073 0.086 0.087 0.089 0.094 0.096 0.100 0.102 0.118 0.127 1 1 1]

Cabe señalar que estos vectores no son mostrados por el software, pero pudieron ser adquiridos de éste para fines experimentales.

Como se ha mencionado, cuando no se tienen condiciones ambientales adversas la ruta que se elige es la más corta; y en este caso la más corta es la primera, ya que contiene un menor número de calles por las cuales se debe pasar para llegar a la calle destino. Obviamente está optimización en esta etapa de investigación aún no considera longitudes de calles. Gráficamente lo que se observa una vez realizado el recorrido por la estación móvil es lo mostrado en la Fig. 3.

Otra prueba realizada fue de Francisco I. Madero a Ave. Niños Héroes; para este caso también se tienen dos rutas

posibles a seguir y están codificadas en sus vectores X como:

[0.114 0.112 0.117 0.116 0.098 0.095 0.090 0.081 0.074
0.072 0.070 0.057 0.040 0.006 0.007 0.010 0.011 0.015 0.018
0.019 0.022 1 1]

[0.114 0.115 0.120 0.123 0.124 0.127 0.118 0.101 0.096
0.094 0.089 0.087 0.086 0.073 0.061 **0.041** 0.037 0.032 **0.030**
0.026 0.022 1 1]

En este caso, como se puede observar, ambas rutas tienen la misma cantidad de calles por donde alcanzar su punto final (22). Pero para esta prueba se generó carga vehicular en la calle con identificador **41** con tiempo de retardo de 127 minutos. Un accidente en la calle con identificador **30** con tiempo de retardo de 10 minutos.

Por tanto el sistema eligió la primera de las dos rutas debido a que se diferencian por el tiempo que tardarían en llegar a su destino debido a las afectaciones.

V. CONCLUSIÓN

Se tienen varios factores que comentar acerca del sistema descrito en este artículo. El sistema es una aplicación básica, ya que se le puede implementar algunos módulos extra como la sintetización de voz para dar las instrucciones al móvil de manera oral. Esto sería para el conductor de un automóvil. Otro módulo sumamente importante es la consideración en el algoritmo de decisión de rutas todos los aspectos que influyan en esta, así como el acoplamiento de información de condiciones viales en tiempo real vía Internet. La red neuronal utilizada, tiene el inconveniente de utilizar mucho tiempo de entrenamiento pero, una vez entrenada con las rutas posibles del mapa, encuentra soluciones rápidamente.

Este tipo de sistema GIS presenta grandes problemas en la etapa de georreferenciación puesto que los requerimientos de hardware son elevados, por ello, tuvo que utilizarse un sistema Sun. Como es de esperarse, si es georreferenciado un mapa de ciudad completo, no sólo una fracción, el tiempo de procesamiento de datos se incrementa sustancialmente, pero teniendo la ventaja de que ese análisis de datos de la georreferenciación se realiza únicamente una vez.

En cuestión al costo del sistema en su parte hardware, resulta bajo y accesible (componentes electrónicos) mientras que en recursos de software el costo se incrementa en especial por el software ArcView.

La codificación de calles en fracciones ha resultado ser muy práctica, y aparentemente sin límites en cantidad de calles (para este caso de 999 calles), pero si se trata de agrandar esta cantidad de calles la resolución con que debe trabajar la red neuronal debe ser mayor para poder distinguir entre una calle y otra.

Un Sistema de Información Geográfica tiene múltiples aplicaciones. Este sistema en un futuro será implementado en un automóvil, utilizando tecnología GPS y comunicaciones mediante RF, [13]. Además de la investigación en algoritmos

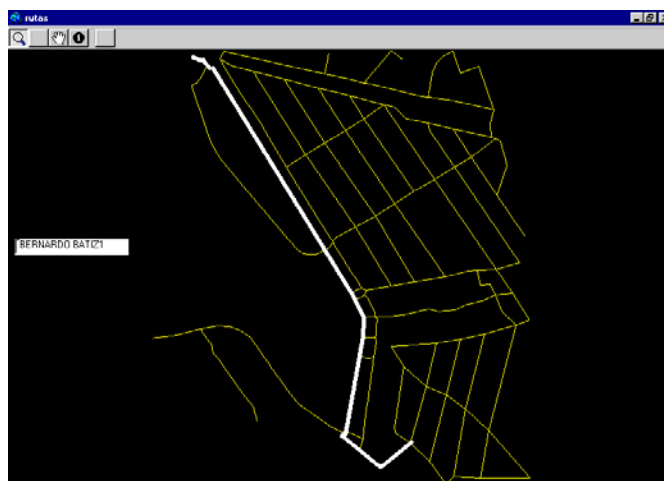


Figura 3. Mapa de prueba de la estación base. En la parte superior se encuentra el punto origen y abajo el punto destino, siendo la línea clara la ruta a seguir por el móvil.

y procesamiento de datos de SIG aplicados en robots móviles.

Los resultados obtenidos con este sistema se limitan debido a la pequeña proporción de área de ciudad utilizada. Como pruebas complementarias, se forzó mediante condiciones ambientales de carga vehicular a tener hasta 4 rutas de viaje válidas, teniendo tres de ellas con la mínima cantidad de calles a recorrer y el mismo tiempo de retardo, con lo cual el sistema elige la primera ruta encontrada. Como se ha mencionado, el factor de longitud de calle no es tomado en cuenta con lo cual en una prueba real, se tendrán diferentes tiempos para cubrir el desplazamiento con diferentes rutas.

VI. REFERENCIAS

- [1] Paul Longley, *Geographic Information System and Science*, John Wiley & Sons, June 2001.
- [2] J. Holtzman, J. Hui, N. Moayeri, I. Seskar, H. Varma, J. Yip, S. Maric, T. Williams, "A vehicular traffic GIS and simulator for route guidance on NY/NJ highways", *Proceedings of the IEEE-IEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference 1993*, pp. 367-372, 1993.
- [3] Frank Da Cruz, *Kermit a file transfer protocol*, Digital Press, 1987.
- [4] Keith Clarke, *Getting started with GIS*, Prentice Hall, 4th Ed, 2002.
- [5] Ananth Rao, Sylvia Ratnasamy, "Geographic routing without location information", *Proceedings of the 9th annual international conference on mobile computing and networking*, pp. 96-108, September 2003.
- [6] N. Toomarian, "A concurrent neural network algorithm for the Traveling salesman problem", *Proceedings of the third conference on Hypercube concurrent computers and applications*, Volume 2, pp. 1483-1490, 1988.
- [7] Henry Tom, "The geographic information systems (GIS) standards infrastructure", *StandardView*, Vol. 3, No. 2, pp. 133-142, September 1994.
- [8] Kwang-Soo Kim, Min-Soo Kim, Kiwon Lee, "On integrated scheme for vector/raster-based GIS's utilization", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing, 1997, IGARSS '97. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development*, Vol. 1, pp. 200-203, 1997.
- [9] Scott Hutchinson, *Inside ArcView 8.3*, On Word Press, 4th Ed., 2002.
- [10] James Coughlin, *Neural Computation in Hopfield Networks and Boltzmann Machines*, Univ. Delaware, 1995.
- [11] "Hopfield networks, neural data structures and the nine plies problem: neural network programming projects for undergraduates", *ACM SIGCSE Bulletin*, Vol 25, No. 4, pp. 33-60, Dec. 1993.
- [12] Yaoguang Wang, Zemin Liu, "Property analysis of the equilibria of Hopfield neural networks", *International Conference on Circuits and Systems, 1991*, Conference Proceedings, China, Vol 2, pp. 60-62, 1991.
- [13] H. A. Karimi, P. Krishnamurthy, "Real-time routing in mobile networks using GPS and GIS techniques", *Proceedings of the 34th Annual Hawaii*

VII. BIOGRAFÍAS



Jesús Yaljá Montiel Pérez, Maestro en Ciencias SEPI-ESIME-IPN (2000). Actualmente es candidato a doctor por la misma institución. Trabaja como profesor investigador en la ESCOM-IPN, Dep. de Programación y Desarrollo de Sistemas; Ciudad de México, México. Sus principales ramas de interés son la robótica móvil e inteligencia artificial.



Rodolfo Romero Herrera, Candidato a Maestro en Ciencias SEPI-ESIME-IPN. Trabaja como profesor investigador en la ESCOM-IPN, Dep. de Programación y Desarrollo de Sistemas; Ciudad de México, México. Actualmente su principal interés concierne a la robótica móvil y procesamiento digital de señales.



José Luis López Bonilla, Doctor en Física Teórica ESFM-IPN (1982). Trabaja como profesor investigador en la SEPI-ESIME-IPN. Área de Telecomunicaciones; Ciudad de México, México. Por ahora su principal interés concierne a los métodos matemáticos aplicados a la ingeniería.