

20

SIGRED: SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS GEOGRÁFICOS POR MEDIO DE TEORÍA DE REDES PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA

SIGRED: INFORMATIC SYSTEM FOR THE GEOGRAPHIC DATA ANALYSIS BY MEANS OF THEORY OF NETS FOR STUDENTS OF ENGINEERING

MSc. Carlos M. Delgado Rivero¹

E-mail: cdelgador@gmail.com

Dr. C. Manuel E. Cortés Cortés²

E-mail: mcortes@ucf.edu.cu

MSc. Cinthya Rodríguez Hernández³

E-mail: crhdez@ucf.edu.cu

¹Universidad Metropolitana del Ecuador. República del Ecuador.

²Universidad Escuela Politécnica del Litoral. República del Ecuador.

³Universidad de Cienfuegos. Cuba.

¿Cómo referenciar este artículo?

Delgado Rivero, C. M., Cortés Cortés, M. E., & Rodríguez Hernández, C. (2016). SIGRed: Sistema informático para el análisis de datos geográficos por medio de teoría de redes para estudiantes de ingeniería. *Revista Conrado* [seriada en línea], 12(53), pp. 131-137. Recuperado de <http://conrado.ucf.edu.cu/>

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que conectan mapas con bases de datos se utilizan para diversas aplicaciones en el mundo real. El objetivo de este trabajo es describir las utilidades de SIGRed para el análisis de los datos geo-referenciados en problemas donde se necesite hacer uso de los métodos comprendidos dentro de la teoría de redes por estudiantes universitarios. Fueron utilizados en la investigación métodos teóricos y empíricos, como el histórico lógico que permite analizar los antecedentes históricos y características fundamentales de los SIG, la observación participante para constatar el estado inicial de estudiantes y profesores en el trabajo con los SIG y el criterio de especialistas sobre la validez del sistema propuesto. SIGRed está desarrollado con tecnologías libres y de código abierto, implementado en un ambiente web lo que lo hace multiplataforma e independiente de la tecnología de los usuarios que lo utilicen, permitiendo el acceso simultáneo desde cualquier laboratorio de la Universidad de Cienfuegos (UCF). La aplicación de los modelos de Teoría de Redes en el SIG con la utilización de datos geográficos, permitirá la obtención de cálculos de caminos extremos, árboles de expansión, entre otras, convirtiéndolo en una herramienta de resolución de problemas, ofreciendo y generando información que contribuya en el proceso de toma de decisiones por parte de estudiantes de las carreras de ingeniería de la UCF.

Palabras clave:

SIG, teoría de redes, algoritmos matemáticos.

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) that connect maps with databases are used for various applications in the real world. The aim of this paper is to describe SIGRed utilities for the analysis of geo-referenced data on problems where the use of methods included within network theory by university students is needed. There were used in research theoretical and empirical methods such as: logical historical to analyze the historical background and key features of GIS, participant observation to verify the initial state of students and teachers working with the GIS and the criterion of specialists on the validity of the proposed system. SIGRed is developed with free and open source technologies, implemented in a web environment which makes cross-platform and technology independent users who use it, allowing simultaneous access from any laboratory at the University of Cienfuegos (UCF). The application of models of Network Theory GIS with the use of geographic data, allow obtaining estimates of external paths, spanning trees, among others, making it a tool for problem solving, providing and generating information that contributes in the process of decision making by students majoring in engineering UCF.

Keywords:

GIS, network theory, mathematical algorithms.

INTRODUCCIÓN

La creación de herramientas de aplicación específica mediante las cuales se puede mostrar el conocimiento y el estado del arte de las más disímiles áreas del saber son una muestra del desarrollo acelerado que ha venido experimentando el mundo de la informática y las comunicaciones a lo largo de las últimas décadas; los sistemas de información y en particular los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una prueba de este progreso (Buzai & Baxendal, 2012).

La amplia gama de aplicaciones de los SIG está dada en gran medida por la manera de representar los datos espaciales y combinar las técnicas informáticas y matemáticas con el mundo real de manera representativa. Las principales cuestiones que puede resolver un SIG son:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Para cumplir estos requisitos, es necesario contar con herramientas capaces de modelar, procesar e interpretar Redes como parte de la representación del mundo real. Los SIG para el modelado de Redes suelen ser utilizados en la planificación del transporte, hidrológica o la gestión de infraestructura lineales, y la teoría de redes se enmarca dentro de la Investigación de Operaciones, que describe modelos matemáticos que involucran la representación gráfica de problemas de optimización.

El Sistema Informático para el análisis de datos geográficos por medio de la Teoría de Redes (SIGRed) ha sido desarrollado en la Universidad de Cienfuegos para su uso por parte de estudiantes y profesores de las carreras de ingeniería que cursen las asignaturas de investigación de operaciones. Se pretende que el alumno utilice el SIGRed como un sistema integrado en los procedimientos necesarios para la realización de diversos tipos de ejercicios, convirtiéndolo en una herramienta de resolución de problemas, ofreciendo y generando información que contribuya en el proceso de toma de decisiones.

Entre las ventajas del sistema están las posibilidades de tratar con cualquier imagen ráster, además de ser desarrollado con tecnologías libres y de código abierto, está implementado en un ambiente web lo que lo hace multiplataforma e independiente de la tecnología de los usuarios que lo utilicen. El objetivo de este trabajo es describir las utilidades de SIGRed para el análisis de los datos geo-referenciados en problemas donde se necesite hacer uso de los métodos comprendidos dentro de la teoría de redes.

DESARROLLO

Los SIG están compuestos principalmente por cuatro componentes fundamentales: el hardware que posibilita la entrada del sistema, el software que gestiona los datos espacialmente referenciados, la base de datos con información geográfica y las personas que consultan y analizan la información. A continuación son descritos con más detalle:

Hardware: lo conforman todos los dispositivos sobre los cuales opera el SIG.

Software: provee las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y presentar información geográfica. Los componentes fundamentales de los SIG (Toledo, 2014), son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
- Herramientas con soporte para consultas, análisis y visualización de información geográfica.
- Manejadores de bases de datos geográficas.
- Interfaces gráficas amigables y de fácil acceso a las herramientas de trabajo.

Bases de datos geográficas: permite la persistencia de los datos, por lo que se necesitan sistemas gestores de bases de datos que permitan realizar las funcionalidades tradicionales y además, soporten tipos de datos geométricos.

Personas: son las encargadas de operar, desarrollar y administrar el sistema. Además de realizar un análisis complejo de los resultados que emite el SIG, que suelen utilizarse en la toma de decisiones.

La configuración y utilización de SIGRed consta de cuatro fases fundamentales:

Obtención de la información: este proceso se realiza a través de varias vías, las más utilizada es la digitalización, en la cual, a partir de un mapa impreso, se convierte a formato digital mediante programas especiales con capacidades de geo-referenciación. Las imágenes satelitales y aéreas son otras de las vías de obtención de datos digitales, las cuales

han tomado un notable auge en la actualidad debido a la puesta en marcha de la red global de satélites. Otro método implementado es la obtención de datos mediante GPS.

La representación de los datos: los objetos que se representan en la plataforma simulan objetos del mundo real, los cuales se pueden dividir en dos grupos fundamentales (discretos y continuos). Para el almacenamiento de esta información se utilizan el formato ráster y vectorial. En formato ráster se almacenan las imágenes digitalizadas de los mapas, mientras que en formato vectorial se almacenan las especificaciones de los componentes que conforman los mapas. Los datos vectoriales se pueden almacenar en forma de punto, línea, rectángulo, elipse, polígono y camino.

Aplicación de los métodos matemáticos: los estudiantes y profesores deberán elegir los métodos a aplicarle a los mapas dentro de los implementados en el SIG. Pueden analizar en el sistema problemas reales y de diferentes ámbitos, como pueden ser:

- Problemas de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, entre otros).
- Diseño de rutas de viaje (ómnibus, ferrocarril, peatonal).
- Planificación del desarrollo social y económico (ómnibus, puntos de venta y distribución).
- Ventas y productos (áreas de venta, distribución de productos).

Análisis de la información: cuando los mapas están creados y los métodos matemáticos aplicados, los profesores

y estudiantes pueden consultar la información geográfica representada en los mapas y los resultados obtenidos de los métodos. A partir de esto se pueden realizar análisis geo-estadísticos mono y multi-variable.

En el SIGRed los estudiantes y profesores podrán realizar las siguientes actividades:

- Creación, configuración y manipulación de mapas.
- Análisis de optimalidad sobre datos vectoriales.
- Procesamiento de imágenes y superposición de capas a partir de la componente ráster de los mapas.
- Aplicación de los algoritmos implementados para la obtención de resultados.
- Guardar los resultados obtenidos para su posterior consulta.

Ambiente de trabajo de SIGRed

SIGRed tiene una interfaz diseñada de acuerdo a los estándares de trabajo de aplicaciones semejantes, su ambiente sencillo y compacto permiten al estudiante y al profesor la posibilidad de contar con todas las herramientas en el plano de trabajo para el desarrollo de ejercicios prácticos.

La figura 1 muestra el espacio de trabajo general de SIGRed, desde donde se puede acceder a todas sus funcionalidades.

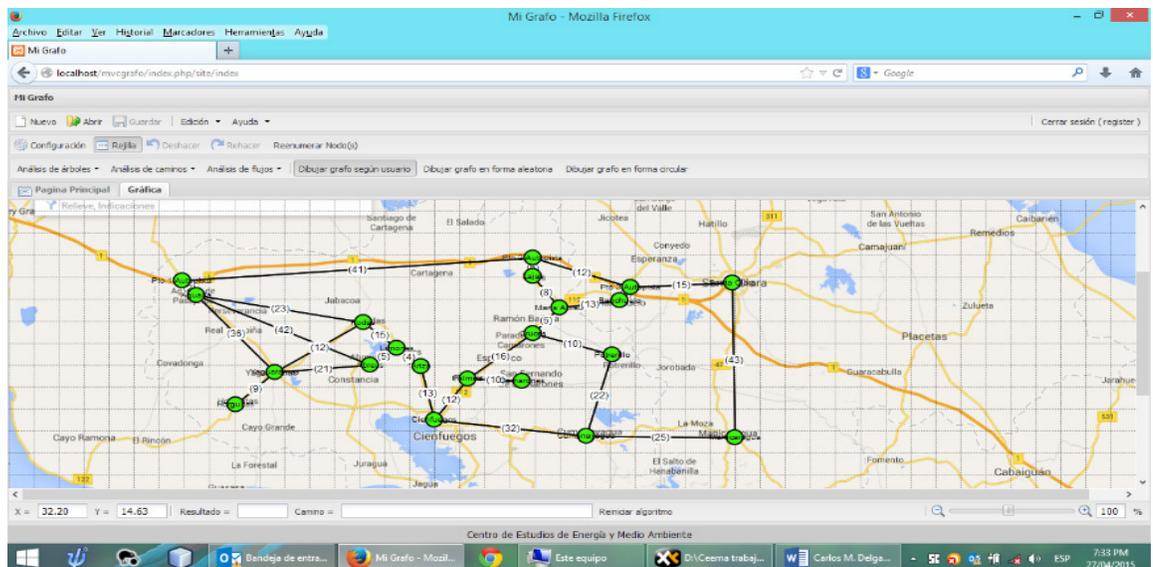


Figura 1. Espacio de trabajo de SIGRed.



Figura 4. Área de resultados de SIGRed.

Solución de problemas dentro de SIGRed por medio de la Teoría de Redes

En matemáticas y en ciencias de la computación, la teoría de redes (también llamada teoría de grafos) estudia las propiedades de los grafos. Un grafo es un conjunto, no vacío, de objetos llamados vértices (o nodos) y una selección de pares de vértices, llamados aristas que pueden ser orientados o no.

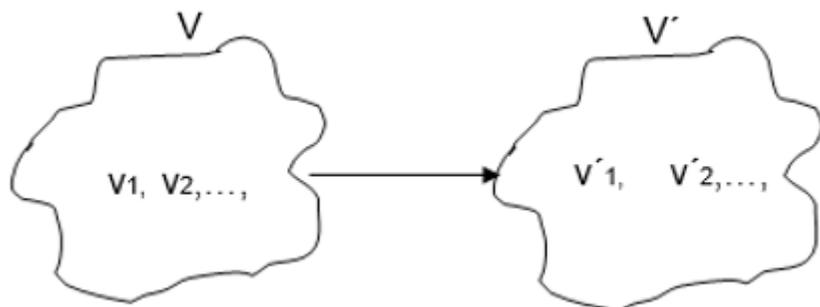


Figura 5. Representación matemática de una red.

Los SIG no pueden representar toda la información implícita en la extrema complejidad inherente al mundo real, por lo que es necesario optar por simplificaciones que destaquen los elementos que se consideren más relevantes.

El sistema aplica varias maneras de representación de los datos, pero con referencia a la teoría de redes aplica dos conceptos fundamentales:

El punto (Nodo en teoría de redes): es un objeto espacial sin dimensión, que dispone de una localización en el espacio, pero sin longitud ni amplitud. Se representan con un punto elementos con una dimensión despreciable. La representación en formato de punto o de polígono dependerá de la correlación existente entre la dimensión del elemento y su escala de representación.

La línea (Arista): es un objeto espacial de una o varias dimensiones, por disponer por ejemplo de longitud pero no de amplitud. Se define a partir de una secuencia de puntos.

Estos componentes son los que forman la información con la que trabajan los algoritmos implementados (Mateos, 2004).

Algoritmos implementados

1. Algoritmo de Dijkstra (Camino Mínimo – Camino Máximo): propuesto en 1956 por Dijkstra, después de

haber estado trabajando con el ARMAC, el ordenador que el Centro Matemático poseía.

El algoritmo de Dijkstra, aunque fue diseñado para encontrar la ruta más corta, se puede transformar fácilmente para encontrar la ruta más larga (camino máximo), cambiando simplemente su función objetivo. Del mismo modo, se encuentra el árbol máximo desde un nodo origen (Dijkstra, 1959).

2. Algoritmo de Bellman-Ford (Camino Mínimo – Camino Máximo): desarrollado por Richard Bellman, Samuel End y Lester Ford. Soluciona el problema de la ruta más corta o camino mínimo desde un nodo origen, de un modo más general que el Algoritmo de Dijkstra, ya que permite valores negativos en los arcos. El algoritmo devuelve un valor booleano si encuentra un circuito o lazo de peso negativo. En caso contrario calcula y devuelve el camino mínimo con su coste.

Para cada vértice v perteneciente a V , se mantiene el atributo $d[v]$ como cota superior o coste del camino mínimo desde el origen s al vértice v . Si el grafo contiene un ciclo de coste negativo, el algoritmo lo detectará, pero no encontrará el camino más corto que no repite ningún vértice. El problema de la ruta más corta puede ser transformado en el de ruta más larga cambiando el signo de los costes de los arcos (Bellman, 1958).

3. Algoritmo de Kruskal: investigador del Centro Matemático de los laboratorios Bell, en 1956 describe un algoritmo para la resolución del problema del Árbol

de coste total mínimo, también llamado árbol recubridor euclídeo mínimo.

El algoritmo se basa en una propiedad clave de los árboles que permite estar seguros de si un arco debe pertenecer al árbol o no, y usar esta propiedad para seleccionar cada arco. Nótese en el algoritmo, que siempre que se añade un arco (U, V), éste será siempre la conexión más corta (menor coste) alcanzable desde el nodo U al resto del grafo G. Así que por definición éste deberá ser parte del árbol (Kruskal, 1956).

4. Algoritmo de Prim: es un algoritmo para la resolución del problema del Árbol de coste total mínimo. Consiste en dividir los nodos de un grafo en dos conjuntos: procesados y no procesados. Al principio, hay un nodo en el conjunto procesado que corresponde al equipo central; en cada interacción se incrementa el grafo de procesados en un nodo (cuyo arco de conexión es mínimo) hasta llegar a establecer la conexión de todos los nodos del grafo a procesar (Prim, 1957).
5. Algoritmo de Ford-Fulkerson: propone buscar caminos en los que se pueda aumentar el flujo, hasta que se alcance el flujo máximo. Es aplicable a los Flujos máximos. La idea es encontrar una ruta de penetración con un flujo positivo neto que una los nodos origen y destino. (Mateos, 2004). En teoría de redes, una red de flujo es un grafo dirigido donde existen dos vértices especiales, uno llamado fuente, al que se le asocia un flujo positivo y otro llamado sumidero que tiene un flujo negativo y a cada arista se le asocia cierta capacidad positiva. En cada vértice diferente a los dos especiales se mantiene la ley de corrientes de Kirchoff, en donde la suma de flujos entrantes a un vértice debe ser igual a la suma de flujos que salen de él. Puede ser utilizada para modelar el tráfico en un sistema de autopistas, fluidos viajando en tuberías, corrientes eléctricas en circuitos eléctricos o sistemas similares por lo que viaje algo entre nodos (Vipin, Grama, Gupta & Karypis, 1994).

CONCLUSIONES

En un mundo donde la tecnología de la información geográfica gana espacios, los estudiantes universitarios necesitan nuevas herramientas que le permita el desarrollo de ejercicios que previamente debían hacer de forma manual.

Los alumnos de cualquier carrera que estudie teoría de redes necesitan contar con un SIG que posea implementado los métodos matemáticos para dar solución a problemas de planificación, diseño, transportación, ruteo o emergencias, se ejecute sobre un entorno web, sea multiplataforma y no presente restricciones de licencias de software para su uso.

Los procesos de creación y manejo de mapas, en conjunto con la aplicación de algoritmos de la teoría de redes en SIGRed contribuyen al proceso de toma de decisiones, al tiempo que maneja de forma digital cualquier información geo-referenciada, permitiendo su transformación, análisis y reorganización desde una computadora.

SIGRed permite al alumnado la ejecución de problemas reales a los que debe buscar soluciones. La enseñanza con los SIG se basa en la resolución de problemas, en el contexto educativo, proveen un ambiente simulado de la realidad que permite analizar relaciones e interacciones espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Bellman, R. E. (1958). On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, 16(1), pp. 98-90. Recuperado de <http://wisl.ece.cornell.edu/ECE94/Jan29/bellman1958.pdf>
- Buzai, G., & Baxendale, C. (2012). Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. *Marco conceptual desde la Teoría de la Geografía*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Luján. Recuperado de <http://faces.unah.edu.uy/sibsig/images/2013/Comunicaciones/BUZAI-TEORICO-METODOLOGICO-SKYPE.pdf>
- Dijkstra, E. (1959). *A note on two problems in connexion with graphs*. *Numerische Mathematik*, 1(7), pp.269-271. Amsterdam: Mathematisch Centrum. Recuperado de <http://garfield.library.upenn.edu/classics1983/A1983QA1990001.pdf>
- Kruskal, J. (1956) On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. *Proc. of the American Mathematical Society*, 7(1), pp. 48-50. Recuperado de <http://www.cmat.edu.uy/~marclan/TAG/Sellanes/Kruskal.pdf>
- Mateos, G. G. (2004). *Apuntes Algoritmos y Estructura de Datos*. Madrid: Prentice Hall.
- National Centre of Geographic Information and Analysis. (2013). *Introducción a los SIG*. California. Recuperado de <http://www.geogra.uah.es>
- Prim, R. C. (1957). Shortest Connection Networks And Some Generalizations. *Bell System Technical Journal*, 36(1957), pp. 1389-1401.

- Toledo, N. P. (2014). Modelado de datos orientado a objetos para un Sistema de Información Geográfica. Puebla: Universidad de las Américas. Recuperado de http://www.google.com.cu/url?url=http://ict.udlap.mx/activities/GIS/html/files/ModeladoDeDatos.doc&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwjB7-Pw0_zLAhVKGB4KHc7tDgMQFggTMAA&usg=AFQjCNH9beYgsR9qJ2377kjJ3VtSuZFofg
- Vipin, K., Grama, A., Gupta, A., & Karypis, G. (1994). *Introduction to Parallel Computing. Design and Analysis of Algorithms*. California: The Benjamin Cumming Publishing Company.