



UTILIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE INTELIGENCIA PARA OPTIMIZAR EL PLANEAMIENTO DE RUTAS

Pablo ÁLVAREZ SAN MARTÍN

Juan Carlos FIOLE GÓMEZ



Introducción



STE artículo presenta la aplicación desarrollada en el GIMO, que utiliza técnicas de investigación operativa para resolver el problema de la optimización de las rutas, teniendo en cuenta no sólo la distancia o el tiempo de tránsito entre un origen y un destino, sino también el riesgo de elegir un camino u otro. La aplicación maximiza la probabilidad de tránsito seguro entre dos puntos respecto a las otras rutas posibles, y plantea una solución novedosa para la utilización de la diversa información de inteligencia obtenida en la zona de operaciones, de modo que ésta se pueda emplear en el cálculo de riesgos de las rutas.

Además de esto, permite utilizar planos fotografías aéreas, etc., añadirles cuadrícula UTM e imprimirlos, lo cual puede ser de gran utilidad para su uso en el planeamiento y ejecución de todo tipo de patrullas, incluso a muy bajo nivel.

Consideraciones

Actualmente, muchas de las misiones de apoyo y mantenimiento de la paz que realiza la Infantería de Marina se llevan a cabo en zonas lejanas durante largos periodos de tiempo (como en Líbano, Bosnia-Herzegovina o Afganistán).

Gran parte de esas misiones son normalmente patrullas de seguridad para dar protección a núcleos urbanos de población civil, establecimiento de zonas de control para impedir tráfico de personas, armas o material de grupos insurgentes; traslado de personal o material entre bases o distintos puestos, etc. Estas actividades implican un significativo número de desplazamientos desde la base de acuartelamiento.

Los desplazamientos en zona de conflicto conllevan un inherente riesgo, que puede ser materializado, por ejemplo, por ataques terroristas a una patru-



Convoy de Infantería de Marina.

lla militar y coches bomba o dispositivos explosivos improvisados (IED). En una primera aproximación para intentar cuantificar este riesgo, podríamos definirlo como una función de dos variables: la probabilidad de sufrir un ataque y la vulnerabilidad de la patrulla ante el mismo.

Esta última se podría ver como la inversa de la capacidad de autodefensa de la patrulla y es por tanto inherente a su naturaleza y composición. Aparte de aumentar las medidas de autoprotección, otra manera de disminuir el riesgo sería reduciendo las probabilidades de sufrir un ataque mediante la elección de rutas alternativas. Ésta es precisamente la parte del problema que se plantea en el presente artículo.

Una buena base de datos de inteligencia, con información de localización de grupos insurgentes, últimos atentados y áreas más conflictivas, podría ser usada convenientemente para calcular cuáles son las probabilidades de transitar con seguridad por determinadas zonas. A partir de ahí, se puede efectuar un planeamiento de rutas de desplazamiento que disminuya el riesgo.

El problema de las probabilidades

El planeamiento de rutas implica la resolución de dos problemas diferentes. El primero de ellos consiste en la determinación de la ruta más corta entre dos puntos, algo similar a lo que realiza Google Maps cuando le preguntamos «cómo llegar» desde un origen a un destino.

Hay diversas formas de resolver este problema. Una de ellas es utilizar el algoritmo de Dijkstra (<http://www.cs.utexas.edu/users/EWD>), que es uno de los más eficientes para la resolución de problemas de redes, incluso con millones de variables. Es cierto que primero necesitamos una capa superponible con una red o grafo que represente la estructura de carreteras, caminos y posibles elementos sobre los que se puede desplazar una patrulla, y ésta no es fácil de conseguir en las zonas típicas de operaciones.

Para una empresa como Google, con amplios recursos, la digitalización de una red es un trabajo sencillo, aunque requiera cierto tiempo. Aún así, la mayoría de los caminos transitables que se encuentran fuera de las redes principales de comunicación ni siquiera se tienen en cuenta. Y es precisamente por esta red secundaria donde previsiblemente se pueden llevar a cabo muchas de las patrullas o desplazamientos antes mencionados.

Necesitamos pues, unos medios propios para la creación y digitalización de redes de comunicaciones, muchas veces utilizando como soporte gráfico fotografías disponibles o planos en papel.

El algoritmo Dijkstra determina cuál es el camino más corto entre origen y destino, utilizando como datos de partida las longitudes de los tramos de carretera de la red de comunicaciones. No obstante, el problema que nos afecta es ligeramente distinto. En lugar de tiempo o distancia, debemos utilizar

algún dato que refleje la probabilidad de transitar por cada tramo de una forma segura. De este modo, optimizaríamos la ruta para obtener el recorrido más seguro entre origen y destino (1).

La idea inicial parece sencilla, sin embargo es necesario algún mecanismo para determinar cómo afecta cada información puntual de inteligencia, obtenida de la zona de operaciones, en las probabilidades de tránsito.

Así pues, el cálculo de probabilidades es un proceso dividido en tres partes: la catalogación de la información de inteligencia para la determinación de un coeficiente de «peligrosidad»; la aplicación de ese coeficiente a todos los tramos de red en forma de probabilidades de tránsito (valores entre 0 y 1); y finalmente la suma de todas las probabilidades proporcionadas a cada tramo por todos los elementos de inteligencia.

Un símil gráfico a este proceso sería la creación de un terreno con relieve virtual, donde las cotas representarían hechos ocurridos (atentados, IED, disturbios, etc.), la altura de cada cota sería proporcional al coeficiente de peligrosidad y la pendiente estaría relacionada con la antigüedad o actualidad de la información. De este modo, la elevación virtual de cada tramo de red que caracterizaría la probabilidad de transitar con seguridad estaría influida por todas las cotas existentes en la zona. Una ruta con poca elevación y cambios de altitud se asemejaría a una ruta relativamente segura y, por el

(1) La probabilidad de transitar por una ruta de una forma segura vendría dada por la multiplicación de las probabilidades de paso de todos los tramos de los que la ruta está compuesta. Es decir,

$$P(\text{trans}) = \prod_i p(i) : \forall i \in \text{Ruta}$$

donde i es cada uno de los tramos que conforman el camino elegido y $p(i)$ la probabilidad individual de cada tramo. El algoritmo Dijkstra es capaz de encontrar el camino más corto de entre todos los posibles, entendiendo por longitud total la suma de las longitudes de todos los tramos:

$$L(\text{trans}) = \sum_i l(i) : \forall i \in \text{Ruta}$$

Ciertamente hay una diferencia entre los dos problemas, pero una simple manipulación matemática en forma de transformación logarítmica nos permite asemejar el primero (probabilidades) al segundo (longitudes) para poder aplicar el algoritmo de optimización:

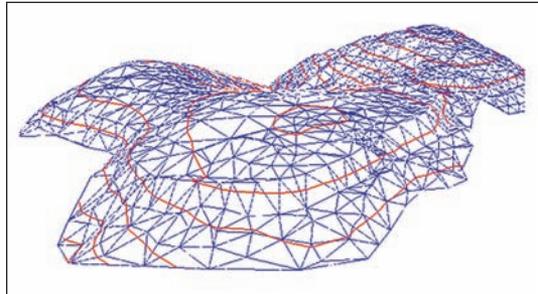
$$\log(P(\text{trans})) = \log \left[\prod_i p(i) \right] = \sum_i \log(p(i))$$

Se debe tener especial atención para evitar que algún tramo pueda tener una probabilidad de tránsito seguro igual a cero, lo que daría igual a un error de cálculo.

contrario, un itinerario montañoso, virtualmente hablando, habría que asociarlo con un riesgo más elevado.

La catalogación de los hechos relevantes está basada en los siguientes conceptos:

- Enfrentamientos (con fuego directo, indirecto, armas de diverso calibre...).
- Operaciones de insurgencia (incluyendo asalto a instalaciones civiles y militares).
- Explosiones (IED, minas y similares).
- Avistamientos y detecciones de personal y material.
- Detenciones.
- Accidentes de vehículos civiles o militares.
- Otros sucesos.



Curvas de nivel virtuales que representan riesgos asociados a eventos.

Informe de Inteligencia
⏏

Nodo Inteligencia

Número: 7

Latitud: 36.3007 N

Longitud: -6.1523 W

Fecha: 27/06/2008

Num. incidencias: 1

Código: 10110

Coficiente: 3

Sistema de Coordenadas:
 Geo
 UTM

Descripción: Enfrentamientos: Fuego directo armas portátiles

Comentarios:

CLASIFICACION DEL TIPO DE INCIDENTE

- Enfrentamientos:
- Operaciones Insurgencia:
- Explosiones
- Avistamiento:
- Detenciones:
- Accidentes:
- Otros:

Cancelar
Aceptar
Borrar

Clasificación de la información.

Estos conceptos se traducen en coeficientes y entrarían como parámetros de una fórmula de cálculo de probabilidades, que además tiene en cuenta otra serie de elementos, como posición, fecha de ocurrencia y número de actualizaciones. Este último parámetro trata de capturar la especial gravedad de un hecho que se ha repetido en el tiempo en determinadas ocasiones. Del mismo modo que podemos afirmar que la probabilidad de obtener un seis al lanzar un dado es 0.166 (una posibilidad entre seis casos posibles), hacer lo mismo con las probabilidades de transitar de forma segura por un tramo de carretera sin sufrir un incidente sería cuanto menos pretencioso y, la mayoría de las veces, falso.

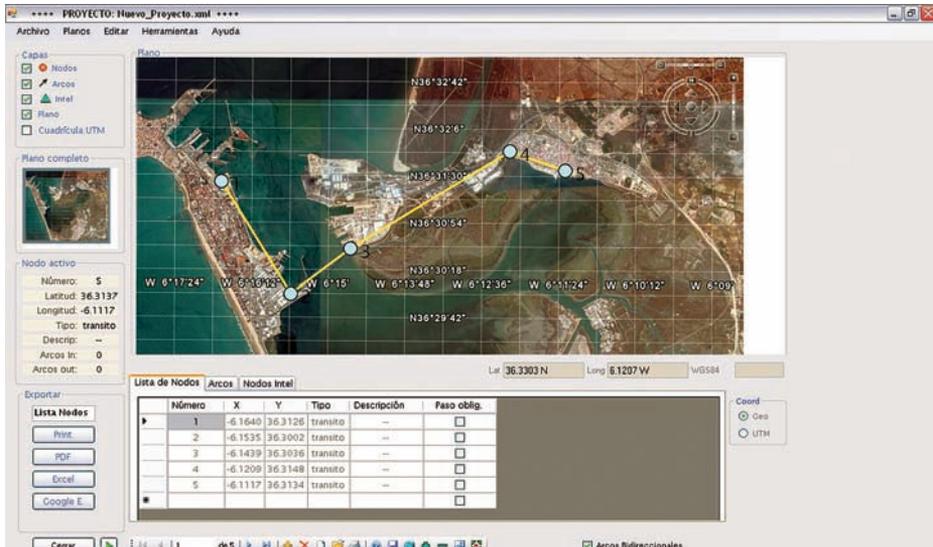
No obstante, debido a que el algoritmo de asignación de probabilidades es aplicado sistemáticamente a todos los elementos de la red, sí es posible obtener una información que puede ser valiosa, y ésta es la comparación relativa entre rutas. Por poner un ejemplo, una ruta con una probabilidad igual a 0.8 no significa que dos de cada diez veces que se transite vaya a ocurrir un incidente, pero sí podríamos afirmar que, con los datos introducidos, es posiblemente el doble de segura que otra ruta que resulte con una probabilidad del 0.4.

Implementación de la aplicación

Una vez resuelto el problema teórico, había que proceder a la implementación de la herramienta. Existían varias opciones para ello, siendo la preferida la incorporación de un módulo de optimización de rutas en el Sistema de Mando y Control de Operaciones Anfibas (SMCOA).

Sin embargo, debido al estado de desarrollo de este proyecto, esta integración no fue posible, por lo que se decidió el desarrollo de una aplicación propia que debería incluir al menos las siguientes características:

- Permitir la creación y gestión de una base de datos para almacenamiento de los de inteligencia.
- Presentación de un entorno visual para importación de planos, fotografías digitales del terreno, planos o fotografías aéreas escaneadas, etc., de las zonas de interés. Estos planos deben estar georreferenciados con respecto a un sistema de coordenadas, el cual debe ser la estructura fundamental para relacionar los elementos de inteligencia con la red de transportes (sistema de información geográfica, GIS).
- Incorporación de ayudas para que el usuario superponga sobre el plano escogido una red de tránsito en forma de nodos y arcos, con propiedades como: longitud, velocidad de tránsito, tipo de terreno...
- Implementación del algoritmo para asignación de probabilidades de tránsito seguro a cada segmento de ruta, basándose en la información obtenida de inteligencia y en la antigüedad de dicha información.



Interfaz de usuario de Rutintel 2.0 con un ejemplo de la bahía de Cádiz.

Una vez construida la red de infraestructura, la aplicación debía permitir al usuario seleccionar un punto de inicio, un punto de destino y un criterio de optimización, como por ejemplo: maximización de la probabilidad de tránsito seguro o minimización del coste o tiempo de desplazamiento.

Implementación de los modelos de optimización de redes para resolver problemas: camino más corto (SP) y camino más seguro (RP).

Para el desarrollo de la base de datos se utilizó MS-Access por dos razones. Primero, la aplicación estaba disponible bajo licencia corporativa en los ordenadores de Defensa. Segundo, Access era fácil de utilizar y esto permitiría al usuario manejar la base de datos de inteligencia de manera independiente cuando fuera necesario.

El resto de la aplicación fue desarrollado en VisualBasic.NET, utilizando librerías de código abierto para la implementación del pequeño sistema de información geográfica. La utilización de estas librerías gráficas permitió añadir mucha funcionalidad de forma sencilla, la mayor parte de la cual estaba destinada a facilitar la tarea de digitalización de la red, manejo de imágenes, visualización de los resultados y exportación de los datos a otros formatos (MS-Excel, PDF, Google Earth, etcétera).

Actualmente la aplicación denominada Rutintel se encuentra en su versión 2.0 y se puede distribuir con un paquete de instalación estándar de Windows para los sistemas operativos XP y Vista, y se está trabajando en la creación de un instalador para Windows 7.

Conclusiones

Rutintel presenta una forma novedosa de manejar y utilizar la información de inteligencia, de modo que ésta pueda ser empleada en el proceso de optimización de rutas. Entre estas novedades se incluye una catalogación de la información en diferentes conceptos y la aplicación de un algoritmo matemático para la estimación de la probabilidad de tránsito más seguro entre dos puntos comparado con los demás itinerarios posibles.

Estas probabilidades están basadas en coeficientes de peligrosidad asociados a cada evento registrado, distancias de estos eventos a las rutas de tránsito, la antigüedad de la información y la frecuencia de ocurrencia.

Rutintel incorpora un sencillo sistema GIS para incorporación de imágenes, planos y cartografía no digital, una serie de ayudas visuales para la construcción de una infraestructura de red de caminos o vías de comunicación y herramientas para la localización y georreferenciación de objetivos, entre las que se encuentra la posibilidad de incorporar a las imágenes la cuadrícula UTM. Este conjunto de funcionalidades adicionales podría ser útil, aunque no



Exportación de planos georreferenciados con la imagen superpuesta de la ruta óptima.

se necesite resolver ningún problema de optimización de rutas, por ejemplo para el exportado y visualización de los datos en Google Earth.

La aplicación implementa las funciones necesarias para ayudar al mando en la toma de decisiones relativas con la planificación de rutas utilizando técnicas de investigación operativa. Es capaz de resolver el problema del camino más corto entre un origen y un destino, el más rápido, el más seguro o el más seguro dentro de unos límites aceptables de tiempo. Las rutas óptimas, de acuerdo con los criterios mencionados, son presentadas al usuario de una forma gráfica para facilitar su visualización.

Consideramos que Rutintel puede ser una interesante herramienta para apoyo a la decisión en el planeamiento y ejecución de todo tipo de patrullas, incluso a muy bajo nivel (sección o pelotón).

