

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 495 717**

51 Int. Cl.:

G01C 21/34 (2006.01)

G08G 1/0968 (2006.01)

G08G 1/0969 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2006 E 06794715 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.07.2014 EP 1934557**

54 Título: **Un método y un sistema para planificación de rutas en función del tiempo**

30 Prioridad:

10.10.2005 GB 0520576

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

17.09.2014

73 Titular/es:

**TOMTOM INTERNATIONAL B.V. (100.0%)
De Ruijterkade 154
1011 AC Amsterdam, NL**

72 Inventor/es:

**ADAM, THOMAS BRUCE WATSON;
ATKINSON, IAN MALCOLM y
DIXON, MICHAEL JOSEPH**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 495 717 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un método y un sistema para planificación de rutas en función del tiempo.

Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a un método de planificación de una ruta a un destino; ésta encuentra aplicación en sistemas implementados por ordenador que permiten planear una ruta de conducción óptima.

2. Descripción de la técnica anterior

10 Los desplazamientos por carretera son una parte importante del día a día de los negocios y otras organizaciones, y de las personas privadas. Los costes de los retrasos por tráfico pueden ser muy elevados. Se ha estimado el coste puramente financiero en miles de millones de libras sólo en el Reino Unido [CFIT]. Dados estos costes, tienen un valor significativo los sistemas que puedan ayudar a los conductores a optimizar sus desplazamientos, por ejemplo seleccionando la mejor ruta y evitando retrasos por congestión. De hecho, ha crecido una batería diversa de sistemas de información al conductor:

- 15 • Los más antiguos son los informes de tráfico por radio que agregan datos procedentes de una serie de fuentes (policía, satélites y, más recientemente, llamadas de teléfonos móviles de conductores atascados en la carretera) para proporcionar consejo acerca de incidentes y retrasos. Las radios RDS hacen más efectivos estos sistemas interrumpiendo automáticamente con informes de tráfico los programas de radio normales.
- 20 • En la web se proporcionan sistemas estáticos de planificación de rutas por las principales organizaciones de automovilistas (AA, RAC). Estos permiten que un conductor introduzca los puntos de un recorrido y ofrecerle una ruta e instrucciones de conducción para esa ruta.
- 25 • Se han introducido sistemas de navegación personal en vehículo basados en GPS (PNS). Éstos usan la posición del vehículo y una ruta computada usando una función de coste estática tradicional para impartir instrucciones que guíen al conductor a su destino. Tales sistemas han empezado a incorporar información de tráfico en sus servicios, pero ésta no está integrada en la selección de ruta; el usuario puede observar retrasos en donde éstos impactan con la ruta seleccionada, y guiar manualmente al sistema para que replanifique una ruta evitando las secciones retrasadas de la carretera si se considera necesario.
- 30 • Se están empleando sistemas de vigilancia de tráfico en tiempo real, basados en diversas tecnologías (por ejemplo, teléfonos móviles, cámaras fijas, seguimiento de flotas por GPS) para identificar retrasos de tráfico y para alimentar la información a sistemas de notificación.

35 A medida que aumenta la congestión en las carreteras, los sistemas de planificación de rutas se han hecho más propensos a errores. A un conductor no le gustará preguntar por la ruta más rápida de A a B, y encontrarse posteriormente atrapado en un atasco de tráfico durante 50 minutos. Similarmente, los conductores desconfiarán de un sistema que les encamine a lo largo de una carretera A llena por la que se desplazan en fila detrás de HGVs a 80 km/h, mientras que éstos podrían desplazarse mucho más rápido por una ruta de autopista ligeramente más larga.

40 Las técnicas conocidas para una planificación mejorada de rutas requieren asignar velocidades de carretera individuales a carreteras y secciones de carreteras que reflejen mucho más realmente la velocidad a la cual puede esperarse que el tráfico se desplace por ellas. Esta asignación es generalmente estática, es decir, se asigna a una sección de carretera un coste fijo después de encuestar y analizar, y ese coste se usa siempre después como el coste de la sección de carretera en el algoritmo de enrutamiento. El coste puede revisarse, pero esto es tan caro como la asignación de coste original. De ahí que los algoritmos de planificación de rutas de dispositivos de navegación establezcan tiempos de tránsito de segmento de ruta usando los tipos de carreteras definidos en la base de datos de mapa almacenada en el dispositivo; puede hacerse la suposición de que los vehículos se desplazan de media al límite de velocidad legal para ese tipo de carretera o a alguna velocidad consistente con la clase de carretera. Estas bases de datos de mapa, de compañías como TeleAtlas o NavTech, son el resultado de una encuesta altamente costosa y concienzuda, usualmente por todo un país. Así la fuerza de este enfoque es que los tiempos de tránsito pueden estimarse para cada carretera de la base de datos de mapa. Pero su debilidad es que la suposición de desplazamiento al límite de velocidad legal falla claramente en áreas congestionadas, dado que los dispositivos no tienen información de tráfico fiable. El enfoque general para calcular un ruta de coste muy bajo (por ejemplo, muy rápida) puede pensarse como comprensiva, pero imprecisa si tiene lugar una congestión.

50 Los dispositivos portátiles de navegación por satélite GPS con algoritmos de planificación de rutas sofisticados, tales como el GO^{MR} de TomTom International BV, se han extendido en años recientes y se usan por un gran número de

conductores ordinarios: los beneficios de integrar datos de tráfico efectivos en estos sistemas son considerables.

Sistemas de vigilancia de tráfico de la técnica anterior se han enfocado en proporcionar datos de flujo de tráfico de modo que pueda evitarse una congestión. Pero estos sistemas han estado limitados principalmente a carreteras principales debido a los costes de infraestructura de desarrollar el equipamiento de vigilancia (por ejemplo sensores de bucle enterrados en las carreteras; sistemas basados en cámara, tales como sistemas de reconocimiento de matrículas) o debido a que descansan sobre sistemas de vehículo flotantes en los que se hace seguimiento de una proporción relativamente pequeña de todos los vehículos (equipados con hardware dedicado), típicamente los que se mueven en carreteras principales y no en áreas urbanas. Para las compañías de transporte comercial, estas limitaciones pueden ser aceptables porque, en cualquier caso, sus camiones usan generalmente las carreteras principales.

Los servicios globales de vigilancia de tráfico no son en absoluto comprensivos, pero resultan útiles cuando aparece una congestión en una carretera que es vigilada. Pero la utilidad está limitada por dos razones. En primer lugar, se informa a su usuario meramente de la congestión; a continuación se le pide típicamente al usuario que solicite la acción apropiada, tal como planear una nueva ruta, teniendo en cuenta la congestión. En segundo lugar, la congestión puede haberse terminado en el momento en que el vehículo llega a los lugares indicados como actualmente congestionados. Cuando la congestión es predecible (es decir, ésta sigue alguna clase de regularidad o predictibilidad en el tiempo, tal como la hora punta matutina, o una congestión alrededor de un estadio en el que se está jugando un partido importante, o un accidente que cierra una carril de una carretera principal), es posible estimar entonces la posible congestión que experimentará el vehículo una vez que llegue a la carretera que actualmente está congestionada. Los datos de flujo de tráfico en función del tiempo o los datos de tiempos de tránsito (por ejemplo, a las 8 de la mañana de todos los lunes por la mañana, el tiempo de tránsito para un segmento de ruta particular es de 20 minutos; cae a 15 minutos a la 1 de la tarde, y es de 5 minutos a las 11 de la mañana, etc.) pueden contribuir de alguna manera a abordar esta cuestión. Se hace referencia a los documentos US 6356836 y posteriormente al documento WO 2004/021306. Pero hasta la fecha, como se indicó anteriormente, esta clase de datos sólo se ha aplicado típicamente a sistemas de vigilancia de tráfico que proporcionan datos para una proporción relativamente pequeña de carreteras de un país.

El efecto global es que un usuario puede usar algoritmos de planificación de rutas con costes de segmento de ruta en función del tiempo, pero se limita a la planificación de rutas para las proporciones relativamente pequeñas de carreteras que están cubiertas por sistemas de vigilancia de tráfico. La precisión se proporciona a expensas de la cobertura geográfica. Alternativamente, un usuario puede usar algoritmos de planificación de rutas basándose en costes de segmento de ruta fijos y predefinidos (por ejemplo, el límite de velocidad legal). La cobertura geográfica está disponible, pero a expensas de la precisión.

El documento EP1387145 describe un sistema de navegación que usa una base de datos estática y una base de datos dinámica para planificar una ruta; en donde la base de datos estática comprende datos de la velocidad media de una calle y la base de datos dinámica comprende datos relativos a información de tráfico actual.

El documento EP1491859 describe un método de ayuda a la navegación que usa información de carretera tanto estática como dinámica en un cálculo de rutas.

El documento US2004044465 describe un sistema de enrutamiento usado para acceder a un origen y un destino en un gráfico de enrutamiento. El sistema de enrutamiento se usa para determinar una ruta preferida desde el origen hasta el destino basándose al menos en parte en un coste variable para atravesar al menos un enlace del gráfico de enrutamiento, basándose el coste variable en un día en el que ha de atravesarse el al menos un enlace.

El documento WO9854682 describe un sistema para generar información de base de datos de mapa a partir del movimiento de vehículos, incluyendo: (i) una fuente de datos de geolocalización de vehículo obtenidos geolocalizando pasivamente al menos uno de los vehículos que aloja un transmisor móvil, y (ii) un procesador para procesar los datos de geolocalización de vehículo aplicando un algoritmo prescrito para seleccionar una secuencia de seguimiento representativa de al menos dos posiciones reportadas de al menos uno de los vehículos, y posteriormente estimar la localización de al menos un segmento de carretera para generar así la información de base de datos de mapa.

El documento EP1253401 describe un método de determinación del estado idéntico de rutas que disminuye la cantidad de datos que se han de transmitir desde una base de información a un aparato de navegación de rutas (terminal cliente) mediante un uso efectivo de datos almacenados en el aparato de navegación de rutas.

Sumario de la invención

Según un aspecto de la invención, se proporciona un método de planificación de una ruta a un destino según se reivindica en la reivindicación 1.

La presente invención combina la posible cobertura geográfica con costes de segmento de ruta predefinidos fijos

(por ejemplo, el límite de velocidad legal) con, siempre que sea posible, costes en función del tiempo más ricos. Por ejemplo, un usuario de un dispositivo de navegación portátil puede, por tanto, continuar como antes la planificación de una ruta a virtualmente cualquier destino de un país cubierto por la base de datos de mapa almacenados, pero, siempre que sea posible, también puede usar datos de tráfico con costes en función del tiempo, de modo que el efecto de una congestión con cualquier predictibilidad temporal pueda tenerse en cuenta con precisión como un proceso de fondo automático. Esto permite que el conductor sencillamente continúe conduciendo, siguiendo el guiado ofrecido por el dispositivo de navegación, sin necesidad de preocuparse por la congestión que existe ahora, y de si ésta impactará en su viaje.

Detalles de implementación adicionales incluyen los siguientes:

- 10 El coste en función del tiempo asociado con un segmento de ruta particular se refiere a la velocidad de vehículo o a tiempos de tránsito de segmento de ruta que se han medido o inferido, y no son ni fijos ni predefinidos. La medición puede adoptar una variedad de formas y se describirá posteriormente. Por otro lado, el coste independiente del tiempo, fijo y predefinido, asociado con un segmento de ruta particular no se ha medido o inferido de un flujo o movimiento de tráfico de vehículos reales, sino, que por el contrario, es una función de (i) el tipo de carretera asociada con ese segmento de ruta o (ii) el límite de velocidad aplicable a ese segmento de ruta. Los costes independientes del tiempo se usan en combinación con los costes en función del tiempo, para los segmentos de ruta que se definen por costes tanto independientes del tiempo como en función del tiempo. La combinación puede adoptar muchas formas diferentes: sin embargo, la esencial es que aún exista cierto valor en los datos independientes del tiempo para establecer el coste más preciso para un segmento de ruta, incluso aunque puedan estar disponibles datos en función del tiempo. Por ejemplo, la calidad de los datos en función del tiempo puede ser demasiado baja para ser totalmente fiable; la combinación de esos datos con datos fijos independientes del tiempo con una ponderación relativa adecuada puede ofrecer la estimación más razonable. Igualmente, los datos independientes del tiempo pueden no estar disponibles para un segmento de ruta específico, pero podrían ser conocidos para segmentos de ruta similares o cercanos, y de ahí que pueda ser posible inferir una dependencia del tiempo; pero, como antes, puede ser deseable cierta ponderación con los datos fijos independientes del tiempo.

Generalmente, el coste asociado con una ruta particular será el tiempo estimado empleado para alcanzar el destino, dado que éste es en el que la mayor parte de los usuarios está más interesado. Pero también puede usarse cualquier otro coste. El coste es cualquier coste real o percibido que el conductor u otra persona pueda elegir solicitar o proporcionar que está relacionado con segmentos de carretera. Por ejemplo, el coste asociado con una ruta particular podría ser el gasto de combustible asociado con esa ruta. O el coste financiero imputable asociado con esa ruta – especialmente útil en donde está implementado el pago por uso de la carretera o existen otras formas de pago directo, tales como zonas de congestión. El coste asociado con una ruta particular puede ser de un tipo que un usuario final pueda seleccionar de una lista de menú presentada en un dispositivo de computación. En los ejemplos anteriores, la lista de menú incluiría uno o más de los ítems siguiente: tiempo de tránsito de la ruta; coste financiero de la ruta; gasto de combustible en la ruta; tráfico estacionario. En todos los casos, el software calcula el coste de la ruta como parte de un algoritmo de minimización de costes.

Una característica es que un coste estimado de alcanzar un destino para un conductor particular de un vehículo sea función del perfil de conducción asociado con ese conductor. De ahí que el estilo de conducción (por ejemplo, rápido/agresivo/deportivo; normal; lento/cuidadoso) pueda tener un impacto significativo sobre los costes (especialmente tiempos de tránsito y gasto de combustible). El método permite que se seleccionen perfiles diferentes (por ejemplo, por el conductor mismo, manualmente a partir de una lista de menú presentada en un dispositivo de navegación; o automáticamente por ese dispositivo vigilando la conducción real); éstos se usan después para seleccionar un conjunto apropiado de costes o un factor de ponderación a aplicar a los costes. Por ejemplo, un conductor en modo deportivo puede reducir sus tiempos de tránsito en un 5%, a diferencia de las zonas muy congestionadas.

Según se indicó anteriormente, existen muchas maneras de medir flujos de tráfico de vehículos reales o datos de movimiento. Por ejemplo, esto puede realizarse usando trazas de GPS (típicamente un registro de los datos de posición GPS a intervalos de tiempo o distancia regulares). Las trazas de GPS pueden almacenarse por dispositivo de navegación basado en GPS en un vehículo desplazándose a lo largo de los segmentos de ruta. Las trazas de GPS podrían enviarse por una red inalámbrica celular directamente por el dispositivo a un sistema de vigilancia del tráfico, o enviarse directamente por el dispositivo a un sistema de vigilancia del tráfico. Las trazas de GPS podrían enviarse por un teléfono móvil conectado al dispositivo a través de una piconet u otra forma de conexión, o enviarse por el dispositivo cuando esté conectado con un PC a un sistema de vigilancia del tráfico.

La medición de flujos o movimiento de tráfico de vehículos reales también podría lograrse midiendo la localización de teléfonos móviles; esto puede hacerse vigilando pasivamente el tráfico de señalización de los teléfonos móviles a las estaciones base. La medición de flujos o movimientos de tráfico de vehículos reales también puede lograrse usando sensores de bucle en carretera, o usando sistemas basados en cámara (por ejemplo sistemas de reconocimiento de matrículas) o usando vehículos equipados con balizas de radio.

Los costes en función del tiempo pueden actualizarse dinámicamente: de ahí que cuando cambian las condiciones del tráfico, estos cambios pueden detectarse por un sistema de vigilancia del tráfico y los costes cambiados pueden ser usados por el software de planificación de rutas. Esto también cubre la situación en la que acontece un accidente u otro evento no predecible; por tanto, la actualización dinámica en tiempo real es muy deseable.

5 Los costes en función del tiempo asociados con un segmento de ruta pueden ser función de uno o más de muchos parámetros diferentes relacionados con el tiempo. Por ejemplo, pueden ser función de:

- la hora del día o de la noche
- los días de la semana
- los días festivos

10 • las vacaciones escolares

- más generalmente, cualquier evento que impacte probablemente sobre los costes de segmentos de ruta; o cualquier situación futura acerca de la cual es posible inferir un impacto probable en el coste de segmentos de ruta.

15 Usando el método anterior, puede planearse una ruta a un destino, o a dos o más destinos, y el tiempo de llegada a cada destino será significativamente más preciso que los enfoques actuales basados en el límite de velocidad.

Otro aspecto de la invención es una sistema que comprende un servidor y al menos un dispositivo de navegación según la reivindicación 17.

20 Es el dispositivo el que calcula la ruta de coste más bajo hasta el destino; por ejemplo, la ruta más rápida, la ruta con el gasto de combustible más bajo, la ruta con las cargas financieras más bajas, etc. Los costes en función del tiempo pueden mandarse directamente al dispositivo, o enviarse al dispositivo a petición de dicho dispositivo. Por motivos de eficiencia del ancho de banda, los costes en función del tiempo recibidos por el dispositivo pueden restringirse a una clase de tipos de carretera.

25 El dispositivo puede incluir costes en función del tiempo en la misma memoria que incluye la base de datos de mapa. Por tanto, un enfoque es distribuir tarjetas de memoria u otros formatos físicos de memoria no sólo con la base de datos de mapa completa, sino también con los costes en función del tiempo asociados con muchos de los segmentos de ruta de la base de datos. Alternativamente, los costes en función del tiempo podrían ponerse a disposición del dispositivo cuando se le conecta con un PC conectado a internet que pueda descargar los datos desde un servidor, o bien por vía aérea, y luego podrían ser almacenados en la memoria (típicamente un disco duro o una memoria de estado sólido) en el dispositivo mismo.

30 También es posible que:

- (a) tanto el dispositivo como el servidor usen cada uno de ellos por separado los costes en función del tiempo;
- (b) el dispositivo informe al servidor de la ruta de costes más bajos que haya calculado; y
- (c) el servidor envíe una notificación al dispositivo si la ruta de coste más bajo que ha calculado es diferente de la ruta que ha calculado el dispositivo.

35 Puede ahorrarse ancho de banda si el servidor envía una notificación al dispositivo que defina solamente la diferencia entre las rutas.

En cualquier caso, el dispositivo puede sugerir un tiempo de comienzo óptimo para un viaje, si el usuario define cuándo desea llegar.

40 El dispositivo mismo puede ser un dispositivo de navegación basado en GPS. Puede ser un teléfono móvil con un sistema de búsqueda de localizaciones, tal como un GPS. Puede ser un dispositivo de navegación portátil, tal como un GO de TomTom, o puede estar embebido permanentemente en un vehículo de motor.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación esquemática de un sistema de planificación de ruta según una realización de la presente invención;

45 La figura 2 es un mapa que ilustra el uso de una función de coste dinámica para seleccionar una ruta optimizada para un viaje; y

La figura 3 es una representación esquemática de la operación de un sistema de enrutamiento dinámico

distribuido.

Descripción detallada

Existen diversas opciones para proponer una ruta por una red de carreteras a un conductor que desee realizar un viaje específico. El viaje puede especificarse sencillamente como entre dos puntos, o puede ser un viaje más complejo que implique localizaciones múltiples que deben visitarse, no necesariamente en un orden particular. Esta es la clase de viaje que haría un conductor de reparto. Cualquiera que sea el formato del viaje, el objetivo es minimizar un coste asociado con el viaje. El coste más obvio es la duración temporal, pero puede ser relevante cualquier otro coste, por ejemplo el combustible usado para realizar el viaje. Los usuarios pueden restringir la elección de carreteras usadas; por ejemplo, algunas clases de vehículos comerciales tienen prohibido usar todas las rutas excepto las rutas para camiones cuando están en conurbaciones exteriores. Estas opciones se materializan muy usualmente como sistemas de ordenador que encapsulan algoritmos que asignan un coste a una sección de ruta, y que aplican un algoritmo de minimización de coste [Dijkstra] al gráfico de cruces y rutas. En el caso sencillo, el coste es fijo para cada ruta y es el tiempo de viaje a lo largo de la ruta desplazándose a la velocidad normal de la ruta (típicamente esta figura es el límite de velocidad para la carretera en cuestión, o un valor derivado sencillamente del límite de velocidad). Esto puede denominarse función de coste estática.

Esto no tiene en cuenta las variaciones de la velocidad potencial a lo largo de la ruta, tal como las causadas por periodos punta y no punta. Tampoco tiene en cuenta el hecho de que el límite de velocidad de la carretera es un pronosticador muy pobre de la seguridad de la velocidad usable en una carretera.

Para solucionar el problema de la variación del coste de una carretera en el tiempo, el algoritmo se puede modificar para adjudicar un coste a una ruta que sea dependiente de la hora del día. Entonces, la entrada al algoritmo de enrutamiento incluye una hora para la cual se requiere la mejor ruta, y se aplica el coste apropiado para la hora relevante a cada sección de ruta. El problema con tales sistemas es la provisión de una función de coste buena para una ruta; se puede generar una función de coste sintética asignando un mayor coste en horas punta, pero las carreteras individuales tienden a tener patrones de congestión individuales, por lo que aunque un coste variable de tiempo puede ser una estimación mejorada del coste verdadero, ésta está lejos de ser perfecto.

La presente invención aborda el problema de proporcionar una estimación de coste mejor para las carreteras que resulte en un sistema de enrutamiento más preciso para conductores. Un sistema de vigilancia del tráfico (o la producción histórica de un sistema de vigilancia de tráfico) se incorpora al sistema de enrutamiento, La información de tráfico histórica producida por el sistema de vigilancia se procesa para proporcionar predicciones de coste para la ruta y la hora de interés, y se aplica a continuación un algoritmo de minimización de coste a los costes predichos de segmentos de ruta para generar la ruta o rutas propuestas y su(s) coste(s) total(es) predicho(s).

Dado que el nuevo sistema proporciona estimaciones de coste variable y sugerencias de ruta, también se describe un marco de trabajo para garantizar que un usuario que use lo que se propuso originalmente como la ruta óptima para un viaje continúe siguiendo la ruta más óptima cuando cambien dinámicamente las condiciones de la carretera.

Además, el nuevo sistema proporciona la oportunidad de refinamientos adicionales a un servicio de enrutamiento. Por ejemplo, puede adaptarse para sugerir una hora preferida de desplazamiento dentro de una ventana de tiempo seleccionada, cuando esto dé como resultado el coste de viaje más bajo.

La presente invención proporciona un método y un sistema para generar planes de ruta organizados y estimaciones de tiempo de desplazamiento optimizados para un viaje y hora de partida o llegada particulares. Ésta emplea los datos y predicciones generados por un sistema de vigilancia de tráfico para proporcionar predicciones de tiempo de desplazamiento precisas para tiempos cronometrados particulares en segmentos de ruta. Combinado con un algoritmo de enrutamiento tradicional, esto permite seleccionar la mejor ruta para un viaje teniendo en cuenta las condiciones de tráfico que probablemente se van a encontrar. En particular, según se indicó anteriormente, una implementación combina la cobertura geográfica posible con costes de segmento de ruta fijos predefinidos (por ejemplo, el límite de velocidad legal) con, siempre que sea posible, costes en función del tiempo más ricos. Por ejemplo, un usuario de un dispositivo de navegación portátil puede, por tanto, continuar como antes la planificación de una ruta a virtualmente cualquier destino de un país cubierto por la base de datos de mapa almacenados, pero, siempre que sea posible, también puede usar datos de tráfico con costes en función del tiempo, de modo que el efecto de la congestión con cualquier predictibilidad temporal pueda tenerse en cuenta con precisión como un proceso de fondo automático. Esto permite que el conductor sencillamente continúe conduciendo, siguiendo el guiado ofrecido por el dispositivo de navegación, sin necesidad de preocuparse por una congestión que exista ahora, y de si ésta impactará en su viaje.

El sistema se muestra en la figura 1 y comprende

- Un sistema 1 de vigilancia de tráfico 1

- Un sistema 2 de enrutamiento

Estos dos sistemas están integrados de tal manera que el sistema 1 de vigilancia de tráfico proporciona un capacidad 3 de predicción de tiempo de tránsito que se usa por la función 7 de coste del sistema 2 de enrutamiento para proporcionar costes de segmento de carretera precisos dependientes del tiempo.

5 1. Sistema de vigilancia del tráfico (TMS)

Un sistema 1 de vigilancia del tráfico tal como el Applied Generics' RoDIN24 [RoDIN24] contiene un núcleo 4 de recogida y vigilancia que observa, mediante algún mecanismo, el tráfico en un área geográfica designada.

10 Dentro del área geográfica, la red de carreteras está segmentada en segmentos cortos discretos; típicamente, los segmentos finalizan en cruces, aunque pueden existir múltiples segmentos entre cruces ampliamente separados. Un módulo de procesamiento interno del núcleo genera una u otra, o ambos de entre:

- Información histórica de tiempo de tránsito para segmentos de carretera, almacenada en la base de datos 5. A una frecuencia definida, se registra en la base de datos la estimación del sistema del tiempo actual para atravesar el segmento de carretera, junto con cualesquiera otros parámetros que el sistema genere relacionados con el tráfico en el segmento de carretera. El método para calcular la estimación de tiempo de tránsito depende del sistema de vigilancia del tráfico; en RoDIN24 se deriva de los movimientos de teléfonos móviles que el sistema cree, con un alto grado de probabilidad, que han atravesado el segmento en cuestión. Se hace referencia al documento WO0245046.
- Información y notificación 6 de congestión. El sistema 6 identifica aquellos segmentos de carretera que están significativamente congestionados (desplazamientos a mucha menos de la velocidad de carretera esperada) y expide notificaciones a clientes interesados que usan un protocolo acordado.

1.1. Predicción de tiempo de tránsito

25 El sistema 1 de vigilancia de tráfico es aumentado con un módulo 3 de predicción de tiempo de tránsito. Éste está diseñado para proporcionar una estimación del tiempo de tránsito esperado en cualquier segmento de carretera dentro del ámbito del TMS 1, en cualquier tiempo futuro solicitado. Obsérvese que un módulo 3 de predicción de tiempo de tránsito que siempre suministra el tiempo de tránsito según el límite de velocidad de la carretera es un ejemplo degenerado de este sistema, y cuando está integrado con un sistema de enrutamiento sirve para implementar predicciones de ruta de la manera estática tradicional. De ahí que cuando la base de datos histórica 5 o los sistemas de información/notificación de congestión no pueden proporcionar datos significativos, entonces la posición por defecto es que el tiempo de tránsito es sencillamente una función del límite de velocidad – es decir, los datos convencionales fijos independientes del tiempo.

30 En la realización preferida, la predicción de tiempo de tránsito se basa en el análisis automático de la información histórica 5 de tiempo de tránsito, y una integración con una información 6 de congestión actual. La predicción puede realizarse continuamente para todos los segmentos para el futuro cercano, o puede realizarse bajo demanda cuando una petición de un cálculo de ruta requiere un tiempo de tránsito predicho del segmento de carretera particular.

35 Es común en la investigación del transporte categorizar el calendario según el tipo de día, y dentro de los días de un tipo particular categorizar la hora como punta, no punta, hora del día, noche, etc.

Pueden ser tipos de día:

- Día de la semana.
- Viernes, el cual tiende a tener un patrón diferente respecto de otros días de la semana.
- 40 • Sábado.
- Domingo.
- Día festivo.

Las fases del año en que las escuelas están abiertas o de vacaciones sirven además para dividir el tiempo.

45 Mediante la definición de un calendario de esta clase como entrada para el TMS1, pueden asignarse datos históricos a una categoría apropiada. Dentro de cada categoría, pueden agruparse las estimaciones de tiempo de tránsito dentro de una ventana temporal estrecha; 15 minutos es un tamaño realista de ventana. Entonces, la información histórica se estructura de esta forma:

- Día de la semana, sesión escolar, 08:00-08:15, tiempo de tránsito estimado 43 min de media.
- Viernes, vacaciones escolares, 08:30-08:45, tiempo de tránsito estimado 27 min de media.

5 Un mecanismo para realizar la predicción 3 de tiempo de tránsito es usar las categorías de información históricas, tales como las que se acaban de describir. A continuación, se da el tiempo de tránsito predicho para un viaje en un tiempo cronometrado particular como el valor de tiempo de tránsito medio de la categoría que contiene el tiempo cronometrado.

10 Un refinamiento del mismo mecanismo tiene en cuenta incidentes inusuales y una congestión que actualmente se observa por el sistema 6 de información de congestión. Los tiempos de tránsito más recientemente observados se comparan con las predicciones para sus categorías, y se escala la predicción futura en proporción a la relación de los tiempos de tránsito observados recientemente a los tiempos de tránsito recientemente predichos. Para predicciones de tiempos de tránsito a largo plazo en el futuro, no debe aplicarse el escalado. Más generalmente, la predicción debe declinar el valor observado a favor del valor histórico medio a medida que crezca la distancia de la predicción hacia el futuro.

15 Claramente, el mecanismo de predicción puede hacerse muy sofisticado. La mejora central es que la información histórica está disponible y puede usarse para producir una predicción muchos más precisa de tiempos de tránsito para las secciones de ruta del área geográfica bajo consideración. Pero, en donde no existe tal información, se usa entonces la información de coste estática convencional en función del tiempo.

2. Buscador de rutas

20 La búsqueda de rutas puede implementarse en un sistema 2 usando cualquier algoritmo de búsqueda de rutas que asigne costes a enlaces de la red. La función de coste dinámica está integrada sencillamente en el algoritmo de enrutamiento.

2.1. Función de coste dinámica

25 Una función de coste dinámica es función del segmento de carretera y del tiempo (presumiblemente futuro) de interés. Esto contrasta con una función de coste estática que es función sólo del segmento de carretera. La función de coste estática más común es el tiempo de tránsito al límite 7 de velocidad, pero también se pueden seleccionar en 8 otras funciones de coste. Una buena función de coste dinámica puede implementarse usando el mecanismo de predicción de tiempo de tránsito del TMS 1. Cuando se aplica en 9 el algoritmo de minimización de coste para un tiempo particular de desplazamiento, esta función de coste dinámica da como resultado un tiempo de viaje predicho más preciso y una selección de ruta que está más cercana al óptimo.

30 2.2. Enrutamiento con Dijkstra

Existe un algoritmo bien conocido [Dijkstra] que permite computar en 9 la trayectoria más corta entre nodos de un gráfico. Este es el algoritmo estándar empleado para descubrir la ruta más corta en una red de carreteras. En el algoritmo de Dijkstra se añade un peso fijo a cada borde del gráfico; el coste para un enrutamiento de carretera normal es el tiempo de tránsito para la sección de carretera a la velocidad límite fijada para la sección de carretera.

35 Con el uso de la función de coste dinámica, el coste de un borde del gráfico no es un valor constante, sino que varía con el tiempo. Sin embargo, se puede mostrar que la ligera extensión necesaria del algoritmo aún dará como resultado el cálculo de la trayectoria de mínimo coste desde un lugar y tiempo de comienzo particulares; de hecho, siempre se aplica un único coste a una sección de borde/carretera particular (durante la fase de relajación del algoritmo), y dado que este coste está disponible en la función de coste dinámica, la prueba de la corrección del algoritmo en la presente aplicación es inmediata.

40 En esta implementación, se usan costes de segmento de ruta predefinidos fijos (por ejemplo, el límite velocidad legal) en algunos segmentos de ruta, pero, siempre que sea posible, costes en función del tiempo más ricos para otros segmentos de ruta. Por ejemplo, un usuario de un dispositivo de navegación portátil puede, por tanto, continuar la planificación de una ruta como antes virtualmente a cualquier destino de un país cubierto por la base de datos de mapa almacenados, pero, siempre que sea posible, también puede usar datos de tráfico con costes en función del tiempo, de modo que el efecto de una congestión con cualquier predictibilidad temporal pueda tenerse en cuenta con precisión como un proceso de fondo automático. Esto permite que el conductor sencillamente continúe conduciendo, siguiendo el guiado ofrecido por el dispositivo de navegación, sin necesidad de preocuparse por una congestión que exista ahora, y de si ésta impactará en su viaje.

50 2.3. Ejemplo de la Figura 2

Se demuestra cómo el sistema de enrutamiento dinámico da como resultado un gran ahorro concreto de tiempo en un viaje de ejemplo. Considérese el siguiente mapa de carreteras esquemático. Un conductor desea viajar desde Lilliput a Brobdingnag. ¿Qué ruta se debe tomar y cuánto tiempo se empleará? El mapa está etiquetado con las

distancias a lo largo de las carreteras y las velocidades, respectivamente, de la hora de comer y de la hora punta. Por ejemplo, 30 km (60km/h/30km/h) indica que el segmento de carretera tiene 30 km de largo, y según la mejor información disponible para el predictor de tiempo de tránsito, a la hora de la comida (12:00) dicho conductor estará viajando a 60 km/h, mientras que en hora punta (16:00) estará viajando a 30 km/h.

- 5 2. Considérense las opciones del conductor. Éste puede desplazarse a través de Blefuscu, o a través de Laputa. Suponiendo que todos los límites de velocidad de la carretera sean de 90 km/h, el viaje a través de Blefuscu es más corto y un sistema de enrutamiento convencional siempre propondrá esta ruta. Examínese ahora el enrutamiento con una función de coste dinámica:

Hora de la comida

- 10 1. A las 12:00, desplazarse de Lilliput a Blefuscu lleva 30 minutos a 60 km/h. A las 12:30 (cuando el conductor llega a Blefuscu) el viaje a Borbdingnag lleva 20 minutos a 60 km/h durante otros 20 minutos. La duración total del viaje es de 50 minutos.

- 15 2. A las 12:00, desplazarse de Lilliput a Laputa lleva 20 minutos a 60 km/h. A las 12:20 (llegando a Laputa) el viaje a Borbdingnag lleva 40 minutos a 60 km/h durante otros 20 minutos, una duración total de 60 minutos. Así a la hora de comer, es claramente mejor desplazarse a través de Blefuscu.

Hora punta

- 20 1. A las 16:00, desplazarse de Lilliput a Blefuscu lleva 60 minutos a 30 km/h. El conductor llega a Blefuscu a las 17:00, y lleva 60 minutos más recorrer los 20 km hasta Brobdingnag. El viaje ha supuesto un total de 120 minutos.
- 20 2. A las 16:00, desplazarse de Lilliput a Laputa lleva 40 minutos a 30 km/h. El conductor llega a Laputa a las 16:30, a cuyo tiempo habrá que añadir otros 60 minutos para recorrer los 40 km hasta Brobdingnag a 40 km/h. El viaje tiene una duración total de 100 min.

Así durante la hora punta, la elección de viajar a través de Laputa ha ahorrado a nuestro conductor 20 minutos.

3. Actualización/vigilancia de rutas elegidas

- 25 Cuando el sistema de enrutamiento ha calculado una ruta para un conductor, el estado de las carreteras puede cambiar inesperadamente mientras el conductor aún está atravesando la ruta. Puede construirse una implementación del sistema de enrutamiento que garantice en tiempo real que el conductor aún está tomando la mejor ruta. Esto requiere que:

- 30 • El conductor debe estar en contacto con el sistema de enrutamiento para indicar la posición alcanzada en la ruta; como respaldo el sistema puede estimar la posición del conductor basándose en la velocidad de la ruta propuesta.
- 30 • El sistema de enrutamiento recalcula periódicamente la ruta del conductor desde su posición actual hasta el destino.
- 30 • El sistema de enrutamiento usa un mecanismo de comunicación para informar al conductor ha cambiado cuando la ruta calculada.

3.1. Sistema de enrutamiento dinámico distribuido eficiente

- 40 Una implementación común de un sistema que proporciona enrutamiento dinámico coloca un sistema de navegación personal (PNS) en el vehículo del usuario, o en alguna forma de situación móvil con respecto al usuario. El PNS está en comunicación (intermitente) con un sistema de navegación central (CNS) que es un sistema interconectado de red fija que contiene el sistema de vigilancia de tráfico. Se puede ver que el sistema está distribuido entre el PNS y el CNS.

El estado de la técnica en sistemas de comunicación entre PNS y CNS (por ejemplo, GPRS) no proporciona en general una comunicación de gran ancho de banda, baja latencia o continua, de modo que se puedan tratar los problemas de comunicación dentro de la arquitectura de una implementación.

- 45 Además, en donde el sistema contiene un gran número de PNSs, los costes de realizar operaciones de computación significativas en el CNS, en particular, hacer un enrutamiento, pueden ser prohibitivos. Similarmente, mantener el estado en nombre de todos los PNSs en el CNS aumenta significativamente la complejidad y los recursos computacionales que deben desplegarse en el CNS.

En un sistema de enrutamiento dinámico distribuido, la inteligencia de enrutamiento puede estar localizada:

- Sólo en el PNS

- El PNS contiene una foto reciente de la base de datos histórica
- El PNS recibe información de congestión del CNS
- El PNS implementa la predicción de tiempo de tránsito y un sistema de enrutamiento basado en su aproximación

5

- Compartida entre PNS y CNS

- Tanto el PNS como el CNS calculan una ruta para el usuario
- La información del CNS siempre es la mejor
- CNS y PNS intentan garantizar que el PNS proporcione un ruta siempre suficientemente buena (o mejor) con sorpresas mínimas para el usuario.

10

Un sistema de enrutamiento sólo en el CNS adolece de la falta de conectividad garantizada entre el CNS y el PNS, y en cualquier caso los PNS del estado actual de la técnica usan un enrutamiento estático en el PNS; así siempre es posible proporcionar lo que se ve como un caso sencillamente degenerado de enrutamiento de PNS.

15

Las diversas alternativas tienen ventajas diferentes y se examina cómo cada una de ellas puede implementarse con los objetivos de proporcionar una selección de ruta rápida y precisa con bajos costes de comunicación. Finalmente, se describe un sistema de enrutamiento que tiene la ventaja de ser independiente del CNS y con ancho de banda de bajo coste.

3.2. Enrutamiento de PNS

20

Cuando el PNS realiza el enrutamiento, éste debe indicar al CNS el área geográfica que es de su interés. Esta es un área que rodea el origen y el destino de una ruta, con suficiente holgura de modo que cualquier ruta sensible siempre estará dentro del área. Se denomina a esto el área enrutable. Entonces el CNS necesita garantizar que

1. El PNS recibe actualizaciones cuando los segmentos de carretera en el área enrutable se están recorriendo a una velocidad (por tanto, tienen un coste) significativamente diferente de lo predicho por la información del PNS; usualmente, esto significa que existe un retraso inesperado (congestión) en el segmento de carretera.

25

2. El PNS tenga una vista histórica actualizada del área enrutable. La base de datos histórica tiende a cambiar lentamente, y el CNS puede proporcionar al PNS actualizaciones dinámicas de información histórica del área enrutable que está desactualizada.

30

En suma, el CNS garantiza que el PNS tiene una vista suficientemente buena del área enrutable para producir una ruta que esté muy cercana a la ruta óptima que el CNS mismo generaría. El enrutamiento del PNS tiene ventajas en tiempo real. Esté o no el PNS en contacto con el CNS, puede calcularse una ruta óptima conocida y usarse por el conductor hasta que se reciban actualizaciones desde el CNS para recalcular la ruta y (posiblemente) redirigir al conductor.

35

Un problema con esta forma de enrutamiento del PNS es que el PNS debe consultar al CNS por actualizaciones de la función de predicción del área enrutable, o el CNS debe mantener un estado que registre el área enrutable del PNS, de modo que pueda enviar actualizaciones al PNS.

3.3. Enrutamiento compartido

Tanto el PNS como el CNS pueden participar en el guiado de un conductor por una ruta. En donde estos están en contacto, tanto el PNS como el CNS pueden calcular la ruta, y éstos pueden negociar las diferencias en sus rutas seleccionadas, o descansar felices cuando ambos han elegido la misma ruta.

40

Por ejemplo:

1. El conductor solicita al PNS la (ruta A B)
2. El PNS calcula (A r s t B)
3. El PNS envía al CNS (ruta seleccionada A B (r s))

- qué ruta se solicitó hacer

- la(s) primera(s) referencia(s) (equivalentemente los primeros segmentos de ruta) que se ha(n) seleccionado.

4. El CNS calcula la (ruta A B) usando su sistema de enrutamiento, el cual por definición produce la mejor ruta posible que esta tecnología puede generar. (A x y z B).

5. El CNS compara la ruta que ha generado con la ruta generada por el PNS. En este ejemplo, el CNS ha enrutado a través de x, y y z, una ruta completamente diferente de la del PNS, de modo que parecería necesario hacérselo saber al PNS.

6. Cuando existen diferencias, el CNS transmite estas de vuelta al conductor. En particular, sólo necesita transmitir inmediatamente si existen diferencias al comienzo de la ruta. Y éste sólo necesita transmitir la primera diferencia; tras la recepción de una diferencia, el PNS puede calcular una ruta restante a partir de la siguiente referencia de la ruta suministrada por el PNS. Así el CNS indica al PNS la (ruta seleccionada A B (x)) y el PNS calcula la (ruta A a través de x B) que, felizmente, el PNS calcula como A x y z B).

Si más tarde existe una diferencia en la ruta, el PNS puede incluso elegir no transmitir la ruta hasta que el conductor esté más cerca de la divergencia de rutas, por el motivo de que la divergencia puede estar causada por una congestión temporal que se habrá despejado cuando el conductor la alcance.

7.- El CNS continúa vigilando la ruta del conductor, enviando notificaciones si éste recalcula una ruta diferente en un momento posterior.

El enrutamiento compartido en esta forma y en formas relacionadas es extremadamente eficiente en ancho de banda. Asimismo, está muy cerca del óptimo para la búsqueda de rutas, dada la función de coste dinámica correcta. El problema principal con el enrutamiento compartido es que ubica costes significativos de computación y estado en el CNS.

3.4. Enrutamiento del PNS de baja carga de red de la Figura 3

Cuando el sistema usa el enrutamiento de PNS, se descubre que puede realizarse un enrutamiento suficientemente bueno usando la función de enrutamiento dinámica en el PNS, que codifica la información histórica, más una cantidad muy pequeña de información de retardo solicitada desde el CNS. La clave es hacer el enrutamiento en el PNS para identificar los pocos segmentos de carretera que deben tener actualizados sus costes en el PNS, con la mayoría de los valores actualizados calculados por el CNS. Entonces, esto permite que el PNS refine su ruta para aproximarse a la ruta óptima según se habría calculado por el CNS usando la función de coste dinámica.

Aquí está el mecanismo:

1. El PNS construye el área enrutable para la ruta A a B, y solicita al CNS los valores de coste del CNS durante las horas en las cuales se usará la ruta para cualesquiera segmentos de carretera del área enrutable que sean de coste más bajo, según la función de coste del CNS, que según la función de coste del PNS. El CNS conoce que función de coste está usando el PNS porque el PNS puede indicar al CNS la versión de la base de datos histórica que alberga. El CNS alberga una codificación de todas las bases de datos históricas que están presentes en la población de PNSs, de modo que puede determinar para cualquier segmento si alguno de los valores de coste del segmento debe devolverse al PNS. Se define una diferencia de coste mínima por segmento d_s , de modo que el CNS sólo envía al PNS los segmentos de carretera y los valores de coste del CNS

(segmento, $coste_{cns}$ (segmento)) que satisfacen $coste_{cns}$ (segmento) + $d_s \leq coste_{pns}$ (segmento), que son aquellos con un valor de coste del CNS inferior en al menos d_s . Prácticamente, el número de tales segmentos de carretera seleccionados y, por tanto, el tamaño y coste del mensaje serán pequeños.

2. Ahora el PNS construye una función de coste modificada $costeruta_{pns}$, que asigna los valores de coste devueltos por el PNS para los segmentos de carretera de coste más bajo devueltos en el estado anterior, y asigna los valores históricos contenidos por el PNS para todos los otros segmentos de carretera. El PNS realiza un cálculo de enrutamiento de A a B usando $costeruta_{pns}$. La ruta seleccionada por este cálculo se denomina ruta candidata $mejorruta_{pns}$. La función de coste del CNS, $costeruta_{cns}$, puede adjudicar un coste mayor a esta ruta que $costeruta_{pns}$ debido a que la función de coste del PNS modificada no conoce costes inusualmente altos (equivaliendo a segmentos de carretera con retardos) de los cuales conoce la función de coste del CNS. Pero debido a la modificación de la función de coste del PNS en la etapa anterior, $mejorruta_{pns}$ tendrá un coste según el PNS que no es mucho mayor que el coste de ruta más bajo según $costeruta_{cns}$, que se denomina $mejorruta_{cns}$. De hecho:

$costeruta_{pns}$ ($mejorruta_{pns}$) \leq $costeruta_{cns}$ ($mejorruta_{cns}$) + $cuentasegmento$ ($mejorruta_{cns}$) * d_s . El valor de d_s usado en el sistema se elige con el fin de compensar cuán cercano $costeruta_{pns}$ ($mejorruta_{pns}$) debe ser con respecto a $costeruta_{cns}$ ($mejorruta_{pns}$) frente al tiempo y ancho de banda de red requeridos para transmitir segmentos de

carretera y costes en la etapa 1.

3. Ahora queda comprobar que el coste que el CNS asigna a la ruta candidata elegida por el PNS, $costeruta_{cns}$ ($mejorruta_{pns}$), no es mucho peor que el coste que el PNS asigna a la misma. Para hacer esto, el PNS solicita los valores de coste del PNS para los segmentos de carretera en $mejorruta_{pns}$. El CNS suministra los valores de coste para estos segmentos de carretera al PNS, y el PNS actualiza su función de coste para incorporar estos valores de coste de segmento de carretera desde el CNS. Si el CNS retiene el número de versión de base de datos histórica del PNS, o el PNS envía de nuevo el número de versión en esta petición, el CNS sólo necesita responder con los valores de coste de segmento de carretera que difieren de los que el PNS alberga en su base de datos. La función de coste es ahora $costeruta_{pns}^{actualizado}$.
- 5
- 10 4. El PNS calcula ahora $costeruta_{pns}^{actualizado}$ ($mejorruta_{pns}$), el coste de la ruta candidata que se seleccionó previamente, usando esta vez los valores de coste suministrados del CNS para los segmentos de esa carretera. Obsérvese que $costeruta_{pns}^{actualizado}$ ($mejorruta_{pns}$) = $costeruta_{cns}$ ($mejorruta_{pns}$). Se define una diferencia de coste aceptable máxima $dextra_{ruta}$ para ensayar si $mejorruta_{pns}$ se ha de aceptar como la ruta a ofrecer al cliente en esta etapa $mejorruta_{pns}$ se acepta sólo en el caso de que $costeruta_{pns}^{actualizado}$ ($mejorruta_{pns}$) \leq $costeruta_{pns}$ ($mejorruta_{pns}$) + $dextra_{ruta}$. El valor de $dextra_{ruta}$ usado por el sistema se elige para compensar cuán cercano $costeruta_{pns}^{actualizado}$ ($mejorruta_{pns}$) es con respecto a $costeruta_{cns}$ ($mejorruta_{cns}$) frente al tiempo y ancho de banda de red que consume el mecanismo.
- 15
5. Si se aceptó $mejorruta_{pns}$, el proceso de selección de ruta está completo y se envía $mejorruta_{pns}$ al usuario del PNS.
- 20 6. Si no se aceptó $mejorruta_{pns}$, el mecanismo vuelve a la etapa 2, excepto en que esta vez $costeruta_{pns}^{actualizado}$ se usa para seleccionar una nueva ruta candidata $mejorruta'_{pns}$. Si $mejorruta'_{pns}$ = $mejorruta_{pns}$ (o, en iteraciones posteriores, cualquier ruta candidata previamente seleccionada), entonces se acepta inmediatamente $mejorruta'_{pns}$. En caso contrario el sistema ejecuta de nuevo el mismo proceso, solicitando los valores de coste del CNS para $mejorruta'_{pns}$ (etapa 3) actualizando $costeruta_{pns}^{actualizado}$, y calculando $costeruta'_{pns}^{actualizado}$ ($mejorruta'_{pns}$) (etapa 4).
- 25 7. Final y usualmente, ofrecida muy rápidamente una elección razonable de $dextra_{ruta}$, se acepta una de las rutas candidatas que el sistema genera. Puede mostrarse que el PNS debe finalmente aceptar una ruta candidata porque la función de coste $costeruta_{pns}^{actualizado}$ se estabilizará finalmente como igual a $costeruta_{cns}$, en cuyo punto $costeruta_{pns}^{actualizado}$ = $costeruta_{pns}$ y se cumplirá inmediatamente la condición de aceptación para la ruta candidata actual $costeruta_{pns}^{actualizado}$ ($mejorruta_{pns}$) \leq $costeruta_{pns}$ ($mejorruta_{pns}$) + $dextra_{ruta}$.
- 30 8. El sistema envía la ruta aceptada al usuario del PNS.
9. Si en cualquier etapa se pierde conectividad entre el PNS y el CNS, el PNS puede enviar la ruta candidata actual al usuario. En realidad, a menudo es mejor enviar inmediatamente la primera etapa de una ruta, y luego enrutar desde el siguiente cruce al que se aproximará el conductor. La interacción con el sistema parece mucho más natural al usuario si no necesita esperar más de una fracción de segundo para una respuesta inicial del sistema después de solicitar una ruta.
- 35 10. A medida que el conductor se desplaza hacia el destino, el sistema puede solicitar periódicamente (como en la etapa 3) los costes de los segmentos de carretera restantes de la ruta aceptada. Si se produce un retraso más adelante en la ruta, el PNS puede reenrutar automáticamente desde la posición actual reanudando el algoritmo en la etapa 4.
- 40 El enrutamiento del PNS de bajo coste realiza todo sus cálculos de enrutamiento en el PNS (por tanto, enrutamiento del PNS), pero al mismo tiempo requiere un estado mínimo en el CNS, y produce demandas de ancho de banda mínimas. El enrutamiento del PNS tiene la ventaja de ser capaz de continuar siendo útil cuando está sin contacto con el CNS. Además, el enrutamiento del PNS de bajo coste produce rutas que están práctica y suficientemente cercanas en coste a las rutas producidas usando enrutamiento dinámico en el CNS, de tal modo que pueden realizarse en la práctica casi todos los ahorros de coste asociados con el enrutamiento dinámico.
- 45

3.5. Reducción de los costes de comunicación

A pesar de que las responsabilidades para la selección de ruta están divididas, el coste de transmisión de datos puede mantenerse bajo usando una serie de técnicas:

Numeración de segmentos relacionada con la localización

- 50 Cuando el PNS y el CNS están en comunicación, se requiere casi siempre la localización precisa del conductor y del PNS por parte del CNS. Dado que la mayor parte de segmentos de carretera de interés son locales respecto del conductor (o de una ruta solicitada para el conductor), puede implantarse temporalmente un sistema de numeración de ruta alternativo entre el PNS y el CNS, en el que sólo un pequeño número de bits sean necesarios para identificar

los segmentos de carretera más comúnmente transmitidos.

Numeración de segmentos relacionados con la ruta

5 Una ruta de A a B puede describirse totalmente contando las salidas en cada cruce que atraviesa la ruta. Cuando cada segmento de carretera es de una longitud suficiente, esto da como resultado una representación muy compacta de una ruta.

Cuando, como es típico, una sección grande de una ruta puede estar en la misma carretera, puede usarse una forma de codificación de longitud de recorrido. Entonces, puede representarse una ruta como (3,13,2,28,2,15), cuyo significado es:

- tercera salida en un cruce próximo
- 10 • recto a través de los 13 cruces siguientes
- segunda salida en el decimocuarto cruce
- recto a través de los 28 cruces siguientes
- segunda salida en el vigésimo noveno cruce
- recto a través de los 15 cruces siguientes
- 15 • llegada

Bibliografía

Dijkstra: Edsger W. Dijkstra, A Note on Two Problems in Connection with Graphs, 1959

CFIT: UK Commision for Integrated Transport, Congestion Charging.

RoDIN24: Applied Generics, RoDIN24 real-time road traffic information, 2005.

20

REIVINDICACIONES

1. Un método de planificación de una ruta a un destino, que comprende:

5 utilizar una base de datos de mapa, almacenada en un dispositivo de navegación, que define las carreteras en términos de segmentos, incluyendo la base de datos de mapa datos de coste fijos predefinidos independientes del tiempo, no habiéndose medido o inferido los datos de coste independientes del tiempo a partir de datos de tráfico y estando asociados con cada segmento de la base de datos de mapa, e incluyendo además la base de datos de mapa datos de coste en función del tiempo que son datos que resultan de analizar los datos de tráfico para al menos uno de los segmentos; y

10 utilizar un software para permitir que se planifique la ruta al destino y que se calcule un coste estimado de alcanzar el destino usando uno o más segmento de ruta, incluyendo el uno o más segmentos de ruta los segmentos definidos en la base de datos de mapa y que forman la ruta;

15 en donde el software planifica la ruta usando automáticamente los datos de coste en función del tiempo para al menos uno de los segmentos de ruta, de tal manera que se aplique un coste para atravesar un segmento de ruta particular que es apropiado para la hora específica en la cual se ha planificado atravesar el segmento de ruta particular, y usando automáticamente los datos de coste fijos predefinidos independientes del tiempo para otros segmentos de ruta que no están provistos de datos de coste en función del tiempo;

comprendiendo además el método:

20 utilizar una base de datos de mapa adicional, almacenada en un dispositivo servidor central, incluyendo la base de datos adicional los datos en función del tiempo que son los datos resultantes de haber analizado los datos de tráfico para al menos uno de los segmentos; y

utilizar un software para permitir la planificación de una ruta al destino usando la base de datos de mapa adicional y para calcular un coste estimado de alcanzar el destino usando uno o más segmentos de ruta que incluyen los segmentos definidos en la base de datos de mapa y que forman la ruta;

25 en donde el dispositivo de navegación informa al servidor de la ruta de coste más bajo que ha calculado y el servidor envía una notificación al dispositivo de navegación si la ruta de coste más bajo calculada usando la base de datos del servidor es diferente de la ruta que ha calculado el dispositivo de navegación.

2. El método según la reivindicación 1, en el que los datos de coste en función del tiempo asociados con el segmento de ruta particular se refieren a la velocidad de vehículos o a tiempos de tránsito de segmentos de ruta que se han medido o inferido y que no son ni fijos ni predefinidos.

30 3. El método según la reivindicación 1 o 2, en el que los datos de coste fijos predefinidos independientes del tiempo, asociados con los otros segmentos de ruta no se miden ni se infieren del flujo o movimiento de tráfico de vehículos reales, sino que, por el contrario, son función de (i) el tipo de carretera asociado con ese segmento de ruta o (ii) el límite de velocidad aplicable a ese segmento de ruta.

35 4. El método según la reivindicación 3, en el que los datos de coste independientes del tiempo se usan en combinación con los datos de coste en función del tiempo para los segmentos de ruta que se definen tanto por los costes independientes del tiempo como por los costes en función del tiempo.

5. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que el coste asociado con una ruta particular es al menos uno de:

- un tiempo estimado empleado en alcanzar el destino;
- 40 – un gasto de combustible asociado con la ruta particular; y
- un coste financiero imputable asociado con la ruta.

6. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que el coste asociado a una ruta particular es de un tipo que un usuario final puede seleccionar de una lista de menú presentada en un dispositivo de computación.

45 7. El método según la reivindicación 6, en el que la lista de menú incluye uno o más de los siguientes elementos: tiempo de tránsito para la ruta; coste financiero de la ruta, gasto de combustible durante la ruta; tráfico estacionario asociado con la ruta.

8. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que un coste estimado de alcanzar un destino para un conductor particular de un vehículo es función de un perfil de conducción asociado a ese conductor.

9. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que los datos de flujos o movimientos de tráfico de vehículos reales se obtienen:
- Usando trazas de GPS almacenadas por un dispositivo de navegación basado en GPS en un vehículo que se desplaza a lo largo de segmentos de ruta;
- 5
- midiendo una localización de teléfonos móviles;
 - usando sensores de bucle en las carreteras;
 - usando sistemas basados en cámara; o
 - usando vehículos equipados con balizas de radio.
10. El método según la reivindicación 9, en el que:
- 10
- las trazas de GPS se envían por una red inalámbrica celular directamente por el dispositivo a un sistema de vigilancia del tráfico,
 - las trazas de GPS se envían directamente por el dispositivo de navegación a un sistema de vigilancia del tráfico, o
 - las trazas de GPS se envían por un teléfono móvil conectado al dispositivo de navegación a través de una piconet u otra forma de conexión.
- 15
11. El método según la reivindicación 9, en el que las trazas de GPS se envían por el dispositivo de navegación cuando éste está conectado con un PC a un sistema de vigilancia de tráfico.
12. El método según la reivindicación 9, en el que la localización de teléfonos móviles se obtiene vigilando pasivamente el tráfico de señalización desde los teléfonos móviles a las estaciones base.
- 20
13. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que los datos de coste en función del tiempo son actualizables dinámicamente.
14. El método según la reivindicación 13, en el que los datos de coste en función del tiempo son actualizables dinámicamente en tiempo real.
- 25
15. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que los datos de coste en función del tiempo asociados con un segmento de ruta son al menos una de:
- una función de la hora del día o de la noche;
 - una función de los días de la semana;
 - una función de los días festivos;
 - una función de las vacaciones escolares;
- 30
- una función de cualquier evento que impacte probablemente sobre los costes de segmentos de ruta; y
 - una función de cualquier situación futura acerca de la cual es posible inferir un impacto probable en el coste de segmentos de ruta.
16. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que existe una pluralidad de destinos.
- 35
17. Un sistema que comprende un servidor y al menos un dispositivo de navegación, en el que el al menos un dispositivo de navegación comprende:
- una base de datos de mapa que define las carreteras en términos de segmentos, e incluye datos de coste fijos predefinidos independientes del tiempo, estando asociados los datos de coste independientes del tiempo con cada segmento de ruta de la base de datos de mapa, incluyendo además la base de datos de mapa datos de coste en función del tiempo que son datos que resultan de analizar datos de tráfico para al menos uno de los segmentos;
- 40
- medios de cálculo para permitir que se planifique una ruta a un destino y calcular un coste estimado de alcanzar el destino usando uno o más segmentos de ruta, incluyendo el uno o más segmentos de ruta los segmentos definidos en la base de datos de mapa y que forman la ruta, en donde los medios de cálculo planifican la ruta usando automáticamente los datos de coste en función del tiempo de tal manera que se aplique un coste para atravesar un segmento de ruta particular que es apropiado para la hora específica en la cual se ha planificado atravesar el

segmento de ruta particular, y usando automáticamente los datos de coste fijos predefinidos independientes del tiempo para otros segmentos de ruta que no están provistos de datos de coste en función del tiempo; y

medios de comunicación para comunicarse con el servidor,

en donde el servidor comprende:

- 5 una base de datos de mapa adicional que incluye datos de costes en función del tiempo que son los datos resultantes de analizar datos de tráfico para al menos uno de los segmentos, estando concebido el servidor para utilizar un software que permita planificar una ruta al destino usando la base de datos de mapa adicional y para calcular un coste estimado de alcanzar el destino usando uno o más segmentos de ruta, incluyendo el uno o más segmentos de ruta los segmentos definidos en la base de datos de mapa adicional y que forman la ruta, y
- 10 en donde los medios de comunicación están concebidos para informar al servidor de la ruta de coste más baja que han calculado los medios de cálculo con el fin de recibir una notificación desde el servidor si la ruta de coste más bajo calculada en el servidor usando la base de datos de mapa adicional es diferente de la ruta que ha calculado el dispositivo de navegación.
18. El sistema según la reivindicación 17, en el que el al menos un dispositivo de navegación está concebido para planificar una cualquiera de las siguientes rutas como la ruta de coste más bajo:
- 15
- una ruta muy rápida,
 - una ruta con un gasto de combustible muy bajo,
 - una ruta con una carga financiera muy baja.
19. El sistema según la reivindicación 17 o 18, en el que el al menos un dispositivo de navegación comprende además medios para recibir datos de coste en función del tiempo enviados al dispositivo de navegación.
- 20
20. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, en el que el al menos un dispositivo de navegación comprende además medios para recibir datos de coste en función del tiempo enviados al dispositivo de navegación a petición del dispositivo de navegación.
21. El sistema según la reivindicación 19 o 20, en el que los datos de coste en función del tiempo recibidos por el al menos un dispositivo de navegación están restringidos a una clase de tipos de carretera.
- 25
22. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 21, en el que el al menos un dispositivo de navegación incluye datos de coste en función del tiempo en la misma memoria que incluye la base de datos de mapa.
23. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 22, en el que el al menos un dispositivo de navegación está concebido para acceder a los datos de coste en función del tiempo que están contenidos en el servidor.
- 30
24. El sistema según la reivindicación 23, en el que el al menos un dispositivo de navegación está concebido para conectarse con un ordenador conectado a internet y está concebido para recibir los datos de coste en función del tiempo desde el servidor a través del ordenador conectado a internet.
- 35
25. El sistema según la reivindicación 23, en el que el al menos un dispositivo de navegación está concebido para recibir desde el servidor un coste asociado con moverse desde un origen a un destino.
26. El sistema según la reivindicación 23, en el que el servidor está concebido para recibir una alimentación de tráfico en tiempo real que permite al al menos un dispositivo de navegación suplementar los datos de coste en función del tiempo con datos recientes.
- 40
27. El sistema según la reivindicación 23, en el que el al menos un dispositivo de navegación está concebido para recibir datos en tiempo real o recientes o información de congestión desde el servidor y para usar automáticamente esos datos o información para recalculando una ruta óptima.
28. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 27, en el que la notificación enviada desde el servidor al al menos un dispositivo de navegación define solamente la diferencia ente la ruta de coste más bajo calculada por el al menos un dispositivo de navegación y la ruta de coste más bajo calculada por el servidor.
- 45
29. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 28, en el que tanto el al menos un dispositivo de navegación como el servidor usan cada uno de ellos por separado los datos de coste en función del tiempo; estando concebido el al menos un dispositivo de navegación para identificar segmentos de carretera para los cuales son

valiosos los datos recientes y para solicitar datos recientes de los segmentos de carretera identificados desde el servidor.

30. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 29, en el que el al menos un dispositivo de navegación puede sugerir una hora de comienzo óptima para un viaje.

5 31. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 30, en el que el al menos un dispositivo de navegación es un dispositivo de navegación basado en GPS.

32. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 30, en el que el al menos un dispositivo de navegación es un teléfono móvil con un sistema de búsqueda de localizaciones.

33. El sistema según la reivindicación 32, en el que el sistema de búsqueda de localizaciones es un GPS.

10 34. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 30, en el que el al menos un dispositivo de navegación está adaptado para encontrarse permanentemente embebido en un vehículo de motor.

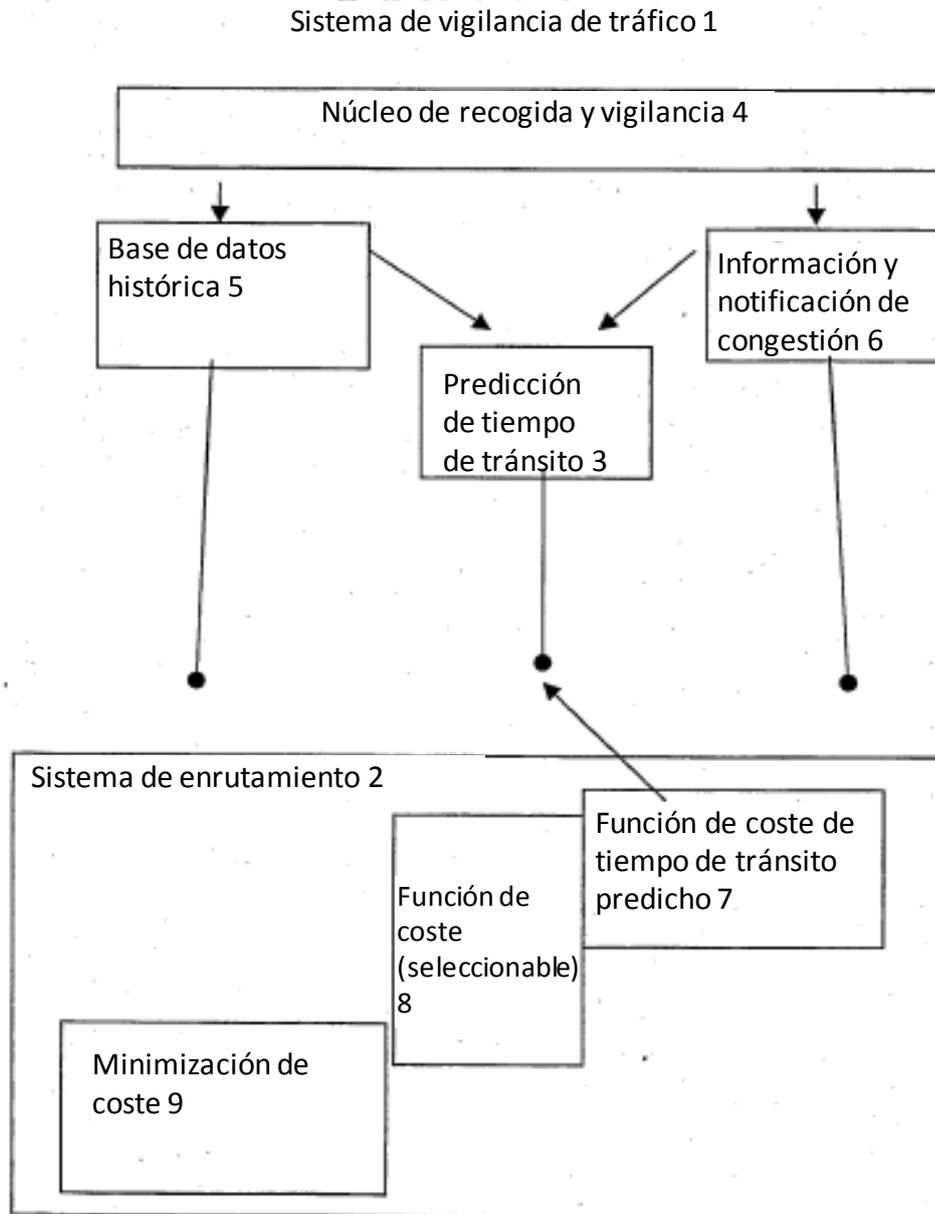


Figura 1

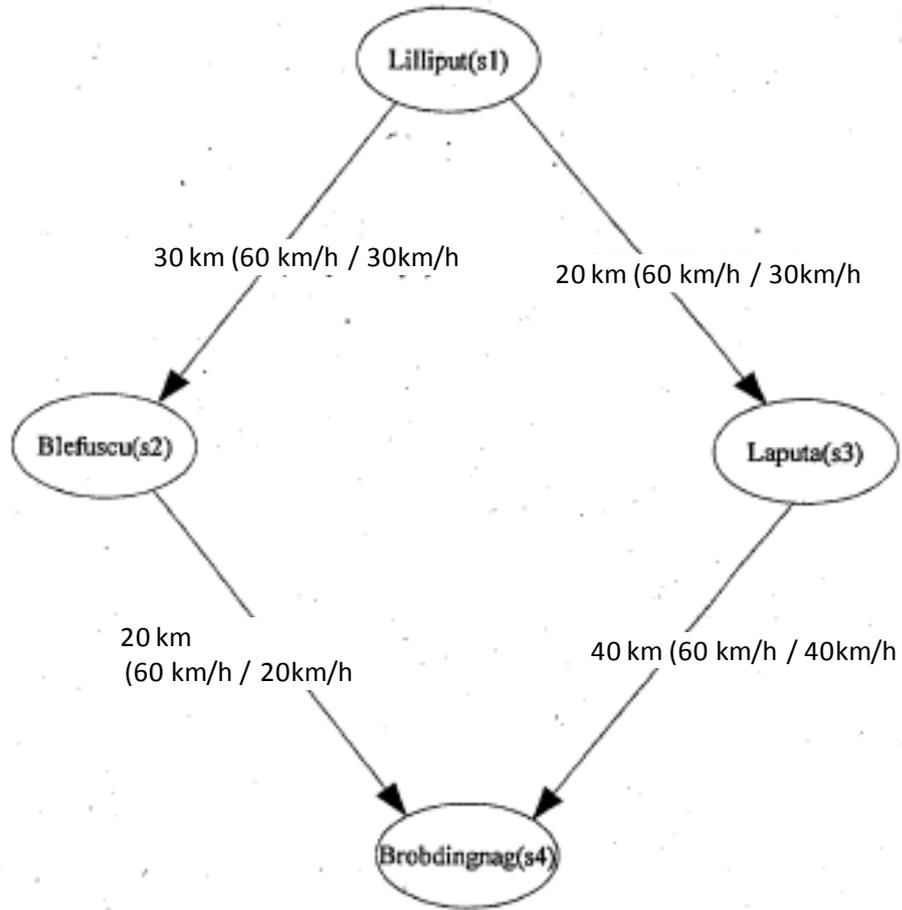


Figura 2

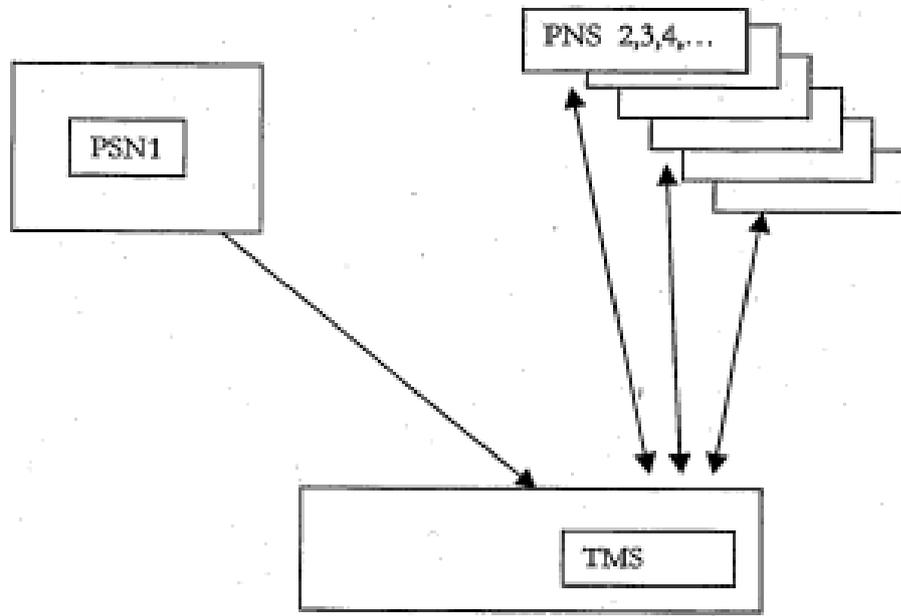


Figura 3