(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 532 429**

(51) Int. Cl.:

G08G 1/081 (2006.01)
G08G 1/082 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2010** **E 10765393 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014** **EP 2478508**

(54) Título: **Sistema y procedimiento de control de señales de tráfico**

(30) Prioridad:

16.09.2009 GB 0916204

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.03.2015

(73) Titular/es:

ROAD SAFETY MANAGEMENT LTD (100.0%)
Straffan Farm
Straffan, Co. Kildare , IE

(72) Inventor/es:

MANTALVANOS, MARTIN

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 532 429 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

Sistema y procedimiento de control de señales de tráfico

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema de control de señales de tráfico. En particular, la invención se refiere a un sistema de control de señales de tráfico multi-agente que utiliza lógica difusa.

Antecedentes de la Invención

El objetivo de los sistemas de gestión del tráfico es gestionar eficientemente recursos de transporte existentes, en respuesta a condiciones de tráfico dinámicas. Los cometidos de la gestión del tráfico son muy simples, utilizar las carreteras en su capacidad óptima. Durante los últimos veinticinco años, la idea de un sistema no basado en humanos que gestione el tráfico ha sido un objetivo de la industria del tráfico. La idea que subyace a esto es que un controlador de cruce o central puede gestionar el flujo de tráfico reduciendo significativamente la congestión y los atascos en el interior de una ciudad y aumentando el flujo de tráfico.

La incapacidad de las redes de carreteras existentes para hacer frente a la demanda creciente se ha definido como uno de los problemas de infraestructuras más problemáticos y acuciantes. Actualmente, un gran número de cruces controlados por señales siguen controlados por sistemas basados en horarios de tiempos fijos. En sistemas más sofisticados, es posible una intervención humana remota, de manera que una persona puede observar una cámara y modificar los horarios de temporización desde un centro de control de tráfico, en función de diferentes situaciones del tráfico. El primer sistema depende de la hipótesis de que generalmente las condiciones de tráfico se mantienen relativamente constantes. El segundo sistema requiere un control y una predicción humanos continuos. Adicionalmente, se pueden utilizar sistemas de control de tráfico urbano (UTCS, urban traffic control systems) adaptativos. Se conocen dos ejemplos de sistemas de UTC, a saber el sistema SCATS y el SCOOT.

Muchas áreas metropolitanas han creado centros de gestión del tráfico (TMC, traffic management centres) con cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV, closed-circuit television), sensores de tráfico y meteorológicos, señales de mensaje variable (VMS, variable message signs), señales de tráfico y controladores de acceso para monitorizar y gestionar el flujo de tráfico en calles y carreteras, aunque la mayoría de estos siguen basándose en proporcionar los datos a una persona que puede adoptar una decisión en base a dichos datos.

El objetivo moderno es crear un sistema que pueda gestionar esto responsablemente sobre un sistema de control de señales de tráfico automatizado. Habitualmente, se utiliza un ordenador central para generar horarios de temporización fuera de línea, en base a las condiciones de tráfico promedio para un horario específico del día. A continuación, los horarios se descargan a los controladores locales a la hora apropiada del día. Los horarios de temporización se obtienen habitualmente maximizando el ancho de banda en las calles arteriales o bien minimizando un índice de pérdida, tal como una medición de paradas y retrasos.

El enfoque de optimización fuera de línea tiene limitaciones para responder a cambios impredecibles en la demanda de tráfico. Estos sistemas pueden responder a una demanda de tráfico cambiante realizando optimizaciones incrementales a nivel local. De estos, los sistemas más notables son "Sydney Coordinated Adaptive Traffic System" (sistema de tráfico adaptativo coordinado de Sidney) (SCATS), desarrollado en Australia, y "Split Cycle and Offset Optimizing Technique" (técnica de optimización de ciclos de división y desfases) (SCOOT), desarrollada en Inglaterra. SCATS está instalado en varias ciudades grandes de Australia, Nueva Zelanda y Asia. SCOOT está instalado en algunas otras ciudades.

Tanto SCATS como SCOOT son sistemas en tiempo real, complicados, que gestionan grandes redes de señales de tráfico. Estos sistemas proporcionan cambios predeterminados incrementales en la duración del ciclo, la división de fases y el desfase de señales de tráfico en sus redes. La duración del ciclo se define como la duración para completar todas las fases de la señal. La división de fases es la división de la duración del ciclo en periodos de señales verdes para los accesos en competencia. El desfase es la relación temporal entre el comienzo de cada fase entre intersecciones adyacentes.

SCATS organiza grupos de intersecciones en subsistemas. Cada subsistema contiene solamente una intersección crítica cuyos parámetros de temporización son ajustados directamente por un ordenador personal en base a la condición predominante promedio del tráfico para el área. El dato básico de tráfico utilizado en SCATS es el "grado de saturación", definido como la proporción del tiempo en verde utilizado eficazmente frente al tiempo en verde disponible total. La duración del ciclo para la intersección crítica se ajusta para mantener un alto grado de saturación para el carril con el máximo grado de saturación. La división de fases para la intersección crítica se ajusta para mantener grados de saturación iguales en accesos en competencia. Todas las demás intersecciones en el subsistema se coordinan con la intersección crítica, compartiendo una duración del ciclo común y teniendo una división de fases y un desfase coordinados. Los sistemas se pueden conectar para formar un sistema coordinado mayor cuando sus duraciones de ciclo son casi iguales. En un nivel inferior, cada intersección puede independientemente acortar u omitir una fase particular en base a la demanda local de tráfico. Sin embargo, cualquier tiempo ahorrado al finalizar anticipadamente la fase se tiene que añadir a la fase posterior para mantener

una duración de ciclo común entre todas las intersecciones del subsistema. Los desfases entre las intersecciones en un subsistema se seleccionan para eliminar paradas en la dirección del flujo de tráfico dominante.

SCOOT utiliza datos de tráfico en tiempo real recogidos por sensores situados mucho más arriba de la señal, para generar modelos de flujo de tráfico denominados "perfiles de flujo cíclico". Los perfiles de flujo cíclico se utilizan para estimar cuántos vehículos llegarán a una señal situada más abajo, cuando la señal está en rojo. Esta estimación proporciona predicciones sobre el tamaño de las colas para diferentes cambios hipotéticos en los parámetros de temporización de las señales. El objetivo de SCOOT es minimizar la suma de las colas promedio en un área. Unos pocos segundos antes de cada cambio de fase, SCOOT utiliza un modelo de flujo para determinar si el cambio de fase se debería adelantar en 4 segundos, permanecer inalterado o retardarse en 4 segundos. Una vez cada ciclo, SCOOT determina asimismo si el desfase se debería adelantar en 4 segundos, permanecer inalterado o retardar en 4 segundos. Una vez cada pocos minutos, SCOOT determina si la duración del ciclo común de todas las intersecciones agrupadas en un subsistema se debería aumentar, mantener o reducir en unos pocos segundos. De este modo, SCOOT modifica sus parámetros de temporización a incrementos predeterminados fijos, para optimizar un objetivo explícito de rendimiento.

Debido que los sistemas anteriores de señales de tráfico que dependen de un control informático centralizado o regional no responden bien a cambios imprevistos en la demanda de tráfico y serán ineficaces cuando el ordenador central o regional falle, existe la necesidad de un sistema de control de señales de tráfico auto-organizado, tolerante a fallos, que esté basado en datos del tráfico local y en un control informático localizado.

La patente de U.S.A. número US 5.357.436 da a conocer una red de señales de tráfico controlada por un sistema de microprocesadores distribuido, adaptativo, basado en lógica difusa. Sin embargo, el problema con este sistema es que es de implementación compleja y funciona en un proceso por etapas. Un inconveniente del sistema de Rockwell es que dicho sistema funciona en etapas fijas en una arquitectura de agente único. Esto tiene como resultado un sistema rígido que no proporciona ninguna flexibilidad para monitorización dinámica del tráfico en cruces de tráfico individuales. Otra bibliografía de patentes publicadas que acusa los mismos problemas incluye NL 1018875C, WO97/34274 y US6.317.058.

Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es dar a conocer un sistema y un procedimiento de gestión del tráfico que superen los inconvenientes mencionados anteriormente.

Compendio de la invención

La invención está definida en las reivindicaciones independientes adjuntas.

Según la presente invención se da a conocer, tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas, un sistema de control de señales de tráfico para controlar una serie de cruces con señales, que comprende:

un esquema de control multi-agente orientado a grupos de señales, estando cada agente adaptado para funcionar independientemente y representando una o varias señales de tráfico en un cruce con señales;

medios para que cada agente determine condiciones de tráfico en su cruce con señales y condiciones de tráfico en agentes vecinos; y

medios para aplicar lógica difusa en operaciones de control de señales, en los que la operación de control de señales se basa en condiciones de tráfico en cada agente y en uno o varios agentes vecinos, de manera que la operación de control se distribuye a cada agente para controlar cada uno de dicha serie de cruces con señales.

Una ventaja de la presente invención es que el enfoque multi-agente, al combinar el control flexible de grupos de señales con la inteligencia artificial de lógica difusa, proporciona un control dinámico flexible. El funcionamiento del sistema de control está basado en una entrada de datos de detectores, que se refina en un modelo de la situación del tráfico en tiempo real. A través del modelo de tráfico, la parte de decisión del sistema (lógica difusa) está observando la situación del tráfico en toda la intersección. La operación de control de señales está basada en la orientación de grupos de señales, en la que la operación de control se distribuye a varios agentes de grupos de señales. La técnica orientada a grupos de señales permite que cada señal de tráfico funcione individualmente dentro de los límites proporcionados por requisitos de seguridad. Por lo tanto, no existen etapas fijas sino que pueden existir diversas imágenes de fases en función de la demanda de tráfico.

Cada agente de grupo de señales funciona individualmente, negociando con otros grupos de señales acerca de la temporización de las señales. Debido a la combinación del proceso de negociación, cada grupo de señales está en todo momento al tanto de las situaciones del tráfico en cada acceso y carril de toda la intersección.

La propia adopción de decisiones del tiempo de duración en verde se realiza aplicando lógica difusa. Con lógica difusa es posible aplicar un proceso de decisión a muchos tipos diferentes de entradas, que no son unidades matemáticamente compactas. Es posible asimismo definir situaciones del tráfico y reglas de control de señales mediante palabras. Es posible asimismo imitar la adopción humana de decisiones, es decir, al guardia de tráfico en la intersección.

En una realización, cada agente comprende medios para calcular colas y vehículos en aproximación relevantes en una dirección particular en base a temporizaciones para agentes situados más abajo, donde el agente situado más abajo suma con una ponderación dada los vehículos situados más arriba, de tal modo que cuando se alcanza un umbral que indica volúmenes grandes de tráfico, dicho agente proporciona acceso prioritario a dichos vehículos.

En una realización, la información de señalización en dicho sistema se envía utilizando información de paquetes UDP.

De acuerdo con la presente invención, dicho sistema comprende medios para realizar modelización de tráfico en tiempo real en cada cruce.

De acuerdo con la presente invención, dicho sistema comprende medios para realizar modelización de tráfico en tiempo real, que comprenden medios para transmitir a un servidor la modelización de tráfico en tiempo real.

De acuerdo con la presente invención, los datos de modelización de tráfico en tiempo real comprenden datos visuales y datos numéricos de un cruce.

De acuerdo con la presente invención, el sistema comprende medios para convertir los datos visuales y los datos numéricos en un modelo en tiempo real de 2D ó 3D del cruce.

En una realización, los datos numéricos comprenden datos de comportamiento del tráfico de tiempos de desplazamiento, retrasos, colas y paradas.

En una realización, los datos se transmiten en modo en bruto y/o en modo agregado, donde el modo agregado reúne números promedio para cada cruce con señales para un periodo de tiempo dado y el modo en bruto envía un mensaje por cada trayecto de vehículo.

En una realización, cada agente comprende acceso remoto adaptado para permitir el mantenimiento y la actualización de cada agente desde un emplazamiento remoto.

En una realización, cada agente de grupo de señales controla las señales de tráfico en un cruce individual.

En una realización, la entrada de datos detectada en cada cruce con señales se introduce en un modelo de situación en tiempo real para proporcionar dicha operación de control.

En una realización, cada agente comprende medios para proporcionar gestión de cruce a efectos de proporcionar un cruce activo que pueda tener continuamente fases diferentes sobre las que poder decidir, en base a flujo de tráfico y prioridades.

En una realización, el sistema comprende medios de negociación, de manera que cada grupo de señales está al tanto de cada situación del tráfico para cada ruta de acceso controlada por un agente.

En una realización, el sistema comprende un PC estándar conectado a un controlador de señales existente, de manera que el controlador que comprende medios para detectar datos en un cruce se pone en funcionamiento en modo "esclavo". El software se puede instalar en un PC típico que está conectado a un controlador de señales existente en el campo. El controlador de campo se tiene que poner en un modo "esclavo", es decir recoger los datos del detector para el controlador FITS y limitarse a repetir el estado de señal configurado por el controlador FITS.

En una realización, dicho sistema comprende medios para proporcionar prioridad a vehículos de transporte público seleccionados en cruces señalados.

En una realización, dichas señales de control comprenden instrucciones XML.

En otra realización de la presente invención, se da a conocer un procedimiento de control de un sistema de control de señales de tráfico para controlar una serie de cruces con señales, que comprende:

proporcionar un esquema de control multi-agente orientado a grupos de señales, cada agente funcionando independientemente y representando una o varias señales de tráfico en un cruce con señales;

determinar condiciones de tráfico en su cruce con señales y condiciones de tráfico en agentes vecinos; y

aplicar lógica difusa en operaciones de control de señales, en que la operación de control de señales se basa en condiciones de tráfico en cada agente y en uno o varios agentes vecinos, de manera que la operación de control se distribuye a cada agente para controlar cada uno de dicha serie de cruces con señales.

Se da a conocer asimismo un programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que otro programa informático lleve a cabo el procedimiento anterior, que puede estar incorporado en un medio de grabación, una señal portadora o una memoria de sólo lectura.

Breve descripción de los dibujos

La invención se comprenderá más claramente a partir de la siguiente descripción de la realización de la misma, proporcionada solamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra un diagrama de bloques de una interfaz entre un ordenador y un controlador de señales;

la figura 2 muestra un módulo de lógica difusa según un aspecto de la invención;

la figura 3 muestra un diagrama de flujo que presenta flujo y control de señales;

la figura 4 muestra un módulo de lógica difusa según un aspecto de la invención;

la figura 5 muestra una interfaz entre el nodo de control inteligente y el hardware;

la figura 6 muestra una interfaz de usuario para configurar el nodo de control inteligente;

la figura 7 muestra interfaces de usuario en línea que presentan información de monitorización del tráfico;

la figura 8 muestra un nodo de cruce inteligente para su utilización en el sistema de gestión;

la figura 9 muestra una implementación en red del sistema de gestión del tráfico;

la figura 10 muestra una interfaz que proporciona una señal de control de área, según la invención; y

la figura 11 muestra un diagrama de flujo para ajustar señales de tráfico en base a condiciones meteorológicas y de las carreteras.

Descripción detallada de los dibujos

La invención da a conocer una arquitectura de sistema de tráfico integrado de lógica difusa (FITS, Fuzzy logic Integrated Traffic System). La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una interfaz entre un ordenador y un controlador de señales, indicada en general por el numeral de referencia 1. FITS es un sistema de control de tráfico basado en decisión, que utiliza datos procedentes de detectores de vehículos para crear una estimación de estado integral de la situación predominante del tráfico. La información es utilizada por múltiples agentes de control difuso en una arquitectura multi-agente distribuida, para controlar la temporización y las fases de la señal de tráfico de una manera flexible que refleja las ideas del planificador humano de tráfico o de un controlador humano de tráfico, por ejemplo un guardia de tráfico. Cada agente funciona independientemente y representa una o varias señales de tráfico en un cruce con señales. El sistema proporciona medios para que cada agente determine condiciones de tráfico en su cruce con señales y condiciones de tráfico de agentes vecinos. El sistema de gestión del tráfico de la invención comprende una arquitectura multi-agente controlada por tres componentes:

1) Un módulo de lógica difusa

2) Un módulo simulador

3) Un módulo de interfaz

<u>Módulo de lógica difusa</u>

La figura 2 muestra un módulo de lógica difusa según un aspecto de la invención, indicado por el numeral de referencia 10. FITS reduce el retraso y la congestión pero contiene asimismo otras capacidades de gestión del tráfico, tales como:

1) La capacidad de integrar prioridades activas para autobuses (prioridad de conexión con autobuses) con el sistema común. El sistema está diseñado para permitir que se detecten autobuses ya sea mediante detectores selectivos de vehículos o mediante un sistema de localización automática de vehículos (AVL, automatic vehicle location).

2) El sistema utiliza una estrategia de control descentralizado (multi-agente), donde un dispositivo de señales (grupo de señales) funciona individualmente, pero en cooperación con otros grupos de señales dentro del mismo cruce.

3) El sistema puede implicar asimismo que los controladores locales comuniquen con otros controladores de señales así como con un ordenador central. Un aspecto importante del sistema es la provisión de prioridad para vehículos de transporte público seleccionados, en cruces señalados, y mejoras en la movilidad para vehículos privados, sujetas a cualesquiera retrasos necesarios para adaptarse a los vehículos prioritarios.

Cada agente utiliza un conjunto de detectores para evaluar la situación del tráfico. A continuación, cada agente adopta una decisión sobre cuántos coches deja pasar en base al número en cada cruce, a la prioridad de una dirección y a datos que puede recibir desde otros cruces. El agente adopta sus decisiones y puede enviar un mensaje de su decisión a los cruces inmediatos o vecinos en su proximidad.

Se han comprobado varias estrategias de control diferentes en diferentes entornos de control aislados para determinar el rendimiento del sistema. La figura 3 muestra un diagrama de flujo que muestra flujo y control de señales, indicado mediante el numeral de referencia 20. Este resultado de pasos de peatones señalizados indica que el control difuso proporciona un control amigable con los peatones manteniendo el retraso de los vehículos menor que el control convencional. Se ha desarrollado un nuevo algoritmo de control para control de vehículos en dos fases. De acuerdo con las pruebas realizadas, el área de aplicación del control difuso es amplia. Los resultados del control multi-fase indicaron que el principio tradicional de extensión sigue siendo un modo de control de señales de tráfico mejor en el área de volúmenes de tráfico muy bajos.

La figura 4 muestra el módulo de lógica difusa acorde con un aspecto de la invención, que se puede incorporar en cada agente o controlador, indicado en general por el número de referencia 30. Un agente situado en la proximidad del cruce mide o detecta datos mediante una serie de módulos de E/S. Los datos detectados se alimentan a un modelo de tráfico para dicho cruce y al módulo de lógica difusa. Los datos se procesan y proporcionan control adaptativo para el semáforo o semáforos en el cruce, teniendo en cuenta datos recibidos de otros agentes, descritos en mayor detalle a continuación. De este modo, cada agente actúa como un controlador inteligente local dinámico para cada cruce o intersección. La operación de control de señales está basada en condiciones de tráfico de cada agente y de uno o varios agentes vecinos, de manera que la operación de control se distribuye a cada agente para controlar cada uno de dicha serie de cruces con señales. El control difuso multinivel (situación del tráfico, selección de fases e interferencia de extensión) posibilita la adaptatividad. Esto significa asimismo que el número de programas de control puede ser menor que en el control VA tradicional. La diferencia más significativa entre los procedimientos de control tradicional y difuso es que el principio de extensión en el control VA se fija solamente en los grupos de señales en verde, pero el control difuso analiza asimismo las colas detrás de los grupos de señales en rojo. Esta multidimensionalidad, los parámetros de entrada opuestos y el desarrollo libre de la base de reglas permiten un control multi-objetivo. La figura 5 muestra una posible interfaz entre el agente y el hardware. La figura 6 muestra la interfaz del usuario para configurar un agente en forma de nodo de control inteligente en cada cruce.

Finalmente, los procedimientos de control difuso se han probado en varias intersecciones reales. El controlador consiste en modelos de tráfico y de control, y está justificado que esta clase de control de tráfico basado en simulación en línea o basado en simulación sea un procedimiento de trabajo.

El sistema multi-agente puede ofrecer una amplia gama de herramientas de gestión del tráfico dentro de una serie de módulos de control, descritos con más detalle a continuación. El organizador del tráfico tiene muchas herramientas disponibles dentro del sistema FITS para gestionar el tráfico y satisfacer objetivos de políticas locales, tales como:

1) Favorecer rutas o desplazamientos particulares.

2) Retrasar/impedir atajos (caminos cortos a través de áreas residenciales).

3) Gestionar la retención de tráfico (gestión del flujo de tráfico desde carreteras afluentes menores hacia carreteras arteriales principales) en ciertas áreas de la ciudad debido a su eficiente control y modelización de las condiciones actuales.

4) Los autobuses pueden recibir prioridad extra sin una interrupción inaceptable de otro tráfico.

5) La ciudad puede organizar áreas específicas de retención donde se deberán reasignar las colas en condiciones críticas, reteniendo tráfico que entra al área urbana para asegurar el funcionamiento eficiente de enlaces críticos de cuello de botella.

6) FITS puede reducir las emisiones de los vehículos reduciendo los retrasos y la congestión dentro de la red, sin embargo se puede configurar para ajustar la optimización de las temporizaciones de señales a efectos de minimizar emisiones y proporcionar asimismo estimaciones de emisiones nocivas en el interior del área controlada. Se da a conocer un módulo de software adicional para calcular las emisiones. Las emisiones de dióxido de carbono están fuertemente correlacionadas con el consumo de energía, y dependen de la eficiencia global. La variabilidad en otras emisiones, tales como óxido nítrico y nitroso es en gran medida el resultado de la cantidad de aceleración. En tráfico urbano, la causa principal de las aceleraciones son las paradas en las intersecciones y el tráfico discontinuo resultante de la congestión.

7) El sistema de simulación en tiempo real modeliza las colas, los tiempos de espera y las paradas en las intersecciones, de manera que puede estimar asimismo el tiempo que gastan los coches en los diversos modos de desplazamiento: crucero, aceleración, desaceleración, ralentí y discontinuo. Estos datos se pueden utilizar para estimar las emisiones y la polución.

Modo de simulación en tiempo real

El sistema FITS controla el simulador en tiempo real. El sistema recoge datos de cada cruce y alimenta los resultados a un servidor integrado. La velocidad del FITS, veinte actualizaciones de simulación por segundo, significa que es posible proporcionar un modelo preciso en tiempo real sobre cuál es la situación del tráfico. Además, el sistema puede detectar cambios más sutiles en el tráfico, y con el tiempo proporcionar una visión más precisa de modelos de comportamiento que permiten a una ciudad hacer más. El modelo de simulación del tráfico en tiempo real puede estar animado remotamente en modos 2 ó 3D. FITS lee los estados de todos los detectores disponibles y utiliza esta información para actualizar un modelo de simulación del tráfico en tiempo real, habitualmente unas 20 veces por segundo.

Los presentes controladores de grupos de señales no modelizan las situaciones del tráfico y, por lo tanto, no pueden enviar datos acerca del comportamiento del tráfico. Sin embargo, el sistema FITS mantiene un modelo de simulación en tiempo real, que representa tanto numérica como visualmente el estado del tráfico actual del cruce y se puede visualizar remotamente.

Los datos del modelo de simulación se transmiten al servidor FITS utilizando un dialecto especial de XML denominado FITSML. Los usuarios se pueden conectar al servidor FITS para obtener el flujo de datos FITSML y visualizarlo utilizando un conjunto de diversas aplicaciones. El programa FITSVIEW lee el FITSML y vuelve a dibujar el cruce y desplaza los vehículos produciendo una animación en tiempo real. Otro visualizador (3D) utiliza el mismo flujo de datos, pero visualiza el tráfico en un entorno 3D más elaborado.

Simulación fuera de línea

Utilizar un sistema de simulación independiente acoplado al sistema FITS permite al sistema construir un modelo del cruce o del área de varios cruces controlado por la arquitectura multi-agente. Este modelo se puede utilizar a continuación para comprobar o modelizar virtualmente nuevos aspectos en la planificación del tráfico, tal como la evaluación de las consecuencias de la inversión del tráfico, desvíos o sistemas de sentido único.

Un sistema de simulación puede estar configurado para ejecutar continuamente escenarios de diversas situaciones dentro del área controlada, tales como cierres de carreteras, y puede proponer rutas alternativas de carreteras durante dichas situaciones.

Interfaz

La interfaz en línea permite una visión visual e interactiva del FITS, tal como se muestra en la figura 7. La interfaz está diseñada para incorporar el sistema en tiempo real. Está diseñada asimismo para proporcionar una visión 3D de la ciudad, y sus herramientas permiten una visión macro y micro del flujo de los desplazamientos y del tiempo de los desplazamientos. Las características incluyen:

1) Redes de navegación detalladas a través de un área geográfica grande, por ejemplo conectadas con navegación por satélite para visualización del tráfico y planificación de rutas urbanas.

2) Medición de impactos ambientales tales como ruido y contaminantes. FITS puede comprender un lector de polución que detecta el nivel de polución en un cruce dado y ajusta en consecuencia la temporización, para reducir los niveles de polución.

3) Interfaces de usuario a medida, adaptados a necesidades específicas

a. Transporte público

b. Público

c. Taxis

4) Puede estar enlazado a conexiones y gestión de tránsito a través de toda la red de transporte.

5) Planificación urbana simulada - desviar carreteras e incluso redes enteras.

6) Cálculo de costes, hasta de un vehículo individual, por su entrada en un peaje de autopista, ciudad o carretera individual.

El sistema da a conocer una herramienta de configuración geográfica con el diseño del cruce. La herramienta de configuración es una herramienta integrada amigable para configurar el control FITS de las señales de tráfico. El usuario comienza dibujando el cruce y objetos del controlador tales como detectores, grupos de señales y el controlador central y el objeto de entrada/salida. El comportamiento del sistema está determinado por las propiedades de los objetos y por las conexiones entre los objetos. Después de la creación de cada objeto en la pantalla, el usuario asignará las conexiones en parte automáticamente, pero algunas de ellas manualmente. Las propiedades de los objetos se introducirán abriendo una ventana, que permite al usuario ver y modificar las

características del objeto seleccionado. Cuando el usuario pulsa "guardar" el programa crea todos los archivos de configuración necesarios en el control FITS. Estos archivos serán transferidos al controlador real en el campo para ser utilizado por el software de control de señales FITS.

Se apreciará que cada grupo de señales atiende a la situación global del tráfico y no solamente a su propio acceso. El presente controlador orientado a grupos de señales (VA) solamente observa los espacios entre vehículos cuando la señal está verde. El verde se extiende hasta el máximo fijado si no se encuentra un espacio suficiente, de lo contrario se finaliza el verde. Sin embargo, en el sistema FITS, cada grupo de señales está al tanto de la situación del tráfico de cualquier otro grupo de señales. Esto significa que éstos pueden negociar entre sí sobre la estrategia de control óptima global. Las reglas para esta negociación se definen mediante lógica difusa, que puede ser elegida por el usuario. Mediante lógica difusa el usuario describe reglas de control de señal de una manera que se parece al lenguaje natural. Esto hace la "programación" de los controladores de señales más amigable y más orientada a la organización del tráfico que en los sistemas actuales. Con las reglas difusas es posible implementar la política de control de tráfico elegida, por ejemplo, para priorizar la calle principal, utilizar el transporte público, minimizar emisiones en lugar de retrasos, etc.

El funcionamiento del sistema de control está basado en la entrada de datos de detectores, que se refina para modelizar situaciones del tráfico en tiempo real, tal como se muestra en las figuras 8 y 9. A través del modelo de tráfico, la parte de decisión del sistema (lógica difusa) está observando la situación del tráfico en toda la intersección. La operación de control de señales está basada en la orientación de grupos de señales, en la que la operación de control se distribuye a varios agentes de grupos de señales. Cada agente no sólo envía los datos visuales, sin asimismo indicadores numéricos del comportamiento del tráfico. Los indicadores utilizados más generalmente, requeridos por las ciudades, son los tiempos promedio de desplazamiento, las velocidades de desplazamiento, los retrasos, las colas, las paradas, etc. Los datos se envían en modo en bruto y/o en modo agregado. Este modo agregado reúne los números promedio de cada grupo de señales por periodo de tiempo dado, y envía los datos al servidor. El modo en bruto envía un mensaje por cada trayecto de vehículo y por cada ciclo de señales. Esto permite un análisis más detallado de las variaciones y distribuciones de cada variable, en función del tiempo o de la ruta.

Todos los datos numéricos se almacenan en una base de datos, que es una tabla para cada tipo del controlador FITS. Los usuarios pueden realizar consultas en esta base de datos utilizando el lenguaje de consultas SQL estándar. Se pueden construir varios tipos de interfaces de usuario basados en la base de datos, para permitir un acceso fácil a los datos en función del objetivo (operación, planificación, búsqueda, mantenimiento, pasajeros, etc.). La interfaz con la base de datos puede ser un navegador web o un programa dedicado. La coordinación borrosa en los cruces puede estar basada en reconocimiento de secciones, por ejemplo una prioridad borrosa de autobuses proporciona prioridades en función de la situación global del tráfico. La coordinación borrosa aplica los mismos principios que el control de intersección individual. Los extensores borrosos proporcionan extensiones a los dispositivos de señal verde, en función de los vehículos en cola y aproximándose. Además de los cómputos normales de vehículos, se tienen en cuenta asimismo los vehículos en cola o desplazándose hacia intersecciones situadas más arriba. En la práctica, estos vehículos adicionales proporcionan más ponderación a la "ola verde" para flujos de vehículos fuertes (es decir, calles principales).

Cabe intersección individual calcula colas y vehículos en aproximación relevantes. La cantidad de vehículos se envía, en base a temporizaciones, a las intersecciones situadas más abajo. A continuación, la intersección situada más abajo suma los vehículos situados más arriba (con una ponderación dada) siempre que se adoptan decisiones sobre extensiones y sobre la fase siguiente. A continuación, la coordinación real se tiene en cuenta solamente cuando existen vehículos suficientes en la intersección situada más arriba. Si el nivel del tráfico es bajo, la coordinación es irrelevante y las intersecciones funcionan en "control individual", mientras que mayores flujos de tráfico formulan en efecto ondas verdes para el tráfico. En otras palabras, cada agente puede calcular colas y vehículos en aproximación relevantes, en una dirección particular, en base a temporizaciones para agentes situados más abajo, donde el agente situado más abajo suma los vehículos situados más arriba con una ponderación dada, de tal modo que cuando se alcanza un umbral que indica grandes volúmenes de tráfico, dicho agente proporciona acceso prioritario para dichos vehículos.

La señalización real (es decir, el envío de la cantidad de vehículos situados más arriba) se realiza enviando a través de la red la cantidad de vehículos utilizando paquetes UDP (protocolo de datagramas de usuario) que contienen la información relevante.

Cada agente de grupo de señales funciona individualmente, negociando con otros grupos de señales acerca de la temporización de las señales. Debido a la combinación del proceso de negociación, cada grupo de señales está en todo momento al tanto de las situaciones del tráfico en cada acceso y carril de toda la intersección. Cada señal (denominada asimismo grupo de señales) está funcionando individualmente como un agente controlado por lógica difusa. Esto ofrece la utilización de imágenes de fase rápidas y flexibles en lugar de etapas fijas. Los presentes controladores de señales (por ejemplo, en Escandinavia) atienden solamente al tráfico entrante de la señal actualmente en verde (el tiempo en verde se finaliza simplemente en base al espacio entre vehículos). En el controlador FITS, cada agente de grupo de señales está observando la situación de la cola tras todas las señales en conflicto (rojas) y por supuesto el flujo de tráfico entrante. La imagen integral de la situación del tráfico se crea mediante simulación en línea, que está modelizando la información de las colas. Las decisiones sobre extender o

finalizar el tiempo activo en verde se basan en conjuntos de reglas difusas. Los conjuntos de reglas controlan la negociación entre los grupos de señales (presión de los vehículos en cola frente al momento de los vehículos en movimiento frente a la señal en verde).

La propia adopción de decisiones del tiempo de duración en verde se realiza aplicando lógica difusa. Con lógica difusa es posible aplicar un proceso de decisión a muchos tipos diferentes de entradas, que no son unidades matemáticamente compactas. Es posible asimismo definir mediante palabras situaciones del tráfico y reglas de control de señales. De este modo, es posible imitar la adopción humana de decisiones, es decir al propio guardia de tráfico situado en la intersección.

Se apreciará que se han desarrollado nuevas interfaces para el sistema FITS, para configurar y monitorizar el FITS. La interfaz para el controlador de señales "esclavo" se adoptó para proporcionar un nuevo sistema operativo que es mucho más estable y ofrece más capacidades en comunicaciones para necesidades futuras, especialmente para comunicación XML.

El software es para ser instalado en un PC industrial que está conectado al controlador de señales en campo. El controlador de campo se tiene que poner en un modo "pasivo", es decir recoger los datos del detector para el controlador FITS y repetir el estado de señal configurado por el controlador FITS. La figura 10 muestra una interfaz que proporciona un control de señales de área según un aspecto de la invención.

La figura 11 muestra un modelo para ajustar señales de tráfico en base a condiciones meteorológicas y de las carreteras. El sistema de la invención puede tener en cuenta varias condiciones meteorológicas para detectar el sistema en tiempo real a efectos de controlar los nodos de tráfico utilizando un selector del modo de control y el controlador difuso.

Se apreciará que la invención proporciona resultados de simulación a partir de los cuales se puede configurar un conjunto de reglas difusas y otros parámetros para optimizar los aspectos, que son los más importantes en cualquier cruce particular. Las reglas difusas se pueden configurar para minimizar el retraso global o para favorecer una determinada dirección, o a determinados usuarios de la carretera tales como autobuses/camiones o bicicletas/peatones.

Es deseable proporcionar una respuesta rápida a los cambios en las condiciones de tráfico para permitir que el FITS responda a variaciones en la demanda de tráfico, en un esquema ciclo a ciclo. FITS responde rápidamente a cambios en el tráfico, pero no tan rápidamente como para que sea inestable; evita fluctuaciones grandes en el comportamiento de control como resultado de cambios temporales en los modelos de tráfico.

Este enfoque crea un estilo totalmente nuevo de gestión de cruces para proporcionar 'cruces dinámicos', lo que significa que un cruce ya no es un sistema determinado que pueda tener fases predictivas (rojo y verde) sino un cruce activo que puede tener fases continuamente diferentes sobre las que puede decidir en base al flujo de desplazamiento y a las prioridades.

Otro aspecto del sistema FITS es la provisión de acceso remoto al controlador por actualizar el software o parámetros del FITS en cada cruce. El acceso remoto desde el usuario al controlador es necesario en muchos casos para evitar el costoso mantenimiento en la calle. Con el sistema FITS, todos los componentes de software o archivos de configuración se pueden actualizar o recargar remotamente. Por razones de seguridad, el acceso está limitado estrictamente a personal autorizado solamente. Esto se garantiza utilizando tecnología de red privada virtual (VPN, virtual private network), que se utiliza asimismo en banca electrónica proporcionando un entorno de control seguro.

Un aspecto adicional de la invención es la disposición de un módulo de emisión para calcular el consumo de energía y varios tipos de emisiones. La modelización de emisiones del tráfico en el entorno urbano consiste en dos partes: (1) modelizar las emisiones totales provocadas por el tráfico y (2) modelizar la dispersión de estas emisiones. Para las emisiones no directamente nocivas para los humanos (por ejemplo, CO_2), se requiere solamente la primera etapa de la modelización, mientras que para otras emisiones son necesarios los modelos de dispersión para la estimación de la exposición de las personas en la proximidad de la fuente de emisión. Se considerarán emisiones de tráfico de coches. Otras fuentes de emisiones (incluyendo emisiones no de tráfico) se pueden calcular por otros medios. Sin embargo, éstas se pueden resumir en las emisiones de tráfico de coches para obtener las emisiones totales.

Diferentes tipos de emisiones que se pueden calcular incluyen:

* Óxidos de nitrógeno (Nox)

* Monóxido de carbono (CO)

* Dióxido de carbono (CO2)

* Consumo de energía (emisiones indirectas)

* Hidrocarburos (HC)

* Emisiones de óxido de azufre (SO)

* Micropartículas (mp)

El procedimiento utilizado en el cálculo de emisiones descrito en este caso se basa en las trayectorias de los vehículos. Cada vehículo individual emite una cantidad diferente de emisiones en función de la velocidad y la aceleración (o deceleración) del vehículo. En base a las trayectorias, las emisiones se pueden calcular a continuación utilizando información de las emisiones a una aceleración (o desaceleración) y velocidad dadas.

El cálculo de emisiones del tráfico microscópico requiere de información sobre los aspectos de:

* trayectorias de los vehículos (velocidades y aceleraciones)

* emisiones de los vehículos individuales a velocidad y aceleración dadas (matrices de emisión)

* la mezcla de varios tipos de vehículos dentro del tráfico (coches, camiones, autobuses, etc.).

El sistema FITS descrito en lo anterior puede funcionar en dos modos diferentes, es decir el modo de control o el modo de monitorización. Cuando FITS funciona en el modo de monitorización está produciendo todos los datos descritos anteriormente pero sin afectar al control real de señales. Este modo es muy útil para las ciudades que desean saber cómo de bien funcionan sus sistemas y qué consecuencias tiene realmente cualquier modificación sobre el comportamiento del tráfico.

El modelo de control incluye el modo de monitorización, pero además anula cualquier control anterior de las señales de tráfico. La lógica difusa se aplica solamente en el modo de control del FITS. Además de proporcionar prioridad a los autobuses, el agente puede controlar las señales de tráfico en cada cruce o intersección para proporcionar prioridad a un vehículo de emergencia que se aproxima, en ciertas situaciones.

En esta descripción, el término 'agente' se debe interpretar un sentido amplio y representa una o varias señales de tráfico en un cruce con señales, para proporcionar un control local en cada cruce o intersección donde está situado un semáforo.

Las realizaciones de la invención descritas haciendo referencia a los dibujos comprenden un aparato informático y/o procesos realizados en un aparato informático. Sin embargo, la invención se extiende asimismo a programas informáticos, en particular a programas informáticos almacenados sobre, o dentro de un soporte adaptado para poner en práctica la invención. El programa puede adoptar forma de código fuente, código objeto o una fuente intermedia de código y de código objeto, tal como en forma compilada parcialmente o en cualquier otra forma adecuada para su utilización en la implementación del procedimiento según la invención. El soporte puede comprender un medio de almacenamiento tal como ROM, por ejemplo CD-ROM, o un medio magnético de grabación, por ejemplo un disco flexible o un disco duro. El soporte puede ser una señal eléctrica u óptica que se puede transmitir mediante un cable eléctrico u óptico, o por radio u otros medios.

Aunque la presente invención se ha descrito con respecto a realizaciones específicas de la misma, los expertos en la materia pueden realizar diversos cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención. Por lo tanto, se prevé que la presente invención abarque dichos cambios y modificaciones cuando caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En la descripción, se considera que los términos "comprender, comprende, comprendido y que comprende" o cualquier variación de los mismos y los términos "incluir, incluye, incluido y que incluye" o cualquier variación de los mismos, son totalmente intercambiables y deben recibir la interpretación más amplia posible, y viceversa.

La invención no se limita a las realizaciones descritas en lo anterior sino que se puede variar tanto en construcción como en detalles.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control de señales de tráfico que comprende múltiples agentes para controlar una serie de cruces con señales, comprendiendo un agente una o varias señales de tráfico en cada cruce con señales para proporcionar control local en cada cruce en que está situado un semáforo; comprendiendo el sistema:

un sistema de control multi-agente orientado a grupos de señales, estando cada agente adaptado para funcionar independientemente y representando una o varias señales de tráfico en un cruce con señales;

medios para que cada agente determine condiciones de tráfico en su cruce con señales y condiciones de tráfico de agentes vecinos; y

medios para aplicar lógica difusa en operaciones de control de señales, donde la operación de control de señales está basada en condiciones de tráfico en cada agente y en uno o varios agentes vecinos, de manera que la operación de control se distribuye a cada agente para

controlar cada uno de dicha serie de cruces con señales; y caracterizado por que la lógica difusa está basada en un modelo en tiempo real de la situación del tráfico en cada uno de dicha serie de cruces con señales, donde la modelización representa el estado actual del tráfico en cada cruce; y donde los datos de modelización en tiempo real comprenden datos visuales y datos numéricos en cada cruce, que se transmiten a un servidor remoto, donde el servidor remoto comprende además medios para convertir los datos visuales y los datos numéricos a un modelo en tiempo real 2D ó 3D del tráfico en el cruce.

2. El sistema de control de señales de tráfico según la reivindicación 1, en el que cada agente comprende medios para calcular colas y vehículos en aproximación relevantes en una dirección particular, en base a temporizaciones para agentes situados más abajo, donde el agente situado más abajo suma con una ponderación dada los vehículos situados más arriba, de manera que cuando se alcanza un umbral que indica grandes volúmenes de tráfico dicho agente proporciona acceso prioritario a dichos vehículos.

3. El sistema de control de señales de tráfico según la reivindicación 1 ó 2, en el que la información de señalización en dicho sistema se envía utilizando información de paquetes del protocolo de datagramas de usuario, UDP.

4. El sistema de control de señales de tráfico según la reivindicación 1, en el que los datos numéricos comprenden datos del comportamiento de tráfico de tiempos de desplazamiento, retrasos, colas y paradas.

5. El sistema de control de señales de tráfico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los datos se transmiten en modo en bruto y/o en modo agregado, en el que el modo agregado reúne números promedio para cada cruce con señales durante un periodo de tiempo dado, y el modo en bruto envía un mensaje por cada trayecto de vehículo.

6. El sistema de control de señales de tráfico según cualquier reivindicación anterior, el que cada agente comprende acceso remoto adaptado para permitir el mantenimiento y la actualización de cada agente desde un emplazamiento remoto, y/o en el que cada agente de grupo de señales controla las señales de tráfico en un cruce individual y/o en el que cada agente comprende medios para proporcionar gestión de cruce a efectos de proporcionar un cruce activo que pueda tener fases continuamente diferentes sobre las que puede decidir en base al flujo del tráfico y a las prioridades, y/o comprende medios tales que cada grupo de señales está al corriente de cada situación del tráfico para cada ruta de acceso controlada por un agente.

7. El sistema de control de señales de tráfico según cualquier reivindicación anterior, que comprende un PC estándar conectado a un controlador de señales existente, tal que el controlador que comprende medios para detectar datos en un cruce se pone en funcionamiento en modo "esclavo".

8. El sistema de control de señales de tráfico según cualquier reivindicación anterior, que comprende medios para proporcionar prioridad a vehículos de transporte público seleccionados en cruces señalados.

9. Un sistema de control de señales de tráfico según cualquier reivindicación anterior, en el que dichas señales de control comprenden instrucciones XML.

10. Un procedimiento de control de un sistema de control de señales de tráfico que comprende múltiples agentes para controlar una serie de cruces con señales, comprendiendo un agente una o varias señales de tráfico en cada cruce con señales para proporcionar control local en cada cruce en que está situado un semáforo; comprendiendo el procedimiento:

proporcionar un sistema de control multi-agente orientado a grupos de señales, cada agente funcionando independientemente y representando una o varias señales de tráfico en un cruce con señales;

determinar condiciones de tráfico en su cruce con señales y condiciones de tráfico en agentes vecinos; y

aplicar lógica difusa en operaciones de control de señales, en el que una operación de control de señales está basada en condiciones de tráfico en cada agente y en uno o varios agentes vecinos, de manera que la operación de control se distribuye a cada agente para controlar cada uno de dicha serie de cruces con señales; estando el procedimiento caracterizado por que la lógica difusa está basada en un modelo en tiempo real de la situación del tráfico en cada uno de dicha serie de cruces con señales, en el que la modelización representa el estado actual del tráfico de cada cruce; y en el que los datos de la modelización en tiempo real comprenden datos visuales y datos numéricos en cada cruce que se transmiten a un servidor remoto, donde el servidor comprende además medios para convertir los datos visuales y los datos numéricos en un modelo en tiempo real 2D ó 3D del tráfico en el cruce.

11. Un programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo el procedimiento según la reivindicación 10.

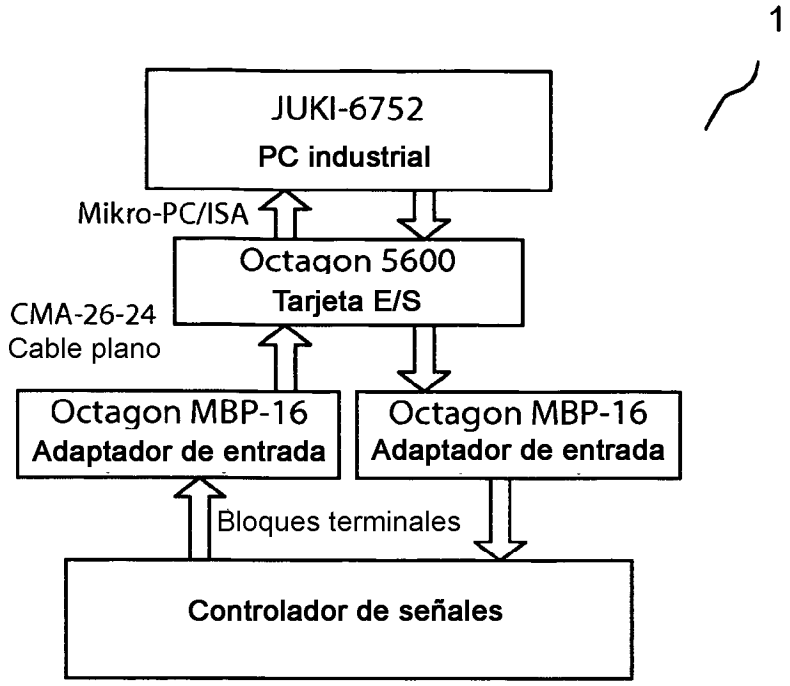

Figura 1

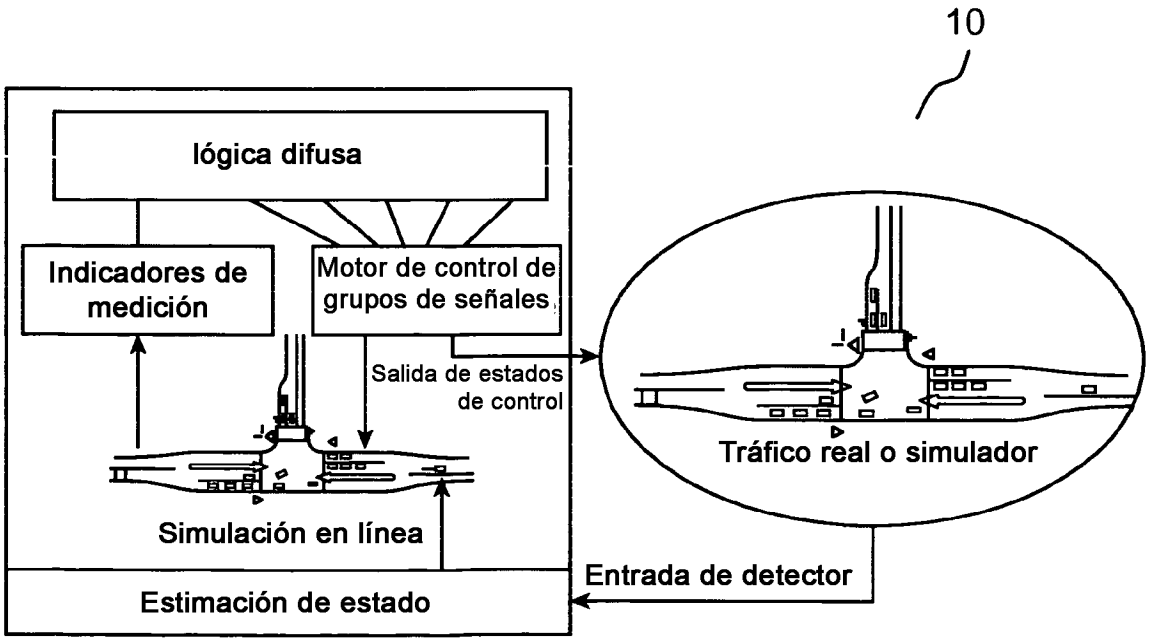

Figura 2

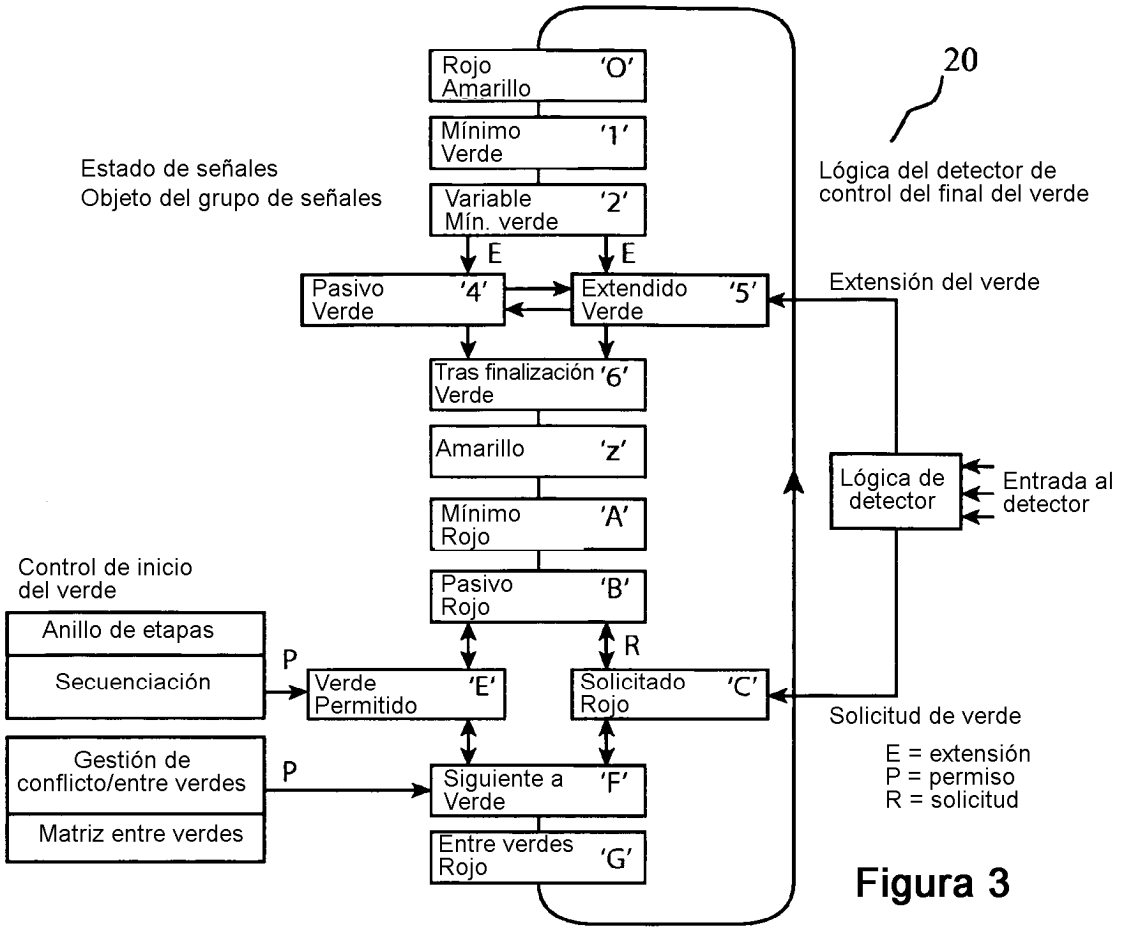

Figura 3

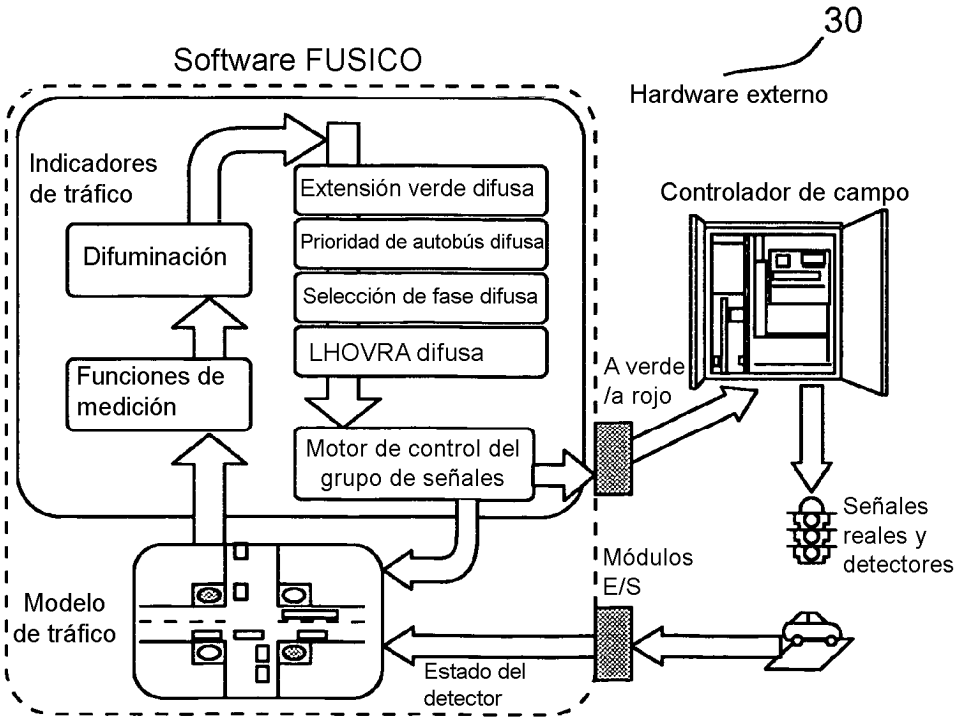

Figura 4

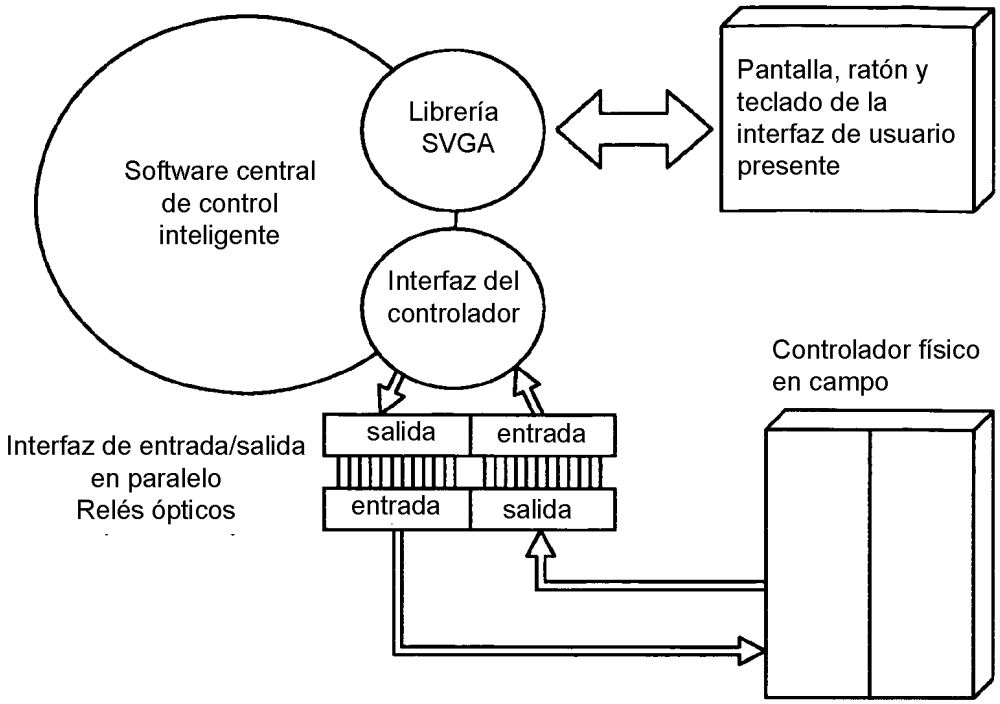

Figura 5

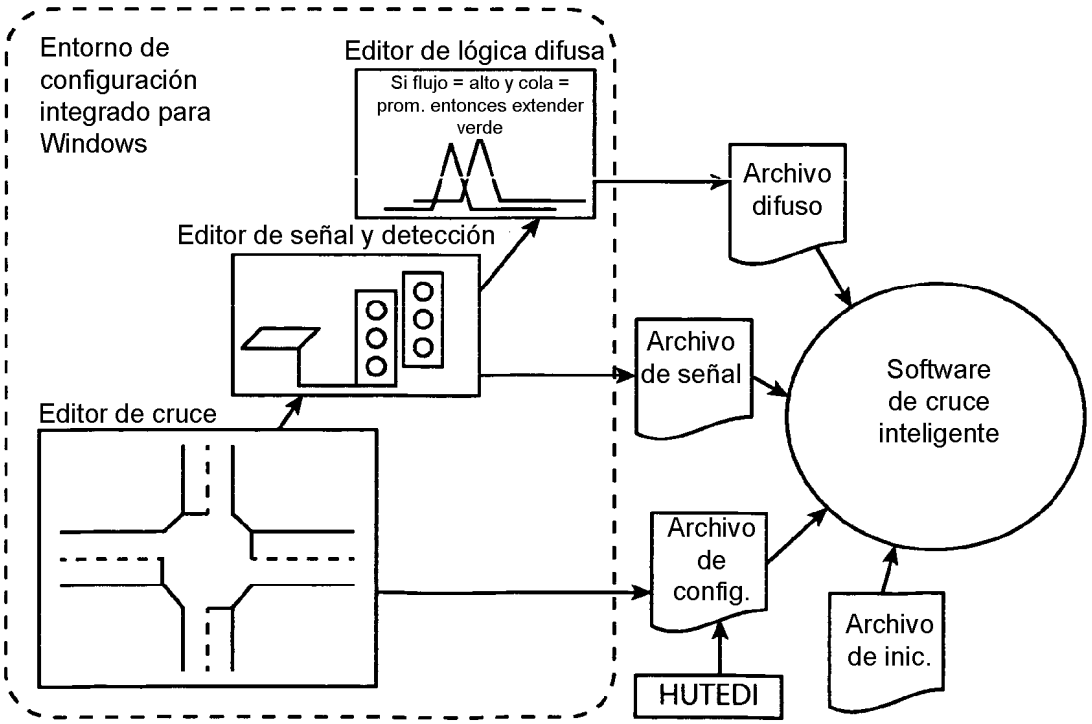

Figura 6

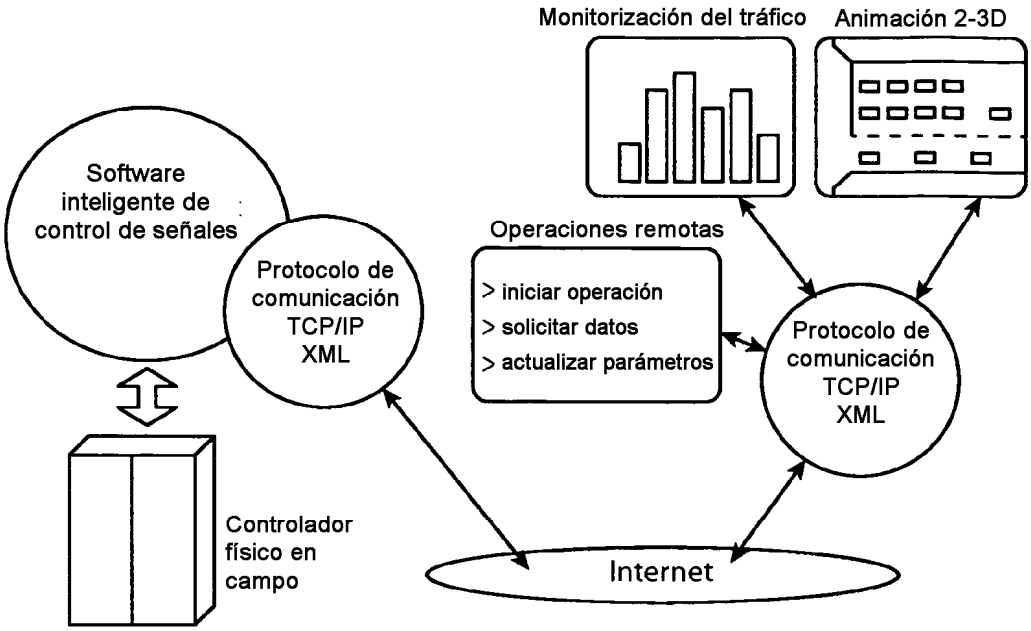

Figura 7

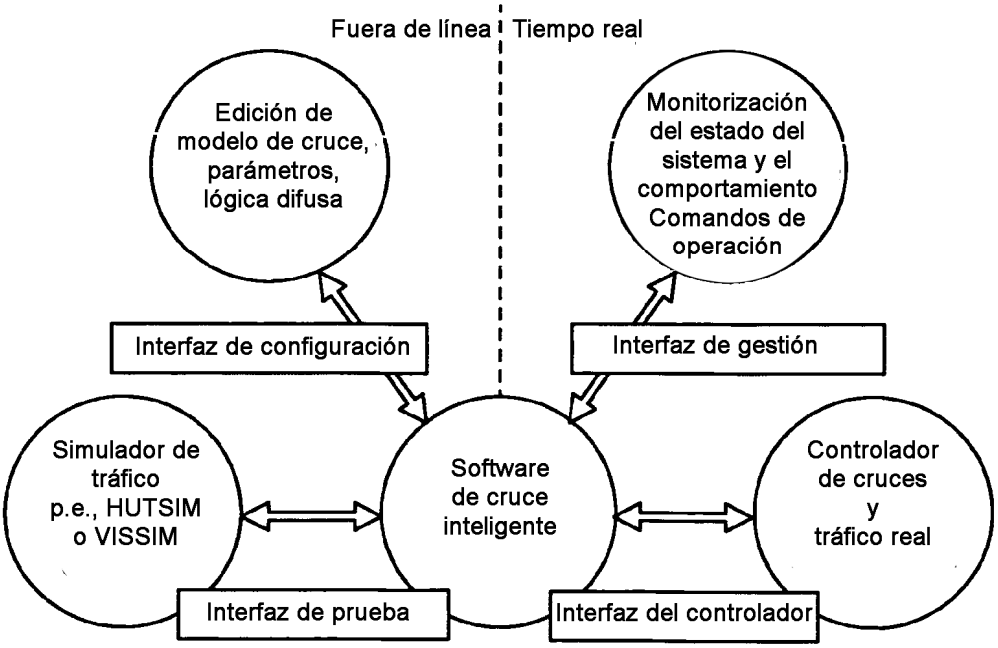

Figura 8

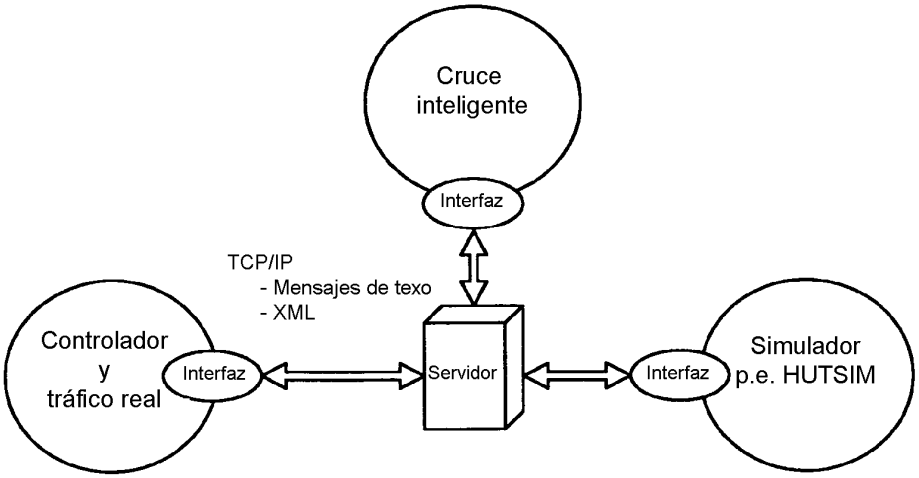

Figura 9

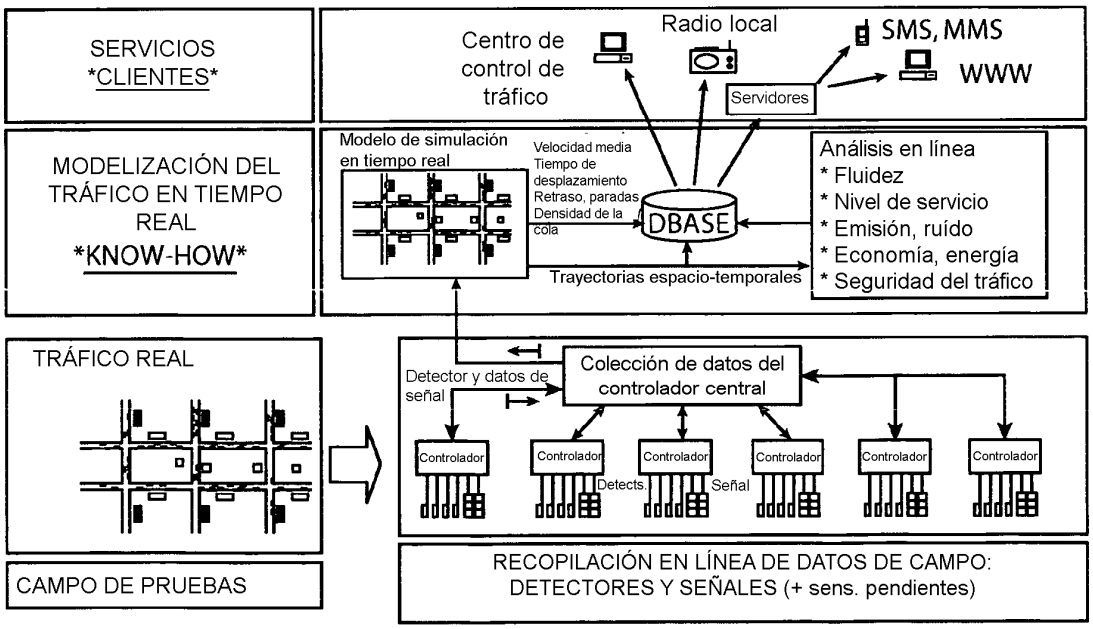

Figura 10

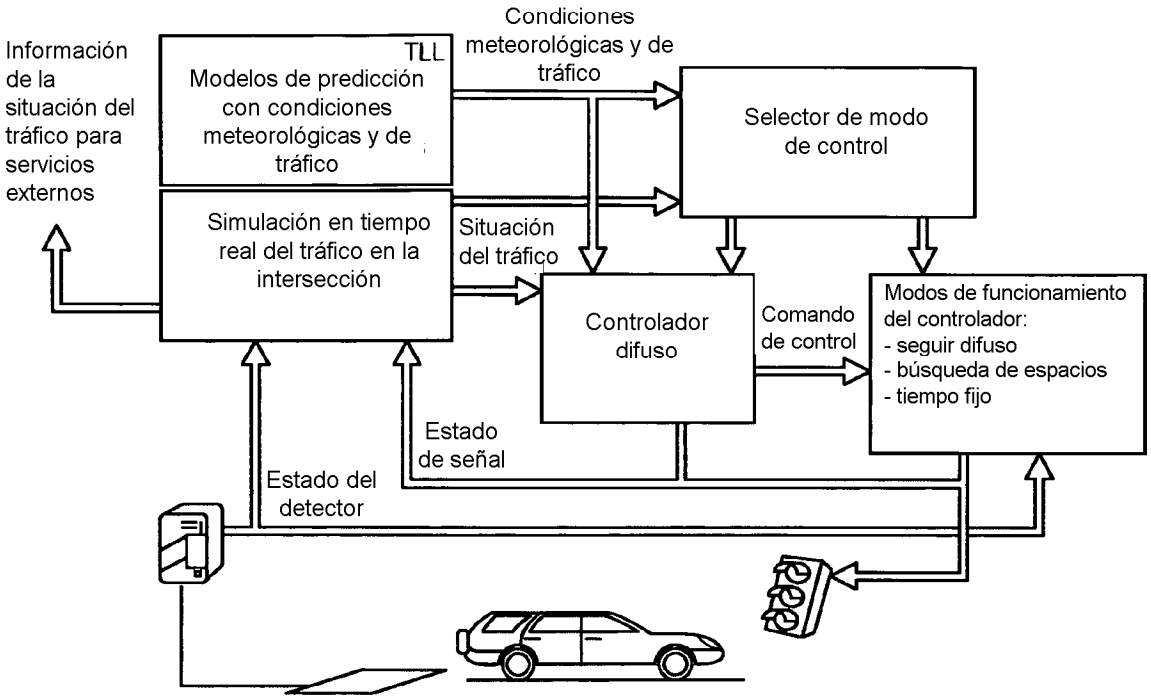
Información de la situación del tráfico para servicios externos
TLL
Modelos de predicción con condiciones meteorológicas y de tráfico
Condiciones meteorológicas y de tráfico
Selector de modo de control
Simulación en tiempo real del tráfico en la intersección
Situación del tráfico
Controlador difuso
Comando de control
Modos de funcionamiento del controlador:
- seguir difuso
- búsqueda de espacios
- tiempo fijo
Estado de señal
Estado del detector

Figura 11