



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 838**

51 Int. Cl.:
H04L 12/26 (2006.01)
H04L 12/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06799808 .8**
96 Fecha de presentación : **20.09.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1952579**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.08.2008**

54 Título: **Uso de filtrado y sondeo activo para evaluar un trayecto de transferencia de datos.**

30 Prioridad: **23.11.2005 US 285723**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2011

73 Titular/es: **Telefonaktiebolaget LM Ericsson (publ)**
164 83 Stockholm, SE

72 Inventor/es: **Ekelin, Svante y**
Nilsson, Martin

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 358 838 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

Uso de filtrado y sondeo activo para evaluar un trayecto de transferencia de datos.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere generalmente a redes de datos y, más particularmente, a la evaluación de trayectos de transferencia de datos en redes de datos.

Antecedentes de la invención

Los documentos listados a continuación son incorporados en esto por referencia:

- G. Bishop y G. Welch, "Una introducción al filtro Kalman", Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH) 2001, Curso 8.
- 10 K. Jacobsson, H. Hjalmarsson, N. Möller y K.H. Johansson, "Estimación de tiempo de retardo de ida y vuelta (RTT: Round-Trip delay Time y anchura de banda para aplicaciones de control de congestión en redes de comunicación", en Conferencia sobre Decisión y Control (CDC) del IEEE, Memorias de 2.004, Paradise Island, Bahamas, 2004.
- M. Jain y C. Dovrolis, "Carga de trayecto: una herramienta de medición para anchura de banda disponible de extremo a extremo". En Memorias de curso de mediciones pasivas y activas (PAM), 2.002.
- 15 M. Jain y C. Dovrolis, "Anchura de banda disponible de extremo a extremo: metodología de medición. Dinámica y relación con rendimiento de Transmission Control Protocol (TCP)". En Memorias de Association for Computing Machinery Special Interest Group on Data Communication (ACM Sigcomm), 2.002.
- S. Keshav, "Un procedimiento de control-teórico para control de flujo". En Memorias de Association for Computing Machinery Special Interest Group on Data Communication (ACM Sigcomm)'91, páginas 3 a 15, Zurich, Suiza, septiembre de 1.991.
- 20 M. Kim y B. Noble, "Estimación ágil estable de red", Departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencia de Ordenadores de la Universidad de Michigan. CSE-TR-432-00. 2.000.
- M. Kim y B. Noble, "Estimación de red móvil", Cómputo y Operación en Red Móvil, Association for Computing Machinery Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM), Roma, Italia 2.001,
- 25 B. Melander, M. Björkman y P. Gunninberg, "Un nuevo método de análisis y sondeo de extremo a extremo para estimar estrangulamientos de anchura de banda", Memorias de Globecom'00 del IEEE, San Francisco, EE.UU. noviembre 2.000.
- A Pasztor y D. Weiteh, "La dependencia del tamaño de paquete de métodos semejantes a par de paquetes", en Memorias, Décimo Seminario Internacional sobre Calidad de Servicio (IWQoS 2002), Miami Beach, EE.UU. mayo 2.002.
- 30 V. Ribeiro, R.Riedi, R. Baraniuk, J. Navratil, L. Cottrell, "Barrido en frecuencia de trayecto: estimación eficiente de anchura de banda disponible para trayectos de red", en Memorias de Seminario de mediciones pasivas y activas (PAM), 2003.
- A. Shriram, M. Murray, Y. Hyun, N. Brownlee, A. Broido, M. Fomenkov y K.C. Claffy, "Comparación de herramientas públicas de estimación de anchura de banda de extremo a extremo en enlaces de alta velocidad" en Seminario de mediciones pasivas y activas (PAM), 2.005.
- 35 R.D. Nowak y M.J. Coates, "Tomografía de red que usa paquetes de unidifusión juntos entre sí", Patente de EE.UU. 6.839.754 (2.005).
- M.J. Coates y R.D. Nowak, "Inferencia secuencial de Monte Carlo de retardos internos en redes de datos no fijas". Actas del IEEE sobre procesamiento de señales, 50(2): 366-367, febrero 2.002.
- 40 S. Ekelin y M. Nilsson, "Supervisión continua de anchura de banda disponible por un trayecto de red", Segundo Seminario Nacional Sueco de Operación en Red de Ordenadores, Karlstad, Suecia, 23-24 de noviembre, 2004.
- R. Prasad, M. Murray, C. Dovrolis, K.C. Claffy, "Estimación de anchura de banda: métrica, técnicas de medición y herramientas", Revista Redes del IEEE (2003).
- 45 La capacidad de medir la anchura de banda disponible de extremo a extremo por un trayecto en una red de datos es útil en varios contextos, incluyendo verificación de acuerdo de nivel de servicio (SLA: Service Level Agreement), observación de red y selección de servidor. La observación pasiva de la anchura de banda disponible de un trayecto de red de extremo a extremo es posible en principio siempre que pueda accederse a todos los nodos de red en el

5 trayecto. Sin embargo, esto es típicamente imposible y la estimación de la anchura de banda disponible de extremo a extremo es efectuada típicamente por sondeo activo del trayecto de red. La anchura de banda disponible puede ser estimada inyectando tráfico de sondas dentro de la red y analizando después los efectos observados de tráfico cruzado en las sondas. Esta clase de medición activa necesita solo acceso a los ordenadores nodales (nodos) de emisor y receptor, y no precisa acceso a ninguno de los nodos intermedios en el trayecto entre el emisor y el receptor.

10 Procedimientos convencionales para sondeo activo necesitan la inyección de tráfico de paquetes de sonda dentro del trayecto que interesa a una velocidad que sea suficiente transitoriamente para usar toda la anchura de banda disponible y causar congestión. Si solo son usados un número pequeño de paquetes de sonda, entonces la congestión transitoria producida puede ser absorbida por colas de memoria intermedia en los nodos. Por consiguiente, no se causa pérdida de paquetes sino más bien solo un incremento pequeño de retardo de trayecto de unos pocos paquetes. La medida deseada de la anchura de banda disponible es determinada basada en el incremento de retardo. Paquetes de sonda pueden ser enviados en pares o en trenes, a diversas velocidades de paquetes de sonda. La velocidad de paquetes de sonda donde el retardo de trayecto empieza a aumentar corresponde al punto de congestión y, por tanto, es indicativa de la anchura de banda disponible. Paquetes de sonda también pueden ser enviados tal que varía la separación temporal entre paquetes de sonda dentro de un tren dado, de modo que cada tren puede cubrir un margen de velocidades de sondas.

20 Soluciones convencionales tales como las mencionadas anteriormente no producen estimaciones en tiempo real de la anchura de banda disponible o no producen estimaciones suficientemente precisas de la anchura de banda disponible, o ambas. Estas soluciones también tienden a exigir recursos significativos de procesamiento de datos o recursos significativos de memoria, o ambos.

Por tanto, es deseable proveer lo necesario para una solución de sondeo activo que pueda estimar la anchura de banda disponible de un trayecto en una red de datos sin las dificultades antes mencionadas de soluciones convencionales.

25 **Sumario de la invención**

Realizaciones ejemplares de la invención proveen lo necesario para modelar una condición en un trayecto de transferencia de datos apropiadamente para permitir el uso de un procedimiento basado en filtro para proporcionar una estimación de la condición. Esto permite estimaciones precisas en tiempo real de la condición con exigencias modestas de recursos de procesamiento de datos y de memoria.

30 **Descripción breve de los dibujos**

La Figura 1 ilustra operaciones ejemplares que pueden ser realizadas según la invención.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente un aparato para evaluar un trayecto de transferencia de datos según realizaciones ejemplares de la invención.

La Figura 3 ilustra gráficamente un modelo lineal por tramos utilizado por realizaciones ejemplares de la invención.

35 **Descripción detallada**

40 Realizaciones ejemplares de la invención proveen lo necesario para estimación rápida y precisa de una condición dependiente del tiempo asociada con un trayecto de red con conmutación de paquetes, por ejemplo, un trayecto entre dos ordenadores nodales o nodos de red en Internet u otra red IP (Internet Protocol). Sondeo activo es usado en combinación con filtración para estimar variables de modelo de red relacionadas con la condición que interesa. Entonces, la estimación de la condición que interesa es obtenida basada en las variables estimadas.

Las propiedades del trayecto de red son muestreadas transmitiendo paquetes de sonda en un modelo específico a través del trayecto de red. Sus marcadores de tiempo son grabados al emitir y al recibir, proporcionando una medición de una cantidad relacionada con las variables de modelo de red. Esto es repetido una y otra vez mientras sea deseado para rastrear la condición que interesa.

45 El uso de filtración permite la estimación en tiempo real. Para cada medición nueva obtenida muestreando el sistema, una estimación nueva de la(s) variable(s) de modelo de red es calculada a partir de la estimación anterior y la medición nueva. A su vez, esto tiene en cuenta la producción de una estimación actualizada (o sea, la estimación nueva) de la condición que interesa para cada muestreo nuevo del trayecto de red. El muestreo (o sea, mediciones) puede ser realizado arbitrariamente con frecuencia, produciendo sensibilidad de respuesta en tiempo real. Así, un filtro puede efectuar una estimación anterior \hat{x}_{k-1} del estado del sistema y una medición nueva z_k como entradas y después calcular una estimación nueva \hat{x}_k del estado del sistema basada en esas entradas. Esto permite que el filtro produzca las estimaciones de variables de estado en tiempo real, o sea rastrear el estado del sistema.

Un ejemplo de un filtro estimador es el filtro Kalman bien conocido, que es tanto rápido como ligero. Para ser capaz

de aplicar un filtro Kalman, tanto el modelo de sistema como el modelo de medición necesitan ser expresados de un modo lineal. O sea, el nuevo estado del sistema depende linealmente del estado anterior del sistema, más un término de ruido, y la cantidad medida depende linealmente del variables de estado del sistema, más un término de ruido.

5 Antes de la discusión adicional del procedimiento basado en filtro para la estimación de variables de estado del sistema, ahora serán tratados ejemplos de una condición a ser estimada y una técnica de medición adecuada.

En algunas realizaciones de la invención, por ejemplo, la condición a ser estimada es la anchura de banda disponible del trayecto de red. El concepto de anchura de banda disponible puede ser comprendido como sigue. Cada enlace j en un trayecto de red tiene una cierta capacidad C_j determinada por las interfaces de red en los nodos en cada extremo del enlace. La capacidad C_j es simplemente la velocidad de bits máxima posible por el enlace en el nivel de paquete. La capacidad no varía típicamente en escalas cortas de tiempo. Sin embargo, varía la carga, o tráfico cruzado, en un enlace j dado, designada por $S_j(t)$. La anchura de banda disponible $B_j(t)$ del enlace j es $B_j(t) = C_j - S_j(t)$. Uno de los enlaces j a lo largo del trayecto tiene la anchura de banda disponible mínima. Este "enlace de estrangulamiento" determina la anchura de banda disponible del trayecto. La anchura de banda disponible $B(t)$ de un trayecto de red es la mínima de las anchuras de banda disponibles asociadas respectivamente con sus enlaces constituyentes.

$$B(t) = \min_j (C_j - S_j(t))$$

La anchura de banda disponible de un trayecto de red en cualquier instante t puede ser interpretada así como el incremento máximo en velocidad de datos, desde el extremo emisor al extremo receptor, que puede ocurrir teóricamente en el instante t sin causar congestión.

Debería observarse que la carga del tráfico cruzado y , por tanto, la anchura de banda disponible son definidas usando alguna escala τ de tiempo de promediado, o sea $S_j(t)$ es calculada promediando durante algún intervalo de tiempo de duración τ alrededor del instante t . No hay elección natural universal de τ , más bien está depende de los detalles de la aplicación. Debido a la capacidad finita de enlace y al tamaño de paquete de tráfico cruzado, τ puede no ser elegida arbitrariamente pequeña. Sin embargo, para redes de datos de módem, la anchura de banda disponible y la carga de tráfico cruzado podrían ser definidas usando τ tan pequeña como en la región subsegunda.

En algunas realizaciones de la invención, el sondeo activo usado para muestrear para mediciones es construido sobre la práctica bien conocida de transmitir pares de paquetes de sonda marcados en tiempo desde el emisor al receptor. Por ejemplo, un trayecto de red puede ser modelado como una serie de saltos, donde cada salto contiene una cola primero en entrar- primero en salir (FIFO) de entrada y un enlace de transmisión. Cada enlace j de transmisión tiene una capacidad constante C_j y un tráfico cruzado variable en el tiempo. Considérese una secuencia de paquetes en la que el paquete i -simo en la secuencia llega a un salto en el instante τ_i y llega al salto siguiente en el instante τ_i^* . Interesan los tiempos entre llegadas de los pares de paquetes. Si cada par de paquetes es definido para contener el paquete $(i-1)$ -simo y el paquete i -simo de una secuencia de paquetes, entonces los tiempos entre llegadas de un par dado de paquetes a los saltos antes mencionados son

$$t_i = \tau_i - \tau_{i-1} \quad \text{y} \quad t_i^* = \tau_i^* - \tau_{i-1}^*$$

Una cantidad adimensional, la deformación entre paquetes, es designada como ϵ y es definida por

$$\frac{t_i^*}{t_i} = 1 + \epsilon.$$

40 Si u es la velocidad de transmisión de paquetes de sonda seleccionada para realizar la medición, si r es la velocidad de tráfico de paquetes de sonda que sale de un salto, y si b es el tamaño de los paquetes de sonda, entonces

$$\frac{u}{r} = \frac{bit_i}{bit_i^*} = \frac{t_i^*}{t_i} = 1 + \epsilon.$$

Así puede verse que la deformación ϵ entre paquetes proporciona una indicación de la relación entre la velocidad u de tráfico de sondas y la anchura de banda disponible B . Si u es menor que B , entonces $\epsilon = 0$ y no hay congestión. Sin embargo, si u alcanza el valor de B , entonces hay congestión y la congestión (o más exactamente la deformación) crece en proporción a la sobrecarga $u-B$. Esto ha sido mostrado usando un modelo de fluido en el documento antes mencionado, "Un sondeo nuevo de extremo a extremo y método de análisis para estimar embotellamientos de anchura de banda", de B. Melander y otros. El comportamiento antes descrito de la deformación entre paquetes es demostrado en la Ecuación 1 siguiente

$$s = v + \begin{cases} 0 & (u < B) \\ \alpha(u - B) & (u \geq B) \end{cases} \quad (1)$$

En el modelo de la ecuación 1, α es una variable de estado igual a $1/C$, β es una variable de estado igual a $(S/C)-1$ y v es ruido de medición. La anchura de banda disponible está relacionada con las variables de estado como $B = -\frac{\beta}{\alpha}$.

5 Por tanto, una estimación de la anchura de banda disponible puede ser obtenida fácilmente si las variables de estado α y β pueden ser estimadas.

Volviendo ahora a la idea de un procedimiento basado en filtro, el estado de un sistema es estimado a partir de mediciones repetidas de alguna cantidad dependiente del estado del sistema, modelos dados de cómo el estado del sistema evoluciona desde una ocasión de medición a la siguiente y como la cantidad medida depende del estado del sistema. Ambas de estas dependencias incluyen un término de ruido aleatorio, el ruido de proceso y el ruido de medición, respectivamente. Entonces, las ecuaciones del sistema son

10

$$\begin{cases} x_k = f(x_{k-1}) + w_{k-1} \\ z_k = h(x_k) + v_k \end{cases} \quad (2)$$

Donde x es el estado del sistema, z es la medición, w es el ruido de proceso y v es el ruido de medición. Las funciones f y h representan el modelo de evolución del sistema y el modelo de medición, respectivamente. El subíndice se refiere al "tiempo discreto".

15 Si las funciones f y h son lineales y si tanto el ruido de proceso como el ruido de medición son gaussianos y descorrelacionados, hay un filtro óptimo, a saber el filtro Kalman. La experiencia ha mostrado que los filtros Kalman funcionan muy bien frecuentemente aún cuando estas condiciones no sean satisfechas estrictamente. Es decir, las distribuciones de ruido no necesitan ser exactamente gaussianas. Una cierta desviación desde la linealidad de las funciones f y h también puede ser acomodada por los términos de ruido.

20 Otra ventaja importante de los filtros Kalman es que, a menos que la dimensionalidad del sistema sea muy grande, son de cómputo ligero con exigencias mínimas en unidad central de procesamiento (CPU) y memoria. En este caso lineal, el sistema puede ser expresado usando matrices como sigue:

$$\begin{cases} x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \\ z_k = Hx_k + v_k \end{cases} \quad (3)$$

25 Las ecuaciones de filtro Kalman, que permiten el cálculo de la nueva estimación a partir de la estimación anterior y la medición nueva, son:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (4)$$

$$P_k = Q - K_k H P_k^-$$

donde

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} \quad (5)$$

30 $P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$

$$K_1(k) = P_1 k^T - H^T (HP_1 k^T - H^T T + R)^{-1} \quad (6)$$

35 La filtración Kalman puede ser comprendida como un proceso donde hay dos fases de cálculo en cada iteración. Primera, hay una fase de "predicción" donde la estimación anterior produce un paso de tiempo discreto (Ecuación 5) según el modelo de sistema. Después, hay una fase de "corrección" donde la medición nueva es tomada en cuenta (Ecuación 4). También se calcula la matriz P_k actualizada de covarianzas de errores de la estimación de estado.

Como puede verse por las Ecuaciones 6 y 5, la ganancia Kalman K_k aumenta con Q y disminuye con R . Estas entradas Q y R de filtro Kalman son las covarianzas del ruido w de proceso y del ruido v de medición,

respectivamente. Estas cantidades pueden ser comprendidas intuitivamente como sigue. Variaciones grandes del ruido en el modelo de sistema (Q grande) significa que la predicción según el modelo de sistema es probable que sea menos precisa, y la medición nueva debería ser ponderada más fuertemente. Variaciones grandes en el ruido de medición (R grande) significa que la medición nueva es probable que sea menos precisa, y la predicción debería ser ponderada más fuertemente. Obsérvese que la cantidad medida $z = \epsilon$ es un escalar y R también es un escalar (o una matriz de 1x1).

Realizaciones ejemplares de la invención usan un filtro Kalman para producir una estimación actualizada de la anchura de banda disponible por un trayecto de red para cada medición nueva. Cada medición incluye enviar una secuencia de pares de paquetes marcados en tiempo, y calcular la deformación media entre paquetes. En algunas realizaciones, la secuencia de pares de paquetes puede ser unida en un tren. La varianza de la deformación entre paquetes también es computada para producir la entrada R para las ecuaciones del filtro Kalman. En algunas realizaciones, la velocidad u de sondeo es elegida aleatoriamente para cada medición, por ejemplo, según una distribución de probabilidad tal como una distribución uniforme. En algunas realizaciones, mediciones son repetidas después de un intervalo de tiempo elegido aleatoriamente para cada medición nueva a partir de una distribución de probabilidad, por ejemplo, una distribución de un punto, donde el intervalo un segundo es elegido con probabilidad uno.

Debería observarse que el método de filtro Kalman es muy "perdonador" y son producidos buenos resultados frecuentemente aunque las condiciones ideales sean infringidas ligeramente. Así, aunque un sistema exhiba características que se desvían algo de la curva de sistema lineal por tramos, la estimación resultante de anchura de banda disponible no es invalidada automáticamente. Por supuesto, todas las variables en este modelo son dinámicas, o sea pueden variar en el tiempo, así que dependen del subíndice (que a veces es suprimido en esta exposición).

El modelo de Ecuación 1 no es lineal pero es lineal por tramos. Un ejemplo de esto es mostrado gráficamente en la Figura 3. Aunque filtros Kalman no son normalmente aplicables en tales casos, este problema es salvado según realizaciones ejemplares de la invención y convergencia eficiente puede ser obtenida. Aunque el modelo lineal por tramos usado es solo una aproximación, el filtro Kalman todavía puede producir buenas estimaciones puesto que los términos de ruido pueden acomodar algunos errores debidos a "modelado defectuoso". El modelo de la Ecuación 1 tiene en cuenta la aplicación de un filtro Kalman cuando el estado del sistema es representado por un vector que contiene los dos parámetros de la parte de línea recta inclinada de la Ecuación 1.

$$x = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \tag{7}$$

Para satisfacer el criterio de linealidad para aplicabilidad de filtración Kalman, algunas realizaciones de la invención rastrean u con respecto a B e intentan permanecer en la parte de línea inclinada de la Ecuación 1 (véase también la Figura 3). Como el valor verdadero de B , la anchura de banda disponible, no es conocido, realizaciones ejemplares de la invención usan la estimación más reciente \hat{B} o algún valor umbral apropiado próximo a \hat{B} . Si u es menor que este umbral, la medición es ignorada y la estimación del vector de estado no es actualizada. La medición ϵ_k de la deformación en el instante discreto k puede ser escrita como

$$\epsilon_k = Hx_k + v_k \tag{8}$$

Donde $H = [u \ 1]$. Asimismo, la evolución del estado de sistema puede ser escrita como

$$x_k = x_{k-1} + w_{k-1} \tag{9}$$

Así, el formalismo de filtro Kalman puede ser aplicado al vector de estado de la Ecuación 7, con $A=1$ y $z = \epsilon$, donde I es la matriz de identidad.

El vector x de estado de la Ecuación 7 es bidimensional, así que la covarianza Q del ruido w de proceso es una matriz de 2x2. Esta matriz de Q puede ser usada para ajuste de rendimiento funcional, dada una red de referencia con tráfico controlado y conocido y, por tanto, anchura de banda disponible conocida. Cuando son aplicadas al vector de estado bidimensional de la Ecuación 7, las ecuaciones de Kalman resultan computacionalmente muy sencillas y solo unas pocas operaciones de coma flotante son necesarias en cada iteración. Cuando el filtro estima las variables α y β de estado del sistema, la estimación B de la anchura de banda disponible B es calculada

fácilmente, a partir de las estimaciones $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$, como $\hat{B} = -\frac{\hat{\beta}}{\hat{\alpha}}$.

Operaciones ejemplares según la invención son descritas en los párrafos numerados siguientes. Estas operaciones ejemplares también son ilustradas en 11 a 18 en la Figura 1.

- 5 1. El receptor efectúa una estimación inicial \hat{x}_0 del vector de estado y una estimación inicial P_0 de la matriz de covarianzas de errores correspondiente a \hat{x}_0 , como se muestra en 11. A partir de \hat{x}_0 , una estimación \hat{B} de la anchura de banda disponible es computada como se muestra en 12.
- 10 2. El emisor envía una secuencia (o tren) de N pares de paquetes de sonda con intensidad u de tráfico de sondas, según una distribución deseada de probabilidad, como se muestra en 13 (en algunas realizaciones, la distribución de probabilidades para u es elegida basada en experiencia o experimentación pasada). Los N pares de paquetes de sonda son usados para medición de deformación entre paquetes. Algunas realizaciones envían una secuencia de N+1 paquetes de sonda que son usados para formar N pares de paquetes de sonda. O sea, el segundo paquete de sonda del primer par también es usado como el primer paquete de sonda del segundo par y así sucesivamente. En algunas realizaciones, paquetes de sonda no son compartidos entre los pares de paquetes de sonda, así que una secuencia de 2N paquetes de sonda es usada para formar N pares distintos de paquetes de sonda. El emisor pasa el valor actual de la velocidad u de tráfico de paquetes de sonda al receptor en los paquetes de sonda.
- 15 3. Para la secuencia recibida de paquetes de sonda, el receptor recupera la intensidad u de tráfico desde los paquetes de sonda, como se muestra en 14. Si u supera un valor umbral (por ejemplo, \hat{B} o un valor elegido adecuadamente próximo a \hat{B}) en 15, entonces el receptor usa los marcadores de tiempo de los paquetes de sonda para computar la media ε de los N valores de deformación entre paquetes correspondientes a los N pares de paquetes, como se muestra en 16. El receptor también computa la covarianza R . Si u es menor o igual que el valor umbral en 15, entonces los marcadores de tiempo de los paquetes de sonda son ignorados, no se realiza actualización y las operaciones vuelven al nº 2 anterior, como se muestra en 18.
- 20 4. El filtro Kalman usa el valor medio de deformación entre paquetes y la matriz de covarianzas (si las hay) procedentes de la operación 3 anterior para actualizar las estimaciones del vector \hat{x} de estado y la matriz P de covarianzas de errores, como se muestra en 17. A partir de la nueva estimación de vector de estado, es computada una nueva estimación \hat{B} de la anchura de banda disponible, como se muestra en 12.
- 25 5. Las operaciones vuelven al nº 2 anterior y la secuencia siguiente de paquetes de sonda es generada, como se muestra en 13.

30 La Figura 2 ilustra esquemáticamente un aparato para evaluar un trayecto de transferencia de datos según realizaciones ejemplares de la invención. En algunas realizaciones, el aparato de la Figura 2 es capaz de realizar operaciones descritas anteriormente e ilustradas en la Figura 1. En algunas realizaciones, los nodos 21 y 23 y el trayecto 22 de transferencia de datos pueden constituir, o formar una parte de, una red de datos con conmutación de paquetes tal como Internet, una red interna privada, etc. El nodo emisor 21 envía secuencias de pares de paquetes de sonda, a través del trayecto 22 de transferencia de datos, al nodo receptor 23. La marcación de tiempo antes mencionada en los nodos emisor y receptor no es mostrada explícitamente. El nodo receptor 23 incluye una unidad 35 24 de extracción que extrae la información de marcadores de tiempo y la velocidad u de paquetes de sonda desde los paquetes de sonda. Una unidad 25 de cálculo de deformaciones calcula el valor de deformación entre paquetes de cada par de paquetes de sonda en la secuencia recibida, y también calcula la media y la varianza de los valores de deformaciones entre paquetes.

40 La unidad 25 de cálculo de deformaciones proporciona de deformación media ε entre paquetes como la entrada de z a un filtro Kalman 26, y también proporciona la varianza R de deformaciones entre paquetes como una entrada al filtro Kalman 26. El filtro Kalman 26 también recibe como entradas la matriz de Q y las estimaciones iniciales del vector \hat{x}_0 de estado y la matriz P_0 de covarianzas de errores. En algunas realizaciones, las estimaciones iniciales del vector \hat{x}_0 de estado y la matriz P_0 de covarianzas de errores son derivadas de experiencia o experimentación pasada. La precisión de estas estimaciones iniciales no es un factor significativo en el funcionamiento del filtro Kalman.

45 El filtro Kalman 26 recibe la matriz I de identidad como su entrada de matriz de A, y también recibe la matriz H (por ejemplo, $H = \begin{bmatrix} u & 1 \end{bmatrix}$) desde un generador 27 de matriz que produce la matriz H en respuesta a la velocidad u de paquetes de sonda cuando es extraída de los paquetes de sonda por la unidad 24 de extracción. En respuesta a sus entradas, el filtro Kalman 26 produce la estimación actualizada \hat{x}_k de vector de estado. Una unidad 28 de cálculo de anchura de banda disponible usa la estimación actualizada de vector de estado para actualizar la estimación \hat{B} de anchura de banda disponible. La estimación \hat{B} de anchura de banda disponible es provista como un resultado de

- 5 salida desde el nodo 23, y también es provista a una unidad 29 de comparación que compara la velocidad u de paquetes de sonda con un valor umbral que es igual, o adecuadamente próximo, a \bar{v} . Dependiendo del resultado de esta comparación, la unidad 29 de comparación proporciona a la unidad 25 de cálculo de deformaciones una indicación 20 de si la unidad 25 de cálculo de deformaciones debería efectuar o no sus cálculos para la secuencia actual de pares de paquetes de sonda. En algunas realizaciones, la indicación 20 es provista al filtro Kalman 26 para señalar si el filtro debería ser aplicado o no al resultado de la unidad 25 de cálculo de deformaciones. Esto es mostrado por la línea 201 de trazos.
- 10 De la descripción anterior de la Figura 2, la unidad 24 de extracción y la unidad 25 de cálculo de deformaciones pueden ser vistas como componentes de una unidad de producción de datos que produce finalmente datos de estimación (\hat{x} y R en el ejemplo de la Figura 2) para uso en estimar la anchura de banda disponible. Asimismo, el filtro Kalman 26 y el calculador 28 de anchura de banda disponible pueden ser vistos como componentes de una unidad de estimación que aplica filtración Kalman a los datos de estimación para producir la estimación de la anchura de banda disponible.
- 15 Algunas realizaciones son ajustables para optimizar el comportamiento funcional de rastreo en una escala tau de tiempo de promediado de anchura de banda disponible deseada. Por ejemplo, si $\tau = 10$ segundos, entonces las mediciones de anchura de banda disponible son efectuadas en una escala de tiempo de 10 segundos. En algunas realizaciones, $\tau = 10$ segundos y la matriz Q de 2×2 tiene valores de $Q_{11} = 10^{-8}$, $Q_{12} = 0$, $Q_{21} = 0$ y $Q_{22} = 10^{-3}$. En realizaciones con escalas de tiempo más cortas, el valor de Q_{22} puede ser aumentado mientras que Q_{11} , Q_{12} y Q_{21} se mantienen iguales.
- 20 Algunas realizaciones usan cambio de escala en los cálculos numéricos de modo que las cantidades implicadas son adimensionales. Como se mencionó antes, ϵ es adimensional para empezar y, por tanto, β , v y R también son adimensionales. Para hacer adimensionales todas las otras cantidades, la velocidad u de tráfico de sondas es cambiada de escala por la capacidad máxima del primer salto desde el ordenador nodal/nodo emisor de sondas. Esto significa que $u = 1$ es la velocidad de sondeo máxima posible y que α , x , w y Q son adimensionales.
- 25 En algunas realizaciones, los componentes en 25 a 29 de la Figura 2 son provistos externamente a, y separados de, el nodo receptor 23 pero están acoplados a la unidad 24 de extracción para recibir desde ella la información de marcadores de tiempo y la velocidad u de paquetes de sonda. Este tipo de separación es ilustrado por la línea 200 de trazos en la Figura 2. En este ejemplo de separación, todos los componentes 25 a 29 están dispuestos externamente a, y separados de él, nodo receptor 23, por ejemplo, en uno o más nodos distintos de la red.
- 30 La presente invención puede producir una estimación actualizada de la anchura de banda disponible para cada muestreo nuevo del sistema, o sea para cada tren nuevo de pares de paquetes de sonda. Los trenes pueden ser enviados arbitrariamente con frecuencia (o sea, la escala de tiempo para la medición de muestreo puede ser reducida arbitrariamente), así que la anchura de banda disponible puede ser rastreada en tiempo real.
- 35 Las exigencias de procesamiento y memoria de datos para realizar los cálculos de filtración antes descritos pueden ser satisfechas de modo relativamente fácil. Por ejemplo, en algunas realizaciones el nodo receptor 23 de la Figura 2 es una plataforma de microprocesador. La actualización del cálculo de anchura de banda disponible usando las ecuaciones de filtro Kalman se reduce a realizar solo unas pocas operaciones de coma flotante (más cerca de 10 que de 100 en algunas realizaciones). No hay necesidad de conservar datos históricos porque solo la estimación de vector de estado anterior y la medición nueva son necesarias para calcular la estimación de vector de estado actualizada.
- 40 Para los que trabajan en la técnica será evidente que, en diversas realizaciones, la invención puede ser implementada en hardware, software o una combinación de hardware y software.
- Aunque realizaciones ejemplares de la invención han sido descritas antes con detalle, esto no limita el alcance de la invención que puede ser puesta en práctica en una variedad de realizaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método para evaluar una anchura de banda disponible en un trayecto de transferencia de datos que transfiere datos entre nodos de comunicación de datos de una red de datos, comprendiendo:
- 5 suministrar (13) paquetes de sonda que recorren el trayecto de transferencia de datos durante funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos;
- en respuesta al recorrido del trayecto de transferencia de datos por dichos paquetes de sonda, y durante dicho funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, suministrar datos de estimación para uso en estimar la anchura de banda disponible; y
- 10 producir (17) una estimación de la anchura disponible durante dicho funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, incluyendo aplicar una operación de filtro Kalman a dichos datos de estimación durante dicho funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, **caracterizado porque**
- 15 dicha operación de filtro Kalman usa parámetros de combinación para uso en combinar dichos datos de estimación con información actual de estado de filtro para producir nueva información de estado de filtro, y en el que dicha aplicación incluye suministrar dichos parámetros de combinación para uso en dicha operación de filtro.
- 2.- El método de la reivindicación 1, en el que uno de dichos parámetros de combinación es un parámetro de temporización asociado con dichos paquetes de sonda.
- 3.- El método de la reivindicación 2, incluyendo transmitir una secuencia de dichos paquetes de sonda por el trayecto de transferencia de datos a una velocidad de transmisión, y en el que dicho parámetro de temporización es dicha velocidad de transmisión.
- 20 4.- El método de la reivindicación 3, incluyendo proporcionar una indicación de dicha velocidad de transmisión en uno de dichos paquetes de sonda.
- 5.- El método de la reivindicación 2, incluyendo proporcionar dicho parámetro de temporización en uno de dichos paquetes de sonda.
- 25 6.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, incluyendo proporcionar uno de dichos parámetros de combinación en uno de dichos paquetes de sonda.
- 7.- Un aparato para evaluar una anchura de banda disponible en un trayecto de transferencia de datos que transfiere datos entre nodos de comunicación de datos de una red de datos, comprendiendo:
- 30 una unidad (24) de producción de datos para recibir paquetes de sonda que han recorrido el trayecto de transferencia de datos durante el funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, respondiendo dicha unidad de producción de datos al recorrido del trayecto de transferencia de datos por dichos paquetes de sonda para producir, durante dicho funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, datos de estimación para uso en estimar la anchura de banda disponible;
- 35 una unidad de estimación (26, 28) acoplada a dicha unidad de producción de datos para producir una estimación de la condición durante dicho funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, incluyendo dicha unidad de estimación un filtro Kalman para aplicar una operación de filtro Kalman a dichos datos de estimación durante dicho funcionamiento en tiempo real del trayecto de transferencia de datos, **caracterizado porque** dicha operación de filtro Kalman usa parámetros de combinación para combinar dichos datos de estimación con información actual de estado de filtro para producir nueva información de estado de filtro; y porque el aparato comprende además unidades (25; 27) acopladas a dicha unidad de estimación para proporcionarla dichos parámetros de combinación para uso en dicha operación de filtro.
- 40 8. El aparato de la reivindicación 7, en el que dicha unidad de estimación y una porción de dicha unidad de producción de datos están situadas de modo físicamente separadas del resto de dicha unidad de producción de datos.
9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 7-8, en el que uno de dichos parámetros de combinación es un parámetro de temporización asociado con dichos paquetes de sonda.
10. El aparato de la reivindicación 9, en el que dicho parámetro de temporización es una velocidad de transmisión a la que dichos paquetes de sonda han sido transmitidos por el trayecto de transferencia de datos.
- 50 11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que dichas unidades están acopladas a dicha

unidad de producción de datos para extraer una indicación de dicha velocidad de transmisión desde uno de dichos paquetes de sonda.

12. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en el que dichas unidades están acopladas a dicha unidad de producción de datos para extraer dicho parámetro de temporización de uno de dichos paquetes de sonda.

5 13. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en el que dichas unidades están acopladas a dicha unidad de producción de datos para extraer uno de dichos parámetros de combinación de uno de dichos paquetes de sonda.

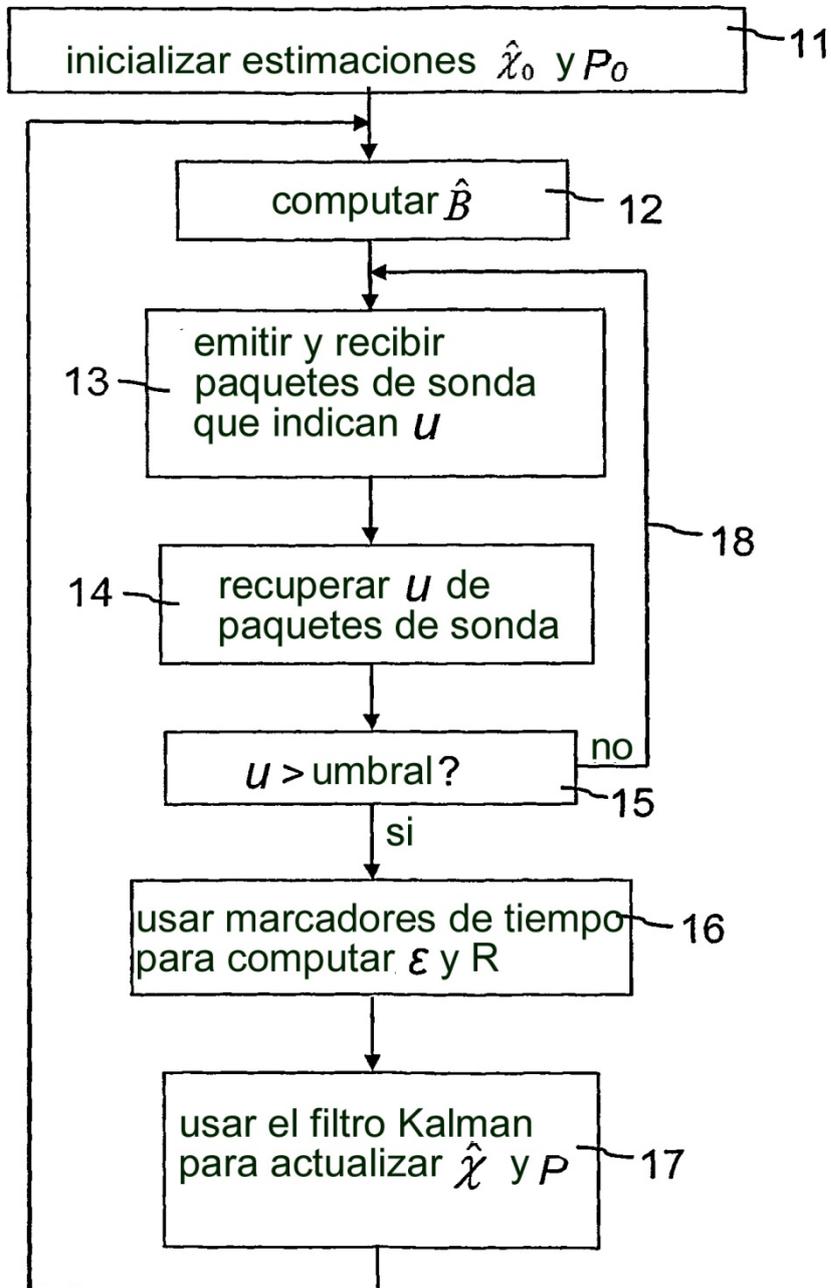


FIG. 1

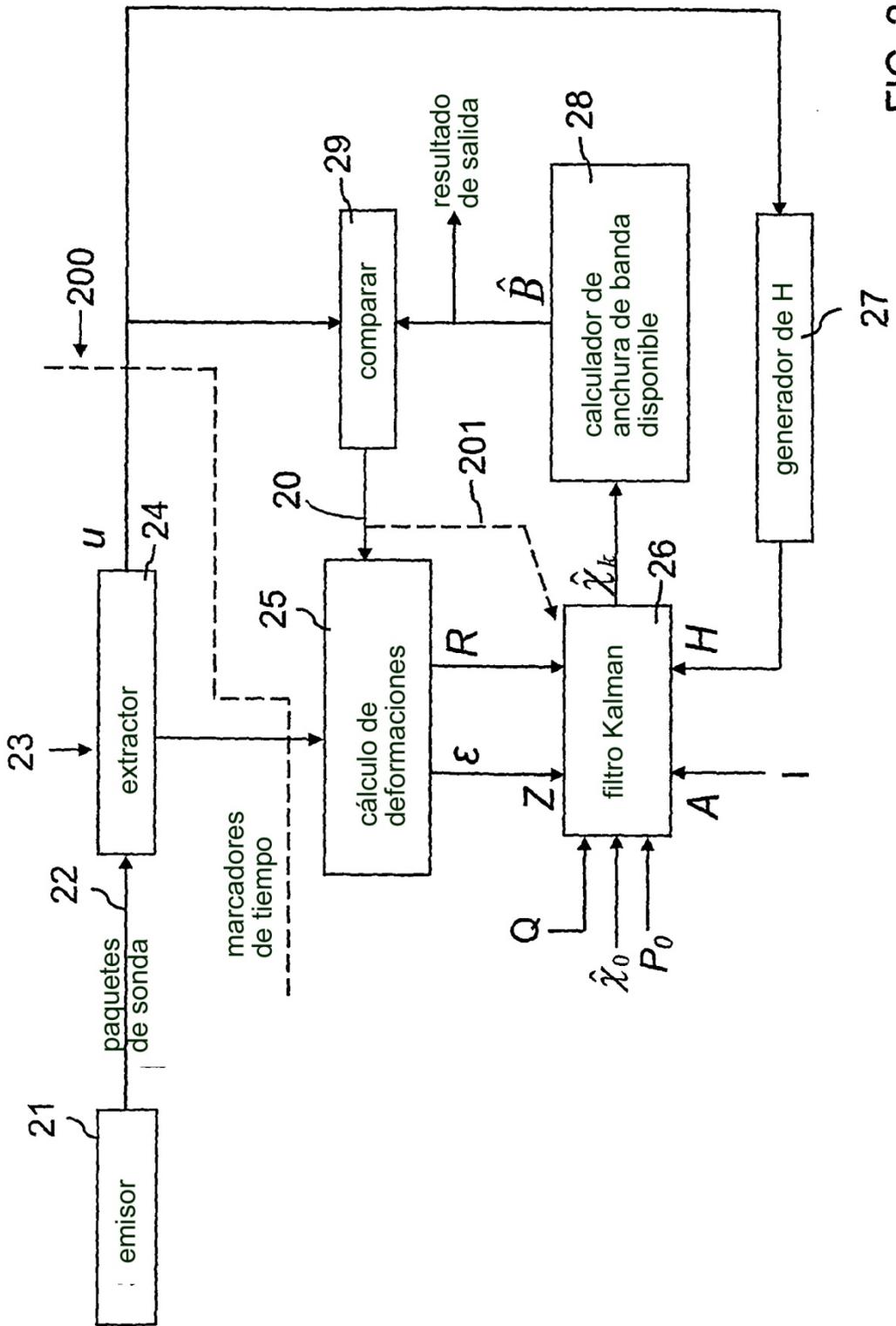


FIG. 2

FIG. 3

