



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2005 002 006 T2 2008.05.08**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 662 705 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04L 12/26 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2005 002 006.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **05 257 055.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **15.11.2005**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.05.2006**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.05.2008**

(30) Unionspriorität:

**998709                      29.11.2004                      US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(73) Patentinhaber:

**Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US**

(72) Erfinder:

**Cheung, Benjamin, Lake Hiawatha New Jersey  
07034, US; Khrais, Nidal N., Flanders New Jersey  
07836, US; Kumar, Gopal N., Bridgewater New  
Jersey 08807, US; Putman, Anthony Edward,  
Chippenham Wiltshire SN15 5AQ, GB**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der verfügbaren Bandbreite in einem Datenpaketnetzwerk**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Datenpaketübermittlungsnetzwerk wie etwa das Internet und insbesondere ein Verfahren zur Schätzung der verfügbaren Bandbreite in dem Netzwerk an einer Netzwerkeingabestelle.

## Stand der Technik

**[0002]** Die verfügbare Bandbreite in einem Datenpaketnetzwerk wie etwa dem Internet ist keine Konstante, sondern ändert sich aufgrund verschiedener Faktoren ständig. Diese Faktoren umfassen die Menge des Datenverkehrs, der momentan über das Netzwerk übermittelt wird, sowie die Bearbeitungszeit, die die Routing-Punkte benötigen, um Datenpakete in dem Netzwerk von einem Knoten zum nächsten zu befördern. Eine Überlastung des Netzwerks über seine Bandbreitenleistungsfähigkeit hinaus führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Verlust von Datenpaketen und/oder zu inakzeptablen Paketverzögerungen zwischen der Netzwerkeingabestelle und der Netzwerkausgabestelle. Je nach Art des übermittelten Datenverkehrs muss für einen einwandfreien Dienst eine gewisse Mindestdienstgüte (QoS, Quality of Service) bereitgestellt sein. Zum Beispiel müssen in einer Gesprächs-Dienstklasse Datenpakete innerhalb eines minimalen Zeitfensters an ihrem Ziel eintreffen, um eine natürliche Gesprächsumgebung bereitzustellen. In ähnlicher Weise müssen Datenpakete, die Streaming-Video oder Musik enthalten, mit einer minimalen Verzögerungsabweichung (Jitter) eintreffen, da anderenfalls das decodierte Video oder die decodierte Musik nicht natürlich fließt, sondern „ruckartig“ erscheint. Andererseits können Datenpakete, die eine E-Mail-Nachricht enthalten, oder Datenpakete, die heruntergeladene Musik im Non-Streaming-Format enthalten, in einer Hintergrund-Dienstklasse transportiert werden, die weniger empfindlich für Paketverzögerungen ist, da Paketverzögerungen bei solchen Informationen nur geringe Auswirkungen auf deren Wahrnehmung haben, wenn überhaupt. Die Kenntnis der verfügbaren Bandbreite auf einer Eingabeseite des Datenpaketnetzwerks ermöglicht eine intelligentere Steuerung von Paketflüssen in das Netzwerk, wodurch die Einhaltung der Dienstgüte maximiert wird. So können, wenn die aktuelle verfügbare Bandbreite gering ist, verzögerungsunempfindliche Datenpaketflüsse zurückgehalten werden, während den Datenpaketflüssen, die verzögerungsempfindlicher sind, eine höhere Priorität eingeräumt wird. Ist die verfügbare Bandbreite groß, können die Prioritäten anders zugewiesen werden. Im drahtlosen Context-Handling-Paketdatenverkehr erleichtert die Kenntnis der verfügbaren Bandbreite die Geschwindigkeitssteuerung, um allen übertragenden drahtlosen Endgeräten und den dazwischen liegenden Routing-/Vermittlungsknoten zu signalisieren, ihre Datenübertragungsraten zu erhöhen oder zu verringern, um alle übermittelnden Endgeräte mit einer gewissen Menge kontinuierlicher Datenflüsse solcherart zu versorgen, dass die Nutzung der Bandbreite insgesamt nicht die verfügbare Bandbreite des Netzwerks übersteigt. Dies fördert auch die Notwendigkeit, die verfügbare Bandbreite optimal zu nutzen.

**[0003]** Das Problem bei der Schätzung der verfügbaren Bandbreite ist mannigfach. Zum Beispiel ist die Gesamtzeit, die die Dienstpunkte in dem Netzwerk zum Routen von Paketen benötigen, ebenso eine Unbekannte wie die Kenntnis der Datenverkehrsmenge, die in dem Netzwerk von anderen Quellen aus transportiert werden. Die verfügbare Bandbreite kann aus der Differenz zwischen der Gesamtkapazität des Paketnetzwerks (wie etwa des Internets) und dem Umfang der aktuell genutzten Bandbreite bestimmt werden. Diese beiden Faktoren können jedoch nicht ohne weiteres unabhängig gemessen werden. Nach dem Stand der Technik wurden verschiedene Methodiken zur Bestimmung der verfügbaren Bandbreite vorgeschlagen. Ein Verfahren, das als das „Pathchirp“-Verfahren bekannt ist, flutet das Netzwerk mit Datenpaketen, bis es unfähig ist, weiteren Datenverkehr aufzunehmen. Der an diesem Punkt eingegebene Datenverkehr wird als die aktuelle Gesamtkapazität des Netzwerks an dieser Eingabestelle bestimmt. Unvorteilhaft belastet dieses Verfahren das Netzwerk und stört den laufenden Datenverkehr. Außerdem kann dieses Verfahren zu vollkommen falschen Ergebnissen führen, wenn zwei verschiedene Knoten gleichzeitig versuchen, die verfügbare Bandbreite zu schätzen, da jeder Flutungsdatenverkehr an dem jeweils anderen Knoten als verwendete Bandbreite erscheint. Bei einem anderen Verfahren wird ein erstes Testdatenpaket in das Netzwerk eingegeben, das sich in die Warteschlange für die Übertragung einreihet, gefolgt von einem zweiten Datenpaket, das sich in die Warteschlange einreihen muss, bevor das erste Datenpaket verarbeitet und über das Netzwerk übertragen wird. Die Verzögerung zwischen diesen Datenpaketen auf der Empfangsseite im Vergleich zur Verzögerung zwischen diesen Paketen an der Eingabestelle wird als ein Maß der Verzögerung verwendet, die den Datenpaketen aktuell auferlegt wird, wenn sie sich zwischen der Eingabestelle und der Ausgabestelle in dem Netzwerk aufhalten. Dies ergibt die verwendete Bandbreite des Netzwerks. Somit wird zur Bestimmung der verfügbaren Bandbreite, die wie oben erläutert gleich der Differenz zwischen der gesamten Netzwerkkapazität und der verwendeten Bandbreite ist, die gesamte Netzwerkkapazität benötigt. Obschon es Verfahren zur Bestimmung der Ge-

samtkapazität gibt, sind die beiden Algorithmen, wenn sie zusammen verwendet werden, zu komplex für die praktische Verwendung. Außerdem erfordert dieses Verfahren, dass sich beide Datenpakete gleichzeitig in die Eingabewarteschlange einreihen und dort verbleiben, bevor das Netzwerk das erste Datenpaket verarbeitet. Neben der Notwendigkeit, die gesamte Netzwerkkapazität zu kennen, ist dieses Verfahren der Verzögerungsmessung schwierig durchzuführen, da es schwierig ist, die Datenpakettaktung so einzustellen, dass garantiert wird, dass sich das zweite Datenpaket in die Warteschlange einreihet, bevor das erste Datenpaket verarbeitet ist.

**[0004]** Eine Schätzung der verfügbaren Bandbreite von End-to-End-Pfaden unter Bedingungen mit nicht unerheblichem Querverkehr wird von S-r Kang u.a. in „Packet-pair bandwidth estimation: stochastic analysis of a single congested node“, Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP '04), Oktober 2004, Seiten 316–325, erläutert. Dieses Papier erläutert eine Methodik mit Datenpaketpaaren und Verfahren mit Datenpaketreihen, die eine sehr lange Reihe von Paketen erfordern, um die verfügbare Bandbreite und Kapazität zu schätzen.

**[0005]** Die veröffentlichte US-Patentanmeldung US 2002/0116154 A1 mit dem Titel „Network Tomography Using Close-Spaced Unicast Packets“, veröffentlicht am 22. August 2002, auf R. Nowak u.a., verwendet Gruppen von Kommunikationsdatenpaketen mit geringen Abständen, um Informationen zu bestimmen, aus denen Leistungsmerkmale von Kommunikationsverbindungen innerhalb eines Netzwerks abgeleitet werden.

#### Kurzdarstellung der Erfindung

**[0006]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung haben sich die Erfinder einem Datenpaketübermittlungsnetzwerk wie dem Internet mittels eines M/M/1-Warteschlangenmodells, einer Poisson-Ankunft, eines Systems mit exponentieller Dienstzeitverteilung/Einzelservers angenähert, indem sie das gesamte Netzwerk als ein einzelnes Gebilde betrachteten, das Übermittlungsdienste bereitstellt.

**[0007]** Bei einem M/M/1-Warteschlangenmodell wird die statische Abweichung der Verteilung der Verweilzeit (die Summe der Verarbeitungszeit und der Wartezeit in der Warteschlange) einer übermittelten Datenpaketreihe in einer geschlossenen Form als der Kehrwert der Quadratzahl der Differenz zwischen der Dienstrate und der Ankunftsrate poissonverteilter Ereignisse offenbart. In dem Datenpaketübermittlungsnetzwerk ist die Dienstrate die Menge der Zeit, die die Knoten in dem Netzwerk benötigen, um die Datenpakete zu verarbeiten und sie durch das Netzwerk zu übertragen, was die Erfinder als Analogie für die Darstellung der Kapazität des Netzwerks verwendet haben. In dem Datenpaketnetzwerk ist die Ankunftsrate die Rate der Ankunft fremder Datenpakete in dem Netzwerk, die nicht mit einer Paketreihe in Beziehung stehen, welche von einer Netzwerkeingabestelle übertragen werden soll, was als Analogie für die Darstellung der aktuellen Nutzung des Netzwerks verwendet wurde. Die Differenz zwischen der Kapazität und der aktuellen Nutzung des Netzwerks stellt somit die Bandbreite dar, die verfügbar ist, um die von der Netzwerkeingabestelle zu sendende Paketreihe zu bedienen. Dementsprechend wurde aus diesem M/M/1-Modell des Datenpaketnetzwerks festgestellt, dass die verfügbare Bandbreite gleich dem Kehrwert der Quadratwurzel der Abweichung der Verteilung der Verweilzeiten von Datenpaketen in dem Netzwerk ist.

**[0008]** Um die Abweichung der Verteilung der Verweilzeiten und somit die Bandbreite des Datenpaketnetzwerks, die für die Übermittlung von Paketen von einer Eingabestelle zu einer Ausgabestelle verfügbar ist, zu bestimmen, wird von einer Eingabestelle auf einer Sendeseite des Netzwerks eine Testreihe von N Datenpaketen mit bekannten Zwischenpaketintervallen eingegeben. Auf der Empfangsseite des Netzwerks werden die Paketankunftszeiten gemessen und die Zwischenpaketintervalle jedes Paares empfangener Pakete in der empfangenen Reihe werden berechnet und mit den bekannten Zwischenpaketintervallen der entsprechenden Eingabepakete verglichen. Die Abweichung der Verteilung der Verweilzeiten der Datenpakete in dem Netzwerk kann dann mit Hilfe dieser Zeitdifferenzen berechnet werden, obwohl die einzelnen Verweilzeiten der übermittelten Pakete nicht direkt gemessen werden können.

**[0009]** Insbesondere wird die Abweichung berechnet, indem zunächst die Differenzen zwischen den Zwischenpaketintervallen zwischen jedem Paar empfangener Datenpakete und den bekannten Zwischenpaketintervallen zwischen jedem entsprechenden Paketpaar in der Eingabetestreihe bestimmt werden. Für jedes Paket j in der empfangenen Reihe wird die Summe über alle k für k = 1 bis N der Differenz zwischen dem Zwischenpaketintervall zwischen den Paketen j und k in der Ausgabepaketreihe und dem Zwischenpaketintervall zwischen den entsprechenden Paketen j und k in der Eingabetestreihe berechnet. Diese Summe, die die Differenz der Verweilzeiten für Paket j gegenüber allen anderen Paketen in der Ausgabereihe darstellt, wird durch N dividiert, um den Unterschied der Verweilzeit für Paket j zur mittleren Verweilzeit zu ergeben. Die Abwei-

chung der Verweilzeiten für die Pakete 1 - N wird dann bestimmt, indem der Durchschnitt über N der Summe der Quadratzahlen des Unterschieds zur mittleren Verweilzeit jedes Pakets  $j$  für  $j = 1$  bis N berechnet wird. Die verfügbare Bandbreite kann dann aus der Quadratwurzel des Kehrwerts der Abweichung mit Hilfe des M/M/1-Modells des Datenpaketnetzwerks geschätzt werden. Die geschätzte verfügbare Bandbreite kann dann an die Netzwerkeingabestelle zurückgemeldet werden, um die Datenpaketflüsse in das Netzwerk zu steuern.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0010] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das die Übermittlung einer Datenpaketreihe durch ein Datenpaketnetzwerk wie etwa das Internet zeigt,

[0011] [Fig. 2](#) zeigt die Beziehung zwischen der Taktung von Datenpaketen in einer Eingabetestreihe,

[0012] [Fig. 3](#) zeigt die Beziehung zwischen der Taktung von Datenpaketen in der entsprechenden Paketreihe und

[0013] [Fig. 4](#) ist ein Flussdiagramm, das die Schritte der Methodik einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

#### Detaillierte Beschreibung

[0014] In [Fig. 1](#) ist ein Datenpaketnetzwerk **101** wie etwa das Internet mit einer Eingabestelle **102** und einer Ausgabestelle **103** dargestellt. Wie vorhergehend angemerkt, ist die an der Eingabestelle verfügbare Bandbreite keine Konstante, sondern sie ändert sich dynamisch aufgrund von Fluktuationen der Fremdlasten in dem Netzwerk durch andere (nicht dargestellte) Eingaben. Ohne Informationen zur Bandbreite, die für Eingabepaketreihen verfügbar ist, können keine zuverlässigen Garantien für die Dienstgüte für diese Paketübermittlungen gegeben werden, da keine bestimmten Mengen an Bandbreite reserviert werden können.

[0015] Da jedes Datenpaket, das das Netzwerk von der Eingabestelle zur Ausgabestelle durchquert, nicht unbedingt demselben Pfad folgt, ist die Verweilzeit eines Pakets in dem Netzwerk nicht von Paket zu Paket konstant, da verschiedene Routing-Punkte innerhalb des Netzwerks mehr Zeit als andere für die Bearbeitung von Paketen benötigen können, während sie die Pakete in dem Netzwerk von Knoten zu Knoten leiten, und die Zeit, die ein Paket in einer Eingabewarteschlange auf die Bearbeitung durch das Netzwerk wartet, nachdem es in das Netzwerk eingegeben wurde, hängt von verschiedenen Faktoren ab, zu denen die angetroffene Auslastung in dem Netzwerk gehört. So wird eine Eingabereihe **104** von Datenpaketen mit einem bekannten Zwischenpaketabstand mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Ausgabereihe von Datenpaketen **105** mit unterschiedlichen Zwischenpaketabständen, aufgrund der unterschiedlichen Verweilzeit, die jedem Paket mit hoher Wahrscheinlichkeit widerfährt, während es das Netzwerk **101** von der Eingabestelle **102** zur Ausgabestelle **103** durchquert, wobei die Verweilzeit eines Pakets gleich der Summe aus der Wartezeit an der Eingabestelle und der Verarbeitungszeit des Pakets im Netzwerk ist. Das M/M/1-Warteschlangenmodell stellt eine umfassende Ansicht des Systems mit seiner effektiven Dienstrate und verfügbaren Bandbreite dar.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann die verfügbare Bandbreite des Datenpaketnetzwerks **101** aus der Abweichung der Verweilzeiten einer Testreihe von Testpaketen mit bekannten Zwischenpaketintervallen ermittelt werden, die in das Netzwerk eingegeben und zu einer Ausgabestelle übertragen werden. Da die Verweilzeiten der eingegebenen Pakete in dem Netzwerk nicht einzeln gemessen werden können (der Zeitpunkt, an dem ein Paket in das Netzwerk eingegeben wird, ist auf der Empfangsseite unbekannt), wird die Abweichung der Verweilzeiten wie folgt bestimmt:

[0017] An der Eingabestelle **102** des Netzwerks **101**, an der eine Schätzung der verfügbaren Bandbreite gewünscht wird, wird die Testreihe von Paketen mit bekannten Zwischenpaketintervallen eingegeben. [Fig. 2](#) zeigt diese Eingabetestreihe, die aus N Paketen mit bekannten Zwischenpaketintervallen besteht.  $I(j,k)$ , das Intervall zwischen den Paketen  $j$  und  $k$ , ist gegeben mit:

$$I(j,k) = T_i(k) - T_i(j) \quad (1)$$

wobei  $T_i(j)$  der Zeitpunkt ist, an dem das  $j$ . Paket in das Netzwerk eingegeben wird, und  $T_i(k)$  der Zeitpunkt ist, an dem das  $k$ . Paket in das Netzwerk eingegeben wird.  $I(j,k)$  ist ein Parameter mit bekannten Werten, wobei die Zwischenpaketintervalle für aufeinander folgende  $j$  und  $k$  typisch gleich sind.

**[0018]** An der Ausgabeseite des Netzwerks an der Ausgabestelle **103** wird die empfangene Testreihe aufgefangen, und die Ankunftszeit jedes Pakets wird gemessen und die Zwischenpaketintervalle werden berechnet. **Fig. 3** zeigt die entsprechende Ausgabereihe, die aus N Paketen besteht. In der Ausgabereihe ist  $O(j,k)$  das Intervall zwischen den Paketen j und k und ist gegeben mit:

$$O(j, k) = T_o(k) - T_o(j) \quad (2)$$

wobei  $T_o(j)$  die Ankunftszeit des j. Pakets und  $T_o(k)$  die Ankunftszeit des k. Pakets auf der Empfangsseite ist.

**[0019]** Die Ankunftszeit von Paket k,  $T_o(k)$  ist gegeben als:

$$T_o(k) = T_i(k) + S(k), \quad (3)$$

wobei  $S(k)$  die Verweilzeit des k. Pakets in dem Netzwerk ist.

**[0020]**  $O(j,k)$  kann somit ausgedrückt werden als:

$$O(j,k) = T_i(k) + S(k) - [T_i(j) + S(j)] = I(j,k) + S(k) - S(j). \quad (4)$$

**[0021]** Die als  $DS(j,k)$  definierte Differenz zwischen dem Ausgabeintervall zwischen den Paketen j und k und dem Eingabeintervall zwischen den Paketen j und k ist gegeben als:

$$DS(j,k) \equiv O(j,k) - I(j,k) = S(k) - S(j). \quad (5)$$

**[0022]** Obschon die einzelnen Verweilzeiten  $S(j)$  und  $S(k)$  der Pakete j und k nicht einzeln gemessen werden können, da nicht bekannt ist, wann die Pakete j und k in das Netzwerk eingegeben wurden, und zwischen den Endpunkten kein Synchronismus vorausgesetzt werden kann, kann  $DS(j,k)$  über die Gleichung (5) aus der Differenz zwischen den messbaren Ankunftszeiten der Pakete j und k an der Ausgabe und dem bekannten Zwischenpaketabstand zwischen den Paketen j und k in der Testeingabereihe von N Pakten bestimmt werden.

**[0023]** Durch Betrachtung des gesamten Netzwerks als ein einzelnes Gebilde, das einen Übermittlungsdienst bereitstellt, kann das Datenpaketnetzwerk zwischen der Eingabe und der Ausgabe als ein System mit M/M/1-Warteschlange, einer Poisson-Ankunft und exponentieller Dienstzeitverteilung/Einzelservers annähernd beschrieben werden. Gemäß dem zugrunde liegenden M/M/1-Modell sind die Verweilzeiten der Pakete exponentiell verteilte Zufallsvariablen. Die exponentiell verteilten Verweilzeiten von über das Netzwerk gesendeten Paketen weisen den folgenden Mittelwert und die folgende Abweichung auf:

$$\text{Mittelwert} = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (6)$$

und

$$\text{Abweichung} = V = (\text{Mittelwert})^2 = \left( \frac{1}{(\mu - \lambda)} \right)^2, \quad (7)$$

wobei  $\mu$  gleich der mittleren Dienstrate und  $\lambda$  gleich der mittleren Ankunftsrate ist.

**[0024]** Die Dienstrate ist die Zeitmenge, die Knoten für die Verarbeitung von über das Netzwerk übermittelten Paketen benötigen. Die Erfinder haben aufschlussreich die Analogie gezogen, dass die mittlere Dienstrate mit der Gesamtkapazität des Paketnetzwerks assoziiert werden kann. Diese Analogie kann hergestellt werden, weil die Dienstrate insgesamt die Gesamtfähigkeit des Netzwerks zur Verarbeitung von Paketen zum Zweck ihrer Übermittlung von einem Endpunkt zu einem anderen ausdrückt. Die mittlere Ankunftsrate ist die Rate des Eintreffens fremder Pakete, die mit der übermittelten Paketreihe nicht in Beziehung stehen, in dem Netzwerk. Die Erfinder haben aufschlussreich die Analogie gezogen, dass die Ankunftsrate der Bandbreite entspricht, die in dem Netzwerk von anderen genutzt wird. Dass die Ankunftsrate als analog zur verwendeten Bandbreite gesehen werden kann, liegt darin begründet, dass die Pakete, die insgesamt während der Zeit bedient werden, in der die übermittelten Pakete durch das Transportnetzwerk reisen, den Hauptanteil von Paketen darstellen, die das Netzwerk gerade bearbeitet. Die Differenz zwischen der Gesamtkapazität (Dienstrate) und der Band-

breite, die aktuell von anderen verwendet wird (Ankunftsrate), ist gleich der aktuell verfügbaren Bandbreite, das heißt, der Bandbreite, die zum Bedienen der Paketreihe, die von der Netzwerkeingabestelle aus auf das Netzwerk übermittelt werden soll, verfügbar ist.

**[0025]** Die Abweichung ( $V$ ) der Verweilzeiten kann somit annähernd beschrieben werden als:

$$V \approx \left( \frac{1}{ABW} \right)^2, \quad (8)$$

wobei  $ABW$  für die verfügbare Bandbreite steht.

**[0026]** Die verfügbare Bandbreite kann somit annähernd aus der Abweichung der Verweilzeiten beschrieben werden aus:

$$ABW = \frac{1}{\sqrt{V}}, \quad (9)$$

wobei  $ABW$  als die Anzahl bedienbarer Pakete pro Sekunde ausgedrückt ist.  $ABW$  kann äquivalent in Bits pro Sekunde ausgedrückt werden als:

$$ABW_{bps} = PS \cdot ABW, \quad (10)$$

wobei  $PS$  für die Größe eines IP-Pakets, ausgedrückt in Bit, steht.

**[0027]** Die Abweichung der Verweilzeiten wird wie folgt bestimmt:

Zunächst ist die Differenz der Verweilzeiten für Paket  $j$  gegenüber allen anderen Paketen in der Ausgabereihe abzüglich der entsprechenden Zwischenpaketzeitdifferenzen in der Eingabepaketreihe als  $D(j)$  definiert und ist gegeben als:

$$D(j) = \sum_{k=1}^N DS(j, k) = \sum_{k=1}^N (S(k) - S(j)) = \sum_{k=1}^N S(k) - N \cdot S(j). \quad (11)$$

**[0028]**  $D(j)$  kann aus der Summe der Differenzen über alle  $k$  zwischen den Zwischenpaketzeiten zwischen den Paketen  $j$  und  $k$  in der Ausgabepaketreihe und den Zwischenpaketzeiten zwischen denselben Paketen in der Testeingabereihe berechnet werden. Da die Zwischenpaketzeiten in der Testeingabereihe bekannt sind und die Ankunftszeiten zwischen den Paketen in der Ausgabereihe beobachtbar sind, kann  $D(j)$  ohne weiteres bestimmt werden.

**[0029]** Der Mittelwert von  $D(j)$  über alle  $N$  Pakete ist gegeben als:

$$\begin{aligned} d(j) &= \frac{D(j)}{N} = \left( \frac{1}{N} \right) * \left( \sum_{k=1}^N S(k) - N \cdot S(j) \right) \\ &= \left( \frac{1}{N} \right) * \sum_{k=1}^N S(k) - S(j) = E(S) - S(j) \end{aligned} \quad (12)$$

wobei  $E(S)$  gleich dem Mittelwert der Verweilzeiten ist:

$$E(S) = \left( \frac{1}{N} \right) * \sum_{k=1}^N S(k). \quad (13)$$

**[0030]** Nach den Gleichungen (12) und (13) stellt damit  $d(j)$  für Paket  $j$  den Betrag dar, um den sich seine Verweilzeit von der mittleren Verweilzeit aller empfangenen Pakete als Reaktion auf die übermittelte Testreihe mit  $N$  Paketen unterscheidet, und kann aus jedem  $D(j)$  berechnet werden. Die Abweichung  $V$  der Verweilzeit kann somit durch Betrachtung jedes  $d(j)$ :  $d(1)$ ,  $d(2)$ , ...,  $d(N)$  wie folgt bestimmt werden:

$$Abweichung = V = \left( \frac{1}{N} \right) * \sum_{j=1}^N (d(j))^2. \quad (14)$$

**[0031]** Ist die Abweichung aus Gleichung (14) berechnet, so kann die verfügbare Bandbreite (in bps) ohne weiteres aus der Gleichung (10) berechnet werden.

**[0032]** Die verfügbare Bandbreite kann, sobald sie an der Ausgabestelle **103** des Netzwerks **101** in [Fig. 1](#) geschätzt wurde, zurück zur Eingabestelle **102** übermittelt werden, um beispielsweise den Paketfluss in das Netzwerk zu steuern, um eine gewünschte Dienstgüte (QoS) beizubehalten. Wenn beispielsweise das Paketnetzwerk gerade drahtlosen Datenverkehr transportiert, kann die geschätzte verfügbare Bandbreite zur Erleichterung der Geschwindigkeitssteuerung verwendet werden, um allen Elementen des drahtlosen Netzwerks zu signalisieren, ihre Übertragungsraten auf eine Weise zu erhöhen oder zu verringern, die gewisse anhaltende Datenflüsse für alle aktuell aktiven Datenflüsse solcherart bereitstellt, dass die insgesamt verwendete Bandbreite nicht die verfügbare Bandbreite des Netzwerks übersteigt.

**[0033]** In [Fig. 4](#) ist ein Flussdiagramm dargestellt, das die Methodik zur Bestimmung der verfügbaren Bandbreite eines Datenpaketnetzwerks gemäß der beschriebenen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zusammenfasst. In Schritt **401** wird an einer Eingabestelle eine Testpaketreihe aus N Datenpaketen mit bekannten Zwischenpaketintervallzeiten in das Netzwerk eingegeben. In Schritt **402** wird an der Netzwerkausgabestelle die Ankunftszeit jedes Pakets in der Reihe gemessen. In Schritt **403** werden die Zwischenpaketintervallzeiten in der Ausgabereihe zwischen jedem Paketpaar j und k für alle j und k zwischen 1 und N berechnet. In Schritt **404** wird für jedes Paket j die Summe über alle k der Differenzen zwischen der Intervallzeit zwischen den Paketen j und k in der Ausgabereihe und der Intervallzeit zwischen den entsprechenden Paketen j und k in der Eingabereihe berechnet ( $D(j)$ ). In Schritt **405** wird für jedes j der Durchschnitt über alle N jedes  $D(j)$  berechnet ( $d(j)$ ), der für das Paket j die Differenz darstellt, um die seine Verweilzeit von der mittleren Verweilzeit für alle Pakete in der Reihe abweicht. In Schritt **406** wird die Abweichung (V) der Verweilzeiten aus dem Durchschnitt über N der Summe der Quadratzahlen von  $d(j)$  für jedes Paket j berechnet. In Schritt **407** wird die verfügbare Bandbreite aus der Abweichung geschätzt. In Schritt **408** wird die geschätzte verfügbare Bandbreite, an die Eingabestelle zurückgemeldet, um die Datenverkehrsflüsse zu steuern und zu leiten oder zu anderen Zwecken.

**[0034]** Die oben beschriebene Methodik kann in Software, in Hardware oder in einer Kombination aus Hardware und Software in einer Weise implementiert werden, die dem Fachmann bekannt ist. Die Hardware und/oder Software kann sich überall im Datenpaketnetzwerk befinden oder für das Datenpaketnetzwerk zugänglich sein, wie etwa auf einem Server oder in einem anderen, an das Netzwerk angeschlossenen Gerät. Die geschätzte verfügbare Bandbreite des Datenpaketnetzwerks kann über das Netzwerk oder außerhalb des Netzwerks an die Eingabestelle zurückgesendet werden. Die verfügbare Bandbreite kann in regelmäßigen oder in unregelmäßigen Abständen bestimmt werden.

**[0035]** Die oben beschriebene Ausführungsform illustriert die Schätzung der verfügbaren Bandbreite eines Datenpaketnetzwerks und stellt lediglich die Prinzipien der Erfindung dar. Außerdem sollen grundsätzlich alle vorliegend angeführten Beispiele und jegliche vorliegend verwendete Bedingungssprache ausdrücklich nur Unterweisungszwecken dienen, um den Leser in seinem Verständnis der Prinzipien der Erfindung und der vom (von den) Erfinder(n) zur Weiterentwicklung der Technik beigetragenen Konzepte zu unterstützen, und sie sollen als nicht einschränkend für solche konkret genannten Beispiele und Bedingungen interpretiert werden. Darüber hinaus sollen alle vorliegenden Aussagen zu Prinzipien, Aspekten und Ausführungsformen der Erfindung sowie zu konkreten Beispielen für die Erfindung sowohl deren strukturelle als auch funktionelle Äquivalente umfassen. Des Weiteren ist beabsichtigt, dass solche Äquivalente sowohl derzeit bekannte Äquivalente als auch zukünftig entwickelte Äquivalente umfassen, d.h. alle entwickelten Elemente, die ungeachtet der Struktur die gleiche Funktion ausführen.

**[0036]** So wird beispielsweise der Fachmann einzuschätzen wissen, dass die vorliegenden Schaubilder konzeptionelle Ansichten darstellen, die die Prinzipien der Erfindung abbilden.

**[0037]** In den nachfolgenden Ansprüchen soll jedes Element, das als ein Mittel zur Ausführung einer angegebenen Funktion ausgedrückt ist, jede beliebige Art und Weise der Ausführung dieser Funktion umfassen, einschließlich beispielsweise a) einer Kombination aus Schaltungselementen, die diese Funktion ausführt, oder b) Software jeglicher Form, die daher Firmware, Mikroprogrammierung oder dergleichen in Kombination mit geeigneten Schaltkreisen zum Ausführen dieser Software zur Ausübung dieser Funktion einschließt. Die durch diese Ansprüche definierte Erfindung liegt in der Tatsache, dass die von den verschiedenen angegebenen Mitteln bereitgestellten Funktionalitäten in der Art und Weise kombiniert und zusammengebracht werden, die die Ansprüche festlegen. Die Anmelder betrachten daher jedes Mittel, das diese Funktionalitäten bereitstellen kann, als äquivalent zu den vorliegend dargestellten Mitteln.

## Wortliste FIG.4

Englisch/ Bezugszeichen	Deutsch
Start	Start
401	Testpaketreihe aus N Datenpaketen mit bekannten Zwischenpaketintervallzeiten an der Netzwerkeingabestelle eingeben
402	Ankunftszeit jedes Datenpakets der Reihe an der Netzwerkausgabestelle messen
403	Zwischenpaketintervallzeiten in der Ausgabereihe zwischen jedem Paketpaar j und k für alle j und k berechnen
404	D(j) für jedes Paket j berechnen
405	$d(j) = D(j)/N$ für jedes Paket j berechnen
406	Abweichung V aus $\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (d(j))^2$ berechnen
407	verfügbare Bandbreite aus V schätzen
408	geschätzte verfügbare Bandbreite an Eingabe zurückmelden
End	Ende

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Schätzung der verfügbaren Bandbreite in einem Datenpaketnetzwerk (**101**), das folgende Schritte umfasst:

Ermitteln der Zwischenpaketintervalle in einer empfangenen Reihe von Datenpaketen (**105**), die mit bekannten Zwischenpaketintervallen in ein Netzwerk eingegeben wurden, gekennzeichnet dadurch, dass das Verfahren ferner umfasst:

Ermitteln einer Abweichung der Verteilung von Verweilzeiten der Datenpakete im Netzwerk in der empfangenen Reihe von Datenpaketen von den ermittelten Zwischenpaketintervallen und den bekannten Zwischenpaketintervallen und

Schätzen der verfügbaren Bandbreite des Datenpaketnetzwerkes anhand der ermittelten Abweichung, wobei das Verfahren des Ermitteln der Abweichung einer Verteilung der Verweilzeiten umfasst:

- a) Bestimmen der Differenz der Verweilzeiten für Datenpakete j für jedes Datenpaket j in der empfangenen Reihe von N Datenpaketen gegenüber allen anderen Datenpaketen in der empfangenen Reihe durch Berechnung der Summe über jedes Datenpaket k aus der Differenz zwischen dem Zwischenpaketintervall zwischen den Datenpaketen j und k und dem bekannten Zwischenpaketintervall zwischen den Datenpaketen j und k in der Reihe von Datenpaketen, die in das Netzwerk eingegeben wurden,
- b) Bestimmen der Abweichung der Verweilzeit für jedes Datenpaket j von der mittleren Verweilzeit der Datenpakete in der Reihe durch Dividieren der in Schritt a) berechneten Summe für jedes Datenpaket j durch N und
- c) Bestimmen der Abweichung von der Verteilung der Verweilzeiten aller Datenpakete in der empfangenen Reihe durch Berechnung des Mittelwertes über N aus der Summe der Quadratzahlen der Abweichungen jedes Datenpaketes j, welche in Schritt b) bestimmt wurden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Datenpaketnetzwerk das Internet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner den Schritt des Sendens der ermittelten verfügbaren Bandbreite des Datenpaketnetzwerkes an eine Eingabestelle des Netzwerkes zum Steuern des Datenpaketflusses in das Netzwerk umfasst.



4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Schätzung der verfügbaren Bandbreite anhand der ermittelten Abweichung die Berechnung des Kehrwertes der Quadratwurzel der ermittelten Abweichung umfasst.

5. Vorrichtung zur Schätzung verfügbarer Bandbreite eines Datenpaketnetzwerkes (**101**), die Folgendes umfasst:

Mittel zum Bestimmen der Zwischenpaketintervalle in einer empfangenen Reihe von Datenpaketen, die mit bekannten Zwischenpaketintervallen in das Netzwerk eingegeben wurden,

wobei die Vorrichtung ferner Folgendes umfasst:

Mittel zum Bestimmen einer Abweichung einer Verteilung von Verweilzeiten der Datenpakete im Netzwerk in der empfangenen Reihe von Datenpaketen von den ermittelten Zwischenpaketintervallen in der empfangenen Reihe und den bekannten Zwischenpaketintervallen und

Mittel zum Schätzen der verfügbaren Bandbreite des Datenpaketnetzwerkes anhand der bestimmten Abweichung,

wobei das Mittel zum Bestimmen einer Abweichung der Verweilzeiten Folgendes umfasst:

Mittel zur Berechnung der Summe über jedes Datenpaket  $k$ , für jedes Datenpaket  $j$  in der empfangenen Reihe von  $N$  Datenpaketen, der Differenz zwischen dem Zwischenpaketintervall zwischen den Datenpaketen  $j$  und  $k$  und dem bekannten Zwischenpaketintervall zwischen den Datenpaketen  $j$  und  $k$  in der Reihe von Datenpaketen, die in das Netzwerk eingegeben wurden, um die Differenz der Verweilzeiten von Datenpaket  $j$  gegenüber allen anderen Datenpaketen in der empfangenen Reihe zu bestimmen,

Mittel zum Dividieren der Summe der für jedes Datenpaket  $j$  berechneten Differenzen zwischen den Zwischenpaketintervallen in der ausgegebenen Reihe und entsprechender Intervalle in der eingegebenen Reihe durch  $N$ , um die Abweichung der Verweilzeit für jedes Datenpaket  $j$  von der mittleren Verweilzeit zu bestimmen, und

Mittel zum Bestimmen der Abweichung der Verweilzeit für alle Datenpakete in der empfangenen Reihe durch Berechnung des Mittelwerts über  $N$  der Summe der Quadratzahlen der Abweichungen, die von dem Mittel zum Dividieren für jedes Datenpaket  $j$  bestimmt wurden.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das Datenpaket-Netzwerk das Internet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, die ferner Mittel zum Senden der ermittelten verfügbaren Bandbreite des Datenpaketnetzwerkes an eine Eingabestelle des Netzwerkes zum Steuern des Datenpaketflusses in das Netzwerk umfasst.

8. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das Mittel zum Schätzen der verfügbaren Bandbreite anhand der bestimmten Abweichung den Umkehrwert der Quadratwurzel der bestimmten Abweichung berechnet.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

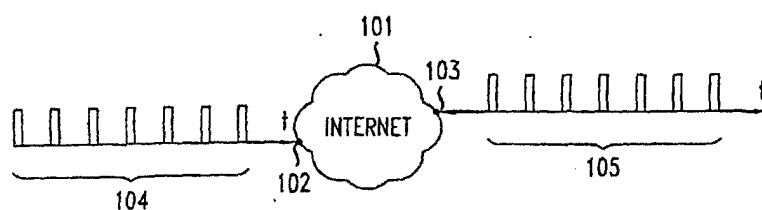


FIG. 2

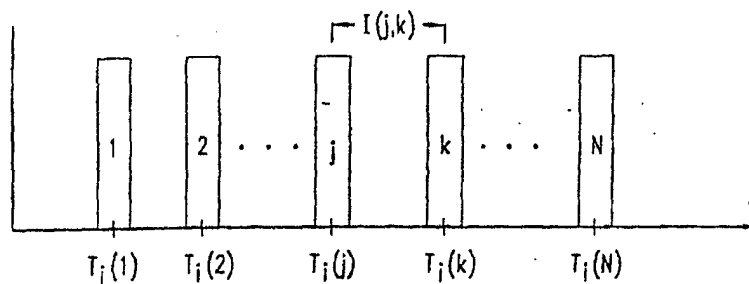


FIG. 3

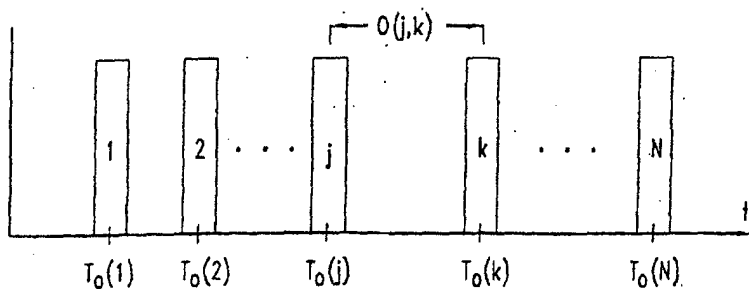


FIG. 4

