



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 31 061 T2 2007.03.08**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 083 709 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 12/56 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 31 061.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 307 410.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **29.08.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.03.2007**

(30) Unionspriorität:
393949 10.09.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(72) Erfinder:
**Ramanan, Ravita, New Providence, New Jersey
07974, US; Stoylar, Aleksandr, Basking Ridge,
New Jersey 07920, US**

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Verkehrsablaufsteuerung um die Dienstqualität in einem Kommunikationsnetzwerk zu erfüllen**

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

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Kommunikationsnetze und insbesondere Einteilungstechniken zur Steuerung des Transfers von Daten durch solche Netze.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Ein sehr wichtiges und schwieriges Problem beim Entwurf schneller Kommunikationsnetze ist das der Bereitstellung von Garantien für Dienstqualität (QoS), die gewöhnlich über Verlustwahrscheinlichkeiten oder Paketverzögerungen in dem Netz spezifiziert werden. Zum Beispiel ist die Steuerung von Paketverzögerungen häufig von entscheidender Wichtigkeit insbesondere für Echtzeitanwendungen wie etwas Videoablieferungs-systeme, drahtlose Netze, Multimedia-Netze, Anrufzentralen usw. Eine Grundentscheidung, die in solchen Kontexten getroffen werden muß, ist die der Verbindungszulassungssteuerung, d. h. man muß bestimmen, wann ein neuer Benutzer in das System zugelassen werden kann, während weiterhin die QoS-Anforderungen aller bereits in dem System befindlicher Benutzer erfüllt werden. Darüber hinaus müssen bereits in dem System befindliche Benutzer auf die effizienteste Weise eingeteilt werden, um so die Anzahl der Benutzer zu maximieren, die in das System zugelassen werden können. Leider können herkömmliche Einteilungstechniken keine angemessenen QoS-Garantien bereitstellen.

[0003] Mehrere dieser herkömmlichen Einteilungstechniken basieren auf deterministischen QoS-Garantien, im Gegensatz zu probabilistischen Garantien. Zum Beispiel wurde in L. Georgiadis, R. Guerin und A. Parekh, "Optimal multiplexing on a single link: delay and buffer requirements", IEEE Transactions on Information Theory, 43(5):1518–1535, 1997, und in J. Liebeherr, D. Wrege und D. Ferrari, "Exact admission control for networks with a bounded delay service", IEEE/ACM Transactions on Networking, 4(6):885–901, 1996, gezeigt, daß eine Einteilungstechnik des Typs frühester Termin zuerst (EDF) im Kontext der Bereitstellung deterministischer QoS-Garantien für einen einzigen Knoten eines Kommunikationsnetzes optimal ist. Eine andere bekannte Technik, EDF-koordiniert (CEDF), die in M. Andrews, L. Zhang, "Minimizing End-to-End Delay in High-Speed Networks with a Simple Coordinated Schedule", IEEE INFOCOM'99, S. 380–388, 1999, beschrieben wird, verwendet Zufälligkeit zum Aufspreizen von Paketübertragungsterminen.

[0004] Es wird im allgemeinen angenommen, daß deterministische QoS-Anforderungen wie zum Beispiel die mit den oben erwähnten herkömmlichen Einteilungstechniken assoziierten zu einer zu vorsichtigen Zulassungsrichtlinie führen können und folglich zu einer Abnahme des Systemdurchsatzes. Im Gegensatz dazu ergeben probabilistische QoS-Anforderungen gewöhnlich den sehr vorteilhaften Kompromiß, nur sehr wenig QoS gegen einen großen Kapazitätsgewinn einzuhandeln. Es werden deshalb verbesserte Einteilungstechniken benötigt, die probabilistische QoS-Anforderungen erfüllen können.

[0005] Aus Marosits T et al.: "Performance evaluation of a general traffic control framework in ATM networks", PERFORMANCE, COMPUTING AND COMMUNICATIONS CONFERENCE, 1999, IEEE INTERNATIONAL SCOTTSDALE, AZ, USA 10-12.2.1999, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 10. Februar 1999 (10.2.1999), S. 240–249, ist eine Zelleneinteilungsregel bekannt, bei der alle Gewichtungsfunktionen in jedem Zeitschlitz ausgewertet werden und die HOL-Zelle (Head of Line) des Puffers mit dem größten Gewichtungsfunktionswert zu der Ausgangsstrecke weitergeleitet wird.

[0006] Aus Taeck-Geun Kwon et al.: "Scheduling algorithm for real-time burst traffic using dynamic weighted round robin", CIRCUITS AND SYSTEMS, 1998, ISCAS '98. PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MONTEREY, CA, USA, 31.5. bis 3.6.1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 31. Mai 1998 (31.5.1998), S. 506–509, ist eine Einteilungsrichtlinie mit gewichteten fairen Warteschlangen (WFQ) bekannt.

[0007] Aus US-B-6 317 416 ist eine Einteilungsrichtlinie mit dynamischem gewichteten Reigen (DWRR) bekannt.

Kurzfassung der Erfindung

[0008] Ein Verfahren, eine Vorrichtung und ein maschinenlesbares Medium gemäß der Erfindung werden in den unabhängigen Ansprüchen definiert. Bevorzugte Formen werden in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0009] Die Erfindung liefert eine verbesserte Einteilungsrichtlinie, die hier als Einteilung des Typs der größten gewichteten Verzögerung zuerst (LWDF) bezeichnet wird und zur Erfüllung probabilistischer QoS-Anforderungen in einem Kommunikationsnetz verwendet werden kann. Gemäß der Erfindung wählt ein mit einem Knoten eines Kommunikationsnetzes assoziierter Strecken-Scheduler Pakete für die Übertragung über eine Kommunikationsstrecke des Netzes. Der Strecken-Scheduler berechnet ein Verzögerungsmaß W_i , $i = 1, 2, \dots, N$, für jedes von N Paketen, wobei jedes der N Pakete mit einem entsprechenden von N Datenflüssen assoziiert ist und sich an einer Kopfposition in einer entsprechenden von N Datenflußwarteschlangen in dem Netzwerkknoten befindet. Das Verzögerungsmaß für ein gegebenes der Pakete kann z. B. als Differenz zwischen einer aktuellen Zeit und einer Ankunftszeit des gegebenen Pakets in seiner entsprechenden Warteschlange in dem Netzwerkknoten berechnet werden. Der Strecken-Scheduler gewichtet die berechneten Verzögerungsmaße unter Verwendung einer Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ und wählt dann für die Übertragung das bestimmte Paket, mit dem die größte gewichtete Verzögerung assoziiert ist.

[0010] Bei einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung, die dafür konfiguriert ist, eine QoS-Anforderung zu erfüllen, die über eine Übertragungsterminzeit T_i und eine zulässige Terminverstoßwahrscheinlichkeit δ_i , z. B. eine durch $P(W_i > T_i) \leq \delta_i$ spezifizierte Anforderung, spezifiziert ist, können die Gewichte α_i in der Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ durch $\alpha_i = -T_i / \log \delta_i$ gegeben werden.

[0011] Vorteilhafterweise kann die Erfindung auch auf ähnliche Weise wie oben beschrieben verwendet werden, um vielfältige andere Arten probabilistischer QoS-Anforderungen zu erfüllen, darunter z. B. Anforderungen auf der Basis von Paketverlustwahrscheinlichkeiten. Es kann zum Beispiel die QoS-Garantie für ein Verzögerungsmaß in der Form der Warteschlangenlänge Q_i , $i = 1, 2, \dots, N$, und einer zulässigen Warteschlangenlängenverstoßwahrscheinlichkeit δ_i definiert werden. Bei einer solchen Ausführungsform wird die QoS-Anforderung durch $P(Q_i > H_i) \leq \delta_i$ spezifiziert, und die Gewichte α_i in der Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ können durch $\alpha_i = -H_i / \log \delta_i$ gegeben werden, wobei H_i eine obere Schranke für Länge der Warteschlange repräsentiert.

[0012] Die LWDF-Einteilung bei den oben erwähnten beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist insofern optimal, als sie die asymptotische Rate des Abklingens der Enden einer stationären maximal gewichteten Verzögerung oder Warteschlangenlänge innerhalb einer allgemeinen Klasse von Einteilungsrichtlinien maximiert. Immer dann, wenn es machbar ist, spezifizierte QoS-Einschränkungen zu erfüllen, würde man somit erwarten, daß LWDF dies leisten würde. Falls es jedoch nicht durchführbar ist, verstößt die LWDF-Einteilungsrichtlinie der beispielhaften Ausführungsform jedoch höchstwahrscheinlich gegen die QoS-Einschränkungen der meisten Benutzer. Dies hat signifikante Auswirkungen für die Flußzulassungssteuerung. Es ist höchst wichtig, daß LWDF bei der beispielhaften Ausführungsform es einem ermöglicht, in Echtzeit die Nichtmachbarkeit der Erfüllung von QoS-Anforderungen zu erkennen. Auch wenn die QoS-Einschränkungen nicht machbar sind, hat LWDF bei der beispielhaften Ausführungsform zusätzlich die Eigenschaft von Fairneß insofern, als es versucht, für alle Benutzer das Verhältnis des Logarithmus der tatsächlichen Verstoßwahrscheinlichkeit zu dem Logarithmus der gewünschten Wahrscheinlichkeit auszugleichen.

[0013] Die LWDF-Einteilung der Erfindung liefert mehrere andere Vorteile. Zum Beispiel ist die Form des Algorithmus gegenüber Änderungen in stochastischen Eingangsflußmodellen invariant. Zusätzlich eignet sie sich für die Verwendung in vielfältigen Kommunikationsnetzanwendungen, einschließlich drahtlose Netzwerke, schnelle Multimedia-Netzwerke, Anrufzentralen usw.

[0014] Die Einteilungstechniken der vorliegenden Erfindung können mindestens teilweise in Form eines oder mehrerer Softwareprogramme implementiert werden, die auf einem Computer oder einer anderen Art von programmierbarem digitalen Prozessor ablaufen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] [Fig. 1](#) zeigt eine beispielhafte Ausführungsform der Erfindung, so wie sie in einem Teil eines Kommunikationsnetzes implementiert wird.

[0016] [Fig. 2](#) ist ein Flußdiagramm der Funktionsweise eines Strecken-Schedulers bei der beispielhaften Ausführungsform von [Fig. 1](#).

[0017] [Fig. 3](#) zeigt ein Blockschaltbild eines beispielhaften Kommunikationsnetzes, in dem die Erfindung implementiert werden kann.

[0018] Die vorliegende Erfindung wird im folgenden in Verbindung mit beispielhaften Einteilungstechniken dargestellt, die in einem SteckenScheduler implementiert werden, der mit einem bestimmten Knoten eines Kommunikationsnetzes assoziiert ist. Es versteht sich jedoch, daß die Erfindung nicht auf die Verwendung mit irgendeiner bestimmten Art von Kommunikationsnetzeinrichtung oder Netzwerkkonfiguration beschränkt ist. Die offengelegten Techniken eignen sich für die Verwendung mit vielfältigen anderen Systemen und zahlreichen alternativen Anwendungen. Der Begriff "Paket" soll hier eine beliebige Gruppierung oder andere Anordnung von Daten umfassen, die sich für die Übertragung über eine Kommunikationsnetzstrecke eignet. Gemäß dieser Definition kann ein gegebenes "Paket" deshalb nur ein einziges Bit umfassen. Der Begriff "Verzögerungsmaß" soll hier nicht nur auf Zeit basierende Maße umfassen, sondern auch andere Arten von Maßen, die Verzögerung anzeigen, wie zum Beispiel Warteschlangenlängenmaße.

[0019] Eine beispielhafte Ausführungsform der Erfindung teilt Klassen heterogener Benutzer in einem Kommunikationsnetz optimal ein, um geforderte QoS-Anforderungen für jede Klasse zu erfüllen, die über einen Termin T_i und eine zulässige Verstoßwahrscheinlichkeit δ_i spezifiziert werden. Unter der Annahme, daß es N Klassen von Benutzern gibt und W_i eine Verzögerung ist, die mit einem Paket der i -ten Klasse assoziiert ist, liefert genauer gesagt die beispielhafte Ausführungsform dann eine optimale Einteilungsrichtlinie, die den gegebenen QoS-Einschränkungen genügt:

$$P(W_i > T_i) \leq \delta_i \text{ für } i = 1, \dots, N \quad (1)$$

[0020] Dies kann alternativ als eine optimale Einteilungsrichtlinie ausgedrückt werden, die die folgende Größe maximiert:

$$\min_{i=1, \dots, N} \frac{\log P(W_i > T_i)}{\log \delta_i} \quad (2)$$

[0021] Wie später ausführlicher beschrieben werden wird, kann die Durchführbarkeit der QoS-Einschränkungen dann durch Analyse der Leistungsfähigkeit dieser optimalen Richtlinie bestimmt werden.

[0022] [Fig. 1](#) zeigt eine beispielhafte Ausführungsform der Erfindung, so wie sie in einem Knoten **10** eines Kommunikationsnetzes implementiert wird. Der Knoten **10**, der auch als Knoten A bezeichnet wird, empfängt eine Menge von Eingangsdatenflüssen **11** z. B. von anderen Knoten oder Informationsquellen des Netzes. Der Knoten **10** kommuniziert mit einem anderen Knoten **12**, der auch als Knoten B bezeichnet wird, über die Kommunikationsstrecke **14** von A \rightarrow B. Die Knoten **10**, **12** und die Kommunikationsstrecke **14** repräsentieren Teile des Kommunikationsnetzes, z. B. können die Knoten **10**, **12** Computer oder andere Arten von digitalen Datenverarbeitungseinrichtungen repräsentieren, und die Strecke **14** kann ein auf Paketen basierendes Übertragungsmedium repräsentieren, über das die Knoten kommunizieren.

[0023] Der in [Fig. 1](#) gezeigte Knoten **10** weist N Eingangsdatenflüsse auf, die jeweils mit einer entsprechenden Klasse von Benutzern assoziiert und an eine entsprechende Paketwarteschlange **15-1**, **15-2**, ... **15-N** in dem Knoten **10** angelegt werden. Es wird ohne Einschränkung angenommen, daß bei der beispielhaften Ausführungsform jeder Datenfluß stationäre Inkremente aufweist und einem Stichprobenweg-Großabweichungsprinzip (LDP – large deviation principle) genügt. LDP-Techniken werden ausführlicher z. B. in A. Dembo und O. Zeitouni, "Large Deviations Techniques and Applications", 2. Aufl., Springer, 1998, und in A. Shwartz und A. Weiss, "Large Deviations for Performance Analysis: Queues, Communication and Computing", Chapman and Hall, New York, 1995, beschrieben. Es sollte betont werden, daß die Erfindung diese konkreten Annahmen nicht erfordert, d. h. es können Ausführungsformen der Erfindung konstruiert werden, für die die obigen Annahmen und andere hier erwähnte Annahmen nicht gelten.

[0024] Der Knoten **10** enthält ferner einen Strecken-Scheduler **16**, der Pakete aus den Warteschlangen **15-1**, **15-2**, ... **15-N** zur Übertragung über die Strecke **14** abrufft. Gemäß der Erfindung implementiert der Strecken-Scheduler **16** eine Einteilungsrichtlinie des Typs LWDF (Largest Weighted Delay First) auf der Basis einer Menge positiver Gewichte $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$. Allgemein ausgedrückt ist die mit dem Vektor α assoziierte LWDF-Einteilungsrichtlinie eine nichtpräemptive Richtlinie, die für die Übertragung immer die Benutzerklasse wählt, für die z. B. die Größe W_i/α_i maximal ist, wobei W_i die Verzögerung ist, die das Paket am Kopf der Warteschlange der Benutzerklasse i erfährt, d. h. die Verzögerung, die das Paket am Kopf der Warteschlange **15** – i im Knoten **10** erfährt. Wenn alle Benutzerklassen i dieselben QoS-Anforderungen aufweisen, reduziert sich die LWDF-Richtlinie auf eine wohlbekanntere herkömmliche FIFO-Richtlinie (first-in, first-out). Vorteilhafterweise ist die Form des Einteilungsalgorithmus bei dieser beispielhaften Ausführungsform gegenüber Änderungen im

stochastischen Eingangsflußmodellen invariant.

[0025] Unter den oben erwähnten Annahmen, daß die Eingangsflüsse stationäre Inkremente aufweisen und einem Stichprobenweg-LDP genügen und mit der weiteren Annahme, daß das System stabil ist, kann gezeigt werden, daß die LWDF-Richtlinie der vorliegenden Erfindung insofern asymptotisch optimal ist, als sie innerhalb einer großen Klasse sogenannter Arbeitserhaltungsrichtlinien die folgende Größe maximiert:

$$\min_{i=1, \dots, N} \left[\alpha_i \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-1}{n} \log P(W_i > N) \right] \quad (3)$$

[0026] Das obige Kriterium kann wieder zurück auf die ursprüngliche QoS-Anforderung (2) bezogen werden, indem man den LWDF-Gewichtsvektor α so wählt, daß für $\alpha_i = -T_i / \log \delta_i$ für $i = 1, \dots, N$ gilt. Das obige Optimalitätsergebnis zeigt dann, daß die LWDF-Richtlinie der Erfindung, die diesem Vektor α entspricht, die obige Größe (2) innerhalb einer großen Klasse von Einteilungsrichtlinien im Grenzfall für groß werdende Termine T_i und klein werdende annehmbare Verstoßwahrscheinlichkeiten δ_i maximiert. Anders ausgedrückt, wird, wenn es überhaupt durchführbar ist, die asymptotischen QoS-Einschränkungen (3) zu erfüllen, dies von der LWDF-Richtlinie der Erfindung erreicht. Um dieses Optimalitätsergebnis zu beweisen, kann man folgendes zeigen:

$$\min_{i=1, \dots, N} \left[\alpha_i \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-1}{n} \log P(W_i > n) \right] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-1}{n} \log P \left(\max_{i=1, \dots, N} \frac{W_i}{\alpha_i} > n \right) \quad (4)$$

[0027] Das Problem der Maximierung von (3) wird somit auf die Maximierung der Größe auf der rechten Seite von dem obigen Ausdruck (4) reduziert, der unter Verwendung von Großabweichungstechniken, wie zum Beispiel denen in den oben angeführten LDP-Literaturstellen beschriebenen, analysiert werden kann. Wenn man die maximale stationäre gewichtete Verzögerung folgendermaßen definiert:

$$\hat{r} = \max_{i=1, \dots, N} W_i / \alpha_i,$$

kann ein LDP für die Sequenz skaliert maximaler gewichteter Verzögerungen abgeleitet werden. Insbesondere kann die Größe (3) unter der LWDF-Einteilungsrichtlinie durch ein endlich dimensionales Variationsproblem charakterisiert werden. Darüber hinaus kann man für jede Sequenz skaliert stationärer Verzögerungen W_i unter der LWDF-Einteilungsrichtlinie ein LDP erhalten und die assoziierten Ratenfunktionen können über endlich dimensionale Variationsprobleme charakterisiert werden. Es sollte jedoch angemerkt werden, daß die Erfindung unter Verwendung anderer Arten von Gewichten, d. h. anderen Gewichten als das oben angegebene konkrete Beispiel für α_i , implementiert werden kann.

[0028] [Fig. 2](#) ist ein Flußdiagramm, das darstellt, wie die oben beschriebene LWDF-Einteilungsrichtlinie in dem Strecken-Scheduler **16** von [Fig. 1](#) implementiert werden kann. Im Schritt **20** kommt ein neues Paket an dem Knoten **10** an. Das Paket wird auf der Basis seiner Ankunftszeit an dem Knoten mit einem Zeitstempel versehen, wie im Schritt **22** gezeigt. Im Schritt **24** wird dann bestimmt, ob sich der Strecken-Scheduler **16** in einem "Wartezustand" befindet, d. h. in einem Zustand, in dem der Scheduler auf die Ankunft eines neuen Pakets wartet. Wenn sich der Scheduler nicht in diesem Zustand befindet, wird nichts unternommen, wie durch Schritt **26** angegeben. Wenn sich der Scheduler im Wartezustand befindet, wird im Schritt **28** bestimmt, ob Pakete auf Übertragung warten. Wenn keine Pakete auf Übertragung warten, wartet der Scheduler im Schritt **30** auf die Ankunft eines neuen Pakets und tritt in den Wartezustand ein.

[0029] Wenn Pakete auf Übertragung warten, berechnet der Scheduler im Schritt **32** die Verzögerung W_i für jeden Datenfluß i , $i = 1, 2, \dots, N$. Diese Verzögerung kann für einen gegebenen Datenfluß berechnet werden, indem man z. B. die aktuelle Zeit nimmt und die Ankunftszeit des Pakets am Kopf der entsprechenden Warteschlange **15-1** subtrahiert. Wenn eine gegebene Warteschlange keine Pakete enthält, könnte sie automatisch aus der Berücksichtigung herausgenommen werden, oder ihr W_i -Wert könnte auf null gesetzt werden. Im Schritt **34** bestimmt der Scheduler dann j , mit $j = 1, 2, \dots, N$, dergestalt, daß der Wert W_j/α_j unter allen W_i/α_i für $i = 1, 2, \dots, N$ maximal ist, wobei α_i durch $\alpha_i = -T_i/\log \delta_i$ gegeben wird, wie zuvor beschrieben. Der Scheduler **16** sendet dann das Paket am Kopf der j -ten Warteschlange, d. h. das Paket an erster Stelle in der Warteschlange **15-j**. Der Prozeß der Schritte **32**, **34** und **36** wird solange wiederholt, wie Pakete auf Übertragung warten. Wenn zwei oder mehr j -Werte im Schritt **34** dasselbe Ergebnis erzielen, kann ein bestimmter der j -Werte willkürlich gewählt werden, z. B. kann der größte der mehreren j -Werte gewählt werden, die das maximale W_j/α_j produ-

zieren.

[0030] [Fig. 3](#) zeigt einen Teil eines beispielhaften Kommunikationssystems **100**, in dem die oben beschriebene LWDF-Einteilungsrichtlinie implementiert werden kann. Das System **100** enthält mehrere Knoten **102**, die über ein Netzwerk **104** kommunizieren. Das Netzwerk **104** kann selbst aus mehreren verbundenen Knoten bestehen und kann z. B. das Internet, ein drahtloses Netzwerk, ein lokales Netzwerk, ein großflächiges Netzwerk, ein Intranet, ein Extranet, ein Fernsprech-, Kabel- oder Satellitennetzwerk sowie Kombinationen oder Teile dieser und anderer Netzwerke repräsentieren. Ein gegebener der Knoten **102**, der als Knoten A bezeichnet wird, entspricht im allgemeinen dem Knoten A der Konfiguration von [Fig. 1](#). Der Knoten A enthält in diesem Beispiel einen Prozessor **110** und einen Speicher **112**.

[0031] Der Prozessor **110** kann z. B. einen Mikroprozessor, einen Computer, eine Zentralverarbeitungseinheit (CPU), eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) sowie Teile oder Kombinationen dieser und anderer geeigneter Verarbeitungseinrichtungen repräsentieren. Der Speicher **112** kann z. B. einen elektronischen Speicher, einen Speicher auf der Basis eines magnetischen oder optischen Datenträgers, sowie Teile oder Kombinationen dieser und anderer Speichereinrichtungen repräsentieren. Zum Beispiel kann der Speicher **112** einen Speicher repräsentieren, der auf einer gemeinsamen integrierten Schaltung mit dem Prozessor **110** assoziiert ist, oder einen separaten elektronischen Speicher, der mit dem Prozessor **110** in einem Computer oder in eine andere Einheit integriert ist und zur Implementierung der Warteschlangen **15-i** von [Fig. 1](#) verwendet werden kann. Der Strecken-Scheduler **16** von [Fig. 1](#) kann ganz oder teilweise in Form eines oder mehrerer Softwareprogramme implementiert werden, die in dem Speicher **112** gespeichert und durch den Prozessor **110** ausgeführt werden.

[0032] Der LWDF-Ansatz bei der oben beschriebenen beispielhaften Ausführungsform der Erfindung ist insofern optimal, als er die asymptotische Abklingrate der Enden der stationären maximalen gewichteten Verzögerung innerhalb einer allgemeinen Klasse von Einteilungsrichtlinien maximiert. Für große Verzögerungen und kleine zulässige Verstoßwahrscheinlichkeiten ist die LWDF-Richtlinie mit Gewichten $\alpha_i = -T_i / \log \delta_i$ eine nahezu optimale Richtlinie zur Verwendung, um die durch (1) gegebenen QoS-Einschränkungen zu erfüllen. Immer wenn es durchführbar ist, diese Einschränkungen zu erfüllen, würde man also erwarten, daß LWDF dies erreichen würde. Falls es nicht durchführbar ist, verstößt die LWDF-Richtlinie jedoch höchstwahrscheinlich gegen die QoS-Einschränkungen der meisten Benutzer. Dies hat signifikante Implikationen für die Flußzulassungssteuerung. Insbesondere ermöglicht es LWDF, in Echtzeit die Undurchführbarkeit der Erfüllung von QoS-Anforderungen zu erkennen. Auch wenn die QoS-Einschränkungen undurchführbar sind, hat zusätzlich LWDF die Eigenschaft von Fairneß insofern, als sie versucht, für alle Benutzer das Verhältnis des Logarithmus der tatsächlichen Verstoßwahrscheinlichkeit zu dem Logarithmus der gewünschten Wahrscheinlichkeit auszugleichen. Dieser Begriff der Fairneß kann jedoch bei einer bestimmten Anwendung wünschenswert sein oder auch nicht. Zum Beispiel kann es bei bestimmten Anwendungen vorzuziehen sein, die Durchführbarkeit von so vielen Benutzern wie möglich aufrechtzuerhalten, auf Kosten des Rests. Bei solchen Anwendungen würde man möglicherweise gerne die LWDF der Erfindung nur für eine Teilmenge von Flüssen benutzen, während anderen Flüssen eine niedrigere Priorität gegeben wird.

[0033] Die LWDF-Einteilung der Erfindung liefert mehrere andere Vorteile. Zum Beispiel ist sie gegenüber Änderungen in stochastischen Eingangsflußmodellen invariant. Zusätzlich eignet sie sich für die Verwendung in vielfältigen Kommunikationsnetzanwendungen, darunter drahtlose Netzwerke, schnelle Multimedia-Netzwerke, Anrufzentralen usw.

[0034] Es sollte beachtet werden, daß die oben beschriebenen Ergebnisse stationäre Verzögerungen betreffen, anstatt stationäre Wartezeiten einzelner Benutzer. Dennoch würde man erwarten, daß die Asymptotik der Enden stationärer Verteilungen von beiden dieser Prozesse typischerweise zusammenfällt. Es wird deshalb angenommen, daß man für stationäre Wartezeiten ähnliche Ergebnisse erhalten würde.

[0035] Die oben beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung sollen lediglich eine Veranschaulichung sein. Zum Beispiel kann die Erfindung in vielfältigen verschiedenen Datenverarbeitungseinrichtungen unter Verwendung von Software, Hardware oder Kombinationen von Software und Hardware implementiert werden. Außerdem kann man andere Arten von Verzögerungsmaßen und Gewichten zur Implementierung der LWDF-Einteilungsrichtlinie verwenden. Darüber hinaus kann die Erfindung in Verbindung mit anderen Arten von QoS-Garantien verwendet werden, darunter z. B. Garantien auf der Basis von Paketverlustwahrscheinlichkeit. Zum Beispiel kann man die QoS-Garantie für ein Verzögerungsmaß in der Form der Warteschlangenlänge Q_i , $i = 1, 2, \dots, N$, und einer zulässigen Warteschlangenlängen-Verstoßwahrscheinlichkeit δ_i definieren. Bei einer solchen Ausführungsform wird die QoS-Anforderung durch $P(Q_i > H_i) \leq \delta_i$ spezifiziert und die Gewichte α_i in der

Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ können durch $\alpha_i = -H_i/\log \delta_i$ gegeben werden, wobei H_i eine obere Schranke für Länge der Warteschlange repräsentiert. Diese und zahlreiche andere alternative Ausführungsformen können von Fachleuten konzipiert werden, ohne vom Schutzzumfang der folgenden Ansprüche abzuweichen.

Patentansprüche

1. Prozessorimplementiertes Verfahren zur Einteilung von Datenpaketen für die Übertragung über eine Kommunikationsstrecke (14) in einem Netzwerk, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
Berechnen von Verzögerungsmaßen für mehrere Pakete, einschließlich mindestens eines Pakets aus jeder von mehreren Warteschlangen (15); und
Auswählen eines gegebenen der mehreren Pakete für die Übertragung auf der mindestens teilweisen Basis eines Vergleichs gewichteter Versionen der berechneten Verzögerungsmaße dergestalt, daß das ausgewählte Paket das Paket ist, mit dem die größte gewichtete Verzögerung assoziiert ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Berechnens von Verzögerungsmaßen für mehrere Pakete das Berechnen des Verzögerungsmaßes für ein gegebenes der Pakete als eine Differenz zwischen einer aktuellen Zeit und einer Ankunftszeit des gegebenen Pakets in einem Knoten des Kommunikationsnetzes umfaßt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die mehreren Pakete N Pakete umfassen, die jeweils mit einem entsprechenden von N Datenflüssen assoziiert sind und sich an einer Kopfposition in einer entsprechenden von N Warteschlangen befinden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Auswahlschritt das Auswählen eines Pakets aus einer Kopfposition einer j-ten der N Warteschlangen dergestalt umfaßt, daß eine Funktion eines gegebenen Gewichts α_j und eines gegebenen Verzögerungsmaßes W_j unter allen solchen Funktionen für $j = 1, 2, \dots, N$, maximal ist, wobei α_j eines einer Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Funktion des gegebenen Gewichts und des gegebenen Verzögerungsmaßes W_j/α_j ist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Schritte des Berechnens und Auswählens dafür konfiguriert sind, eine Dienstqualitätsanforderung zu erfüllen, die im Hinblick auf einen Termin T_i und eine zulässige Terminverletzungswahrscheinlichkeit δ_i spezifiziert ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei jedes der Gewichte α_i in der Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ durch $\alpha_i = -T_i/\log \delta_i$ gegeben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Dienstqualitätsanforderung folgendermaßen spezifiziert wird:

$$P(W_i > T_i) \leq \delta_i \text{ für } i = 1, \dots, N.$$

9. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Auswahlschritt das Auswählen eines Pakets von einer Kopfposition einer j-ten der N Warteschlangen dergestalt umfaßt, daß eine Funktion eines gegebenen Gewichts α_j und eines gegebenen Verzögerungsmaßes Q_j unter allen solchen Funktionen für $j = 1, 2, \dots, N$ maximal ist, wobei α_j eines einer Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ und Q_j eine Warteschlangenmenge der j-ten Warteschlange ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Funktion des gegebenen Gewichts und des gegebenen Verzögerungsmaßes Q_j/α_j ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Schritte des Berechnens und Auswählens dafür konfiguriert sind, daß eine Dienstqualitätsanforderung erfüllt wird, die im Hinblick auf eine maximale Warteschlangenlänge H_i und eine zulässige Warteschlangenlängenverletzungswahrscheinlichkeit δ_i spezifiziert ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei jedes der Gewichte α_i in der Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ durch $\alpha_i = -H_i/\log \delta_i$ gegeben wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Dienstqualitätsanforderung folgendermaßen spezifiziert wird:

$$P(Q_i > H_i) \leq \delta_i \text{ für } i = 1, \dots, N.$$

14. Vorrichtung zur Verwendung beim Einteilen von Datenpaketen für die Übertragung über eine Kommunikationsstrecke in einem Netzwerk, gekennzeichnet durch:

eine Menge von Warteschlangen (**15**), wobei jede von mindestens einer Teilmenge der Warteschlangen mindestens ein Paket enthält; und

einen Strecken-Scheduler (**16**) mit an entsprechende Ausgänge der Warteschlangen angekoppelten Eingängen, wobei der Strecken-Scheduler wirkt, um Verzögerungsmaße für mehrere Pakete, einschließlich mindestens eines Pakets aus jeder der mindestens einen Teilmenge der Warteschlangen zu berechnen und ein gegebenes der mehreren Pakete für die Übertragung auf der mindestens teilweisen Basis eines Vergleichs gewichteter Versionen der berechneten Verzögerungsmaße dergestalt auszuwählen, daß das ausgewählte Paket das Paket ist, mit dem die größte gewichtete Verzögerung assoziiert ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei der Strecken-Scheduler ferner wirkt, um Verzögerungsmaße für mehrere Pakete zu berechnen, einschließlich der Berechnung des Verzögerungsmaßes für ein gegebenes der Pakete als eine Differenz zwischen einer aktuellen Zeit und einer Ankunftszeit des gegebenen Pakets in einem Knoten des Kommunikationsnetzes.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die mehreren Pakete N Pakete umfassen, die jeweils mit einem entsprechenden von N Datenflüssen assoziiert sind und sich an einer Kopfposition in einer entsprechenden von N Warteschlangen befinden.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei der Strecken-Scheduler ferner wirkt, um ein Paket aus einer Kopfposition einer j-ten der N Warteschlangen dergestalt auszuwählen, daß eine Funktion eines gegebenen Gewichts α_j und eines gegebenen Verzögerungsmaßes W_j unter allen solchen Funktionen für $j = 1, 2, \dots, N$, maximal ist, wobei α_j eines einer Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei die Funktion des gegebenen Gewichts und des gegebenen Verzögerungsmaßes W_j/α_j ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der Strecken-Scheduler dafür konfiguriert ist, eine Dienstqualitätsanforderung zu erfüllen, die im Hinblick auf einen Termin T_i und eine zulässige Terminverletzungswahrscheinlichkeit δ_i spezifiziert ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei jedes der Gewichte α_i in der Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ durch $\alpha_i = -T_i/\log \delta_i$ gegeben wird.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei die Dienstqualitätsanforderung folgendermaßen spezifiziert wird:

$$P(W_i > T_i) \leq \delta_i \text{ für } i = 1, \dots, N.$$

22. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei der Strecken-Scheduler ferner wirkt, um ein Paket aus einer Kopfposition einer j-ten der N Warteschlangen dergestalt auszuwählen, daß eine Funktion eines gegebenen Gewichts α_j und eines gegebenen Verzögerungsmaßes Q_j unter allen solchen Funktion für $j = 1, 2, \dots, N$ maximal ist, wobei α_j eines einer Menge von positiven Gewichten $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ und Q_j eine Warteschlangenmenge der j-ten Warteschlange ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei die Funktion des gegebenen Gewichts und des gegebenen Verzögerungsmaßes Q_j/α_j ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei der Strecken-Scheduler dafür konfiguriert ist, daß eine Dienstqualitätsanforderung erfüllt wird, die im Hinblick auf eine maximale Warteschlangenlänge H_i und eine zulässige Warteschlangenlängenverletzungswahrscheinlichkeit δ_i spezifiziert ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei jedes der Gewichte α_i in der Menge positiver Gewichte $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ durch $\alpha_i = -H_i/\log \delta_i$ gegeben wird.

26. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei die Dienstqualitätsanforderung folgendermaßen spezifiziert wird:

$$P(Q_i > H_i) \leq \delta_i \text{ für } i = 1, \dots, N.$$

27. Vorrichtung nach Anspruch 14, umfassend:

einen Speicher (**112**) zum Implementieren der Menge von Warteschlangen; und
einen Prozessor (**110**), der an den Speicher angekoppelt ist und wirkt, um den Strecken-Scheduler zu implementieren.

28. Maschinenlesbares Medium, das ein oder mehrere Softwareprogramme zum Einteilen von Datenpaketen für die Übertragung über eine Kommunikationsstrecke (**14**) in einem Netzwerk speichert, dadurch gekennzeichnet, daß das eine bzw. die mehreren Programme, wenn sie durch einen Prozessor (**110**) ausgeführt werden, folgendes umfaßt bzw. umfassen:

einen Schritt zum Berechnen von Verzögerungsmaßen für mehrere Pakete, einschließlich mindestens eines Pakets aus jeder von mehreren Warteschlangen (**15**); und

einen Schritt zum Auswählen eines gegebenen der mehreren Pakete für die Übertragung auf der mindestens teilweisen Basis eines Vergleichs gewichteter Versionen der berechneten Verzögerungsmaße dergestalt, daß das ausgewählte Paket das Paket ist, mit dem die größte gewichtete Verzögerung assoziiert ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

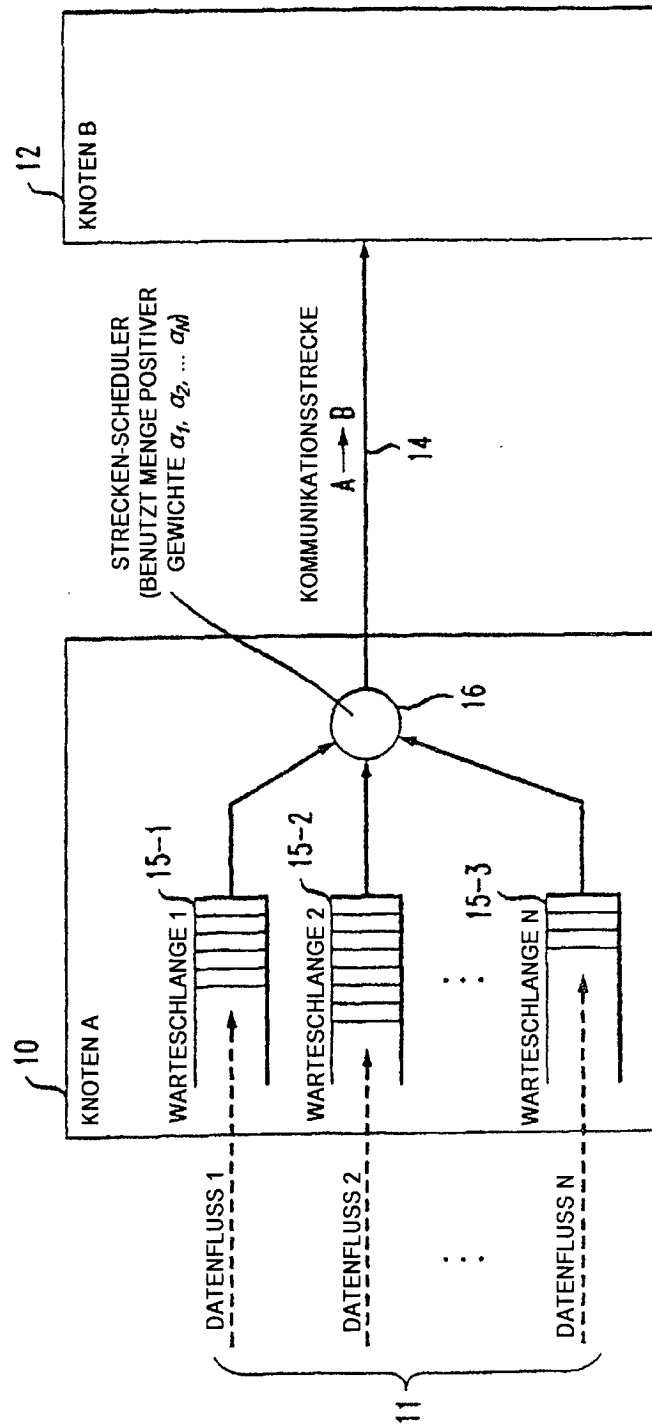


FIG. 2

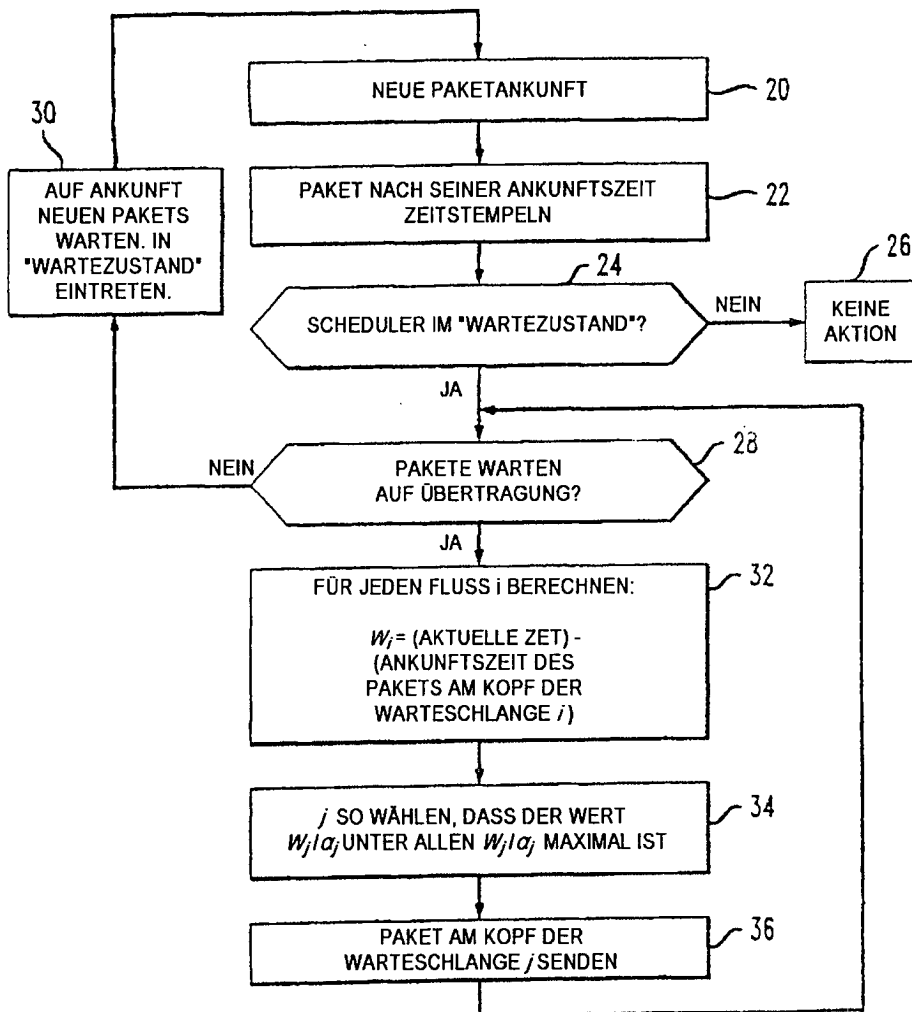


FIG. 3

