



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 23 019 T2** 2006.03.23

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 228 595 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 23 019.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IL00/00684**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 971 680.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/031833**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.10.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **03.05.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.08.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.10.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 1/16** (2006.01)
H04L 12/56 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

429035 **29.10.1999** **US**

(73) Patentinhaber:

ECI Telecom Ltd., Petach Tikva, IL

(74) Vertreter:

**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

KIDAMBI, Kalyan, Ashburn, US

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND SYSTEM ZUR ABLÖSUNG ODER REGENERATION VON QUITTIERUNGSPAKETEN IN ADSL KOMMUNIKATIONEN**

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 Verfahren und ein System zum Übertragen von Datenpaketen über eine asymmetrische digitale Anschlussleitung. Im Besonderen betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren und ein System zum Verwerfen bzw. Ablösen und Wiederherstellen bzw. Regenerieren von TCP ("transmission control protocol"; Übermittlungssteuerprotokoll)-Quittierungspaketen, welche über eine asymmetrische digitale Anschlussleitung ("asymmetrical digital subscriber line"; ADSL) übertragen werden, um die Datenübertragungsrate zu erhöhen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Die DSL ("digital subscriber line"; digitale Anschlussleitung)-Technologie wurde zur Verwendung als ein Übertragungsmedium für den ISDN ("Integrated Services Digital Network")-Basisanschluss-Zugangskanal entwickelt. Asymmetrisches DSL (ADSL) bietet eine Vielzahl von Internet-Zugangsgeschwindigkeiten über ein einzelnes verdrehtes Leitungspaar an. Daher hält ADSL das höchste Potential innerhalb der DSL-Familie, um in der nächsten Zeit preiswerten Breitbandzugang für Heime und Büros anzubieten. Zur Zeit liegt die Hauptanwendung für ADSL im Internetverkehr, welcher TCP verwendet. Ein sehr hoher Prozentsatz des Internetverkehrs ist TCP, weil dieses über eine weite Zahl von Umgebungen robust ist.

[0003] ADSL stellt eine bedeutende Erhöhung der Bandbreite (bzw. -weite) im Vergleich zu bestehenden Kupferleitungen bereit, welche die herkömmlichen Duplex-POTS-("plain old Telephone service"; Telefon) Kanäle verwenden, und welche das Frequenzband zwischen 300 Hz und 4 kHz nutzen. ADSL stellt einen vorwärts gerichteten Übertragungskanal von 1,5–8 Mbps bereit, welcher das Frequenzband von 100 kHz bis 500 kHz belegt, und einen rückwärts gerichteten Übertragungskanal von 64–786 Kbps, welcher das Frequenzband von 1 kHz bis 50 kHz belegt. ADSL hat eher eine Bandbreitenasymmetrie als eine Latenzzeitasymmetrie, da die Ausbreitungsverzögerung ziemlich vernachlässigbar ist. Eine ADSL-Leitung wird von dem Teilnehmer exklusiv verwendet, und zwar ohne Konkurrenz für Bandweite in der lokalen Teilnehmeranschlussleitung.

[0004] Die asymmetrische Natur von ADSL beeinflusst die Leistungsfähigkeit von TCP negativ, weil der TCP-Durchsatz durch den Fluss der Quittierungen (als "ACK-Stempel" bezeichnet) geregelt und begrenzt ist, welcher durch den Empfänger als Antwort auf die empfangenen Datenpakete erzeugt wird. Insbesondere ist eine gleichmäßige TCP-Datenübertragung davon abhängig, dass die Quittierungspakete ("Acknowledgement packets"; ACKs) den ganzen Weg zurück zum Sender den gleichen Zeitabstand aufweisen. Sobald die ACKs den Sender erreichen, werden die Datenpakete dann mit dem gleichen Zeitabstand ausgestempelt. Beim ADSL beeinflusst die Bandweitenasymmetrie die Leistungsfähigkeit des TCP, weil es auf der rechtzeitigen Rückmeldung vom Empfänger angewiesen ist, um einen gleichmäßigen Fortschritt zu machen und die verfügbare Bandbreite in Vorwärtsrichtung voll auszunutzen. Daher beeinträchtigt jede Unterbrechung im Rückmeldungsvorgang die Leistungsfähigkeit der Datenübertragung in Vorwärtsrichtung. Weiterhin könnte ein Quittierungspfad mit geringer Bandbreite das Anwachsen des TCP-Fensters auf der Senderseite signifikant verlangsamen und die Datenübertragungsgeschwindigkeiten unabhängig von der Verbindungsrate machen.

[0005] Wie in "Window-based Error Recovery and Flow Control With a Slow Acknowledgement Channel: A Study of TCP/IP Performance", Proceedings of INFOCOM 1997, April 1997 von T. V. Lakshman et al. (Lakshman) diskutiert, kann der Einfluss der Asymmetrie auf die TCP/IP-Leistung durch eine Kennziffer gekennzeichnet werden, welche das normalisierte Bandbreitenverhältnis (k) genannt wird, welche das Verhältnis der originären Bandbreiten in beiden Richtungen zum Verhältnis der Paketgrößen in beiden Richtungen ist. Wenn k größer als 1 ist, wird der TCP-Durchsatz an dem Vorwärtskanal auf ein Maximum von $(\text{Vorwärtskanal-Bandbreite})/k$ beschränkt. In anderen Worten, falls der rückwärts gerichtete Kanal bei k Quittierungen pro Sekunde ohne jegliche Quittierungsunterdrückung gesättigt ist, kann der vorwärts gerichtete Kanal mit einer Rate von k Paketen pro Sekunde senden (falls das Fenster konstant ist), oder sonst sind es zwei k Pakete pro Sekunde (unter der Annahme, dass zwei Pakete für jedes ACK gesendet werden). Dies kann auf ein Modell verallgemeinert werden, welches das AMP-Modell genannt wird, und welches dazu verwendet werden kann, die Beobachtung sowohl von unidirektionalen als auch von bidirektionalen Übertragungen durchzuführen. Andere Faktoren wie bidirektionaler Verkehr (z.B. Herunterladen einer Website, während eine E-Mail gesendet wird) oder ein Protokoll-Overhead (z.B. PPPoE = "PPP over Ethernet", PPTP, L2TP, ATM, usw.) werden k erhöhen und das Asymmetrieproblem weiter verschärfen.

[0006] Es wurde in "The Effects of Asymmetry on TCP Performance", ACM Mobile Networks and Application

Journal, von Balakrishnan et al. (zu veröffentlichen) und in US 5,793,768 (Keshav) gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit durch zwei wichtige Änderungen erheblich verbessert werden kann: durch einfaches Unterdrücken von Quittierungen auf dem rückwärts gerichteten Kanal (ACK-Filterung) und ihre Wiederherstellung, nachdem die rückwärts gerichtete Verbindung durchquert worden ist (ACK-Wiederherstellung). Balakrishnan et al. wenden die gleichen Techniken auch auf Adresstypen von anderer Asymmetrie als der Bandbreitenasymmetrie an, einschließlich einer Asymmetrie in der Verzögerung, den Verlustraten usw. Diese Techniken können als "ACK-Regulierungstechniken" klassifiziert werden, da sie sehr unterschiedlich von Mechanismen wie dem RED („Random Early Drop“)-Mechanismus sind, weil letzterer dazu ausgelegt ist, Pakete, nicht ACKs, herauszunehmen, und welcher dazu verwendet wird, dem TCP eine Blockierung bzw. Überlastung zu signalisieren, und nicht, um Asymmetrieprobleme zu verringern.

[0007] Balakrishnan et al. offenbaren ein "ACK-Filterungs"-Verfahren, wobei dann, wenn ein neues ACK in die Warteschlangeneinheit aufgenommen wird, die Warteschlange auf vorhergehende ACKs aus dem gleichen (Daten-)Fluss überprüft wird. Falls vorhergehende ACKs in der Warteschlange festgestellt worden sind, werden einige oder alle der vorhergehenden Quittierungen gelehrt oder verworfen, und die letzte Quittierung wird am Ende der Warteschlange eingestellt. Das Ziel ist es teilweise, etwas Raum in der Warteschlange für andere Datenpakete und ACKs zu schaffen, und teilweise, die ACK-Information zu komprimieren. Es existiert kein flussbezogener Zustand bzw. Zustand pro (Daten)fluss, noch mehrfache Warteschlangen, aber es gibt einen Overhead beim linearen Durchsuchen der Warteschlange nach ACKs. Balakrishnan et al. zeigen, dass in einigen Fällen eine ACK-Filterung alleine entweder eine nicht ausreichende Kompensation für die Asymmetrie oder sich sogar eine abnehmende Leistungsfähigkeit ergibt, was die Verwendung anderer Techniken wie einer ACK-Überlastungssteuerung ("ACK congestion control"; ACC) nötig macht, welches eine TCP-Modifizierung beinhaltet, und/oder eine ACKs-Zuerst- (Prioritäts-) Zeitplanung zur Kompensation. Dies deshalb, weil die Verzögerungen beim Aussenden der ACK-Information mit Timeouts bzw. Zeitüberschreitungen wechselwirken könnten.

[0008] Keshav offenbart ein "ACK-Kollabierungs"-Verfahren, worin alle ACKs in eine Warteschlange eingestellt werden, aber bei der Übertragungsgelegenheit das zeitlich als letztes empfangene ACK gesendet wird, und alle anderen ACKs in der Warteschlange herausgenommen bzw. fallengelassen werden. Verschiedene Möglichkeiten der Umsetzung dieser Idee sind möglich (z.B. durch Verwenden getrennter ACK-Warteschlangen, oder durch Einreihen der ACKs nach LIFO (Last-In-First-Out)-Art, durch eine einzelne Warteschlange, wobei die Warteschlange nach dem letzten ACK durchsucht wird, wenn sich eine Übertragungsgelegenheit für die Verbindung ergibt).

[0009] US 5,961,605 offenbart einen Weg, Quittierungspakete zu verwerfen, wenn die Zahl der Pakete in der Warteschlange einen vorbestimmten Schwellwert überschreitet, und zwar durch Zusammenfassen der Pakete am Ende der Schlange in ein letztes datentragendes Paket in der Schlange durch Kopieren von Information aus dem neuen Paket in das letzte datentragende Paket und dann folgendes Verwerfen des neuen Pakets. Wenn keine datentragenden Pakete in der Warteschlange vorhanden sind, werden alle in der Warteschlange befindlichen Pakete außer dem neuen Paket verworfen.

[0010] WO 00/54451, veröffentlicht am 14. September 2000, offenbart ein Verfahren zum Verwenden eines Quittierungskomprimierers, welcher eine Vielzahl von in der Warteschlange vorhandenen Quittierungen in ein einziges Quittierungspaket komprimiert. Das einzige Quittierungspaket umfasst die erste Quittierung der Vielzahl von Quittierungen, die Zahl der gesamten Quittierungen, welche innerhalb der Vielzahl von Quittierungen vorhanden sind, eine Differenz zwischen jeder Sequenz- bzw. Folgekennung für die Quittierungen, und die zwischen Einfügen der ersten Quittierung und der letzten Quittierung in der Quittierungswarteschlange vergangene Zeit.

[0011] [Fig. 1](#) zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines herkömmlichen TCP-Netzwerks, das eine ADSL-Verbindung **3** umfasst, welche an einem Ende durch eine ATU-R ("ADSL Transceiver Unit – Remote end"; ADSL-Sende/Empfangeinheit am fernen Ende) -Vorrichtung 2 angeschlossen wird, welche sich im Bereich des Kunden befindet (z.B. ein Modem) und andererseits durch eine ATU-C ("ADSL Transceiver Unit – Central end"; ADSL-Sende/Empfangeinheit am zentralen Ende) -Vorrichtung 4, welche sich im Zentralgebäude einer Telefongesellschaft befindet. Die ADSL-Verbindung **3** hat eine Bandweite von 8 Mbps in der vorwärts gerichteten Verbindung und 64 Kbps bis 784 Kbps in der umgekehrten bzw. rückwärts gerichteten Verbindung. Es wird angenommen, dass die Funktionen der ATU-C-Vorrichtung **4** innerhalb eines DSL-Zugangsmultiplexers ("DSL access multiplexer"; DSLAMf) implementiert sind. Datenpakete werden von einer TCP-Datenquelle, wie beispielsweise dem Internet **6**, unter Verwendung einer Netzwerkeinheit oder eines Vermittlungsknotens bzw. Routers **5** übertragen. Der Vermittlungsknoten **5** überträgt die Datenpakete zum ATU-C-Gerät (DSLAM)

30 über eine 155 Mbps-Verbindung. Die ATU-R-Vorrichtung **2** ist über eine geschaltete 10 Mbps-Ethernet-Verbindung mit einem TCP-Ziel oder Computer **1** verbunden. Die Schnittstelle zum Computer **1** geschieht häufig durch den PPPoE ("point-to-point protocol over Ethernet")-Standard, welcher das Ausgleichen bzw. Austarieren von Ethernet-Karten erlaubt, welche in Computern vorinstalliert sein können. Weiterhin können mehrere Computer **1** durch das Ethernet mit den ATU-R-Geräten **40** verbunden sein. Für den Fall mehrerer TCP-Quellen (nicht gezeigt) würde jede Quelle eine entsprechende fest zugeordnete 10 Mbps-Verbindung zum Vermittlungsknoten **5** haben.

[0012] Aufgrund der beschränkten Verbindung in Rückwärts- bzw. Umkehrrichtung der ADSL-Verbindung ergeben sich mehrere Probleme. Ein Beispiel dafür ist ein Nutzer, der Daten von einem Server herunterlädt. Um ein Verständnis des Problems zu erleichtern, wird die folgende Diskussion auf eine Übertragung mit einer einzelnen Quelle in Bezug auf Tabelle 1 beschränkt, welche eine Simulation eines unidirektionalen Einzelflusses zeigt. Wenn die Größe des Warteschlangen-Zwischenspeichers unendlich groß ist, ist der Durchlass in Vorwärtsrichtung auf weniger als 75% des vollen Durchsatzes beschränkt. Man kann weiter erkennen, dass der Effekt der Asymmetrie abnimmt, wenn die Bandbreite der rückwärts gerichteten Verbindung erhöht wird. Das TCP tritt in die Überlastungsvermeidungsstufe in der Zeitbegrenzung von 0 bis 7 Sekunden ein. Darüberhinaus erreicht das TCP nach einiger Simulationszeit einen Sättigungspunkt, bei dem die Zahl der als Antwort auf ein einzelnes ACK erzeugten Datenpakete nur Zwei beträgt.

TABELLE 1

Geschwindigkeiten in Vorwärts/Rückwärts-Richtung	Durchsatz (Mbps)	durchschnittliche Warteschlange	Simulationszeit (Sekunden)	K
8 Mbps/64 Kbps	2,51	0,03	6	5
8 Mbps/128 Kbps	3,85	0,03	6	2,5
8 Mbps/64 Kbps	1,52	0	20	5
8 Mbps/128 Kbps	3,01	0	20	2,5
8 Mbps/256 Kbps	5,98	0	20	1,25
8 Mbps/640 Kbps	7,46	0	20	0,5
8 Mbps/784 Kbps	7,46	0,8	20	0,41

[0013] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, das Problem der mit der Sättigung der ADSL-Rückwärtsverbindung verbundenen Abnahme des Durchsatzes in Vorwärtsrichtung zu lösen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden ein Kommunikationsverfahren und -system für ein TCP-Netzwerk mit einer ADSL-Verbindung bereitgestellt, wobei Quittierungspakete (ACKs) an einem Ende einer ADSL-Verbindung in Rückwärts- bzw. Umkehrrichtung herausgenommen werden und am anderen Ende der ADSL-Verbindung in Rückwärtsrichtung wieder hergestellt werden, um den Durchsatz der ADSL-Verbindung sowohl in Vorwärtsrichtung als auch in Rückwärtsrichtung zu erhöhen. Insbesondere dann, wenn ein eingehendes ACK an einem ATU-R-Gerät empfangen wird, welches sich an einem Ende der ADSL-Verbindung befindet, bestimmt die ATU-R-Vorrichtung, ob eine vorhergehende ACK aus der gleichen Verbindung/dem gleichen (Daten-) Fluss (TCP-Empfänger) gegenwärtig in einer Warteschlange gespeichert wird, wo es auf eine Übertragung wartet. Falls gegenwärtig kein vorangegangenes ACK-Paket in der Warteschlange gespeichert ist, wird das eingehende ACK-Paket dann in der Warteschlange zur Übertragung bzw. Versendung an eine ATU-C-Vorrichtung gespeichert, welche sich am anderen Ende der ADSL-Leitung befindet. Falls sich jedoch ein vorangegangenes ACK-Paket in der Warteschlange befindet, wird die in dem eingehenden ACK-Paket (das ACK-Paket, das zeitlich als Letztes erzeugt wurde) in einer flussbezogenen Zustandstabelle an der ATU-R-Vorrichtung gespeichert, und das eingehende ACK-Paket wird verworfen. Wenn das vorhergehende ACK-Paket bereit ist, zur ATU-C-Vorrichtung über die ADSL-Verbindung übertragen zu werden, wird die in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle (bzw. Zustandstabelle pro Verbindung) vorhandene Information bezüglich der verworfenen eingehenden ACKs in das vorhergehende ACK kopiert, so dass das vorhergehende ACK alle Daten quittiert, welche das verworfene ACK hätte quittiert sollen.

[0015] Beim Empfangen des vorhergehenden ACKs, kann die ATU-C-Vorrichtung die verworfenen ACKs auf Grundlage der Information wieder herstellen, welche in dem vorhergehenden ACK vorhanden ist, wie beispielsweise der Zahl der verworfenen ACK-Pakete und einer Verbindungskennung, die in einem speziellen Feld innerhalb des ACKs eingebaut ist. Die ATU-C-Vorrichtung hält auch eine verbindungsbezogene Zustandstabelle vor, welche Information bezüglich der letzten ACK-Laufnummer enthält, welche zu jeder Verbindung gehört. Weiterhin wird ein Wiederherstellungsfaktor eingeführt, welcher die Zahl der verworfenen ACKs angibt, welche als Antwort auf ein ACK wiederhergestellt worden sind.

[0016] Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat die Aufgabe, so viele ACKs wie möglich im Rückwärtskanal zu unterdrücken. Auf diese Weise zieht die vorliegende Erfindung aus der Tatsache einen Vorteil, dass TCP-ACKs kumulativ sind und stellt ein Quittierungspaket einer Verbindung in der Warteschlange des ATU-R-Geräts sicher. Ein ACK, welches die Warteschlange verlässt, quittiert all diejenigen Daten, welche das letzte in die Warteschlange eingehende ACKs hätten quittieren sollen. Weiterhin wird eine verbindungsbezogene Information bzw. eine Information pro Verbindung vorgehalten, so dass es garantiert ist, dass eine ACK pro Verbindung an die ATU-C-Vorrichtung zurückgesandt wird. Als ein Ergebnis wird nur eine Zwischenspeichergröße von N ACKs benötigt, wobei N die Zahl der aktiven (Daten-) Flüsse ist, unter der Annahme getrennter Paket-Zwischenspeicher.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird weiter unten mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen genauer beschrieben, in welchen:

[0018] [Fig. 1](#) ein Diagramm ist, welches ein herkömmliches TCP-Netzwerk darstellt;

[0019] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm eines ACK-Verwurfsverfahrens gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0020] [Fig. 3](#) das Format eines ACK-Pakets und eines TCP-Kopfbereichs bzw. -Headers darstellt;

[0021] [Fig. 4](#) das Format einer verbindungsbezogenen Zustandstabelle gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt; und

[0022] [Fig. 5](#) ein Flussdiagramm ist, welches ein ACK-Wiederherstellungsverfahren gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0023] Der Durchsatz in Vorwärtsrichtung für eine Einwegübertragung unter Verwendung von TCP folgt dem "AMP"-Modell, wobei A die ACK-Übertragungsrate, M der Multiplikationsfaktor (die für jedes empfangene ACK erzeugte Zahl von Paketen) und P die ACK-Paketgröße ist. Dies bedeutet, dass der dem ACK-Verkehr der Rückwärts-Verbindung zugeordnete Anteil bei A ACKs/Sekunde gesättigt wird, wobei jedes ACK aufgrund des Effekts, dass die TCP-Dynamik und die ACK-Regulierungsschemata zusammenarbeiten, im Schnitt M Pakete erzeugt (M = Multiplikationsfaktor) und die durchschnittliche Größe der Pakete P Bits/Paket beträgt. Falls die Kapazität der Verbindung in Vorwärtsrichtung, die den zu diesen ACKs zugehörigen Paketen zugeordnet ist, F Bits/s beträgt, wird der Durchsatz der Verbindung in Vorwärtsrichtung über die Beobachtungszeit auf $\min(F, A \cdot M \cdot P)$ Bits/s begrenzt. Da die ACK-Rate A fest ist, sind die einzigen Variablen M und die Paketgröße P.

[0024] Wie oben besprochen, kennzeichnet Lakshmans normalisiertes Bandbreitenverhältnis "k" eine absolute obere Grenze für den Durchsatz in Vorwärtsrichtung auf der Grundlage der Bandweiten der Verbindung und der Paketgröße zu ACK-Größe. Der AMP-Ausdruck auf der anderen Seite ist eine operative Begrenzung, welche durch den asymmetrischen Kanal, der durch den ACK-Regulationsschemata erweitert wird, erreichbar ist. Falls insbesondere die ACK-Regulierungskomponenten einen maximalen durchschnittlichen Multiplikationsfaktor von M erreichen können, ist der AMP-Ausdruck dann eine engere Begrenzung des erreichbaren Durchsatzes in Vorwärtsrichtung. Darüber hinaus bestimmt es auch die Zeitplanungszuweisungen zu ACKs und zugehörigen Paketen und umgekehrt (in der Definition von F und A), und kann daher zum Verstehen der Effekte eines bidirektionalen Verkehrs nützlich sein.

[0025] Beispielsweise unter der Annahme, dass die Geschwindigkeit der Verbindung in Rückwärtsrichtung 64 Kbps beträgt, beträgt die Geschwindigkeit der Verbindung in Vorwärtsrichtung 8 Mbps (die Verbindung in Vor-

wärtsrichtung wird vollständig dazu verwendet, Paketverkehr zu tragen und die Verbindung in Rückwärtsrichtung dazu, ACK-Verkehr zu übertragen), die Paketgröße beträgt 1000 Bytes, die ACK-Größe = 40 Bytes, TCP befindet sich in seiner langsamen Anfangsphase (Erzeugen zweier Pakete pro ACK) und keine ACK-Regulierungsschemata bzw. -pläne werden verwendet. Die ACK-Rate (A) würde 200 ACKs/Sekunde betragen, der multiplikative Faktor $M = 2$ und $P = 8000$ Bits, und die maximale Durchsatzgrenze an der Verbindung in Vorwärtsrichtung wäre gleich $\min(8 \text{ Mbps}, 3,2 \text{ Mbps}) = 3,2 \text{ Mbps}$. Es sollte beachtet werden, dass die Zahl der TCP-Flüsse, die sich die ADSL-Verbindung teilen, in diesem Modell unerheblich ist, weil sie in die Bestimmung von M aufgenommen sein sollte. Insbesondere für den Fall, dass die TCP-Quellen sich alle im Zustand der Überlastungsvermeidung befinden (und nicht beim langsamen Anfang), ist M dann näher bei 1, die Grenze liegt noch niedriger (bei ungefähr 1,6 Mbps).

[0026] Das AMP-Modell ist auch nützlich zum Analysieren des Falls bi-direktionalen Verkehrs, insbesondere wenn verbindungssteilende Schemata, wie beispielsweise CBQ ("class based queueing") verwendet werden. Es kann insbesondere angenommen werden, dass durch CBQ in jeder Richtung zwei Klassen (Warteschlangen) bedient werden: eine für die Pakete und eine für die ACKs. Es wird weiterhin angenommen, dass Pakete auf der Verbindung in Vorwärtsrichtung einen Anteil f ($1 > f > 0$) der Kapazität der Verbindung in Vorwärtsrichtung (C_f) erhalten, und dass Pakete auf der Verbindung in Rückwärtsrichtung einen Anteil g ($1 > g > 0$) der Kapazität der Verbindung in Rückwärtsrichtung (C_g) erhalten. Verbindungskapazitäten werden in Bits/Sekunde ausgedrückt. ACKs bekommen daher Anteile $1 - f$ und $1 - g$ der Kapazität der Verbindungen in Vorwärtsrichtung bzw. Rückwärts-Richtung. Ungenutzte Kapazität einer Klasse kann von einer anderen Klasse verwendet werden.

[0027] Das AMP-Modell kann auf das System folgendermaßen angewandt werden, unter der Annahme, dass P_{ack} die Größe der ACKs in Bits/ACK ist, und zur Vereinfachung, dass der Kanal in Rückwärtsrichtung (sowohl Pakete als auch ACKs) bei deren entsprechenden Zeitplanungsanteilen gesättigt wird. Die Begrenzungen an den maximalen Raten von Paketen und ACKs in beiden Richtungen werden in der folgenden Tabelle angegeben:

	Max. Paketrate (Paket/s)	Max. ACK-Rate (ACKs/s)
Rückwärts-Kanal	$g * C_r / P$ (gesättigt)	$(1-g) * C_r / \text{Packet}$ (gesättigt)
Vorwärts-Kanal	$\min[(1-g) C_r M / \text{Paket}, f * C_f / P]$	$\min[f * C_f / P_{ack}, g * C_r / P]$

[0028] Die rückwärts gerichtete ACK-Rate beträgt daher $(1 - g) \cdot C_r / \text{Paket}$ ACKs/s, was eine maximale Paketrate von $\min[(1 - g) C_r, M / \text{Paket}, f \cdot C_f / P]$ in Vorwärtsrichtung erzeugen kann. Damit die oben genannte Sättigungsannahme hält, ist es notwendig, dass die Paketrate in Vorwärtsrichtung nicht gesättigt ist, d.h., dass $(1 - g) C_r M / \text{Paket} < f \cdot C_f / P$ ist. Unter der Annahme, dass sich sowohl M als auch g auf der linken Seite der Ungleichung ändern können, sollte der Anteil f groß genug eingestellt werden, um das Maximum des Produkts $(M \cdot (1 - g))$ aufzunehmen. Darüber hinaus wird erwartet, dass die maximal mögliche ACK-Rate am Kanal in Vorwärts-Richtung, welche jeder Paketrate auf dem Kanal in Rückwärtsrichtung entspricht, für jeden asymmetrischen Kanal klein ist. Sogar für den Fall, dass beispielsweise der Kanal in Rückwärtsrichtung 640 Kbps ($k = 0,5$) beträgt und davon alles Paketen zugeordnet war, beträgt die ACK-Rate auf dem vorwärts gerichteten Kanal 25,6 Kbps, was weniger als 0,33% auf einer 8 Mbps-Verbindung in Vorwärtsrichtung entspricht. Daher sollte f (der Verbindungsanteil, der Paketen in der vorwärts gerichteten Verbindung zugeordnet ist) groß gewählt werden, und kann für reinen bidirektionalen TCP/IP-Verkehr so groß wie 99% werden.

[0029] Die Wahl von g ist jedoch teilweise eine Richtlinienfrage bezüglich der für lange (Daten-) Flüsse bereitgestellten Bandweite und teilweise eine Leistungsfrage bezüglich der Nichtausnutzung der Kapazität der Verbindung in Vorwärtsrichtung. Falls M dynamisch erhöht werden könnte, um die Abnahme der ACK-Rate A aufgrund der Erhöhung des rückwärts gerichteten Paketverkehrs perfekt zu kompensieren, würde sich dann die oben angesprochene Leistungsfrage erübrigen. Jedoch ist M , hauptsächlich aufgrund der Dynamiken des TCP, insbesondere zur Überlastungsvermeidung begrenzt, und zwar sogar dann, falls ACK-Regulierungsschemata dynamisch an Erhöhungen im rückwärts gerichteten Paketverkehr angepasst werden könnten. Insbesondere, falls das normalisierte Bandbreitenverhältnis k , gemessen in Termen der Verbindungsanteile der ACKs und Pakete in beiden Richtungen, auf über 10 ansteigt, können die ACK-Regulierungsschemata keine ausreichende Kompensation bereitstellen. Daher ist die Wahl von g (dem Verbindungsanteil, der Paketen auf der rückwärts gerichteten Verbindung zugeordnet ist) ein Ausgleich zwischen Leistung und Richtlinienüberlegungen.

[0030] Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung versucht, so viele ACKs wie möglich in dem Kanal in Rückwärtsrichtung zu unterdrücken. Auf diese Art stellt die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sicher, dass ein ACK einer Verbindung in der Warteschlange der ATU-R-Vorrichtung **2** vorhanden ist und schlägt Vorteil aus der Tatsache, dass TCP-ACKs kumulativ sind. Ein ACK-Paket, welches die Warteschlange verlässt, quittiert all diejenigen Daten, welche das letzte in die Schlange eintretende ACK-Paket hätte quittieren sollen. Weiterhin wird die verbindungsbezogene Information vorgehalten, so dass dies garantiert, dass ein ACK pro Verbindung zum anderen Ende der ADSL-Verbindung zurückgesandt wird.

[0031] Wenn in der bevorzugten Ausführungsform ein von dem TCP-Empfänger eingehendes ACK an dem ATU-R-Gerät **2** empfangen wird, wird bestimmt, ob ein ACK von der gleichen Verbindung oder zum gleichen Ziel gegenwärtig in der Warteschlange gespeichert ist, wo es auf eine Übertragung wartet. Eine FIFO (First-In-First-Out)-Warteschlange wird zum Speichern der ACKs (und optional von Paketen, wie später diskutiert) verwendet. Im Gegensatz zum US-Patent Nr. 5,793,768 (Keshav), verwendet die bevorzugte Ausführungsform einen minimalen flussbezogenen Zustand, um ein Einreihen von ACKs zu vermeiden, welche sowieso herausgenommen werden. Auf diese Art benötigt man nur eine Warteschlangengröße von N ACKs, wobei N die Zahl der aktiven Flüsse/Verbindungen ist, und zwar unter der Annahme getrennter Paket-Zwischenspeicher.

[0032] Insbesondere, wenn, nun in Bezug auf [Fig. 2](#), eine Dateneinheit von dem TCP-Ziel **1** an der ATU-R-Vorrichtung **2** empfangen wird, muss die ATU-R-Vorrichtung **2** zunächst bestimmen, ob die Dateneinheit ein ACK ist (Schritt **11**). Falls die eingehende Dateneinheit als ACK bestimmt wurde, wird dann die Verbindungs- oder Sitzungs- bzw. Session-Identifikation (-ID) des einkommenden ACKs durch Überprüfen der Quellanschlusnummer, der Zielanschlusnummer, der Quelladresse und der Zieladresse in einem TCP-Kopfabschnitt bzw. -Header des eingehenden ACK identifiziert (Schritt **12**). [Fig. 3](#) zeigt das Format eines ACK-Pakets und eines TCP-Kopfabschnitts. Die Verbindung des eingehenden ACKs, wie sie durch den TCP-Kopfabschnitt identifiziert wird, wird dann dazu verwendet, um zu bestimmen, ob eine flussbezogene Information bezüglich der Verbindung des ACKs in einem Hash oder einer verbindungsbezogenen Zustandstabelle an dem CPE-Gerät gespeichert ist (Schritt **13**). Wie in [Fig. 4](#) gezeigt, umfasst die verbindungsbezogene Zustandstabelle ein Flag, das ein einzelne flussbezogenes oder aktives Bit umfasst, welches angibt, ob ein ACK dieses Flusses in der Warteschlange existiert sowie die letzte ACK-Laufnummer, die von dem Fluss gesehen wird. Falls die Verbindung des eingehenden ACKs in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle vorhanden ist, wird das aktive Bit überprüft, um zu bestimmen, ob ein vorheriges ACK von dem gleichen Ziel gegenwärtig in der Warteschlange gespeichert ist (Schritt **14**). Falls das aktive Bit Null ist, wird das ACK in der Warteschlange gespeichert, das aktive Bit wird auf "1" gesetzt und die ACK-Laufnummer wird in die verbindungsbezogene Zustandstabelle kopiert (Schritt **17**). Falls das aktive Bit bereits beim Empfang auf ein nicht-vervielfältigtes ACK gesetzt ist, wird die ACK-Laufnummer dann in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle auf diesen Wert aktualisiert, das ACK wird verworfen und ein ACK-Herausnahmezähler an dem ATU-R-Gerät **2** wird inkrementell erhöht (Schritt **16**). Falls andererseits die Verbindung des ACKs nicht in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle vorhanden ist, wird ein neuer Eintrag für die Verbindung des eingehenden ACKs erzeugt, welche die Quellanschlusnummer, die Zielanschlusnummer, die Quelladresse und die Zieladresse aus dem Kopfabschnitt des eingehenden ACK umfasst (Schritt **15**). Die ACK-Laufnummer wird dann in die verbindungsbezogene Zustandstabelle kopiert, das aktive Bit wird gesetzt und das eingehende ACK wird in der Warteschlange gespeichert (Schritt **17**).

[0033] Wenn ein ACK zur Übermittlung von der ATU-R-Vorrichtung **2** zur ATU-C-Vorrichtung **4** über die ADSL-Verbindung **3** aus der Warteschlange herausgenommen wird, wird der letzte Wert der ACK-Laufnummer aus der verbindungsbezogenen Zustandstabelle zum Kopfabschnitt des ausgehenden ACKs kopiert (wobei die Überprüfungssumme bzw. Checksumme des Kopfabschnitts angepasst wird), und die Zahl der herausgenommenen ACKs, wie sie durch den ACK-Herausnahmezähler angezeigt wird, wird in den ACK-Kopfabschnitt eingearbeitet. Weiterhin wird das aktive Bit in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle geleert, und der ACK-Herausnahmezähler wird zurückgesetzt. Es ist zu bemerken, dass die ACK-Bearbeitungskomplexität von der Ordnung $O(1)$ ist, da die Hash-Tabelle durchsucht wird, anstatt der FIFO-Warteschlange.

[0034] Es wird angenommen, dass die ACKs nicht irgendwo anders herausgenommen werden. Für den Fall duplizierter bzw. vervielfältigter ACKs jedoch wird die genaue Zahl der erzeugten vervielfältigten ACKs vom TCP in einem schnellen Wiederherstellungsablauf verwendet. Daher gibt es zwei Möglichkeiten: entweder wird die gleiche Zahl vervielfältigter ACKs in dem Kanal in Rückwärtsrichtung gesendet oder man hat eine Wiederherstellungskomponente, welche die korrekte Zahl der vervielfältigten ACKs wieder herstellt. Um das vorige Ziel zu erreichen, kann ein zusätzliches Feld in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle vorgesehen werden (dessen Standardwert Null ist), welches die Zahl der vervielfältigten ACKs zählt ("Duplikat-ACK-Zähler"),

welche unterdrückt worden sind. Dies erlaubt es, die richtige Zahl vervielfältigter ACKs zu übertragen. Insbesondere, wenn sich eine Gelegenheit ergibt, dass alle der so eingebauten vervielfältigten ACKs übermittelt werden können, bevor das nächste ACK aus der Warteschlange herausgenommen wird, und wenn jedes vervielfältigte ACK übermittelt wird, kann der Zähler für vervielfältigte ACKs in der Tabelle um Eins heruntergezählt werden, bis er Null erreicht. Es ist zu beachten, dass es dies dem Zähler für vervielfältigte ACKs erlaubt, sogar dann erhöht zu werden, wenn vervielfältigte ACKs übertragen werden. Das Bit pro Fluss wird nur nach Übertragen aller vervielfältigten ACKs auf Null gesetzt. Falls alternativ die Zahl der vervielfältigten ACKs in einen Protokoll-Kopfabschnitt eingearbeitet werden kann, kann dann eine Komponente auf der anderen Seite der Verbindung die gleiche Zahl vervielfältigter ACKs wieder herstellen, ohne sie explizit über den Kanal in Rückwärtsrichtung zu übertragen.

[0035] Das oben diskutierte AMP-Modell, zusammen mit einem Wissen über die TCP-Dynamik, vereinfacht ein Verständnis der Vorteile der vorliegenden Erfindung. Falls angenommen wird, dass A und P in dem AMP-Modell konstant sind, dann betrifft das ACK-Herausnahmeverfahren der bevorzugten Ausführungsform nur M in dem AMP-Modell, und dieser Effekt ist zudem stark abhängig von der TCP-Dynamik.

[0036] TCP nutzt ein adaptives bzw. anpassbares Fenster, um Pakete in das Netzwerk zu schicken. Falls das Fenster fest bleibt oder sich nur sehr wenig ändert (so wie in der TCP-Überlastungsvermeidungsphase), ist der Durchsatz in Vorwärtsrichtung fast konstant bei W/RTT , unter der Annahme, dass RTT ("round trip time"; Umlaufzeit) konstant ist. In dieser Situation wird angenommen, dass m ACKs ($m < W$) für jedes auf dem Rückwärtskanal übertragene ACK unterdrückt werden (unter der Annahme, dass jedes neue ACK ein neues Segment quittiert). Die Quelle würde ein ACK für jede m Pakete empfangen, welche es übertragen hat und m Pakete für jedes empfangene ACK übertragen. Aber da das Fenster fest ist, wird die Übertragungsrate W/RTT nicht überschreiten. Daher wird es die Einwirkung des ACK-Verwurfsverfahrens der bevorzugten Ausführungsform sein, die Kapazität des Kanals in Rückwärtsrichtung von A ACKs/s zu nutzen, um eine maximale Rate in Vorwärtsrichtung von $\min[m \cdot A, W/RTT]$ Paketen/s zu unterstützen (so wie sie durch das AMP-Modell gegeben ist). Es ist zu beachten, dass, da TCP das Fenster um $1/W$ pro während einer Überlastungsvermeidung empfangenem ACK erhöht, und die Fenstervergrößerung während eines RTT $1/m$ beträgt, weil die Zahl der ACKs pro RTT von W auf W/m verringert wurde.

[0037] Wenn die miteinander konkurrierenden TCP-Flüsse sich alle in der langsamen Anfangsphase befinden, ergibt jedes ACK, das die TCP-Quelle erreicht, $(m + 1)$ gesendete Segmente, wobei m die Zahl der unterdrückten ACKs ist. Dies ist so, weil das TCP ein neues Paket für jedes quittierte Segment aussendet (wobei in diesem Fall m Segmente quittiert werden) sowie ein zusätzliches neues Paket zum Erhöhen des Fensters um ein Segment. Falls m konstant ist, beträgt die momentane maximale Rate in Vorwärtsrichtung (so wie sie durch das AMP-Modell gegeben ist) $\min[(m + 1) \cdot A, W/RTT]$ Pakete pro Sekunde, wobei W ebenfalls eine Variable ist. In Wirklichkeit ist m eine Zufallszahl. Anfänglich ist m klein, weil nicht viele ACKs zu unterdrücken sind. Später kann m in Abhängigkeit von W beliebig groß werden, und vorausgesetzt, dass die Flüsse bei einem langsamen Anfang bzw. Start verbleiben. Es ist zu beachten, dass, da das TCP das Fenster um ein Segment für jedes empfangene ACK erhöht, die Erhöhungsrates des TCP-Fensters von einer Verdoppelung pro RTT (Faktor 2) auf einen Faktor $(1 + W/m)$ pro RTT verringert wird, weil die Zahl der ACKs pro RTT von W auf W/m verringert wurde.

[0038] Nun wieder Bezug nehmend auf das AMP-Modell, kann der Multiplikationsfaktor M als das Mittel der momentanen Werte von $(m + 1)$ während des langsamen Anfangs gut angenähert werden, sowie von Werten von m während einer Überlastungsvermeidung oder während eines konstanten Fensters. Falls tatsächlich das TCP-Quellensystem in der langsamen Startphase verbleibt, sagt das AMP-Modell voraus, dass das ACK-Verwurfsverfahren der bevorzugten Ausführungsform beliebige Asymmetriegrade (d.h. jedes endliche k) kompensieren kann. Da jedoch die meisten TCPs eine Überlastungsvermeidung innerhalb einiger RTTs erreichen, wird der Multiplikationsfaktor auf den Wert des (nahezu konstanten) m gesättigt, wie er während der Überlastungsvermeidung gesehen wird. In anderen Worten: jede Messung von m (Zahl der pro übermitteltem ACK unterdrückten ACKs) während der Überlastungsvermeidungsphase wird eine gute obere Grenze von M für die gesamte Überwachungsdauer sein. Dies impliziert auch, dass ein höherer Anfangswert von Ssthresh zu einem höheren M führen kann, weil das System bei einem größeren Fenster- (und m-) Wert absättigt. Falls alternativ Ssthresh (oder die Sockelzwischenpeichergröße) klein ist, bekommt man den stärksten Effekt auf die Leistung, weil M gesättigt wird.

[0039] Weiterhin wird die Wahrscheinlichkeit einer negativen Wechselwirkung mit der RTT-Abschätzung im Vergleich zum ACK-Filterungsverfahren nach Balakrishnan et al. aus zwei Gründen stark herabgesetzt. Erstens treten negative Wechselwirkungen mit TCP-Zeitüberschreitungen auf, wenn sich eine Gelegenheit dazu

ergibt, dass sich im Vergleich zu gegenwärtigen Abschätzung des RTT durch die TCP-Quelle unbegrenzte oder große Warteschlangenverzögerungen ergeben. Zweitens begrenzt das ACK-Verwurfsverfahren gemäß der bevorzugten Ausführungsform die maximale Warteschlangenverzögerung (Zeit zwischen Einreihen in die Schlange und Verlassen der Schlange für jedes bestimmte ACK) an der gesteuerten Warteschlange auf N/A Sekunden, wobei N die Zahl der miteinander konkurrierenden (Daten-)Flüsse und A die ACK-Übertragungsrate in Einheiten von ACKs/Sekunde ist. Es existieren eine geringe Wahrscheinlichkeit für negative Wechselwirkungen, solange N/A relativ klein im Vergleich zur kleinsten RTT-Abschätzung der Quelle ist.

[0040] Neben den positiven Effekten einer verkleinerten ACK-Zwischenspeichergröße an der Rückwärts-Verbindung und eines erhöhten M in dem AMP-Modell, hat das ACK-Verwurfsverfahren der bevorzugten Ausführungsform auch negative Effekte, von denen einige kompensiert werden können. Zunächst bewirkt die Unterdrückung der ACKs eine Signalfolge bzw. einen Burst von m (oder $m + 1$) Paketen, die für jedes ACK zu den TCPs gesendet werden sollen. Die Änderung in m bestimmt die maximale Warteschlangengröße in Vorwärts-Richtung. Jedoch kann eine vernünftige Zwischenspeichergröße dies kompensieren und wird empfohlen, um Wechselwirkungen aufgrund von Paketverlusten zu vermeiden. Zweitens ist die Erhöhungsrates der TCP-Fenstergröße auf Faktoren von $(1 + W/m)$ bzw. $(1 + 1/m)$ während des langsamen Anfangs und während einer Überlastungsvermeidung begrenzt (wie über einen RTT gemessen). Weiter benötigt das ACK-Herausnahmeverfahren gemäß der bevorzugten Ausführungsform Zugang zum Schreiben von TCP-Kopfabschnitten und kann nicht unter einer IPSecurity-Authentifizierung/-Verschlüsselung arbeiten, während andere Verfahren (z. B. nach Keshav und Balakrishnan et al.) unter einer Authentifizierung funktionieren, aber nicht unter einer Verschlüsselung, weil sie nur einen Lesezugriff auf die TCP-Kopfabschnitte benötigen. Zu guter Letzt muss das ACK-Verwurfsverfahren der bevorzugten Ausführungsform die ACKs sowohl während Einstellens in die Warteschlange als auch während Herausholens aus der Warteschlange verarbeiten, wobei die Verfahren nach Keshav und Balakrishnan et al. ein Verarbeiten der ACK nur während einer dieser Betriebsarten benötigen.

[0041] Die Impulsartigkeit und die Probleme mit der Fenstervergrößerungsrate können durch Verwendung einer Quittierungs-Wiederherstellungs-/Wiederaufbau ("Acknowledgement regeneration/reconstruction"; AR)-Komponente am Ende der Verbindung in Rückwärtsrichtung abgemildert werden. Das Wiederherstellungsschema würde an der ATU-R-Vorrichtung unterdrückte ACKs wieder herstellen (und optional glätten). Tatsächlich könnte der Wiederhersteller mehr als ein ACK pro maximaler Segmentgröße ("maximum segment size", MSS) wiederherstellen, was in Form des "Wiederherstellungsfaktors" R quantifiziert werden kann, und zwar den ganzen Weg bis zu einem ACK für jedes quitierte Byte. Die Rate der TCP-Fenstervergrößerung für eine Umlaufzeit ("round trip time", RTT) wird nun mit einem Faktor $\min(1 + R, 1 + W/m)$ während des langsamen Anfangs und mit einem Faktor $(1 + R/W)$ während einer Überlastungsvermeidung verändert, und zwar auf Kosten der $(R - 1) \cdot W$ überschüssigen ACKs pro RTT. Bei diesen hohen Kosten wird ein Wiederherstellungsfaktor $R \leq 4$ empfohlen. Es sollte sofort angemerkt werden, dass, falls das System hauptsächlich in einer Überlastungsvermeidung verbleibt, AR dazu führen würde, dass m jede RTT um einen Faktor $(1 + R/W)$ vergrößert wird. Falls $R (\leq 4)$ viel kleiner ist als W , hat AR nur einen kleinen zusätzlichen Einfluss auf die Kompensation der Asymmetrie. In anderen Worten: sollte das ACK-Verwurfsverfahren der bevorzugten Ausführungsform als die hauptsächliche Technik für die Asymmetriekompensation angesehen werden.

[0042] Das ACK-Wiederherstellungsverfahren der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf [Fig. 5](#) beschrieben. Wenn ein ACK durch die ATU-C-Vorrichtung 4 über die ADSL-Verbindung 2 empfangen wird, kann die ATU-C-Vorrichtung 4 die verworfenen ACK(s) auf der Grundlage der in dem (vorhergehenden) ACK-Paket enthaltenen Information und einer an der ATU-C-Vorrichtung 4 vorgehaltenen flussbezogenen Zustandstabelle wieder herstellen. Die verbindungsbezogene Zustandstabelle an der ATU-C-Vorrichtung 4 ist gleich zu der ATU-R-Vorrichtung 2, außer dass es ein Feld zum Speichern der letzten ACK-Laufnummer an der Stelle des aktiven Bits umfasst. Falls insbesondere bestimmt wurde, dass eine empfangene Dateneinheit ein eingehendes ACK ist, übersetzt die ATU-C-Vorrichtung 4 den TCP-Kopfabschnitt des eingehenden ACKs, um die Verbindung oder Sitzungs-ID des eingehenden ACKs durch Überprüfen der Quellenanschlussnummer, der Zielanschlussnummer, der Quelladresse und der Zieladresse im TCP-Kopfabschnitt des eingehenden ACK zu bestimmen, als auch die Zahl der an der ATU-R-Vorrichtung 2 verworfenen ACKs (Schritte 21 und 22). Die ACK-Laufnummer des TCP-Kopfabschnitts des eingehenden TCP wird in das letzte ACK-Laufnummernfeld der verbindungsbezogenen Zustandstabelle kopiert (Schritt 23). Falls die Verbindung der eingehenden ACKs in der verbindungsbezogenen Zustandstabelle vorhanden ist, bestimmt die ATU-C-Vorrichtung 4 dann die Zahl der wiederherzustellenden ACKs auf der Grundlage der in der Zustandstabelle gespeicherten ACK-Laufnummer und der Zahl der am ATU-R-Gerät 2 herausgenommenen ACKs, welche im Kopfabschnitt des eingehenden ACKs gespeichert ist (Schritt 25). Die verworfenen ACKs als auch das eingehende ACK werden dann wiederhergestellt und zum stromabwärts liegenden Knoten übertragen, und das eingehende ACK wird verworfen (Schritt 27). Falls die Verbindung des eingehenden ACKs nicht in der Zu-

standstabelle aufgeführt ist, wird ein neuer Eintrag erzeugt, worin die Verbindungskennungsinformation und ACK-Laufnummer aufgenommen werden, und das eingehende ACK wird zum stromabwärts liegenden Knoten übermittelt (Schritt 26). Als Nächstes wird ein Wiederherstellungsfaktor eingeführt, welcher die Zahl der verworfenen ACKs, die als Antwort auf ein empfangenes ACK wiederhergestellt worden sind, bezeichnet.

[0043] Simulationen haben gezeigt, dass der vorwärts gerichtete Durchsatz sich mit einer Vergrößerung des Wiederherstellungsfaktors vergrößert, aber dass er einen maximalen Pegel erreicht, wenn der Wiederherstellungsfaktor 3 beträgt. Jede weitere Vergrößerung des Wiederherstellungsfaktors ist nicht hilfreich. Der Fall, dass der Wiederherstellungsfaktor 1 ist, bedeutet, dass die Zahl der herausgenommenen ACKs wieder hergestellt wird. Der durch Verwendung der ACK-Wiederherstellung zusammen mit dem ACK-Verwurfsverfahren erzeugte Durchsatz der bevorzugten Ausführungsform unterscheidet sich von dem Durchsatz, der gemäß der bevorzugten Ausführungsform durch das ACK-Verwurfsverfahren alleine erreicht wird, aufgrund des Unterschieds in der Zahl der ACKs, die die Quelle erreichen. Das für die Quelle verfügbare Fenster, um die Daten zu senden, ist näher an dem Fall eines Wiederherstellungsfaktors –1 als an der die ACKs verwerfenden bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0044] Obwohl die vorliegende Erfindung in Bezug auf die bevorzugte Ausführungsform gezeigt und beschrieben worden ist, wird der Fachmann Änderungen und Modifikationen innerhalb des Umfangs der Erfindung durchführen können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Quittierungspaketen über eine asymmetrische digitale Anschlussleitung, umfassend:

Erzeugen einer Vielzahl von Quittierungspaketen an einem Zielknoten (1) als Antwort auf ein Empfangen von Daten, die von einem Ursprungsknoten erzeugt wurden;

Aufeinanderfolgendes Übermitteln der Quittierungspakete von dem Zielknoten (1);

Empfangen eines ersten der Quittierungspakete an einem ersten Zwischenknoten (2);

Speichern des ersten Quittierungspakets in einer Warteschlange an dem ersten Zwischenknoten (2);

Empfangen eines zweiten der Quittierungspakete an dem ersten Zwischenknoten (2), während das erste Quittierungspaket in der Warteschlange gespeichert ist;

dadurch gekennzeichnet, dass es zusätzlich umfasst:

Kopieren von Information, die in dem zweiten Quittierungspaket enthalten ist, in eine Datentabelle an dem ersten Zwischenknoten (2);

Verwerfen des zweiten Quittierungspakets an dem ersten Zwischenknoten (2); und

Kopieren der Information, die in den zweiten Quittierungspaketdaten enthalten ist, aus der Datentabelle in das erste Quittierungspaket, und Übertragen des ersten Quittierungspakets von dem ersten Zwischenknoten (2).

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin umfassend die Schritte:

Empfangen des ersten Quittierungspakets an einem zweiten Zwischenknoten (4);

Wiederherstellen des zweiten Quittierungspakets auf der Grundlage der Information, die in das erste Paket an dem zweiten Zwischenknoten (4) kopiert wurde; und

Aufeinanderfolgendes Übermitteln des ersten Quittierungspakets und des zweiten Quittierungspakets von dem zweiten Zwischenknoten (4) zum Zielknoten.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die in das erste Quittierungspaket kopierte Information die Zahl der Quittierungspaket umfasst, die an dem ersten Zwischenknoten (2) und an einem Verbindungsidentifizierer herausgenommen wurden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Wiederherstellungsschritt weiterhin ein Erzeugen eines neuen Quittierungspakets umfasst, welches das erste Quittierungspaket ersetzt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Speicherns des ersten Quittierungspakets in einer Warteschlange an dem ersten Zwischenknoten (2) umfasst:

(i) Bestimmen, ob ein vorher von dem Zielknoten (1) empfangenes zweites Quittierungspaket gegenwärtig in der Warteschlange an dem ersten Zwischenknoten (2) gespeichert ist, und

(ii) falls das zweite Quittierungspaket nicht in der Warteschlange gespeichert ist, Speichern des ersten Quittierungspakets in der Warteschlange an dem ersten Zwischenknoten (2).

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei Schritt (i) weiterhin umfasst:

Bestimmen einer Verbindungsinformation über einen Ursprung und ein Ziel des ersten Quittierungspakets aus einem Kopfbereich des ersten Quittierungspakets.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei Schritt (i) weiterhin umfasst:

Bestimmen, ob ein Flag in der Zustandstabelle an dem ersten Zwischenknoten (2) gesetzt ist, wobei das Flag anzeigt, ob ein vorheriges Quittierungspaket, das der gleichen Verbindung zugeordnet ist, gegenwärtig in der Warteschlange gespeichert ist, wo es auf eine Übertragung von dem ersten Zwischenknoten (2) wartet.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei Schritt (ii) weiterhin umfasst:

Kopieren einer im Kopfbereich des ersten Quittierungspakets gespeicherten ACK-Laufnummer in die Zustandstabelle.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Kopierens der Information, die in dem zweiten Quittierungspaket enthalten ist, weiterhin folgende Schritte umfasst:

Empfangen des zweiten Quittierungspakets an einem zweiten Zwischenknoten (4); und

Wiederherstellen des ersten Quittierungspakets auf der Grundlage der Information, die an dem zweiten Zwischenknoten (4) in das zweite Quittierungspaket kopiert wurde.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Schritt des Kopierens der Information, die in dem zweiten Quittierungspaket enthalten ist, weiterhin folgende Schritte umfasst:

Erzeugen eines dritten Quittierungspakets, welches das zweite Quittierungspaket ersetzt, und Verwerfen des zweiten Quittierungspakets an dem zweiten Zwischenknoten (4);

Übermitteln der ersten und dritten Quittierungspakete von dem zweiten Zwischenknoten (4).

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Warteschlange einen FIFO-Zwischenspeicher umfasst.

12. Kommunikationssystem zum Übertragen von Daten über eine asymmetrische Kommunikationsverbindung, wobei das System umfasst:

einen Ursprungsknoten, umfassend ein Mittel, das geeignet ist, eine Vielzahl von Datenpaketen zu erzeugen und zu übertragen;

einen ersten Zwischenknoten (2), umfassend ein Mittel, das geeignet ist, die Datenpakete vom Ursprungsknoten zu empfangen, und ein Mittel, das geeignet ist, die Datenpakete über eine asymmetrische Kommunikationsverbindung zu übertragen;

einen zweiten Zwischenknoten (4), umfassend ein Mittel, das zum Empfangen der Datenpakete von dem ersten Zwischenknoten (2) geeignet ist, und ein Mittel, das geeignet ist, die Datenpakete zu übertragen, wobei der zweite Zwischenknoten (4) eine Warteschlange und eine Zustandstabelle umfasst; und

einen Zielknoten (1), umfassend ein Mittel, das zum Empfangen der Datenpakete von dem zweiten Zwischenknoten (4) geeignet ist, und ein Mittel, das geeignet ist, eine Vielzahl von Quittierungspaketen als Antwort auf das Empfangen der durch den Ursprungsknoten übertragenen Datenpakete zu erzeugen;

wobei der zweite Zwischenknoten (4) in der Lage ist, die Quittierungspakete zu empfangen, und weiterhin ein Mittel umfasst, das in der Lage ist, die Quittierungspakete in der Warteschlange zu speichern und die in der Warteschlange gespeicherten Quittierungspakete zu übertragen,

dadurch gekennzeichnet, dass

jedesmal dann, wenn der zweite Zwischenknoten (4) eines der Quittierungspakete empfängt, das Speichermitel des zweiten Zwischenknotens (4) das eine Quittierungspaket in der Warteschlange speichert, falls ein vorheriges Quittierungspaket gegenwärtig nicht in der Warteschlange gespeichert ist, und er ein Mittel umfasst, das geeignet ist, in dem einen Quittierungspaket enthaltene Information in die Zustandstabelle zu kopieren, sowie ein Mittel, das geeignet ist, das eine Quittierungspaket zu verwerfen, falls das vorherige Quittierungspaket gegenwärtig in der Warteschlange gespeichert ist.

13. System nach Anspruch 12, wobei der zweite Zwischenknoten (4) weiterhin ein Mittel umfasst, das geeignet ist, die in dem einen Quittierungspaket enthaltene Information aus der Zustandstabelle in das vorherige Quittierungspaket zu kopieren, sowie ein zum Übertragen des vorherigen Quittierungspakets geeignetes Mittel.

14. System nach Anspruch 13, wobei der erste Zwischenknoten weiterhin ein Mittel umfasst, das zum Empfang der Quittierungspakete von dem zweiten Zwischenknoten (4) geeignet ist, und ein Mittel, das zum Wiederherstellen der Quittierungspakete geeignet ist, welche durch den zweiten Zwischenknoten (4) auf der Grundlage der Information verworfen wurden, die durch den zweiten Zwischenknoten (4) aus der Zustandstabelle in die Quittierungspakete kopiert wurde.

15. System nach Anspruch 12, wobei die Warteschlange einen FIFO-Zwischenspeicher umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

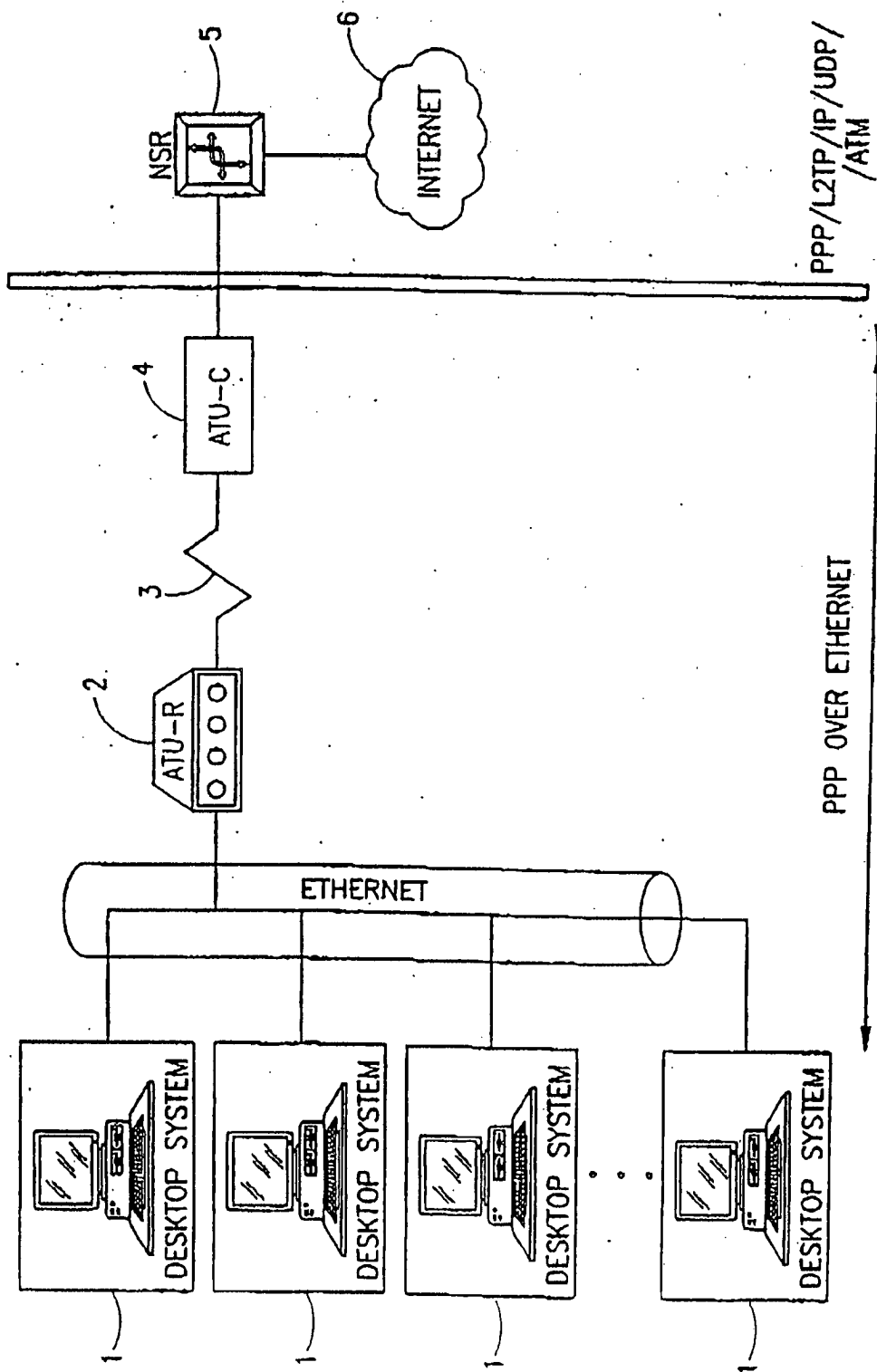
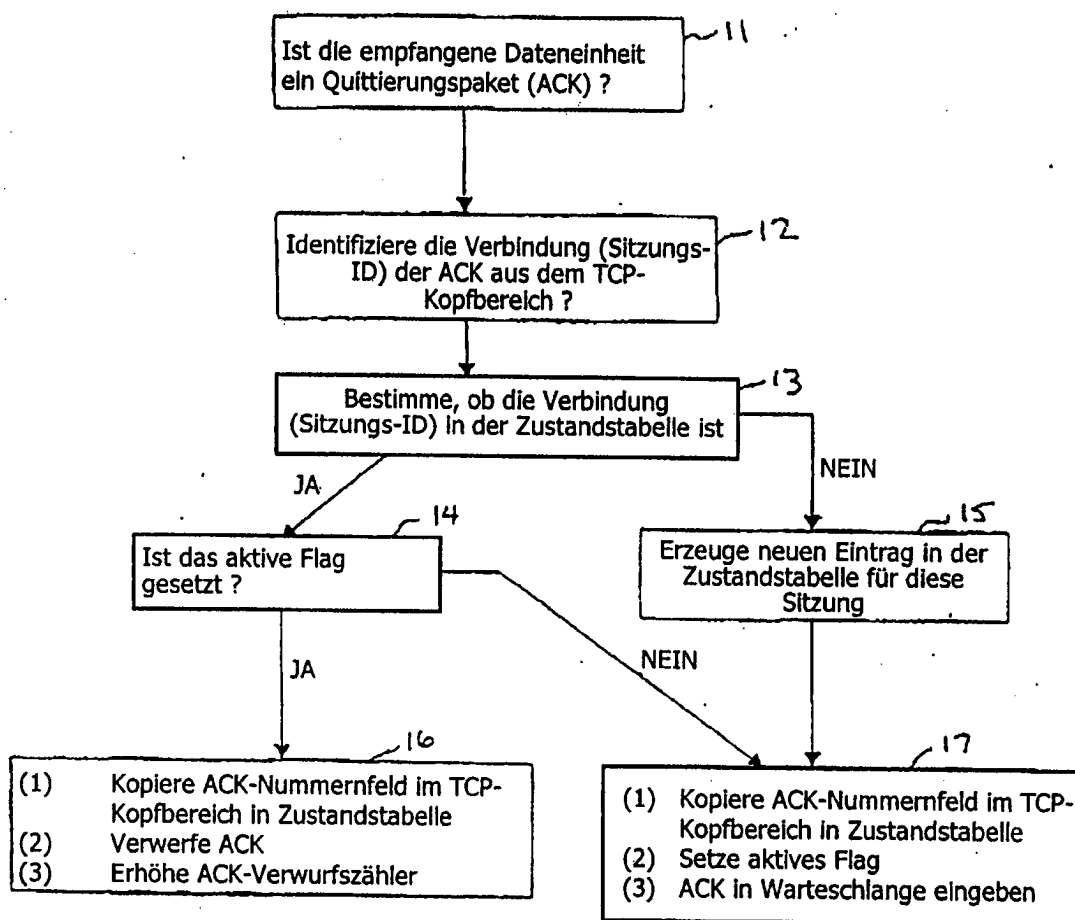


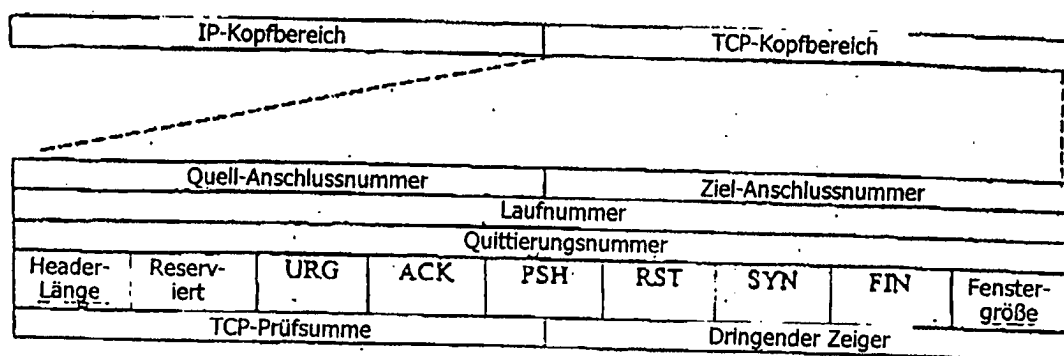
FIG.1

FIGUR 2



FIGUR 3

QUITTIERUNGSPAKETFORMAT



FIGUR 4

Format der verbindungsbezogenen Zustandstabelle

Sitzungs-ID	Quell-IP-Nummer	Quell-Anschlussnummer	Ziel-IP-Nummer	Ziel-Anschlussnummer	ACK-Nummer	Aktives Bit
1						
2						

FIGUR 5

