



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 218 307.0**
(22) Anmeldetag: **12.09.2013**
(43) Offenlegungstag: **12.03.2015**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.02.2016**

(51) Int Cl.: **H04W 74/08 (2009.01)**
H04L 12/413 (2006.01)
H04W 72/08 (2009.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE**

(74) Vertreter:
**von Kreisler Selting Werner - Partnerschaft von
Patentanwälten und Rechtsanwälten mbB, 50667
Köln, DE**

(72) Erfinder:
**Clazzer, Federico, Dipl.-Ing., 82110 Germering,
DE; Garrammone, Giuliano, Dipl.-Ing., 80686
München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	7 924 761	B1
US	2007 / 0 002 742	A1
US	2012 / 0 307 934	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Übertragen von Daten**

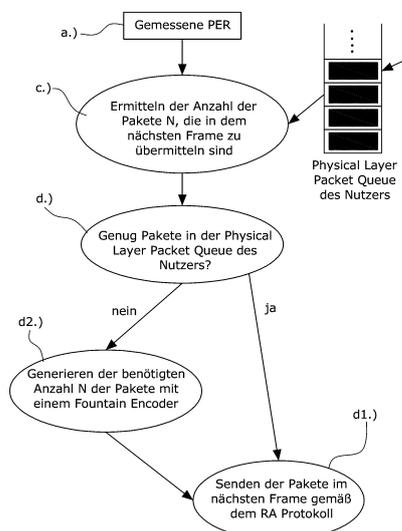
(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Übertragen von Daten, wobei ein Übertragungskanal zu einem Empfänger von mehreren Sendern gemeinsam genutzt wird, wobei der Zugriff der Sender auf den gemeinsamen Übertragungskanal durch ein Random Access Verfahren geregelt wird, gekennzeichnet durch die Schritte:

a) Ermitteln der Packet Error Rate durch den Empfänger und Ermitteln einer optimalen Kanallast G , die einem optimalen Betriebspunkt entspricht, bei dem das Random Access Verfahren den höchsten Datendurchsatz T erreicht,
b) Übermitteln der ermittelten Packet Error Rate vom Empfänger an die Sender.

c) Ermitteln der Anzahl N der Physical Layer Pakete die, im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, indem basierend auf der bekannten Packet Error Rate entschieden wird, die Anzahl von Paketen N , die im nächsten Frame zu übermitteln sind, in Abhängigkeit von der in Verfahrensschritt a) ermittelten zu erreichenden Kanallast G dynamisch zu erhöhen oder zu reduzieren, wobei N die Anzahl der im nächsten Frame von jedem Nutzer zu übermittelnden Pakete ist

d) Ermitteln der Anzahl der in der Physical Layer Packet Queue eines jeden Nutzers vorhandenen Pakete, wobei d1) wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete $\geq N$ ist, die ersten N Pakete in der Physical Layer Queue ausgewählt und an den Empfänger gesendet werden, d2) wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete kleiner als N ist, alle vorhandenen Pakete ausgewählt werden, mit einem Fountain Encoder so viele redundante Pakete erzeugt werden, bis die Anzahl N erreicht ist, und die redundante

Pakete zusammen mit den vorhandenen Paketen an den Empfänger gesendet werden, wobei die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, derart ermittelt wird, dass der größtmögliche Datendurchsatz T erreicht wird oder die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, derart ermittelt wird, dass eine gewünschte Packet Error Rate erreicht wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Übertragen von Daten, wobei ein Übertragungskanal zu einem Empfänger von mehreren Sendern gemeinsam genutzt wird.

[0002] Ein derartiges Szenario wird als Multiple Access (MAC) Szenario beschrieben, wobei der gemeinsame Zugriff der einzelnen Sender auf den Übertragungskanal durch ein Random Access Verfahren geregelt sein kann. Derartige Verfahren finden Anwendung im Bereich car-to-car Communication, Unterwasser-Sensor Netzwerken, in der Satellitenkommunikation, wenn mehrere Nutzer Terminals einen gemeinsamen Übertragungskanal nutzen, im Datenaustausch in der Luftfahrt etc.

[0003] Informationen zu aus dem Stand der Technik bekannten Random Access Verfahren können den folgenden Veröffentlichungen entnommen werden:

- (1) N. Abramson, "The ALOHA system – another alternative for computer communications," in Proc. of 1970 Fall Joint Computer Conf., vol. 37, pp. 281–285, AFIPS Press, 1970.
- (2) G. Choudhury and S. Rappaport, "Diversity ALOHA – a random access scheme for satellite communications," IEEE Trans. Commun., vol. 31, pp. 450–457, Mar. 1983.
- (3) E. Casini, R. De Gaudenzi, and O. del Rio Herrero, "Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA (CRDSA): an enhanced random access scheme for satellite access packet networks", IEEE Trans. Commun., vol. 6, num. 4, pp 1408–1419, Apr. 2007
- (4) De Gaudenzi, R.; del Rio Herrero, O.; "Advances in Random Access protocols for satellite networks," Satellite and Space Communications, 2009. IWSSC 2009. International Workshop on, pp. 331-336, 9–11 Sept. 2009
- (5) Liva, G.; "Graph-Based Analysis and Optimization of Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA," Communications, IEEE Transactions on, vol. 59, no. 2, pp. 477–487, February 2011
- (6) Kissling, C.; "Performance enhancements for asynchronous random access protocols over Satellite", IEEE International Conference on Communications (ICC), Kyoto, Jun. 2011.
- (7) Clazzer, F. and Kissling, C.; "Enhanced Contention Resolution Aloha – ECRA", 9 International ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC), Munich, Jan. 2013.
- (8) Clazzer, F. and Kissling, C.; "Optimum Header Positioning in Successive Interference Cancellation (SIC) based Aloha", IEEE International Conference on Communications (ICC), Budapest, Jun. 2013.
- (9) Lee, S., Joo, S. and Lee C.; "An Enhanced Dynamic Framed Slotted Aloha Algorithm for RFID

Tag Identification", International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, (MobiQuitous), 2005

(10) J. Byers, M. Luby, M. Mitzenmacher, and A. Rege, "A digital fountain approach to reliable distribution of bulk data," SIGCOMM Comput. Commun. Re.v., vol. 28, na. 4, pp. 56–67, Oct 1998.

(11) M. Luby, "LT codes," in Proc. 43rd Annual IEEE Symp. on Foundations of Computer Science, Vancouver, Canada, Nov. 2002, pp. 271–282.

(12) M. Shokrollahi, "Raptor codes," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 52, no. 6, pp. 2551–2567, Jun. 2006.

(13) B. Schotsch, R. Lupoiaie, and P. Vary, "The performance of low-density random linear fountain codes over higher order Galois fields under maximum likelihood decoding," in Proc. 49th Annual Allerton Conf. on Commun., Control, and Computing, Monticello, IL, USA, Sep. 2011, pp. 1004–1011.

(14) G. Liva, E. Paolini, and M. Chiani, "Performance versus Overhead for Fountain Codes over F_q ", IEEE Communications Letters, vol. 14, no. 2, pp. 178–180, February 2010.

[0004] Random Access Protokolle sind besonders geeignet für alle Szenarios, in denen die auftretende Verkehrslast nicht vorausgesagt werden kann und daher zufällig auftritt oder in denen eilige Daten übertragen werden müssen und ein Demand Assignment Multiple Access (DAMA) ein Delay und einen Signalisierungs-Overhead verursachen würde. Die ursprüngliche Idee des Aloha-Protokolls wurde 1970 in Veröffentlichung (1) beschrieben.

[0005] In den letzten Jahren wurden Contention Resolution Diversity Slotted Aloha (CRDSA) (3) und Contention Resolution Aloha (CRA) (6) als Weiterentwicklung von Slotted Aloha und Aloha vorgeschlagen. CRDSA ist eine Weiterentwicklung des Slotted Aloha Verfahrens und insbesondere von Diversity Slotted Aloha (DSA) (2). CRDSA übernimmt von DSA die Idee mehr als ein Paket pro User in jedem Frame zu senden. Das ursprüngliche CRDSA Protokoll generiert zwei Replikas desselben Paktes an zufälligen Zeiten innerhalb des Frames anstelle lediglich eines Paketes in Slotted Aloha. Bei CRDSA werden zusätzlich zum DSA Verfahren Kollisionen unter Verwendung eines Successive Interference Cancellation Verfahrens beseitigt. Jede Kopie enthält einen Zeiger zu allen anderen Kopien des Pakets. Wenn eine Kopie des Pakets dekodiert wird, dann weiß man aufgrund der Zeiger die Positionen, an denen alle anderen Kopien gesendet wurden, und man kann die Interferenz von allen Kopien entfernen. Wenn man diese Interferenzen entfernt, werden möglicherweise Kopien von anderen Paketen von Interferenzen befreit. Diese Kopien werden dann decodiert und die In-

terferenz an anderen Paketen wird wiederum abgezogen, usw., bis alle Pakete decodiert werden.

[0006] Verglichen zu Slotted Aloha bietet CRDSA eine verbesserte Packet Error Rate (PER) und einen wesentlich höheren Datendurchsatz (0,55 Pakete pro Slot, verglichen zu 0,36 bei Slotted Aloha).

[0007] Beim CRA Protokoll werden ähnlich zu CRDSA SIC-Techniken verwendet, jedoch in einem Aloha-ähnlichen MAC Protokoll. Im Gegensatz zu den schlitzbasierten Verfahren sind hier keine Schlitze im Frame vorhanden und somit können die Nutzer ihre Replikas ohne irgendwelche Einschränkungen innerhalb des Frames platzieren. Die einzige Einschränkung ist, dass die Replikas eines Nutzers nicht untereinander zu Kollisionen führen dürfen. Das Weglassen der Slots resultiert in signifikanten Vorteilen, wie beispielsweise niedrigeren Anforderungen hinsichtlich der Synchronisation zwischen den Nutzern und der Möglichkeit die Paketlänge zu variieren, ohne, dass ein Padding Overhead auftritt. Ferner sind Forward Error Correction (FEC) Techniken in CRA im Gegensatz zu CRDSA von größerem Vorteil, weil partielle Interferenzen zwischen Datenpaketen nicht lediglich möglich, sondern auch wahrscheinlicher als eine komplette Interferenz (das heißt eine vollständige Überlappung zweier Datenpakete) sind.

[0008] Das Irregular Repetition Slotted Aloha (IRSA) Protokoll ist eine Optimierung von CRDSA, die auf einem bipartiten Graph basiert und ist in der Veröffentlichung (5) beschrieben. Die Anzahl der Replikate, die jeder Nutzer innerhalb eines Frames sendet, ist nicht festgelegt, sondern wird anhand einer Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmt, um den Durchsatz zu erhöhen. In der genannten Veröffentlichung wurde gezeigt, dass die Verteilung der Anzahl der Datenpakete derart optimiert werden kann, dass entweder der Durchsatz maximiert, oder die Packet Error Rate minimiert werden kann.

[0009] Das ECRA Verfahren ist in den Veröffentlichungen (7) und (8) beschrieben.

[0010] Die zwei wichtigsten Messgrößen für die Untersuchung von RA MAC Protokollen sind die Paketfehlerrate (Packet Error Rate, PER) und der Datendurchsatz (Throughput, T). Beides sind Größen die von der vorhandenen Kanallast G abhängen. Die Kanallast G ist die Auslastung des MAC Kanals, während die Packet Error Rate das Verhältnis zwischen verloren gegangenen Paketen zu der Gesamtzahl der gesendeten Pakete ist. Die Pakete können hauptsächlich auf Grund von Kollisionen verloren gehen, aber auch auf Grund von Einflüssen des Übertragungskanals.

[0011] Der Datendurchsatz wird unter Verwendung der Größen G für die Kanallast und der Packet Error

Rate definiert als das Verhältnis von erfolgreich decodierten Paketen gegenüber der Gesamtanzahl der gesendeten Pakete, multipliziert mit der Kanallast:

$$T = (1 - \text{PER}) \times G.$$

[0012] US 2007/0002742 A1 beschreibt ein Verfahren zum Übertragen von Daten, wobei mehrere Sender auf einen gemeinsamen Übertragungskanal zugreifen. Es ist ein Kontrollmodul vorgesehen, das Informationen über den Kanal erhält. Die Übertragung der Datenpakete wird basierend auf dieser Information angepasst.

[0013] Ähnliche Datenübertragungsverfahren sind bekannt aus US 2012/0307934 A1 und US 7 924 761 B1.

[0014] Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zum Übertragen von Daten bereitzustellen, durch das ein erhöhter Datendurchsatz erreicht werden kann.

[0015] Die Lösung der Aufgabe erfolgte erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1.

[0016] Beim erfindungsgemäßen Verfahren werden Daten über einen gemeinsamen Übertragungskanal von mehreren Sendern zu einem Empfänger gesendet. Der Zugriff der Sender auf den gemeinsamen Übertragungskanal erfolgt hierbei durch ein Random Access Verfahren.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

a) Die Packet Error Rate wird durch den Empfänger ermittelt. Hierbei kann die Packet Error Rate des letzten Frames herangezogen werden. Alternativ ist es möglich die Packet Error Rate einer größeren Anzahl der letzten Frames zu berücksichtigen.

b) Die ermittelte Packet Error Rate wird vom Empfänger an die Sender übermittelt. Hierzu kann ein ohnehin vorhandener Feedback-Kanal verwendet werden, der notwendig ist, um den Sendern die erfolgreiche Übermittlung von Datenpaketen an den Empfänger zu bestätigen.

c) Die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, um einen definierten Datendurchsatz T zu erreichen, wird ermittelt. Es ist bevorzugt, dass alle Sender die gleiche Anzahl N an Paketen übermitteln.

d) Es wird die Anzahl der in der Physical Layer Packet Queue eines jeden Nutzers vorhandenen Pakete ermittelt, wobei

d1) wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete $> N$ ist, die ersten N Pakete in der Physical Layer Queue ausgewählt und an den Empfänger gesendet werden,

d2) wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete kleiner als N ist, alle vorhandenen Pakete ausgewählt werden, mit einem Fountain Encoder so viele redundante Pakete erzeugt werden, bis die Anzahl N erreicht ist, und die redundante Pakete zusammen mit den vorhandenen Paketen an den Empfänger gesendet werden.

[0018] Erfindungsgemäß wird somit ein Random Access Verfahren bereitgestellt, das in der Lage ist durch ein Anpassen der genannten Parameter (nämlich der verwendeten Pakete aus dem Physical Layer) in einem definierten Betriebspunkt zu verbleiben.

[0019] Die einzige aus dem Stand der Technik bekannte Veröffentlichung, die sich mit einer dynamischen Anpassung von Parametern zur Erreichung eines optimierten Datendurchsatzes befasst, ist die Druckschrift (9). Hierin wird vorgeschlagen die Framelänge im Physical Layer anzupassen, was jedoch in der praktischen Umsetzung häufig nicht möglich ist. Beispielsweise könnte die dynamische Synchronisation zwischen verschiedenen Nutzern zu Problemen führen.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren dagegen verlangt keine besondere Koordination auf Grund von Veränderungen im Physical Layer. Der erfindungsgemäße Cross-Layer-Ansatz ist somit besonders vorteilhaft für Sender die nicht benachbart zueinander angeordnet sind und unabhängig voneinander agieren. Unter einem Cross-Layer-Ansatz wird verstanden, dass Informationen aus verschiedenen Layern des OSI-Schichtenmodells bei der Übermittlung der Datenpakete berücksichtigt werden. Beispielsweise wird erfindungsgemäß in einem der höheren Layer die Information über die erreichte Packet Error Rate ermittelt und an die Sender übermittelt. Diese wiederum verwenden eine Information über die im Physical Layer vorhandenen Pakete.

[0021] Erfindungsgemäß ist es somit möglich das Random Access Verfahren in der Nähe des optimalen Betriebspunktes zu betreiben, auch wenn die zur Verfügung stehende Kanallast sich verändert.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert somit auf der Idee, dass RA MAC Protokolle einen Betriebspunkt haben, bei dem sie den maximalen Durchsatz erreichen. Dieser Betriebspunkt entspricht einer bestimmten Kanallast, die durch das erfindungsgemäße Verfahren immer erreicht werden kann. Somit können die Nutzer basierend auf einer bekannten Packet Error Rate entscheiden die Anzahl von Paketen pro Frame, die zu übermitteln sind, zu erhöhen oder zu reduzieren. Während diese Anzahl im Stand der Technik keine Abhängigkeit von der momentanen Kanallast aufweist, wird erfindungsgemäß die momentane Kanallast (das heißt die in der Physical Layer Packet Queue vorhandenen Pa-

kete) berücksichtigt und die im nächsten Frame zu übertragende Anzahl an Paketen wird dynamisch angepasst. Hierdurch kann der Durchsatz erhöht werden und das durchschnittliche Delay in den höheren Schichten verringert werden.

[0023] Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, derart ermittelt wird, dass der größtmögliche Datendurchsatz erreicht wird. Es ist zu beachten, dass der maximale Durchsatz auch in diesem Fall erreicht werden kann, da jedem Datendurchsatz auch eine Packet Error Rate zugeordnet ist. Daher ist es möglich die Packet Error Rate derart auszuwählen, dass die dem maximalen Durchsatz zugeordnete Packet Error Rate erreicht wird.

[0024] Alternativ kann diese Anzahl N der zu übermittelnden Pakete derart ermittelt werden, dass eine gewünschte Packet Error Rate erreicht wird.

[0025] Weiterhin ist es bevorzugt, dass die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, für jeden neuen Frame individuell bestimmt wird. Dies erfolgt vorzugsweise basierend auf der Packet Error Rate des jeweils vorangegangenen Frames.

[0026] Weiterhin ist es bevorzugt, dass für den gemeinsamen Zugriff der Sender auf den gemeinsamen Übertragungskanal ein Random Access Verfahren und insbesondere eins der folgenden Verfahren verwendet wird:

Contention Resolution Diversity Slotted Aloha (CRDSA),
Irregular Repetition Slotted Aloha (IRSA),
ALOHA,
Contention Resolution Aloha (CRA) oder
Enhanced Contention Resolution Aloha (ECRA).

[0027] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand von Figuren erläutert.

[0028] Es zeigen:

[0029] Fig. 1 Eine schematische Darstellung des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0030] Fig. 2 Eine Darstellung des Datendurchsatzes in Abhängigkeit von der Kanallast für den ersten Anwendungsfall der Erfindung.

[0031] Fig. 3 Eine Darstellung des prozentualen Anstiegs des Datendurchsatzes in Abhängigkeit von der Kanallast für den ersten Anwendungsfall.

[0032] Fig. 4 Eine Darstellung des durchschnittlichen Delays für den ersten Anwendungsfall.

[0033] Fig. 5 Eine Darstellung des Datendurchsatzes in Abhängigkeit von der Kanallast für den zweiten Anwendungsfall der Erfindung.

[0034] Fig. 6 Eine Darstellung des prozentualen Anstiegs des Datendurchsatzes in Abhängigkeit von der Kanallast für den zweiten Anwendungsfall.

[0035] Im Folgenden wird anhand von Fig. 1 der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert. Ausgangspunkt ist die von dem Empfänger gemessene Packet Error Rate. Als Designparameter kann eine zu erreichende Packet Error Rate berücksichtigt werden. Hierbei kann es sich um einen vorgegebenen Wert handeln. Basierend auf der gemessenen Packet Error Rate wird die Anzahl der Pakete N berechnet, die in dem nächsten Frame zu übermitteln sind. Dies entspricht den oben beschriebenen Verfahrensschritten a) und c) des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0036] Im nächsten Schritt wird geprüft, ob in der Physical Layer Packet Queue eines jeden Nutzers genug Pakete vorhanden sind, um die Anzahl N zu erreichen. Dies entspricht dem oben beschriebenen Verfahrensschritt d). Wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete größer gleich N ist, werden die ersten N Pakete in der Physical Layer Packet Queue ausgewählt und an den Empfänger gesendet. Dies entspricht dem oben beschriebenen Verfahrensschritt d1).

[0037] Wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete kleiner als N ist, werden alle vorhandenen Pakete ausgewählt. Zusätzlich werden mit einem Fountain Encoder so viele redundante Pakete erzeugt, bis die Anzahl N erreicht ist. Die redundanten Pakete werden zusammen mit den vorhandenen Paketen an den Empfänger gesendet. Dies entspricht dem oben beschriebenen Verfahrensschritt d2).

[0038] Im Folgenden wird ein konkreteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben. Hierbei wird angenommen, dass ein Frame basiertes Slotted Aloha Protokoll für den gemeinsamen Kanalzugriff verwendet wird. Jeder Frame kann beispielsweise zusammengesetzt sein aus $N_s = 100$ Slots. Eine Anzahl N_u Nutzer übermittelt Pakete über den Übertragungskanal. Es wird angenommen, dass $N_u = G \times N_s$ ist. Jedes Physical Layer Paket nimmt genau einen Slot ein. Im Falle einer Kollision, das heißt, wenn mehr als ein Nutzer sein Paket in demselben Slot senden möchte, werden die Pakete als verloren angesehen und müssen durch die Nutzer erneut gesendet werden. Hierzu wird ein entsprechender-Feedback Kanal von dem Empfänger zu den Sendern verwendet, um das erfolgreiche Übermitteln eines Datenpaketes zu signalisieren. Zusammen mit diesem Feedback wird die augenblickliche Packet Error Rate des Physical Layer an die Sender zurückgemeldet.

[0039] Mit dieser zusätzlichen Information kann jeder Sender entscheiden, ob mehr als ein Paket pro Frame gesendet werden kann oder nicht. Diese Entscheidung basiert auf der Tatsache, dass RA MAC Protokolle einen Betriebspunkt haben, an dem sie den maximalen Durchsatz erreichen, und dieser Betriebspunkt einer bestimmten Kanallast entspricht. Die Nutzer können somit entscheiden, ob sie die Anzahl der Pakete die sie pro Frame senden werden, erhöhen oder verringern. Diese Anpassung kann individuell von Frame zu Frame erfolgen.

[0040] Es ist wichtig zu verstehen, dass die Physical Layer Pakete von höheren Schichten bereit gestellt werden und so zum Beispiel entweder ein Paket aus einer höheren Schicht sein können oder aber ein Teil eines Pakets (wenn eine Fragmentation verwendet wird). Daher steht jedem Sender eine Queue von Physical Layer Paketen zur Verfügung, die über den Übertragungskanal zu verschicken sind. Hierbei existieren zwei mögliche Szenarien: Erstens können in der Queue genügend Physical Layer Pakete vorhanden sein, so dass hiervon die ersten N Pakete gesendet werden können. Die zweite Möglichkeit ist, dass in der Queue weniger Physical Layer Pakete als benötigt vorhanden sind. Für diesen zweiten Fall werden die vorhandenen Physical Layer Pakete unter Verwendung eines Fountain Codes codiert, so dass durch den Fountain Code redundante Pakete erzeugt werden, bis die benötigte Anzahl N an Paketen erreicht wird. Die redundanten Pakete werden anschließend zusammen mit den vorhandenen Paketen an den Empfänger gesendet.

[0041] Informationen über Fountain Codes können den Veröffentlichungen (10)–(14) entnommen werden.

[0042] In Fig. 2 ist der Datendurchsatz in Abhängigkeit von der Kanallast G dargestellt. Es ist unmittelbar zu beobachten, dass insbesondere für niedrige Kanallasten G der Anstieg des Durchsatzes sehr groß ausfällt. Bei steigender Kanallast fällt der Anstieg des Durchsatzes geringer aus. Dies liegt darin begründet, dass der Punkt des maximalen Durchsatzes für Slotted Aloha bei $G = 1$ liegt. An diesem Punkt ist der Durchsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens identisch mit dem Durchsatz von Slotted Aloha.

[0043] In Fig. 3 ist der Anstieg des Durchsatzes des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber Slotted Aloha dargestellt. Der Anstieg des Durchsatzes wurde berechnet basierend auf dem Verhältnis der in Fig. 1 dargestellten Kurven. Es ist ein Anstieg des Durchsatzes von bis zu 300% für niedrige Kanallasten zu verzeichnen.

[0044] In Fig. 4 ist der durchschnittliche Delay der Physical Layer Pakete dargestellt. Es ist zu beobachten, dass für niedrige bis mittlere Kanallasten der

durchschnittliche Delay des erfindungsgemäßen Verfahrens circa 25% desjenigen von Slotted Aloha beträgt. Mit anderen Worten benötigt im erfindungsgemäßen Verfahren ein Paket ein Viertel der Zeit, um korrekt am Empfänger anzukommen. Bei der Berechnung des durchschnittlichen Delays wird ebenfalls die Zeit in der Queue der Sender berücksichtigt.

[0045] In Fig. 5 ist der Datendurchsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber dem Slotted Aloha Verfahren für den zweiten Anwendungsfall dargestellt. Hierbei befinden sich in der Physical Layer Packet Queue nicht genügend Pakete, so dass die fehlenden Pakete durch einen Fountain Encoder generiert werden. In den Fig. 5 und Fig. 6 ist zu sehen, dass der Anstieg des Durchsatzes ein Maximum von 8,5% erreicht. Es ist zu berücksichtigen, dass der zweite Anwendungsfall den worst Case darstellt, da dieses Szenario lediglich dann auftritt, wenn die Queues aller Nutzer eines Systems leer sind.

[0046] Es ist bevorzugt, dass zwischen den einzelnen Nutzer keine Koordination bezüglich der Anzahl N der zu übermittelnden Pakete stattfindet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Daten, wobei ein Übertragungskanal zu einem Empfänger von mehreren Sendern gemeinsam genutzt wird, wobei der Zugriff der Sender auf den gemeinsamen Übertragungskanal durch ein Random Access Verfahren geregelt wird, gekennzeichnet durch die Schritte:

a) Ermitteln der Packet Error Rate durch den Empfänger und Ermitteln einer optimalen Kanallast G, die einem optimalen Betriebspunkt entspricht, bei dem das Random Access Verfahren den höchsten Datendurchsatz T erreicht,

b) Übermitteln der ermittelten Packet Error Rate vom Empfänger an die Sender.

c) Ermitteln der Anzahl N der Physical Layer Pakete die, im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, um einen definierten Datendurchsatz T zu erreichen, indem basierend auf der bekannten Packet Error Rate entschieden wird, die Anzahl von Paketen N, die im nächsten Frame zu übermitteln sind, in Abhängigkeit von der in Verfahrensschritt a) ermittelten zu erreichenden Kanallast G dynamisch zu erhöhen oder zu reduzieren, wobei N die Anzahl der im nächsten Frame von jedem Nutzer zu übermittelnden Pakete ist

d) Ermitteln der Anzahl der in der Physical Layer Packet Queue eines jeden Nutzers vorhandenen Pakete, wobei

d1) wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete $\geq N$ ist, die ersten N Pakete in der Physical Layer Queue ausgewählt und an den Empfänger gesendet werden,

d2) wenn die Anzahl der vorhandenen Pakete kleiner als N ist, alle vorhandenen Pakete ausgewählt wer-

den, mit einem Fountain Encoder so viele redundante Pakete erzeugt werden, bis die Anzahl N erreicht ist, und die redundante Pakete zusammen mit den vorhandenen Paketen an den Empfänger gesendet werden,

wobei die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, derart ermittelt wird, dass der größtmögliche Datendurchsatz T erreicht wird oder die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, derart ermittelt wird, dass eine gewünschte Packet Error Rate erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl N der Physical Layer Pakete, die im nächsten Frame an den Empfänger zu übermitteln sind, für jeden neuen Frame individuell bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1–2, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den gemeinsamen Zugriff der Sender auf den gemeinsamen Übertragungskanal ein Random Access Verfahren, insbesondere Contention Resolution Diversity Slotted Aloha, Irregular Repetition Slotted Aloha, ALOHA, Contention Resolution Aloha oder Enhanced Contention Resolution Aloha verwendet wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

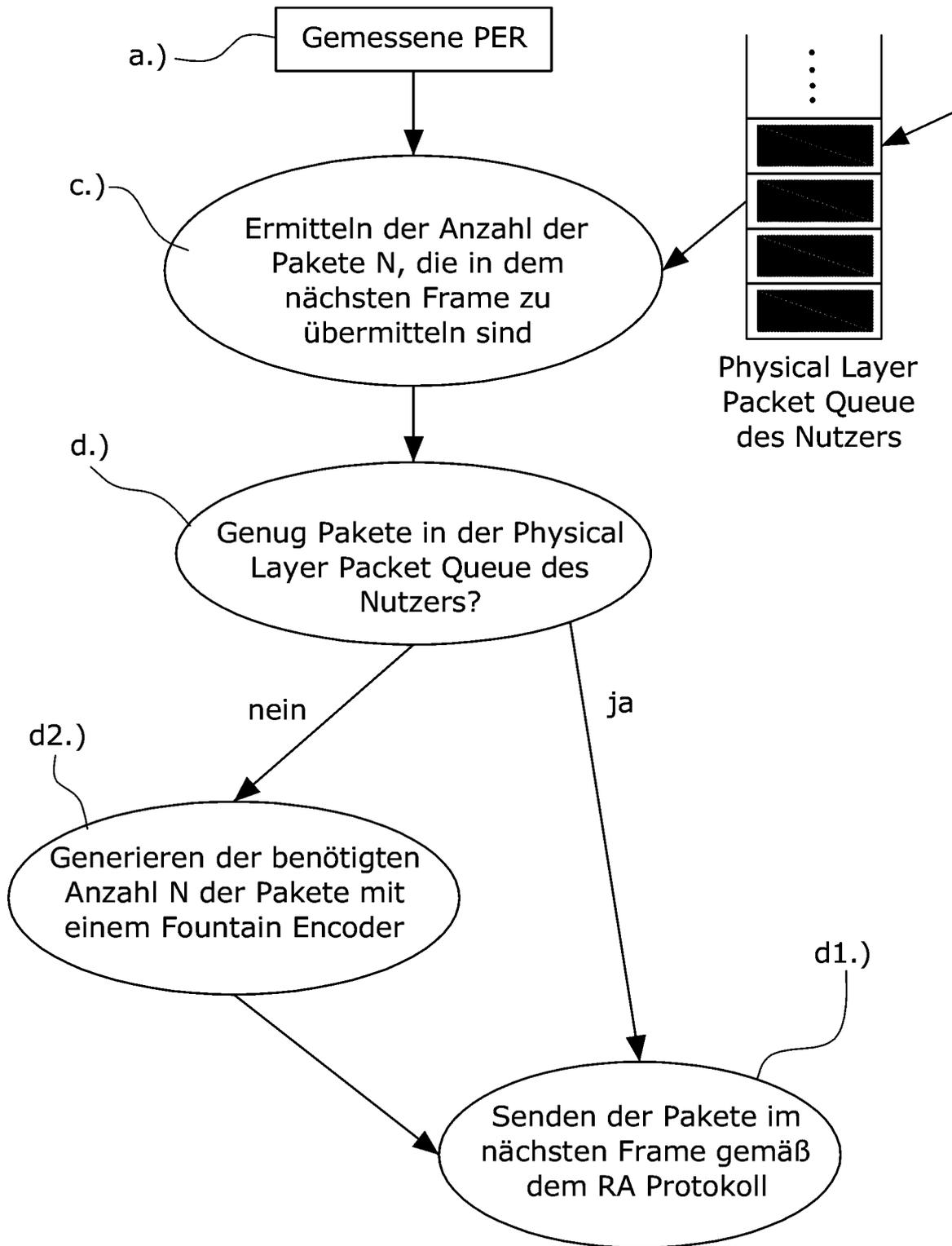


Fig.1

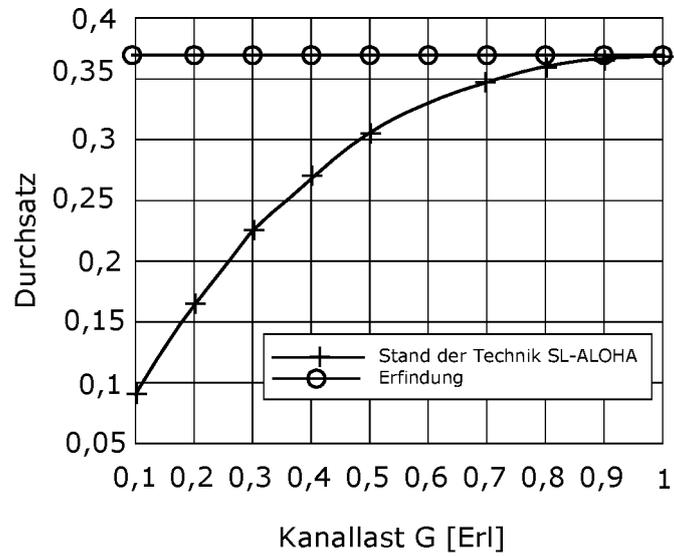


Fig.2

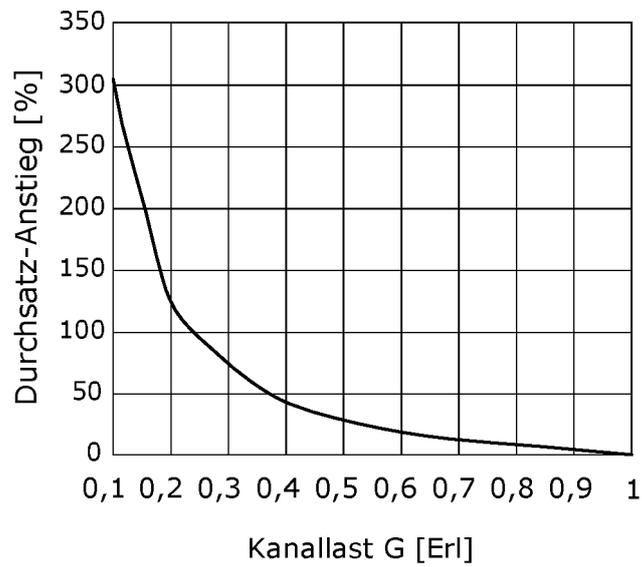


Fig.3

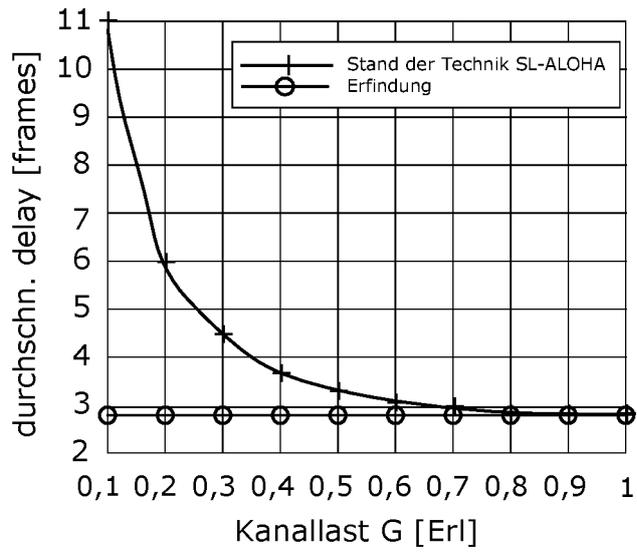


Fig.4

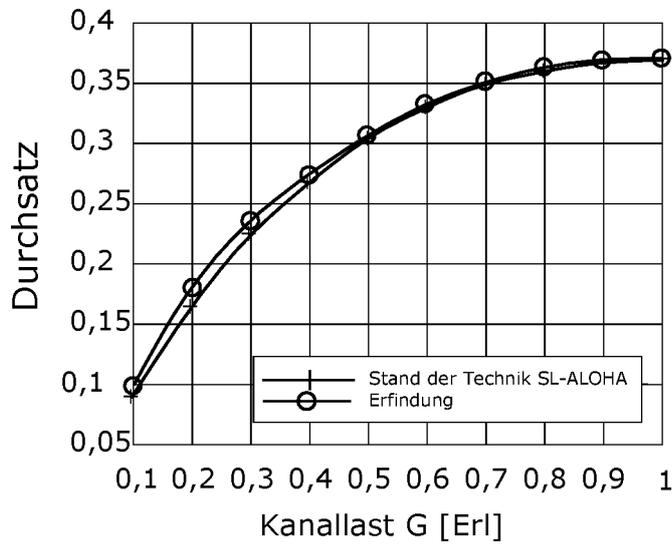


Fig.5

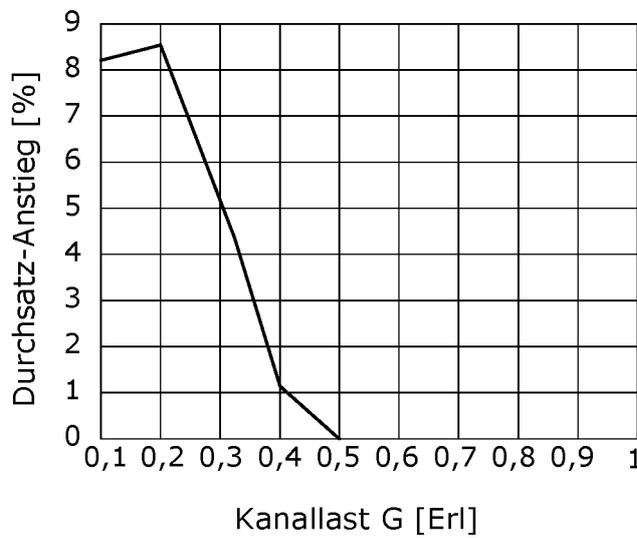


Fig.6