



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 37 441 T2** 2007.11.29

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 873 621 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 37 441.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB97/01272**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 942 162.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1998/017031**

(86) PCT-Anmeldetag: **13.10.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **23.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.10.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **07.03.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.11.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04L 12/28** (2006.01)  
**H04L 12/56** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**735276**      **16.10.1996**      **US**

(73) Patentinhaber:

**Koninklijke Philips Electronics N.V., Eindhoven,  
NL**

(74) Vertreter:

**Volmer, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 52066 Aachen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**MELNIK, George A., NL-5656 AA Eindhoven, NL**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Leitweglenkung in einem drahtlosen Netz**

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

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein drahtlose Multihop-Netze (manchmal auch als "drahtlose Lokalnetze (Wireless Local Area Networks, W-LANs) oder "drahtlose Packet-Hopping-Netze" (Wireless, Packet-Hopping Networks) bezeichnet) und spezieller ein Verfahren zum Konfigurieren und zur Leitweglenkung (Routing) von Datenpaketen innerhalb eines drahtlosen Multihop-Netzes und ein drahtloses Netz zum Implementieren desselben. Insbesondere stellt die vorliegende Erfindung eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem PaST ("Partitioned Spanning Tree", Partitionierter Spannbaum) Routing-Algorithmus und drahtlosen Netz dar, die in der veröffentlichten europäischen Patentschrift EP 782,802 Nr. 08/558,447 offenbart werden, welche am 16.11.95 im Namen von A. Dasgupta eingereicht wurde und welche auf den Zessionar der vorliegenden Erfindung übertragen wurde.

**[0002]** Ein Netz, welches aus mehreren Netzknoten oder Einzelknoten besteht, welche miteinander und mit einem Netzsteuerknoten (auch als ein "Hauptknoten" oder "Zentralknoten" bezeichnet) über drahtlose (Funk- oder HF-) Verbindungen kommunizieren, wird im Allgemeinen als ein drahtloses (Funk- oder HF-) Netz bezeichnet. In drahtlosen Multihop-Netzen enthält jeder Knoten einen Knoten-Controller, welcher eine digitale Signalverarbeitungseinrichtung (z.B. einen Mikroprozessor) und einen HF-Transceiver enthält. Daten werden zwischen den Einzelknoten und dem Steuerknoten mittels eines als "Hopping" ("Springen") bekannten Verfahrens übermittelt (übertragen), bei welchem einzelne Dateneinheiten von dem Steuerknoten zu einem Zielknoten und von einem Ursprungsknoten (Quell-/Absenderknoten) zu dem Steuerknoten übertragen werden, indem sie in allen Fällen, in welchen der Ziel- oder Ursprungsknoten keine direkte Kommunikationsverbindung mit dem Steuerknoten hat, von einem oder mehreren Zwischenknoten gemäß einem Netzrouting-Protokoll "gehopppt" (weitergeleitet oder weitergesendet/weiter ausgestrahlt) werden. Jeder der Knoten, welcher ein Paket zu einem oder mehreren anderen Knoten in dem Netz "hoppt" oder weitersendet, wird gewöhnlich als ein "Repeater-Knoten" oder einfach "Repeater" bezeichnet. Der Zielknoten quittiert im Allgemeinen den Empfang eines Datenpaketes von dem Steuerknoten, indem er ein Quittungs-Datenpaket auf eine ähnliche Weise über einen oder mehrere Repeater an den Steuerknoten zurücksendet.

**[0003]** Es können verschiedene logische Einheiten von Daten verwendet werden, darunter Pakete, Rahmen (Frames) oder Zellen. Im Interesse der Einfachheit der Darstellung einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden jedoch die verwendeten Einheiten von Daten "Pakete" sein, welche normalerweise eine Größe im Be-

reich von etwa 5–1000 Bytes haben. In diesem Zusammenhang soll der Begriff "Pakete" hier in dem Sinne verstanden werden, dass er alle logischen Einheiten von Daten beinhaltet, einschließlich Rahmen oder Zellen. Im Allgemeinen werden Datenübertragungen mit Paket-Hopping unter der Steuerung des Steuerknotens durchgeführt, welcher normalerweise ein Computer ist, auf welchem die Steuerungssoftware für die Datenübertragung resident ist. Das Datenübertragungsschema mit Paket-Hopping ermöglicht eine Verringerung der Kosten der HF-Transceiver und die Erfüllung der Anforderungen von FCC (Federal Communications Commission) Teil 15.

**[0004]** Solche drahtlosen Paket-Hopping-Netze sind besonders zum Steuern einer oder mehrerer Funktionen oder Systeme eines Gebäudes geeignet, z.B. des Beleuchtungssystems, der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage und/oder der Sicherheitssysteme des Gebäudes, da ein drahtloses Netz eine kostengünstige Kommunikationsinfrastruktur innerhalb des Gebäudes bietet, welche nicht das Hinzufügen neuer Leitungen zu der vorhandenen Struktur erfordert, um die Netzinformationen zu transportieren. Ferner können solche Netze zusätzliche Systeme unterstützen, die in dem Gebäude installiert werden, wie etwa Personenruf- (Paging-) oder Persönliche Kommunikationssysteme (Personal Communications Systems, PCSs).

**[0005]** Der Steuerknoten solcher Gebäudesteuerungsnetze ist normalerweise ein Gebäudecomputer. Die Einzelknoten und der Gebäudecomputer führen verschiedene Softwareprogramme aus, welche zueinander komplementär sind und welche zusammen die Systemsteuerungs-Software darstellen. Die Einzelknoten sind normalerweise überall im Gebäude verteilt, um den Zustand/Wert vorgeschriebener Parameter des Gebäudesystems, das gesteuert wird, zu überwachen und um in Reaktion auf von dem Gebäudecomputer ausgegebene Befehle Steuersignale zu erzeugen, um die vorgeschriebenen Parameter je nach Erfordernis einzustellen. Es ist wichtig, dass der Gebäudecomputer in der Lage ist, Daten zu und von jedem Knoten im Netz zu senden und zu empfangen, um den Zustand/Wert der vorgeschriebenen Parameter ordnungsgemäß zu überwachen und um Befehle auszugeben, um den Zustand/Wert der vorgeschriebenen Parameter entsprechend der Systemsteuerungs-Software je nach Erfordernis einzustellen.

**[0006]** Ein beispielhaftes Gebäudesteuerungsnetz ist ein automatisches oder intelligentes Beleuchtungssteuerungssystem, welches Leuchtstärken, Nutzungszustand, Energieverbrauch als eine Funktion der Zeit und/oder andere Beleuchtungsparameter jedes Raumes und/oder Bereiches des Gebäudes innerhalb des Netzes überwacht, d.h. jedes Raumes und/oder Bereiches des Gebäudes, welcher mit (ei-

nem) Beleuchtungsmodul(en) ausgestattet ist, der (die) mit einem Knoten-Controller (auch als eine "Wall Unit" (Wandeinheit) bezeichnet) verbunden ist (sind), welcher einen HF-Transceiver, eine digitale Signalverarbeitungseinrichtung (z.B. einen Mikrocontroller oder Mikroprozessor) und Steuerschaltungen enthält, um den Beleuchtungseinrichtungen zu signalisieren, dass sie ihre Helligkeitspegel ändern sollen. Jedes Beleuchtungsmodul und sein zugehöriger Knoten-Controller stellen zusammen einen Knoten in dem Netz dar, welches Gegenstand der Steuerung/des Managements des Gebäudecomputers ist.

**[0007]** In einem solchen intelligenten Beleuchtungssteuerungssystem ist jedes der Beleuchtungsmodule vorzugsweise über seine zugehörige Wandeinheit separat programmierbar (z.B. durch Bewohner bzw. Nutzer des Gebäudes), um eine direkte Steuerung der Einstellung des Dimmerballastes desselben und somit eine direkte Steuerung der Leuchtstärke der Lampe(n) desselben zu gewährleisten. Zu diesem Zweck weist jeder der Knoten einen oder mehrere Sensoren auf (z.B. Nutzungszustands-, Tageslicht-(Umgebungsbeleuchtungs- und Dimm-/Leuchtstärkensenor), welche Sensor-Rückmeldedaten der digitalen Signalverarbeitungseinrichtung (z.B. einem Mikroprozessor) des Knoten-Controllers zuführen, welche so programmiert ist, dass sie die Sensor-Rückmeldedaten analysiert (verarbeitet) und Steuersignale zum Regeln der Leuchtstärke der zugehörigen überwachten Lampe(n) erzeugt, so wie es erforderlich ist, um die programmierten örtlichen Beleuchtungsbedingungen zu erzielen.

**[0008]** Die Sensor-Rückmeldedaten werden außerdem von jedem Knoten im Netz zu dem Gebäudecomputer übertragen, wenn sie von dem Gebäudecomputer eine entsprechende Anforderung erhalten oder wenn sich die örtlichen Beleuchtungsbedingungen ändern. Der Gebäudecomputer analysiert (verarbeitet) die Sensor-Rückmeldedaten entsprechend der auf ihm installierten Beleuchtungssystem-Steuerungssoftware und sendet Steuerungsdaten (Befehle) zu den Einzelknoten, so wie es erforderlich ist, um die Beleuchtungsniveaus der überwachten Räume/Bereiche des Gebäudes entsprechend der Beleuchtungssystem-Steuerungssoftware einzustellen, z.B. um die Energieeffizienz des Beleuchtungssystems zu optimieren, und dadurch die programmierten Beleuchtungsniveaus, die von den einzelnen Beleuchtungsmodulen vorgesehen werden, zu übersteuern. Somit sind die verteilten Module zusätzlich zu der Tatsache, dass sie separat programmierbar sind und zu einem unabhängigen Betrieb in der Lage sind, funktional in ein einziges gebäudeweites Netz integriert, das von dem Gebäudecomputer gesteuert wird.

**[0009]** Datenübertragungen in solchen Netzen erfolgen im Allgemeinen zwischen dem Gebäudecom-

puter und den Einzelknoten und umgekehrt über einen gemeinsamen Übertragungskanal (d.h. einen gemeinsam genutzten Kanal). Um die gleichzeitigen Übertragungen von Paketen über den gemeinsamen Netzkanal auf ein Minimum zu begrenzen, wird ein Kanalzugriffsprotokoll verwendet. Das gebräuchlichste Kanalzugriffsprotokoll ist das Carrier Sense Multiple Access (Vielfachzugriff mit Trägererkennung, CSMA) Protokoll, gemäß welchem jeder der Knoten, bevor er ein Paket sendet, eine zufällige Verzögerungszeit wartet und danach den Kanal abfragt, um zu bestimmen, ob er verfügbar ("frei") oder nicht verfügbar ("belegt") ist. Falls der Kanal als frei erkannt wird, sendet der Knoten das Paket, und falls der Kanal als belegt erkannt wird, wartet er eine weitere zufällige Verzögerungszeit, bevor er erneut den Zustand des Kanals abfragt, bevor er einen weiteren Versuch unternimmt, das Paket zu senden.

**[0010]** Allgemein existieren zwei Hauptkategorien von Netzrouting-Algorithmen oder -Protokollen, welche in drahtlosen Multihop-Netzen normalerweise benutzt werden, nämlich stochastische (zufällige) und deterministische Routing-Protokolle.

**[0011]** Gemäß stochastischen Routing-Protokollen werden Pakete zufällig durch die Knoten in dem Netz von einem Absenderknoten zu einem Zielknoten entlang zufälliger Routen "gehoppert" (weitergesendet), ohne dass eine bestimmte Menge von Repeatern verwendet wird, um die Datenübertragung zu bewirken. Genauer, der Absenderknoten sendet ein Paket zu allen Knoten innerhalb seines Sendebereiches, und jeder Knoten, welcher das Paket empfängt, sendet oder überträgt dann das Paket zu jedem Knoten innerhalb seines jeweiligen Sendebereiches weiter, und so weiter, bis das Paket den Zielknoten erreicht. Normalerweise enthält jedes Paket ein gewöhnlich "Hop-Zähler" genanntes Byte, welches von jedem Repeater dekrementiert wird, bis es null erreicht. Sobald es null erreicht, wird das Paket nicht mehr weitergesendet. Der Hop-Zähler wird durch den sendenden (übertragenden) Knoten so eingestellt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass das Paket den Zielknoten erreicht, maximiert wird, ohne dass dabei das Netz während eines unangemessen langen Zeitraums beansprucht wird.

**[0012]** Ein wesentlicher Nachteil stochastischer Routing-Protokolle ist, dass eine recht hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass die meisten, wenn nicht alle Knoten in dem Netz absolut jedes gesendete Paket handhaben werden, wodurch sich die Datenverkehrsdichte in dem Netz stark erhöht und daher die Anzahl verschiedener Pakete, welche zu einem beliebigen gegebenen Zeitpunkt "im Netz" sein können (d.h. die Datenverkehrs-Abwicklungskapazität des Netzes) stark begrenzt wird. Dies begrenzt die Übertragungseffizienz des Netzes und erhöht außerdem die Anzahl nicht auflösbarer Kollisionen, welche auf-

treten. Diese nicht auflösbaren Kollisionen von Datenpaketen können bewirken, dass Pakete verloren gehen, bevor sie ihr Ziel erreichen. Was dies betrifft, so laufen in Gebäudesteuerungsnetzen die Quittungspakete, die zu dem Gebäudecomputer zurückgesendet werden, normalerweise auf nur wenigen Knoten zusammen, welche direkt mit dem Gebäudecomputer in Verbindung stehen, was eine höhere Wahrscheinlichkeit und eine größere Anzahl von nicht auflösbaren Kollisionen, an denen solche Pakete beteiligt sind, zur Folge hat. Daher kommt es häufig zu einem Blockieren von Quittungspaketen, wodurch der Gebäudecomputer gezwungen wird, ein Paket erneut zu senden, um zu bestimmen, ob das ursprüngliche gesendete Paket tatsächlich von dem Zielknoten empfangen wurde. Dies schränkt natürlich den Datendurchsatz und die Effizienz des Netzes erheblich ein.

**[0013]** Gemäß herkömmlichen deterministischen Routing-Protokollen erstellt der Gebäudecomputer Routing-Tabellen auf der Basis von Knotenkonktivitäts-Informationen, welche er während der Ausführung einer Netzinitialisierungs-Routine sammelt. Diese Routing-Tabellen werden dann verwendet, um Pakete von Daten von einem Absenderknoten zu einem Zielknoten über eine spezielle Menge oder "Kette" von Repeatern zu routen (d.h. entlang einer vorgegebenen Route oder eines singulären Weges, der in den Routing-Tabellen definiert ist). Aufgrund der Tatsache, dass sich diese herkömmlichen deterministischen Routing-Protokolle auf die Verwendung von Routing-Tabellen beim Routing von Daten innerhalb des Netzes stützen, werden sie manchmal als "tabellarische" Routing-Protokolle bezeichnet. Da jedes Paket nur von dem einen oder den mehreren Knoten entlang des vorgegebenen Übertragungsweges (d.h. der spezifischen "Kette" von Repeater-Knoten, die in den Routing-Tabellen angegeben ist) weitergesendet wird (unter der Annahme, dass keine direkte Verbindung mit dem Gebäudecomputer vorhanden ist), können viele verschiedene Pakete gleichzeitig übertragen werden (d.h. "im Netz" sein), wodurch eine vergleichsweise höhere Datenverkehrs-Abwicklungskapazität des Netzes (d.h. ein höherer Datendurchsatz) resultiert, als es bei Verwendung eines stochastischen Routing-Protokolls möglich ist.

**[0014]** Ein wesentlicher Nachteil herkömmlicher tabellarischer Routing-Algorithmen ist die Anforderung, dass jeder Knoten über einen ausreichenden Speicher verfügen muss, um die Routing-Tabellen zu speichern, und über eine ausreichende Verarbeitungsleistung, um die logischen Operationen abzuwickeln, welche erforderlich sind, um die Routing-Entscheidungen auf der Basis der in den Routing-Tabellen enthaltenen Daten zu treffen. Was dies betrifft, so erfordern viele Anwendungen kostengünstige, "ressourcenarme" Knoten, d.h. Knoten, welche über einen minimalen Speicher und eine minimale Verarbei-

tungsleistung verfügen.

**[0015]** Zu diesem Zweck wird ein nicht tabellarischer, deterministischer Routing-Algorithmus, welcher besonders für drahtlose Multihop-Netze mit ressourcenarmen Knoten geeignet ist, in der US-Patentschrift 5,926,101 von A. Dasgupta offenbart, welche auf den Zessionar der vorliegenden Erfindung übertragen wurde. Dieser Routing-Algorithmus, der "PaST"-Algorithmus genannt wird, ermöglicht die Verwendung von Netzknoten, welche einen kostengünstigen Mikrocontroller und eine kleine Menge an Speicher (z.B. weniger als 10 Byte) verwenden und welche ausreichend kompakt ausgeführt werden können, um in das Gerät, welches gesteuert wird, z.B. einen Lichtschalter oder eine Wandeinheit, eingebaut zu werden.

**[0016]** Genauer, von dem Gebäudecomputer wird auf der Basis der Knotenkonktivitäts-Informationen, die während einer Netzinitialisierungs-Prozedur gesammelt werden, ein logischer Partitionierter Spannbaum (Partitioned Spanning Tree, PaST) konstruiert, und jedem der einzelnen Netzknoten im Netz wird eine eindeutige logische PaST-Adresse zugewiesen. Die logische PaST-Adresse, die von dem Gebäudecomputer jedem Einzelknoten zugewiesen wird, definiert eindeutig eine einzige Menge oder Kette von Repeatern, welche beim Übertragen von Paketen zwischen dem Gebäudecomputer und dem Knoten hin und zurück verwendet werden müssen, und somit den einzigen, vorgegebenen Übertragungsweg (Route), welchen ein Paket benutzen muss, um zwischen dem Gebäudecomputer und dem Einzelknoten übertragen zu werden. Gemäß dem PaST Routing-Protokoll weist jedes Paket ein Datenfeld für die logische Adresse auf, in welches die logische PaST-Adresse des Zielknotens, zu welchem das Paket übertragen wird, eingetragen wird.

**[0017]** Da die logische PaST-Adresse, die in das Datenfeld für die logische Adresse jedes Paketes eingetragen wird, die gesamte notwendige Information für das Routing des Paketes enthält, benötigt jeder der Einzelknoten nur ausreichend Speicherplatz, um seine zugewiesene PaST-Adresse (normalerweise weniger als 10 Bytes) zu speichern, und eine ausreichende Verarbeitungskapazität, um seine zugewiesene PaST-Adresse bitweise mit der PaST-Adresse zu vergleichen, die in dem Datenfeld für die logische Adresse des jeweiligen Paketes, welches der Knoten empfängt, enthalten ist, um zu bestimmen, ob er das Paket verarbeiten, weitersenden oder verwerfen sollte.

**[0018]** Jedoch aufgrund immanenter HF-Einschränkungen drahtloser Netze ist das PaST Routing-Protokoll, das in der US-Patentschrift von A. Dasgupta 5,926,101 offenbart wird, nach wie vor mit einem wesentlichen Nachteil behaftet. Bei diesem Protokoll

besteht nämlich eine relativ geringe Wahrscheinlichkeit, dass ein gegebenes Paket in der Lage ist, sein Ziel zu erreichen, aufgrund dessen, dass es entlang eines einzigen, vorgegebenen Übertragungsweges (d.h. einer einzigen, spezifischen Kette von Repeatern) geroutet wird.

**[0019]** Genauer, die Zuverlässigkeit von Knoten-zu-Knoten-Übertragungen in innerhalb von Gebäuden befindlichen drahtlosen Netzen wird durch Erscheinungen wie etwa Schwund und Mehrwegeausbreitung (die Interferenz eines HF-Signals mit sich selbst infolge von Reflexionen von Oberflächen wie etwa Wänden, Fußböden, Decken, Möbeln usw.) beeinträchtigt, wodurch zuvor hergestellte Knoten-zu-Knoten-Verbindungen unterbrochen werden oder verloren gehen können. Ferner können solche zuvor hergestellten Knoten-zu-Knoten-Verbindungen aufgrund von dynamischen Veränderungen in der inneren Umgebung des Gebäudes unterbrochen werden oder verloren gehen, wie etwa von gewissen Aktivitäten der Nutzer des Gebäudes. Zum Beispiel kann der einfache Vorgang des Öffnens oder Schließens einer Tür, des Bewegens von Möbeln oder sogar das Entlanggehen in einem Gang eine Knoten-zu-Knoten-Übertragungsverbindung trennen. Daher kann sich der Zustand einer beliebigen gegebenen Knoten-zu-Knoten-Verbindung innerhalb des Netzes im Laufe der Zeit von "stabil" über "sporadisch" bis "nicht vorhanden" ändern, in Abhängigkeit von einer Anzahl von weitgehend unvorhersagbaren und nicht steuerbaren Variablen.

**[0020]** Aufgrund dieses inhärenten Problems der Zuverlässigkeit von Verbindungen können Datenpakete, die entlang eines singulären Übertragungsweges übertragen werden, leicht verloren gehen, bevor sie ihr Ziel erreichen, so dass es erforderlich wird, solche Datenpakete nochmals zu senden, wodurch die Übertragungseffizienz und der Datendurchsatz des Netzes verschlechtert werden. Alles, was erforderlich ist, damit eine Übertragung erfolglos ist, ist, dass ein einziges Glied in der Kette von Repeatern entweder bei der abgehenden Übertragung ("stromabwärts") eines Befehls-Datenpaketes von dem Gebäudecomputer zu dem Zielknoten unterbrochen wird, oder bei der ankommenden Übertragung ("stromaufwärts") des Quittungs-Datenpaketes von dem Zielknoten zu dem Gebäudecomputer.

**[0021]** Falls die Verbindungsqualität der problematischen Verbindung(en) nicht zufrieden stellend wiederhergestellt wird, muss das Paket möglicherweise umgeroutet werden, und/oder das Netz muss umkonfiguriert werden, wodurch die Leistungsfähigkeit des Netzes weiter verschlechtert wird und seine Kosten und Komplexität erhöht werden. In diesem Zusammenhang ist der PaST Routing-Algorithmus mit dem Nachteil behaftet, dass eine Umkonfiguration des Netzes kompliziert und zeitaufwändig ist.

**[0022]** Genauer, obwohl der PaST Routing-Algorithmus über eine eingebaute Fähigkeit verfügt, fehlerhafte Kommunikationsverbindungen zu erkennen, besteht, wenn eine solche fehlerhafte Verbindung erkannt wird, die einzige Maßnahme, welche ergriffen werden kann, um eine Übertragung abzuschließen, welche infolge der fehlerhaften Verbindung verhindert wird (d.h. um ein Datenpaket um die erkannte fehlerhafte Verbindung herum umzuleiten), darin, die logische PaST-Adresse jedes Knotens in dem logischen Partitionierten Spannbaum umzuprogrammieren, welcher jenseits des fehlerhaften Knotens liegt, was eine Änderung in seiner Konnektivität erfordert, um die fehlerhafte Verbindung zu eliminieren. Anders formuliert, jeder Knoten, dessen logische PaST-Adresse ein Adresssegment enthält, das der Adresse des fehlerhaften Knotens entspricht, müsste entsprechend einer neuen logischen PaST-Adresse umprogrammiert werden. Dies wird durch die Tatsache bewirkt, dass der einzige, vorgegebene Übertragungsweg ("Route") zwischen dem Gebäudecomputer und einem gegebenen einzelnen Netzknoten vollständig und ausschließlich durch die PaST-Adresse des gegebenen einzelnen Netzknotens bestimmt wird.

**[0023]** Genauer, da die PaST-Adresse des gegebenen einzelnen Netzknotens die höchstwertigen Bits jedes seiner "Elternknoten" in der Kette von Repeatern enthält, welche den einzigen, vorgegebenen Übertragungsweg bilden, wird es notwendig, die PaST-Adresse jedes Knotens in dem Partitionierten Spannbaum umzuprogrammieren, welcher jenseits des Knotens liegt, welcher eine Änderung in seiner Konnektivität erfordert, um die fehlerhafte Verbindung zu eliminieren. In vielen Fällen wird die erforderliche Änderung in der Konnektivität, um die identifizierte fehlerhafte Verbindung zu eliminieren, eine Neuinitialisierung des gesamten Netzes erfordern. Kurz gesagt, eine einfache, dynamische Umkonfiguration des Netzes oder Umleitung von Datenpaketen, um fehlerhafte Verbindungen zu umgehen, ist nicht möglich, wodurch die Effizienz des PaST Routing-Algorithmus und der Datendurchsatz des Netzes, welches diesen Routing-Algorithmus verwendet, verschlechtert werden.

**[0024]** Es gibt verschiedene bekannte Wege, um die oben beschriebenen, die Zuverlässigkeit von Verbindungen betreffenden Probleme anzugehen. Ein Weg, um die Zuverlässigkeit von Verbindungen zu erhöhen, besteht darin, HF-Transceiver mit höherer Leistung zu verwenden, und ein anderer Weg, um die Zuverlässigkeit von Verbindungen zu erhöhen, besteht darin, rauschmindernde Spread-Spectrum-Transceiver (Transceiver in Spreizbandtechnik) zu verwenden. Diese beiden Ansätze sind jedoch im Allgemeinen für viele Anwendungen aus Kostengründen inakzeptabel. Natürlich wäre ein festverdrahtetes Netz eine ideale Lösung, doch die Kosten der Instal-

lation eines solchen Netzes in einer vorhandenen Struktur sind für die meisten Anwendungen inakzeptabel.

**[0025]** Ein besonders effizienter und neuer, zum Teil stochastischer und zum Teil deterministischer Routing-Algorithmus wird in der US-Patentschrift 5,978,364 des Erfinders der vorliegenden Erfindung (George A. Melnik) offenbart, die auf den Zessionar der vorliegenden Erfindung übertragen wurde. Dieser neue Routing-Algorithmus erhöht den Datendurchsatz und die Übertragungseffizienz des Netzes wesentlich und ermöglicht außerdem eine wesentliche Verringerung der Hardwareanforderungen der Netze (z.B. der erforderlichen Baudrate und der Größe der Paketpuffer (Speicher) für jeden Netzknoten). Trotzdem ist dieser Algorithmus möglicherweise für einige Anwendungen, welche besonders kostengünstige, ressourcenarme Knoten erfordern, nicht geeignet.

**[0026]** Aufgrund des Obigen und des Vorhergehenden ist klar, dass gegenwärtig in der Technik Bedarf an einem Verfahren zum Routing von Daten in einem drahtlosen Multihop-Netz besteht, welches die oben beschriebenen Nachteile und Unzulänglichkeiten der gegenwärtig verfügbaren Technologie überwindet. Die vorliegende Erfindung wird diesem Bedarf in der Technik gerecht. Insbesondere beinhaltet die vorliegende Erfindung einen umkonfigurierbaren PaST Routing-Algorithmus (Reconfigurable PaST, R-PaST), welcher eine einfache, dynamische Umkonfigurierbarkeit aufweist, was eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem PaST Routing-Algorithmus darstellt, der in der US-Patentschrift 5,926,101 von A. Dasgupta offenbart wird.

**[0027]** Die vorliegende Erfindung beinhaltet gemäß einem ihrer Aspekte ein Verfahren zur Leitweglenkung (Routing) eines Paketes in einem drahtlosen Netz nach Anspruch 1.

**[0028]** Es ist zu erwähnen, dass US-5142694 und FR-2715787 beide ein drahtloses Netz offenbaren, das einen Steuerknoten und eine Vielzahl von Einzelknoten umfasst und in welchem die Einzelknoten logisch in einer Anzahl von Bändern oder Zweigen organisiert sind, die sich von dem Steuerknoten aus radial erstrecken. Keines dieser Dokumente lehrt jedoch, dass die Adresse für jeden Einzelknoten aus einem ersten Adressabschnitt, welcher das Band  $B_i$  angibt, und einem zweiten Adressabschnitt, welcher den Knoten relativ zu allen anderen in demselben Band befindlichen Einzelknoten identifiziert, besteht.

**[0029]** Der Schritt des logischen Organisierens des Netzes wird vorzugsweise von dem Steuerknoten auf der Basis der Knotenkonnektivitäts-Informationen ausgeführt, die während einer Netzinitialisierungs-Prozedur erhalten werden. Das Netz ist vorzugsweise ein drahtloses Paket-Hopping-Netz, in

welchem Daten übertragen werden, indem Datenpakete von Knoten zu Knoten über einen gemeinsamen HF-Kanal übermittelt werden.

**[0030]** Jeder der Einzelknoten ist vorzugsweise so programmiert, dass er seine eigene logische Adresse mit einer logischen Routing-Adresse vergleicht, die in jedem Paket, welches er empfängt, enthalten ist, und das Paket auf der Basis der Ergebnisse des Vergleiches entweder verwirft, weitersendet oder verarbeitet. Die logische Routing-Adresse, die in einem empfangenen Paket enthalten ist, enthält die vollständigen Routing-Informationen, die erforderlich sind, um das Paket von einem sendenden Knoten zu einem Zielknoten entlang eines Übertragungsweges zu routen, der durch die logische Routing-Adresse vorgeschrieben ist. Was dies betrifft, weist jedes empfangene Paket vorzugsweise ein Richtungsbit auf, welches die Richtung angibt, in welcher das empfangene Paket übertragen werden muss, um den Zielknoten zu erreichen, eine erste Menge von Bits (z.B. ein Byte), welche einen Hop-Wert, welcher eine Anzahl  $N$  von Hops angibt, die erforderlich sind, um das empfangene Paket von dem sendenden Knoten zu dem Zielknoten zu übertragen, und einen Hop-Zählwert enthält, eine zweite Menge von Bits (z.B. ein Byte), welche die logische Routing-Adresse enthält, und eine dritte Menge von Bits (z.B. ein Byte), welche Verarbeitungsanweisungen für den Zielknoten enthält.

**[0031]** Ferner ist jeder der Einzelknoten vorzugsweise so programmiert, dass er den Hop-Zählwert inkrementiert, wenn das empfangene Datenpaket durch diesen Knoten weiterzusenden ist und wenn die Richtung eine erste Richtung ist (z.B. eine Stromabwärts-Richtung), und dass er den Hop-Zählwert dekrementiert, wenn das empfangene Datenpaket durch diesen Knoten weiterzusenden ist und wenn die Richtung eine zweite Richtung ist (z.B. eine Stromaufwärts-Richtung).

**[0032]** Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der Steuerknoten so programmiert, dass er das Routing von Paketen steuert, indem er die logische Routing-Adresse in jedes Paket einträgt, welches er sendet, eventuelle erfolglos gesendete Pakete erkennt, in Reaktion auf das Erkennen eines erfolglos gesendeten Paketes einen fehlerhaften Knoten in dem durch die logische Routing-Adresse vorgeschriebenen Übertragungsweg erkennt und die logische Routing-Adresse des erfolglos gesendeten Paketes in eine neue logische Routing-Adresse ändert, welche einen neuen Übertragungsweg vorschreibt, welcher den erkannten fehlerhaften Knoten nicht enthält.

**[0033]** Bei einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das drahtlose Netz ein Gebäudesystem-Steuerungsnetz (z.B.

ein intelligentes Beleuchtungssteuerungssystem), und der Steuerknoten ist ein Gebäudecomputer.

**[0034]** Gemäß anderen Aspekten beinhaltet die vorliegende Erfindung ein drahtloses Netz nach Anspruch 4, einen Netzknoten nach Anspruch 6 und einen Steuerknoten nach Anspruch 7.

**[0035]** Diese und verschiedene andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung der Erfindung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen leicht verständlich. Es zeigen:

**[0036]** [Fig. 1](#) die logische Datenstruktur eines typischen Datenpaketes, welches in einem drahtlosen Multihop-Netz verwendet wird, welches den PaST Routing-Algorithmus anwendet, der in der US-Patentschrift 5,926,101 von A. Dasgupta offenbart wird;

**[0037]** [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines ausgewählten Abschnitts eines drahtlosen Multihop-Netzes, welches den PaST Routing-Algorithmus anwendet, welche die logische Adressstruktur eines einzelnen Zweiges des Partitionierten Spannbaumes (PaST) zeigt, welcher verwendet wird, um die logischen PaST-Adressen der Einzelknoten in dem Netz abzuleiten, und welche außerdem einen beispielhaften Datenübertragungsweg über eine Kette von Repeater-Knoten zeigt, die durch die logische PaST-Adresse, die dem Zielknoten zugewiesen ist, spezifiziert sind;

**[0038]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines ausgewählten Abschnitts eines drahtlosen Multihop-Netzes, welches den Routing-Algorithmus einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung anwendet, welche (zusätzlich zu einem Zweig der PaST "Baumstruktur") die logische Organisation des Netzes in Bändern von Knoten zeigt, und welche ferner einen beispielhaften Datenübertragungsweg über eine Kette von Repeater-Knoten entsprechend der ursprünglich zugewiesenen logischen Adresse des Zielknotens zeigt; und

**[0039]** [Fig. 4](#) die logische Datenstruktur eines beispielhaften Datenpaketes, welches in einem drahtlosen Multihop-Netz verwendet werden kann, welches den Routing-Algorithmus der vorliegenden Erfindung anwendet.

**[0040]** Es wird auf [Fig. 1](#) Bezug genommen; sie zeigt die logische Datenstruktur eines typischen Datenpaketes, welches in einem drahtlosen Multihop-Netz verwendet wird, welches den PaST Routing-Algorithmus anwendet, der in der US-Patentschrift 5,926,101 von A. Dasgupta offenbart wird. Eine ausführliche Beschreibung der logischen Datenstruktur des Datenpaketes wird in der oben genannten Patentschrift gegeben.

**[0041]** Zusammengefasst, enthält das beispielhafte Datenpaket, welches in dem PaST Routing-Algorithmus verwendet wird:

- a) ein "FLAG"-Byte, welches mehrere Bitfelder enthält, nämlich ein Bitfeld, welches die Prioritätsstufe des Paketes angibt, ein Bitfeld, welches den Pakettyp angibt (z.B. Broadcast, Multicast oder Unicast), ein Bitfeld, welches das Routing-Protokoll angibt (z.B. PaST, FHC oder PARENT), das zur Leitweglenkung des Paketes verwendet werden soll, und ein Bitfeld, welches die Übertragungsrichtung des Paketes angibt, d.h. entweder "stromaufwärts" oder "stromabwärts";
- b) ein ID-Byte, welches die dem Paket zugewiesene eindeutige Adresse enthält; ein Byte "Adresslänge" (Add. Lng.), welches die Bitlänge des Adressbytes festlegt, welches von dem Gebäudecomputer in das benachbarte Feld "Logische Adresse" (Log. Add.) eingetragen wird;
- c) in der "Stromabwärts"-Richtung enthält das Byte "Logische Adresse" die logische PaST-Adresse des Zielknotens (d.h. des einzelnen Netzknotens, zu welchem der Gebäudecomputer das Paket sendet), und in der "Stromaufwärts"-Richtung ist das Byte der logischen PaST-Adresse, das im Feld "Logische Adresse" enthalten ist, die Adresse des sendenden Knotens. Natürlich bleibt das Byte der logischen PaST-Adresse, das im Feld "Logische Adresse" enthalten ist, dasselbe, wenn das Ziel des "Stromabwärts"-Paketes (z.B. eines Befehlspaketes) und der Absender des "Stromaufwärts"-Paketes (z.B. eines Quittungspaketes) ein und derselbe Knoten sind;
- d) ein Byte CMD, welches den Befehl angibt, der von dem (den) Zielknoten auszuführen ist, welcher das Paket empfängt (empfangen);
- e) ein Byte CMD\_DATA, welches spezifische Daten enthält, die von dem (den) Zielknoten beim Ausführen des durch das Byte CMD angegebenen Befehls zu verwenden sind; und
- f) ein Byte CHKSUM (Prüfsumme), welches die Summe aller in dem Paket enthaltenen Bits mit dem logischen Wert "1" angibt. Dieses Byte wird von den Knoten verwendet, um zu prüfen, ob die in dem Paket enthaltenen Daten gültig sind oder nicht.

**[0042]** Wie hier zuvor bereits erläutert wurde, enthält die logische PaST-Adresse, die im Feld "Log. Add." jedes Datenpaketes enthalten ist, sämtliche Informationen, die erforderlich sind, um das Paket zu seinem vorgesehenen Zielknoten zu routen. Es wird auf [Fig. 2](#) Bezug genommen; sie zeigt eine schematische Darstellung eines ausgewählten Abschnitts eines drahtlosen Multihop-Netzes **20**, welches den PaST Routing-Algorithmus anwendet, welche die logische Adressstruktur eines einzelnen Zweiges des Partitionierten Spannbaumes (PaST) zeigt, welcher verwendet wird, um die logischen PaST-Adressen

der Einzelknoten **22** in dem Netz **20** abzuleiten, und welche außerdem einen beispielhaften Datenübertragungsweg über eine Kette von Repeater-Knoten zeigt (dargestellt durch die schraffierten Kreise), die durch die logische PaST-Adresse, die dem Zielknoten zugewiesen ist, spezifiziert sind.

**[0043]** Wie in der oben zitierten US-Patentanmeldung Seriennr. 08/558,447 wesentlich ausführlicher beschrieben ist, wird ein logischer Partitionierter Spannbaum (PaST) für das gesamte Netz von dem Steuerknoten **24** (z.B. dem Gebäudecomputer BC) auf der Basis von Knotenkonktivitäts-Informationen konstruiert, die während einer Netzinitialisierungs-Prozedur gesammelt werden, und jedem der einzelnen Netzknoten **22** im Netz **20** wird eine eindeutige logische PaST-Adresse zugewiesen. Ein besonders effizientes Verfahren zum Initialisieren eines drahtlosen Packet-Hopping-Netztes, welches die Vollständigkeit und Genauigkeit der Knotenkonktivitäts-Informationen optimiert, wird in der US-Patentschrift 5,737,318 des Erfinders der vorliegenden Erfindung, George A. Melnik, offenbart, die auf den Zessionar der vorliegenden Erfindung übertragen wurde.

**[0044]** Die logische PaST-Adresse, die von dem Gebäudecomputer BC jedem Einzelknoten **22** zugewiesen wird, definiert eindeutig eine einzige Menge oder Kette von Repeatern oder eine "Hop-Kette" (in [Fig. 2](#) durch schraffierte Kreise dargestellt), welche zu verwenden sind, wenn Pakete zwischen dem Gebäudecomputer BC und dem Knoten **22** hin und her übertragen werden, und somit den einzigen, vorgegebenen Übertragungsweg (Route), den ein Paket benutzen muss, um zwischen dem Gebäudecomputer BC und dem Einzelknoten **22** übertragen zu werden. Die in [Fig. 2](#) dargestellten großen Kreise stellen eine Gruppe oder Menge von Knoten **22** dar, für welche die jeweiligen Repeater-Knoten dazu vorgesehen sind, als Repeater zu dienen (d.h. Pakete zu ihnen zu routen). Die Zahl über jedem der großen Kreise stellt die logische PaST-Adresse des entsprechenden Repeater-Knotens dar, der darin enthalten ist. Im Allgemeinen werden die logischen PaST-Adressen erstellt und zugewiesen, indem ein "optimaler" Übertragungsweg (d.h. eine spezielle, einzelne "Kette" von Repeater-Knoten) zwischen dem Gebäudecomputer und jedem Knoten bestimmt wird und danach ein vorgeschriebenes Bitzuweisungs-Verfahren angewendet wird, welches jeden Repeater-Knoten in der Kette eindeutig kennzeichnet.

**[0045]** Zum Beispiel wird in dem beispielhaften Fall, der in der oben zitierten US-Patentschrift 5,926,101 beschrieben ist, dem Repeater-Knoten, welcher direkt mit dem Gebäudecomputer BC verbunden ist (d.h. dem ersten "Repeater-Knoten in der Kette), eine aus einem Segment bestehende logische

PaST-Adresse zugewiesen, welche eine ausreichende Anzahl von Bits enthält, um ihn eindeutig als einen "Elternknoten" in Bezug auf jeden der "Tochterknoten" zu kennzeichnen, für welche er als ein Repeater zu dienen bestimmt ist (d.h. welche in seinem großen Kreis enthalten sind). In dem speziellen Beispiel, das in [Fig. 2](#) dargestellt ist, ist die logische PaST-Adresse, die dem ersten Repeater-Knoten in der dargestellten Kette zugewiesen wird, "0100" (\$40 in Hexadezimaldarstellung; Byte-Format, mit Anwendung von Nullauffüllung).

**[0046]** Dem zweiten Repeater-Knoten in der Kette, welcher einen "Hop" von dem Gebäudecomputer BC entfernt ist und welcher ein "Tochterknoten" des ersten Repeater-Knotens in der Kette ist, wird eine aus zwei Segmenten bestehende logische PaST-Adresse zugewiesen, welche ein erstes Segment enthält, das die Adresse seines Elternknotens (d.h. des ersten Repeater-Knotens in der Kette) umfasst, und ein zweites Segment, das eine ausreichende Anzahl von Bits enthält, um ihn eindeutig unter seinen "Geschwistern" (d.h. den anderen "Tochterknoten" des ersten Repeater-Knotens (seines Elternknotens) in der Kette) zu identifizieren. In dem Beispiel, das in [Fig. 2](#) dargestellt ist, ist die logische PaST-Adresse, die dem zweiten Repeater-Knoten in der dargestellten Kette zugewiesen wird, "0100/011" (\$46).

**[0047]** Dem dritten Repeater-Knoten in der Kette, welcher zwei "Hops" von dem Gebäudecomputer BC entfernt ist und welcher ein "Tochterknoten" des zweiten Repeater-Knotens in der Kette ist, wird eine aus drei Segmenten bestehende logische PaST-Adresse zugewiesen, welche ein erstes und ein zweites Segment enthält, welche die Adresse seines Elternknotens (d.h. des zweiten Repeater-Knotens in der Kette) umfassen, und ein drittes Segment, das eine ausreichende Anzahl von Bits enthält, um ihn eindeutig unter seinen "Geschwistern" (d.h. den anderen "Tochterknoten" des zweiten Repeater-Knotens (seines Elternknotens) in der Kette) zu identifizieren. In dem Beispiel, das in [Fig. 2](#) dargestellt ist, ist die logische PaST-Adresse, die dem dritten Repeater-Knoten in der dargestellten Kette zugewiesen wird, "0100/011/11" (\$4780).

**[0048]** Dem in [Fig. 2](#) dargestellte Zielknoten, welcher das Blatt am Ende des abgebildeten Zweiges ist und welcher drei "Hops" von dem Gebäudecomputer BC entfernt ist, wird eine aus vier Segmenten bestehende logische PaST-Adresse zugewiesen, welche ein erstes, ein zweites und ein drittes Segment enthält, welche die Adresse seines Elternknotens (d.h. des dritten Repeater-Knotens in der Kette) umfassen, und ein viertes Segment, das eine ausreichende Anzahl von Bits enthält, um ihn eindeutig unter seinen "Geschwistern" (d.h. den anderen "Tochterknoten" des dritten Repeater-Knotens (seines Elternknotens) in der Kette) zu identifizieren. In dem Beispiel,

das in [Fig. 2](#) dargestellt ist, ist die logische PaST-Adresse, die dem Zielknoten in der dargestellten Kette zugewiesen wird, "0100/011/11/011" (\$47B0).

**[0049]** Diese Prozedur der Bitzuweisung logischer PaST-Adressen wird fortgesetzt, bis für jeden Zweig in dem Baum (wobei der Gebäudecomputer BC die Wurzel des Baumes ist) ein Blatt erreicht worden ist, wobei die Anzahl der Adresssegmente, die jedem Knoten zugewiesen werden, gleich der Nummer des Ranges/der Ebene des betreffenden Knotens ist (wobei der erste Rang/die erste Ebene diejenigen Knoten sind, welche direkt mit dem BC verbunden sind, der zweite Rang/die zweite Ebene diejenigen Knoten sind, welche einen "Hop" von dem Gebäudecomputer entfernt sind, usw., so dass die Nummer des Rangs/der Ebene eines Knotens um eins kleiner ist als die Anzahl der "Hops" (NH), die erforderlich sind, um den betreffenden Knoten zu erreichen (d.h. gleich NH-1)). Im Allgemeinen besteht das letzte Segment der logischen PaST-Adresse, die jedem Knoten zugewiesen ist, aus den n Bits, die erforderlich sind, um ihn eindeutig unter seinen "Geschwistern" (d.h. den anderen Knoten, welche denselben Elternknoten haben wie er) zu identifizieren, und daher der Bequemlichkeit halber als die höchstwertigen Bits der logischen PaST-Adresse bezeichnet werden. Ferner bestehen die letzten zwei Segmente der logischen PaST-Adresse, die jedem Knoten zugewiesen ist, der nicht in direkter Verbindung mit dem Gebäudecomputer BC steht, aus den n höchstwertigen Bits der logischen PaST-Adresse seines Elternknotens, verkettenet mit seinen eigenen n höchstwertigen Bits, und werden der Bequemlichkeit halber als die k höchstwertigen Bits der logischen PaST-Adresse bezeichnet.

**[0050]** Wie leicht einzusehen ist, kann die tatsächliche Anzahl n der höchstwertigen Bits für jeden Knoten verschieden sein, und im Allgemeinen wird nur eine Anzahl m von Bits verwendet, die erforderlich ist, um den Knoten bezüglich seiner "Geschwister" eindeutig zu identifizieren, um dadurch die Gesamt-Bitlänge der logischen PaST-Adressen zu minimieren. Um byteweise Übertragungen von Datenpaketen unter Verwendung eines seriellen Protokolls nach dem Standard RS-232 zu erleichtern, werden die logischen PaST-Adressen, die in das Feld "Logische Adresse" der Datenpakete eingetragen werden, vorzugsweise mit ausreichend vielen Nullen aufgefüllt, um die Bitlängen derselben anzugleichen. Ferner zeigt, wie ebenfalls leicht einzusehen ist, [Fig. 2](#) nur einen einzelnen Zweig des Gesamtbaumes für das gesamte Netz **20**. Natürlich kann jeder Knoten **22**, der durch einen leeren Kreis dargestellt ist, ebenfalls dazu bestimmt werden, als ein Repeater für seine eigene Menge von Knoten zu dienen.

**[0051]** Um Datenpakete, welche die logische Struk-

tur aufweisen, die in [Fig. 1](#) dargestellt ist, über das drahtlose Netz unter Anwendung des PaST Routing-Algorithmus, der in [Fig. 2](#) dargestellt ist, zu übertragen, ist es lediglich notwendig, für jeden der Knoten **22**, welcher ein Paket empfängt, einen bitweisen Vergleich seiner logischen PaST-Adresse (welche in seinem Speicher gespeichert ist, z.B. einem EEPROM oder einem anderen Typ eines nichtflüchtigen Speichers) mit der logischen PaST-Adresse, die im Feld "Logische Adresse" des empfangenen Paketes enthalten ist, durchzuführen, um zu bestimmen, ob er entweder der vorgesehene Zielknoten für das empfangene Paket oder ein vorgesehener Repeater-Knoten für das empfangene Paket ist. Wenn dabei eine Übereinstimmung in allen Bits erkannt wird, dann ist der Knoten der Zielknoten, und daher verarbeitet der Knoten das Paket und führt den Befehl aus, der im Byte CMD des empfangenen Paketes enthalten ist. Falls keine Übereinstimmung in allen Bits erkannt wird, werden die k höchstwertigen Bits der eigenen logischen PaST-Adresse des Knotens (d.h. die letzten zwei Adresssegmente) mit der logischen PaST-Adresse verglichen, die in dem empfangenen Paket enthalten ist, und wenn eine Übereinstimmung in k Bits erkannt wird, wird das empfangene Paket von dem Knoten weitergesendet, da er definitiv einer der Repeater in der Repeater-Kette für den Zielknoten ist, welcher durch die logische PaST-Adresse definiert ist, die in dem empfangenen Paket enthalten ist. Falls keine Übereinstimmung in k Bits erkannt wird, wird das empfangene Paket verworfen.

**[0052]** Das PaST Routing-Protokoll, das in der oben zitierten US-Patentanmeldung Seriennr. 08/558,447 offenbart wird, beinhaltet einen Mechanismus zum Erkennen einer fehlerhaften Verbindung in der Hop-Kette, die durch die logische PaST-Adresse angegeben wird, welche im Feld "Logische Adresse" eines Datenpaketes enthalten ist, welches erfolglos gesendet wird, d.h. für das der sendende Knoten kein Quittungspaket empfängt. Wenn zum Beispiel der Gebäudecomputer BC ein Anfragepaket zu einem bestimmten Knoten sendet und von diesem bestimmten Knoten nicht innerhalb einer vorgeschriebenen Zeit ein Quittungspaket zurück erhält, kann der Gebäudecomputer BC (entweder sofort oder nach einer vorgeschriebenen Anzahl von weiteren erfolglosen Versuchen) entsprechend irgendeinem geeigneten Fehlererkennungsschema nach der (den) fehlerhaften Verbindungen) suchen.

**[0053]** Ein solches geeignetes Fehlererkennungsschema, welches in der oben zitierten US-Patentschrift 5,926,101 offenbart wird, ist ein Schema, bei welchem der Gebäudecomputer BC sequentiell ein ECHO-Paket (unter Verwendung des PaST Protokolls) zu jedem Knoten in der Hop-Kette sendet, die in dem Paket angegeben ist, welches erfolglos gesendet wurde, und darauf wartet, dass ihm von jedem Knoten in der Hop-Kette, welcher es empfängt, eine

Kopie des ECHO-Paketes zurückgesendet wird. Wenn von einem Knoten keine Reaktion empfangen wird, lässt dies darauf schließen, dass der nicht reagierende Knoten der fehlerhafte Knoten in der Hop-Kette ist. Ein anderes geeignetes Fehlererkennungsschema, welches in der oben zitierten US-Patentschrift 5,926,101 offenbart wird, ist ein implizites Hop-für-Hop- (Implicit Hop-by-Hop, IHBH) Quittungsschema.

**[0054]** In jedem Falle muss, nachdem der fehlerhafte Knoten identifiziert worden ist, das Netz umkonfiguriert werden, um Pakete um den fehlerhaften Knoten herum zu lenken. Dies wird realisiert, indem der Spannbaum in der Weise umkonfiguriert wird, dass der Unterbaum des Spannbaums, dessen Wurzel der identifizierte fehlerhafte Knoten ist, mit einem anderen Teil des Netzes verbunden wird, derart, dass der neue Elternknoten des Unterbaumes sich innerhalb des "Hörbereiches" sämtlicher neuer Tochterknoten befindet. Diese Umkonfiguration des Netzes wird bewerkstelligt, indem die erforderlichen Spannbaum- und Adresszuweisungs-Operationen auf die zuvor beschriebene Art und Weise durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang kann es erforderlich sein, dass der Gebäudecomputer BC Teile des Unterbaumes aufricht, um sicherzustellen, dass alle Knoten in dem Unterbaum wieder mit anderen Teilen des Spannbaumes verbunden werden. Tatsächlich kann in manchen Fällen eine vollständige Neuinitialisierung des gesamten Netzes erforderlich sein. Ein anderer residenter Routing-Algorithmus, wie etwa FHC (Forward with Hop Count), könnte benutzt werden, um die logischen PaST-Adressen jedes Knotens, welcher jenseits des identifizierten fehlerhaften Knotens in der Hop-Kette liegt, direkt umzuprogrammieren. In jedem Falle ist die Prozedur, die erforderlich ist, um den fehlerhaften Knoten zu eliminieren, übermäßig kompliziert und zeitaufwendig und daher für viele Anwendungen unpraktisch.

**[0055]** Die Netzkonfiguration und das Routing-Schema der vorliegenden Erfindung wurden entwickelt, um zu ermöglichen, dass Pakete, welche erfolglos gesendet worden sind, einfach und schnell um identifizierte fehlerhafte Knoten herum umgeleitet werden. Diesbezüglich ist es bei dem Netzkonfigurations- und Routing-Schema der vorliegenden Erfindung, nachdem ein fehlerhafter Knoten erkannt worden ist, lediglich erforderlich, dass die logische Adresse, die in das Feld "Logische Adresse" des erfolglos gesendeten Paketes eingetragen ist, in eine neue logische Adresse geändert wird, welche einen neuen Übertragungsweg/Route/Hop-Kette definiert (vorschreibt), welcher den erkannten fehlerhaften Knoten nicht enthält. Somit werden, da keine Umprogrammierung oder Umkonfiguration des Netzes erforderlich ist, um das erfolglos gesendete Pakete um den fehlerhaften Knoten herum zu lenken, die Verzögerungen, welche anderenfalls dadurch verursacht

würden, vermieden.

**[0056]** Genauer, es wird nunmehr auf [Fig. 3](#) Bezug genommen; sie zeigt eine schematische Darstellung eines ausgewählten Abschnitts eines drahtlosen Multihop-Netzes **40**, welches den Routing-Algorithmus einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung anwendet, welche (zusätzlich zu einem Zweig der PaST Baumstruktur) die logische Organisation des Netzes **40** in Bändern (Band 0 – Band 3) von Knoten **42** zeigt, und welche ferner einen beispielhaften Datenübertragungsweg über eine Kette von Repeater-Knoten (schraffierte Kreise) entsprechend der ursprünglich zugewiesenen logischen Adresse des Zielknotens zeigt, welcher das Blatt am Ende des dargestellten Zweiges der PaST Baumstruktur ist.

**[0057]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird, nachdem die Knotenkonnektivitäts-Informationen während einer Netzinitialisierungs-Prozedur gesammelt worden sind, das Netz **40** konfiguriert, indem das Netz **40** logisch in Bändern (Band 0 – Band 3) von Knoten **42** organisiert wird, wobei die Knoten **42** in jedem darauf folgenden Band  $B_i + 1$  einen Hop weiter von dem Gebäudecomputer BC entfernt sind als die Knoten **42** im vorhergehenden Band  $B_i$ , wobei  $i = 0, \dots, m$  und wobei  $m$  die Anzahl von Hops darstellt, welche die Knoten **42** im äußersten Band  $B_m$  vom Gebäudecomputer BC entfernt sind.

**[0058]** Hierbei ist jeder der Knoten **42** in einem bestimmten Band  $B_i$  eine Anzahl  $i$  von Hops von dem Gebäudecomputer BC entfernt. Bei dem in [Fig. 3](#) dargestellten Beispiel sind alle Knoten **42**, die sich im Band 0 befinden, direkt mit dem Gebäudecomputer BC verbunden und sind daher null (0) Hops von dem Gebäudecomputer BC entfernt; alle Knoten **42**, die sich im Band 1 befinden, sind einen Hop von dem Gebäudecomputer BC entfernt; alle Knoten **42**, die sich im Band 2 befinden, sind zwei Hops von dem Gebäudecomputer BC entfernt; und alle Knoten **42**, die sich im Band 3 befinden, sind drei Hops von dem Gebäudecomputer BC entfernt.

**[0059]** Jedes der Bänder  $B_i$  kann als eine andere Ebene oder einen anderen Rang innerhalb einer hierarchischen logischen Netzstruktur darstellend betrachtet werden. Vorzugsweise ist ein Knoten, welcher sich an der Grenze oder am Rand eines bestimmten Bandes befindet (z.B. der Knoten weist eine intermittierende Konnektivität zum Gebäudecomputer BC auf), in dem letzteren Band enthalten (d.h. dem Band, welches einen Hop von dem Gebäudecomputer BC entfernt ist), um die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Verbindung, die von diesem Knoten ausgeht, zu minimieren.

**[0060]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird, nachdem die Knoten **42** logisch in aufeinander fol-

genden Bändern  $B_i$  organisiert worden sind, jedem der Knoten **42** in dem Netz **40** eine logische Adresse zugewiesen, welches ein erstes Adresssegment enthält, welches seine Bandnummer angibt, und ein zweites Adresssegment, welches ihn relativ zu anderen Knoten **42** in demselben Band identifiziert. Vorzugsweise ist die Anzahl der Bits, die in dem zweiten Adresssegment verwendet werden, ausreichend, um jeden Knoten **42** in demselben Band zu identifizieren.

**[0061]** Wenn zum Beispiel jedes Band  $B_i$  maximal 16 Knoten enthält, dann werden für das zweite Adresssegment nur 4 Bits benötigt, um jeden der Knoten **42** in jedem Band  $B_i$  eindeutig zu identifizieren. Ferner ist die Bandnummer, die jedem Knoten **42** zugewiesen wird, vorzugsweise die Anzahl  $i$  von Hops, welche das Band  $B_i$ , in welchem er sich befindet, von dem Gebäudecomputer entfernt ist. Somit besteht für das in [Fig. 3](#) dargestellte Beispiel das erste Adresssegment der logischen Adresse, die jedem der Knoten **42** zugewiesen wird, aus 2 Bits, welche die Nummer des Bandes, in welchem er sich befindet, eindeutig identifizieren.

**[0062]** Der Bequemlichkeit halber wird die logische Adresse, die jedem der Knoten **42** zugewiesen wird, im Folgenden mit "bi/xxxx" bezeichnet; z.B. wird die logische Adresse des Knotens **42**, der eine Bandnummer  $b_0$  hat (d.h. welcher sich im Band 0 befindet) und ein Band-Adresssegment "0100" hat, mit "b0/0100" bezeichnet. Die logischen Adressen, die jedem der Knoten **42** zugewiesen werden, werden vorzugsweise im Speicher derselben gespeichert, z.B. in einem EEPROM oder einem anderen Typ von nichtflüchtigem Speicher, der in die Knoten **42** eingebaut ist. Die logischen Adressen, die den Knoten **42** während der Konfiguration des Netzes **40** gemäß der vorliegenden Erfindung zugewiesen werden, werden im Folgenden der Bequemlichkeit halber als "R-PaST" logische Adressen bezeichnet, da der Routing-Algorithmus der vorliegenden Erfindung als ein "R-PaST" Routing-Algorithmus bezeichnet werden soll.

**[0063]** Wie im Folgenden noch vollständig klar wird, wird der Routing-Algorithmus als der "R-PaST" Routing-Algorithmus bezeichnet, um anzugeben, dass Datenpakete durch das Netz **40** geroutet werden können, indem die Knoten **42** einfach ihre logische Adresse mit der logischen Adresse vergleichen, die in den von ihnen empfangenen Datenpaketen enthalten ist, wie beim PaST Routing-Algorithmus, und um ferner anzugeben, dass, anders als beim PaST Routing-Algorithmus, das Netz in Reaktion auf das Erkennen einer fehlerhaften Verbindung einfach und schnell dynamisch "umkonfiguriert" (reconfigured, R-) werden kann, um dadurch ein erfolglos gesendetes Paket um den fehlerhaften Knoten an der Wurzel der fehlerhaften Verbindung herum umzuleiten, indem einfach die logische Adresse geändert wird, die

in dem Feld "Logische Adresse" des Paketes enthalten ist.

**[0064]** Es wird nun auf [Fig. 4](#) Bezug genommen; sie zeigt die logische Datenstruktur eines beispielhaften Datenpaketes, welches in einem drahtlosen Multi-hop-Netz verwendet werden kann, welches den Routing-Algorithmus der vorliegenden Erfindung anwendet. Das dargestellte Datenpaket enthält dieselben Datenfelder wie das weiter oben beschriebene Datenpaket, das in [Fig. 1](#) dargestellt ist, mit der Ausnahme, dass das Feld "Add. Lng." durch ein Feld "HOP Info." ersetzt worden ist.

**[0065]** Gemäß der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung enthält das Byte "HOP Info." ein erstes Segment (erstes Halbbyte), welches die Anzahl der Hops angibt, die erforderlich sind, um das Paket zum Zielknoten zu senden, und ein zweites Segment (zweites Halbbyte), welches die Bandnummer  $i$  des Bandes  $B_i$  angibt, in welchem sich der Knoten **42**, der das Paket empfangen hat, befindet.

**[0066]** Ferner ist die logische Adresse, die in das Feld "Log. Add." eingetragen wird, vorzugsweise eine Verkettung der Band-Adresssegmente der R-PaST logischen Adressen der jeweiligen Repeater, welche die Hop-Kette definieren, welche den vorgegebenen Übertragungsweg zwischen dem sendenden Knoten und dem Zielknoten darstellt, sowie des Band-Adresssegments der dem Zielknoten zugewiesenen R-PaST logischen Adresse für "Stromabwärts"-Datenübertragungen oder des Band-Adresssegments der dem sendenden Knoten zugewiesenen R-PaST logischen Adresse für "Stromaufwärts"-Datenübertragungen.

**[0067]** Wenn zum Beispiel drei Hops erforderlich sind, um ein Datenpaket von einem sendenden Knoten zu einem Zielknoten zu übertragen, besteht die logische Adresse, die in das Feld "Log. Add." des Paketes eingetragen wird, aus drei aufeinander folgenden Adresssegmenten, die den Band-Adresssegmenten der R-PaST logischen Adressen der jeweiligen Repeater in der festgelegten Hop-Kette zwischen dem sendenden Knoten und dem Zielknoten entsprechen, sowie aus einem vierten Adresssegment, welches dem Band-Adresssegment der dem Zielknoten zugewiesenen R-PaST logischen Adresse für "Stromabwärts"-Datenübertragungen oder dem Band-Adresssegment der dem sendenden Knoten zugewiesenen R-PaST logischen Adresse für "Stromaufwärts"-Datenübertragungen entspricht.

**[0068]** In Betrieb funktioniert der R-PaST Routing-Algorithmus der vorliegenden Erfindung auf folgende Weise. Genauer, wenn ein Paket ursprünglich von dem Gebäudecomputer BC geendet worden ist, hat das zweite Halbbyte des Bytes "HOP Info." des-

selben einen Wert "0". Alle Knoten, welche das Paket empfangen, sind so programmiert, dass sie ihre Bandnummer  $i$  (d.h. den ersten Abschnitt ihrer R-PaST logischen Adresse) mit der Bandnummer  $i$  vergleichen, die durch das zweite Halbbyte des Bytes "HOP Info." des Paketes angegeben ist, und wenn eine Übereinstimmung erkannt wird, ferner das  $i + 1$ -te Adresssegment der logischen Adresse, die im Feld "Log. Add." des Paketes enthalten ist, mit dem Band-Adresssegment ihrer R-PaST logischen Adresse vergleichen.

**[0069]** Alle Knoten, welche eine Adressenübereinstimmung erkennen, sind ferner so programmiert, dass sie in Abhängigkeit von der Richtung, in welcher das Paket übertragen werden muss, um den Zielknoten zu erreichen (d.h. "stromaufwärts" oder "stromabwärts"), welche durch den Zustand eines vorgeschriebenen Richtungsbits im Byte FLAG des Paketes angegeben ist, das zweite Halbbyte des in dem Paket enthaltenen Bytes "HOP Info." entweder inkrementieren (für "Stromabwärts"-Übertragungen) oder dekrementieren (für "Stromaufwärts"-Übertragungen). Auf diese Weise inkrementiert oder dekrementiert jeder Repeater-Knoten in der Hop-Kette, der durch die im Feld "Log. Add." des Paketes enthaltene logische Adresse angegeben ist, in entsprechender Weise das zweite Halbbyte des Bytes "HOP Info." des Paketes beim Empfang desselben.

**[0070]** In dem in [Fig. 3](#) dargestellten Beispiel kann das Paket, das in [Fig. 4](#) dargestellt ist, von dem Gebäudecomputer BC zu dem Zielknoten b3/0110 am Blatt des dargestellten Zweiges gemäß dem R-PaST Routing-Algorithmus der vorliegenden Erfindung auf die folgende Weise übertragen werden.

**[0071]** Zuerst erkennt der bezeichnete Repeater-Knoten b0/0100 im Band 0, welcher das Paket empfängt, eine Adressenübereinstimmung zwischen dem Band-Adresssegment seiner R-PaST logischen Adresse und dem ersten Adresssegment (\$4) der logischen Adresse (\$4325), die im Feld "Log. Add." des Paketes enthalten ist, und inkrementiert das Byte "HOP Info." des Paketes von \$30 zu \$31, bevor er das Paket weitersendet.

**[0072]** Als Nächstes erkennt der bezeichnete Repeater-Knoten b1/0011 im Band 1, welcher das Paket empfängt, das von dem bezeichneten Repeater-Knoten b0/0100 im Band 0 weitergesendet wurde, eine Adressenübereinstimmung zwischen dem Band-Adresssegment seiner R-PaST logischen Adresse und dem zweiten Adresssegment (\$3) der logischen Adresse (\$4325), die im Feld "Log. Add." des Paketes enthalten ist, und inkrementiert das Byte "HOP Info." des Paketes von \$31 zu \$32, bevor er das Paket weitersendet.

**[0073]** Als Nächstes erkennt der bezeichnete Re-

peater-Knoten b2/0010 im Band 2, welcher das Paket empfängt, das von dem bezeichneten Repeater-Knoten b1/0011 im Band 1 weitergesendet wurde, eine Adressenübereinstimmung zwischen dem Band-Adresssegment seiner R-PaST logischen Adresse und dem dritten Adresssegment (\$2) der logischen Adresse (\$4325), die im Feld "Log. Add." des Paketes enthalten ist, und inkrementiert das Byte "HOP Info." des Paketes von \$32 zu \$33, bevor er das Paket weitersendet.

**[0074]** Schließlich erkennt der Zielknoten b3/0110 im Band 3, welcher das Paket empfängt, das von dem bezeichneten Repeater-Knoten b2/0010 im Band 2 weitergesendet wurde, eine Adressenübereinstimmung zwischen dem Band-Adresssegment seiner R-PaST logischen Adresse und dem vierten Adresssegment (\$5) der logischen Adresse (\$4325), die im Feld "Log. Add." des Paketes enthalten ist. Da der Hop-Zählwert im zweiten Halbbyte des Bytes "HOP Info." nunmehr gleich der Gesamtzahl der Hops ist, die durch das erste Halbbyte des Bytes "HOP Info." angegeben ist, verarbeitet der Zielknoten b3/0110 das Paket und führt den Befehl aus, der im Byte CMD des Paketes enthalten ist. Das Paket in der Form, wie es vom Zielknoten empfangen wird, ist in [Fig. 4](#) dargestellt.

**[0075]** Wie aus dem Obigen und dem Vorhergehenden leicht ersichtlich ist, stellt der R-PaST Routing-Algorithmus der vorliegenden Erfindung einen einzigen vorgegebenen Übertragungsweg zwischen dem Gebäudecomputer und jedem Knoten im Netz über eine spezifische Menge oder Kette von Repeater-Knoten (oder "Hop-Kette") zur Verfügung, der durch die logische Adresse bezeichnet ist, welche in das Feld "Logische Adresse" jedes Paketes, das zwischen dem Gebäudecomputer und irgendeinem gegebenen Knoten im Netz übertragen wird, eingetragen ist. Natürlich sind in dem Falle, wenn der Zielknoten eine direkte HF-Verbindung mit dem Gebäudecomputer aufweist (d.h. sich im Band 0 befindet), keine Repeater-Knoten für einen Austausch von Datenpaketen zwischen ihnen erforderlich. Dieser Aspekt der Funktionalität des R-PaST Routing-Verfahrens entspricht daher dem des ursprünglichen PaST Routing-Verfahrens, das in der oben zitierten US-Patentschrift 5,926,101 offenbart wird. Das R-PaST Routing-Verfahren der vorliegenden Erfindung stellt jedoch in Bezug auf das ursprüngliche PaST Routing-Verfahren eine erweiterte Funktionalität zur Verfügung, wie nachfolgend beschrieben wird.

**[0076]** Genauer, gemäß dem R-PaST Netzkonfigurations- und Routing-Verfahren der vorliegenden Erfindung kann, wenn in Reaktion auf eine erfolglose Übertragung eines Datenpaketes vom Gebäudecomputer zu einem Zielknoten (oder umgekehrt) eine fehlerhafte Verbindung erkannt wird, das Datenpaket einfach und schnell um den fehlerhaften Knoten her-

um umgeleitet werden, welcher für die fehlerhafte Verbindung verantwortlich ist, indem einfach die logische Adresse, die in das Feld "Logische Adresse" des erfolglos gesendeten Paketes eingetragen ist, in eine neue logische Adresse geändert wird, welche einen neuen Übertragungsweg (d.h. eine neue Hop-Kette) definiert, welche den fehlerhaften Knoten an der Wurzel der fehlerhaften Verbindung umgeht. Somit werden, da keine Umprogrammierung oder Umkonfiguration des Netzes erforderlich ist, die Verzögerungen, welche anderenfalls dadurch verursacht würden, vermieden.

**[0077]** Zum Beispiel kann bei dem in [Fig. 3](#) dargestellten beispielhaften Netz **40**, wenn in Reaktion auf eine erfolglose Übertragung eines Paketes vom Gebäudecomputer BC zum Zielknoten b3/0110 die Verbindung vom Knoten b0/0100 zum Knoten b1/0011 als fehlerhaft erkannt wird, eine weitere Übertragung versucht werden, indem der Knoten b0/0100 durch den Knoten b0/0011 ersetzt wird, indem einfach die logische Adresse von \$4325 in \$3325 geändert wird, wodurch das Paket um den identifizierten fehlerhaften Knoten b0/0100 herum umgeleitet wird.

**[0078]** Ferner kann eine völlig andere Route (Übertragungsweg/Hop-Kette) verwendet werden, um das Paket zu demselben Zielknoten b3/0110 zu übertragen, z.B. indem einfach die logische Adresse des Paketes von \$4325 in \$5745 geändert wird.

**[0079]** Außerdem könnte eine Fähigkeit, neue Routen zu wählen, welche eine Seitwärtsbewegung innerhalb eines Bandes beinhalten, durch das Zuweisen anderer Adressen oder Bandzuweisungen zu einem oder mehreren Knoten in dem Netz vor dem Umleiten eines zuvor erfolglos gesendeten Paketes erzielt werden, oder durch das Festlegen ausreichend dünner Bänder während des anfänglichen Netzinitialisierungs- und Konfigurationsprozesses.

**[0080]** Ein zusätzlicher Vorteil ausreichend dünner Bänder ist, dass dafür gesorgt werden kann, dass alle Knoten innerhalb eines gemeinsamen Bandes eindeutige Band-Adresse Segmente aufweisen, wodurch die Möglichkeit ausgeschlossen wird, dass zwei Knoten innerhalb des gemeinsamen Bandes dasselbe Paket handhaben. Dies ist natürlich keine Forderung. Wenn der Repeater-Knoten im vorhergehenden Band derart gewählt wird, dass nur der vorgesehene Knoten dieses Bandes das Paket empfangen kann, oder die Knoten mit demselben Band-Adresse Segment in demselben Band ausreichend weit voneinander entfernt sind, kann dies ebenfalls niemals geschehen.

**[0081]** Die Hop-Kette, die durch die logische Adresse des Paketes definiert ist, bleibt nach wie vor der einzige mögliche Übertragungsweg zwischen dem sendenden Knoten und einem gegebenen Zielkno-

ten, sofern sich nicht 2 oder mehr Knoten, welche in demselben Band enthalten sind und dieselbe Adresse haben, innerhalb des Sendebereiches des bezeichneten Repeater-Knotens im vorhergehenden Band (d.h. dem Band, das dem sendenden Knoten einen Hop näher ist) befinden. Diese Situation würde nur durch eine falsche Wahl des Übertragungsweges oder durch die Verwendung von HF-Transceivern, welche ausreichend leistungsstark sind, um eine umfassende Knoten-zu-Knoten-Konnektivität im gesamten Gebäude zu bewirken, entstehen. Wenn das Letztere der Fall ist, wäre die Verwendung von breiteren Bändern (die z.B. aus 5–6 Bits bestehende Band-Adresse Segmente erfordern) gerechtfertigt.

**[0082]** Aufgrund des Obigen und des Vorhergehenden ist für Fachleute auf dem relevanten Gebiet nun klar, dass in der rauen, von Schwund gekennzeichneten Umgebung von HF-Übertragungsnetzen im Inneren von Gebäuden die Funktionalität einer einfachen und schnellen Umkonfiguration und Anpassungsfähigkeit des Netzes wichtig ist, um ein akzeptables Niveau ordnungsgemäß quittierter Datenübertragungen sicherzustellen (d.h. um ein akzeptables Niveau des Datendurchsatzes sicherzustellen). Das R-PaST Netzkonfigurations- und Routing-Verfahren der vorliegenden Erfindung erzielt diese wichtige Funktionalität, indem es die Fähigkeit schafft, sofort ein alternatives Routing von erfolglos gesendeten Paketen ohne irgendeine Netzausfallzeit zu versuchen.

**[0083]** Ebenso wie das ursprüngliche PaST Netzkonfigurations- und Routing-Protokoll ermöglicht das R-PaST Netzkonfigurations- und Routing-Protokoll der vorliegenden Erfindung die Verwendung von Netzknoten mit eingeschränkten Ressourcen, und es hält einen singulären Übertragungsweg aufrecht, welcher die schnellstmöglichen Datenübertragungen und Quittierungen ermöglicht.

**[0084]** Zusammengefasst, werden sämtliche nützlichen Merkmale und Vorteile des ursprünglichen PaST Netzkonfigurations- und Routing-Protokolls beibehalten, während die Gesamt-Leistungsfähigkeit des drahtlosen Netzes verbessert und seine Gesamt-Funktionalität erweitert wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Leitweglenkung (Routing) eines Paketes in einem drahtlosen Netz, das aus einem Steuerknoten und einer Vielzahl von Einzelknoten besteht, welches die folgenden Schritte umfasst: logisches Organisieren des Netzes in mehreren Bändern  $B_i$ , wobei jedes der Bänder  $B_i$  mehrere der Einzelknoten enthält und sich eine Anzahl  $i$  von Hops von dem Steuerknoten entfernt befindet, wobei  $i = 0$  bis  $N$ , und  $N \geq 1$ ;  
Zuweisen einer logischen Adresse zu jedem der Einzelknoten und Speicher der zugewiesenen logischen

Adressen in den jeweiligen Einzelknoten;  
wobei die zugewiesene logische Adresse für jeden Einzelknoten einen ersten Adressabschnitt, welcher das Band  $B_i$  angibt, in welchem sich dieser Einzelknoten befindet, und einen zweiten Adressabschnitt, welcher diesen Knoten relativ zu allen anderen in demselben Band befindlichen Einzelknoten identifiziert, aufweist;

gekennzeichnet durch

Eintragen einer logischen Routing-Adresse in das Paket durch Speichern der zweiten Adressabschnitte der Einzelknoten, aus denen die Route besteht, in Segmenten eines in dem Paket enthaltenen Feldes "Logische Adresse", wobei ein Segment dem Band entspricht, in welchem sich ein jeweiliger Einzelknoten befindet, Speichern der Anzahl der Hops, die erforderlich sind, um das Paket zu dem Zielknoten zu senden, in dem Paket, und Speichern des Wertes  $i = 0$  in einem Zähler in dem Paket;

Senden des Paketes vom Steuerknoten aus;

wobei jeder empfangende Knoten das Paket verwirft, wenn sein zweiter Adressabschnitt nicht mit dem zweiten Adressabschnitt in demjenigen Segment des Feldes "Logische Adresse" des Paketes, das dem Band  $B_i$  entspricht, in welchem sich der empfangende Knoten befindet, übereinstimmt;

wobei jeder empfangende Knoten das Paket weiter-sendet, wenn sein zweiter Adressabschnitt mit dem zweiten Adressabschnitt in dem entsprechenden Segment des Feldes "Logische Adresse" des Paketes übereinstimmt und der Wert von  $i$ , der in dem Zähler gespeichert ist, verschieden von der Anzahl der Hops ist, die erforderlich sind, um das Paket zum Zielknoten zu senden;

wobei jeder empfangende Knoten das Paket verarbeitet, wenn sein zweiter Adressabschnitt mit dem zweiten Adressabschnitt in dem entsprechenden Segment des Feldes "Logische Adresse" des Paketes übereinstimmt und der Wert von  $i$ , der in dem Zähler gespeichert ist, gleich der Anzahl der Hops ist, die erforderlich sind, um das Paket zum Zielknoten zu senden;

wobei vor oder nach jeder Übertragung des Paketes durch einen Einzelknoten der Wert von  $i$ , der in dem Zähler gespeichert ist, um 1 erhöht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, welches ferner den Schritt des Initialisierens des Netzes umfasst, um Knotenkonnektivitäts-Informationen zu erhalten, und wobei der Schritt des logischen Organisierens des Netzes von dem Steuerknoten auf der Basis der Knotenkonnektivitäts-Informationen ausgeführt wird, die während des Schrittes des Initialisierens des Netzes erhalten wurden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Steuerknoten so programmiert ist, dass er das Routing von Paketen durch Ausführen der folgenden Schritte steuert:

Erkennen eventueller erfolglos gesendeter Pakete;

Erkennen eines fehlerhaften Knotens in dem durch die logische Routing-Adresse vorgeschriebenen Übertragungsweg in Reaktion auf das Erkennen eines erfolglos gesendeten Paketes; und

Ändern der logischen Routing-Adresse des erfolglos gesendeten Paketes in eine neue logische Routing-Adresse, welche einen neuen Übertragungsweg vorschreibt, welcher den erkannten fehlerhaften Knoten nicht enthält.

4. Drahtloses Netz, welches umfasst:  
einen Steuerknoten;

eine Vielzahl von Einzelknoten, die logisch in mehreren Bändern  $B_i$  organisiert sind, wobei jedes der Bänder  $B_i$  mehrere der Einzelknoten enthält und sich eine Anzahl  $i$  von Hops von dem Steuerknoten entfernt befindet, wobei  $i = 0$  bis  $N$ , und  $N \geq 1$ ; und

wobei jeder Einzelknoten eine logische Adresse hat, welche einen ersten Adressabschnitt, welcher das Band  $B_i$  angibt, in welchem sich dieser Einzelknoten befindet, und einen zweiten Adressabschnitt, welcher diesen Knoten relativ zu allen anderen in demselben Band befindlichen Einzelknoten identifiziert, aufweist; dadurch gekennzeichnet, dass der Steuerknoten so programmiert ist, dass er als ein sendender Knoten agiert und Pakete routet durch:

Eintragen einer logischen Routing-Adresse in das Paket durch Speichern der zweiten Adressabschnitte der Einzelknoten, aus denen die Route besteht, in Segmenten eines in dem Paket enthaltenen Feldes "Logische Adresse", wobei ein Segment dem Band entspricht, in welchem sich ein jeweiliger Einzelknoten befindet, Speichern der Anzahl der Hops, die erforderlich sind, um das Paket zu dem Zielknoten zu senden, in dem Paket, und Speichern des Wertes  $i = 0$  in einem Zähler in dem Paket; und  
Senden des Paketes;

und dadurch, dass jeder Knoten ferner so programmiert ist, dass er als ein empfangender Knoten agiert durch

Verwerfen eines empfangenen Paketes, wenn sein zweiter Adressabschnitt nicht mit dem zweiten Adressabschnitt in demjenigen Segment des Feldes "Logische Adresse" des Paketes, das dem Band  $B_i$  entspricht, in welchem sich der empfangende Knoten befindet, übereinstimmt;

Weitersenden des Paketes, wenn sein zweiter Adressabschnitt mit dem zweiten Adressabschnitt in dem entsprechenden Segment des Feldes "Logische Adresse" des Paketes übereinstimmt und der Wert von  $i$ , der in dem Zähler gespeichert ist, verschieden von der Anzahl der Hops ist, die erforderlich sind, um das Paket zum Zielknoten zu senden;

Verarbeiten des Paketes, wenn sein zweiter Adressabschnitt mit dem zweiten Adressabschnitt in dem entsprechenden Segment des Feldes "Logische Adresse" des Paketes übereinstimmt und der Wert von  $i$ , der in dem Zähler gespeichert ist, gleich der Anzahl der Hops ist, die erforderlich sind, um das Paket zum Zielknoten zu senden; und

wobei jeder Knoten ferner so programmiert ist, dass er den Wert von  $i$ , der in dem Zähler gespeichert ist, beim Empfang oder beim Senden des Paketes um 1 erhöht.

5. Drahtloses Netz nach Anspruch 4, wobei der Steuerknoten so programmiert ist, dass er das Routing von Paketen steuert durch:

Erkennen eventueller erfolglos gesendeter Pakete;  
Erkennen eines fehlerhaften Knotens in dem durch die logische Routing-Adresse vorgeschriebenen Übertragungsweg in Reaktion auf das Erkennen eines erfolglos gesendeten Paketes; und  
Ändern der logischen Routing-Adresse des erfolglos gesendeten Paketes in eine neue logische Routing-Adresse, welche einen neuen Übertragungsweg vorschreibt, welcher den erkannten fehlerhaften Knoten nicht enthält.

6. Netzknoten zur Verwendung in einem drahtlosen Netz nach Anspruch 4 oder 5.

7. Steuerknoten zur Verwendung in einem drahtlosen Netz nach Anspruch 5.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



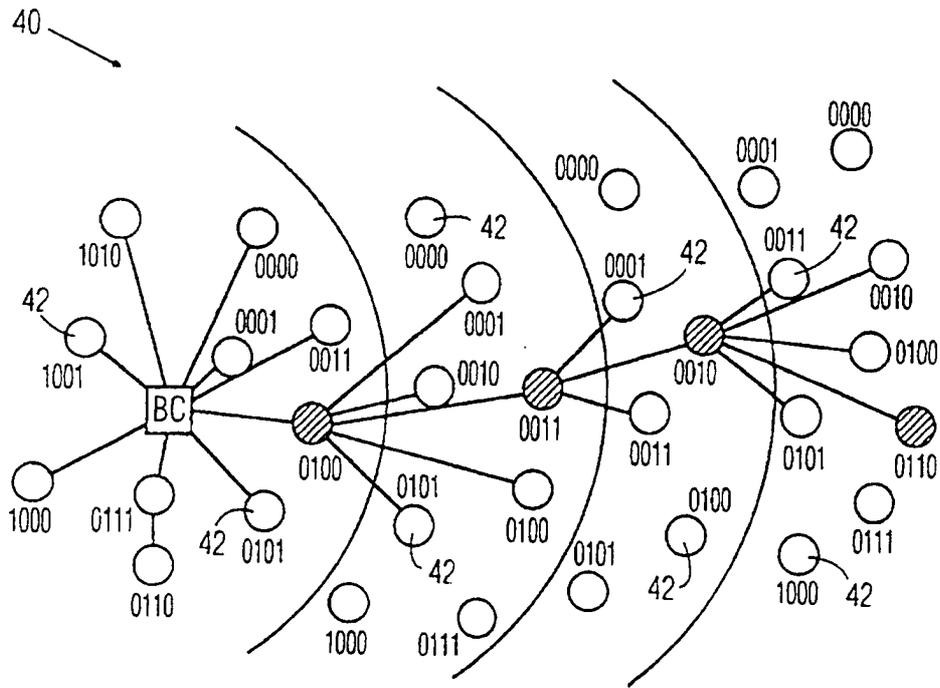


FIG. 3

\$D0	\$XX	\$33	\$4325	\$0A	\$10	\$3D

FIG. 4