



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Veröffentlichung**
10 **DE 199 83 163 T 1**

51 Int. Cl.7:
H 04 Q 7/36

- der internationalen Anmeldung mit der
- 87 Veröffentlichungsnummer: WO 99/59363 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 - 21 Deutsches Aktenzeichen: 199 83 163.7
 - 86 PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/10231
 - 86 PCT-Anmeldetag: 11. 5. 1999
 - 87 PCT-Veröffentlichungstag: 18. 11. 1999
 - 43 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung in deutscher Übersetzung: 28. 6. 2001

DE 199 83 163 T 1

30 Unionspriorität:
60/085,055 11. 05. 1998 US
09/300,871 28. 04. 1999 US

71 Anmelder:
Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pa., US

74 Vertreter:
v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

72 Erfinder:
Johnson, David B., Pittsburgh, Pa., US; Bennington, Bernard J., Pittsburgh, Pa., US; Stancil, Daniel D., Pittsburgh, Pa., US

54 Verfahren und Vorrichtung zum Einbeziehen von Umweltinformation für mobile Kommunikation

DE 199 83 163 T 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

DE 10 DE 199 83 163 T 1

Carnegie Mellon University

PCT/US 99/10231
DEAB-73274.1
26. Oktober 2000

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM EINBEZIEHEN VON UMWELTINFORMA- TION FÜR MOBILE KOMMUNIKATION

Gebiet der Technik

Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Vorhersagen von Signalqualitätsverlust in einem mobilen Kommunikationssystem und insbesondere auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Vorhersagen von Signalqualitätsverlust in Reaktion auf ein Wissen über die Umgebung, in der das mobile Kommunikationssystem eingesetzt wird, und auch zum Einstellen des Routens, der Netzauswahl oder anderen Verhaltens zum Verbessern der Signalqualität in Reaktion auf die Vorhersage.

Hintergrund

Da mobile Maschinen entwickelt wurden, die manuell oder teilweise oder vollständig autonom auf Baustellen betrieben werden können, wird eine große Menge auf dem letzten Stand befindlicher Information benötigt, um bestimmte Aufgaben zu koordinieren und den Maschinen entsprechende Zeit zu verschaffen, in der sie ihre Bewegungen planen können. In einigen Situationen müssen viele Einzelmaschinen miteinander zusammenarbeiten, und Informationen über die Aktivität und Bewegung einer jeden Maschine und anderer Objekte der Umgebung müssen mitgeteilt werden. Wenn die Baustelle komplexer wird und mehr Maschinen verwendet werden, wird eine effiziente Einrichtung zum Empfangen und Senden von Daten zwischen den Maschinen benötigt. Außerdem muß Information unterschiedlichster Art mitgeteilt werden. Zum Beispiel muß das System prioritäre Daten unterstützen, wobei Daten den Vorrang haben, die sich auf missionswesentliche Vorgänge beziehen. Einige der Vorgänge können höchst interaktiv sein, wobei sehr niedrige Systemlatenzen benötigt werden. Außerdem besteht eine große Variation

bei den Bandbreitenanforderungen, von einigen wenigen Bytes pro Sekunde bis zu Hunderttausenden von Bytes pro Sekunde und mehr.

Derzeit werden drahtlose mobile Kommunikationssysteme so konfiguriert, daß bei Auftreten von Signalqualitätsverlust zwischen Routen oder Netzen geschaltet wird. Zum Beispiel schalten cellulare Systeme von einer Basisstation zur nächsten, wenn der Signalpegel unter einen bestimmten Pegel fällt, wie zum Beispiel dann, wenn sich ein mobiler Knoten von dem Bereich einer Basisstation zu einem anderen bewegt. In manchen Fällen fällt der Signalpegel so stark ab, daß die Verbindung verloren geht, bevor die Weiterreichung zu einer anderen Basisstation vollzogen werden kann. Zum Beispiel ein Kommunikationssystem für schwere mobile Geräte, die teilweise oder vollständig autonom arbeiten, kann es sich nicht leisten, während einer solchen Ausblendzeit wertvolle Daten zu verlieren. Eine qualitativ hochwertige Kommunikation muß jederzeit gewährleistet bleiben. Daher ist es wünschenswert, ein mobiles Kommunikationssystem mit einer Einrichtung zum Verhindern von Kommunikations-Signalverschlechterung und Informationsverlust vorzusehen. Um die verfügbare Bandbreite am effektivsten zu nutzen, hätte das Kommunikationssystem idealerweise die Möglichkeit der Wahl zwischen mehreren sich überlagernden drahtlosen Netzen, so daß das für einen bestimmten Anwendungsbereich geeignetste Netz ausgewählt werden kann. Zum Verhindern des Verlusts von Kommunikationssignalen ist es außerdem wünschenswert, die Basisstationen oder Netze zu wechseln, unmittelbar bevor sich der mobile Knoten von einem Netz zum nächsten bewegt. Hierzu müssen Weiterreichungen vorhergesagt werden können, bevor sie unvermeidlich sind, und es muß das Netz informiert werden, wenn entdeckt wird, daß eine Weiterreichung unmittelbar bevorsteht. Die Fähigkeit, Weiterreichungen vorherzusagen muß in einer Arbeitsumgebung zuverlässig sein, in der aufgrund eines komplexen Terrains viele Störungen auftreten, zum Beispiel mit Bergen, Gräben, Schächten und Tunnels, und wo die verschiedenen Maschinen über große Entfernungen verteilt sind. Bei der Hochfrequenz (HF) -

25.10.00

- 3 -

DE 199 83 163T1

Wellenpropagation in Gegenden mit unregelmäßigem Terrain und Strukturen, wie zum Beispiel tiefen Gräben, steilen Bergen und hohen Mauern, müssen Faktoren wie zum Beispiel Reflexions-, Brechungs-, Mehrkanal- und Streueffekte berücksichtigt werden. Die Signalstärke der HF-Signale kann in solchen Bereichen bei kleinen Bewegungen stark fluktuieren. Die Zuverlässigkeit des Systems muß durch Geschwindigkeit ausgeglichen werden, da ein drahtloses Netz typischerweise dadurch zuverlässiger gemacht wird, daß eine Fehlerüberprüfung und -korrektur zu Kosten eines niedrigeren Durchsatzes und höherer Latenz hinzugefügt wird.

Bei herkömmlichen hierarchischen Datennetzen, wie zum Beispiel beim Internet, sind Routing-Protokolle an den logischen Ort der Knoten des Netzes gebunden. Wenn ein Paket übertragen wird, enthält es die Adresse des Ziel-Hostcomputers in seiner Kopfzeile. Zwischenknoten, die auf dem Weg zwischen der Quelle und dem Ziel liegen, überprüfen die Adresse des Ziels und fällen aufgrund der Netzkomponente dieser Zieladresse Entscheidungen darüber, wie das Paket geroutet werden soll. Hierdurch können Zwischenknoten das Paket an das Netz weiterleiten, in dem der Zielhost ist, ohne daß sie den genauen Ort des Zielhosts kennen. Während das Paket entlang des Pfads weitergeleitet wird, haben die Zwischenknoten, die dem Ziel näher liegen, Informationen über den genauen Ort des Ziels und leiten das Paket entsprechend weiter. Ein Vorteil bei diesem Verfahren ist, daß der Host nur den Ort einiger weniger Knotennetze kennen muß anstelle des Orts eines jeden Knotens im Netz.

Dieses herkömmliche Netz setzt voraus, daß die Hosts stationär sind. Mit leichten und batteriebetriebenen mobilen Computern unter Verwendung drahtloser Technik können sich die Benutzer bewegen, während sie aber doch untereinander verbunden bleiben. Wenn sich Knoten jedoch von ihrem "Heimatnetz" entfernen, dann bricht die Verbindung zusammen. Wenn sich zum Beispiel ein mobiler Computer mit einer zu Netz A gehörenden Adresse zum Netz B bewegt, werden die für den mobilen Computer bestimmten Pakete immer noch an das Netz A gesendet, wie das

in der Netzcomponente der Adresse angegeben ist. Alle Pakete, die an den mobilen Computer gerichtet waren, gehen verloren, während der mobile Computer von seinem Heimatnetz entfernt ist. Die Einschränkungen des herkömmlichen Routingverfahrens beschränken die Mobilität dieser Computer dadurch, daß sie sie auf ein einziges Netz beschränken.

Die vorliegende Erfindung ist demnach auf das Überwinden eines oder mehr der oben angegebenen Probleme gerichtet.

Offenbarung der Erfindung

Nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist ein Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten die folgenden Schritte auf: Erzeugen eines Signalpropagationsmodells von ausgewählten Kommunikationsknoten in dem Bereich. Die Kommunikationsknoten können stationär oder mobil sein. Das Propagationsmodell ist gestützt auf eine Umgebungsabbildung, die die Topografie des Terrains und der Strukturen in dem Bereich umfaßt. Das Propagationsmodell wird in ausgewählten Intervallen erzeugt und liefert so aktualisierte Information zum Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Ort zu einer Zeit in der Zukunft. Zusätzlich sagt die vorliegende Erfindung aufgrund der Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung eines mobilen Kommunikationsknotens den zukünftigen Ort des mobilen Kommunikationsknotens voraus. Außerdem wird die bisherige Kommunikationsqualität am vorhergesagten Ort eines Kommunikationsknotens verwendet. Die Kommunikationssignale werden dann in einer Weise durch das Netz geroutet, die die erwünschte oder beste verfügbare vorhergesagte Kommunikationsqualität liefert.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Funktions-Blockdiagramm, das eine Grund-Mobile-IP-Konfiguration zeigt;

Fig. 2 ist ein Funktions-Blockdiagramm, das eine Grund-Mobile-IP-Konfiguration mit Pakettunnelung zeigt;

Fig. 3 ist ein Funktions-Blockdiagramm, das ein Paket-Routing ohne Routenoptimierung zeigt;

Fig. 4 ist ein Funktions-Blockdiagramm, das ein Paket-Routing mit Routenoptimierung zeigt;

Fig. 5 ist eine Überblicksdarstellung, die ein Beispiel der Abdeckung eines drahtlosen LANs und eines drahtlosen WANs zeigt;

Fig. 6 ist ein Funktions-Blockdiagramm der vorliegenden Schaltsystemarchitektur;

Fig. 7 ist ein Diagramm des Statusautomaten, den das Model Daemon zum Treffen von Schaltentscheidungen verwendet;

Fig. 8 ist ein Flußdiagramm, das ein Beispiel einer positionsgestützten Vorhersage zeigt;

Fig. 9 ist ein Überblicksdiagramm einer Terrainabbildung;

Fig. 10 ist ein Diagramm eines Statusautomaten für das vorliegende Schaltsystem;

Fig. 11 ist eine Abbildung einer graphischen Benutzerschnittstelle für das vorliegende Schaltsystem; und

Fig. 12 ist eine Abbildung einer Baustelle, bei der die vorliegende Erfindung eingesetzt werden kann.

Bester Modus zum Durchführen der Erfindung

Überblick

Das vorliegende drahtlose mobile Kommunikationssystem sieht ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kommunikation zwischen zwei oder mehr Kommunikationsknoten in einem Bereich vor, der mehrere Kommunikationsknoten und eine oder mehrere Kommunikationsnetztechnologien aufweist. Die Kommunikationsknoten können mobil oder stationär sein. Ein intelligentes Schaltsystem weist Positionsinformationen und Berechnungen der HF-Wellenpropagation für ausgewählte Kommunikationsnetze auf. In ausgewählten Zeitintervallen wird eine Umgebungsabbildung, die die Topographie des Terrains und von Bauten in dem Bereich sowie die Standorte und Eigenschaften potentieller Quellen elektromagnetischer Interferenz aufweist, zum Erzeugen eines HF-Propagations- und Kommunikationsmodells für von ausgewählten Kommunikationsknoten und Netzen in dem Bereich erzeugte Signale verwendet. Das HF-Propagations- und Kommunikationsmodell liefert an jedem vorgegebenen Ort die vorhergesagte Signalqualität. Mit diesen Eingaben kann jeder Kommunikations-

knoten im vorliegenden Netz vorhersagen, wo er in der Zukunft sein wird, ob dieser Ort über ein bestimmtes drahtloses Netz erreichbar sein wird sowie die Qualität des Signals an diesem Ort. Das Netz kann sich dann auf ein Weiterreichen zwischen Basis-Stationen oder Netzen mit der erwünschten Signalqualität vorbereiten, wodurch die Verzögerung und die dadurch verursachten Fixkosten minimiert werden. Zum Unterstützen mobiler Knoten wird ein Kommunikationsprotokoll, wie zum Beispiel das Standard-Internetprotokoll, das als mobile IP bekannt ist, verwendet, das es Knoten erlaubt, ihren Ort im Netz zu verändern, ohne daß ihre Adresse geändert werden muß. Wenn ein mobiler Knoten sich von einem Netz zu einem anderen bewegt, ist der Home Agent der einzige Knoten im Netz, der den Ort des mobilen Knotens verfolgt und Pakete an diesen Ort leitet. Das vorliegende System ermöglicht auch eine direkte Peer-to-peer-Kommunikation. Wenn zwei Knoten sich innerhalb ihres gegenseitigen drahtlosen Sendebereichs befinden, können sie direkt kommunizieren ohne Unterstützung durch einen zentralen Router. Wenn zwei Knoten sich außerhalb ihres gegenseitigen drahtlosen Sendebereichs befinden, können sie andere Knoten zwischen ihnen zum Weiterleiten ihrer Pakete verwenden, wodurch diese dazwischenliegenden Knoten dynamisch als Router verwendet werden und ad hoc ein Netz entsteht. Durch diese Fähigkeit kann das vorliegende System eine große Anzahl mobiler Knoten unterstützen. Außerdem unterstützt das vorliegende System eine Vielzahl von Netzverkehrstypen, wie zum Beispiel datenintensive Dateiübertragungen, zeitkritische Notfalldaten, Echtzeit-Audiodaten, Daten über konstante Bandbreite und periodische Positionsdaten. Die Art des für den Verkehr erforderlichen Dienstes soll auch den besonderen Anforderungen der verschiedenen Kommunikationsknoten genügen und die Wechselwirkung verschiedener Benutzeranwendungen leicht ermöglichen.

Mobile IP

Der Mobile IP-Standard (Internet Protokoll) wurde entwickelt, um die Mobilität von Hosts im Internet zu ermöglichen. Die Implementierung von Mobile IP, wie sie hier erörtert wird, geschieht auf der Grundlage des Standards der IP-Version

4 (IPv4). Mobile IPv4 ermöglicht das transparente Routen von IPv4-Paketen an mobile Knoten im Internet. Es gibt auch eine neuere Version des IP, das als die IP-Version 6 (IPv6) bekannt ist, für die es auch eine mobile Erweiterung gibt, die als Mobile IPv6 bekannt ist. Sowohl Mobile IPv4 als auch Mobile IPv6 können in der vorliegenden Vorrichtung eingesetzt werden.

Beim herkömmlichen IP-Routen sind, wenn sich ein Knoten zu einem anderen Netz bewegt hat, Pakete, die an diesen Knoten adressiert waren, nicht mehr zustellbar. Damit ein Knoten in einem neuen Netz kommunizieren kann, muß er seine IP-Adresse ändern. Hierdurch wird das Aufrechterhalten von Verbindungen unmöglich, wenn der Knoten seinen Ort verändert. Mobile IP ist ein Routing-Verfahren, bei dem ein mobiler Knoten seine IP-Adresse nicht ändern muß, wenn er sich bewegt. Stattdessen ist jeder mobile Knoten durch eine einzige IP-Adresse identifiziert, und zwar unabhängig von seinem derzeitigen Verbindungspunkt mit dem Netz.

Zum Verständnis von Mobile IP ist die Vertrautheit mit den folgenden Begriffen nötig:

Mobiler Knoten: Ein Knoten, der sich von einem Netz zum anderen bewegt. Der mobile Knoten implementiert Mobile IP, damit er mit anderen Knoten in Kommunikation bleiben kann.

Korrespondierender Knoten (correspondent node): Ein Knoten, mit dem ein mobiler Knoten in Kommunikation ist. Ein korrespondierender Knoten kann entweder ein stationärer Knoten oder ein anderer mobiler Knoten sein.

Home Address: Die IP-Adresse, die dem mobilen Knoten zugeteilt wird und die unverändert bleibt, unabhängig davon, wo der Knoten mit dem Netz verbunden ist.

Heimatnetz: Jeder mobile Knoten hat ein Heimatnetz. Dies ist das Netz, an das das herkömmliche IP-Routing mit der Home Address adressierte Pakete leiten würde, während ein mobiler Knoten mit seinem Heimatnetz verbunden ist. Das herkömmliche Routing konnte unter Verwendung der Home Address Pakete an den mobilen Knoten senden.

Fremdnetz: ein Netz, das nicht das Heimatnetz des mobilen Knotens ist.

Home Agent: ein im Heimatnetz des mobilen Knotens angesiedelter mobiler IP-Agent. Der Home Agent verfolgt den Ort des mobilen Knotens und leitet Pakete zum mobilen Knoten weiter, wenn er vom Heim entfernt ist.

Foreign Agent: ein auf einem Fremdnetz angesiedelter mobiler IP-Agent. Foreign Agents können einem mobilen Knoten dabei helfen, sich bei seinem Home Agent zu registrieren, und können auch mithelfen, weitergeleitete Pakete an einen mobilen Knoten auszuliefern.

Care-of Address: eine IP-Adresse auf einem Fremdnetz, an die der Home Agent Pakete weiterleitet. Die Care-of Address könnte entweder eine IP-Adresse eines Foreign Agent oder eine auf dem Fremdnetz erhaltene örtliche Adresse sein. Ein Protokoll, wie zum Beispiel Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), kann hierfür verwendet werden. Die erstere Art der Care-of Address wird als Foreign Agent Care-of Address und die letztere Art der Care-of Address als eine beigeordnete Care-of Address (co-located care-of address) bezeichnet.

Packet interception (Paket-Abfangen): Dies ist das Verfahren, durch das der Home Agent an einen seiner mobilen Knoten gerichtete Pakete empfängt. Dies kann in Mobile IP durch die Verwendung von "Proxy"-Adressenauflösungsprotokoll (Address Resolution Protocol / ARP) beim Home Agent implementiert sein. Beim Proxy-ARP beantwortet der Home Agent Adressauflösungsanfragen nach der IP-Adresse des mobilen Knotens von anderen Knoten im Heimatnetz, wobei er die Link-layer Address ("Verbindungsschichtadresse") des Home Agent angibt, als wäre sie die Adresse des mobilen Knotens. Der die Adresse anfordernde Knoten verwendet dann die Link-layer Address des Home Agent zum Liefern von Paketen an den mobilen Knoten, wodurch es dem Home Agent ermöglicht wird, die Pakete zu empfangen und sie an den aktuellen Ort des mobilen Knotens weiterzuleiten.

Binding-Cache: Korrespondierende Knoten können eine Cache von Care-of Adressen für mobile Knoten unterhalten, um zu bestimmen, wohin die an einen mobilen Knoten gerichteten Pakete zu senden sind.

Binding-Update: zum Aktualisieren der Binding-Cache eines korrespondierenden Knotens verwendete Nachricht.

Registrierungs-Lebensdauer: Zeitdauer, während der die Registrierung eines mobilen Knotens in einem Fremdnetz gültig ist. Sie ist auch die Zeitdauer, während der ein Binding-Update gültig ist.

Fig. 1 veranschaulicht die oben definierten Termini. M ist ein mobiler Knoten. Der Knoten S kommuniziert mit M, also ist S ein korrespondierender Knoten. R2 ist der Home Agent von M. Wenn sich M zu einem Fremdnetz bewegt, dient R4 als sein Foreign Agent. In diesem Fall wird die Adresse von R4 als die Care-of Address von M verwendet.

Mobile IP bietet eine Reihe von Diensten, die den Knoten Mobilität ermöglicht. Der folgende Abschnitt beschreibt alle diese Dienste.

Agent Discovery (Agentenentdeckung): Home Agents und Foreign Agents können ihre Verfügbarkeit auf jedem Link bekanntgeben, auf dem sie Dienste anbieten. Zusätzlich kann ein neu verbundener mobiler Knoten eine ausdrückliche Bewerbung (Solicitation) auf einen Link senden, um herauszufinden, ob künftige Agents vorhanden sind. Foreign Agents reagieren dann auf eine Solicitation, indem sie ihren Ort angeben. Die Mobile IP-Agent Discovery ist als eine Erweiterung des ICMP (Internet Control Message Protocol) Router-Discovery-Protokolls implementiert. Das Agent-Discovery-Protokoll erweitert die Nachrichten (Router Advertisement und Router Solicitation), die im Router-Discovery-Protokoll verwendet werden. Die bei der Agent Discovery verwendeten Nachrichten werden daher Agent Advertisement und Agent Solicitation genannt.

Registrierung: Wenn ein mobiler Knoten vom Heimatnetz entfernt ist, informiert er seinen Home Agent von seinem derzeitigen Standort unter Verwendung eines Vorgangs, der Registrierung genannt wird. Je nach dem Verfahren, das zur Anbindung verwendet wird, registriert sich der Knoten entweder direkt bei seinem Home Agent oder durch einen Foreign Agent, der die Registrierung an den Home Agent weiterleitet. Registrierungen sind über einen festen Zeitraum gültig, die Regi-

strierungs-Lebensdauer. Wenn der mobile Knoten eine beigeordnete Care-of Address verwendet, ist kein Foreign Agent nötig, und der mobile Knoten kann sich direkt registrieren. Wenn der mobile Knoten zu seinem Heimatnetz zurückkehrt, meldet er sich bei seinem Home Agent ab (deregistration), um die Paketweiterleitung zu unterbinden.

Tunneling: Der vom Home Agent gebotene Service des Weiterleitens der Pakete an den mobilen Knoten wird "Tunneling" genannt. Beim Tunneling von Paketen kapselt der Home Agent das ursprüngliche Paket ein, indem eine weitere IP-Kopfzeile vor das existierende Paket gesetzt wird. Diese "äußere" IP-Kopfzeile hat einen Absender, die die IP-Adresse des einkapselnden Hosts ist, und hat eine Zieladresse, die die Care-of Address des mobilen Hosts (Knotens!) ist. Wenn die Care-of Address der Foreign Agent ist, empfängt der Foreign Agent das Paket, macht die Kapselung rückgängig und stellt es örtlich dem mobilen Knoten zu. Wenn eine beigeordnete Care-of Address verwendet wird, empfängt der mobile Knoten das Paket und macht selbst die Kapselung des Pakets rückgängig.

Fig. 2 veranschaulicht den Vorgang der Kapselung, wenn ein Foreign Agent verwendet wird. Während des Betriebs machen der Home Agent R2 und der Foreign Agent R4 ihre Anwesenheit unter Verwendung von Advertisement-Nachrichten bekannt. Der mobile Knoten M ist ursprünglich mit seinem Heimatnetz verbunden, wobei er zu dieser Zeit ohne mobile Dienste betrieben wird. Der mobile Knoten M bewegt sich zu einem Fremdnetz. Wenn der mobile Knoten feststellt, daß er sich in einem Fremdnetz befindet (da er die Advertisements des Foreign Agent empfängt), erhält er eine Care-of Address. Die Care-of Address wird aus der von R4 gesendeten Foreign-Agent-Advertisement-Nachricht erhalten. Wenn kein Knoten wie zum Beispiel R4 zum Liefern von Foreign-Agent-Diensten verfügbar ist und wenn der mobile Knoten dazu die Fähigkeit aufweist, kann er versuchen, eine beigeordnete Care-of Address zu erhalten, wobei ein Dienst wie zum Beispiel DHCP benutzt wird.

Der mobile Knoten M registriert seine neue Care-of Address beim Home Agent R2 durch den Austausch von Registration-

Request- und Antwortnachrichten. Wenn die Adresse von R4 als die Care-of Address verwendet wird, werden der Registration-Request und die Antwort an den Foreign Agent R4 gesendet, der dann die Pakete entsprechend nachsendet. Wenn eine beigeordnete Care-of Address verwendet wird, ist der Foreign Agent nicht beteiligt. Wenn der korrespondierende Knoten Pakete an M sendet, werden die Pakete an das Heimatnetz von M geroutet. Der Home Agent R2 fängt diese Pakete ab und tunnelt sie an die Care-of Address von M. Wenn die Adresse von R4 die Care-of Address ist, entkapselt R4 die Pakete und stellt sie örtlich an M zu. Wenn eine beigeordnete Adresse verwendet wird, würden die getunnelten Pakete von M selbst empfangen und entkapselt. In der umgekehrten Richtung werden von M an S gesendete Pakete zu ihrem Zielort geliefert, wobei unabhängig vom Standort von M herkömmliche Routing-Verfahren verwendet werden.

Die Sicherheit ist bei Mobile IP äußerst wichtig, weil es die Fähigkeit betrifft, das Routen von Paketen zu verändern, die an einen beliebigen Host gerichtet sind und die irgendwo an einem anderen Ort im Internet ausgeliefert werden können. Angriffe auf Registration-Requests oder -antworten könnten dazu führen, daß an den mobilen Knoten gerichtete Pakete nicht zustellbar sind oder an den falschen Zielort geliefert werden. Ein anderer Host könnte zum Beispiel versuchen, sich als ein mobiler Knoten auszugeben und einen Home Agent davon zu überzeugen, ihm Pakete zuzustellen. Es wird daher durch den mobilen Knoten und den Home Agent bei allen Registration-Requests und Antwort-Nachrichten eine Authentisierung durchgeführt. Um seine Echtheit bei seinem Home Agent nachzuweisen, hat der mobile Knoten mit seinem Home Agent einen Sicherheitsparameterindex (SPI) und einen geheimen Schlüssel. Einer von mehreren verfügbaren Algorithmen kann zur Authentisierung verwendet werden, wie zum Beispiel codierte Message Digest Version 5 (MD5) mit einer Schlüsselgröße von 16 Bytes. Zum Verhindern des wiederholten Abspielens von Registriernachrichten werden Zeitstempel oder "Einmalnachrichten" verwendet, um jeden Registration-Request und jede Registration-Antwort eindeutig zu kennzeichnen.

Mobile IP mit Routenoptimierung

Das Basic Mobile IP ermöglicht es einem mobilen Knoten, sich von seinem Heimatnetz weg zu entfernen, indem ein Home Agent bereitgestellt wird, der an die Home Address des mobilen Knotens gerichtete Pakete abfängt. In einer in Fig. 3 gezeigten typischen Situation ist der hier gezeigte mobile Knoten M von seinem Heimatnetz entfernt und unterhält sich mit einem korrespondierenden Knoten S, der im Fremdnetz angesiedelt ist, an das der mobile Knoten gerade angeschlossen ist. Wenn der mobile Knoten M ein Paket an den korrespondierenden Knoten S sendet, wird das Paket unter Verwendung herkömmlichen IP-Routens direkt an den mobilen Knoten M geroutet. Wenn der korrespondierende Knoten S ein Paket an den mobilen Knoten M sendet, wird das Paket jedoch zuerst an das Heimatnetz des mobilen Knotens M zurückgeschickt. Der Home Agent R2 des mobilen Knotens M fängt dieses Paket ab und tunnelt es an den derzeitigen Foreign Agent R1 des mobilen Knotens. Wenn der Foreign Agent R1 das eingekapselte Paket empfängt, wird es entkapselt und dann zum mobilen Knoten M gesendet.

Alternativ dazu können die Pakete auch besser geroutet werden, indem die Pakete direkt über das lokale Netz von einem zum anderen gesendet werden, wie das in Fig. 4 gezeigt ist. Durch die Routenoptimierung für das Mobile IP wird der Pfad optimiert, den ein Paket von korrespondierenden Knoten S zu mobilen Knoten M zurücklegt. Bei jeder Art der Optimierung des Routings von Paketen von korrespondierenden Knoten S an mobile Knoten M ist es nötig, daß die korrespondierenden Knoten S Informationen über den derzeitigen Standort des mobilen Knotens M behalten. Jeder korrespondierende Knoten S, der die Routenoptimierung unterstützt, muß einen Cache mit Care-of Addresses unterhalten, der Binding-Cache genannt wird. Wenn ein korrespondierender Knoten S ein Paket sendet, überprüft er seinen Binding-Cache nach einem der Zieladresse des Pakets entsprechenden Eintrag. Wenn ein passender Eintrag gefunden wird, kapselt der korrespondierende Knoten S selbst das Paket mit der im Binding-Cache-Eintrag angegebenen Care-of Address

ein, wodurch das Paket direkt an die Care-of Address getunnelt wird, und nicht an das Heimatnetz des mobilen Knotens M.

Wenn kein Binding-Cache-Eintrag gefunden wird, wird das Paket unter Verwendung herkömmlichen IP-Routens gesendet, wodurch das Paket wie vorher zurück an das Heimatnetz des mobilen Knotens M gesendet wird. Wenn der Home Agent R2 das Paket abfängt, nimmt er an, daß der Absenderhost keinen Binding-Cache-Eintrag für den mobilen Knoten M hat. Der Home Agent reagiert dann durch das Senden eines Binding-Updates mit Authentisierung an den korrespondierenden Knoten S, wodurch dieser von der derzeitigen Care-of Address des mobilen Knotens M informiert wird, bevor das Paket an den derzeitigen Standort des mobilen Knotens M getunnelt wird. Der Home Agent R2 setzt die Lebensdauer des Binding-Updates auf die Zeit, die für die Registrierung dieses bestimmten mobilen Knotens M noch verbleibt. Wenn der ursprüngliche Ausgangspunkt den Binding-Update empfängt und sich von seiner Echtheit überzeugt hat, fügt er den Binding-Update zur zukünftigen Verwendung in den Binding-Cache ein. Binding-Updates laufen nach dem Zeitraum ab, der durch den Home Agent R2 angegeben wird.

Damit ein korrespondierender Knoten S die Routenoptimierung verwenden kann, muß eine Software laufen, die Binding-Updates empfängt und verarbeitet. Wenn der Host die Routenoptimierungssoftware nicht verwendet, werden Pakete in der gleichen Weise geroutet, wie beim Basic Mobile IP. Da einige korrespondierende Knoten S diese Routenoptimierungssoftware jedoch nicht haben, müssen die Home Agents R2 einen Algorithmus zum Einschränken der Häufigkeit aufweisen, mit der sie Binding-Updates aussenden, da es sonst sein kann, daß ein Home Agent R2 das Netz mit Binding-Updates an einen korrespondierenden Knoten S überflutet, der diese ignoriert.

Intelligentes Schaltsystem

Das vorliegende Netzsystem umfaßt viele verschiedene Technologien, um von jedem Netz die besten Eigenschaften bieten zu können, einschließlich eines langsamen eine Baustelle abdeckenden drahtlosen Weitverkehrsnetzes (WAN) und einem oder mehrerer schneller drahtloser lokaler Verkehrsnetze (LAN),

die jeweils nur einen Teil der Baustelle abdecken. Während sich mobile Knoten durch das Netz bewegen, sind sie kontinuierlich im Bereich des WANs und bewegen sich in die Bereiche der LANs und aus ihnen wieder heraus. Die in einer bestimmten Situation zu verwendende Netztechnologie wird aufgrund der Bedürfnisse der spezifischen Anwendung gewählt. Ein einziges, zusammengesetztes Netz, das aus unterschiedliche Technologien verwendenden Unternetzen aufgebaut ist, bietet daher eine Gesamtlösung. Der Datenfluß in diesem Netz nimmt die effizienteste Route vom Absender ans Ziel, je nach den Charakteristiken der Technologien der einzelnen Unternetze. Wenn zum Beispiel eine schnelle LAN-Kommunikationsverbindung zwischen zwei Knoten verfügbar ist, die Kommunikationen austauschen wollen, dann könnte dieser Kommunikationspfad verwendet werden und nicht eine langsame WAN-Verbindung, die auch verfügbar wäre. Wenn keine andere Kommunikationsmöglichkeit zwischen zwei Knoten verfügbar ist, könnte notfalls das WAN einspringen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird Mobile IP zum Schalten zwischen den Netzen wie oben beschrieben eingesetzt. Das Mobile IP-Verfahren hat den Vorteil, daß es keine Veränderungen an den Routern oder mobilen Knoten im Netz erfordert. Das Protokoll gibt jedoch nicht an, wann zu Unternetzverbindungen gewechselt werden soll.

Das vorliegende System versorgt das Basic Mobile IP-Protokoll mit Instruktionen, welche Netzverbindung aufzubauen ist, während nur minimale Veränderungen am Standard-Mobile IP-Protokoll vorgenommen werden müssen. Beim vorliegenden System ist keine Eingabe von einem menschlichen Benutzer notwendig, da es sein kann, daß einige mobile Knoten keine Benutzer mitführen, oder wenn sie es doch tun, der Benutzer seine Aufmerksamkeit darauf richten können sollte, die Maschinen zu betreiben, und nicht darauf zu bestimmen, ob ein Weiterreichen an ein anderes Netz stattfinden sollte. Zusätzlich ist eine der Eingaben in den Entscheidungsvorgang, wann von einem Netz zum anderen geschaltet wird, eine Schätzung der Qualität des drahtlosen Kommunikationssignals von einem Korrespondenten im örtlichen Netz. Die aktuellen Werte der Signalstärke und des

Rauschens oder der Interferenz könnten zum Vorhersagen zukünftiger Werte verwendet oder zur späteren Verwendung aufgezeichnet werden. Zusätzlich dazu, daß dieser Signalqualitätswert geschätzt werden kann, wird ein Schwellenwert für eine bestimmte LAN-Technologie aufgestellt. Dieser Wert ist der minimale zufriedenstellende Signalqualitätswert für die Hardware und wird entweder direkt von der Hardware bezogen oder von den Hardwareangaben. Eine weitere nützliche Eingabe in den Entscheidungsvorgang ist ein Wissen über die aktuellen Standorte der mobilen Knoten. Diese Art der Eingabe kann zum Schätzen der Signalqualitätswerte mit Wissen über die Standorte drahtloser LAN-Sender kombiniert werden.

Damit realistische Modelle der HF-Propagation erstellt werden können, schließt die vorliegende Erfindung eine Beschreibung des um den mobilen Knoten herum liegenden tatsächlichen Terrains mit ein. Unter Verwendung des HF-Propagationsmodells versucht das Schaltsystem vorherzusagen, wann Weiterreichungen nötig sein werden, um die Zeit zu minimieren, während der ein mobiler Knoten vom Netz abgehängt sein könnte. Das Schaltsystem sagt einen zukünftigen Wert der Signalqualität für Kommunikationen auf der LAN-Verbindung voraus. Dieser Signalqualitätswert wird dann mit dem festgelegten Schwellenwert verglichen. Wenn der vorhergesagte Wert den Schwellenwert übersteigt, teilt das Schaltsystem Mobile IP mit, die Kommunikation unter Verwendung der LAN-Schnittstelle zu versuchen. Ansonsten teilt das Schaltsystem Mobile IP mit, die Kommunikation unter Verwendung der WAN-Verbindung aufzubauen.

Schaltsystemarchitektur

Die Komponenten einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems sind in Fig. 6 gezeigt. Model Core 20 enthält einen Satz von Komponenten wie zum Beispiel Model Daemon 22, auf Standortbasis funktionierender Vorhersagemechanismus 28, Umgebungs/Terrain-Abbildung 32, HF-Propagation und Kommunikationsmodell 34, nicht auf Standortbasis funktionierender Vorhersagemechanismus 38 und Mobilitätsmodell 56, die die zentralen Funktionen des Schaltsystems vorsehen. Das Schaltsystem hat eine modulare Konstruktion, so daß Verbes-

serungen der unterstützenden Technologien mit einbezogen werden können. Das Model Daemon 22 ist ein Zustandsautomat, der den aktuellen Zustand des mobilen Knotens verfolgt und Schaltentscheidungen trifft, was aufgrund dieses Zustands und Eingaben zweier weiterer Quellen geschieht, die ein auf Standortbasis funktionierender Vorhersagemechanismus 28 und ein nicht auf Standortbasis funktionierender Vorhersagemechanismus 38 sind. Das Model Daemon 22 sendet auch Befehle an die Mobile IP-Software 24, die Komponente von Mobile IP, die es mobilen Knoten ermöglicht, ihre Home Agents R2 von ihrem derzeitigen Standort zu informieren.

Fig. 7 zeigt den vom Model Daemon 22 zur Entscheidungsfindung verwendeten Zustandsautomaten. Wenn das Model Daemon 22 mit der Ausführung beginnt, startet es den WAN-Zustand (wobei sich hier "WAN" auf die Netz-Schnittstelle bezieht, die Mobile IP befehlsgemäß verwendet, in diesem Fall die WAN-Schnittstelle). Das WAN wurde für den anfänglichen Zustand des vorliegenden Systems gewählt, weil angenommen wurde, daß das WAN immer verfügbar sein würde. Von diesem Zustand ausgehend können jetzt mehrere Dinge geschehen. Erstens wird, wenn sonst nichts passiert, das Model Daemon 22 einen "Update"-Befehl an die Mobile IP-Software auf diesem Knoten senden. Update-Befehle werden periodisch ausgesendet, damit gewährleistet werden kann, daß das Model Daemon 22 und der mobile Knoten M synchronisiert bleiben.

Die einzige Art und Weise, wie das Model Daemon 22 den WAN-Zustand verlassen kann, besteht darin, daß das Model Daemon 22 entscheidet, daß die empirisch gesammelten Signalstärkenwerte (d.h. die direkt von der LAN-Schnittstellenhardware abgenommenen) erkennen lassen, daß eine stabile Verbindung zum LAN hergestellt werden kann. Bei einer bevorzugten Ausführungsform geschieht dies, wenn das Model Daemon 22 mehrere aufeinanderfolgende Werte der Signalstärke oder Hardware-Signalqualitätseingabe 26 aus der LAN-Hardware bekommt, die über dem LAN-Signalstärken-Schwellenwert liegen.

Wenn dann das Model Daemon 22 im LAN-Zustand ist, kann es diesen nur dann verlassen, wenn eines der unten beschriebenen

Vorhersagesysteme eine zukünftigen Signalstärkenwert vorher- sagt, der unter dem LAN-Schwellenwert liegt. Wenn dies ge- schieht, wird ein Befehl zum Schalten auf die WAN-Schnitt- stelle zur Mobile IP-Software auf diesem Knoten gesendet, und das Model Daemon 22 geht wieder in den WAN-Zustand. Das Model Daemon 22 sendet "Update"-Befehle, während es im LAN-Zustand ist, um sicherzustellen, daß das Model Daemon 22 und die Mobile IP-Software synchronisiert bleiben.

Die Entscheidung über das Schalten von der LAN-Schnitt- stelle zur WAN-Schnittstelle wird auf der Grundlage der vor- hergesagten Information getroffen, während die Entscheidung über das Schalten vom WAN auf das LAN aufgrund empirisch gemessener Daten getroffen wird. Dieser Unterschied wird gemacht, damit die Möglichkeit minimiert werden kann, daß ein mobiler Knoten die Anweisung bekommt die LAN-Schnittstelle zu benutzen, wenn dieses Netz eigentlich gar nicht zur Verfügung steht. Das Ergebnis hieraus ist, daß die Regeln zum Verändern des Zustands es einfacher machen, in den WAN-Zustand über- zuwechseln, da man von der WAN-Verbindung annimmt, daß sie immer zur Verfügung steht.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, daß das Model Daemon 22 nicht zwischen "Zuhause" und "Fremde" unterscheidet. Es kennt nur Netz-Schnittstellen. Die Entscheidung darüber, ob der mobile Knoten M zuhause oder in der Fremde sein soll, wird der Mobile IP-Software oder den Routing-Protokollen 24 (Fig. 6) überlassen und wird durch die Anwesenheit des Model Daemon 22 nicht beeinflußt.

In Fig. 6 nimmt auch ein auf Standortbasis funktionieren- der Vorhersagemechnismus 28 als Eingabe die aktuelle Position des mobilen Knotens vom Standortbeschaffungssystem 30 an, übersetzt diese Information in Koordinaten auf der Umgebungs- Terrain-Abbildung 32 und sagt die Bewegung des mobilen Knotens M zu einem neuen Punkt voraus. Der auf Standortbasis funktio- nierende Vorhersagemechnismus 28 liefert auch die Koordinaten als Eingabe an das HF-Propagations- und Kommunikationsmodell 34, das unter Verwendung von Gleichungen für die HF-Wellen-

Propagation zukünftige Signalstärkenwerte an einem oder mehreren Standorten auf der Baustelle berechnet.

Hardware zum zuverlässigen Beschaffen von Standortinformation, wie zum Beispiel differenzielle globale Satelliten-Navigationssysteme (DGPS / differential global positioning system) ist schon jetzt im Handel erhältlich. Das erfindungsgemäße Schaltsystem hat ein Standard-Positionsvorhersagesystem 36, das korrekt arbeitet, auch wenn die Positionsinformation nicht verfügbar ist. Zu diesem Zweck weist das vorliegende System den nicht auf Standortbasis funktionierenden Vorhersagemechanismus 38 auf, der empirisch gesammelte Signalstärkewerte verfolgt und einen Satz Datenpunkte zum Erhalten eines zukünftigen Werts extrapoliert.

Die durch den nicht auf Standortbasis funktionierenden Vorhersagemechanismus 38 durchgeführte Extrapolierung kann so komplex wie erforderlich sein, wobei viele historische Werte oder nur wenige davon berücksichtigt werden, die dann in eine polynomiale Funktion kombiniert werden oder durch die eine Kurve gelegt wird. Ein Beispiel einer einfachen Anwendung ist, daß unter Verwendung der zwei als letztes gesammelten Signalstärkewerte eine Gerade definiert wird. Ein dritter Punkt wird entlang dieser Geraden extrapoliert, der der vorhergesagte Signalstärkewert wird. Ein nützlicherer Mechanismus wäre fähig, weiter in die Zukunft vorherzusagen, als nur den nächsten Zeitpunkt. Zu diesem Zweck kann ein komplexeres Modell verwendet werden, bei dem durch eine Reihe von Punkten eine Kurve gelegt wird, wobei das Verhalten des Systems in der Vergangenheit berücksichtigt wird.

Der auf Standortbasis funktionierende Vorhersagemechanismus 28 gehört zum Model Core 20 und verwendet Informationen von einer Anzahl von Quellen, wie zum Beispiel der Umgebungs/-Terrain-Abbildung 32, dem Standortbeschaffungssystem 30, dem HF-Propagations- und Kommunikationsmodell 34 dem Umgebungs/-Terrain-Aktualisierungssystem 36 und dem Mobilitätsmodell 56 zum Liefern eines vorhergesagten Werts der zukünftigen Signalstärke an das Model Daemon 22. Fig. 8 zeigt ein Flußdiagramm des Entscheidungsvorgangs zum Vorhersagen eines Signal-

stärkewerts. Wenn der auf Standortbasis funktionierende Vorhersagemechanismus 28 bei Block 40 aufgerufen wird, versucht er zuerst, Eingaben über den aktuellen Zustand des mobilen Knotens zu sammeln. Die aktuelle Stärke der LAN-Kommunikation wird vom Model Daemon 22 beschafft, das die Daten vorher von der LAN-Hardware gelesen hat. Die aktuelle Position des mobilen Knotens wird von dem Positionssystem eingeholt, das gerade verfügbar ist, wie bei Block 42 gezeigt. Nachdem dann diese Eingaben eingeholt wurden, überprüft das vorliegende System bei Block 44, ob die Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 für den aktuellen Standort des mobilen Knotens verfügbar ist. Wenn eine Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 für diesen Punkt nicht verfügbar ist, wird bei Block 46 ein Return-Error erzeugt, und der auf Standortbasis funktionierende Vorhersagemechanismus 28 kann nicht verwendet werden. Model Daemon 22 geht dann auf Standardbetrieb über und verwendet den Wert von dem nicht auf Standortbasis funktionierenden Vorhersagemechanismus 38.

Wenn die Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 für diesen Punkt verfügbar ist, versucht das erfindungsgemäße Schaltsystem eine zukünftige Position des mobilen Knotens bei Block 48 vorherzusagen. Die zukünftige Position des mobilen Knotens wird in einen spezifischen Eintrag in die Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 aufgelöst. Die in diesem Standort gespeicherten Daten, insbesondere der historische Signalstärkewert und die Zeit, zu der er gemessen wurde, werden abgerufen. Wenn der historische Wert dann abgerufen wurde, speichert das System den aktuellen Signalstärkewert zusammen mit der aktuellen Meßzeit in der Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 an der durch den aktuellen Standort angegebenen Position. Die Zeit, die seit der Meßzeit verstrichen ist, wird berechnet und beim Entscheidungsblock 50 mit dem Veralterungsschwellenwert verglichen, der der aktuellen Terrainabbildung zugeordnet wird. Wenn die verstrichene Zeit kürzer als der Schwellenwert ist, wird bei Block 52 der historische Wert als der vorhergesagte Wert verwendet. Ansonsten muß unter Verwendung des HF-Propagations- und Kommunikationsmodells 34 eine Berechnung durchgeführt werden, um bei Block 54 einen zukünftigen Signalstärkewert vorherzusagen. Der

vorhergesagte Signalstärkewert kann zum Model Daemon 22 zurückgesendet werden, wo er dann, wie oben beschrieben, als Eingabe in seine Schwellenwertvergleiche eingeht.

Das Model Daemon 22 kann über seine Umgebung über diejenigen Plätze etwas in Erfahrung bringen, an denen es zuvor schon einmal war, indem es die historischen Signalstärkewerte verwendet. Wenn ein mobiler Knoten seine LAN-Verbindung verwendet, kann er eine Sammlung von Signalstärkewerten als historische Werte in seiner Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 aufzeichnen. Wenn der mobile Knoten den Bereich zum Durchführen einer Aufgabe verläßt und später zu ungefähr dem gleichen Ort zurückkehrt, den er vorher eingenommen hatte, könnte er den historischen Signalstärkewert als den vorhergesagten Signalstärkewert verwenden, wodurch die HF-Propagationsberechnungen unnötig würden.

Die historischen Werte können in Situationen veralten, in denen sich das Terrain in einigen Bereichen der Reichweite des LAN schneller als in anderen verändert. Bei dem Modell kann jeder Bereich eines LAN seine eigene Veralterungsschwelle haben. Nur zum Beispiel ist höchstwahrscheinlich das Terrain in der Nähe der Bauleitung ziemlich statisch, da Bauvorgänge typischerweise nicht in der Nähe der Bauleitung stattfinden. Wenn dies der Fall ist, kann der Veralterungsschwellenwert für die Bauleitung relativ hoch sein, wie zum Beispiel eine Woche. Es kann sein, daß der Veralterungsschwellenwert eines Arbeitsbereiches nur ein relativ kurzer Zeitraum ist, wo sich das Terrain schneller verändert. Wenn ein mobiler Knoten zu einem Standort zurückkehrt, an dem er innerhalb des Zeitraums, der durch den Veralterungsschwellenwert festgesetzt ist, schon einmal war, dann kann das Model Daemon 22 den historischen Wert als den vorhergesagten Wert verwenden. Sonst muß das Model Daemon 22 einen gänzlich neuen Wert berechnen. Ein kompliziertes Veralterungssystem könnte dahingehend ausgelegt werden, daß die historischen Werte langsam in der Art und Weise einer Halbwertszeit veralten, womöglich in Kombination mit einem gewichteten Polynom, wobei durch das HF-Propagations- und Kommunikationsmodell 34 ein Wert vorhergesagt wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Systems ist das Positionsbeschaffungssystem 30 ein differentielles GPS (DGPS), wobei stattdessen auch eine andere Technologie eingesetzt werden könnte. Die erwünschte Auflösung (Größe in Metern im jeweiligen Raster) der Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 ist ein Parameter für das vorliegende Schaltsystem. Eine Einschränkung bei dieser Auflösung ist, daß sie nicht feiner als die Genauigkeit der DGPS-Ausrüstung sein kann. Eine feinere Rasterauflösung erfordert auch mehr Speicherplatz für die Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 und mehr rechnerintensive HF-Propagationsmodellberechnungen. Eine gröbere Rastergröße würde schnellere Berechnungen erlauben und weniger Speicherplatz erfordern, würde aber das Terrain mit geringerer Genauigkeit abbilden, was allgemein zu weniger genauen HF-Propagationsberechnungen führt. Die Auflösung des Rasters der Terrainabbildung sollte die Auflösung der Positionsinformation nicht übersteigen. Die Positionsinformation kann in Einheiten von Längen- und Breitengraden oder in kartesischen Koordinaten mit einem im Raum festen Referenzrahmen repräsentiert sein. Außerdem wird darauf hingewiesen, daß das Modell nicht auf die Verwendung einer Abbildung mit einem festen Raster eingeschränkt ist. Es sind zum Beispiel Abbildungen des Terrains mit unregelmäßigen Maschen möglich.

Die Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 kann auch als Raster verstanden werden, das in Bereichen über den Boden gebreitet ist, in denen es einen LAN-Zugang oder wo es einen WAN-Zugang gibt, oder die Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 könnte für alle Bereiche unabhängig vom Netzzugang existieren. Auf jedem Planquadrat des Rasters ist ein Speicherplatz, der drei Werte beinhaltet. Der erste ist ein Erhebungswert, der der Höhe des Terrains an diesem Punkt über dem Meeresspiegel (oder einem anderen Referenzpunkt) entspricht. Der zweite Wert ist ein Signalstärkewert. Wenn ein mobiler Knoten das tatsächliche Terrain durchquert, verfolgt das Model Daemon 22 seine Position auf der Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 und zeichnet die empirisch gesammelten Werte der Signalstärke in diesem Spei-

cherplatz auf. Der dritte dort gespeicherte Wert ist die Zeit, zu der der jüngste Signalstärkenwert gesammelt wurde.

Eine Terraindatei oder ein Mobilitätsmodell 56 (Fig. 6) enthält anfänglich die Erhebungsinformation für das Terrain des fraglichen LANs. Die Datei gibt auch die kartesischen Koordinaten der Mitte der Umgebungs/Terrain-Abbildung 32 an als eine x- und y-Versetzung in erwünschten Maßeinheiten von einem festen Referenzort, die "Größe" der Terrainabbildung hinsichtlich der Ausbreitung und Auflösung in Metern und den oben erwähnten Veralterungsschwellenwert. Fig. 9 zeigt einige dieser Konzepte. Der feste Referenzort 58 ist der Ursprung des kartesischen Koordinatensystems. Über einem Umriß 60, der die Ausbreitung des LANs repräsentiert, liegt ein vorgestelltes Raster 62, das die Terrainabbildung 32 repräsentiert. Die Mitte des drahtlosen LAN liegt in der Mitte des Terrainabbildungsrasters 62, und das Raster erstreckt sich über die Ränder der Ausdehnung des drahtlosen LANs hinaus, wie es durch den Umriß 60 dargestellt ist. Die anfängliche Terraindatei 56, die die Erhebungsinformation für diesen LAN-Ausdehnungsbereich enthält, gibt die Mitte der Terrainabbildung 32 in bezug auf den festen Referenzpunkt 64 an. Mit Wissen über seine aktuelle Position im Verhältnis zur festen Referenzpunkt 64 kann ein mobiler Knoten bestimmen, welche seiner verfügbaren Terrainabbildungen 32 gegebenenfalls zur Verwendung an einem bestimmten Standort geeignet sind.

Das Umgebungs/Terrain-Aktualisierungssystem 36 zum Berechnen einer zukünftigen Position des mobilen Knotens einige Sekunden in der Zukunft gibt dem Model Daemon 22 eine ausreichende Ankündigungszeit, die Befehle umzuschalten, bevor der Anschluß an das Netz vollständig verloren geht. Beim vorliegenden System können verschiedene Positionsvorhersageverfahren verwendet werden, von der Verwendung der zwei jüngst gesammelten Positionen des mobilen Knotens und Projizieren des Pfads des mobilen Knotens entlang einer Geraden, die durch diese beiden Punkte geht, zu komplexeren Positionsvorhersagesystemen, die eine parametrische Kurve, wie zum Beispiel eine Bezier-Kurve durch eine Reihe kürzlich gesammelter Positionen

legen. Ein komplizierteres Vorhersagesystem könnte intelligente Vorhersagen von Bewegung aufgrund des umgebenden Terrains oder Wissen über häufig genommene Routen durch das Terrain (d.h. Straßen) und die dynamischen Eigenschaften der Einheit machen.

Beim erfindungsgemäßen System erzeugt das HF-Propagations- und Kommunikationsmodell 34 eine Schätzung der Signalstärke der LAN-Kommunikation, die ein mobiler Knoten empfangen würde, auf der Grundlage einer vorhergesagten Position des mobilen Knotens, der Position eines Senders (normalerweise eine LAN-Anschlußstelle oder Basisstation), des Terrains zwischen den beiden und der durch das Sendegerät verwendeten Funkfrequenz. Eine bevorzugte Ausführungsform eines HF-Propagations- und Kommunikationsmodells 34 ahmt die Auswirkungen natürlichen Terrains auf die elektromagnetische Wellenpropagation in Echtzeit nach. Dieses Modell verwendet ein zweidimensionales Pfadverlustmodell aufgrund der in der Umgebungs-/Terrain-Abbildungen 32 gespeicherten Informationen. Das zweidimensionale Modell behandelt das Terrain, als ob es in einer senkrechten Ebene zwischen einem HF-Sender und einem Empfänger läge. HF-Sendungen können über oder unter dem Terrain hindurchgehen, sie können jedoch die Ebene nicht verlassen, um um Terrainmerkmale herumzugehen. Zum Konstruieren des zweidimensionalen Modells wird eine senkrechte Ebene zwischen die x-, y- und z-Koordinaten von Sende- und Empfangsantennen in der Umgebungs/Terrain-Abbildungen 32 gelegt. Zwei Berechnungen werden daraufhin an dieser Schnittfläche des Terrains vorgenommen. Erstens wird eine Freiraumschätzung der HF-Propagation vom Sender zum Empfänger unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet:

$$P_r = P_t G_t G_r \lambda^2 / ((4\lambda)^2 d^2 L)$$

wobei

P_t = gesendete Leistung

G_t = Verstärkung der Sendeantenne

G_r = Verstärkung der Empfangsantenne

λ = gesendete Wellenlänge

d = Entfernung zwischen den Antennen

L = ein System-Verlustfaktor

Diese Berechnung schätzt die Empfangsleistung der Sendungen, als ob die beiden Antennen ohne irgendein Hindernis im freien Raum wären. Als nächstes wird eine Erdebeneberechnung durchgeführt. Bei einer Erdebeneberechnung einer HF-Propagation wird ein weiterer Pfad vom Sender zum Empfänger berücksichtigt, der reflektierte Pfad vom Sender auf den Boden und von da zum Empfänger, wobei die folgende Gleichung verwendet wird:

$$P_r = P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2 / d^4$$

wobei

P_t = die gesendete Leistung

G_t = die Verstärkung der Sendeantenne

G_r = die Verstärkung der Empfangsantenne

h_t = die Senderhöhe

h_r = die Empfängerhöhe

d = die Entfernung zwischen den Antennen

Wenn beide Rechnungen dann durchgeführt wurden, wird die geringere der beiden (die den "schlimmsten Fall" für die empfangene Leistung repräsentiert) als Grundlage für die nächsten Schritte der Modellierungsberechnungen verwendet. Etwas von der Leistung der HF-Wellen wird von Sekundärwellen getragen, die nicht auf dem direkten Weg vom Sender zum Empfänger gehen. Diese Sekundärwellen erreichen den Empfänger, nachdem sie durch Punktquellen, die zwischen dem Sender und dem Empfänger vorhanden sind, gebrochen wurden, und tragen eine wichtige Komponente der gesendeten Gesamtleistung. Auch wenn eine Luftstrecke zwischen dem Sender und dem Empfänger existiert, können diese Sekundärwellen immer noch blockiert werden, wodurch die empfangene Gesamtleistung verringert wird. Ein entsprechender Fresnelzonenabstand (Fresnel zone clearance) bedeutet, daß kein wesentlicher Leistungsverlust auftritt, weil genug von diesen Sekundärwellen den Empfänger erreichen können. Der Fresnelzonenabstand wird, wie auf diesem Gebiet bekannt, je nachdem berechnet, welche der folgenden Kriterien zutreffen:

1. Es gibt eine Luftstrecke zwischen dem Sender und dem Empfänger und ausreichenden Fresnelzonenabstand. In diesem Fall wird der zuvor berechnete Basiswert als die empfangene Leistung verwendet.

2. Es gibt eine Luftstrecke zwischen dem Sender und dem Empfänger, aber keinen ausreichenden Fresnelzonenabstand. Die empfangene Leistung wird durch den Verlust der Sekundärwellen weiter von der Basisleistung aus verringert.

3. Es gibt keine Luftstrecke zwischen dem Sender und dem Empfänger. In diesem Fall kann nur ein Teil der Sekundärwellen den Empfänger erreichen.

Das Ergebnis dieser Berechnungen wird dann an den auf Standortbasis funktionierenden Vorhersagemechanismus 28 zurückgegeben. Ein Verfahren zum Berechnen eines dreidimensionalen HF-Propagationsmodells kann als Alternative zum zweidimensionalen Modell verwendet werden. Das dreidimensionale Modell erfordert typischerweise größere Datenverarbeitungsvoraussetzungen. Der Fachmann wird erkennen, daß auch ein beliebiges anderes HF-Propagationsmodell anstelle des oben beschriebenen Modells verwendet werden könnte.

Dienstgüte-Eigenschaften (QoS Characteristics)

Das erfindungsgemäße Netz hat es vor allem mit zwei Hauptdienstgüteparametern zu tun: Durchsatz, was die durchschnittliche pro Zeiteinheit gelieferte Datenmenge ist, die normalerweise in B/s (Bits pro Sekunde) oder Pakete pro Sekunde gemessen wird, und Verzögerung, was die durchschnittliche Zeit betrifft, die ein Paket vom Ausgangs- zum Zielpunkt benötigt. Das vorliegende Netz nutzt den Pfad der höchsten Bandbreite vom Ausgangs- zum Zielpunkt durch die Verwendung der Routenoptimierung und des intelligenten Schaltsystems. Wenn eine schnelle drahtlose LAN-Verbindung verfügbar ist, wird diese typischerweise anstelle der WAN-Verbindung verwendet.

Fig. 10 zeigt ein Statusdiagramm 68 für das erfindungsgemäße Schaltsystem, bei dem ein mobiler Knoten nur dann zu seinem Heimatnetz schalten kann, wenn er seine LAN-Schnittstelle verwendet. Das vorliegende System beginnt mit dem

"Verbindung-verloren"-Zustand (Connection Lost state), der einige interne Variablen löscht, die LAN-Schnittstelle ab- und die WAN-Schnittstelle einschaltet. Die Steuerung geht dann zum "Routen-Säubern"-Zustand (Purge Routes state), der die vom mobilen Knoten gespeicherte Routing-Information löscht. Im "Beschaffen"-Zustand (Acquire state) versucht der mobile Knoten, sich bei seinem Home Agent zu registrieren, indem er Registrieranforderungen an alle verfügbaren Netzschnittstellen schickt. Die Steuerung wird dann automatisch in den Care-of-Wait-Zustand übertragen, in dem der mobile Knoten auf eine Antwort auf seine Registrieranforderungen wartet. Wenn die Versuche, sich zu registrieren, fehlschlagen, sendet der mobile Knoten die Registrieranforderungen aufs neue und bleibt im Care-of-Wait-Zustand. Wenn ein nochmaliges Senden nicht erlaubt ist, geht der mobile Knoten in den "Beschaffen"-Zustand zurück und erzeugt neue Registrieranforderungen. Wenn die Registrieranforderung Erfolg hatte, geht der mobile Knoten in den Care-of-Registered-Zustand, der im Mobile IP soviel bedeutet, als wäre man an einem Fremdnetz angeschlossen. Der mobile Knoten kann unendlich lang in diesem Zustand bleiben, solange Registrierversuche auf der gleichen Schnittstelle wie der vorher verwendeten erfolgreich sind. Registrierversuche können nur unter Verwendung einer Schnittstelle geschehen, die eingeschaltet ist, und der mobile Knoten kann dann angewiesen werden, mit einer bestimmten Schnittstelle zu kommunizieren. Wenn diese Registrierversuche fehlschlagen, kehrt der mobile Knoten in den "Verbindung-verloren"-Zustand zurück, und der Vorgang beginnt von vorne.

Zusätzlich zum fehlgeschlagenen Registrierversuch kann der mobile Knoten den Care-of-Registered-Zustand dann verlassen, wenn ein Schaltbefehl vom Model Daemon 22 empfangen wird, mit dem der mobile Knoten angewiesen wird, von seiner LAN-Schnittstelle zu seiner WAN-Schnittstelle zu schalten. In diesem Fall geht der mobile Knoten in den "Verbindung-verloren"-Zustand. Wenn der Schaltbefehl von der WAN-Schnittstelle zur LAN-Schnittstelle umschalten soll, muß das System zuerst die LAN-Schnittstelle einschalten und die WAN-Schnitt-

25.10.00

DE 199 83 163T1

stelle abschalten. An diesem Punkt kann das System nicht in den "Verbindung-verloren"-Zustand gehen, da hierdurch der Anschalt/Abschalt-Zustand der Netz-Schnittstellen wieder verändert würde. Stattdessen wird der "Verbindung-verloren"-Zustand übersprungen und der "Routen-Säubern"-Zustand direkt eingenommen. Wenn das System dann unter Verwendung der LAN-Schnittstelle im "Beschaffen"-Zustand ist, geht das System entweder in den At-Home-Zustand (wenn der mobile Knoten mit dem Heimatnetz verbunden ist) oder schließlich in den Care-of-Registered-Zustand (wenn der mobile Knoten mit einem Fremdnetz verbunden ist).

An vielen verschiedenen Stellen im Statusdiagramm 68 versucht der mobile Knoten zu erfassen, ob sein Home Agent auf den direkt verbundenen Unternetzen (sub-networks) vorhanden ist. Wenn ein Home Agent erfaßt wird (weil der mobile Knoten Home Agent-Advertisement-Nachrichten erhält), geht der mobile Knoten sofort in den At-Home-Zustand. Wenn er dann im At-Home-Zustand ist, bleibt der mobile Knoten darin, bis er einen Befehl zum Schalten auf die WAN-Schnittstelle erhält, worauf er dann den "Verbindung-verloren"-Zustand einnimmt.

Eine grafische Benutzerschnittstelle (graphical user interface / GUI) kann mit dem erfindungsgemäßen System vorgesehen sein, um damit den Zustand des mobilen Knotens zu überwachen, wie in Fig. 11 gezeigt. Die Schaltsystem-GUI besteht aus einer Darstellung der Terrain-Abbildung 32 und einer Anzeige der Zustandsinformation. Die Terrain-Abbildung ist in einem Raster angezeigt, das die erwünschten Abmessungen aufweist, wobei der LAN-Sender, der die Mitte des LANs für die Terrain-Abbildung definiert, schwarz in der Mitte des Rasters eingezeichnet ist. Die Höhe des Terrains kann durch Farben auf der Abbildung oder mit anderen Mitteln, wie zum Beispiel mit topographischen Höhenlinien, angezeigt sein. Die aktuellen Koordinaten des mobilen Knotens, in diesem Fall ein Wartungs-LKW, im Verhältnis zum festen Referenzpunkt, sind rechts auf der Abbildung angezeigt, und die Position des mobilen Knotens ist durch das weiße Quadrat auf der Abbildung angegeben. Die GUI zeigt auch Informationen darüber an, welche Schnittstelle

der mobile Knoten derzeit verwendet (LAN- oder WAN-Schnittstelle) und über die Qualität der DGPS-Information (EIN oder AUS). Weitere Information über die GUI zeigt, daß sich der mobile Knoten (d.h. der Wartungs-LKW) in einem in Arbeit befindlichen Teil mit den Koordinaten (-68, -248, 0) befindet. Weiter verwendet der mobile Knoten seine LAN-Schnittstelle, und seine DGPS-Geräte funktionieren korrekt.

Drahtloses LAN

Das erfindungsgemäße System braucht ein LAN, um mobilen Knoten die Fähigkeit zu verleihen, mit hohen Geschwindigkeiten mit in der Nähe befindlichen stationären Computern oder anderen in der Nähe befindlichen mobilen Knoten zu kommunizieren. Ein solches LAN ist WaveLAN, was ein von Lucent Technologies entwickeltes Produkt ist. Die modulare Architektur des vorliegenden Systems kann jedoch jede beliebige gewünschte LAN-Technologie verwenden. Die Bandbreite des mit der vorliegenden Erfindung verwendeten LANs muß jedoch so groß sein, daß Datenverkehr unterstützt wird, wie er durch isochrone Sprachdaten und Bursts sowie datenintensiven Verkehr, wie zum Beispiel Dateiübertragungen und Bilddaten, verursacht wird. Das LAN muß außerdem Signalstärkemessungen zur Verwendung im Schaltsystem Zugang bieten. Diese Signalstärkedaten sind ein Maß für die empfangene Leistung von einem anderen drahtlosen Host gesendeter Pakete. Das LAN muß auch Peer-to-peer-Kommunikation erlauben.

Drahtloses WAN

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der vorliegenden Netzarchitektur ist die drahtlose WAN-Technologie, da sie über das gesamte Betriebsgebiet einen Kommunikationszugang bietet und den Standard-Kommunikationsweg für die unterschiedlichen Bestandteile des Systems darstellt. Mit der vorliegenden Netzarchitektur verwendete WAN-Technologie muß bestimmte Fähigkeiten haben, damit die Datenverkehrseigenschaften der vorliegenden Netzarchitektur effizient unterstützt werden.

Eine Fähigkeit ist, daß das drahtlose WAN so gewählt werden sollte, daß es auf der gesamten Baustelle zugänglich ist. Vorzugsweise sollte dieser Zugang das Netz nicht auf das

Aufstellen von Sendern in Sichtkontakt einschränken. Das Netz muß außerdem die Fähigkeit zur Punkt-zu-Mehrpunktkommunikation oder zur Rundsendung haben. Außerdem muß die Paketversendung von Daten unterstützt werden, damit der IP-Verkehr des Netzes gewährleistet ist. Außerdem wird, da die Gewährleistung eines WAN-Zuganges oft die Bereitstellung einer hohen Bandbreite beeinträchtigt, empfohlen, hier gut abzuwägen, da dieses Merkmal die Leistung des Gesamtsystems stark beeinflusst. Ein Beispiel eines geeigneten WANs sind RFM96-Funkmodems, die von der Pacific Crest Corporation hergestellt werden. Diese Modems sind so konfiguriert, daß sie mit einer Leistung von 2 Watt senden, wodurch sie eine Reichweite erlangen, die ein großes Gebiet vollständig abdeckt, ohne daß Luftstreckenantennen aufgestellt werden müssen. Eine weitere Alternative für ein WAN wäre die Verwendung von Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen, die derzeit in der Entwicklung sind.

Verwendung mit Ad-Hoc-Netzen

Zusätzlich zur Verwendung von Vorhersage und dem HF-Propagationsmodell mit Mobile IP kann die vorliegende Erfindung in ähnlicher Weise auch in Ad-Hoc-Netzen verwendet werden. Ein Ad-Hoc-Netz ist eine Ansammlung von drahtlosen mobilen Hosts, die ein zeitweiliges Netz bilden, ohne daß sie dabei die Hilfe einer installierten Infrastruktur oder eine zentralen Verwaltung in Anspruch nehmen. In einer solchen Umgebung kann es notwendig sein, daß ein mobiler Host aufgrund der begrenzten Reichweite der drahtlosen Übertragung der jeweiligen Hosts die Dienste anderer Hosts in Anspruch nehmen muß, wenn er ein Paket zu seinem Zielort leiten will.

Industrielle Anwendung

Die vorliegende Erfindung ist in Situationen anwendbar, in denen mehrere Entitäten, wie zum Beispiel autonome oder halbautonome Maschinen und Betreiber zum Erfüllen von Aufgaben ihre Aktionen so rationell wie möglich koordinieren müssen. Zum Beispiel kann eine einzige zentrale Bauleitung das Arbeiten der Maschinen einer gesamten Baustelle leiten, wobei Informationen über den Status der Maschinen und den Status der zu erfüllenden Aufgabe gesammelt werden. Außerdem besteht ein

Bedarf der Kommunikation zwischen Maschinen und Betreibern, damit unter diesen eine enge Zusammenarbeit entsteht. Außerdem muß Information an Wartungspersonal weitergeleitet werden, damit es auf Probleme aufmerksam wird, die die Leistung der Maschine verlangsamen oder ganz aufhalten. Die vorliegende Erfindung unterstützt eine breite Palette von Nachrichten, wie zum Beispiel Alarmnachrichten, Netzorganisationsnachrichten zum Gewährleisten von Kommunikation zwischen Knoten, detaillierte Information über den Standort aller Maschinen und den aktuellen Zustand der durchzuführenden Aufgabe(n), Audioübertragungen, Diagnose- und Wartungshandbuchinformation, sowie Bilddaten, damit Maschinen miteinander zusammenarbeiten können und bei der Diagnose von Fehlern helfen können. Die vorliegende Erfindung gibt Maschinen die Möglichkeit, zwischen verschiedenen drahtlosen Netztechnologien hin und her zu pendeln, wobei Mobile IP mit Routenoptimierung, Peer-to-peer-Kommunikation und ein intelligentes Schaltsystem verwendet werden.

Fig. 12 zeigt ein Beispiel von Komponenten, die auf der Baustelle 70 vorhanden sind, ein Wartungs-LKW 72 zum Warten der Maschinen auf der Baustelle 70 und eine Bauhütte 74. In diesem Beispiel hat ein Wartungstechniker die Möglichkeit, einen Wartungslaptop 76 vom Netz in der Bauhütte 74 zu nehmen und ihn an das mobile Netz auf dem Wartungs-LKW 72 anzuschließen, wo er sich beim mobilen Router 78 registriert. Wenn ein mobiler Knoten, wie zum Beispiel ein Bagger 80 mit der Arbeit beginnt, sendet er ein eine Statusnachricht enthaltendes Paket an den Wartungs-LKW 72. Das Paket kommt vom Bagger 80 und wird über das drahtlose LAN 82 an den Router 84 auf der Baustelle 70 gesendet. Der Baustellenrouter 84 ist auf einem Host-Computersystem implementiert, das über Daten-Eingabe/Ausgabe(I/O)-Fähigkeit sowie Ausführungssoftware zum Handhaben von IP-Datenpaketen verfügt, das die Zieladresse ermittelt und das Paket über das drahtlose WAN 86 zum Standart-Home Agent für den Bagger 80, der der Router 88 ist, weiterleitet. Der Router 88 in der Bauhütte 74 empfängt das Paket, bestimmt seine Zieladresse und leitet das Paket an das LAN 90 weiter. Bevor das Paket über das LAN 90 geschickt wird, kapselt der Router

88 das Paket mit der Care-of Address des Wartungs-Laptops 76 als der Zieladresse ein und sendet das Paket über das LAN 82.

Der Home Agent-Router 88 bestimmt den Herkunftsort des ursprünglichen Pakets (den Bagger 80) und sendet ein Binding-Update an den Bagger 80, wodurch dieser über die aktuelle Care-of Address des Wartungs-Laptop 76 informiert wird, was die Adresse des mobilen Routers 78 ist. Bevor das eingekapselte Paket über das LAN 90 an den Foreign Agent 78 des Wartungs-Laptops 76 gesendet werden kann, fängt der Home Agent-Router 88 das Paket wieder ab. Diesmal kapselt der Home Agent das Paket mit der Care-of Address des mobilen Routers 78 als der Zieladresse ein und leitet das Paket über das WAN 86 weiter. Der Home Agent stellt erneut fest, daß der Bagger 80 die ursprüngliche Herkunftsortadresse des Pakets ist und sendet ein Binding-Update an ihn, worin die aktuelle Care-of Address des mobilen Routers 78 mitgeteilt wird. Der Router 84 auf der Baustelle 70 empfängt das Paket vom WAN 86 und leitet das Paket über das drahtlose LAN 82 weiter. Der mobile Router 78 empfängt das Paket vom drahtlosen LAN 82 und entfernt die erste Kapselung. Der mobile Router 78 versucht, das innere Paket an den richtigen Standort weiterzuleiten. Die Zieladresse dieses inneren Pakets ist die eigene Adresse des mobilen Routers 78, der stattdessen das innere Paket bearbeitet, indem er die innere Kapselung entfernt und das Paket zum Wartungs-Laptop 76 weiterleitet.

Der Wartungs-Laptop 76 empfängt das Paket und antwortet dem Bagger. Das Paket wird zuerst an den mobilen Router 78 gesendet, da dieser der Standard-Router des Wartungs-Laptops 76 ist. Unter Verwendung der Peer-to-peer-Kommunikationsfähigkeiten des drahtlosen LANs 82 leitet der mobile Router 78 das Paket unter Verwendung des drahtlosen LANs 82 direkt an den Bagger 80.

Der Bagger 80 empfängt das Paket. Der Bagger 80 empfängt außerdem die beiden Binding-Updates vom Home Agent 88. Der Bagger 80 verwendet die Binding-Updates zum Hinzufügen von Einträgen in seinem Binding-Cache. Wenn dann der Bagger Binding-Cache-Einträge für den Wartungs-Laptop 76 und den mobilen

Router 78 hat, kann er Pakete unter Verwendung von Routenoptimierung senden, bis die Cache-Einträge verfallen. Der Bagger 80 überprüft zuerst seinen Binding-Cache, dann wird das Paket unter Verwendung der Care-of Address des Wartungs-Laptops 76 eingekapselt, die die Adresse des mobilen Routers 78 ist. Der Bagger 80 findet erneut einen Eintrag in seinem Binding-Cache, diesmal für den mobilen Router 78. Das Paket wird ein zweites Mal eingekapselt, indem die Care-of Address des mobilen Routers 78 als die Zieladresse angegeben wird. Dann wird das Paket über das drahtlose LAN 82 gesendet. Unter Verwendung der Peer-to-peer-Fähigkeiten des LANs 82 wird das Paket direkt an den mobilen Router 78 geliefert. Der mobile Router 78 empfängt das Paket unter Verwendung des drahtlosen LANs 82 und entfernt die erste Kapselung. Der mobile Router 78 versucht, dieses innere Paket an den richtigen Standort weiterzuleiten. Die Zieladresse dieses inneren Pakets ist die eigene Adresse des mobilen Routers 78, so daß dieser stattdessen das innere Paket selbst bearbeitet, indem er die innere Kapselung entfernt und das Paket an den Wartungs-Laptop 76 weiterleitet. Der Wartungs-Laptop 76 empfängt das Paket und antwortet dem Bagger 80. Das Paket wird zuerst an den mobilen Router 78 gesendet, da er der Standard-Router des Wartungs-Laptop ist. Unter Verwendung der Peer-to-peer-Fähigkeiten des LAN 82 leitet der mobile Router 78 das Paket direkt an den Bagger 80 weiter, indem er das drahtlose LAN 82 verwendet. Der Bagger 80 empfängt das Paket.

Da der Bagger Binding-Updates für den Wartungs-Laptop 76 und den mobilen Router 78 hat, werden die Pakete nicht mehr über das WAN 86 geroutet. Hierdurch werden die Netzressourcen rationell genutzt und die Verwendung des langsamen WAN minimiert. Zu bemerken ist, daß bei dem obigen Beispiel die Routenoptimierungssoftware am Bagger 80 eine doppelte Kapselung durchführen muß, um die Pakete direkt an den Wartungs-Laptop 76 zu senden.

Beim oben erörterten Beispiel war von nur einer Baustelle die Rede, die vorliegende Erfindung kann jedoch auch mehrere

25.10.00

- 33 -

DE 199 83 163T1

Baustellen und viele verschiedene Maschinen auf jeder Baustelle abdecken.

Weitere Aspekte, Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen aus einem Studium der Zeichnungen, der Beschreibung und den Ansprüchen hervor.

34

199 83 163.7

25.10.00

DE 199 83 163 T 1

Carnegie Mellon University

PCT/US 99/10231

DEAB-73274.1

26. Oktober 2000

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM EINBEZIEHEN VON UMWELTINFORMA-
TION FÜR MOBILE KOMMUNIKATION

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten sind offenbart, wobei ein Propagationsmodell von durch ausgewählte Kommunikationsknoten im Bereich erzeugten Signalen erzeugt wird. Die Kommunikationsknoten können stationär oder mobil sein. Das Propagationsmodell basiert auf einer Umgebungsabbildung, die die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält. Das Propagationsmodell wird in ausgewählten Zeitintervallen zum Liefern aktualisierter Informationen zum Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit erzeugt.

Fig. 6

35
25.10.00

DE 199 83 163T1

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erzeugen, in ausgewählten Zeitintervallen, eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungsabbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält; und

(b) Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund des Propagationsmodells.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit dem folgenden Schritt:

(c) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von der Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung des Kommunikationsknotens.

3. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit dem folgenden Schritt:

(d) Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort des Kommunikationsknotens.

4. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit dem folgenden Schritt:

(e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

5. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit den folgenden Schritten:

36
25.10.00
- 35 -

DE 199 83 163 T 1

(c) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten und (d) der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens.

6. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit den folgenden Schritten:

(c) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten und (e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

7. Verfahren nach Anspruch 1, weiter mit den folgenden Schritten:

(d) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort des Kommunikationsknotens und (e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

8. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erzeugen, in ausgewählten Zeitintervallen, eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungsabbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält; und

(b) Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund des Propagationsmodells,

37
25.10.00
38

DE 199 83 163T1

(c) eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten und

(d) der vorherigen Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens; und

(e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

9. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erzeugen, in ausgewählten Zeitintervallen, eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungsabbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält; und

(c) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten.

10. Verfahren nach Anspruch 9, weiter mit dem folgenden Schritt:

(d) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens.

11. Verfahren nach Anspruch 9, weiter mit dem folgenden Schritt:

(e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

12. Verfahren nach Anspruch 9, weiter mit den folgenden Schritten:

38
20.10.00

DE 199 83 163 T 1

(c) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten, und

(d) der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens; und

(e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

13. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erzeugen, in ausgewählten Zeitintervallen, eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungsabbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält; und

(d) Vorhersagen der Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens.

14. Verfahren nach Anspruch 13, weiter mit dem folgenden Schritt:

(e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität aufgrund des Propagationsmodells.

15. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erzeugen, in ausgewählten Zeitintervallen, eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungs-

abbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält; und

(e) Auswählen eines Kommunikationsmittels mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität.

16. Vorrichtung zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei die Vorrichtung die folgenden Elemente aufweist:

einen Datenprozessor, der kontinuierlich ein Propagationsmodell von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer kontinuierlich aktualisierten Umgebungsabbildung berechnet, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält, und die Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund des Propagationsmodells vorhersagt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der der Datenprozessor weiter die Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten vorhersagt.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der der Datenprozessor weiter die Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens vorhersagt.

19. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der der Datenprozessor weiter ein Kommunikationsmittel mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität auswählt.

20. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der der Datenprozessor weiter die Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit

aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten sowie der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens vorhersagt.

21. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der der Datenprozessor weiter die Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikationsknoten vorhersagt und ein Kommunikationsmittel mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität auswählt.

22. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der der Datenprozessor weiter die Kommunikationsqualität zu einer zukünftigen Zeit aufgrund der vorhergehenden Kommunikationsqualität an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens vorhersagt und ein Kommunikationsmittel mit der erwünschten vorhergesagten Kommunikationsqualität auswählt.

23. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

kontinuierliches Erzeugen eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungsabbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält;

Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund des Propagationsmodells, eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikation an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens; und

HA
25.10.00

DE 199 83 163 T1

Auswählen eines Kommunikationspfads unter den Kommunikationsknoten mit der besten verfügbaren vorhergesagten Kommunikationsqualität.

24. Verfahren nach Anspruch 23, weiter mit dem folgenden Schritt:

(f) Modifizieren eines Datenpakets, das von einem ersten Kommunikationsknoten zu einem zweiten Kommunikationsknoten gesendet wird, um den ausgewählten Kommunikationspfad anzugeben.

25. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem ein Kommunikationsknoten ein Weitverkehrsnetz (WAN) ist und der andere Kommunikationsknoten ein örtliches Kommunikationsnetz (LAN) ist.

26. Verfahren zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

kontinuierliches Berechnen eines Propagationsmodells von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer kontinuierlich aktualisierten Umgebungsabbildung, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält; und

Vorhersagen der Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer zukünftigen Zeit aufgrund des Propagationsmodells.

27. Vorrichtung zum Kommunizieren zwischen einem ersten Kommunikationsknoten und einem zweiten Kommunikationsknoten in einem Bereich mit mehreren Kommunikationsknoten, wobei die Vorrichtung einen Datenprozessor aufweist, der kontinuierlich ein Propagationsmodell von durch ausgewählte Kommunikationsknoten in dem Bereich erzeugten Signalen aufgrund einer Umgebungsabbildung erzeugt, wobei die Umgebungsabbildung die Topographie des Terrains und von Strukturen in dem Bereich enthält, die Kommunikationsqualität an einem Standort zu einer

42
25.10.00
41 -

DE 199 83 163T1

zukünftigen Zeit aufgrund des Propagationsmodells, eines vorhergesagten Standorts der Kommunikationsknoten in Abhängigkeit von Fortbewegungsgeschwindigkeit und -richtung der Kommunikation an einem vorhergesagten Standort eines Kommunikationsknotens vorhersagt, einen Kommunikationspfad unter den Kommunikationsknoten mit der besten verfügbaren vorhergesagten Kommunikationsqualität auswählt und ein Datenpaket, das von einem ersten Kommunikationsknoten an einen zweiten Kommunikationsknoten gesendet wird, zum Angeben des ausgewählten Kommunikationspfads modifiziert.

- Leerseite -

1/10

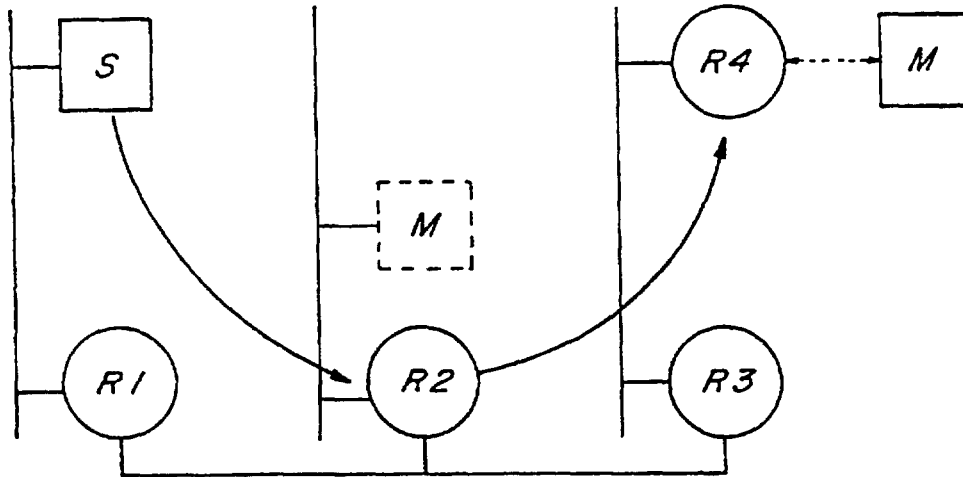


Fig. 1

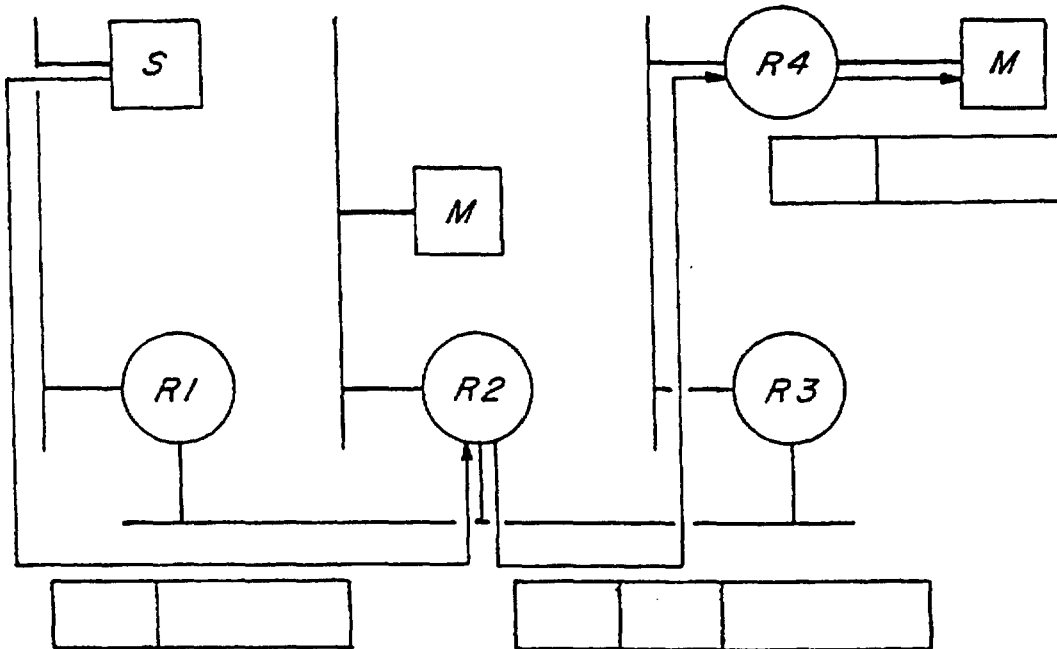


Fig. 2

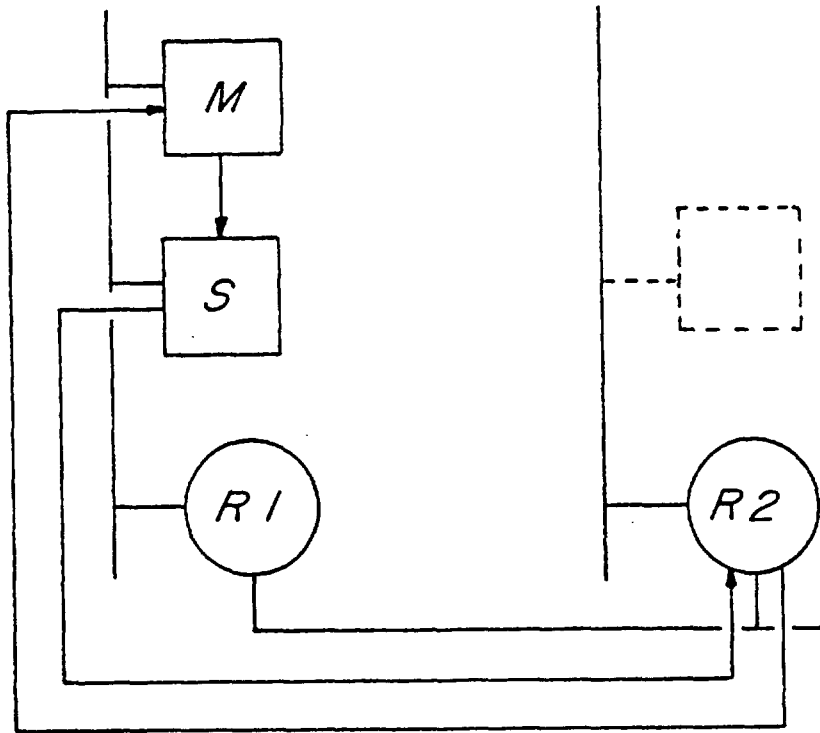


Fig. 3

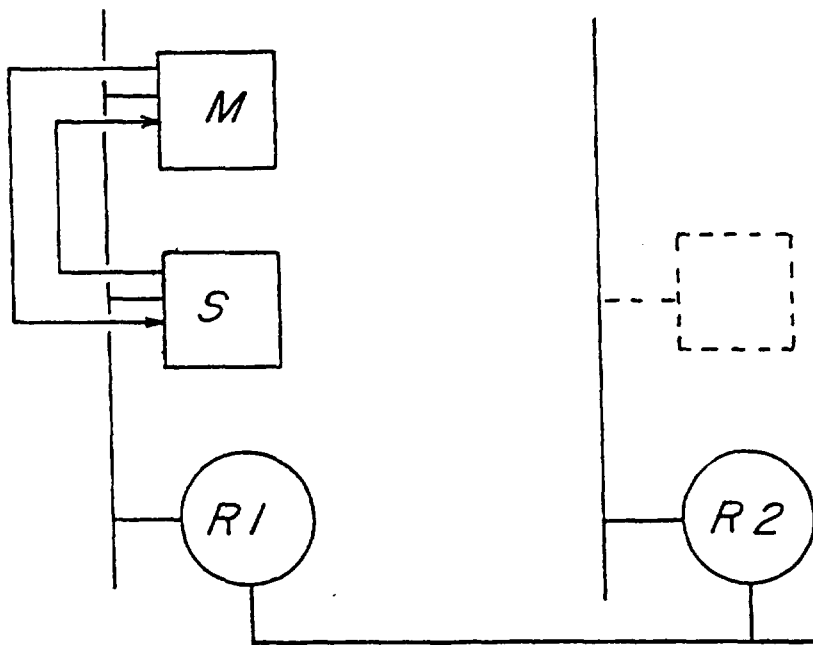


Fig. 4

45

DE 199 83 163 T1

25 1000

DEAB-73274.1

3/10

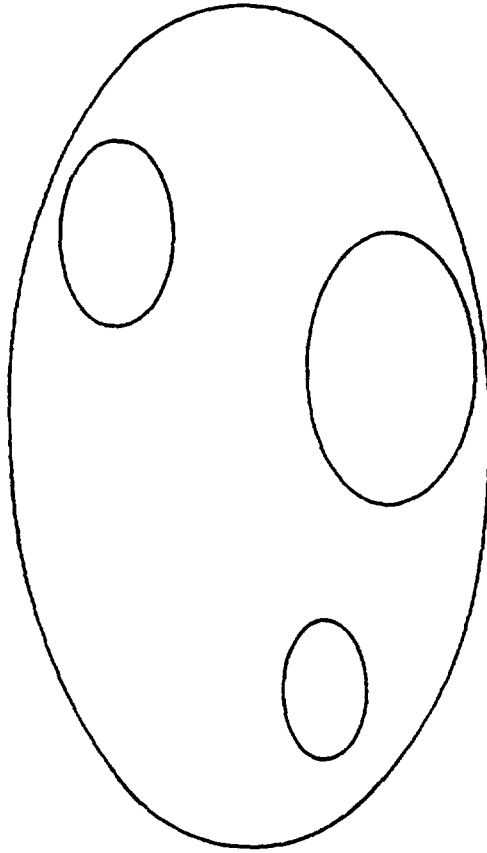


Fig. 5

46
4/10

DE 199 83 163 T 1
DEAB-73274.1

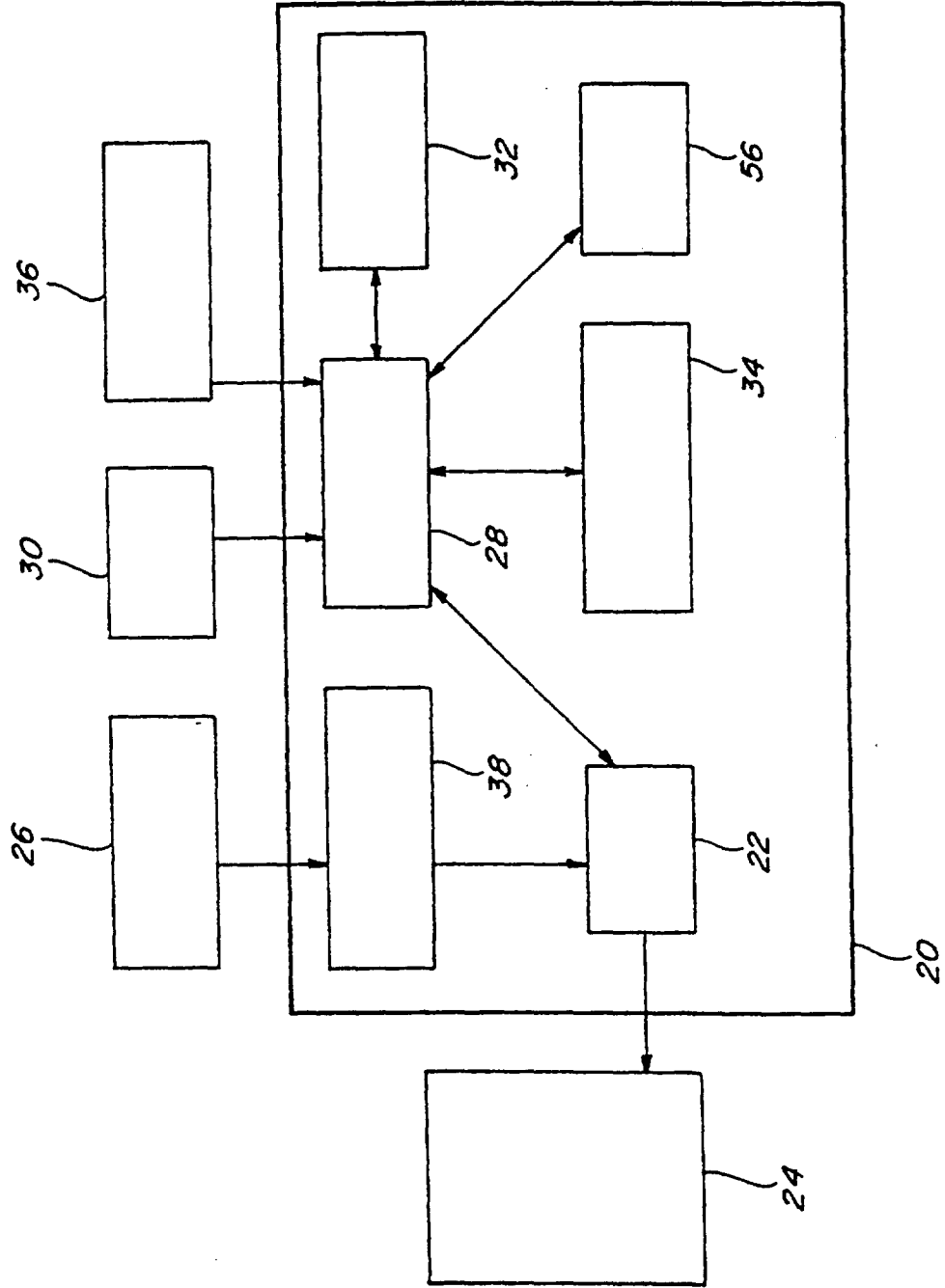


Fig. 6

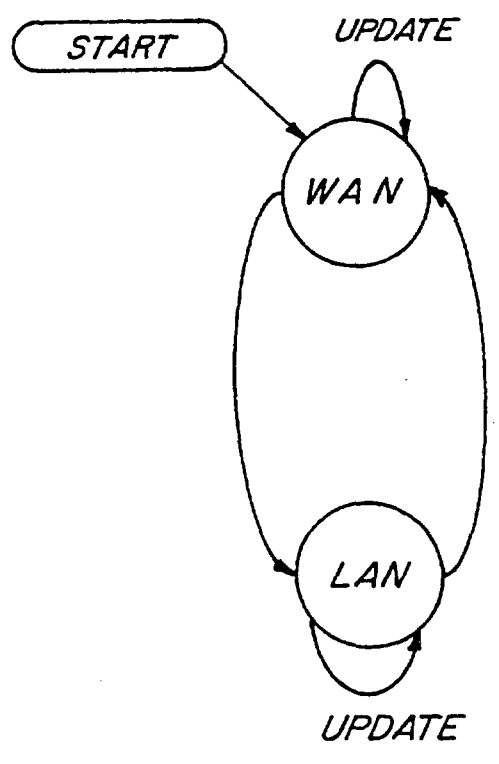


Fig. 7

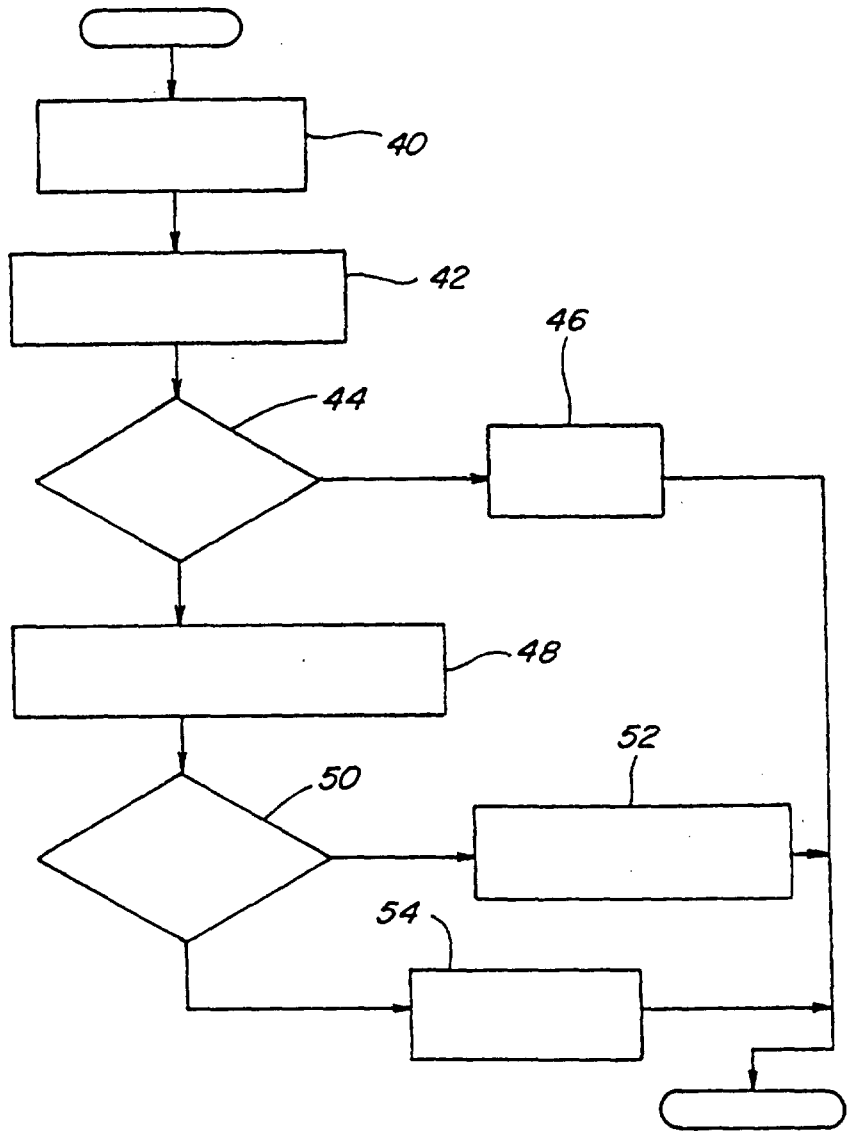


Fig. 8

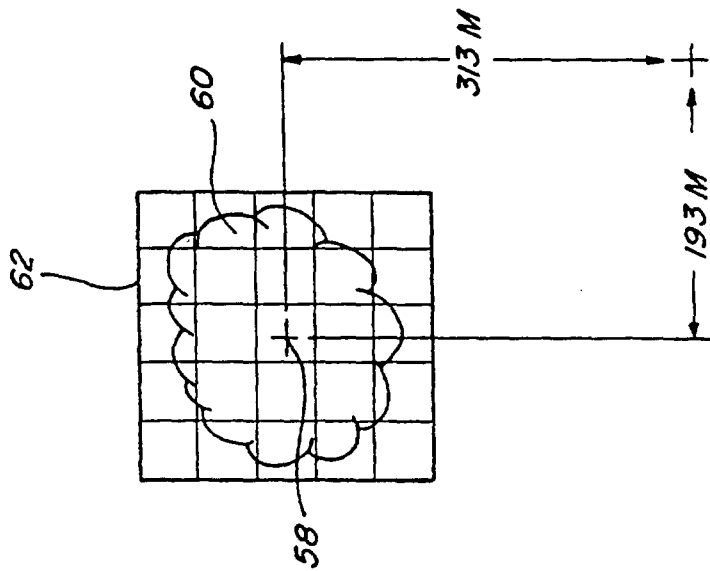


Fig. 9

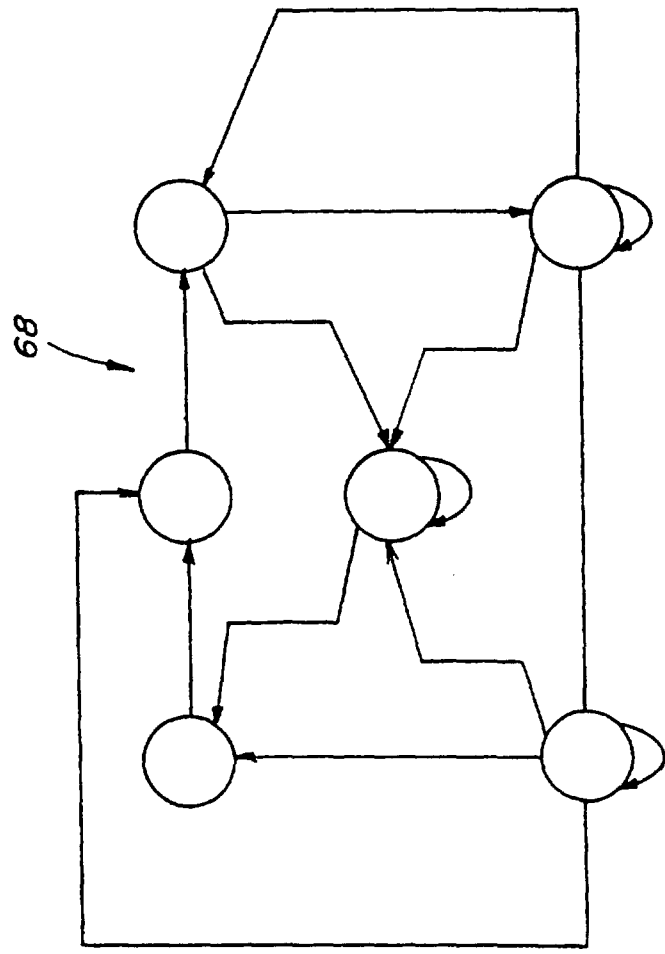


Fig. 10

5A
20

DE 199 83 163T1
DEAB -73274.1

9/10

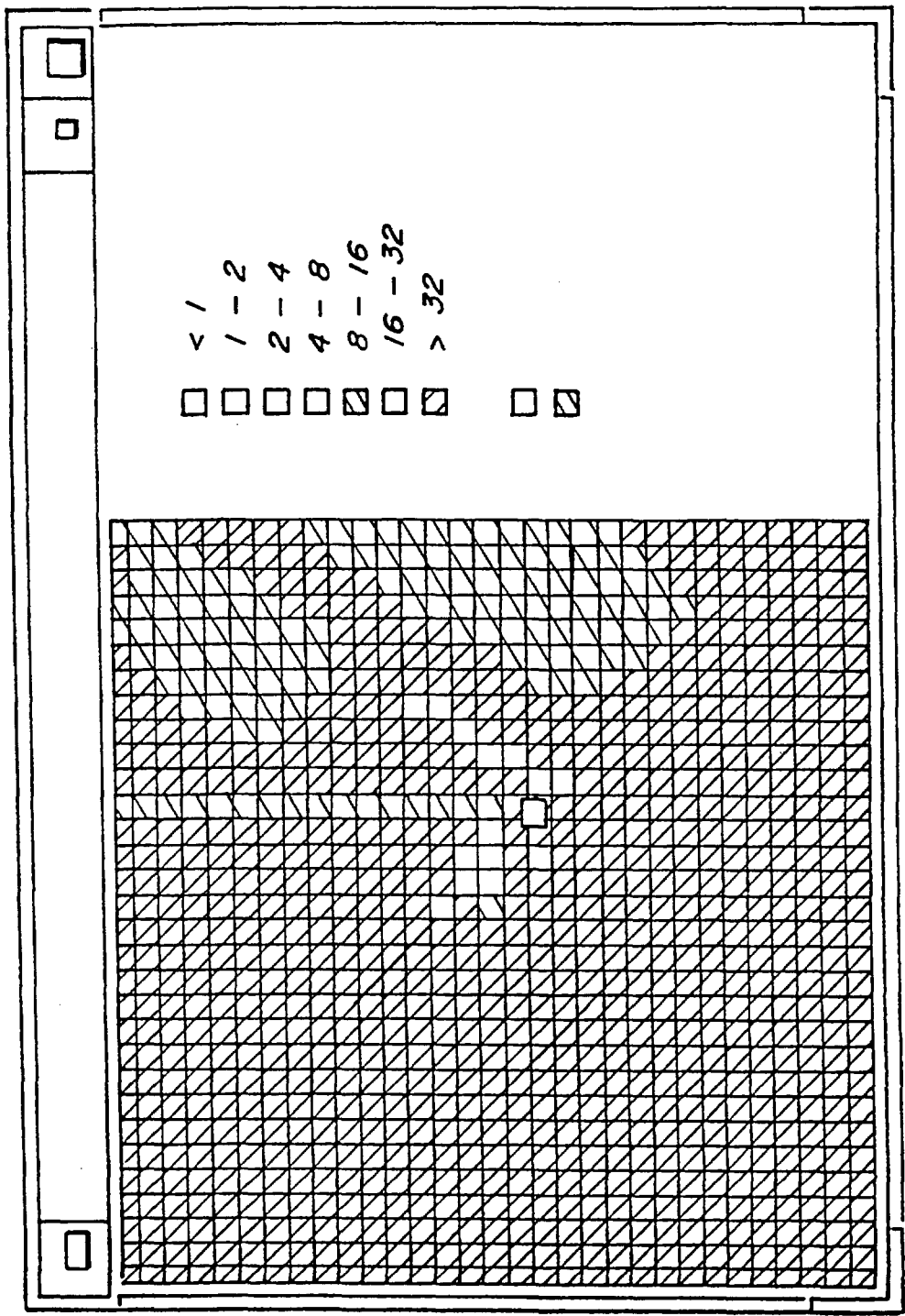


Fig. 11

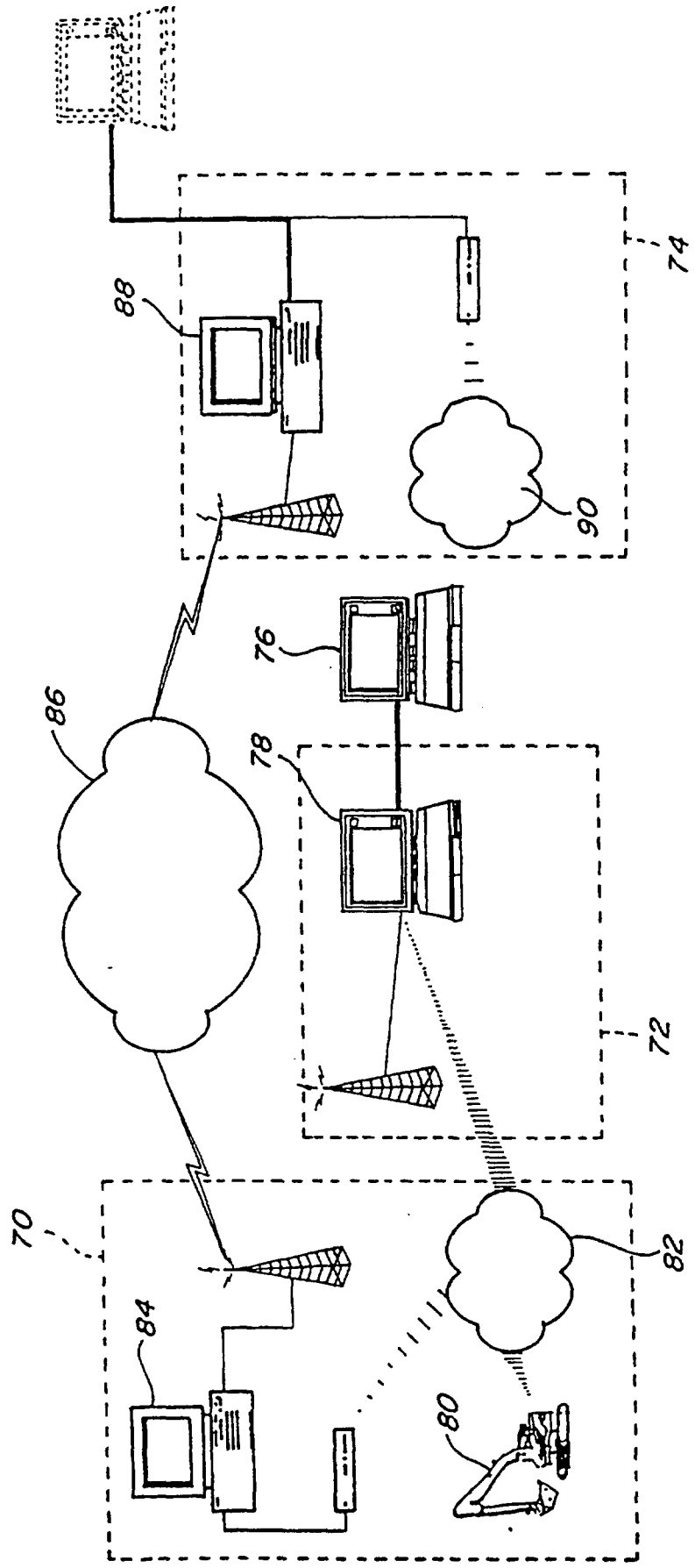


Fig. 12