

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4705155号
(P4705155)

(45) 発行日 平成23年6月22日 (2011.6.22)

(24) 登録日 平成23年3月18日 (2011.3.18)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 L 12/56 (2006.01)	HO 4 L 12/56 1 O O B
HO 4 W 84/12 (2009.01)	HO 4 L 12/28 3 O O Z
HO 4 W 74/08 (2009.01)	HO 4 L 12/28 3 O 7

請求項の数 14 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2008-500661 (P2008-500661)	(73) 特許権者	598036300
(86) (22) 出願日	平成17年3月8日 (2005.3.8)		テレフオンアクチーボラゲット エル エム エリクソン (パブル)
(65) 公表番号	特表2008-533806 (P2008-533806A)		スウェーデン国 スtockホルム エスー 1 6 4 8 3
(43) 公表日	平成20年8月21日 (2008.8.21)	(74) 代理人	100076428
(86) 国際出願番号	PCT/SE2005/000339		弁理士 大塚 康德
(87) 国際公開番号	W02006/096097	(74) 代理人	100112508
(87) 国際公開日	平成18年9月14日 (2006.9.14)		弁理士 高柳 司郎
審査請求日	平成20年2月26日 (2008.2.26)	(74) 代理人	100115071
前置審査			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチホップネットワークにおける高度なルーティングメトリックのための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも部分的に無線が利用されるマルチホップネットワークにおけるルーティングのためのリンクコストの決定方法であって、

複数のチャネルを提供するために、少なくとも一方が複数のアンテナと共に動作するように構成されたネットワークノード対によって形成されるネットワークノード間において、無線リンクを確立するために、該ネットワークノード間のマルチチャネル特性を評価する工程と、

前記評価されたマルチチャネル特性に基づいて前記無線リンクのリンクコストを決定する工程と、を備え、

前記評価する工程は、前記ネットワークノード間において送信されたパイロット信号に基づいてチャネル評価を行うことにより得られた、またはブラインド方式に基づくチャネル評価を行うことにより得られた、 $N \times M$ 次元 (N は送信側のネットワークノードのアンテナ数、 M は受信側のネットワークノードのアンテナ数であって、少なくとも N または M の一方は、2 より大きい) のチャネルマトリックスの関数に基づいて、前記マルチチャネル特性を評価し、

前記リンクコストを決定する工程は、前記ネットワークノード間において所定の送信電力のチャネルマトリックスの期待値に基づいて決定される平均のリンクレートの逆数として、前記リンクコストを決定することを特徴とする方法。

【請求項 2】

少なくとも部分的に無線が利用されるマルチホップネットワークにおけるリンクコストに基づくルート決定方法であって、

複数のチャネルを提供するために、少なくとも一方が複数のアンテナと共に動作するように構成されたネットワークノード対によって形成されるネットワークノード間において、無線リンクを確立するために、該ネットワークノード間のマルチチャネル特性を評価する工程と、

前記評価されたマルチチャネル特性に基づいて前記無線リンクのリンクコストを決定する工程と、

前記決定したリンクコストの少なくとも一部に基づいて、ルートの決定を行う工程と、を備え、

前記評価する工程は、前記ネットワークノード間において送信されたパイロット信号に基づいてチャネル評価を行うことにより得られた、またはブラインド方式に基づくチャネル評価を行うことにより得られた、 $N \times M$ 次元（ N は送信側のネットワークノードのアンテナ数、 M は受信側のネットワークノードのアンテナ数であって、少なくとも N または M の一方は、2より大きい）のチャネルマトリックスの関数に基づいて、前記マルチチャネル特性を評価し、

前記リンクコストを決定する工程は、前記ネットワークノード間において所定の送信電力のチャネルマトリックスの期待値に基づいて決定される平均のリンクレートの逆数として、前記リンクコストを決定することを特徴とする方法。

【請求項3】

少なくとも部分的に無線が利用されるマルチホップネットワークにおけるリンクコストに基づくデータのルーティング方法であって、

複数のチャネルを提供するために、少なくとも一方が複数のアンテナと共に動作するように構成されたネットワークノード対によって形成されるネットワークノード間において、無線リンクを確立するために、該ネットワークノード間のマルチチャネル特性を評価する工程と、

前記評価されたマルチチャネル特性に基づいて前記無線リンクのリンクコストを決定する工程と、

前記決定したリンクコストの少なくとも一部に基づいてルートの決定を行う工程と、

前記ルートの決定に従って、所定の送信元ネットワークノードから所定の宛先ネットワークノードまでの経路上におけるネットワークノード間において、データの送受信を行う工程と、を備え、

前記評価する工程は、前記ネットワークノード間において送信されたパイロット信号に基づいてチャネル評価を行うことにより得られた、またはブラインド方式に基づくチャネル評価を行うことにより得られた、 $N \times M$ 次元（ N は送信側のネットワークノードのアンテナ数、 M は受信側のネットワークノードのアンテナ数であって、少なくとも N または M の一方は、2より大きい）のチャネルマトリックスの関数に基づいて、前記マルチチャネル特性を評価し、

前記リンクコストを決定する工程は、前記ネットワークノード間において所定の送信電力のチャネルマトリックスの期待値に基づいて決定される平均のリンクレートの逆数として、前記リンクコストを決定することを特徴とする方法。

【請求項4】

前記ネットワークは、完全に無線化されたマルチホップネットワークであることを特徴とする請求項1、2、または3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項5】

前記ネットワークは、アドホック・マルチホップ・ネットワークであることを特徴とする請求項1、2、または3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項6】

前記ネットワークノード対は、移動局および基地局を含み、セルラーネットワークの基地局間ハンドオーバーは、ルーティング処理の一部であることを特徴とする請求項1、2、

10

20

30

40

50

または3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項7】

少なくとも部分的に無線が利用されるマルチホップネットワークにおけるルーティングリンクコストの決定装置であって、

複数のチャネルを提供するために、少なくとも一方が複数のアンテナと共に動作するように構成されたネットワークノード対によって形成されるネットワークノード間において、無線リンクを確立するために、該ネットワークノード間のマルチチャネル特性を評価する手段と、

前記評価されたマルチチャネル特性に基づいて前記無線リンクのリンクコストを決定する手段と、を備え、

前記評価する手段は、前記ネットワークノード間において送信されたパイロット信号に基づいてチャネル評価を行うことにより得られた、またはブラインド方式に基づくチャネル評価を行うことにより得られた、 $N \times M$ 次元（ N は送信側のネットワークノードのアンテナ数、 M は受信側のネットワークノードのアンテナ数であって、少なくとも N または M の一方は、2より大きい）のチャネルマトリックスの関数に基づいて、前記マルチチャネル特性を評価し、

前記リンクコストを決定する手段は、前記ネットワークノード間において所定の送信電力のチャネルマトリックスの期待値に基づいて決定される平均のリンクレートの逆数として、前記リンクコストを決定することを特徴とする装置。

【請求項8】

少なくとも部分的に無線が利用されるマルチホップネットワークにおけるリンクコストに基づくルート決定装置であって、

複数のチャネルを提供するために、少なくとも一方が複数のアンテナと共に動作するように構成されたネットワークノード対によって形成されるネットワークノード間において、無線リンクを確立するために、該ネットワークノード間のマルチチャネル特性を評価する手段と、

前記評価されたマルチチャネル特性に基づいて前記無線リンクのリンクコストを決定する手段と、

前記決定したリンクコストの少なくとも一部に基づいてルートの決定を行う手段と、を備え、

前記評価する手段は、前記ネットワークノード間において送信されたパイロット信号に基づいてチャネル評価を行うことにより得られた、またはブラインド方式に基づくチャネル評価を行うことにより得られた、 $N \times M$ 次元（ N は送信側のネットワークノードのアンテナ数、 M は受信側のネットワークノードのアンテナ数であって、少なくとも N または M の一方は、2より大きい）のチャネルマトリックスの関数に基づいて、前記マルチチャネル特性を評価し、

前記リンクコストを決定する手段は、前記ネットワークノード間において所定の送信電力のチャネルマトリックスの期待値に基づいて決定される平均のリンクレートの逆数として、前記リンクコストを決定することを特徴とする装置。

【請求項9】

少なくとも部分的に無線が利用されるマルチホップネットワークにおけるリンクコストに基づくデータのルーティング装置であって、

複数のチャネルを提供するために、少なくとも一方が複数のアンテナと共に動作するように構成されたネットワークノード対によって形成されるネットワークノード間において、無線リンクを確立するために、該ネットワークノード間のマルチチャネル特性を評価する手段と、

前記評価されたマルチチャネル特性に基づいて前記無線リンクのリンクコストを決定する手段と、

前記決定したリンクコストの少なくとも一部に基づいてルートの決定を行う手段と、

前記ルートの決定に従って、所定の送信元ネットワークノードから所定の宛先ネットワ

10

20

30

40

50

ークノードまでの経路上におけるネットワークノード間において、データの送受信を行う手段と、を備え、

前記評価する手段は、前記ネットワークノード間において送信されたパイロット信号に基づいてチャネル評価を行うことにより得られた、またはブラインド方式に基づくチャネル評価を行うことにより得られた、 $N \times M$ 次元（ N は送信側のネットワークノードのアンテナ数、 M は受信側のネットワークノードのアンテナ数であって、少なくとも N または M の一方は、2より大きい）のチャネルマトリックスの関数に基づいて、前記マルチチャネル特性を評価し、

前記リンクコストを決定する手段は、前記ネットワークノード間において所定の送信電力のチャネルマトリックスの期待値に基づいて決定される平均のリンクレートの逆数として、前記リンクコストを決定することを特徴とする装置。

10

【請求項10】

前記ネットワークは、完全に無線化されたマルチホップネットワークであることを特徴とする請求項7、8、または9のいずれか1項に記載の装置。

【請求項11】

前記ネットワークは、アドホック・マルチホップ・ネットワークであることを特徴とする請求項7、8、または9のいずれか1項に記載の装置。

【請求項12】

前記第1及び第2のネットワークノードは、移動局および基地局を含み、セルラーネットワークの基地局間ハンドオーバーは、前記ルーティング処理の一部であることを特徴とする請求項7、8、または9のいずれか1項に記載の装置。

20

【請求項13】

前記マルチホップネットワークの少なくとも1つのネットワークノードに実装されることを特徴とする請求項7、8、または9のいずれか1項に記載の装置。

【請求項14】

前記ルートの決定を行う手段は、前記マルチホップネットワークの少なくとも1つの無線リンク、または有線リンクのリンクコストに基づいて、ルートの決定を行うために動作することを特徴とする請求項8または9のいずれか1項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、一般にマルチホップネットワークなどの通信ネットワークにおけるルーティングに関し、より詳細にはルート決定およびルーティングに使用するための適切なリンクコストのメトリックの決定に関するものである。

【背景技術】

【0002】

一般に、ルーティングは、通信ネットワークの1以上の中間ノードを介して発信元から宛先へ情報を移す行為と定義することができる。

【0003】

ルーティングを無線ネットワークに適用する場合、そのようなネットワークは一般にマルチホップネットワークと呼ばれる。マルチホップネットワークでは、互いに到達範囲外にあるノードは中間に位置するノードの支援を受けることで、そのメッセージを発信元から宛先に向けて転送する。従来、マルチホップネットワークは、ノードが大抵移動可能であり、調整するインフラストラクチャが中央に存在しない、所謂アドホックネットワークと関連付けられる。しかしながら、マルチホップネットワーキングの考え方は、ノードが固定である場合にも適用することができる。さらに、ノードが固定であり、チャネルがロバストである場合には、特に、中央で調整を行うことも考えられる。また、マルチホップネットワークの無線リンクに加えて有線リンクを含むハイブリッドネットワークを考えることもできる。マルチホップネットワークに共通することは、全パケットを受信した後に転送する、所謂ストア・アンド・フォワードに基づいて送信されることである。

40

50

【0004】

ルーティングは一般に、適切なルーティング経路の決定とネットワークを通じた情報伝送という2つの基本的タスクを含む。ルーティング処理に関するこれらのタスクのうち前者は一般にルートの決定と呼ばれ、後者は一般にパケット転送と呼ばれる。

【0005】

ルート決定に対する共通手法は、所謂ルーティングツリーを張ることである。図1Aは、所定の宛先ノードに根ざす、ルーティングツリーの例を示している。ルーティングツリーは、通常、最短経路アルゴリズムに基づいて計算されるため、当該ルーティングツリーはツリーの種々のノードから宛先ノードに対して決定される最短経路が所謂「最小コスト経路」となる。実際、ツリーは連続して形成され、移動を管理したり、変化するリンク状態を管理したりするために更新される。

10

【0006】

ツリーにおける特定のノードが後続するパケット転送処理においてパケットの送信を要求する場合、ノードは発信元ノードと考えられ、図1に示すようにパケットは、発信元から宛先に対して決定したルーティング経路に従って送信される。種々のノードが同じ宛先へパケットを何度も送信することがあり、このため種々のノードは発信元ノードとして動作し、それぞれの最短経路に沿って送信する。さらに、複数の宛先が存在する場合、それぞれ対応する宛先を根とする複数のツリーを生成することができる。

【0007】

通常、パケット転送自体は比較的単純であるが、経路またはルートの決定は非常に複雑となる。

20

【0008】

ルーティングプロトコルは一般に所謂ルーティングメトリックを評価の基本として使用し、所定のパケットにとって最良となる経路またはルートを評価し、宛先への最適経路を決定する。従来技術では、多くの異なるメトリックをルーティングアルゴリズムにより使用し、最良か、または少なくとも適切なルートを決定していた。

【0009】

以前の有線ホップメトリックは、距離に関してはリンク品質依存性に反映しないので、無線環境には基本的に適さない。また、送信電力はリンク品質に影響する重要な要因である。

30

【0010】

無線の状況ではあまり使用しないが、現在でも頻繁に使用される有線回線のメトリックの例は、単純なホップ数メトリックであり、ノード v_i から v_j へのリンクコストは $\Delta C_{ij} = 1$ で定義される。

【0011】

研究報告において示唆される別のメトリックは、2ノード間の物理的距離、例えば $\Delta C_{ij} = \text{距離}_{ij}$ に基づくものである。

【0012】

無線環境に適したより良い例は、平均リンク利得 G_{ij} を使用し、リンクコストを平均リンク利得の逆数、即ち $\Delta C_{ij} = G_{ij}^{-1}$ と定義することである。このメトリックは大きな受信機のSNR (Signal to Noise Ratio、信号対雑音比) 値 (固定電力の場合) および最小電力ルート (電力制御の場合) を提供する。これは悪いメトリックではないが、(主にメトリックがリンク容量を適切に反映しないので) パケットが長い遅延に遭遇することがある。

40

【0013】

従って、さらに良いリンクメトリックの例では平均評価リンクレートを $\bar{r}_{ij}$ として使用し、レート適合能力を仮定して、平均リンクレートの逆数、即ち

$$\Delta C_{ij} = 1/\bar{r}_{ij}$$

としてリンクコストを定義する。このメトリックは2つの方向で見ることができる。第1

50

に、固定サイズの packets に対してこのメトリックは最小遅延経路（ネットワークの待ち行列は無視できると仮定して）を提供することとなる。しかしながら、（レートへの適応に応じてデータフェーズの packets 数を変更する）固定サイズのデータフェーズを有するマルチホップ方式に関しては、このメトリックは、経路に沿った最小の時間リソース利用率を提供する。平均レートに基づくリンクメトリックは従来のシャノン（Shannon）容量により評価される。

【0014】

【数1】

$$\bar{r}_{ij} = B \cdot E \left[\log_2 \left(1 + \frac{G_{ij} P_i}{\sigma_N^2} \right) \right] \quad (1) \quad 10$$

【0015】

上式で、Bは帯域幅（全システムで1つの共通帯域幅のみを使用する場合は無視できる）、 $E \{ \dots \}$ は期待値、 P_i はノード v_i の送信電力（固定であるか、または所定の他の機構により決定することができる）、 σ_N^2 は（ノード v_i における）雑音レベルである。項 σ_N^2 は、また潜在的に平均干渉を含むことがあり、その場合は受信機雑音とは別に複素ガウシアン（Gaussian）雑音としてモデル化できる。

【0016】

上記の逆利得メトリックの場合にシャノン容量を使用すると、逆利得メトリックが所定の目標リンクレートである、

$\bar{r}_{ij}^{(Target)}$

20

を有する最小電力ルーティングに対応することが分かる。最小電力は、その場合、

【0017】

【数2】

$$P_i = \left(2^{\frac{\bar{r}_{ij}^{(Target)}}{B}} - 1 \right) \frac{\sigma_N^2}{G_{ij}} \quad (2)$$

【0018】

のように決定される。

30

【0019】

特許文献1は、全経路に亘る累積使用送信電力を最小化するためにリンク送信電力の使用を適切なコストメトリックとすることが開示されている。これはバッテリー消費にとっては好都合であり、またシステムの干渉レベルを削減し、新たな接続の余地を残することができるため、より高いネットワーク負荷における運用が可能となる。

【0020】

上述のように、メトリックに干渉を含めることは可能である。干渉に基づくタイプのメトリックは、相殺的な干渉が最小となるルートを使用することを目的とする、最小干渉ルーティング（Least Interference Routing、LIR）と、干渉が最小となるルートを使用することを目的とする、最小抵抗ルーティング（Least Resistance Routing、LRR）とを含む。

40

【0021】

また、メトリックにトラフィック負荷を含むことも可能である。しかしながら、トラフィックに関する情報をメトリックに含めること（例えば、トラフィック負荷やメディアアクセス規則を組み込むこと）は、安定性の問題についても考える必要が生じるため、簡単ではない。

【0022】

ルーティングメトリックがルートの決定に重要な影響を有することは明らかであり、それ故に適切なルートの決定には、高度なメトリックを提供することが最も重要なことである。改良されたルート選択は、当然、より高いスループットを有し、ネットワークにお

50

る遅延を削減する改良されたルーティングを導くこととなる。

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2003/0161268 A1 号明細書

【特許文献 2】国際公開第 WO96/19887 号パンフレット

【特許文献 3】国際公開第 WO98/56140 号パンフレット

【特許文献 4】米国特許出願公開第 2002/0051425 A1 号明細書

【特許文献 5】米国特許出願公開第 2004/0233918 A1 号明細書

【非特許文献 1】X. ゴウ (X.Zou)、B. ラママーシ (B.Ramamurthy)、S. マグリベラス (S.Magliveras) 「無線アドホックネットワークのためのルーティング技術、分類と比較 ("Routing Techniques for Wireless Ad Hoc Networks Classification and Comparison")」、システミックス、サイバネティックスおよびインフォーマティックス (SCI) に関する第 6 回世界マルチ会議録、2002 年 7 月

10

【非特許文献 2】P. F. ドリーセン (P.F.Driessen)、G. J. フォッシーニ (G.J.Foschini) 「多入力多出力無線チャネルの容量公式について：幾何学的解釈 ("On the capacity formula for multiple input multiple output wireless channels: A geometric interpretation")」、IEEE 通信部門論文誌、47 巻 173-176 頁、1999 年 2 月

【非特許文献 3】C. L. ヘドリック ラットガー (C.L.Hedrick Rutgers) 「シスコ - IGPR 入門 ("Cisco-An introduction to IGPR")」、1991 年 8 月 22 日、<http://www.cisco.com/warp/public/103/5.html>

【非特許文献 4】R. ネルソン (R.Nelson)、L. クラインロック (L.Kleinrock) 「捕捉を有するスロットド ALOHA マルチホップパケット無線ネットワークの空間容量 ("The spatial capacity of a slotted ALOHA multihop packet radio network with capture")」、IEEE 通信部門論文誌、32 巻 6 号、684-694 頁、1984 年

20

【非特許文献 5】S. ジェイン (S.Jain)、Y. エル (Y.Lv)、S. R. ダス (S.R.Das) 「無線アドホックネットワークのリンクレイヤにおける経路ダイバシティの利用 ("Exploiting Path Diversity in the Link Layer in Wireless Ad Hoc Networks")」、WING S 研究所技術報告、2003 年 7 月

【非特許文献 6】I. ベレンガー (I.Berenguer) および X. ワン (X.Wang) 「MIMO 通信のための空間-時間符号化および信号処理-入門編 ("Space-Time Coding and Signal Processing for MIMO Communications-A Primer")」コンピュータ科学および技術、18 巻 (6 号)、689-702 頁、2003 年 11 月

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

本発明は、従来技術の機器におけるこれらの欠点ならびにその他の欠点を克服する。

【0024】

完全に、または少なくとも部分的に無線を利用したマルチホップネットワークに、改良したルーティングを提供することが本発明の全体的な目的である。特に、より高いスループット、およびこのようなネットワークにおける遅延の削減、またはより高いネットワーク負荷における運用が実現されることが好ましい。

40

【0025】

高度なルーティングメトリックの使用により、改良したルート選択またはルート決定を提供することが本発明の目的である。

【0026】

少なくとも部分的に無線を利用したマルチホップネットワークにおけるルーティングリンクコストの改良された決定方法および装置の提供は、具体的な目的である。

【0027】

また、このようなネットワークにおける高度なリンクコストの決定に基づくルートの決定方法および装置の提供も、具体的な目的である。

【0028】

50

別の具体的な目的は、高度なリンクコストの決定に基づくルーティングの決定方法および装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0029】

これらおよびその他の目的は、添付の特許請求の範囲により定義される本発明により実現される。

【0030】

本発明者は、高度なマルチアンテナ設備を備えるノードが配されたマルチホップネットワークの構成を想定しており、特に種々のアンテナ設備を備える中継ノードおよびエンドユーザ端末の多様な設備群を有する構成を想定している。

10

【0031】

本発明者は、フェージングチャネルを経て大きな容量を提供するのみならず、ルートの決定またはネットワークにおけるルーティングのためのリンクコストの決定のためにも、マルチホップネットワークにおけるそのような高度なアンテナ設備の存在を調べることに利点があるということを確認している。そのため、本発明の基本的な考え方は、ノード間のマルチチャネル特性に基づいてネットワークのノード対間の無線リンクのリンクコストを決定することにより、少なくとも1つのノードを複数のチャネルを提供するために複数のアンテナと共に動作するように構成する。

【0032】

リンクコストは、好ましくは、それぞれ送信アンテナおよび受信アンテナの数に基づいて決定し、この結果、マルチアンテナにより可能になるルーティングメトリックを効果的に提供する。このように、本発明は多様なマルチアンテナのチャネル特性を取り扱う、種々の規模のマルチアンテナチャネルの使用を円滑に統合し、多様なマルチアンテナ通信方式をサポートすることを可能にする。この便益は場合によって異なるが、主としてダイバシティ、空間多重化、またはビーム形成利得（後者は $a \cdot k \cdot a$ 、コヒーレントまたは指向性利得）に帰することができる。より詳細には、本発明は、おそらく1つの同じマルチホップネットワークにおけるリンクコストの決定のために、従来のSISOと共に、MIMO、MISOおよび／またはSIMOチャネルに基づく方式により提供されるチャネル規模の増加を実現し、これを利用可能にする。

20

【0033】

例えば、 N および M がそれぞれ送信ノードおよび受信ノードにおけるアンテナ数である場合、 $N \times M$ 次元のチャネルマトリックスの関数として、リンクコストを決定することができる。アンテナ数に対応する数 N および M は、チャネルマトリックスまたはベクトルを効果的に設定する。あるいは、より直接的に N および M の値に基づいてヒューリスティックな測定（heuristic measure）を使用することができる。

30

【0034】

好ましくは、リンクコストはノード間において使用されるマルチアンテナ通信方式に関する知見も考慮して決定される。これは、例えば従来の適応型ビーム形成（beamforming、BF）または空間多重化に基づくMIMOなどの個々のマルチアンテナ通信方式に依存する関数に従い、リンクコストを決定することにより遂行されうる。このように、リンクメトリックはアンテナ数ばかりでなく、使用するアンテナ構成または方式も反映されるため、送信ノードおよび受信ノード双方における任意のアンテナ数、ならびに種々の高度なアンテナ方式の要求に応じることができる。幾つかのマルチアンテナ通信方式を2ノード間でサポートすることで、方式の選択を行い、ルートの決定に使用する性能メトリックを最適化することができる。さらに、チャネル特性およびノード能力に応じて、種々の方式を種々のリンクとして採択することができる。

40

【0035】

ルーティングメトリックは、例えば波形遅延（即ち、レートに依存する）、エネルギーまたは電力次元に関するものである。例えば、リンクコストは平均リンクレートの逆数として決定することができ、平均リンクレートは所定の送信電力に対するチャネルマトリッ

50

クスの期待値に基づいて、あるいは使用する送信アンテナおよび受信アンテナの数および送信電力に少なくとも部分的に基づいて計算される。別の例では、リンクコストはホップ毎の固定リンクレートに対する最小送信電力として決定され、最小送信電力はチャンネルマトリックスに基づいて、あるいは使用する送信アンテナおよび受信アンテナの数および固定リンクレートに少なくとも部分的に基づいて決定される。

【0036】

この新たなタイプのマルチアンテナにより可能となるリンクコストに基づき、ルートの決定を良好な、または最適な経路を選択するように実行し、続いてルートの決定に従って所定のノードから所定の宛先ノードまでの経路上における、少なくとも隣接するノードに、パケットデータを転送する。

10

【0037】

実際、ルートの決定は少なくとも部分的に無線を利用したマルチホップネットワークにおける無線リンクおよび／または有線リンクの数に対するリンクコスト情報に基づいて実行される。本発明のマルチチャネル特性に基づいて新しいリンクコストが決定されると、ネットワークの無線リンクの少なくとも一部のリンクコストの決定に使用される。無線および有線リンク双方を有するハイブリッド・マルチホップ・ネットワークにおいて、エンド・ツー・エンドにおけるルーティングコストは、標準的には無線および有線部分双方の特性を考慮して決定される。これは、アプリケーションに応じて有線リンクのリンクコストを、あるメトリックに従って決定しなければならないこと、またはある固定値またはゼロの値に単に設定しなければならないことを意味する。本発明に従い少なくとも1つの無線リンクのリンクコストを決定する限り、幾つかの無線リンクのリンクコストを他の方法を使用して決定することができることはいうまでもない。

20

【0038】

本発明は、以下の利点をもたらす：

＞送信機側および受信機側双方における任意のアンテナ数ならびに種々の高度なアンテナ方式を本来的にサポートするリンクコストメトリックの提供

＞多重アンテナ方式の従来のSISO方式とのリンクコスト決定のための円滑な統合

＞最適ルート選択

＞ネットワークにおけるより高いスループットおよび、遅延、電力および／またはエネルギー消費の削減

30

＞相関／非相関チャネルのサポート

＞完全順位／縮退順位チャネルのサポート

＞一般的に任意のルーティングプロトコルへの適用性

本発明が提供するその他の利点は、本発明の実施形態に関する以下の記述を読むことで理解されよう。

【0039】

さらなる目的およびその利点を含む本発明は、添付の図面と共に行う以下の記述を参照することにより最もよく理解されよう。

【0040】

40

図面全体に亘って、対応する要素または類似の要素については、同じ参照文字を使用するものとする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0041】

始めに

本発明は、実装に関わらず、分散および中央集中の双方のルーティングアルゴリズム、ホップ・バイ・ホップ・ルーティングならびに発信元ルーティング、リンク状態ルーティングおよび距離ベクトルルーティング（ベルマン・フォード（Bellmann-Ford）アルゴリズムに基づくルーティングと呼ばれる場合もある）、自発型または反応型ルーティング、フラットまたは階層ルーティング、単一経路およびマルチ経路ルーティングならびにその

50

変更および組み合わせを含む、任意のルーティングプロトコルに一般に適用することができる。

【0042】

特に無線アドホックネットワークにおけるルーティング技術に関するさらなる情報については、非特許文献1を参照することができる。

【0043】

発信元ルーティングでは、一般に、発信元エンドノードが全ルートを決定することを前提としている。その場合、中間ノードは、宛先ノードまでの経路上において、単に次ノードへパケットを転送するだけのストア・アンド・フォワード・ユニットとして動作する。

【0044】

ホップ・バイ・ホップ・ルーティングでは、基本的に各ノードが、幾つかの宛先に関してそれぞれ優先する次ホップノードの情報を備えるルーティングテーブルを判断し、保持する。ノードがパケットを受信すると、ノードはパケットの宛先に関する情報に基づいて次ホップノードへパケットを転送する。パケットが宛先に着信するまで、ノードからノードへと転送処理が継続される。

【0045】

ネットワークノードは種々のルーティング情報メッセージの伝送を通じてルーティング情報を伝達し、そのルーティングテーブルを保持する。ルーティング情報は、当然、使用する個々のルーティング方式によって変化する。

【0046】

ホップ・バイ・ホップ・ルーティング方式は、一般に、リンク状態アルゴリズムと距離ベクトルアルゴリズムの2種類に分類される。リンク状態アルゴリズムはルーティング情報を全てのノードに頒布する（ただし、ネットワークの一部にのみ頒布する解決法も存在する）一方、各ノードは自らのリンクの状態を記述する情報のみを送信する。一方、距離ベクトルアルゴリズムは隣接するノード間でのみ交換するルーティングコスト情報に基づいて動作する。

【0047】

ルーティングテーブルを決定し、更新する方法はルーティング方式によって異なる。しかし、共通する目標は標準的には背景技術の節で述べたように、ある意味で最適な経路を見つけることである。

【0048】

本発明をよりよく理解するために、一般に使用するタイプのルーティングアルゴリズムの一例について概要を示すことは有益である。しかしながら、本発明は当該一例に限定されないことを理解すべきである。

【0049】

古典的手法は、発信元ノードと宛先ノードとの間に所謂最短経路マルチホップツリーを設けることであり、各リンクをデルタコストにより特徴付け、決定した最短経路に沿って宛先に至るまでの累積コストを各ノードに割り当てる。「最短経路」という表現は、一般に最小コスト経路に対応することは明らかであり、この表現は経路またはルートがある特定のコストメトリックに関して最小コストを提供する経路であることが重要である。

【0050】

ダイクストラ (Dijkstra) アルゴリズムやその他の任意のルーティングアルゴリズムであってもよいが、以下ではベルマン・フォード最短経路アルゴリズムを最短経路アルゴリズムの一例として使用することにする。ベルマン・フォードアルゴリズムはインターネットなどの有線ネットワークにおいて中心的役割を果たしているが、無線マルチホップネットワークにおいても重要な機能を有している。一般に好ましい実装では、ベルマン・フォードアルゴリズムは、分散型の「非組織的な (uncoordinated)」手法において最短経路を決定し、隣接ノード間のルーティングコスト情報の交換に基づく有限時間内の収束を保証する。

【0051】

従って、ベルマン－フォードアルゴリズム対して、所定の宛先集合の各宛先 d に対するノード v_i のコスト C_i は、分散ベルマン－フォードの式により決定することができる。

【0052】

【数3】

$$C_i^{(d)} = \min_{v_j \in N_i} \{ \Delta C_{ij} + C_j^{(d)} \}, \quad (3)$$

【0053】

上式において、 $v_i \in N_i$ はノード v_i に属する隣接ノードの隣接指標であり、 C_i は隣接ノード v_i の宛先 d への到達コストであり、 ΔC_{ij} はノード v_i からノード v_j へ達するコスト（即ち、ホップのコスト、またはリンクコスト）である。

10

【0054】

反復回数は整数に限ることができ、上限はホップ数、例えば最大2ホップである。

【0055】

上記のように、ベルマン－フォードアルゴリズムは分散手法で容易に実装される。マルチホップネットワークにおける発信元と宛先との間のマルチホップツリーはネットワークにおいて配信するルーティングコスト情報に基づいて構築され、定義される。実際、隣接ノードはルーティングリストを交換する。各ルーティングリストは複数の項目を含み、各項目は宛先ノードや、対象のノードから宛先までのルーティングコスト、ならびに次ホップノードの指示を規定している。ルーティングリストは、通常は、ハローパケットとも称されるパケットにおいて送信される。

20

【0056】

ルーティングリストを受信するノードは、ノード自身のリストの指示よりも最適なルートが項目に記載されているか否かを調べる。新たなコスト情報が古い状態情報でないことを保証するために、タイムスタンプまたはシーケンス番号があわせて項目に含められる。

【0057】

分散手法のオーバーヘッドを削減するために、一般に、ルーティングコスト情報のネットワーク全体への伝播を制限することも行われる。例えば、ホップ最大数、一定領域内のノードのみ、または1つの基地局（Base Station、BS）制御下のノードのみを認めるようにしてもよい。

【0058】

30

基本概念

本発明者は、高度なマルチアンテナ設備を備えるノードが配されたマルチホップ・ネットワーク構成を想定しており、特に種々のアンテナ設備を備える中継ノードおよびエンドユーザ端末の多様な設備群を持つ構成を想定している。図2は、多様なアンテナ設備を持つノードが混在する完全に無線化されたマルチホップネットワークの例を示す。ノードは、間隔の異なる種々の数のアンテナを持つことができ、従来の適応型ビーム形成および空間多重化伝送MIMO（Multiple Input Multiple Output、多入力多出力）、MISO（Multiple Input Single Output、多入力／単一出力）、SIMO（Single Input Multiple Output、単一入力／多出力）および、従来のSISO（Single Input Single Output、単一入力／単一出力）通信など、種々のマルチアンテナ通信方式を使用することができる。図3は対応する一例を示したものであり、幾つかのノード間是有線リンクとなっており、有線リンクと無線通信の様々な高度なアンテナ設備とを備える部分的に無線化されたマルチホップネットワークを形成している。勿論、本発明は、適応型ビーム形成ネットワークまたはMIMOネットワークなど、より均質なマルチアンテナ設備の場合にも適用可能である。

40

【0059】

これに関して本発明者は、フェージングチャネルを経て大きな容量を提供するのみならず、ルートの決定またはネットワークにおけるルーティングのためのリンクコストの決定のためにも、マルチホップネットワークにおけるそのような高度なアンテナ設備の存在を調べることに利点があるということを認識している。そのため、本発明の基本的な考え方

50

は、ノード間のマルチチャネル特性に基づいてネットワークのノード対間の無線リンクのリンクコストを決定することにより、少なくとも1つのノードを複数のチャネルを提供するために複数のアンテナと共に動作するように構成する。

【0060】

適応型アンテナシステムおよびMIMO (Multiple Input Multiple Output、多入力／多出力) システムなどの高度なアンテナの解決法を使用して、複数の送信アンテナおよび／または受信アンテナを使用することによりシステムの容量性能を高めることができる。例えば、古典的なMIMOシステムは、一般に、複数(N)の送信アンテナを持つ送信ノードおよび複数(M)の受信アンテナを持つ受信ノードに基づいて動作する。マトリックスの形式では、対応するマルチチャネルモデルは次式のように表現することができる：

$$y = Hx + w \quad (4)$$

上式において、yは受信信号ベクトル、HはM×Nの複素チャネルマトリックス、xは送信信号ベクトル、wはM×1の複素白色雑音ベクトルである。本モデルはリンクに有効であるが、潜在的干渉源を含むように拡張することができる。その場合でも、まず得られた近似の結果として、潜在的干渉源の場合には、これらは雑音に加えてベクトルwに含めることができる。複素チャネル利得マトリックスHは次のように記載することができる。

【0061】

【数4】

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & \dots & h_{MN} \end{bmatrix} \quad (5)$$

【0062】

上式で、 h_{ij} は送信ノードの送信アンテナjと受信ノードの受信アンテナiとの間のチャネルの複素表現である。

【0063】

送信ノードと受信ノードとの間のマルチチャネル特性は、例えば送信アンテナ数Nと受信アンテナ数Mにより表すことができ、これらのアンテナ数は共にチャネルマトリックスの次元(N、M)を定義する。別の選択肢はルート決定のためのリンクコストの決定に実際の複素チャネル利得マトリックスHを考慮することである。これらの例により、マルチチャネル特性は、基本的に、マトリックスの次元に関する情報および／またはチャネルマトリックスの固有値の表現も含むチャネルマトリックスの内容に関するより詳細な情報を含む、チャネルマトリックス特性に対応する。

【0064】

マルチチャネル動作の提供のためには、NおよびMの少なくとも1つは2より大きくなければならず、従ってMIMO (Multiple Input Multiple Output、多入力／多出力)、MISO (Multiple Input Single Output、多入力／単一出力)、SIMO (Single Input Multiple Output、単一入力／多出力)をサポートする。

【0065】

チャネルのマトリックス特性および通信方法を参照するために、MIMOを2つの異なる方法で使うことがある。しかしながら本明細書では、MIMO、MISO、SIMOおよびSISOは、通常はチャネル自体を参照し、使用法を参照するわけではない。MIMO、MISOまたはSIMOのチャネル要素が与えられると、その基本的特性、例えば要素が静的か、または可変かを検討する。一般に、通信ノードが移動可能であるため、可変チャネルに着目することが多い。可変性が与えられた場合、確率変数として可変性をモデル化するのが適切である。重要な点はMIMO、MISOまたはSIMOチャネルの特性、即ちチャネル要素に相関があるかないか、またはその中間かということである。単一リンクにおいて動作する多くの多重アンテナ方式は従来よりよく知られている。これらの方式は、受信機におけるチャネル要素(及び干渉)の知見が完全であるのか部分的であるのか、あるいは送信機および受信機双方において既知なのか、受信機のみにおいて既知

10

20

30

40

50

なのかという点が異なっていることがよくある。開発された多重アンテナ通信方法は、この知見を、チャンネルがMIMO、MISOまたはSIMOであるかの知見と関連付けて検討する。

【0066】

以下のリストはよく知られた高度なアンテナ通信方式の例を示したものであり、全てを網羅したものではない。各方式の詳細に関しては、関連する高度なアンテナの最新の研究文献を考慮すべきであり、例えば非特許文献6を参照されたい。

【0067】

【表 1】

チャンネル タイプ	方式	好ましいチャンネル要素の特性	フィードバックタイプ	適応特性	コメント
MISO	アラムティ (Alamouti) ダイバシティ	フェージング 非相関	なし	なし	TXでSTC符号化、RXでSTC復号化
	遅延 ダイバシティ	フェージング 非相関	なし	なし	TXで遅延ダイバシティ符号化
	フィードバックのある適応型BF	フェージング 非相関	CSI	TXアンテナ 複素加重	
	フィードバックのある(セミ)従来の適応型BF	フェージング 相関	チャンネル位相ベクトル	TXアンテナ 位相加重	チャンネル位相ベクトルは既知、コヒーレント波形前面の形成
	従来の適応型BF	フェージング なし 相関	「方向」	TXアンテナ 位相加重	配列番号の知見を使用、コヒーレント波形前面の形成
SIMO	最大比結合	フェージング 非相関	なし	RXアンテナ 複素加重	
	干渉拒否結合	フェージング 非相関	なし	RXアンテナ 複素加重	SINR最大化、即ち干渉抑制
MIMO	SVDに基づくMIMO	フェージング 非相関	CSI	TXおよびRXアンテナ複素加重	空間多重化利得
	ゼロ強制ダーティペーパーQR分解に基づくMIMO	フェージング 非相関	CSI	TXおよびRXアンテナ複素加重	空間多重化利得、TXで非線形符号化を使用。
	ブラスト	フェージング 非相関	レート	RXアンテナ 複素加重	空間多重化利得、RXで連続干渉解消を使用。
	時空間符号化に基づくMIMO	フェージング 非相関	なし	なし	ダイバシティ利得(アラムティダイバシティはこの特殊な場合)

【0068】

なお、多重ビームを伴ったり、Hの瞬時の認識に基づく急激な変化を伴ったりすることがあるものの、多くの空間多重化技術では、ビーム形成の1つの方式を有するいうことができる。このタイプのビーム形成は、チャンネルHが既知である代わりに、配列番号が一般に明確には既知でない点において、従来タイプの適応型ビーム形成とは異なっている。さらに従来の適応型ビーム形成では、アンテナ要素が一般に互いに接近して（コヒーレンス

距離未満に)位置し、チャンネル要素は完全に相関する。しかしながら、従来の適応型ビーム形成の進化したタイプもまた存在し、(コヒーレンス距離内のアンテナ要素の配置により)チャンネルは完全に相関すると仮定し、送信機と受信機との間のチャンネルは送信機に既知とする。そしてチャンネルに関する知見を使用して、所望の方向にビームを向ける。上述したように方式およびチャンネル特性に依存して、幾つかの異なる利得を達成することができる。

【0069】

フローの概要

図4は、本発明の好適な実施形態によるルーティングコスト情報の伝達、ルートの決定、パケット転送、ならびにリンクコストの決定を含むデータのルーティング方法を示す概要フローチャートである。上述したように本発明は、対象となるマルチホップネットワークにおけるそれぞれのリンクの数に関しては、それぞれのリンクのマルチチャンネル特性に基づくリンクコストの決定による。

【0070】

このマルチチャンネル特性は、例えば明確なチャンネルマトリックスの評価(選択可能な工程S1に示すように)および/または(選択可能な工程S2に示すように)送信および受信アンテナ数または使用するマルチアンテナ通信方式など、関係するノードのアンテナシステムの処理能力に関するその他の情報に基づいて、決定することができる。工程S1のチャンネルマトリックスの評価はブラインドか、またはパイロット送信に基づくものである。

【0071】

一旦、所定の形式のマルチチャンネル特性が決定されると、リンクコストを、マルチチャンネル特性に基づいて所定のリンクコスト関数を用いて計算する(工程3)。リンクコスト関数は、ノード間で使用するマルチアンテナ通信方式(従来の適応型BF、空間多重化に基づくMIMO、空間時間符号化に基づくMIMOなど)に依存することもある。幾つかのマルチアンテナ通信方式をサポートすることで、方式の選択を行い、ルート決定に使用する性能メトリックを最適化することができる。

【0072】

有線リンクが、対象となるマルチホップネットワークに存在すれば、対応するリンクコストはある所定のメトリックによるか、固定値として与えるか、またはゼロに設定して決定することができる。

【0073】

少なくとも1つの無線リンクのリンクコストを本発明により決定する限り、その他の方法を使用して幾つかの無線リンクのリンクコストを決定することも可能である。

【0074】

決定されたリンクコスト情報は、その後、ルート決定(工程S4)のための追加ルーティングコスト情報(使用するルート決定プロトコルに応じて変化する)と共に使用され、これにより、ネットワーク内の種々のネットワークノード間のルーティング情報に対する最適な、または少なくとも適切な経路を決定する。

【0075】

転送処理(工程S5)では、ルート決定過程で決定した経路に沿った適切な中間ノードの集合を介して、パケットを発信元から宛先へと転送する。この転送処理では、アンテナ加重などの送信パラメータに関する最新チャンネルの知見により選択されたマルチアンテナ通信方式の使用を推奨することができる。

【0076】

本発明は、このようにマルチホップネットワークのルート決定を行う場合に、高度なアンテナ方式を考慮した手段を導入する。より詳細には本発明は、このようにマルチホップネットワークの高度なアンテナ方式の利用がより一層可能となり、その恩恵を得ることができる。信号送信手段および操作手段のみならずルーティングメトリックも使用可能な高度なアンテナを新規に導入することにより実現される。

【0077】

本発明はアンテナの数および／または使用するアンテナアレイ構造チャネル（MIMO、MISO、SIMO、SISO）を反映するリンクメトリックを提案するものである。さらに、これらのアンテナアレイ構造チャネルは、通信性能を高めるために、チャネル特性に応じて、異なる効果を利用する。これらの効果によりビーム形成利得、ダイバシティ利得、および空間多重化利得またはその組み合わせを得ることができる。アンテナアレイ構造チャネルおよび異なるチャネル特性に応じて、異なる方法が存在する。

【0078】

リンクコストの決定を説明する例

以下では、リンクコストを決定する方法を説明する例を参照して、本発明を記述することにする。

10

【0079】

リンクコストは送信および受信アンテナの数N、Mの関数で表わされる：

$$\Delta C_{ij} = f(N, M) \quad (6)$$

リンクコストは、あるいは2ノード間の少なくともM×NチャネルマトリックスH（またはその表現）の関数で表わすことができる。NおよびMはTXおよびRXアンテナの数である。その場合、リンクコストは次のように簡略化して記述することができる：

$$\Delta C_{ij} = f(H) \quad (7)$$

リンクコストは好ましくはまた、所望の信号対雑音期待比（SISO）（または信号対雑音プラス干渉比）ρ、所望の固定リンクレートなどの追加パラメータを使用することができる。メトリックは波形遅延（即ち、レートに依存する）、エネルギーまたは電力次元を含む。

20

【0080】

メトリックの例

本発明の典型的な実施形態を以下に示す。まず、ルーティングメトリックのためにMIMOの単一リンク容量関係（非特許文献2参照）を利用するとともに、チャネルマトリックスHの形式および特性を考慮する共通分母を有するその他の形式のメトリックを調べる。典型的な本実施形態では、空間多重化MIMOを全ノードにおいてサポートするものとする。空間多重化MIMOは、例えば所謂特異値分解（Singular Value Decomposition、SVD）MIMO手法、即ちチャネルマトリックスHのSVDの実施に基づいている。SVD演算の結果、チャネルマトリックスHを $H = U \cdot S \cdot V^H$ に従い3つのマトリックスに分解することができる。なお、UおよびVは単位マトリックスであり、Sは対角線に特異値を持つ対角線マトリックスである。SVDに基づくMIMOでは、送信機はまずベクトルxとVを掛け合わせ、受信機は受信yとUHを掛け合わせる。実効的に、送信はSの特異値により与えられる利得を有する直交チャネルを経て行われることになる。この手法の利点は、任意のチャネル次元およびチャネル特性を扱うことである。

30

【0081】

チャネルマトリックスは最小平均二乗誤差（Minimum Mean Squared Error、MMSE）または最尤推定計算に基づくものなど、汎用的な計算法による明確なチャネル評価により決定することができる。

40

【0082】

所定（固定）の電力 P_i を有するレート：概して、ノード v_i から v_j へのリンクレートは、次式によるノード v_i と v_j との間で定義する次元（N、M）のチャネルマトリックス H_{ij} の期待値に基づいて決定する。

【0083】

【数5】

$$\bar{r}_{ij} = B \cdot E \left[\log_2 \left(\text{Det} \left(I_i + \frac{P_i}{N \cdot \sigma_N^2} \cdot H_{ij} \cdot H_{ij}^H \right) \right) \right], \quad (8)$$

【0084】

50

上式で、 B は帯域幅（全システムでただ1つの共通帯域幅（ BW ）のみを使用する場合は無視できる）、 $E\{\dots\}$ は期待値、 $\text{Det}\{\dots\}$ は決定要素、 I_i は次元 $M \times M$ の単位マトリックス、 P_i はノード v_i の送信電力（他の機構により固定または決定される）、 σ_N^2 は（ノード v_i の）雑音レベルであり、 H はハーミチアン（Hermitian）演算子である。上述したように、項 σ_N^2 は受信機雑音とは別に、平均干渉も含みうる。

【0085】

その場合、リンクコストは、平均レートの逆数に基づいて定義し、例えば以下の通り表わすことができる。

【0086】

【数6】

$$\Delta C_{ij} = 1/\bar{r}_{ij} \quad (9)$$

【0087】

原則として、上記メトリックは、チャネル容量を最大にするために、電力が制限された固有チャネルの注水定理（waterfilling）が実施されることを前提として計算される。しかしながら、 SNR が大きい場合、固有チャネルへの電力の等配分との相違は無視できる。

【0088】

H_{ij} の次元が合理的に大きい場合には、瞬間のチャネル容量は合理的で良好なメトリックとなる、即ち期待値が決定される必要がなくなる。

【0089】

この（新しい）尺度を使用して、種々のアンテナ構成、即ち任意の数のアンテナおよびアンテナとの相関／非相関チャネルを有する任意の状況のノードを管理することができる（例えば、空間多重化に基づき、非相関チャネルおよびBFを有するMIMO、MISO／SIMO、および従来の適応型BFを本来的にサポートする）。

【0090】

チャネルの統計値が既知であれば、簡易化メトリックの決定を使用することができる。例えばMIMOチャネルが非相関であれば（であることが分かれば）、ヒューリスティック（heuristic）メトリックは以下の通りであろう：

【0091】

【数7】

$$\bar{r}_{ij}(MIMO) = B \cdot \min(N, M) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_i}{\sigma_N^2} \cdot \frac{\max(N, M)}{N} \right), \quad (10)$$

【0092】

上式で、 N および M はそれぞれ使用する送信アンテナおよび受信アンテナの数である。（最大（ N 、 M ）の偏角に関して本明細書で仮定するような上限というよりは、むしろ）実際のチャネル順位の決定を含むような、より正確な経験的（heuristic）メトリックが想定されうる。

【0093】

（非EIRP（Effective Isotropic Radiated Power、実効等方輻射電力）が制限された範囲で動作する）従来の適応型ビーム形成に対して、対応するメトリックは以下のように定義できる：

【0094】

【数8】

$$\bar{r}_{ij}(BF) = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_i}{\sigma_N^2} \cdot N \cdot M \right), \quad (11)$$

【0095】

アンテナ要素の数は規則的なハローメッセージにより（ルーティングコストと共に）通

10

20

30

40

50

知されうる。

【0096】

所定（固定）のレート R_i を持つ電力：固定（または所望）のホップ毎のレートに対する別のコストメトリックは最小電力ルートである。式（8）に示したように、電力に関する解法は簡単ではない。しかし、これは次式によりリンクコストとして電力の解を求めることにより公式化することができる。

【0097】

【数9】

$$P_{ij}^{(\min)} = \min_{\bar{r}_{ij} = \bar{r}_{ij}^{(\text{Target})}} \{P_i\}, \quad (12)$$

10

【0098】

上式で、式（8）のレートは所定のレートの目標、

$\bar{r}_{ij}^{(\text{Target})}$

に等しく、式（8）は電力 P_i に対して解が得られる。式（12）で選択されるメトリックは最短経路ルーティングアルゴリズムとともに使用される。リンクコストはホップ毎の電力として次のように定義される：

【0099】

【数10】

20

$$\Delta C_{ij} = P_{ij}^{(\min)}. \quad (13)$$

【0100】

式（10）で使用する前提条件を簡易化すると、電力は明確に解を求めることができ、以下により決定することができる。

【0101】

【数11】

$$P_i = \left(2^{\frac{\bar{r}_{ij}^{(\text{Target})} (MIMO)}{B \cdot \min(N, M)}} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_N^2 N}{\max(N, M)}. \quad (14)$$

30

【0102】

さらに、本発明は種々の順位のチャネルを扱う解法を提供する。チャネルマトリックスまたはチャネルベクトルの特性は、生じる反射のタイプに応じて異なりうる。例えばマトリックスチャネル H は特異値分解（SVD）と直交しうる。SVDにより唯一つの意味のある特異値（かつその他は実質的にゼロである）のみが得られれば、 H の行は本質的に同じであるので、チャネルは縮退するといえる。チャネルマトリックスはの場合1に等しい順位である。このチャネルは、ただ1つのビームを送受信することができるので、従来の適応型ビーム形成に使用するのに適している。一般にアレイのアンテナはかなり接近して配置され、本質的に1信号経路が存在する。しかし、複数の有意な特異値が得られれば、チャネルは縮退せず、複数の並列で、実質的に干渉しないデータストリームの送信に使用することができる（チャネルはMIMOサブチャネルまたは固有チャネルと呼ばれる）。この場合、所謂散乱環境になるか、または複数の信号経路が送信機アレイと受信機アレイとの間に存在することになる。特に固有チャネルの注水定理を伴う決定要素式を使用する場合、本発明は縮退および非縮退チャネル双方を扱うことができる、即ち単一ビームが最適である場合、単一ビームを仮定し、複数ビームによる空間多重化MIMOが最適である場合、空間多重化MIMOを仮定する。さらに反射状態に応じて、チャネルマトリックスの統計が異なることがある。 H に対して共分散マトリックスが決定すれば、即ち $R_{HH} = E \{H \cdot HH\}$ であり、共分散マトリックスが対角線マトリックス、即ち単純に単位マトリックスであれば、チャネルは非相関である。しかし、共分散マトリックスが単位マト

40

50

リックスでなければ、相関チャネルを検討することになる。特に決定要素式を使用する場合には、本発明は相関チャネルおよび非相関チャネルの双方を扱うことができる。より正確にはチャネルが完全相関である場合、チャネルは順位1であり、唯1つのビームのみを使用することができる。

【0103】

完全なチャネル情報 (channel state information、CSI) が利用できる、即ちHが送信機および受信機双方に既知であるという仮定の下に、以上の実施形態が最適な通信方式を選択することができたとしても、実際には送信機には、共分散マトリックス R_{HH} 、平均経路利得などの限られた情報があるだけか、または情報が全く無いことがある。この状況では、代わりに、その他の準最適通信方式を使用しなければならない。例えば、時空間符号化を実現するダイバシティを使用すれば、一定の通信品質 (正確な受信に関する所定の平均確率レベルなど) を達成するメトリックの詳細、例えば平均 (逆数の) レート/スループットまたは平均電力が変化する。

【0104】

その他のコストに関係する側面

上記の最小電力ルーティングに類似する、最小エネルギールーティングも実行されうる。その場合、チャネルのマトリックス特性またはベクトル特性を明らかにする間、最小化されたホップ毎のエネルギーメトリックを考慮する。

【0105】

リンク関連コストとは別に、例えば待ち行列 (特にレートの逆数メトリックに有益) およびある程度の重要性を有するその他のパラメータに応じて、各ノードが、コスト要因を付加することが可能な、より最新のコストメトリックを開発することを妨げるものではない。このパラメータは、ノード (またはエリア) に応じて非対称性に対処することもできる。

【0106】

セルラーシステムにおける運用

本発明は特にアドホックネットワークに適するが、本発明はまた例えばセルラーシステムにおけるマルチホッピングに適用することもできる。セルラーシステムにおけるマルチホップネットワークの運用には、アドホックネットワークにおける従来のルーティングと比較して異なる特性がある。まず第1に、トラフィックはアクセスポイントに入力され、アクセスポイントから出力されることが知られている。第2に、アクセスポイントは、送信電力が大きいことが知られている。この非対称性により、コストは、これらの特徴を計算に入れることになる。式 (8) のようにリンクコストメトリックにおけるこのノード依存の電力設定を使用することにより、ある程度の非対称性の取り扱いを保証することができる。

【0107】

図5は、セルラー通信システムの基地局構成におけるハンドオーバを含む経路選択の例を示す。図5に示す単純化した例示システムは、2つの基地局 (BS) と通信することができる移動局 (mobile station、MS) を含む。基地局は無線ネットワークコントローラ (radio network controller、RNC) または類似のネットワークノードなどのmobility anchor pointに接続する。関係するノードの少なくとも1つは無線マルチチャネル通信用のマルチアンテナ設備を有するものとする。各MS-BSリンクのコストは、移動局とそれぞれの基地局との間のマルチチャネル特性に基づいて決定する。好ましくは、基地局とmobility anchorノードとの間の通常の有線リンクのリンクコストは、リンクレートに基づくか、または固定の一定リンクコストCを割り当てることにより決定される。図5の例では、移動局からmobility anchor pointへの経路選択は2つのマルチホップ経路MS-BS1-RNCおよびMS-BS2-RNCの間の選択に変換される。標準的に最少累積コストを持つ経路を選択する。ある意味で、このようなセルラーネットワークの経路選択は、基地局間のハンドオーバ手順を含むことができる。換言すれば、ハンドオーバは、移動局とそれぞれの基地局と

の間のマルチチャネル特性に基づき、上述したように各MS-B Sリンクにそれぞれのコストを割り当て、それぞれの経路に沿って決定された累積リンクコストに基づいて、移動通信に使用する適切な基地局を選択する。さらに、基地局の負荷／残存空きリソース、電力リソースなどのその他の従来のハンドオーバー基準を考慮することも出来る。さらに、所謂ピンポン効果、即ち急速で、敏感すぎる往復交換を回避するヒステリシス機構を含むこともできる。ヒステリシス機構およびその他の基準は、勿論、より一般的なマルチホップの場合にも使用することができる。

【0108】

「ルーティング」という表現は、このように一般的な意味で少なくとも2回のホップを含み、そのうち少なくとも1回は無線ホップである一般的「マルチホップネットワーク」に関連して解釈すべきである。

10

【0109】

実装の側面

以下では、種々の高度なアンテナ方式をサポートするマルチホップネットワークのルーティングコスト決定のために、可能な信号通知手段および運用手段の実例を記載する。以下の例は分散運用および自発的ルーティングに向けられたものである注1（注1：ルートは連続的に、トラフィック動作とは独立に計算する）。

【0110】

一般的に、ネットワークの各ノードは一定間隔でノードの能力を通知する。これはアドホックネットワークに特有のものであり、ビーコンまたはハローメッセージと呼ばれるものが含まれる。本発明により送信することができる情報は以下のものを含む：

20

－高度なアンテナの信号処理容量。例えば、ノードが空間多重化MIMOであるか、時空間符号化されているか、または受信ダイバシティであるか、有効であるかといった情報

－ルーティングコスト情報が通知される

－リンクコストの決定がチャネルマトリックスの評価に基づいている場合には、マトリックスまたはベクトルチャネルの特性表現を可能にする複数のパイロットを有利に送信することができる。これは、ビーコンメッセージの送信と同時に行う必要はない

－あるいは、または補完として、アンテナ数に関する情報が送信される。

－アレイに関するその他の特性が送信されてもよい。例えば、アンテナ要素の間隔が密か粗か（アンテナ要素が空間的多重化に基づくMIMOかまたは従来の適応型ビーム形成を考慮するものであるかを本質的に通知する）、または複数の偏向ならびに円または直線偏向の使用に関する指示

30

－更に、ビーコン／ハローメッセージの送信局における特徴的な干渉が、他のノードに送信される。

【0111】

ノードがビーコン／ハローメッセージから受信する情報は以下の通りである：

－チャネルマトリックス評価が可能であれば、ノードはその1以上のアンテナの枝で1以上のパイロットを受信する。ノードは次にチャネル評価を行い、マトリックスまたはベクトルチャネルを（SISOが生じればSISOチャネルも）決定する。

－ノードは、チャネルマトリックス評価および／またはアンテナの数に関する情報に基づいて、潜在的には、サポートするアンテナアレイ通信方式などのアンテナアレイのその他の特性に基づいて、リンクメトリックを計算しルーティングコストを決定する。

40

－潜在的には、ビーコン／ハローメッセージの送信局に特徴的な干渉を、リンクコストの決定に利用することができる。

－ノードはルートの決定を行う

－パケットが利用可能である場合、ノードは決定したルートによりパケットの転送を行い、ルート決定処理や、1以上の直近のリンク特性、またはその組み合わせから決定される、電力および送信アンテナ加重などの送信パラメータを使用する。

【0112】

図6は、本発明の好適な実施形態によるネットワークノードの概要ブロック図である。

50

ネットワークノード100は基本的に送信／受信(TX/RX)モジュール10、ルーティング情報モジュール20、リンクコスト決定モジュール30、チャネル評価モジュール40、ルート決定モジュール50、およびパケット転送モジュール60を備える。送信／受信(TX/RX)モジュール10は、MIMO/MISO/SIMO、空間-時間符号化方式またはその他の高度なアンテナ方式に対する所望のアンテナ加重を指定するアンテナマトリックスによる多重アンテナ動作を構成する。送信／受信モジュール10は、標準的に、変調／復調および符号化／復号化機能ならびに必要であれば周波数変換機能を持つ。他のノードから受信するルーティングコストおよびアンテナ能力に関する情報をTX/RXモジュール10からルーティング情報モジュール20へ送信し、ルーティング情報モジュール20は、マルチホップコスト情報および、アンテナの数およびまた選択可能に使用されるアンテナ通信方式などのアンテナ機能の情報を保持する。リンクコスト決定モジュール30は、好ましくは2つのノード間リンクのマルチチャネル特性の関数としてリンクコストを決定するように構成される。これらマルチチャネル特性は、対象となるネットワークノード100のアンテナ数および相手ノードのアンテナ数により表すか、またはチャネルマトリックスの評価により表すことができる。チャネル評価モジュール40は、パイロット信号に基づくチャネル評価のために、または所謂「ブラインド」チャネル評価における「通常のデータ」に基づくチャネル評価のために使用することができ、マトリックス、ベクトルおよびスカラーのチャネル評価を扱うことができ、MIMO、MISO、SIMOおよびSISOチャネルの要求に応えることができる。評価したチャネルマトリックスに関する情報は、リンクコスト決定モジュールへ転送され、リンクコストの決定に使用される。ルート決定モジュール50は補足的マルチホップコスト情報を伴う決定リンクコストに関する情報を(使用するルーティングアルゴリズムに応じて)受信し、必要なルート決定手順を実行する。パケット転送モジュール60は、ネットワークにおけるさらなるパケット転送を担っており、これにより、受信バッファに一時的に格納する受信パケットデータを送信バッファに移し、他のネットワークノードへ送信するためのスケジューリングおよび新たなパケットへのカプセル化を行うことができる。パケット転送モジュール60は、またTX/RXモジュール10に使用する送信パラメータに関する指示を行うこともできる。これらのパラメータは、より最新のチャネル特性情報のために、ルート決定モジュール50またはチャネル評価モジュール40のいずれかから受信することができる(チャネル評価を使用して、適切な送信パラメータを見つける)。送信すべき(既に宛先アドレスを持つ)パケットのために、ルーティングテーブルに格納するルーティング情報による少なくとも(次ホップ)アドレス情報を準備する。当然、パケット転送モジュール60は、受信バッファのパケットデータを、例えば種々のノード内アプリケーションで使用するためにネットワークノードへ転送することができる。

【0113】

例えばベルマン-フォードアルゴリズムに基づく従来のパケット転送は、ただ1つの次ホップの選択のみが存在するという意味で一般に自明の転送方法である。しかしながら、シスコのIGRP(非特許文献3)、ランダム転送ルーティング(非特許文献4)、適切なルーティング(特許文献2、3)、選択ダイバシティ転送(特許文献4)およびエニキャスト(非特許文献5)およびさらに最近のマルチユーザダイバシティ転送(特許文献5)などの他の転送プロトコルは、ノードによる幾つかの選択可能なノードの中の1つに受信パケットを送信することができる。転送処理はそれ故に有望なノードの集合の中で行うべき自明でない選択を含む。これらの方式は転送決定に基づくルーティングFDBR(Forward-Decision Based Routing)と呼ばれ、その最も適合する形式の、即ち各転送段階で適合する判断を行うルーティングである。これらのより進化した転送プロトコルは、ベルマン-フォードのような最短経路プロトコルなどの基本となるルート／コスト決定プロトコルからのコスト情報に基づいて、動作することができる。特許文献2～5及び非特許文献5に記載されるように、リンク通信品質がフェージングのあるチャネルまたは予想不可能に変化する干渉レベルにより想定不可能に変化する場合に、これらの転送動作は有利に働き、非特許文献3および4は複数のノードおよび経路に負荷を分散する幾つかの利点

10

20

30

40

50

を提供する。

【0114】

特に、ダイバシティ転送プロトコルは、ダイバシティ転送により良くカスタム化するルート決定プロトコルに基づいて動作することもできる。本発明によるリンクコストの決定は、このようなカスタム化ルート決定プロトコルにおいて非常に有利に使用することもできる。

【0115】

計算例

図7は、正規化円形エリアに分散するノードによるコストツリーの計算例を示す概要図である。この特定の例では所定の宛先を円の中心に示し、コストツリーを宛先ノードから構築する。これは自発的ルーティングの場合に相当する。しかしながら、コストツリーを他の方法で、発信元から出発して望ましい宛先を探す、所謂反応型ルーティングのために構築することも可能であることを理解すべきである。コストツリーの計算では、リンクコストは、マルチチャネル特性を考慮して平均レートの逆数に基づいて決定していた。コストツリーは最短経路アルゴリズムに基づいて決定する。ノードは1と10との間の範囲で（ランダムに）種々のアンテナ数を有し、簡単化のため全てのノードは所定の送信電力により動作する（送信範囲を最上位のノードに対して示す）。図7は、本発明により提案するモデルが動作し、複雑な種々の数のアンテナが混在し、変化するチャネルタイプを扱うことができ、特に図7で仮定するSISO、MISOまたはMIMOチャネルの一部である、チャネル要素を相関および非相関の実現の間でランダムに選択することを示す。

【0116】

最終結論

要するに従来技術に対する利点は、本発明が各中継局（SISO、SIMO、MISOまたはMIMO）の任意のアンテナ数、相関／非相関に関する種々のチャネル特性、種々の多重アンテナ方式、種々の動作モード間の自動適合およびSISOとの完全な後方両立性を本来的にサポートする無線マルチホップネットワークにおけるルート決定を提供することである。

【0117】

以上に記述した実施形態は単に実施例として提示するものであり、本発明はそれに限定されるものではない。開示し、添付の特許請求の範囲で請求する基本となる原理を維持する、さらなる修正、変更および改良は本発明の範囲に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0118】

【図1A】ルートの決定過程において生成する従来のルーティングツリーの例を示す概要図である。

【図1B】発信元ノードと宛先ノードとの間のパケット転送を示す概要図である。

【図2】多様なアンテナ設備を持つノードが混在する完全無線のマルチホップネットワークの例を示す概要図である。

【図3】多様なアンテナ設備を持つノードが混在する部分的無線マルチホップネットワークの例を示す概要図である。

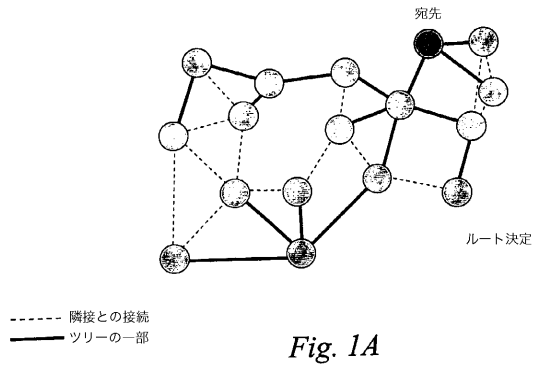
【図4】本発明の好適な実施形態によるリンクコストの決定およびルートの決定を含むデータのルーティング方法の概要フローチャートである。

【図5】基地局構成のハンドオーバーを含む経路選択の例を示す概要図である。

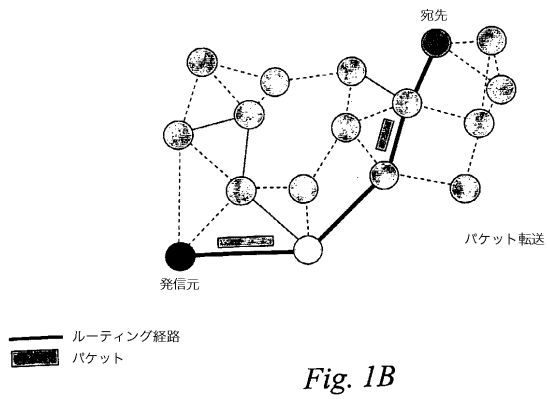
【図6】本発明の好ましい実施形態によるネットワークノードの概要ブロック図である。

【図7】正規化円形エリアに分散するノードによるコストツリーの計算例を示す概要図である。

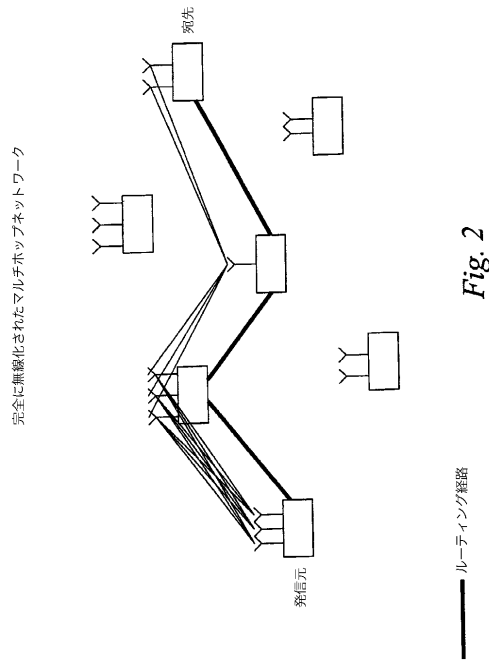
【図 1 A】



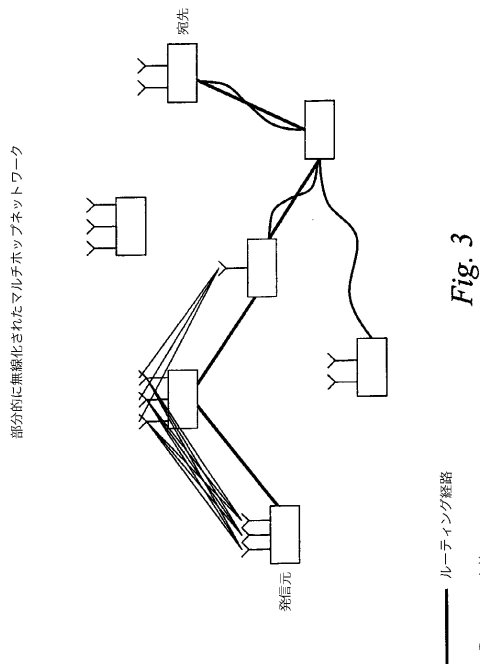
【図 1 B】



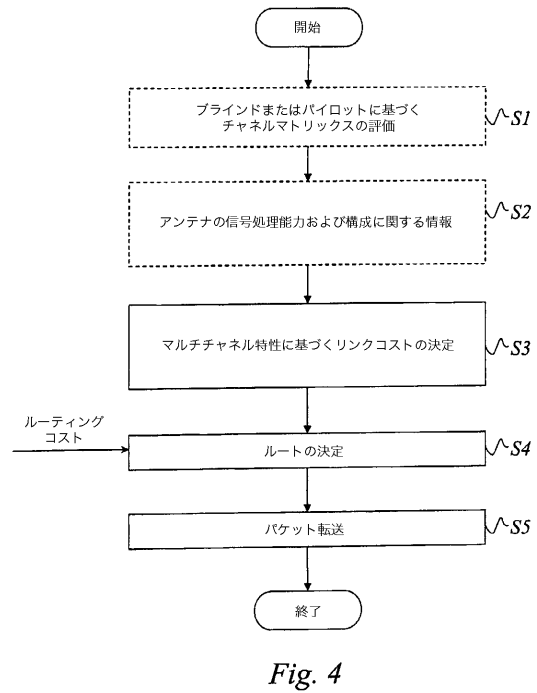
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

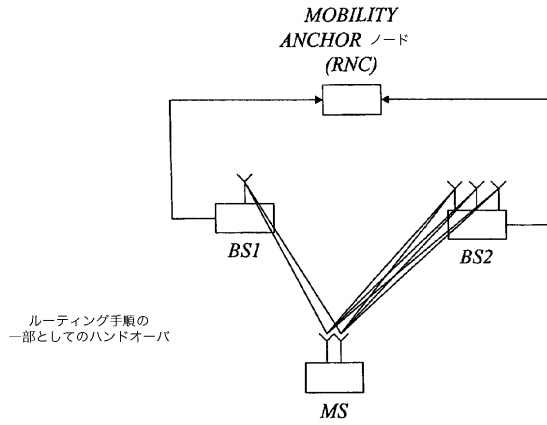


Fig. 5

【図 6】

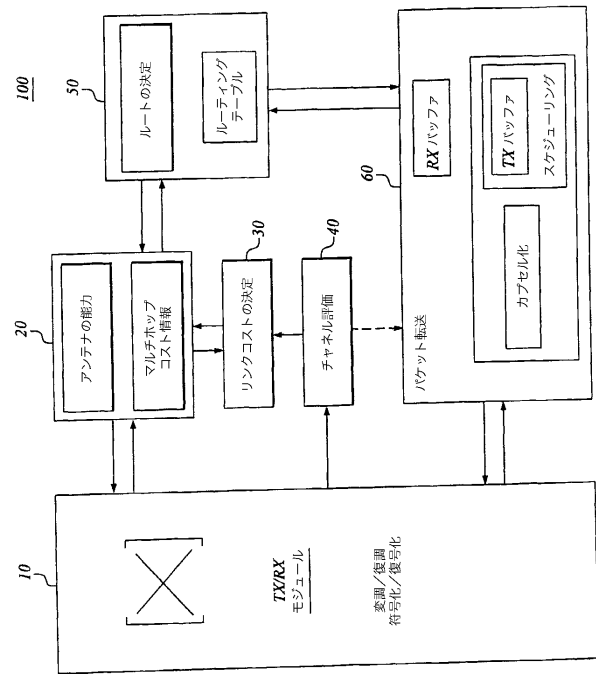


Fig. 6

【図 7】

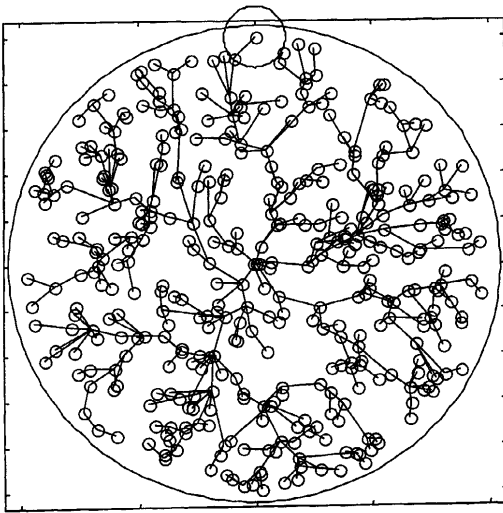


Fig. 7

フロントページの続き

(74)代理人 100134186

弁理士 川畑 洋平

(72)発明者 ラーション, ペーター

スウェーデン国 ソルナ エスー169 71, 1ティーアール, バロンガタン 2

(72)発明者 ヨハンソン, ニクラス

スウェーデン国 ソレンタナ エスー191 34, テナベーゲン 27エー

(72)発明者 フー, ロン

中華人民共和国 シーエヌーハンジョウ 310000, シャン チェン ディストリクト,
ジンジアン ジャ ユエン 1 ユエン, ビルディング 12, ユニット 3, ナンバー 4
01

(72)発明者 ジャン, ジャン

中華人民共和国 シーエヌーベイジン 100004, チャオヤン ディストリクト, シ バ
ハ, グオ ジャン シン ズオ アパートメント

審査官 保田 亨介

(56)参考文献 米国特許出願公開第2003/0161268 (US, A1)

特開2004-282757 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04L 12/00-12/66

H04W 74/08

H04W 84/12