

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4308022号
(P4308022)

(45) 発行日 平成21年8月5日 (2009.8.5)

(24) 登録日 平成21年5月15日 (2009.5.15)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 W 84/18 (2009.01)	HO 4 Q 7/00 6 3 3
HO 4 W 52/18 (2009.01)	HO 4 Q 7/00 4 3 7
HO 4 B 7/15 (2006.01)	HO 4 B 7/15 Z

請求項の数 18 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2003-577479 (P2003-577479)	(73) 特許権者	504056299
(86) (22) 出願日	平成15年3月12日 (2003.3.12)		メッシュネットワークス、インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2005-527139 (P2005-527139A)		アメリカ合衆国、フロリダ、メイトランド
(43) 公表日	平成17年9月8日 (2005.9.8)		、 ノース ケラー ロード 485、スウィート 250
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/007516	(74) 代理人	100066692
(87) 国際公開番号	W02003/079611		弁理士 浅村 皓
(87) 国際公開日	平成15年9月25日 (2003.9.25)	(74) 代理人	100072040
審査請求日	平成18年2月28日 (2006.2.28)		弁理士 浅村 肇
(31) 優先権主張番号	10/087,016	(74) 代理人	100091339
(32) 優先日	平成14年3月15日 (2002.3.15)		弁理士 清水 邦明
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100094673
			弁理士 林 拓三

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アドホック通信ネットワーク内の送信電力およびデータ速度の適応制御を提供するためのシステム並びに方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無線アドホック通信ネットワーク内で、発信元と宛先ノード間のリンク上を送信されるデータの電力レベルと速度の少なくとも1つを決定するための方法であって、前記発信元ノードは制御部を有し、前記制御部が

前記宛先ノードで受信されるように前記発信元ノードから送信された少なくとも2つのメッセージの特性に属し、前記宛先ノードから前記発信元ノードに提供される情報に基づいて、前記リンク内の経路損失を時間の関数として予測し、前記情報は前記宛先ノードから前記発信元ノードに送られた肯定確認 (ACK) メッセージと非肯定確認 (NACK) メッセージの少なくとも1つを有し、

前記宛先ノードでの雑音を表す雑音係数を決定し、

前記データが前記リンク上を前記発信元ノードから前記宛先ノードへ送信される前記電力レベルと速度の少なくとも1つを、前記経路損失と前記雑音係数に基づいて計算し、

前記計算は、前記電力レベルと速度の少なくとも1つを、前記予測される経路損失、前記雑音係数、前記メッセージにより経験される短期間フェージング、及び前記宛先ノードの受信機感度に基づいて計算することを含む、

前記方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載の方法において、

前記計算が、前記経路損失と前記雑音係数に基づく前記電力レベルを計算し、前記計算

された電力レベルに基づく前記速度を決定することを含む、前記方法。

【請求項 3】

請求項 1 記載の方法において、

前記雑音係数の決定が、前記宛先ノードから前記発信元ノードに、前記発信元ノードから送信される各々の複数の前記メッセージに応じて提供されるそれぞれのメッセージ情報に基づく前記雑音係数を動的に決定する、前記方法。

【請求項 4】

請求項 3 記載の方法において、前記雑音係数決定が、

前記雑音係数を実現するような前記複数のメッセージのために、前記それぞれのメッセージ情報に基づく推定雑音係数を増加または減少させることを含む、前記方法。

10

【請求項 5】

請求項 1 記載の方法が更に、

前記宛先ノードの前記受信機で受信される前記メッセージにおける強度の標準偏差に基づく前記短期間フェージングを計算することを含む、前記方法。

【請求項 6】

請求項 1 記載の方法が更に、

特定のデータ速度で前記メッセージの情報 1 ビットを送信するために前記発信元ノードにおいて使用されるエネルギーに基づく前記受信機感度を計算することを含む、前記方法。

【請求項 7】

請求項 1 記載の方法において、

前記雑音係数の決定が、前記宛先ノードの受信機が受信する前記メッセージの正確性レベルに基づく前記雑音係数を決定する、前記方法。

20

【請求項 8】

請求項 1 記載の方法が更に、前記制御部が

前記計算された電力と前記速度に基づく、前記メッセージが前記発信元ノードから前記宛先ノードへ送信されるリンク品質を計算することを含む、前記方法。

【請求項 9】

請求項 1 記載の方法において、

前記計算が、前記発信元ノードにおいて前記メッセージの 1 ビットの情報を送信するために送信機で使用されるエネルギー量に基づく前記データ速度を計算する、前記方法。

30

【請求項 10】

コンピュータでの作動時において、請求項 1 の方法のステップを実行するように適合されている指令を含むコンピュータ読み取り可能媒体。

【請求項 11】

無線アドホック通信ネットワーク内で、発信元と宛先ノード間のリンク上を送信されるデータの電力レベルと速度の少なくとも 1 つを決定するための方法であって、前記発信元ノードは制御部を有し、前記制御部が

前記宛先ノードで受信されるように前記発信元ノードから送信されたメッセージの特性に属し、前記宛先ノードから前記発信元ノードに提供される情報に基づいて、前記リンク内の経路損失を計算し、前記情報は前記宛先ノードから前記発信元ノードに送られた肯定確認 (ACK) メッセージと非肯定確認 (NACK) メッセージの少なくとも 1 つを有し

40

、前記宛先ノードでの雑音を表す雑音係数を決定し、

前記データが前記リンク上を前記発信元ノードから前記宛先ノードへ送信される前記電力レベルと速度の少なくとも 1 つを、前記経路損失、前記雑音係数、前記メッセージにより経験される短期間フェージング、及び前記宛先ノードの受信機感度に基づいて計算する、

前記方法。

【請求項 12】

50

請求項 1 1 記載の方法が更に、

前記宛先ノードの前記受信機で受信される前記メッセージにおける強度の標準偏差に基づく前記短期間フェーディングを計算することを含む、前記方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 1 記載の方法が更に、

特定のデータ速度で前記メッセージの情報 1 ビットを送信するために前記発信元ノードにおいて使用されるエネルギーに基づく前記受信機感度を計算することを含む、前記方法。

【請求項 1 4】

コンピュータでの作動時において、請求項 1 1 の方法のステップを実行するよう適合されている指令を含むコンピュータ読み取り可能媒体。

10

【請求項 1 5】

請求項 1 記載の方法において、前記予測ステップが、前記情報のより古いものをより新しいものに対して、より重要でないと扱う忘却係数を備える方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 記載の方法において、前記予測ステップは、各対応メッセージの特性を表す前記各対応情報に対して、前記忘却係数の対応する値を適用して、前記情報に前記パス損失を予測した重みをつける方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 記載の方法において、前記忘却係数の対応する値が、0 と 1 の間の値を有する方法。

20

【請求項 1 8】

請求項 1 記載の方法において、前記リンク上に前記データを送信するためのエネルギー量が最小になるよう、送信電力レベルとデータ速度を計算する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、通信信号が無線アドホック通信ネットワーク内のノード間で送信される、送信電力とデータ速度を適応的に制御するためのシステム並びに方法に関する。更に詳細には、本発明は通信信号が無線アドホック通信ネットワーク内のノード間リンク上を送信される適切な送信電力およびデータ速度を、リンク内の経路損失の変動、フェージング条件、雑音レベル推定およびリンク全体の品質に基づいて選択するためのシステム並びに方法に関する。

30

【背景技術】

【0 0 0 2】

(関連技術の説明)

近年、「アドホック」ネットワークとして知られる、移動体通信ネットワークの形式が発展してきている。この形式のネットワークでは、各使用者端末（以降「移動体ノード」と言う）は他の移動体ノードの基地局またはルータとして動作可能であり、従って基地局の様な固定インフラの必要が無い。それ故、発信元移動体ノードから宛先移動体ノードへ送られるデータ・パケットは、宛先移動体ノードに到達する前に、典型的に多数の中間移動体ノードを通してルーティングされる。アドホック・ネットワークの詳細は、米国特許第 5, 9 4 3, 3 2 2 号、メイヤー(Mayor)に付与、に記載されており、その全内容は引用してここに編入されている。

40

【0 0 0 3】

更に複雑なアドホック・ネットワークもまた開発されており、それは移動体ノードが従来のアドホック・ネットワークと同様に互いに通信することに加えて、更に移動体ノードが固定ネットワークにアクセスすることが可能であり、従って他の形式の使用者端末、例えば公衆電話交換網(PSTN)およびインターネットの様な他のネットワークと通信出来るようにしている。これらの形式のアドホック・ネットワークの詳細は、米国特許番号

50

第7, 072, 650 B2号、名称「PSTNおよびセルラ・ネットワークとインタフェースされたアドホック・ピアツーピア移動体無線接続システム」、2006年7月4日発行、米国特許番号第6, 807, 165号、名称「個別予約チャンネルを具備した共有並列データ・チャンネルへの調整チャンネル接続を有する、アドホック・ピアツーピア移動体無線ネットワーク用、時分割プロトコル」、2004年10月19日発行、および米国特許明番号第6, 873, 839号、名称「アドホック・ピアツーピア移動体無線接続システム用優先順位付けルーティング」、2005年3月29日発行に記載されており、前記特許文書は引用してここに編入される。

【0004】

当業者に理解されるように、1つのノードがパケット化されたデータを宛先ノードに送る際、このノードは典型的にそのルーティング表をチェックしてその宛先ノードがそのルーティング表に含まれているか否かを判別する。その宛先ノードがそのノードのルーティング表に含まれている場合、そのデータは宛先ノードへ繋がる経路を経由して送信される。その宛先ノードがそのノードのルーティング表内に記載されていない場合、そのパケットはそのノードのルーティング表内に記載されている1つまたは複数のノードに送られ、そしてそれらのノードはその宛先表が彼らのルーティング表内に記載されているか否かを判定する。この処理手順は、データ・パケットが最終的に宛先ノードに届くまで継続される。

10

【0005】

これらの形式のアドホック・ネットワークでは、1つの局から他へ送信されるデータは悪条件の影響を受ける。これらの条件は送信データが宛先局で正しく受信されることを妨げる可能性がある。信頼性の高いデータ送信を提供するために、送信電力とデータ速度が適切なレベルに調整されなければならない。もちろん高い送信電力と低いデータ速度は、信号が受信局で高い信頼性で受信されることを保証するが、これらはネットワーク動作に対して負の影響を与えることなく使用することは出来ない。例えば、高送信電力は送信信号が送信機から遠く離れた距離で受信されることを可能とするため、同一周波数チャンネルをその高電力送信信号の範囲内で他の局間での別の接続を行うために使用することを妨げる。更に、低データ速度での送信は通常、高データ速度よりも高いエネルギーを使用する一方、より高いデータ速度で迅速に送信出来るものと同一データ量を送信するためにはより長い時間を必要とする。

20

30

【0006】

従って、無線アドホック通信ネットワーク内のノード間リンク上で通信信号が送信される、最適な送信電力およびデータ速度を選択するためのシステム並びに方法に対する要望が存在する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の1つの目的は、無線アドホック通信ネットワーク内のノード間で、通信信号が送信される送信電力とデータ速度を適応的に制御するためのシステムおよび方法を提供することである。

40

【0008】

本発明の別の目的は、無線アドホック通信ネットワーク内のノード間で、通信信号が送信される適切な送信電力とデータ速度を選択するためのシステムおよび方法を、リンク内の経路損失の変動、フェージング条件、雑音レベル推定および総リンク品質のような要因に基づいて提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

これらおよびその他の目的は、無線アドホック通信ネットワーク内の発信元および宛先ノード間のリンク上を、データが送信される電力レベルおよび速度を決定するためのシステム並びに方法を提供することにより、実質的に実現される。このシステム並びに方法は

50

、リンク内の経路損失を発信元ノードに宛先ノードから与えられた、発信元ノードから送信され宛先ノードで受信されたメッセージの特性に付随する情報に基づいて計算し、宛先ノードでの雑音係数を判定し、データがリンク上を発信元ノードから宛先ノードへ送信される電力レベルと速度とを、経路損失と雑音係数に基づいて計算する操作を実施する。更に詳細には、計算操作では電力レベルを経路損失と雑音係数に基づいて計算し、速度を計算された電力レベルに基づいて決定する。更に、経路損失は前記リンクの条件が時間と共に変化する毎に、ダイナミックに計算される。

【実施例】

【0010】

本発明のこれらおよびその他の目的、特長および新規な特徴は、以下の詳細な説明を添付する図面とともに読むことにより更に容易に理解されるであろう。

【0011】

(好適な実施例の詳細説明)

図1は本発明の1つの実施例を採用した、アドホック・パケット交換無線通信ネットワーク100の例を図示するブロック図である。特に、ネットワーク100は複数の移動体無線使用者端末102-1から102-n(一般的にノードまたは移動体ノード102と呼ぶ)、とノード102に対して固定ネットワーク104へのアクセスを提供する複数のアクセスポイント106-1, 106-2, . . . 106-n(一般的にノードまたはアクセスポイント106と呼ぶ)を有する、固定ネットワーク104を含む。固定ネットワーク104は、例えば1つのコア・ローカル接続ネットワーク(LAN)、および複数のサーバおよびゲートウェイ・ルータを含み、ノード102に対して他のネットワーク、例えば他のアドホック・ネットワーク、公衆電話交換網(PSTN)およびインターネットへの接続を提供する。ネットワーク100は更に複数の固定ルータ107-1から107-n(一般的に固定ルータ107と呼ぶ)を含み、これは他のノード102, 106または107間でデータ・パケットをルーティングするためのものである。

【0012】

当業者に理解されるように、ノード102, 106および107は互いに直接、またはノード102間で送信されるデータ・パケットの1つまたは複数のルータとして機能する1つまたは複数の他のノード102, 106または107を経由して通信することが可能であり、このことはメイヤー(Mayor)の米国特許第5,943,322号、および先に参照した米国特許明細書シリアル番号第09/897,790, 09/815, 157号および08/815,164号に記載されているとおりである。特に、図2に示すように、各ノード102, 106および107は、トランシーバ108を含み、これはアンテナ110に結合されていて、パケット化されたデータ信号の様な信号を、制御装置112の制御のもとノード102, 106または107の間で送受信することが可能である。パケット化されたデータ信号は、例えば音声、データまたはマルチメディアを含むことが出来る。

【0013】

各ノード102, 106および107は更に、ランダム・アクセス・メモリ(RAM)のようなメモリ114を含み、これはネットワーク100内のそれ自身および他のノード102, 106または107に属するルーティング情報を格納することが可能である。ノード102, 106および107は、ルーティング・アドバーティスメントまたはルーティング・テーブル情報と呼ばれるそれぞれのルーティング情報を、互いにブロードキャスト機構を経由して互いに周期的にやりとりしているが、これは例えば新たなノード102がネットワーク100に参入した時点、またはネットワーク100内の既存ノード102が移動した時に行われる。ノード102, 106または107はそのルーティング・テーブル更新をブロードキャスト(broadcast)し、近くのノード102, 106または107はこのブロードキャストされたルーティング・テーブル更新を、ブロードキャストしたノード102, 106または107のブロードキャスト範囲(例えば無線周波数(RF)範囲)内にある場合にのみ受信する。例えば、ノード102-6がそのルーティング・テ

ーブル情報をブロードキャストした際に、ノード102-1, 102-2および102-7がノード102-6のRFブロードキャスト範囲内であると仮定すると、その情報はノード102-1, 102-2および102-7で受信される。しかしながらノード102-3, 102-4および102-5から102-nがブロードキャスト範囲外である場合、これらのいずれのノードも、ノード102-6からのブロードキャスト・ルーティング・テーブル情報を受信しない。

【0014】

本発明の1つの実施例に基づきノード102, 106または107内で他のノード102, 106および107ヘデータ・パケットの送信を制御する方法を次に説明する。特にノード102, 106または107が他のノードヘデータ・パケットを送信する際、送信側ノード102, 106または107の制御装置112は、トランシーバ108を制御して、データ・パケットを特定の送信電力およびデータ速度で送信する。送信電力の適応制御(ATP)は送信側ノード102, 106または107の制御装置112で実行されるアルゴリズムであって、これは出来るだけ少ないエネルギーが使用される一方、対応する側で最も信頼性のある受信を保証するために用いられる送信電力とデータ速度を識別することができねばならず、ここで以下に説明する。

【0015】

例えば、図3はアドホック環境下での、発信元端末と宛先端末と識別される2つの局(例えば、図1のノード102, 106または107)間の、典型的なデータ送信を示す。接続の各端部での受信は悪条件の影響を受けうる。発信元端末および宛先端末間で、信号強度は伝搬による損失(すなわち、自由空間損失)および環境上の吸収(すなわち、草木、建物、固定または移動物体)を受ける。更に、受信される信号と同一周波数帯で信号または雑音を送信する電磁放射源は受信信号に悪影響を与える。加えて、受信される信号は複数ルートを通して到着するため、これは信号フェージングを引き起こす。概略すれば、送信されたメッセージが常に正しく受信するのを妨げる多くの条件が存在するということである。

【0016】

当業者に理解されるように、発信元端末が宛先端末へ送信すべき何らかのデータを持っている場合、発信元端末は送信準備完了(RTS: Ready to Send)メッセージを図3に示すように送る。宛先端末がそのデータを受信する準備が出来ている場合、これは送信可(CTS: Clear To Send)メッセージを返答する。しかしながら、その時点で利用可能なデータ・チャンネルが存在しない場合、この宛先端末は受信不可(NCTS: Not Clear to Send)メッセージを返答する。更に、宛先端末がRTS要求に返答しない場合も考えられ、これは宛先端末がRTS要求を受信しない場合であり、例えば宛先端末が異なるデータの受信または送信でビジー状態であるか、または宛先端末での信号干渉が非常に強い場合である。この状態で、発信元端末はランダム時間の後RTSメッセージを再送信する。

【0017】

宛先端末がCTSメッセージを返答した場合、発信元端末はデータ・チャンネルに同調しデータ送信を開始する。接続のもう一方の端では、宛先端末が同一データ・チャンネルに同調し、送信データの受信を開始する。

【0018】

データ転送が完了し、宛先端末がデータを正しく受信した場合には肯定確認(ACK)メッセージを、データ受信時にエラーが有る場合には非肯定確認(NACK)メッセージを、返信する。両メッセージとも受信メッセージの品質に関する情報、例えば受信信号強度指示(RSSI: Received Signal Strength Indicator)、検出後信号品質(PDSQ: Post Detection Signal Quality)、ビット・エラー率(BER: Bit Error Rate)および多重経路数(MPC: multipath count)を含む。しかしながら、RTSおよびCTSメッセージのやりとり成功した後、宛先端末が例えばsyncシーケンス中に他の近隣からの強い信号干渉または信号フェージングのために、いずれのデータも受信できない場合、この宛先端末は送信信号に同期することが出来ず、従って発信元端末にACKまたはNACKメッ

セージを返答することが出来ない。一定期間待った後、発信元端末は宛先端末から応答が無いと判定し（すなわち「無応答」状態）、ランダム遅れの後RTSメッセージを再送する。

【0019】

本発明の1つの実施例に基づくATPの役割は、発信元端末から宛先端末へデータを転送する際のデータ速度と送信電力とを、最高可能データ速度を使用し、最低エネルギーを使用し、送信電力とデータ速度が少なくとも宛先端末で90%の確率でメッセージが正しく受信されるように制御することである。当業者に理解されるように、100%の信頼性（すなわち、データを正しく受信する確率）は、無限のエネルギーを使用した場合にのみ実現できる、100%の信頼性は現実的ではない。本発明の1つの実施例に基づくATPは、各個別の送信に対して90%以上の信頼性を得るために必要なエネルギーを使用する。データ・パケットが宛先端末で受信されなかった時、同一データ・パケットはこの例では最大5回送信され、これはこのデータ・パケットが宛先端末で正しく受信される約99.999%の確率を実現する。

10

【0020】

電力送信エネルギーを決定するために、ATPは受信信号の品質に関するいくつかの要素、経路損失の動的変動、宛先端末でのフェージング・スパンおよび雑音レベルを計算または推定するが、これを以下に説明する。

【0021】

（経路損失）

20

【0022】

本発明の1つの実施例によれば、経路損失は受信信号の電力レベルとその受信信号を送信するために使用された電力との間の差として計算される。メッセージを送信するために使用された電力は宛先端末に関する履歴から分かり、宛先端末での信号強度はRSSI、PDSQおよびMPCで特徴付けられる。宛先端末は、宛先端末が発信元端末へ送るACKおよびNACKメッセージ内のRSSI、PDSQおよびMPCに属する情報を含む。

【0023】

受信信号のレベルはRSSIおよびPDSQ測定値に基づいて計算される。両測定値は宛先端末のトランシーバ108（図4参照）内のA/D変換器の読み値であり、この例では「0：31」の範囲にスケールされる。すなわち、この例では、ACKおよびNACKメッセージは各々RSSIおよびPDSQ測定値に5ビットが予約されており、これは32個の個別表現、すなわち00000（十進値「0」）から11111（十進値「31」）の範囲を可能としている。受信信号の強度は線形推定を用いて推定され、RSSIが大きな値を有する場合にのみRSSIデータから計算される。特に、当業者に理解され、また図4に示されるように、RSSI数は自動利得制御（AGC）信号の測定値であり、これは受信エネルギーの無線周波数（RF）増幅を制御する。

30

【0024】

特にAGCは、検出／復調時点で受信信号を可能な限り一定に維持する。第1A/D変換器はAGCの数値表現、これはRSSIである、を与える。検出段DETを離れる信号のレベルもまた第2A/D変換器でサンプリングされ、PDSQを与える。受信された信号が強い限り、PDSQは一定であるかあるいは比較的一定である。より高い受信信号は、より高いAGCおよびRSSIという結果を生ずる。しかしながら、受信信号が弱い場合にAGCおよびRSSIはゼロであり、PDSQは強い信号の受信の特徴である一定値より小さくなる。従って、RSSIが小さな値の時、PDSQがRSSIの代わりに、受信信号強度計算に使用される。

40

【0025】

（経路損失の動的変動）

【0026】

発信元および宛先端末間の瞬時経路損失は、信号が発信元端末から送信された時点での送信電力と、その送信信号が宛先端末で受信された時点での信号強度との差として計算さ

50

れる。この信号強度は宛先端末から発信元端末へ送られたACKまたはNACKメッセージ内で与えられた情報に基づき評価される。受信された信号を送信電力のレベルから減算することで経路損失の値が与えられ、これは自由空間損失と同様に上記の媒体で引き起こされる吸収を含む。移動体環境において、発信元と宛先端末との距離は連続的に変化し、これはまた経路損失の変化を意味する。ATPは経路損失の時間変化を下記の式の係数を推定することで予測しようと試みる：

【0027】

$$pl(t) = f_0 + f_1(t - t_0) \quad (1)$$

10

此処で

t_0

は第1メッセージが宛先端末へ送信された時刻であり、また

t

20

は現在のメッセージが送られた時刻である。この式の係数

f_0 および f_1

は当該分野で知られている最少二乗法(LSM)を用いて計算されるが、任意の線形または非線形モデルを使用できる。この方法はその範囲として2つのパラメータ

f_0 および f_1

30

の値を求めることを含み、これらの値に対して、

【0028】

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (f_0 + f_1(t_i - t_0) - pl(t_i))^2 \quad (2)$$

が最も小さな値(シグマの最小値)を有する。シグマの最小値は

40

f_0 および f_1

に関する微分値がゼロとなる時に得られる。この条件は、以下に説明されるように2つの未知変数を含む2元連立方程式を与える。この連立方程式を解くことにより、2つのパラメータ

f_0 および f_1

50

の値を与える。

【0029】

2つの隣接局（例えば発信元と宛先端末）間の接続が長時間有効な場合、LSM行列式の要素が非常に大きくなり、新たなデータを考慮することをほぼ不可能とする。一方、旧データはもはや正確である必要はなく、現在の判定を行うために使用されるべきではない。従って、ATPは「忘却係数」を採用しており、これはATPアルゴリズムは或る時間以前に収集された情報を忘れることを可能とし、これは次に説明するように各測定値に時間と共に減少する可変重みを与えることによりなされる。

【0030】

特に、時刻

t_n

において、瞬時経路損失は

pl_n

である。その時点でLSM行列式は4つの要素

$a_{1,1}^{(n)}, a_{1,2}^{(n)}, a_{2,1}^{(n)}, a_{2,2}^{(n)}$ および右項 $b_1^{(n)}, b_2^{(n)}$

を有する。

n

個の測定値を受け取った後、各々の測定値に重み付けを行う特性

$0 < w < 1$

を具備した忘却係数

w

を用いた関連するLSMの行列式は、以下ようになる：

【0031】

10

20

30

40

$$\begin{aligned}
 a_{1,1}^{(n)} &= \sum_{i=0}^n w^{n-i} \\
 a_{1,2}^{(n)} &= a_{2,1}^{(n)} = \sum_{i=0}^n (t_i - t_0) w^{n-i} \\
 a_{2,2}^{(n)} &= \sum_{i=0}^n (t_i - t_0)^2 w^{n-i} \\
 b_1^{(n)} &= \sum_{i=0}^n p l_i w^{n-i} \\
 b_2^{(n)} &= \sum_{i=0}^n p l_i (t_i - t_0) w^{n-i}
 \end{aligned} \tag{3}$$

10

【 0 0 3 2 】

処理は連続しており、行列式は新たなデータの組を受け取る度に更新され無ければならない。また、先の式の再帰的形式は次のようになる：

【 0 0 3 3 】

$$\begin{aligned}
 a_{1,1}^{(n)} &= a_{1,1}^{(n-1)} w + 1 \\
 a_{1,2}^{(n)} &= a_{2,1}^{(n)} = a_{1,2}^{(n-1)} w + (t_i - t_0) \\
 a_{2,2}^{(n)} &= a_{2,2}^{(n-1)} w + (t_i - t_0)^2 \\
 b_1^{(n)} &= b_1^{(n-1)} w + p l_i \\
 b_2^{(n)} &= b_2^{(n-1)} w + p l_i (t_i - t_0)
 \end{aligned} \tag{4}$$

20

【 0 0 3 4 】

一般的な場合、L S M行列式の

 $a_{l,l}$

30

要素は計算で考慮される測定値の個数に等しい。しかしながら、本実施例において、ステップ n での

 $a_{l,l}$

の値は

$$a_{1,1}^{(n)} = \sum_{i=0}^{n-1} w^i = \frac{1-w^n}{1-w}$$

40

に等しい。

 n

の値が非常に大きい場合、

50

$$w < 1$$

であるため、

$$a_{1,1}$$

要素の値はほぼ

10

$$a_{1,1}^{(n)} = \frac{1}{1-w}$$

に等しくなる。

これは此処で提示されている「忘却」処理手順は、L S Mにサイズ

$$s = 1/(1-w)$$

20

のスライド型ウィンドウに関連するデータを与えるのとほぼ等しい効果を有することを意味する。言葉を変えるとサイズ

$$s$$

のスライド型ウィンドウが経路損失を計算するために使用される場合、「忘却係数」の値はサイズ

$$w = (s-1)/s$$

30

を有するウィンドウに等しく無ければならない。それにも係わらず、本発明の実施例に基づく技術は、スライド型ウィンドウとほぼ同じ結果を与え、処理はより速く、また古いデータを保存する必要が無い。それにも増して、最も新しく収集されたデータが2つのパラメータ

$$f_0 \text{ および } f_1$$

40

の値を計算する際に古いデータよりも高い重みを有する。先に説明したように、「忘却係数」は1未満で1に非常に近い正の値である。1000個の測定値のウィンドウに対して、「忘却係数」のサイズは

$$w = (1000-1)/1000 = 0.999$$

である。

$$【0035】$$

(短期間フェージングの期間)

$$【0036】$$

50

1つの測定値と他の測定値の間で、経路損失は非常に変動する。特に、当業者に理解されるように、これらの変動は複数の要因で引き起こされ、それらには発信元と宛先端末間の距離の変化速度、発信元と宛先端末との間で移動する種々の物体の速度などが含まれる。この変動はランダム特性を有するが、その標準偏差は長時間に渡って比較的一定である。

【0037】

先に説明したやり方で

f_0 および f_1

10

係数を計算した後、ATPは最終測定値の誤差を識別し、これは先の式(1)で計算された経路損失と、宛先端末から与えられたフィードバック(すなわち、RSSIとPDSQ)から計算された経路損失の差として表され、次に誤差の標準偏差を計算する。信号期間の大きさは個々の測定値の標準偏差から計算され、これは急激な変動を防止するために無限入力フィルタ(IIF: Infinite Input Filter)でフィルタリングされる。

【0038】

(雑音レベル推定)

【0039】

宛先端末が雑音源に近い場合、受信信号は2つの方法で影響される:(a)メッセージの全てのビットが正しく受信されるとはかぎらない、(b)高レベルの電磁放射のためにRSSIの値が正常値よりも大きい。次に図5の流れ図および図6に示すグラフに関連して説明するように、ATPは宛先端末での雑音レベルを、先に説明した「ACK」事例とは対照的に、「NAK」および「NO RESPONSE」事例の頻度に基づいて推定しようと試みる。

20

【0040】

流れ図のステップ1000に示すように、雑音は新たなデータが受信される毎に値が変化する、3つの変数を用いて推定される。これらの変数は雑音レベル、上方訂正(the upward connection)および下方訂正(the downward connection)である。雑音レベル変数は現在推定された雑音レベルを示す。推定された雑音は実際のレベルより小さいか、実際のレベルより大きい、またはほぼ正しい場合がある。上方および下方訂正は下限値で制限されており、この例では上方訂正に対して0.1dBまた下方訂正に対して0.0001dBである。この例での雑音レベル変動はゼロから始まる。これらの変数の値は、推定された雑音レベルと実際の雑音レベル間の関係の指標である。これらの変数の2つ以上が常にその最低制限値よりも大きいと言うことは無い。上方訂正がその最低値よりも大きい場合、その推定された雑音はおそらくその実際の雑音レベルよりも小さいはずである。しかしながら、その下方訂正がその最低値よりも大きい場合、その推定された雑音はおそらく実際の雑音レベルよりも大きい。両変数がその最低制限値の場合、対応する現場に重大な雑音は存在しない。これらの訂正の値は発生する状況(好ましいか好ましくないか)の形式に基づいて、以下に説明するように連続的に変化する。

30

40

【0041】

好ましい状況(例えば、発信元端末がACKメッセージを受信する)がステップ1010で発生する場合、発信元端末の制御装置112が取る行動は、上方訂正の値に依存する。ステップ1020で上方訂正がその最低制限値(すなわち0.1)より高いと判断されると、その上方訂正はその半分(またはその他の任意の好適な係数)に減じられ、ステップ1030で雑音レベルから減算される。ステップ1040において、雑音レベルはステップ1030で計算された雑音レベルが負の場合はゼロと判定されるか、またはステップ1030で計算された雑音レベルが正の場合、正と判定される。しかしながら、雑音レベルは負となることは出来ず、また最大雑音レベルMAX_NOISE、これは任意の好適な値、例えば50dBを超えることは出来ない。これらの条件は、関数 $\max(0, \min(\text{nois}$

50

e, MAX_NOISE)としてステップ1040内で表される。ステップ1020で上方訂正が最低制限値以下の場合、ステップ1050において上方訂正は0.1にリセットされ、雑音レベルは下方訂正により減じられ、その下方訂正は10%ずつ、あるいはその他の任意の好適な係数ずつ減じられる。雑音値はステップ1040で選択され、ATPはステップ1060で別のメッセージを待機する。処理はステップ1010へ戻り、別のメッセージが受信される場合に繰り返す。

【0042】

これに対して、好ましくない状況（例えば、発信元端末がNACKメッセージを受信するかまたはNO RESPONSEが検出される）がステップ1010で発生すると、処理はステップ1070へ進み、此处で上方訂正の値は二倍され（またはその他の好適な係数だけ増加され）、雑音レベルに加算される一方で、下方訂正はその最低制限値0.0001にリセットされる。次に処理はステップ1040へ進み、此处で雑音レベルが先に説明されたように決定され、次にはステップ1060へ進み、別のメッセージの受信を待つ。

10

【0043】

この説明から理解できるように、このアルゴリズムは雑音レベルの推定値を2の累乗（または他の好適な係数）で指数関数的に増加させるステップにより検索する。従って、雑音レベルは好ましくない状況のシーケンスが発生した場合、迅速に同定することができる。一度雑音レベルが同定されると、しばらくの間このアルゴリズムは雑音レベル推定をほぼ一定に維持する。その後このアルゴリズムは、推定雑音レベルをゆっくりと減じることにより、その雑音源が未だアクティブであるか否かを判定しようという試みを開始する。この試みが成功すると、この減少速度は新たな雑音レベルが発見されるかまたは推定雑音レベルがゼロとなるまで増加される。

20

【0044】

明らかに雑音レベル値の推定は、連続的に変化するが、それは各ステップにおいて、2つの訂正値の1つが前回雑音レベル値に加算されるかまたは減算されるためである。実際2つの訂正値は指数関数的変動を有し、雑音レベルが正しく同定されると、これらは非常に小さな値を有する。従って、雑音レベルが正しく同定されると、雑音レベルに与えられるこれらの訂正値は非常に小さくなり、実用的な重要性は持たない。

【0045】

図6は図5の流れ図に関して先に説明した雑音検出処理プロセスが、雑音レベルを動的に推定するために使用された場合の例を図示するグラフである。例えば第1メッセージに対して、宛先端末での実際の雑音は宛先端末に対してNACKメッセージを発信元端末へ送らせる。次に上方訂正は $(0.1 * 2)$ または0.2にステップ1070で設定され、ゼロである初期推定雑音値に加算されると、雑音値は0.2となる。次に発信元端末は送信電力を以下の「電力計算」章で説明するように、第2メッセージを送信する際に調整する。しかしながら、実際の雑音は未だ宛先端末に対して、発信元端末にNACKメッセージを送らせる。次に上方訂正は $(0.2 * 2)$ または0.4にステップ1070で設定され、前回メッセージに対して計算された0.2の雑音レベルに加算されて、新たな雑音値は0.6となる。

30

【0046】

この処理は図示されるように、電力レベルが結果として宛先端末がACKメッセージを発信元端末に送るようなレベル（すなわち、この例では+12dBである実際の雑音レベルを補償する）に調整されるまで繰り返される。この例では、これは第6番目メッセージが送られる時点で発生し、これは結果として上記の計算によれば12.6dBの推定雑音値となる。従って、第7番目メッセージが送られるとき、電力レベルは宛先端末が結果としてACKメッセージを送るのに十分である。図5に示される処理は、従ってステップ1010からステップ1020へ進み、上方訂正値が6.4まで上昇し、これは0.1以上であるため、処理はステップ1020からステップ1030へ進む。次に上方訂正値は半分の3.2にされ、雑音値から減算され、結果として $(12.6 - 3.2)$ または9.4の雑音値となる。従って第8番目メッセージを送るための電力レベルは減じられる。しか

40

50

しながら、電力レベルが過剰に低くされたため、NACKメッセージが宛先端末から送られるはずである。この結果、処理はステップ1070へ進み、此处で上方訂正值は2倍の6.4にされ、9.4の雑音レベルに加算されて結果として15.8の雑音レベルとなる。

【0047】

従って第9番目メッセージを送るために電力が増加されると、電力レベルは宛先端末がそのメッセージを受信してACKメッセージを発信元端末に送信するのに十分なものとなる。従って、処理はステップ1010からステップ1020、ステップ1030へと進み、此处で6.4の上方訂正值が半分の3.2とされ、15.8の雑音値から減算され、結果として12.6の雑音値となる。次のメッセージ用の電力レベルが未だACKメッセージが受信されるものであることに注意されたい。従ってそのメッセージに対して、処理はステップ1010からステップ1020、ステップ1030へと進み、此处で上方訂正值が再び半分の1.6とされ、雑音値から減算される。従って雑音値は11.0へ減じられる。しかしながら、図6のグラフおよび図5の流れ図から理解されるように、推定された雑音値は実際の雑音値に安定し、この例では+12dBである。上方訂正值が十分な回数1/2とされて最低制限値の0.1未満とされると、処理がステップ1020に達した際に、これはステップ1050へ進み、此处で下方訂正が使用されて、雑音値をより小さな値に減じる。

【0048】

以上より理解されるように、雑音源が急に動作することにより最初の10個のメッセージの内の7個が宛先端末で受信されることを阻害される。その瞬間から信頼性は90%以上に増加される。図6に示されるように、受信機感度の+12dB以上の雑音が宛先端末で、最初の50個のメッセージの間受信される。その残りの時間に雑音は存在しない。すなわち、この例では宛先端末での雑音は、第50番目のメッセージが送信された時点で消滅する。第50番目メッセージが送信された時点で雑音は止まるが、図5の流れ図に示す雑音推定器の性質として、影響を受けない30個の後続メッセージの後にのみ推定雑音レベルの急激な減少を開始する、すなわち第80番目メッセージの開始からであるが、それは下方訂正值の大きさが小さく、各メッセージに対して少量（すなわち10%）ずつ増やされるためである。

【0049】

（電力計算）

【0050】

ATPは理論的送信電力を推定雑音レベル（10%ずつ増加される）、指定された時点での経路損失、最大データ速度での受信機感度（すなわち、雑音フロー）およびフェージング・スパンの2倍の和として計算する。フェージング・スパンは経路損失の標準偏差に等しいか、またはほぼ等しいので、その値の2倍を使用することで、下記の式で示されるように、受信機感度より高いレベルで95.4%のメッセージが受信される確実性が与えられる：

【0051】

$$TTxP(t) = noise * 1.1 + pl(t) + NoiseFloor(6) + 2 * Span \quad (5)$$

【0052】

理論的送信電力は送信機が供給できる最大電力以上の場合も、以下の場合もあり得る。
計算された送信電力

$$TxP(t)$$

は、それが送信機が供給できる電力範囲内の場合は、理論的送信電力に等しく、下記の式

で示される：

【 0 0 5 3 】

$$TxP(t) = \min(MAX_POWER, \max(MIN_POWER, TTxP))$$

$$FTxP(t) = \begin{cases} TxP(t) & TxP(t) > pFTxP \\ \frac{TxP(t) * \alpha + pFTxP}{1 + \alpha} & TxP(t) \leq pFTxP \end{cases} \quad (6)$$

$$\alpha = \begin{cases} highSpeed \Rightarrow 0.1 \\ slowSpeed \Rightarrow 0.007 \end{cases}$$

10

【 0 0 5 4 】

計算された送信電力

TxP

と前回送信で使用され、フィルタ処理された送信電力

$pFTxP$

20

との関係により、フィルタ処理された送信電力

$FTxP$

は送信電力から経路損失変動速度に関連する I I F を用いて計算されるか、またはそのままとするように考慮される。この非対称フィルタは急激な悪事象が発生したときに高い信頼性を維持できる。

30

【 0 0 5 5 】

(データ速度計算)

【 0 0 5 6 】

理論的送信電力が最大送信電力未満の場合、最大データ速度が使用され、理論的電力はフィルタ処理された

$FTxP$

送信電力に等しい。しかしながら、理論的送信電力

40

$TTxP$

が送信機が供給できる最も高い電力より大きい場合、過大電力はデータ速度 DR を低くすることで補償され、これは下記の式で示される通りである：

【 0 0 5 7 】

$$\begin{aligned}
 DR &= \begin{cases} TT_xP > MAX_POWER \Rightarrow RateIndex(TT_xP - MAX_POWER) \\ TT_xP \leq MAX_POWER \Rightarrow 6 \end{cases} \\
 RateIndex(p) &= \begin{cases} p \geq 6.021 \Rightarrow 3 \\ p \geq 3.01 \wedge p < 6.021 \Rightarrow 4 \\ p \geq 1.76 \wedge p < 3.01 \Rightarrow 5 \\ p < 1.76 \Rightarrow 6 \end{cases} \quad (7)
 \end{aligned}$$

【 0 0 5 8 】

RateIndex

10

関数の戻り値は、各データ速度に対するビット当たりの送信エネルギーの変換から定まる。速度指標 6 のデータ転送速度は 6 M B P S であり基準として使用される。速度指標 5 のデータ速度は 4 M B P S のデータ転送速度に関連する。4 M B P S での相対エネルギーは

$$10 \cdot \log_{10}(6/4) = 1.760913 \text{ dB}$$

20

である。その他の値は、速度指標 4 に対する 3 M B P S、速度指標 3 に対する 1.5 M B P S に対応する。より低いデータ速度は制御メッセージのみに使用され、データ転送には使用されない。

【 0 0 5 9 】

式 (7) に基づき計算されたデータ速度は、経路損失変化速度に固有のパラメータを具備した I I F を用いてフィルタ処理されることに注意されたい、またこれは下記の式に基づく：

【 0 0 6 0 】

$$\begin{aligned}
 FDR &= \frac{pFDR + DR * \beta}{1 + \beta} \\
 \beta &= \begin{cases} slowSpeed \Rightarrow .1 \\ fastSpeed \Rightarrow .05 \end{cases} \\
 TxDR &= \lceil FDR \rceil \quad (8)
 \end{aligned}$$

30

此処で送信データ速度

TxDR

40

はフィルタ処理されたデータ速度

FDR

の最高限度値である。例では低および高速の事例のみが示されているが、パラメータの計算は任意の個数の離散ステップ、または連続的適合が可能であることに注意されたい。

【 0 0 6 1 】

50

(電力およびデータ速度フィルタ処理)

【0062】

計算された電力およびデータ速度は、値がスムーズに変化するように I I F を用いてフィルタ処理される。データ速度フィルタは対称であるが、電力フィルタは非対称であり、環境の急激な悪化には素早く対応し、回復はゆっくりと行うことにより、接続の信頼性を少なくとも 90% に維持している。

【0063】

(高速および低速移動)

【0064】

上記の通り、A T P は送信電力およびデータ速度のフィルタ処理を行うために 2 組のパラメータを使用する。適切なパラメータの組の選択は

10

f_i

の値の依存し、これは上記のように経路損失の変動を表す。

$$|f_i| \geq .0015 \text{ dB/ms}$$

の場合、この経路損失は高速で移動する自動車が原因であると考えられる。「高速」および「低速」移動の間の区別は、制御の全体的品質を改善する。

20

【0065】

(リンク品質)

【0066】

上記の送信電力およびデータ転送速度の決定に加えて、A T P は更に発信元と宛先端末間のリンクの品質に関する情報を提供する。この情報は数秒後のリンクの活性動作を予測したり、そのリンクを通信ルートに参加させるかを考慮する際に使用できる。

【0067】

リンク品質

30

ILQ

の指標は次のように定義される：

【0068】

$$ILQ(t) = MAX_POWER - FTxP(t) + 6.02 - Gain(TxDR)$$

【0069】

図 5 のグラフに示されるように、

40

ILQ

は 6.02 (最速データ速度を使用する場合の利得) 分加算された最大電力から、実際に使用された送信電力と dB に変換された実際の利得を引いたものに等しい。

ILQ

50

はそのリンクに対して使用されていない理論的電力の量を示す。この測定値はリンク抵抗値と相補的であり、現在使用されているエネルギーの測定値である。

【 0 0 7 0 】

これもまた図 5 にグラフ的に示されている 1 秒後に予測されたリンク品質

PLQ₁

は次のように計算される：

【 0 0 7 1 】

10

$$PLQ_1 = ILQ - 1,000f_l$$

f_l

係数は d B / m s で測定された経路損失の変動を表す。

【 0 0 7 2 】

20

図 5 のグラフに示されるように、5 秒後の予測リンク品質

PLQ₅

は次のように計算される：

【 0 0 7 3 】

$$PLQ_5 = ILQ - 5,000f_l$$

30

図 5 に表されるリンク品質の変動は、d B の代わりに 8 ビットの数で表現できるスケールで表示されている。

【 0 0 7 4 】

リンク品質の指標はリンクの現在抵抗値を判定するために有用である。小さな値の

ILQ

はそのリンクが比較的小さな抵抗を有し、何時でも切断する可能性のあることを示す。リンク品質の 1 秒予測はその様な場合の更なる情報を提供する。特に

40

PRQ₁

より小さな

ILQ

50

値は、そのリンクが時間と共に弱くなる傾向を有することを示す。

PRQI

の負の値はそのリンクが1秒後には利用できないかも知れないことを示し、そのリンクを使用しているルートは可能であれば再ルートされなければならない。反対に、

ILQ

10

よりも大きな

PRQI

の値は、リンク品質が改善され、例えば現在それが弱くても1秒後には良くなるであろうことを示す。

【0075】

リンク品質の5秒予測は、リンクをルートに組み入れる選択を行う際に有効である。大きな値の

20

PLQ5

はそのルートが今から少なくとも5秒間は健全であることを示し、ルートに参画するように選択出来ることを示す。小さなまたは負の値の

PLQ5

30

はそのリンクが弱くなるかまたは5秒以内に利用できなくなることを示し、新たルートとして切り換えてはならないことを示す。

【0076】

ATPは発信元端末と宛先端末間の送信を制御し、これは初期発信元と最終宛先の間のルートの連鎖内の1つのリンクのみであることに注意されたい。リンク品質は、端末システムとしてのネットワークにおける高い信頼性を確保するために、ATPが端末の他のソフトウェア構成要素に対して提供する情報の集合である。

【0077】

以上本発明のいくつかの実施例のみを詳細に説明してきたが、当業者には本発明の新規な教義および特長から逸脱することなく多くの修正が可能であることは容易に理解されよう。従って、その様な全ての修正は、添付の特許請求の範囲で定義される、本発明の範囲に含まれると意図される。

40

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図1】図1は、本発明の1つの実施例に基づくノード間リンクの完全性を評価するためのシステム並びに方法を採用した、アドホック無線通信ネットワークの1例の概念的ブロック図。

【図2】図2は図1に示されるネットワーク内で採用されたノードの構成要素例を図示するブロック図。

50

【図 3】図 3 は図 1 に示されるネットワーク内の送信元ノードから宛先ノードへ送信される信号に影響を与える可能性のある、異なるタイプの信号干渉例を図示する概念的ブロック図である。

【図 4】図 4 は図 2 に示される宛先ノードのトランシーバの構成部品を図示する概念的ブロック図であり、これは受信信号強度指示 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) と検出後信号品質 (PDSQ: Post Detection Signal Quality) を生成する。

【図 5】図 5 は発信元ノード内の A T P で、宛先ノードでの雑音レベルを推定するために実行される操作例を図示する流れ図である。

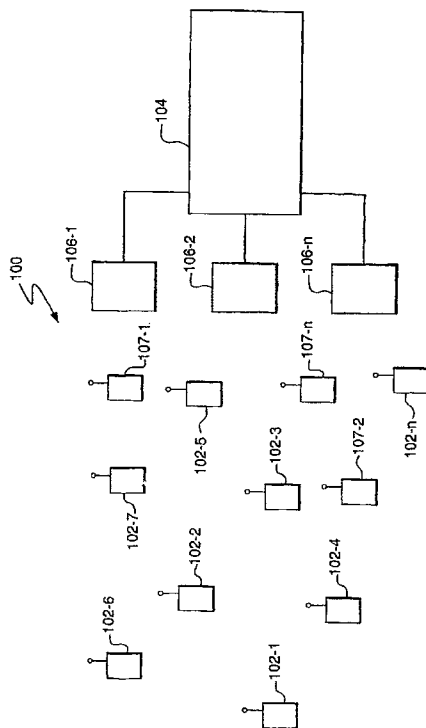
【図 6】図 6 は推定された雑音対、図 1 に示すネットワーク内の発信元ノードから宛先ノードに送信されたメッセージ数の例を図示するグラフであり、図 5 の流れ図で示される本

10

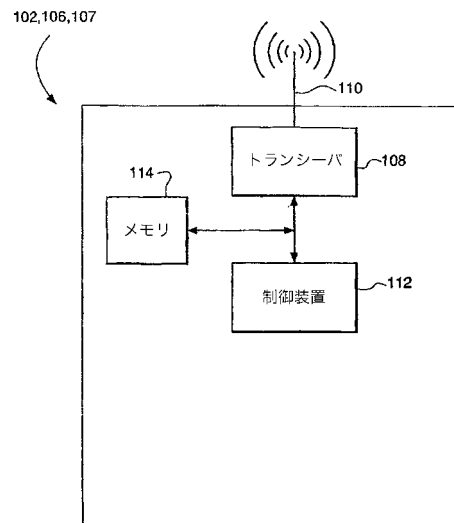
発明の 1 つの実施例に基づく雑音推定技術を使用して計算されたものである。

【図 7】図 7 は図 1 に示されるネットワークの発信元ノードと宛先ノード間のリンクの品質を表す、異なるリンク品質値の例を図示するグラフであり、本発明の 1 つの実施例に基づき計算されたものである。

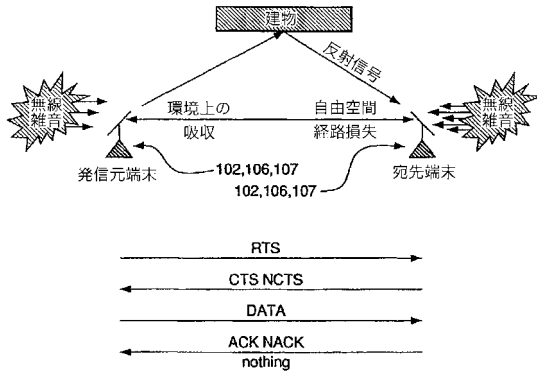
【図 1】



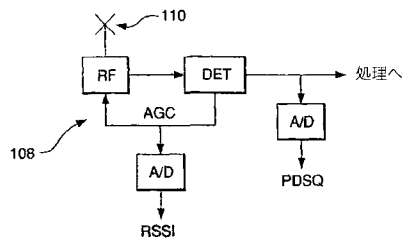
【図 2】



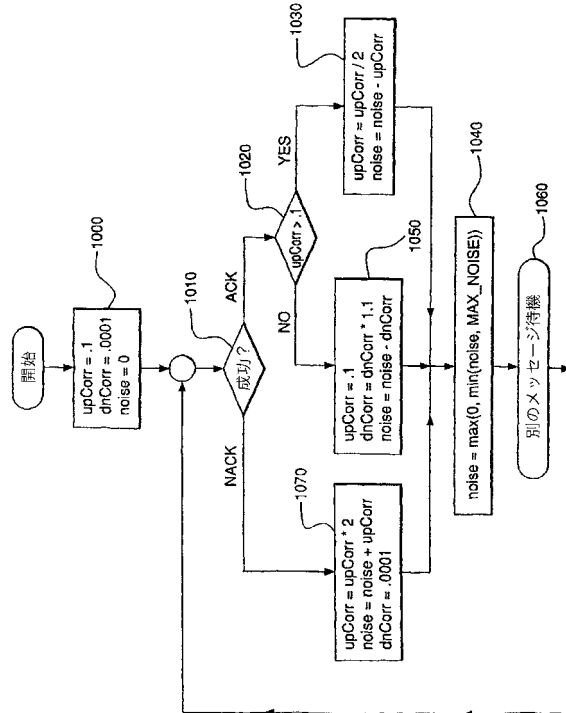
【図 3】



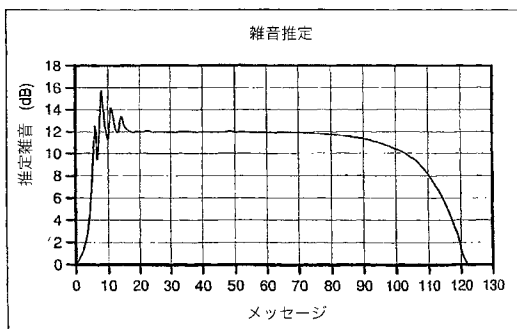
【図 4】



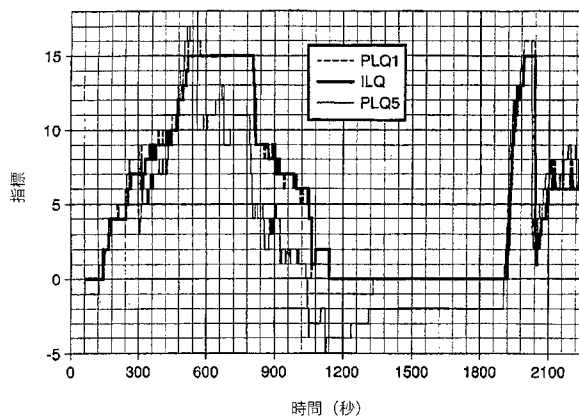
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 ベルセア、ジョン、エム.

アメリカ合衆国、フロリダ、ウエスト メルボルン、 ヴェントゥーラ サークル 2550

審査官 松野 吉宏

(56)参考文献 特表2001-512924 (JP, A)

国際公開第00/018033 (WO, A1)

特表2002-525962 (JP, A)

特開2001-309426 (JP, A)

特開平08-167872 (JP, A)

特開2001-036952 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 7/24 ~ 7/26

H04W 4/00 ~ 99/00

H04B 7/15