

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-23267

(P2006-23267A)

(43) 公開日 平成18年1月26日(2006.1.26)

(51) Int.C1.	F 1	テーマコード (参考)
GO 1 S 5/06 (2006.01)	GO 1 S 5/06	5 J 0 6 2
HO 4 Q 7/34 (2006.01)	HO 4 B 7/26	1 O 6 A
		5 K 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2004-255916 (P2004-255916)	(71) 出願人	392026693
(22) 出願日	平成16年9月2日 (2004.9.2)		株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ
(31) 優先権主張番号	特願2004-171819 (P2004-171819)		東京都千代田区永田町二丁目11番1号
(32) 優先日	平成16年6月9日 (2004.6.9)	(74) 代理人	100070150
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 伊東 忠彦
		(72) 発明者	イーホン キ
			東京都千代田区永田町二丁目11番1号
			株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内
		(72) 発明者	須田 博人
			東京都千代田区永田町二丁目11番1号
			株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内
		(72) 発明者	浅井 孝浩
			東京都千代田区永田町二丁目11番1号
			株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内
		F ターム (参考)	5J062 AA08 CC12 DD23 EE01
			最終頁に続く

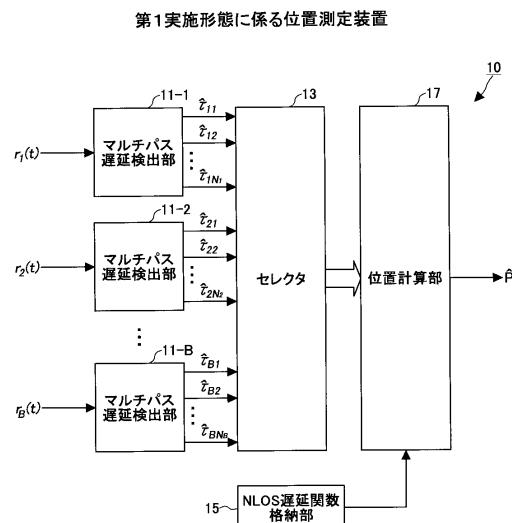
(54) 【発明の名称】マルチパス遅延成分を用いた位置測定装置および位置測定方法

(57) 【要約】

【課題】 受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を利用して、移動通信システムにおける測位精度を向上する。

【解決手段】 位置測定装置は、複数の信号の各々について当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部と、検出されたマルチパス遅延波の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するセレクタと、事前に求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数を格納する格納部と、セレクタにより選択された遅延波と前記格納部から読み出されたNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を特定する位置計算部とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部と、

検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するセレクタと、

事前に求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数を格納する格納部と、

前記セレクタにより選択された遅延波と、前記格納部から読み出されたNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を特定する位置計算部と
を備えることを特徴とする位置測定装置。

10

【請求項 2】

複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部と、

検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するセレクタと、

前記選択された遅延波に基づいて、到来時間差データを生成するTDOAデータ生成部と、

事前に求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数を格納する格納部と、

前記TDOAデータ生成部によって生成されたTDOAデータと、前記格納部から読み出されたNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を特定する位置計算部と
を備えることを特徴とする位置測定装置。

20

【請求項 3】

前記セレクタは、前記マルチパス遅延波成分の中に見通し内パスで受信されたLOS遅延波がある場合は当該LOS遅延波を選択し、さらに、見通し外パスで受信されたNLOS遅延波のうちで所定の条件を満たすNLOS遅延波を選択することを特徴とする請求項1または2に記載の位置測定装置。

【請求項 4】

前記セレクタは、前記見通し外パスで受信されたNLOS遅延波の中で、NLOS遅延の変動が第1のしきい値よりも小さく、かつ信号強度が第2のしきい値よりも大きい遅延波を選択することを特徴とする請求項3に記載の位置測定装置。

30

【請求項 5】

前記セレクタは、前記マルチパス遅延波成分が見通し内（LOS）で受信された受信信号に基づくものなのか、見通し外（NLOS）で受信された受信信号に基づくものなのかを判断するNLOS判断部を有することを特徴とする請求項3に記載の位置測定装置。

【請求項 6】

今回の位置測定に寄与する基地局と前記移動局とが、所定の配置関係にある場合に、より低い測位次元の問題に還元して前記移動局の位置を推定する第2の位置計算部をさらに備えることを特徴とする請求項1または2に記載の位置測定装置。

【請求項 7】

前記第2の位置計算部は、前記基地局と前記移動局とが、前記所定の配置関係にあるか否かを判断する基地局・移動局配置検出部と、前記所定の配置関係にあると判断された場合に、より低い測位次元で位置推定パラメータを算出する還元型位置計算部とを有することを特徴とする請求項6に記載の位置測定装置。

40

【請求項 8】

複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するステップと、

検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するステップと、

前記選択された遅延波と、事前情報からあらかじめ求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を推定するステップと

50

を含む位置測定方法。

【請求項 9】

複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するステップと、

検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するステップと、

前記選択された遅延波に基づいて、到来時間差データを生成するステップと、

前記選択された遅延波の到来時間差データと、事前情報からあらかじめ求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を推定するステップと
を含む位置測定方法置。

10

【請求項 10】

前記選択ステップにおいて、前記マルチパス遅延波成分の中に、見通し内パスで受信されたLOS遅延波がある場合は当該LOS遅延波を選択し、さらに、見通し外パスで受信されたNLOS遅延波のうちで所定の条件を満たすNLOS遅延波を選択することを特徴とする請求項8または9に記載の位置測定装置。

【請求項 11】

前記選択ステップにおいて、前記見通し外パスで受信されたNLOS遅延波の中で、NLOS遅延の変動が第1のしきい値よりも小さく、かつ信号強度が第2のしきい値よりも大きい遅延波を選択することを特徴とする請求項10に記載の位置測定方法。

20

【請求項 12】

前記選択ステップにおいて、前記マルチパス遅延波成分が見通し内(LOS)で受信された受信信号に基づくのか、見通し外(NLOS)で受信された受信信号に基づくのかを判断することを特徴とする請求項10に記載の位置測定方法。

【請求項 13】

1以上の基地局からの受信信号に基づいて、今回の測位に寄与する基地局と測位対象となる移動局が、より低い測位次元に還元される配置関係にあるか否かを判断するステップと、

より低い測位次元に還元される配置関係にある場合に、より低い測位次元の問題に還元して前記移動局の位置推定を行うステップと

30

を含む位置測定方法。

【請求項 14】

前記配置関係判断ステップは、今回の測位に寄与する基地局が所定の数だけ存在するか否かを判断するステップを含み、

前記位置推定ステップは、前記基地局が所定の数だけ存在しないと判断された場合に、還元された測位次元についての最適パラメータを推定し、その他の次元に関するパラメータについては、実行可能領域から選択される任意の値を選択することを特徴とする請求項13に記載の位置測定方法。

【請求項 15】

前記配置関係判断ステップは、今回の測位に寄与する基地局が所定の数だけ存在する場合に、前記基地局と移動局とが、所定の位置関係にあるか否かを判断するステップをさらに含み、

前記位置推定ステップは、前記基地局と移動局とが前記所定の位置関係にあると判断された場合に、還元された測位次元での位置推定を行うことを特徴とする請求項14に記載の位置測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線信号を利用して移動局の現在地を推定する測位装置および測位方法に関し、特に、移動局と複数の基地局との間で送受信される無線信号のマルチパス遅延成分を利用して、移動局の位置を高精度に特定する方法に関する。

50

【背景技術】

【0002】

マルチパス環境では、送信点では同一であった信号が、高層ビルなどの建造物による反射や障害物のコーナー部での回折などにより、様々な経路を通過して受信点局に到着する。したがって、受信信号には、直線で最短距離を結ぶ直接波と、この直接波よりも若干送れて到着する遅延波とが含まれている。直接波が期待できるような通信を、アンテナ間が直接見通すことができることから、LOS (line-of-sight) または見通し内通信と呼ぶ。障害物によりアンテナ間が見通せず、直接波が期待できない通信を、NLOS (non-line-of-sight) または見通し外通信と呼ぶ。見通し外通信では、最初に到来する先行波も反射や屈折を受けたNLOS信号である。

10

【0003】

このようなマルチパス環境で送受信される無線信号を用いた位置決定は、広帯域移動通信システムにおいて重要な課題となっている。これまで、位置決定の一般的な方法は、最初に到来した成分（先行波）に基づいてのみ測位しており、マルチパス環境での測位の問題をシングルパスのモデルに還元するものであった。先行波を用いた測位方法としては、基地局と移動端末との間で送受信される無線信号を利用して三辺測量（光波測量）を行い、移動端末の位置を検出する方法が知られている。

【0004】

一方、受信信号からマルチパス遅延プロファイルを作成し、この遅延プロファイルを利用して測位の精度を向上する提案がなされている（たとえば、特許文献1および2参照）。特許文献1では、求めた遅延プロファイルから遅延分散を計算し、分散値に基づいて測位精度を決定する。特許文献2では、三辺測量の原理を用いて測位する際に、遅延プロファイルを用いて干渉信号をキャンセルしたうえで位置計算することによって、測位精度を上げる。

20

【0005】

さらに、水中への応用として、受信信号のマルチパス構造を全面的に採用した音響測位方法が提案されている（たとえば、非特許文献1参照）。この方法では、まず、2種類のマルチパス遅延、すなわち実際の受信信号の遅延成分と、いわゆるレイトレーシング（光線追跡）モデルによって予測された遅延成分とを生成する。次に、測定された遅延と予測された遅延との差を一次反転（linear inversion）して位置を求める。

30

【0006】

一方、ナビゲーションシステムにおいてランドマークが同一直線上に並ぶ場合の測位精度を向上する信号処理方法が提案されている（たとえば、非特許文献2参照）。この方法は、受信信号におけるマルチパス成分の利用とは無関係であるが、送信局（ランドマーク）が特殊な位置関係にある場合の信号処理方法として、リッジ回帰を用いた最小二乗平均（LMS）アルゴリズムを修正した方法を開示している。

【特許文献1】特開2001-298763号公報

【特許文献2】特開2003-194916号公報

【非特許文献1】M. Deffenbaugh, H. Schmidt and J.G. Bellingham, "Acoustic Positioning in a Fading Multipath Environment," Proc. MTS/IEEE 'Prospects for the 21st Century' (MTS/IEEE Oceans 1996), Vol. 2, pp. 596-600, September 1996.

40

【非特許文献2】R.J. Kelly, "Reducing Geometric Dilution of Precision Using Ridge Regression", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 26, No. 1, January 1990.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した特許文献1および2では、測位精度の向上のために遅延プロファイルを利用してはいるが、遅延プロファイルを精度の決定や干渉の低減に用いているにすぎず、遅延成分そのものを位置計算に用いるわけではない。これらの文献では、位置計算はあくまでも

50

先行波のみに基づいて行っている。また、非特許文献1では、光線追跡（レイトレーシング）モデルを構築しているが、そのような光線追跡モデルは移動通信チャネルに適用し難く、最適化を図ることができない。

【0008】

そこで、本発明は、受信信号を構成するマルチパス遅延成分（先行波と、それに引き続く複数の遅延波を含む）の中から複数の有用な遅延成分を選択して測位計算に利用し、高精度に位置推定を行う無線測位の手法を提供することを課題とする。

【0009】

さらに、基地局と移動局とが、一般に位置推定が不可能とされている特殊な位置関係にあるときでも、ある程度の精度で移動局の位置を推定する手法の提供を課題とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の技術的根拠は、以下の2点にある。

(1) 最初に到来した先行信号の他に、見通し外（NLOS: non-line-of-sight）パスによる第2到来波以降の遅延信号も、目的物の位置に関する情報を搬送しているはずである。したがって、従来技術のように最初に到来した先行波成分のみから位置計算するのではなく、利用価値のあるマルチパス遅延成分を積極的に位置計算に用いることによって、測位精度が向上すると考えられる。

(2) 上記(1)の妥当性は、実験と分析により実証可能である。

【0011】

本明細書において、先行波とは、最初に到着した信号成分を意味する。先行波も送信時点からみた受信遅延（時間差）を含み、マルチパス受信の一部を構成することから、本明細書では、先行波を、最初に受信された遅延波として扱う。先行波に引き続く遅延波成分は、第2波以降の遅延波と称することとする。

20

【0012】

マルチパス受信信号に含まれる複数の遅延波成分を用いて位置計算するには、見通し外（NLOS）の遅延成分に関する事前情報が必要である。先行波（最初の遅延波）が直接波である場合は、第2波以降の遅延波についての事前情報を要する。一方、先行波が直接波でない場合は、先行波も見通し外（NLOS）遅延信号として事前情報を要する。ここで、事前情報とは、なんらかの方法で事前に求められたNLOSパスについての情報であり、たとえば、事前に測定により統計的に求められた情報や、代表的な環境をモデル化して理論的に求められた情報などを含む。本発明では、マルチパス受信信号に含まれる複数の遅延波を処理するに際して、NLOS遅延情報を定義し、これを用いて測位精度を強化する。

30

【0013】

より具体的には、NLOS遅延情報の一例として、見通し外（NLOS）遅延信号のパス長に関する確率密度関数（遅延関数）を求める。さらに、マルチパス構成を全面的に採用するのではなく、ある基準を充たす遅延波のみを選択する。そして、選択した遅延波のサブセットと、NLOS遅延関数の双方を用い、事後確率を最大にするMAP（Maximum A posteriori Probability）推定法に基づいて、対象物の位置を推定する。

40

【0014】

本発明の第1の側面では、同期型の移動通信システムに適用される位置測定装置を提供する。位置測定装置は、複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部と、検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するセレクタと、事前に求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数を格納する格納部と、前記セレクタにより選択された遅延波と前記格納部から読み出されたNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を特定する位置計算部とを備える。

【0015】

このような位置測定装置によれば、受信信号を構成するマルチパス遅延波に含まれる有

50

用な情報を利用することによって、移動局の位置を高精度に推定することができる。

【0016】

本発明の第2の側面では、非同期型の移動通信システムに適用される位置測定装置を提供する。位置測定装置は、複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部と、検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するセレクタと、前記選択された遅延波に基づいて到来時間差データを生成するTDOAデータ生成部と、事前に求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数を格納する格納部と、前記TDOAデータ生成部によって生成されたTDOAデータと前記格納部から読み出されたNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を特定する位置計算部とを備える。

10

【0017】

このような位置測定装置によれば、非同期のシステムであっても、マルチパス遅延波成分を有効に利用して、移動局の位置を高精度に推定することが可能になる。

【0018】

本発明の第3の側面では、移動通信システムにおける位置測定方法を提供する。この方法は、

(a) 複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するステップと、

(b) 検出されたマルチパス遅延波の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するステップと、

(c) 前記選択された遅延波と、事前情報からあらかじめ求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を推定するステップとを含む。

20

【0019】

このような方法によれば、受信信号を構成するマルチパス遅延波成分のうち、一定の基準に適合する有効な遅延波だけを利用することで、移動局の位置推定を高精度に行うことができる。

【0020】

本発明の第4の側面では、非同期の移動通信システムにおける位置測定方法を提供する。この方法は、

(a) 複数の受信信号の各々について、当該受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するステップと、

(b) 検出されたマルチパス遅延波の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するステップと、

(c) 前記選択された遅延波に基づいて、到来時間差データを生成するステップと、

(d) 前記選択された遅延波の到来時間差データと、事前情報からあらかじめ求めた見通し外パスに関するNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を推定するステップとを含む。

30

【0021】

このような方法によれば、移動局と基地局との間で同期がとれていらない場合でも、位置計算に有効なマルチパス遅延波を選択し、移動局と基地局との間の時間オフセットを考慮したうえで、移動局の位置を高精度に推定することが可能になる。

【0022】

本発明の第5の側面では、基地局と移動局とが、従来の位置測定方法では測位不能とされる特殊な位置関係にある場合でも、ある程度の精度で移動局の位置推定を可能にする位置測定方法を提供する。

【0023】

この方法は、

(a) 1以上の基地局からの受信信号に基づいて、今回の測位に寄与する基地局と測位対象となる移動局が、より低い測位次元に還元される配置関係にあるか否かを判断するステ

40

50

ップと、

(b) より低い測位次元に還元される場合に、より低い測位次元の問題に還元して前記移動局の位置推定を行うステップとを含む。

【発明の効果】

【0024】

上述した位置測定装置および方法により、マルチパス環境下で、より高精度な位置測定が実現される。

【0025】

また、遅延推定値を取得するための基地局の数が不十分な場合でも、ある程度の精度で移動局の位置を推定することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

【0027】

移動通信システムは、移動局と基地局との同期の有無によって、同期システムと非同期システムに分類される。そこで、これら2種類のシステムのそれぞれについて、本発明を適用した実施形態を述べることとする。

【0028】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態に係る位置測定装置の概略ブロック図である。第1実施形態では、本発明の位置測定手法は、同期システムに適用される。位置測定装置10は、複数の受信信号からそれぞれマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部11-1～11-Bと、検出されたマルチパス遅延波の中から所定の条件を満たす複数の遅延波を選択するセレクタ13と、事前に求めたNLOS遅延関数を格納する格納部15と、セレクタ13により選択された遅延波および格納部15から読み出されたNLOS遅延関数に基づいて移動局の位置を特定する位置計算部17とを含む。NLOS遅延関数は、建築物等による反射、透過、回折などに起因するNLOS(Non-line-of-sight:見通し外)遅延による遅延パス長の確率密度を表す関数である。

【0029】

図1の位置測定装置10は、移動局に適用することも可能であるし、基地局に接続される位置測定サーバ(不図示)として適用することも可能である。移動局に適用する場合は、移動局自身が自己位置を測定し、基地局へ位置情報を通知する。位置測定サーバとして適用する場合は、図1に示す位置測定装置10の構成をそのまま位置測定サーバとしてもよいし、マルチパス遅延検出部11-1～11-Bを基地局BS₁～BS_Bにそれぞれ配置する構成としてもよい。本実施形態では、ある移動局から送信された信号が、複数の基地局BS₁～BS_Bでそれぞれ受信され、受信された信号が基地局から位置測定装置(位置測定サーバ)10に転送される場合を例にとって説明する。この場合、各基地局BS_bの位置p_b=(x_b, y_b)は既知である。

【0030】

各マルチパス遅延検出部11-1～11-Bは、基地局BS₁～BS_Bから受けとった受信信号r₁(t)～r_B(t)をそれぞれ入力とし、各受信信号に含まれるマルチパス遅延波成分_{b_i}を検出する。ここで、インデックス「b_i」は、b番目の基地局でi番目のパスを介して受信された遅延波であることを意味する。マルチパス遅延波成分は、たとえば自己相関に基づく方法や、超分解能(super-resolution)PN相関方法など、当業者にとって公知の方法を用いて検出することができる。

【0031】

図2は、基地局BS₁で受信された受信信号r₁(t)に基づくマルチパス遅延波を概念的に示す図である。図2の例では、最初に到来した先行波は、直接パスで伝搬したLOS(Line-of-sight:見通し内)遅延波とするが、先行波が必ずしもLOS遅延波である

10

20

30

40

50

とは限らず、反射、回折などの影響を受けたNLOS遅延波であることが多い。2番目以降の遅延波は、どの受信信号から検出されたものであれ、NLOS(見通し外)遅延波である。図2の例では、2番目と5番目のNLOS遅延波に、遅延のばらつきがみられる。

【0032】

各基地局BS_bで受信される受信信号r_b(t)は、

【0033】

【数1】

$$r_b(t) = \sum_{i=1}^{N_b} A_{bi} \cdot s(t - \tau_{bi}) + n_b(t), \text{ for } b \in \mathcal{B}, \quad (1)$$

10

で表わされる。ここで、s(t)は送信信号波形、n_b(t)は雑音成分、N_bは移動局から基地局BS_bへのマルチパスの数、A_{bi}と_{bi}は、それぞれ受信信号r_b(t)におけるi番目のマルチパスの振幅と遅延である。

【0034】

同期システムでは、遅延_{bi}は式(2)で表わされる。

【0035】

【数2】

20

$$\tau_{bi} = \frac{1}{c} \left\{ \sqrt{(x_b - x)^2 + (y_b - y)^2} + l_{bi} \right\}, \quad b \in \mathcal{B} \quad (2)$$

30

ここで、c = 3 × 10⁸ m/sは光速、l_{bi}は、NLOS伝搬に起因する遅延部分に対応する遅延パス長である。NLOS遅延パス長l_{bi}は、既知の確率密度関数(pdf)に従う。任意の基地局BS_b(b ∈ B)におけるマルチパス遅延波のNLOS遅延パス長l_{bi}の大きさは、次の順で大きくなるものとする。

【0036】

$$0 < l_{b1} < l_{b2} < \dots < l_{bN_b}$$

基地局BS_bが移動局に対して見通し内(LOS)にある場合、先行波(最初の遅延波)は直接パスで受信されており、NLOS遅延パス長l_{b1}はゼロ、すなわちl_{b1} = 0である。

【0037】

検出された遅延_{bi}は、さらに式(3)で近似され、セレクタ13に入力されるマルチパス遅延波が求められる。

40

【0038】

【数3】

$$\hat{\tau}_{bi} = \tau_{bi} + \xi_{bi}, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N_b, \quad (3)$$

40

式(3)において、_{bi}は、ガウス分布N(0, _b⁻¹)に従った検出誤差である。行列_bのエントリー|_b|_{ij}は式(4)で表わされる。

50

【 0 0 3 9 】

【 数 4 】

$$[\Psi_b]_{ij} = \begin{cases} 8\pi^2\beta^2 \cdot R_{bi}, & i = j, \\ 2 \cdot \text{Re} \left[\frac{A_{bi} \cdot A_{bj}^*}{N_0} \int \frac{\partial}{\partial \tau_{bi}} s(t - \tau_{bi}) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau_{bj}} s^*(t - \tau_{bj}) dt \right], & i \neq j, \end{cases} \quad (4)$$

10

は $s(t)$ の有効帯域、 R_{bi} は受信信号 $r_b(t)$ の i 番目のパス成分の信号電力対雜音電力比 (S N R) 、 $\text{Re}[\dots]$ は、ある複素数の実数部、アスタリスク (*) が付けられたシンボルは、その共役複素数である。チップレートが W の C D M A システムでは、式 (4) の行列の非対角エントリーは、式 (5) で表わされる。

【 0 0 4 0 】

【 数 5 】

$$[\Psi_b]_{ij} = 8\pi^2 \cdot \text{Re} \left[\frac{A_{bi} \cdot A_{bj}^*}{N_0} \right] \cdot \left[\frac{W}{k_{bij}} \sin(k_{bij} W) + \frac{2}{k_{bij}^2} \cos(k_{bij} W) - \frac{2}{k_{bij}^3 W} \sin(k_{bij} W) \right]. \quad (5)$$

20

ここで、 $k_{bij} = 2(\tau_{bi} - \tau_{bj})$ である。

セレクタ 13 は、各マルチパス遅延検出部 11-1~11-B で検出されたマルチパス遅延波の中から、直接パスで受信された先行波 (すなわち L O S 遅延波) と、 N L O S 遅延波のうち所定の基準を満たす遅延波とを選択する。所定の基準として、たとえば、 N L O S 遅延波の強度 と、 N L O S 遅延パス長の標準偏差 を用いる。

【 0 0 4 1 】

30

図 3 は、セレクタ 13 の概略構成図である。セレクタ 13 は、マルチパス遅延検出部 11-1~11-B によって検出された遅延波 (先行波を含む) を入力とする遅延波入力部 21 と、 N L O S 判断部 22 と、比較部 23 と、パス選択部 24 を有する。 N L O S 判断部 22 は、各マルチパス遅延検出部 11-1~11-B で検出されたマルチパス遅延波セットが、 N L O S 遅延波のみで構成されるか、 L O S 先行波を含むかを判断する。比較部 23 は、 N L O S 遅延波のパラメータ、たとえば信号強度 と、 N L O S 遅延パス長の標準偏差 を、それぞれ所定の基準値と比較する。パス選択部 24 は、 N L O S 判断部 22 によって L O S 遅延波であると判断された先行波と、比較部 23 によって所定の基準を満たすと判断された N L O S 遅延波とを選択して、位置計算部 17 に出力する。

【 0 0 4 2 】

40

位置計算部 17 は、 N L O S 遅延関数格納部 15 から、 N L O S 遅延関数を読み出し、セレクタ 13 によって選択された複数の遅延波および N L O S 遅延関数を用いて、移動局 M S の現在位置を計算する。 N L O S 遅延関数は、 N L O S (見通し外) パスに起因する遅延パス長 1 について、事前に求められる確率密度関数 $p_1(1)$ である。移動局 M S の位置は、最大アポステリオリ確率 (M A P : Maximum Aposteriori Probability) の値として公式化される。すなわち式 (6) で表わされる目的関数を最大とする (x, y) と N L O S 遅延 1 とが、求める値である。

【 0 0 4 3 】

【数6】

$$F_{TOA}(x, y, l) = - \sum_{b=1}^B (\hat{\tau}_b - \tau_b)^T \cdot \tilde{\Psi}_b^{-1} \cdot (\hat{\tau}_b - \tau_b) + \ln p_l(l), \quad (6)$$

ここで T は行列の転置である。式(6)の右辺の第1の項(の項)は、セレクタ13からの出力に基づいて求められる。右辺の第2の項は、NLOS遅延関数格納部15から読み出された確率密度関数 $p_l(l)$ の自然対数である。

10

【0044】

図4は、上述した位置測定装置10の動作の流れを示すフローチャートである。まず、ステップS101で、自己相関法や超分解能PN相関法など、任意の方法により、各受信信号 $r_b(t)$ からマルチパス遅延波成分を算出する。次に、ステップS103で、算出されたマルチパス遅延波成分の中から、所定の条件を満たす遅延波のみを選択する。本実施形態では、LOS遅延波(直接パスで伝搬した先行波)、およびNLOS遅延波のうち所定の基準に合致する遅延波を選択する。

20

【0045】

図5は、遅延波選択ステップS103の詳細な処理フローを示す。図5の例では、遅延波の選択を、各受信信号 $r_b(t)$ のマルチパス遅延波サブセットごとに行う。まず、ステップS201で初期化を行う。すなわち、基地局番号 b とバス番号 i を初期値に設定し($b = 1, i = 1$)、この基地局 BS_1 で受信された信号のマルチパス遅延波選択の基準値となる信号強度 γ_1 と、NLOS遅延パス長 l_{bi} の標準偏差 σ を設定する。

20

【0046】

次に、ステップS203で、基地局 BS_b (初期化の直後は BS_1) で受信された信号がNLOS(見通し外)で受信された信号かどうかを判断する。判断の一例として、まず基地局 BS_b が先行波を直接パス(LOS)で受信したのか、見通し外(NLOS)のパスで受信したのかに応じて、基地局(あるいはマルチパス遅延波のサブセット)をグループ分けする。ある移動局からの信号を受信する基地局の集合 B を、 $B = \{1, 2, \dots, B\}$ とすると、NLOS(見通し外)で信号を受信する基地局の集合 NL を、 $NL = \{1, 2, \dots, M\}$ 、LOS(見通し内)で受信する基地局の集合 L を、 $L = \{M+1, M+2, \dots, B\}$ とする。先行波がNLOSパスから到來したものかどうかの判別が困難な場合は、NLOS信号として扱う。NLOSの識別は、当業者にとって公知の手法、たとえば、以下の文献に示される判別アルゴリズムを用いて実行できる。

30

(1) J.Borras, P. Hatrack and N.B. Mandayam, "Decision Theoretic Framework for NLOS Identification," Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (IEEE VTC 1998 Spring), Vol. 2, pp. 1583-1587, Ottawa, Canada, Spring 1998.

(2) S. Gezici, H.Kobayashi and H.V. Poor, "Non-Parametric Non-Line-of-Sight Identification," Proc. International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (IEEE PIMRC 1998), Vol. 1, pp. 461-465, 1998.

40

NLOSの識別自体をセレクタ13で行ってもよいが、NLOS識別を各マルチパス遅延検出部11-1~11-Bで行い、判別結果を示す識別子をマルチパス遅延波のサブセットに付してセレクタ13に出力してもよい。後者の場合は、セレクタ13は識別子に基づいて基地局のグループ分けを行い、現在処理中のマルチパス遅延波のサブセットが、集合 NL に属する基地局からのものかどうかを判断する。たとえば、基地局の番号 b が M 以下($b < M$)であれば、集合 NL に含まれるので、現在処理中の遅延波がNLOS基地局からのものであるとわかる。

【0047】

ステップS203でNLOSであると判断された場合(S203でYES)は、ステッ

50

PS 207へ進み、NLOSでの遅延パス長 l_{bi} の標準偏差が基準値よりも小さいかどうかを判断する。遅延パス長 l_{bi} は確率密度関数(pdf)にしたがったランダム変数によって表わされ、NLOS遅延の偏差が小さいほど、より正確な遅延パス長 l_{bi} に関する情報を得ることができる。逆に、標準偏差が基準値以上である場合(S 207でNO)は、NLOS遅延パス長のばらつきが大きく、位置推定に用いるデータとして好ましくない。そこで、ステップS 213へ進んで、このパスでの遅延波を排除する。標準偏差が基準値よりも小さい場合(S 207でYES)は、ステップS 209に進み、遅延波の信号強度 $|A_{bi}|^2$ が基準値 b よりも大きいかどうかを判断する。信号強度が基準値 b を超える場合は、ステップS 211でこのパスでの遅延波を選択する。信号強度が基準値 b に達しない場合(S 209でNO)は、位置推定に用いるデータとして不適切として、ステップS 213で、この遅延波を排除する。

10

【0048】

一方、ステップS 203で、NLOSでないと判断された場合(S 203でNO)は、ステップS 205に進み、現在処理中の遅延波が先行波($i = 1$)であるかどうかを判断する。処理対象である遅延波が先行波である場合(S 205でYES)は、処理中のマルチパス遅延波のサブセットは、LOSの集合 L に属する基地局からのものであり、その先行波は直接パスで受信されている。したがって、ステップS 211に進み、このパスで受信された遅延波を選択する。先行波でない場合は(S 205でNO)、反射等の影響を受けているNOLoS遅延波になるので、ステップS 207およびS 209で、基準値 b についての条件を満たすかどうか判断する。条件を満たすものはステップS 211で選択し、満たさないものは、ステップS 213で排除する。

20

【0049】

次に、ステップS 215で、現在のパス番号 i が最後のパス番号 N_b に一致するかどうかを判断する。 N_b に達していない場合は、ステップS 219で i の値をインクリメントして、ステップS 207以降の処理を繰り返す。最後のパスまで処理が完了した場合、すなわち $i = N_b$ のとき(S 215でYES)は、ステップS 217へ進み、現在処理中のサブセットの基地局番号 b が全基地局数 B に達しているかどうかを判断する。 $b < B$ の場合は、ステップS 221で b の値をインクリメントし、 i を初期化し、基準値 b を次のマルチパス遅延波サブセット用の値に設定する。そして、ステップS 203以降の処理を繰り返す。 $b = B$ のとき(S 217でYES)は、すべてのマルチパス遅延波サブセットの処理が完了したことになるので、このプロセスを終了する。

30

【0050】

図2に示したマルチパス遅延波のサブセットを例にとると、まずLOSの直接パスで受信された先行波が選択され、2番目と5番目に到着した遅延波は、NLOS遅延 l_{bi} のばらつきが大きいため排除される。3番目と4番目の遅延波は、所定の信号強度 b を満たし、かつその遅延ばらつきが所定の標準偏差よりも小さい場合に、位置計算に適した遅延波成分として選択される。パラメータ b および b は、測位精度が向上するようにあらかじめ選択された正の値である。

【0051】

図4に戻って、マルチパス遅延波の選択処理が終わったならば、ステップS 105でNLOS遅延パス長の確率密度に基づいて求められたNLOS遅延関数 $p_l(1)$ を読み出す。ステップS 107で、選択された複数のマルチパス遅延波と、NLOS遅延関数とに基づいて、式(6)の目的関数を最大にする x 、 y 、およびNLOS遅延 l を求める。

40

【0052】

このように、第1実施形態によれば、マルチパス遅延波の信号強度(b かつ 1 、 $i = N_b$ のとき $|A_{bi}|^2$)と、NLOS遅延パス長 l_{bi} のばらつきを考慮し、位置計算に有用な遅延波だけを選択的に利用する。 l_{bi} の偏差が小さいほど、そして、マルチパス成分の信号強度が強いほど、より正確な測位が期待でき、測位精度が向上する。

【0053】

受信信号を構成するマルチパス遅延波の中から有用な遅延波のみを選択することの、も

50

うひとつの利点は、計算の複雑化を抑制できる点にある。移動局からの信号を受信する基地局の数が多いほど、そして、有効に利用されるNLOS遅延波の数が多いほど、測位精度は向上するが、計算の複雑さと精度の向上は、トレードオフの関係にある。演算負荷と測位精度の向上を考慮して、基準値を設定するのが望ましい。

【0054】

また、図5に示した遅延波選択ステップでは、基地局ごとに、先行波がLOSパスで受信されているかNLOSパスで受信されているかによって、グループ分けを行い、基地局（マルチパス遅延サブセット）ごとに、基準を満たす遅延波を選択したが、この例に限定されない。たとえば、すべてのLOS先行波を選択したならば、残りのNLOS遅延波（NLOS先行波を含む）を一括して、順次基準となる条件に適合するか否かを判断していく手順であってもよい。この場合は、セレクタ13自体にLOS信号かNLOS信号かを判断する機能を持たせ、ステップS203でLOS信号と判断された場合に、ステップS205を省略してそのままこの信号パスを選択する。

（第2実施形態）

次に、図6および7を参照して、本発明の第2実施形態に係る位置測定の手法を説明する。第2実施形態は、本発明の位置測定技術を、非同期システムに適用するものである。図6は、第2実施形態に係る位置測定装置50の概略ブロック図、図7は、位置測定装置50の動作を示すフローチャートである。

【0055】

位置測定装置50は、複数の受信信号からそれぞれマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部51-1～51-Bと、検出されたマルチパス遅延波の中から所定の条件を満たす複数の遅延波を選択するセレクタ53と、選択された遅延波に基づいてTDOA（time-difference-of-arrival：到來時間差）データを生成するTDOAデータ生成部54と、NLOS遅延関数を格納する格納部55と、TDOAデータ生成部54により生成されたTDOAデータと格納部55から読み出されたNLOS遅延関数とに基づいて移動局の位置を特定する位置計算部57とを含む。

【0056】

各マルチパス遅延検出部51-1～51-Bに入力される受信信号 $r_b(t)$ は、基地局BS_bにおける受信信号であり、第1実施形態と同様に、式（1）で表される。

【0057】

非同期システムでは、式（1）に含まれる遅延 τ_{bi} は式（7）で表わされる。

【0058】

【数7】

$$\tau_{bi} = \frac{1}{c} \left\{ \sqrt{(x_b - x)^2 + (y_b - y)^2} + l_0 + l_{bi} \right\}, \quad b \in \mathcal{B} \quad (7)$$

ここで、 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ は光速、 l_{bi} は、NLOS伝搬に起因する遅延部分に対応する遅延パス長、 l_0/c は、移動局のクロックと基地局のクロックとの間の未知の時間オフセットである。

【0059】

セレクタ53で選択された複数のマルチパス遅延波は、TDOAデータ生成部54により、ベクトルデータ

【0060】

10

20

30

40

【数8】

$$\hat{\tau}_b, b \in \mathcal{B}$$

に変換される。

【0061】

位置計算部57は、NLOS遅延関数格納部55からNLOS遅延関数を読み出し、TDOAデータ生成部54の出力とNLOS遅延関数を用いて、移動局MSの現在位置を計算する。NLOS遅延関数は、NLOS(見通し外)パスに起因する遅延パス長1について、事前情報に基づいて求められる確率密度関数 $p_1(1)$ である。移動局MSの位置は、最大アポステリオリ確率(MAP: Maximum Aposteriori Probability)の値として公式化される。すなわち式(8)で表わされる目的関数を最大とする(x, y)とNLOS遅延1とが、求める値である。

【0062】

【数9】

$$F_{TDOA}(x, y, l) = - \sum_{b=1}^B (\hat{\tau}_b - \bar{\tau}_b)^T \cdot \tilde{\Psi}_b^{-1} \cdot (\hat{\tau}_b - \bar{\tau}_b) + \ln p_l(l). \quad (8)$$

ここで、

【0063】

【数10】

$$\tilde{\Psi}_b$$

はベクトル

【0064】

【数11】

$$\hat{\tau}_b$$

の共分散行列である。

【0065】

図7は、第2実施形態に係る位置測定方法を示すフローチャートである。まず、ステップS301で、自己相関法や超分解能PN相関法など、任意の方法により、各受信信号 $r_b(t)$ からマルチパス遅延波成分を算出する。次に、ステップS303で、算出されたマルチパス遅延波成分の中から、所定の条件を満たす遅延波のみを選択する。第2実施形態でも、LOS遅延波(直接パスで伝搬した先行波)と、NLOS遅延波の中で所定の基

10

20

30

40

50

準に合致する遅延波とを選択する。選択の方法は、図5のフローチャートに示すように、各基地局で受信された信号を構成するマルチパス遅延波のサブセットごとに行つてもよいし、あるいは、すべてのLOS遅延波を選択した後に、残りのすべてのNLOS遅延波に対し、順次、ステップS207とS209の条件判断を行つてもよい。

【0066】

次にステップS305で、選択された遅延波に基づいてTDOAデータを生成する。TDOAデータの生成は、選択されたLOS(見通し内)遅延波の中から、あるひとつの推定値_{B1}を基準値として選び、この基準値と、選択された残りの遅延波との間の差異を求める。そして、これらの差(TDOA値)をベクトルにして、

【0067】

【数12】

10

$$\hat{\tau}_b$$

を生成する。

【0068】

TDOAデータの生成が終わったならば、ステップS307でNLOS遅延パス長の確率密度に基づいて求められたNLOS遅延関数p1(1)を読み出す。ステップS309で、TDOAデータとNLOS遅延関数とに基づき、MAP(最大アポステリオリ)推定法により式(8)の目的関数を最大にするx、y、およびNLOS遅延1を求める。これにより、移動局の現在位置が特定される。

20

【0069】

上述した手法により、移動通信システムにおける従来の測位方法に比較して、より高精度に移動局の位置が推定される。測位精度の向上の度合いは、マルチパス遅延波を選択する際の基準値として用いる信号強度と、NLOS遅延パス長の標準偏差の設定に応じて決まる。選択されたパスの電力が大きく、そして遅延時間の標準偏差が小さいほど測位精度が向上する。また、選択される遅延波の数が多いほど、測位精度が向上する。

30

【0070】

次に、図8～10を参照して、本発明の第3実施形態に係る位置測定装置および方法を説明する。上述した第1および第2実施形態では、複数の基地局で受信された移動局からの信号に含まれる有効なマルチパス成分に基づいて、移動局の位置を推定した。この場合、位置推定に十分な数の基地局が存在することを前提としていた。

【0071】

第3実施形態では、第1および第2実施形態の方法では位置特定ができない特殊なケース、たとえば、移動局からの信号を受信した基地局の数が2以下である場合にでも、基地局と移動局との位置関係によっては、ある程度の許容範囲で、なおも位置推定が可能になることを立証し、特殊な位置関係を考慮した位置測定の手法を提供する。

40

【0072】

上述した特殊なケースの例として、以下の例が挙げられる。

(ケース1) 2次元測位において单一の基地局からの信号だけが取得される場合。この場合、遅延の推定すなわち移動局の位置推定は、極座標(r,θ)の半径方向においてのみ可能になり、θ方向の推定はまったく制約を受けない。三次元測位空間において2つの基地局からの信号だけが取得可能な場合にも、同様のことが当てはまる。

(ケース2) 2次元測位において、移動局(MS)と、この移動局と通信可能な2以上のすべての基地局(BS)が一直線上に並ぶ場合、位置推定は2次元の問題から1次元の問題に還元される。また、3次元測位空間において、移動局と3以上のすべての基地局(BS)が同一平面上に位置する場合は、3次元の問題から2次元の問題に還元され、同一

50

ライン上に位置する場合は、3次元の問題から1次元の問題に還元され得る。

【0073】

通常、測位の問題は、2次元あるいは3次元の最適化の問題として説明される。目的関数は、最尤推定 (MLE : maximum likelihood estimation) や最小二乗平均誤差 (MMSE : minimum mean square error) などの基準に基づいて生成され、勾配法やダイレクトサーチ法などを最適化のツールとして用いる (Y. Qi and H. Kobayashi, "Mitigation of non-line-of-sight effects in time-of-arrival positioning," Proc. 35th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS 2001), The Johns Hopkins University, March 2001, pp. 590-2)。

【0074】

2次元配置での位置推定を一般的なケースとして例にとってみると、上述した2つの特殊なケースでの測位誤差は、非常に大きなものになり、位置推定結果として用いることができない。このことは、クラメール・ラオの理論下限 (CRLB : Cramer-Rao Lower Limit) で表わされる最小測位誤差が無限大になるという分析結果からも確認される。

【0075】

第3実施形態では、このような不都合を回避し、移動局と基地局が位置推定には不向きな特殊な位置関係にある場合でも、より低い次元の問題に還元して取り扱うことによって、ある程度の精度が確保された位置推定値を算出する手法を提案する。この手法は2つの基本的な段階を含む。ひとつは、現在の基地局 - 移動局 (BS - MS) 配置が、還元された次元配置 (特殊なケース) に該当するか否かを判断する段階、もうひとつは、適切な次元での測位方法を用いて移動局の位置推定を行う段階である。

【0076】

第3実施形態の位置測定装置および方法の具体的な構成例を説明する前に、測位の問題をより低い次元の問題に還元した位置推定の原理を説明する。なお、第3実施形態では、移動通信システムに含まれるすべての基地局 (BS) が同期しているものとする。移動局 (MS) のクロックが基地局のクロックと同期しているか否かによって、同期システムまたは非同期システムに区分される。通常の位置関係で、各基地局からの受信信号に含まれるマルチパス遅延成分に基づいて移動局の位置を推定する点では、第1実施例 (同期システム) および第2実施例 (非同期システム) と同様である。また、移動局からの信号を複数の基地局で受信する上りリンクだけではなく、複数の基地局から送信された信号を移動局で受信する下りリンクにも本発明が適用される点も、第1実施形態および第2実施形態と同様である。

【0077】

まず、集合 $B = \{1, 2, \dots, B\}$ を基地局 BS の集合とすると、基地局の位置 $\{p_b, b \in B\}$ はすべて既知である。移動局の位置 p は未知であり、移動局の位置ベクトル p が推定すべきパラメータとなる。測位次元が一次元、2次元、3次元であるかどうかに応じて、移動局の位置 p は、それぞれ x , $(x y)^T$, $(x y z)^T$ で表わされる。もっとも、移動局の位置は直交座標に限られず、極座標で表わしてもよい。上付き文字 "T" は、位置ベクトルの転置である。基地局 BS の位置 $\{p_b, b \in B\}$ についても、同様のことが当てはまる。 b 番目の基地局 BS_b の遅延推定値は、式 (9) で表わされる。

【0078】

【数13】

$$\hat{\tau}_b = \tau_b + \xi_b, \text{ for } b \in B, \quad (9)$$

ここで、 ξ_b は推定誤差を表わし、ガウス分布 $N(0, \sigma_b^2)$ で近似することができる。分散 σ_b^2 は、システムのパラメータであり、

10

20

30

40

50

$$b^2 = 4 \cdot R_b^2$$

で表わされる。ここで、 R_b は基地局 BS_b での信号電力対雑音電力比 (S/N R) 、 \cdot は基地局 BS_b で受信された信号の有効帯域幅である。同期システムにおける遅延 τ_b は、式 (10) で表わされる。

【0079】

【数14】

$$\tau_b = \frac{1}{c} (\|\mathbf{p} - \mathbf{p}_b\| + l_b), \quad (10)$$

10

ここで、 c は光速 ($c = 3 \times 10^8$ m/s) 、 \cdot はユークリッド距離である。一方、非同期システムの遅延 τ_b は式 (11) で表わされる。

【0080】

【数15】

$$\tau_b = \frac{1}{c} (\|\mathbf{p} - \mathbf{p}_b\| + l_0 + l_b), \quad (11)$$

20

ここで、 l_0 / c は移動局 MS のクロックと基地局 BS のクロックとの間の未知の時間差 (タイムオフセット) である。

【0081】

基地局 - 移動局間の配置が上記の特殊なケースに該当する場合に、通常と同じ位置推定方法を用いると、クラメール - ラオの理論下限 (CRLB) で表わされる測位誤差が無限大になり、位置を特定できない。クラメール - ラオの理論下限 (CRLB) とは、未知のパラメータの不偏推定値の分散 (または共分散行列) の下限値を不等式で表わしたものであり、式 (12) で表わされる。

【0082】

【数16】

$$E_{\mathbf{p}} [(\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{p})(\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{p})^T] \geq \mathbf{J}_{\mathbf{p}}^{-1}, \quad (12)$$

30

ここで $\mathbf{J}_{\mathbf{p}}^{-1}$ はフィッシャー情報行列 (FIM) であり、不等式 “ $A \geq B$ ” は、行列 ($A - B$) が非負定値であることを意味し、 $E_{\mathbf{p}} [\cdot]$ は位置ベクトル \mathbf{p} についての期待値である。フィッシャー情報行列 (FIM) は、式 (13) から求めることができる。

【0083】

40

【数17】

$$\mathbf{J}_p = E_p \left[\frac{\partial}{\partial p} \ln f_p(\hat{\tau}) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial p} \ln f_p(\hat{\tau}) \right)^T \right], \quad (13)$$

ここで関数 f_p は、移動局の位置 p における各基地局からの遅延推定値の結合確率密度関数であり、式(14)で表わされる。 10

【0084】

【数18】

$$f_p(\hat{\tau}) \propto \prod_{b=1}^B \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_b^2} (\hat{\tau}_b - \tau_b)^2 \right\}, \quad (14)$$

$$\hat{\tau} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_B)^T$$

10

20

行列 \mathbf{J}_p はまた、式(15)で表わされる。

【0085】

【数19】

$$\mathbf{J}_p = \mathbf{H} \cdot \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{H}^T, \quad (30)$$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & \cos \phi_2 & \cdots & \cos \phi_B \\ \sin \phi_1 & \sin \phi_2 & \cdots & \sin \phi_B \end{pmatrix}, \quad (15)$$

$$\mathbf{\Lambda} = \text{diag} \left(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_B^2 \right).$$

30

40

ここで、角度 ϕ_b は、

$$\phi_b = \tan^{-1} [(y - y_b) / (x - x_b)]$$

で求められる。これらのことから、2次元測位において、

(1) 移動局と信号の送受信を行う基地局の数が1であるとき ($B = 1$)、

(2) 移動局と、すべての通信可能な基地局が一直線上に並ぶとき、すなわち、 $i = j$ で $x_i = x_j = 0$ または $y_i = y_j$ となるとき

に、最小二乗平均誤差 (M M S E) が無限大になることがわかる。

【0086】

これに対し、上述した特殊な位置関係(1)、(2)を、適切な次元の問題として取り扱うことによって、測位誤差は有限の値を取り得る。これについて、2つの特殊なケース 50

の各々について、まず 2 次元配置を例にとって説明する。

(1) ケース 1 について：単一の基地局 B S の場合

単一の基地局 B S₁のみが移動局 M S と通信する場合、単一の遅延推定値

【0 0 8 7】

【数 2 0】

$\hat{\tau}_1$,

10

だけが取得可能である。この場合、移動局の位置は、点 (x₁, y₁) を中心とする半径

【0 0 8 8】

【数 2 1】

$\hat{\rho} = \hat{\tau}_1$

20

の円上（正確には、誤差を考慮した環状の領域）のいずれかの地点に存在する。この場合の位置推定誤差の期待値を、式 (16) で表わす。

【0 0 8 9】

【数 2 2】

30

$$\begin{aligned}
 & [E_{\mathbf{p}}(\mathbf{p} - \hat{\mathbf{p}})^2] \\
 &= \frac{1}{2\pi\sqrt{2\pi}\sigma_1} \int \int [(\hat{\rho} \cos \hat{\theta} - x)^2 + (\hat{\rho} \sin \hat{\theta} - y)^2] \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_1^2}(\hat{\rho} - \tau_1)^2 \right\} d\hat{\rho} d\hat{\theta} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \int_0^\infty [\hat{\rho}^2 + \tau_1^2] \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_1^2}(\hat{\rho} - \tau_1)^2 \right\} d\hat{\rho} \quad (\text{using } \int_0^{2\pi} \cos \hat{\theta} d\hat{\theta} = \int_0^{2\pi} \sin \hat{\theta} d\hat{\theta} = 0) \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \int_{-\infty}^\infty [\hat{\rho}^2 + \tau_1^2] \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_1^2}(\hat{\rho} - \tau_1)^2 \right\} d\hat{\rho} \quad (\text{assuming } \tau_1 \gg \sigma_1) \\
 &= 2\tau_1^2 + \sigma_1^2 < \infty,
 \end{aligned} \tag{16}$$

ここで半径および角度

【0 0 9 0】

【数 2 3】

40

$\hat{\rho}, \hat{\theta}$

は、それぞれ、ガウス分布 $N(\tau_1, \sigma_1^2)$ を有する正規ランダム変数、および [0, 2π] の範囲で均一に取り得る角度として推定される。式 (16) において、分散 σ_1^2 が τ_1^2 に比較して十分に小さい場合に、平均二乗誤差 (MSE) は有限の値を取る。

50

【0091】

すなわち、2次元測位で单一の基地局だけが移動局との間で信号の送受信を行う特殊な配置関係にある場合、式(16)で表わされる推定式を用いることにより、位置推定誤差の範囲を、従来のような無限大ではなく、有限の範囲に導くことができる。この有限値は、位置推定の確からしさをも表わす。得られた有限値が十分に小さいならば、算出された位置推定値は、半径方向の距離しか特定されていないとしても、移動局の位置を表わす情報として許容される。したがって、適切なしきい値を設定することによって、单一の基地局からの遅延推定値しか得られない場合でも、ある程度の精度で移動局の位置を特定することが可能になる。

【0092】

この場合、半径以外の次元についてのパラメータ(2次元測位では)については、実行可能な領域における任意の値を選択することができる。実行可能な領域とは、たとえば交通手段のない海の上など、あり得ない場所(方向)を除いた領域である。

【0093】

上記の例は2次元測位に基づくので、基地局の数が1の場合をケース1としたが、3次元測位の場合は、後述するように、2以下の基地局だけから遅延推定値が得られる場合がケース1に該当する。

(2) ケース2について：移動局と基地局とが直線上に並ぶとき

次に、特殊配置の第2のケースについて説明する。2次元測位を例にとると、移動局と基地局とが一直線上に並ぶ場合、測位の問題は一次元の問題に還元される。したがって、式(9)で表わされる遅延推定値は、式(17)のように修正される。

【0094】

【数24】

$$\hat{\tau}_b = x - x_b + n_b, \quad \text{for } b \in \mathcal{B}, \quad (17)$$

ここで、 x は移動局の位置、 x_b は基地局の位置である。遅延推定値

【0095】

【数25】

$$\hat{\tau}_b$$

は、正の値、負の値の双方をとり得る。雑音誤差成分 n_b は、遅延推定値

【0096】

【数26】

$$\hat{\tau}_b$$

の符号を決定できる程度に、十分小さいものとする。移動局MSの位置に関する最尤推定値は、重み付けされた総和として、式(18)で表わされる。

【0097】

10

20

30

40

50

【数27】

$$\hat{x} = \sum w_b \cdot (\hat{\tau}_b + x_b), \text{ with } w_b = \frac{1/\sigma_b^2}{\sum_{i=1}^B 1/\sigma_i^2}. \quad (18)$$

このときの対応する最小二乗誤差 (MSE) は、式(19)で表わされ、これも有限の値をとることがわかる。

10

【0098】

【数28】

$$\text{var}(\hat{x}) = \sum w_b^2 \cdot \text{var}(\hat{\tau}_b) = \frac{1}{\sum_{b=1}^B 1/\sigma_b^2} < \infty, \quad (19)$$

式(18)で表わされる位置推定方法は、基地局BSと移動局MSとがLOS(見通し内)の位置関係にある場合に適用される。基地局BSと移動局MSが一直線上に並ぶ場合であっても、NLOS(見通し外)の関係にある場合は、第1実施形態(同期システム)または第2実施形態(非同期システム)で用いたMAP法により、受信信号に含まれる有効マルチパス成分を用いた位置推定を行う。

20

【0099】

3次元測位の場合は、移動局と、3以上の数の基地局のすべてが同一平面上または同一ライン上に位置する場合に、特殊ケース2に該当する。

【0100】

次に、3次元測位の場合の還元された次元での位置推定の原理を説明する。上述したように、3次元測位における特殊なケース1の場合とは、受信信号を得ることのできる基地局の数が、1または2の場合である。そこで、基地局の数が1の場合と、2の場合に分けて説明する。

30

(3次元測位におけるケース1-1)

基地局BS₁からの受信信号だけが取得可能である。この基地局BS₁の位置を原点とする球座標を用い、移動局の位置を(, ,)^Tとすると、遅延推定値から、半径

【0101】

【数29】

$$\hat{\rho} = \hat{\tau}_1$$

40

が推定され、緯度方向の推定値

【0102】

【数30】

 $\hat{\theta}$

と、経度方向の推定値

【0103】

【数31】

10

 $\hat{\psi}$

は、それぞれ [0, π] と [0, 2π] の範囲で均一に取り得る角度である。最小二乗誤差 (MSE) は、式 (20) で求められる。

【0104】

【数32】

20

$$\begin{aligned}
 E||\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{p}||^2 &= \frac{1}{2^{3/2}\pi^{5/2}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} [(\hat{\rho}\cos\hat{\theta} - \rho\cos\theta)^2 + (\hat{\rho}\sin\hat{\theta}\cos\hat{\psi} - \rho\sin\theta\cos\psi)^2 \\
 &\quad + (\hat{\rho}\sin\hat{\theta}\sin\hat{\psi} - \rho\sin\theta\sin\psi)^2] \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(\hat{\rho} - \tau_1)^2\right\} d\hat{\psi} d\hat{\theta} d\hat{\rho} \\
 &= \sigma_1^2 + 2\tau_1^2.
 \end{aligned} \tag{20}$$

30

(3次元測位におけるケース1-2)

2つの基地局 BS₁、BS₂ からの受信信号のみが取得可能な場合は、まず、2次元での解を検討する。2つの基地局 BS₁、BS₂ の位置をそれぞれ (x₁, 0)、(x₂, 0)、移動局 MS の実際の位置を (x, y)^T とすると、移動局 MS の推定位置

【0105】

【数33】

 $(\hat{x} \ \hat{y})^T$

40

の分布は、式 (21) で表わされる結合ガウシアン確率密度関数に一致する。

【0106】

【数34】

$$pp(\hat{p}) = \frac{|\mathbf{J}_p|^{1/2}}{2\pi} \exp \left\{ -\frac{1}{2}(\hat{p} - p)^T \mathbf{J}_p (\hat{p} - p) \right\}, \quad (21)$$

ここで、行列 \mathbf{J}_p は式 (15) で表わされる。これを円筒座標を用い、 $x = z$ 、 $y = \rho \sin \psi$ として 3 次元の問題に公式化する場合、移動局 MS の推定位置は、

10

【0107】

【数35】

$$(\hat{\rho}, \hat{\psi}, \hat{z})^T \text{ with } \hat{\rho} = \hat{y}, \hat{z} = \hat{x}$$

となり、パラメータ

20

【0108】

【数36】

$$\hat{\psi}$$

は $[0, 2\pi]$ の範囲で均一に取り得る角度である。最小二乗誤差 (MSE) は、式 (22) で表わされる。

30

【0109】

【数37】

$$\begin{aligned} E\|\hat{p} - p\|^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{+\infty} \int_0^{2\pi} [(\hat{\rho} \cos \hat{\psi} - \rho \cos \psi)^2 + (\hat{\rho} \sin \hat{\psi} - \rho \sin \psi)^2 + (\hat{z} - z)^2] \\ &\quad \cdot pp(\hat{p}) d\hat{\psi} d\hat{\rho} dz \\ &= \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 2y^2, \end{aligned} \quad (22)$$

40

ここで、分散 σ_x^2 および σ_y^2 は

【0110】

【数38】

$$\sigma_x^2 = [\mathbf{J}_p^{-1}]_{11}, \text{ and } \sigma_y^2 = [\mathbf{J}_p^{-1}]_{22},$$

50

であり、右辺の $[A]_{nn}$ は、行列 A の n 番目の対角項である。

【0111】

図 8 は、第 3 実施形態に係る位置測定装置 30 の概略構成を示すブロック図である。位置測定装置 30 は、受信信号を構成するマルチパス遅延波成分を検出するマルチパス遅延検出部 11 と、検出されたマルチパス遅延波成分の中から所定の基準に適合する複数の遅延波を選択するセレクタ 13 と、事前に求めた見通し外パスに関する NLOS 遅延関数を格納する格納部 15 と、セレクタ 13 により選択された遅延波と、前記格納部 15 から読み出された NLOS 遅延関数に基づいて移動局の位置を特定する位置計算部 17 と、移動局および基地局の現在の位置関係が特殊な配置関係にある場合に、測位次元をより低い次元に還元して位置推定を行う特殊位置計算部 31 を有する。図 8 の例では、還元された次元での位置推定を同期システムに適用しているが、図 6 に示す非同期システムでの位置測定装置にも同様に適用可能である。

【0112】

図 9 は、特殊位置計算部 31 の内部構成を示す図である。特殊位置計算部 31 は、基地局 - 移動局配置検出部 32 と、還元型位置計算部 35 と、確からしさ判断部 34 を有する。基地局 - 移動局配置検出部 32 は、マルチパス遅延検出部 11 への入力信号に基づいて、現在の測位に寄与する基地局 BS の数および位置を特定し、さらに、これらの基地局と移動局との配置関係を検出する。基地局と移動局との配置関係は、たとえば、前回までの移動局の位置推定値の推移など、過去の履歴に基づいて決定することができる。

【0113】

基地局 - 移動局配置検出部 32 の検出結果が、上述したケース 1 またはケース 2 で述べた特殊な位置関係に該当する場合、還元型位置計算部 35 は、対応する次元での最適な位置推定アルゴリズムを用いて、移動局 MS の位置を推定する。確からしさ判断部は、還元型位置計算部 35 で求められた位置推定値の確からしさが、所定の基準にあるか否かを判断し、確からしさが十分なときに、還元型位置計算部 35 が求めた位置推定値を移動局 MS の位置情報として出力させる。確からしさは、たとえば還元型位置計算部 35 が算出した有限の位置推定誤差が、所定のしきい値よりも小さい場合に、許容範囲とする。位置推定の確からしさが不十分な場合、たとえば、有限の位置推定誤差が所定のしきい値以上の場合は、この位置推定値を破棄する。

【0114】

一方、基地局 - 移動局配置検出部 32 の検出結果が、特殊な位置関係（ケース 1 またはケース 2）に該当しない場合は、位置計算部 17 で、各基地局からの受信信号に含まれる有効マルチパス成分を使用した MAP 法により移動局 MS の位置を推定する。

【0115】

基地局と移動局とが、直線上（3 次元測定の場合は同一平面上）にある場合に、基地局 - 移動局配置検出部 32 は、各基地局と移動局が NLOS（見通し外）の関係にあるか否かをさらに判断する。この NLOS 判断部は、基地局 - 移動局配置検出部 32 の内部に独立に設けても良いし、図 3 に示すようにセレクタ 13 内部の NLOS 判断部 22 を共用してもよい。

【0116】

図 10 は、第 3 実施形態に係る位置測定装置 30 の動作を示すフロー チャートである。まず、ステップ S401 で、基地局 - 移動局配置検出部 32 は、マルチパス遅延検出部 11 で受信された各基地局からの受信信号に基づいて、今回の測位に寄与する基地局の数が十分な数であるか否かを判断する。十分な数とは、2 次元測位の場合は、基地局 BS の数が 2 以上の場合、すなわち、2 以上の遅延推定値が得られる場合を意味する。逆にいうと、2 次元測位で、単一の基地局 BS からの遅延推定値しか得られない場合は、不十分な数と判断される。3 次元測位の場合は、基地局 BS の数が 3 以上の場合を十分な数とみなしこれをもとに、検出される基地局の数が 1 または 2 のときは、不十分な数とする。

【0117】

基地局の数が不十分であると判断された場合（S401 で NO）、上述した特殊なケ

10

20

30

40

50

ス1に該当するので、ステップS402に進み、還元された測位次元についての最適パラメータを算出する。他の次元に関するパラメータについては、実行可能な領域内で選択される任意の値を選択する。より具体的には、2次元測位のときは1次元の問題として、式(16)に基づいて有限の値を取る最小二乗誤差(MSE)を求め、1次元での位置推定パラメータあるいは x を算出する。残りの次元についてのパラメータ、たとえばあるいは y については、とり得ない方向を除いた実行可能領域内の任意の値を選択する。3次元測位のときは、基地局の数に応じて、式(20)または式(22)に基づいて最小二乗誤差(MSE)を求め、還元された次元での位置推定パラメータを算出し、それ以外の次元についてのパラメータについては、実行可能領域内の任意の値を選択する。

【0118】

10

最小二乗誤差を算出後、ステップS407に進み、求めた誤差が所定のしきい値よりも小さいか否かを判断する。すなわち、分散 σ_1 が遅延推定値 \hat{x}_1 に比較して非常に小さく、かつ、求めた最小二乗誤差(MSE)が所定のしきい値よりも小さい場合は、ステップS408で位置推定結果を有効なものとして出力する。一方、最小二乗誤差(MSE)がしきい値以上の場合は、ステップS409で推定結果を破棄する。

【0119】

20

ステップS401で基地局の数が十分であると判断された場合は(S401でYES)、ステップS403に進み、基地局-移動局配置検出部32において、今回の測位に寄与する基地局が、還元された測位次元の配置関係にあるか否かを判断する。たとえば、2次元測位では、検出された2以上の基地局BSのすべてが一直線上に並ぶか否かを判断し、3次元測位では、検出された3以上の基地局BSのすべてが、同一直線上または同一平面上に位置するかを判断する。一直線上あるいは同一平面上に並ばない場合は(S403でNO)、特殊ケースには該当しないので、ステップS405に進み、通常の位置推定を行う。このときの位置推定は、たとえば、第1実施形態および第2実施形態で述べた手法に基づいて行う。

【0120】

30

検出された基地局BSが直線上または同一平面上に位置する場合(S403でYES)は、ステップS404に進み、基地局-移動局配置検出部32は、移動局MSが基地局BSで定義される直線上またはその近傍にあるか否かを推定する。3次元測位の場合は基地局BSで定義される平面上またはその近傍にあるか否かについての判断も含む。

【0121】

ここで、測位対象である移動局MSが、基地局配置と同一の直線または平面、またはその近傍にあるか否かの判断については、いくつかの方法が考えられる。

【0122】

たとえば、位置トラッキングなどの事前情報を用いる方法がある。過去の履歴から、直前の移動局MSの位置と、移動速度および移動方向がわかっているので、今回の測位で移動局が特殊配置関係に含まれるか(含まれつつあるか)について決定できる。

【0123】

40

また、従来の測位方法では、移動局MSが還元された測位次元に該当するような配置関係あるいはその近傍に接近しつつあるときは、実行不可能な点へと収束する。これは、たとえば前回推定された移動局の位置と、今回の位置推定により収束した点(位置)が、想定される移動局の移動速度では移動不可能な場合などに相当する。そこで、従来手法を用いた場合に得られる収束点の実現可能性を利用して、移動局が還元された測位次元に含まれるか否かを判断する。

【0124】

50

さらに、勾配法に基づく最適化手法を採用する測位方法では、最適な移動局位置を推定するための反復演算の過程で、移動局の推定位置が還元された測位次元へと移行しつつある場合に、逆行列の要素が非常に大きな値をとり、逆行列が不確かなものになる(逆行列が無限大になる)。この演算の不確かさを利用することによっても、移動局が還元された測位次元に含まれるか否かを判断できる。

【0125】

移動局 M S が特殊な位置関係に含まれない場合は (S 4 0 4 で N O)、ステップ S 4 0 5 へ進み、位置計算部 1 7 で通常の位置計算を行う。この場合、たとえば 2 次元測位で検出された基地局 B S が 2 つである場合に、第 1 実施形態または第 2 実施形態の方法で位置推定を行ったとしても、クラメール - ラオの理論下限 (C R L B) で有限の値を取り得る。

【0126】

移動局 M S が特殊な位置関係に含まれる場合 (S 4 0 4 で Y E S)、すなわち、2 次元測位で移動局 M S と 2 以上の基地局 B S のすべてが直線上に並ぶ場合、あるいは 3 次元測位で移動局 M S と 3 以上の基地局 B S のすべてが直線上または同一平面上にある場合は、ステップ S 4 0 6 に進み、還元型位置計算部 3 5 で、還元された測位次元での位置計算を行う。具体的には、たとえば 2 次元測位のときは、一次元の問題に還元して、式 (18) に基づいて移動局 M S の位置を推定する。

【0127】

なお、上述したように、移動局と基地局とが直線上に並ぶが場合に、N L O S (見通し外) の関係にある場合は、システムの同期、非同期に応じて、第 1 実施形態または第 2 実施形態の方法で、位置推定を行う。

【0128】

第 3 実施形態の位置測定装置 3 0 および位置測定方法によれば、移動局と基地局とが、従来の方法では位置推定不可能とされる特殊な配置関係にある場合でも、なおもある程度の精度をもって、移動局の位置の推定が可能になる。

【0129】

以上、特定の実施形態に基づいて本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態に限定されるものでなく、当業者にとって可能な変形、代替も発明の範囲に含むものである。

【図面の簡単な説明】

【0130】

【図 1】本発明の第 1 実施形態に係る位置測定装置を示すブロック図である。

【図 2】受信信号から算出されたマルチパス遅延波の一例を示す概略図である。

【図 3】図 1 の位置測定装置で用いられるセレクタの構成例を示すブロック図である。

【図 4】第 1 実施形態の位置測定方法を示すフローチャートである。

【図 5】図 4 のフローチャートにおける遅延波選択ステップの詳細な処理を示すフローチャートである。

【図 6】本発明の第 2 実施形態に係る位置測定装置を示すブロック図である。

【図 7】第 2 実施形態の位置測定方法を示すフローチャートである。

【図 8】本発明の第 3 実施形態に係る位置測定装置を示すブロック図である。

【図 9】図 8 の位置測定装置で用いられる特殊位置計算部のブロック図である。

【図 10】第 3 実施形態の位置測定方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

【0131】

1 0 、 3 0 、 5 0 位置測定装置

1 1 、 5 1 マルチパス遅延検出部

1 3 、 5 3 セレクタ

1 5 、 5 5 N L O S 遅延関数格納部

1 7 、 5 7 位置計算部

2 1 遅延波入力部

2 2 N L O S 判断部

2 3 比較部

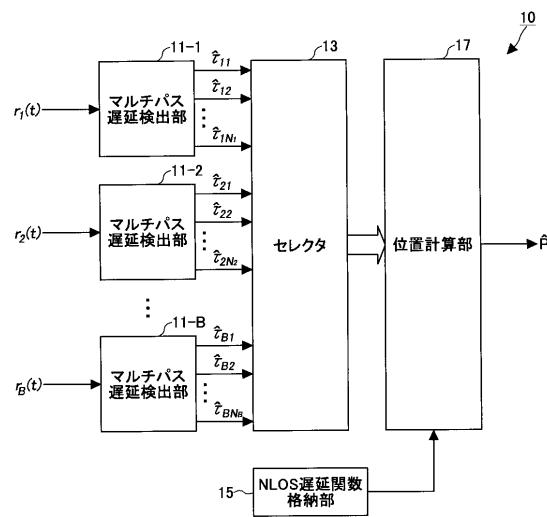
2 4 パス選択部

3 1 特殊位置計算部 (第 2 の位置計算部)

3 2 基地局・移動局配置検出部
3 4 確からしさ判断部
3 5 還元型位置計算部
5 4 TDOAデータ生成部

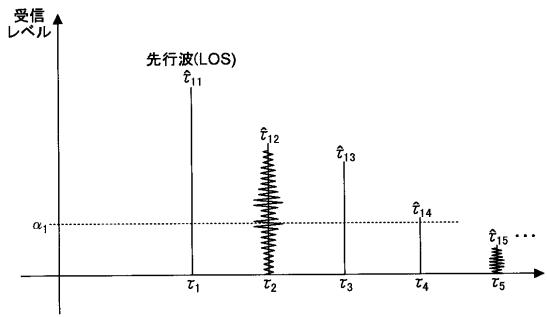
【図1】

第1実施形態に係る位置測定装置

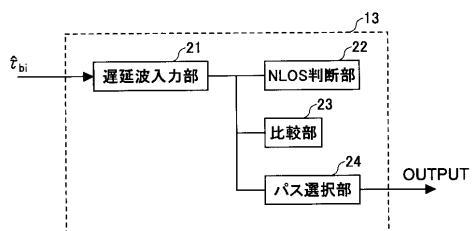


【 図 2 】

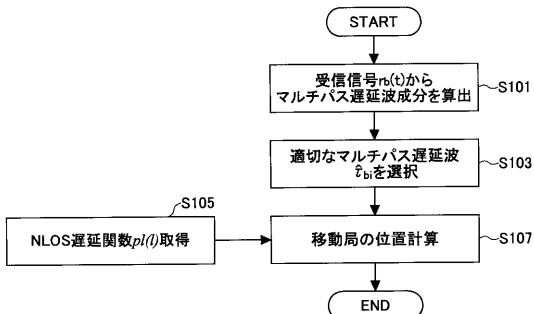
受信信号 $r_1(t)$ を構成するマルチパス遅延波成分



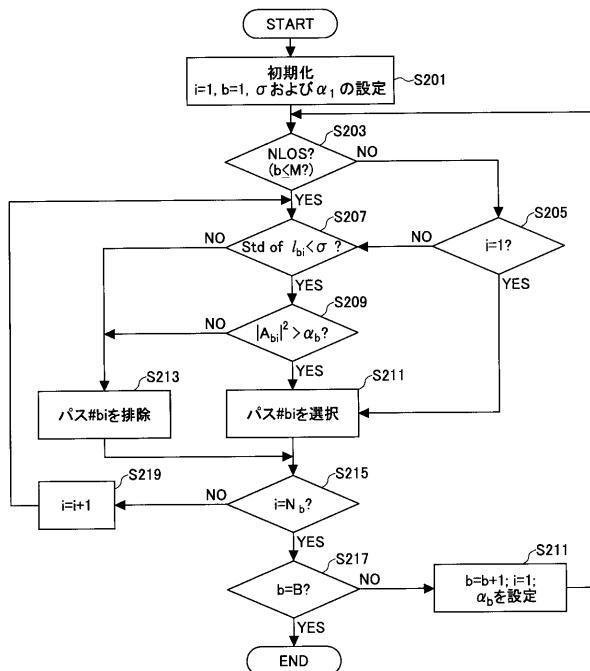
【 図 3 】



【 図 4 】

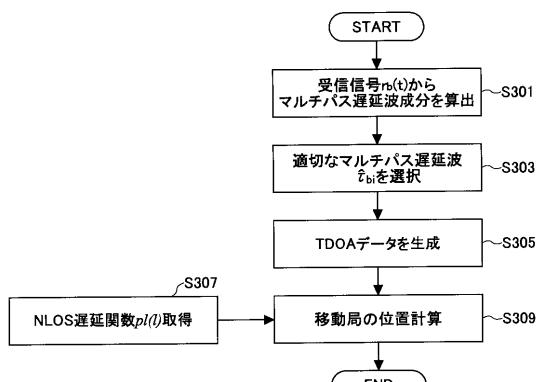
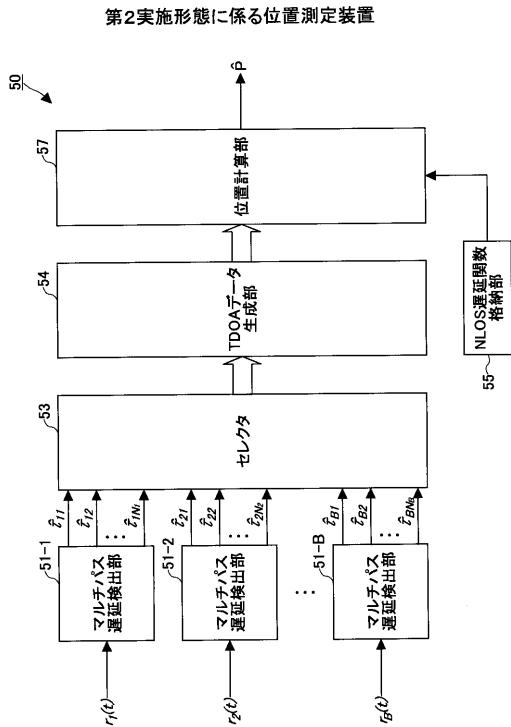


【図5】

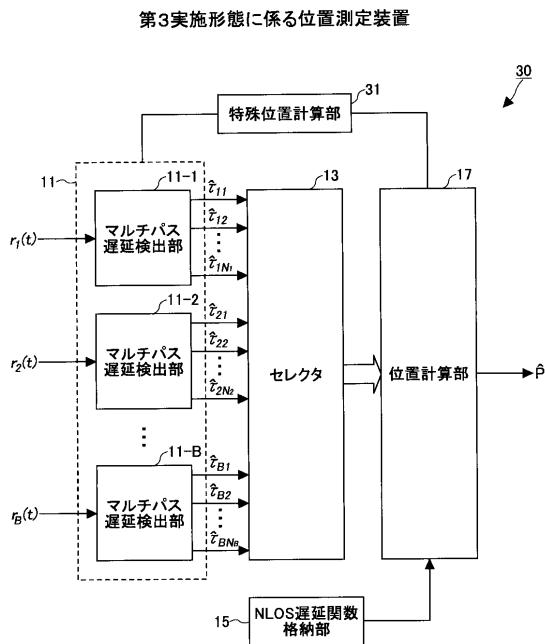


【 図 6 】

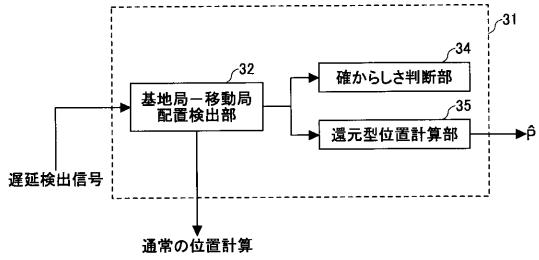
【 図 7 】



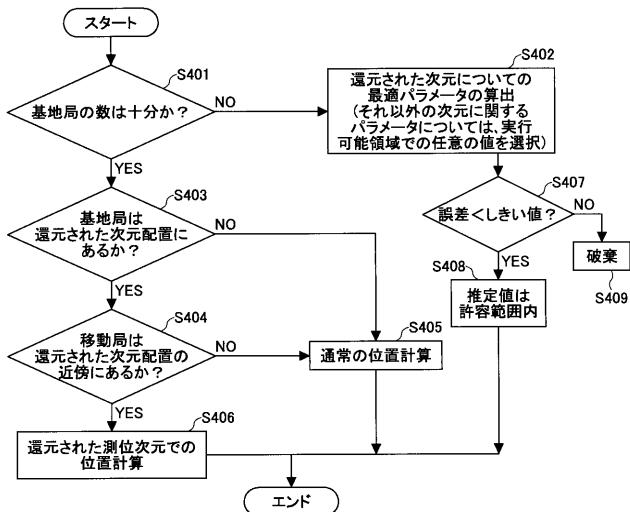
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5K067 AA21 BB21 DD30 EE02 EE10 HH23 JJ52 KK15