

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年8月13日(13.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/162251 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 5/02 (2010.01) G01S 5/14 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/002753

(22) 国際出願日: 2020年1月27日(27.01.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

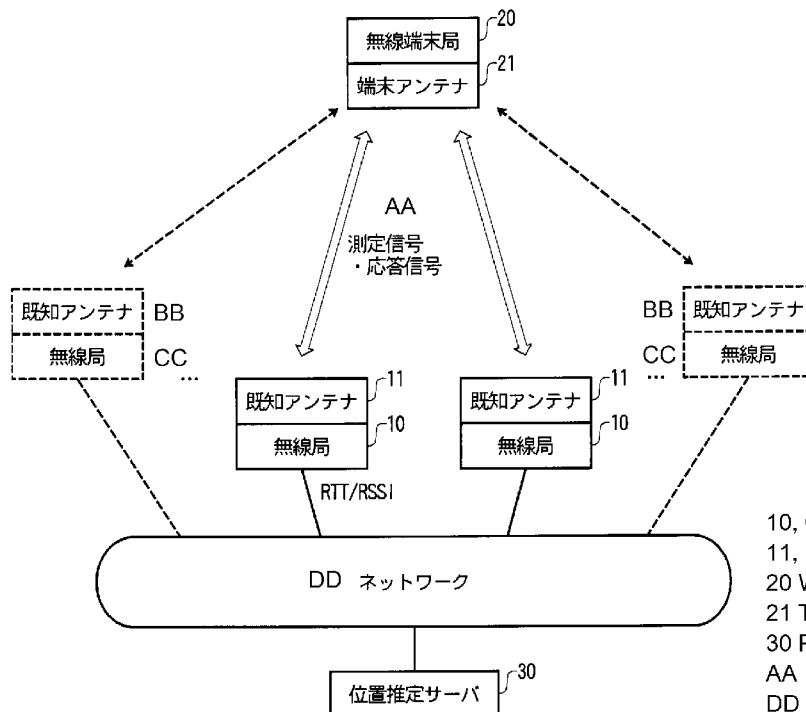
(30) 優先権データ:
特願 2019-020139 2019年2月6日(06.02.2019) JP

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 細田 真道 (HOSODA, Masamichi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 毛利 忠 (MORI, Tadashi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 宮本 勝 (MIYAMOTO, Masaru); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 坂本 寛 (SAKAMOTO, Hiroshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 村上 友規 (MURAKAMI, Tomoki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小川 智明 (OGAWA, Tomoaki); 〒1808585

(54) Title: POSITION ESTIMATING DEVICE, POSITION ESTIMATING SYSTEM, POSITION ESTIMATING SERVER, AND POSITION ESTIMATING PROGRAM

(54) 発明の名称: 位置推定方法、位置推定システム、位置推定サーバおよび位置推定プログラム



10, CC Wireless station
11, BB Known antenna
20 Wireless terminal station
21 Terminal antenna
30 Position estimation server
AA Measurement signal/response signal
DD Network

(57) Abstract: Provided is a position estimating method including: transmitting and receiving a measurement signal and a response signal between a wireless station including a plurality of n known antennas installed at different known positions and a wireless terminal station including a terminal antenna; and measuring a round-trip delay time RTT and a received signal strength indicator RSSI for the transmission and reception to estimate the position

東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T
T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 高田・高橋国際特許事務所 (TAKADA, TAKAHASHI & PARTNERS);
〒1040045 東京都中央区築地 1 丁目 1 2 番 2
2 号 コンワビル 7 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

of the wireless terminal station, wherein the position of the wireless terminal station is determined by simultaneously calculating an RTT evaluation function f_{ti} for evaluating an estimation value for the position of the wireless terminal station estimated from the RTT measured between the wireless terminal station and the known antenna i ($i = 1, 2, \dots, n$) and an RSSI evaluation function f_{ri} for evaluating an estimation value for the position of the wireless terminal station estimated from the RSSI, to find a solution, or searching for an estimation value in such a manner as to minimize an error evaluation function f_{error} obtained by combining the RTT evaluation function and the RSSI evaluation function.

(57) 要約: 互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間である RTT およびその受信電波強度である RSSI を測定して無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される RTT から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する RTT 評価関数 f_{ti} と、RSSI から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する RSSI 評価関数 f_{ri} とを連立させることにより得られる解、もしくは RTT 評価関数と RSSI 評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を無線端末局の位置として求める。

明 細 書

発明の名称：

位置推定方法、位置推定システム、位置推定サーバおよび位置推定プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、複数のアンテナの既知の位置に基づいて無線端末局の位置を推定する位置推定方法、位置推定システム、位置推定サーバおよび位置推定プログラムに関する。

背景技術

[0002] 分散アンテナを利用して、位置が既知である複数のアンテナと端末の間の往復遅延時間 R T T (Round Trip Time) や受信電波強度 R S S I (Received Signal Strength Indicator) から、無線端末局の位置を推定する方法がある（非特許文献 1）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献 1：細田真道，坂本寛，村上友規，花籠靖，梅内誠，毛利忠，小川智明，宮本勝，“分散アンテナを用いたアクセスポイントによる無線 L A N 端末位置推定方式”，FIT2018（第 17 回情報科学技術フォーラム）第 4 分冊，pp. 59-64，2018 年 9 月。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 非特許文献 1 は、R T T による位置推定式と R S S I による位置推定式が完全に独立しており、それぞれ座標を求める方法になっており、精度が異なった 2 種類の座標が得られる。さらに、計算過程も完全に独立しており、双方の精度を考慮して位置推定計算を統合することができなかった。また、1 つの位置推定結果を得るには、2 つの座標をそれぞれ別々に求めてから座標

を統合する必要があった。

[0005] 非特許文献 1 には 2 次元または 3 次元で位置推定する具体的な式や計算方法がない。R T T を使って 3 次元位置推定する場合は、G P S の計算方法を応用することで位置推定することも容易に考えることができるが、R S S I を使って 3 次元位置推定する具体的な式や計算方法が示されていない。また、R T T / R S S I とともに 2 次元位置推定する具体的な式や計算方法が示されていない。

[0006] 非特許文献 1 の R S S I による位置推定式では、空間の伝搬損失係数 α を実際の空間に合わせてあらかじめ計測するなどして決定しておく必要がある。

[0007] 非特許文献 1 では、G P S の計算方法を用いる以外に、軌跡を使った方法が示されており、R T T で 2 次元位置推定する際には、2 つの双曲線の交点を求めればよいとしている。しかし、アンテナ数が 3 以上の場合には双曲線が 2 つ以上となり、すべての双曲線が交わる交点が存在しない場合が発生し得ることとなり、その場合は位置推定できなかった。同様に、R T T で軌跡を使って 3 次元位置推定する際には、アンテナ数が 4 以上で二葉回転双曲面が 3 つ以上となり、すべての双曲面が交わる点が存在しない場合が発生し得ることとなり、その場合は位置推定できなかった。R S S I の場合でも同様に、アンテナ数が多いとすべての円もしくは球が交わる点が存在しない場合が発生し得ることとなり、その場合は位置推定できなかった。

[0008] R T T / R S S I の計測値に誤差があった場合、位置推定結果の座標が大きく外れてしまい、端末が移動（存在）できる範囲よりも外側の座標が出力されてしまうことがあった。

[0009] 非特許文献 1 は、分散アンテナを使用しているため、位置既知アンテナと A P 間に同軸ケーブルなどを敷設するためのコストが必要であった。

[0010] 本発明は、R T T または / および R S S I を用いて無線端末局の位置を精度よく推定することができる位置推定方法、位置推定システム、位置推定サーバおよび位置推定プログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0011] 第1の発明は、互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間である RTT を測定して無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される RTT から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する RTT 評価関数 f_{ti} と、無線端末局の位置の推定値がその存在範囲を外れた場合に評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数 f_L とを連立させることにより得られる解、もしくは RTT 評価関数と範囲評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を無線端末局の位置として求める。
- [0012] 第2の発明は、互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その受信電波強度である $RSSI$ を測定して無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される $RSSI$ から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する $RSSI$ 評価関数 f_{ri} を連立させることにより得られる解、もしくは $RSSI$ 評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を無線端末局の位置として求める。
- [0013] 第3の発明は、互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その受信電波強度である $RSSI$ を測定して無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される $RSSI$ から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する $RSSI$ 評価関数 f_{ri} と、無線端末局の位置の推定値がその存在範囲を外れた場合に評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数 f_L とを連立させることにより得られる解、もしくは $RSSI$ 評価関数と範囲評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索し

た値を無線端末局の位置として求める。

[0014] 第4の発明は、互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間である RTT およびその受信電波強度である $RSSI$ を測定して無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される RTT から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する RTT 評価関数 f_{ti} と、 $RSSI$ から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する $RSSI$ 評価関数 f_{ri} とを連立させることにより得られる解、もしくは RTT 評価関数と $RSSI$ 評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を無線端末局の位置として求める。

[0015] 第5の発明は、互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間である RTT およびその受信電波強度である $RSSI$ を測定して無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される RTT から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する RTT 評価関数 f_{ti} と、 $RSSI$ から推定される無線端末局の位置の推定値を評価する $RSSI$ 評価関数 f_{ri} と、無線端末局の位置の推定値がその存在範囲を外れた場合に評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数 f_L とを連立させることにより得られる解、もしくは RTT 評価関数と $RSSI$ 評価関数と範囲評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を無線端末局の位置として求める。

[0016] 第6の発明は、第1～第5の発明の位置推定方法により無線端末局の位置を推定する位置推定システムにおいて、複数 n 個の既知アンテナを備える無線局でそれぞれ測定される RTT または／および $RSSI$ を位置推定サーバに転送し、該位置推定サーバで RTT 評価関数 f_{ti} または／および $RSSI$ 評価関数 f_{ri} を算出して無線端末局の位置を求める構成である。

[0017] 第7の発明は、第1～第5の発明の位置推定方法により無線端末局の位置を推定する位置推定システムにおいて、複数 n 個の既知アンテナは、無線基地局から既知の長さのケーブルを介して分散配置された分散アンテナであり、該無線基地局で測定される分散アンテナごとの RTT または／および $RSSI$ を位置推定サーバに転送し、該位置推定サーバで RTT 評価関数 f_{ti} または／および $RSSI$ 評価関数 f_{ri} を算出して無線端末局の位置を求める構成である。

[0018] 第8の発明は、第1～第5の発明の位置推定方法により無線端末局の位置を推定する位置推定サーバにおいて、複数 n 個の既知アンテナを備える無線局でそれぞれ測定される RTT または／および $RSSI$ が転送され、 RTT 評価関数 f_{ti} または／および $RSSI$ 評価関数 f_{ri} を算出して無線端末局の位置を求める構成である。

[0019] 第9の発明の位置推定プログラムは、第8の発明の位置推定サーバが実行する処理をコンピュータに実行させ、 RTT 評価関数 f_{ti} または／および $RSSI$ 評価関数 f_{ri} を算出して無線端末局の位置を求める。

発明の効果

[0020] 本発明は、 RTT または／および $RSSI$ を用いて無線端末局の位置を精度よく推定するとともに、 RTT と $RSSI$ の双方を統合した位置推定を一度に実施することができる。また、重み付けにより双方の精度や信頼性を考慮したり、 RTT と $RSSI$ のどちらを重視するかの調整を行うことができる。

[0021] また、2次元、3次元で具体的な位置推定ができる。

[0022] また、多くの既知アンテナを使うことができ、かつ、 RTT および $RSSI$ 双方の計測が可能で、それぞれの計測誤差が小さい場合には、空間の伝搬損失係数 α が既知でなくても $RSSI$ による位置推定をすることができる。また、これにより α を計測することができるため、一旦こういった環境で α を計測しておき、実際の運用時にはこの α を既知の値として用い、少ない既知アンテナ、一般的な精度でより経済的に位置推定することもできる。

[0023] また、R T Tまたは／およびR S S Iの計測値に誤差があっても、範囲評価関数を使用することにより位置推定結果の座標が大きく外れてしまうことがなくなる。

[0024] 分散アンテナを使用せずに位置推定する構成を採ることも可能で、その場合は位置既知アンテナとA P間にケーブルを敷設する必要がなくなり、コストを低減できる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]本発明の位置推定システムの全体構成例を示す図である。

[図2]無線局10の構成例を示す図である。

[図3]無線端末局20の構成例を示す図である。

[図4]測定信号と応答信号のシーケンスの例1を示す図である。

[図5]測定信号と応答信号のシーケンスの例2を示す図である。

[図6]本発明の位置推定システムの他の全体構成例を示す図である。

[図7]位置推定サーバ30の構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0026] 図1は、本発明の位置推定システムの全体構成例を示す。

図1において、位置が既知である無線局10の既知アンテナ11が2本以上あり、位置が未知である無線端末局20の端末アンテナ21との間で測定信号および応答信号をやりとりし、R T TまたはR S S I、もしくはその両方を計測する。計測値は、各無線局10からネットワークを介して位置推定サーバ30へ集められる。位置推定サーバ30では、位置推定計算を行い、無線端末局20および端末アンテナ21の位置を計算して推定する。

[0027] 図2は、本発明における無線局10の構成例を示す。

図2において、無線局10は、既知アンテナ11に接続される信号送信部12および信号受信部13、信号受信部13に接続されるR T T測定部14およびR S S I測定部15、時計16を備え、R T T測定部14およびR S S I測定部15に位置推定サーバ30が接続される。

[0028] 図3は、本発明における無線端末局20の構成例を示す。

図3において、無線端末局20は、端末アンテナ21に接続される信号受信部22および信号送信部23、制御部24、必要に応じて時計25を備える。

[0029] (1) R T T / R S S I の計測

(1.1) R T T / R S S I 計測例1

図4は、測定信号と応答信号のシーケンスの例1を示す。

図4において、無線局10から無線端末局20に測定信号を送信し、無線端末局20が無線局10に応答信号を返信する。

[0030] (1.1.1) 測定信号と応答信号

測定信号には、無線LANのアクションフレームやマネジメントフレームを使うことができる。それらを受信した無線端末局20はACKを返すので、これを応答信号として使うことができる。もちろん測定信号や応答信号には、データフレームなどの他の種類のフレームを使ってもよい。無線LAN以外でも、測定信号と応答信号のやりとりができる他の無線通信方式を使ってもよい。

[0031] (1.1.2) R T T 計測

R T T を計測する場合、無線局10はR T T 測定部14から信号送信部12を介して測定信号を送信する際に、時計16を用いてその時刻 t_1 を記録する。無線端末局20は、制御部24により、信号受信部22が測定信号を受信したら、信号送信部23から応答信号を送信する。この際、時計25を使って測定信号の受信時刻 t_2 および応答信号の送信時刻 t_3 を記録してもよい。無線局10は、信号受信部13に応答信号を受信したら、R T T 測定部14が時計16を用いてその時刻 t_4 を記録する。

[0032] R T T 測定部14は、 $(t_4 - t_1)$ を計算することにより、無線端末局20の遅延時間である端末遅延時間 $(t_3 - t_2)$ を含むR T Tを得ることができる。これをraw R T Tとする。raw R T Tのみを計測する場合、無線端末局20の時計25は不要である。

[0033] 無線端末局20が時計25を備え、 t_2 および t_3 を記録することができる場

合は、端末遅延時間 ($t_3 - t_2$)、もしくは t_2 および t_3 そのものを応答信号に載せる、他の信号に載せるなどの方法で無線局 10 へ伝えてもよい。すると、 $((t_4 - t_1) - (t_3 - t_2))$ を計算することにより、端末遅延時間を除いた R T T を得ることができる。これを無遅延 R T T とする。

[0034] (1.1.3) R S S I 計測

R S S I を計測する場合、無線局 10 は R S S I 測定部 15 により信号受信部 13 が応答信号を受信した際の R S S I を取得する。

[0035] (1.2) R T T / R S S I 計測例 2

図 5 は、測定信号と応答信号のシーケンスの例 2 を示す。ここでは、IEEE Std 802.11-2016 の F T M (Fine Timing Measurement) を用いる。

[0036] (1.2.1) R T T 計測

無線局 10 は、R T T 測定部 14 がイニシエータとして信号送信部 12 から Initial F T M Request を無線端末局 20 へ送信し、無線端末局 20 に対して測定信号を指定回数送信するよう要求する。無線端末局 20 は、信号受信部 22 が Initial F T M Request を受信すると、制御部 24 がレスポンドとしての動作を開始する。無線端末局 20 は、信号送信部 23 から最初の測定信号として F T M 1 を送信し、制御部 24 が時計 25 を使ってその送信時刻を t_1 として記録する。無線局 10 は、F T M 1 を受信すると応答信号として A C K を返す。このとき R T T 測定部 14 は時計 16 を使い受信時刻を t_2 、送信時刻を t_3 として記録する。無線端末局 20 は A C K を受信すると、次の測定信号 F T M 2 を送信する。このとき制御部 24 は時計 25 を使い受信時刻 t_4 、送信時刻 t_1' を記録する。この 2 回目以降の測定信号には前回の送信時刻 t_1 、受信時刻 t_4 を含める。

[0037] 以下同様に、最初の要求で指定された回数に達するまで測定信号と応答信号の往復が続き、無線局 10 と無線端末局 20 はそれぞれの送受信時刻の記録と測定信号へ前回の (t_1, t_4) 付与を行う。これにより、無線局 10 は前回の (t_1, t_4) を含んだ測定信号を受信することができ、R T T 測定部 14 で記録していた前回の受信時刻 t_2 、送信時刻 t_3 とあわせて、 $((t_4 - t_1) - (t_3 - t_2))$

)を計算することにより、前回の測定信号と応答信号の往復における無遅延 R T T を求めることができる。

[0038] ここで、本シーケンスは、図 4 のシーケンスの測定信号と応答信号の向きが逆であるが、無線局 1 0 がトリガーとなって、無線局 1 0 と無線端末局 2 0 との間の無遅延 R T T を計測することができる。

[0039] (1.2.2) R S S I 計測

R S S I を計測する場合、無線局 1 0 は R S S I 測定部 1 5 により信号受信部 1 3 が測定信号 F T M 1 , F T M 2 などを受信した際の R S S I を取得する。

[0040] (1.3) 分散アンテナによる構成例

図 1 のシステム構成は、無線局 1 0 の既知アンテナ 1 1 の位置を既知とし、無線端末局 2 0 の端末アンテナ 2 1 との間で測定信号および応答信号をやりとりして R T T もしくは R S S I を計測したが、他の構成でも構わない。

[0041] 例えば、既に分散アンテナが設置済みで新たなケーブル敷設コストがかからない場合は、図 1 の複数組の無線局 1 0 および既知アンテナ 1 1 を、図 6 に示すように、1 台の無線基地局 4 0 とケーブル 4 1 を介して接続される複数の分散アンテナ 4 2 に置き換えてもよい。

[0042] この場合、ケーブル 4 1 を通過することによる損失および遅延を考慮して raw R T T 、無遅延 R T T 、R S S I をそれぞれ補正することにより、図 1 のような構成と同等の計測値を得ることができ、同じ位置推定計算方法を用いることができる。

[0043] (1.4) R T T / R S S I 計測まとめ

以上の方法で、無線局 1 0 または無線基地局 4 0 は raw R T T 、無遅延 R T T 、R S S I の一部または全部を計測することができ、これをネットワークを介して位置推定サーバ 3 0 へ伝える。

[0044] (2) 位置推定

図 7 は、本発明における位置推定サーバ 3 0 の構成例を示す。

図 7 において、位置推定サーバ 3 0 は、無線局 1 0 に接続される測定値統

計処理部 3 1、座標計算部 3 2、座標安定化部 3 3 を備える。

[0045] (2.1) 測定値統計処理部 3 1

無線端末局 2 0 は、測定信号や応答信号の処理だけを実施しているわけではなく、他の処理も同時に行っているため、他の処理の状況によって端末遅延時間にはバラツキが生じる。そこで、raw R T T しか計測できない構成の場合は、測定値統計処理部 3 1 において既知アンテナ 1 1 毎に統計処理を行い、外れ値の除去、移動平均や回帰などの方法によりバラツキを取り除いた統計処理 R T T を求めてもよい。無遅延 R T T の場合は端末遅延時間が含まれておらずバラツキが小さいため、統計処理をする／しないは任意である。

R S S I についても同様に統計処理をする／しないは任意である。

[0046] 測定値統計処理部 3 1 では、既知アンテナ 1 1 毎に R T T 計測値や R S S I 計測値の、精度の指標となる信頼性を計算してもよい。例えば、過去一定期間における計測回数が多ければその既知アンテナ 1 1 の計測値の信頼性が高い、過去一定期間の計測値の分散や標準偏差が小さければその既知アンテナ 1 1 の計測値の信頼性が高い、といった基準で計算することができる。また、既知アンテナ 1 1 毎の特性や場所、周囲の状況に応じて信頼性を補正することもできる。例えば、過去一定期間の計測回数を s 回、標準偏差を σ として、既知アンテナ 1 1 毎の補正パラメータとして、計測回数の補正率を a_{size} 、補正オフセットを b_{size} 、標準偏差の補正率を a_{sigma} 、標準偏差の補正オフセットを b_{sigma} とすると、信頼性 w は

$$w = (a_{size} \cdot s + b_{size}) / (a_{sigma} \cdot \sigma + b_{sigma})$$

で求めることができる。

[0047] (2.2) 座標計算部 3 2

座標計算部 3 2 では、raw R T T、無遅延 R T T、統計処理 R T T を区別する必要がないため、いずれかを R T T として扱って計算する。

[0048] (2.2.1) 座標計算の前提

既知アンテナ 1 1 または分散アンテナ 4 2 を n 本とし、総称して既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) とする。

[0049] 既知アンテナ i の座標を、2次元の場合は (x_i, y_i) 、3次元の場合は (x_i, y_i, z_i) とする。これらは既知で座標の単位はmとする。既知アンテナ i で計測した $R T T$ を t_{rti} [s] とする。

既知アンテナ i で計測した $R S S I$ を $R S S I_i$ [dBm] とする。

[0050] 既知アンテナ i の特性、ケーブル長、その他既知アンテナ i 毎の計測値に影響を及ぼすものがあれば、あらかじめ補正しておく。例えば、既知アンテナ i を接続したケーブル長が他の既知アンテナよりも長い場合、他の既知アンテナよりもケーブル遅延、ケーブル損失が大きくなるため、 t_{rti} からケーブル遅延の往復分を減算して他の既知アンテナの条件と同等の t_{rti} が得られる補正を行い、 $R S S I_i$ にケーブル損失分を加算して他の既知アンテナの条件と同等の $R S S I_i$ が得られる補正を行っておく。

[0051] 端末アンテナ 21 の座標を、2次元の場合は (x_s, y_s) 、3次元の場合は (x_s, y_s, z_s) とする。これらは未知で座標の単位はmとする。

[0052] 端末遅延時間およびその他の遅延時間の合計を t_d [s] とする。これも未知である。

光速 c を 299792458 [m/s] とする。これはどこの空間であってもまったく同じ定数である。

[0053] 空間の伝搬損失係数を α とする。これは自由空間では $\alpha = 2$ となるが、ここでは実際の空間に合わせてあらかじめ計測するなどしておく。そのため既知である。

[0054] 無線通信に使用する電波の波長を λ [m] とする。これはチャネルが決まれば周波数が決まるため、既知である。

[0055] 2次元の場合、既知アンテナ i と任意の地点 (x, y) との距離を $d_i(x, y)$ とすると、

$$d_i(x, y) = \sqrt{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]}$$

となる。同様に、3次元の場合、既知アンテナ i と任意の地点 (x, y, z) との距離を $d_i(x, y, z)$ とすると、

$$d_i(x, y, z) = \sqrt{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]}$$

となる。

[0056] 既知アンテナ i と端末アンテナ 2 1 との間の真の距離を l_i [m] とすると、2 次元の場合は、

$$l_i = d(x_i, y_i)$$

となり、3 次元の場合は、

$$l_i = d(x_i, y_i, z_i)$$

となる。

[0057] (2.2.2) R T T 評価関数

既知アンテナ i で計測した R T T である t_{rti} は往復の時間だが、この片道分の距離相当を疑似距離 l_{pi} [m] として、

$$l_{pi} = c t_{rti} / 2$$

とする。これは計測値から計算できる値であるが、遅延時間 t_d を含んだ t_{rti} をもとに計算したものであるため、既知アンテナ i と端末アンテナ 2 1 との間の真の距離 l_i より長くなっている。

[0058] l_{pi} と l_i の差分を l_d [m] とすると、これは遅延時間 t_d の片道距離相当なので、

$$l_d = c t_d / 2$$

であり、

$$l_i = l_{pi} - l_d$$

である。

[0059] ここで、求める未知数は 2 次元の場合、端末アンテナ 2 1 の座標 x_s, y_s と l_d の 3 つ、3 次元の場合、端末アンテナ 2 1 の座標 x_s, y_s, z_s と l_d の 4 つとなる。これらの未知数を探索して端末アンテナ 2 1 の座標を求めることを考える。探索中の推定値として 2 次元の場合 x, y, l の 3 つ、3 次元の場合 x, y, z, l の 4 つの変数を用いることとする。推定値の座標と既知アンテナ i との間の距離は、2 次元の場合は

$$d_i(x, y)$$

となり、3 次元の場合は

$$d_i(x, y, z)$$

となる。

[0060] さらに、疑似距離と真の距離との差分の推定値 l から求めることができる、真の距離の推定値は、

$$l_{pi} - l$$

となる。それぞれの推定値が正しい値となった場合には、両者が一致する。

[0061] そこで、これらの差分を取ったものを、推定値を評価する R T T 評価関数 f_{ti} として以下のように定義する。

$$2 \text{次元の場合: } f_{ti}(x, y, l) = d_i(x, y) - (l_{pi} - l)$$

$$3 \text{次元の場合: } f_{ti}(x, y, z, l) = d_i(x, y, z) - (l_{pi} - l)$$

[0062] (2.2.3) R S S I 評価関数

既知アンテナ i の直近に端末アンテナ 2 1 を近づけて計測した R S S I を B [dBm] とすると、計測される R S S I i が以下のようなモデルを採用する。

$$R S S I_i = B - 10\alpha \log_{10}(4\pi l_i / \lambda)$$

[0063] ここで、R S S I i を mW 表記に変換したものを P_{RSSI_i} [mW]、 B を mW 表記にしたものを P_B [mW] とすると、

$$P_{RSSI_i} = P_B \{ \lambda / (4\pi l_i) \}^\alpha$$

となる。これを l_i について解くと、

$$l_i = \{ \lambda / (4\pi) \} P_B^{(1/\alpha)} \cdot P_{RSSI_i}^{(-1/\alpha)}$$

[0064] ここで、

$$r_B = \{ \lambda / (4\pi) \} P_B^{(1/\alpha)}$$

$$R_i = P_{RSSI_i}^{(-1/\alpha)}$$

とする。 r_B は未知数だが、 R_i は計測値から計算することができるので、既知である。すると、

$$l_i = r_B R_i$$

となる。

[0065] これにより、R S S I の場合は、求める未知数は 2 次元の場合、端末アン

テナ 2 1 の座標 x_s , y_s と r_B の 3 つ、3 次元の場合、端末アンテナ 2 1 の座標 x_s , y_s , z_s と r_B の 4 つとなる。これらの未知数を探索して端末アンテナの座標を求めることを考える。探索中の推定値として 2 次元の場合 x , y , r の 3 つ、3 次元の場合 x , y , z , r の 4 つの変数を用いることとする。 $R T T$ と同様に推定値を評価する $R S S I$ 評価関数 f_{ri} を以下のように定義する。

$$2 \text{ 次元の場合 : } f_{ri}(x, y, r) = d_i(x, y) - r R_i$$

$$3 \text{ 次元の場合 : } f_{ri}(x, y, z, r) = d_i(x, y, z) - r R_i$$

[0066] (2.2.4) 範囲評価関数

座標などの推定値が端末の移動（存在）可能範囲を外れた場合に、評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数を定義する。範囲評価関数は推定値が範囲内の場合はゼロとなり、範囲から外れた場合には、外れ度合いに応じて値が大きくなるようにする。

[0067] 例えば、2 次元の場合、推定値が

$$x_{\min} < x < x_{\max}$$

$$y_{\min} < y < y_{\max}$$

$$l_{\min} < l < l_{\max}$$

$$r_{\min} < r < r_{\max}$$

で示される範囲内にならない場合、座標の範囲評価関数 f_L は以下のように定義することができる。

$$f_L(x, y, l, r) = f_{Lx}(x) + f_{Ly}(y) + f_{Ll}(l) + f_{Lr}(r)$$

[0068] ただし、

$$\begin{aligned} f_{Lx}(x) &= x_{\min} - x && (x < x_{\min}) \\ &= 0 && (x_{\min} < x < x_{\max}) \\ &= x - x_{\max} && (x > x_{\max}) \\ f_{Ly}(y) &= y_{\min} - y && (y < y_{\min}) \\ &= 0 && (y_{\min} < y < y_{\max}) \\ &= y - y_{\max} && (y > y_{\max}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{LL}(l) &= l_{\min} - l & (l < l_{\min}) \\
 &= 0 & (l_{\min} < l < l_{\max}) \\
 &= l - l_{\max} & (l > l_{\max}) \\
 f_{Lr}(r) &= r_{\min} - r & (r < r_{\min}) \\
 &= 0 & (r_{\min} < r < r_{\max}) \\
 &= r - r_{\max} & (r > r_{\max})
 \end{aligned}$$

[0069] (2.2.5) 連立方程式

各評価関数を連立方程式にして、その解を求めることによって座標を得る方法の例を示す。

[0070] (2.2.5.1) R T Tのみ (GPSと同様) の計算方法例

既知アンテナ4本で、GPSと同様の方法で座標推定値を計算するには、3次元のR T T評価関数を以下のように組合せて連立方程式を作る。

$$\begin{aligned}
 f_{t1}(x, y, z, l) &= 0 \\
 f_{t2}(x, y, z, l) &= 0 \\
 f_{t3}(x, y, z, l) &= 0 \\
 f_{t4}(x, y, z, l) &= 0
 \end{aligned}$$

[0071] これを解くことで解 x, y, z, l を求めることができ、位置推定ができる。この連立方程式は、非線形なので解析的に解くことは困難だが、ニュートン法を使って解を得ることができる。既知アンテナが4本以上ある場合は、同様の連立方程式を立てるが、未知数が4つに対して方程式が4本以上となる優決定系となるため、解を求めることができない。その場合は、最小二乗法を併用して解を得る。また、その場合は既知アンテナ毎のR T T計測値の信頼性 w を重みとして、対応する方程式毎に重みを付けた、重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となる。

[0072] 以下、GPSと同様の方法を2次元に適用すると、2次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$\begin{aligned}
 f_{t1}(x, y, l) &= 0 \\
 f_{t2}(x, y, l) &= 0
 \end{aligned}$$

$$f_{t3}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t4}(x, y, l) = 0$$

[0073] 未知数3に対して方程式4本の優決定系のため、最小二乗法を併用したニュートン法で解を求めることができる。また、その場合は既知アンテナ毎のR T T計測値の信頼性 w を重みとして、対応する方程式毎に重みを付けた、重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となる。

[0074] (2.2.5.2) R T T評価関数と範囲評価関数を組み合わせた場合の計算方法例
既知アンテナ4本のR T T計測値を使い、範囲評価関数を組み合わせ、2次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$f_{t1}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t2}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t3}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t4}(x, y, l) = 0$$

$$f_L(x, y, l) = 0$$

[0075] ただし、この場合はR S S I特有の未知数 r がないので、範囲評価関数は、

$$f_L(x, y, l) = f_{Lx}(x) + f_{Ly}(y) + f_{Ll}(l)$$

などとして r を使わないようにする。

[0076] 未知数3に対してR T T評価関数の方程式だけで4本ある優決定系となるので、最小二乗法を併用したニュートン法で解を求めることができる。このとき、範囲評価関数の効果により、未知数が指定された範囲内に収まる力が働き、範囲内の解が選ばれやすくなり、大きく外れることはなくなる。前項と同様、R T T評価関数の方程式については、該当する既知アンテナのR T T計測値の信頼性 w を重みとして使う、重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となる。さらに、範囲評価関数の方程式に対しても重みを使い、他の重みとの相対的な大小関係によって、解となる座標を範囲内に収めようとする力の強弱を設定することもできる。

[0077] (2.2.5.3) R S S Iのみの計算方法例

既知アンテナ4本のRSSI計測値を使い、3次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$f_{r1}(x, y, z, r) = 0$$

$$f_{r2}(x, y, z, r) = 0$$

$$f_{r3}(x, y, z, r) = 0$$

$$f_{r4}(x, y, z, r) = 0$$

[0078] 同様に、既知アンテナ4本のRSSI計測値を使い、2次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$f_{r1}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r2}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r3}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r4}(x, y, r) = 0$$

[0079] R T Tの場合と同様、連立方程式は非線形なので解析的に解くことは困難でありニュートン法を使って解を得ることができる。優決定系になる場合は最小二乗法を併用すれば解が得られる。さらに、既知アンテナ毎のRSSI計測値の信頼性 w によって重みを付けた、重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となる。

[0080] (2.2.5.4) RSSI評価関数と範囲評価関数を組み合わせた場合の計算方法例

既知アンテナ4本のRSSI計測値を使い、範囲評価関数を組み合わせ、2次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$f_{r1}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r2}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r3}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r4}(x, y, r) = 0$$

$$f_L(x, y, r) = 0$$

[0081] ただし、この場合はR T T特有の未知数 l がないので、範囲評価関数は、

$$f_L(x, y, r) = f_{Lx}(x) + f_{Ly}(y) + f_{Lr}(r)$$

などとして l を使わないようにする。

[0082] 未知数 3 に対して RSS 評価関数の方程式だけで 4 本ある優決定系となるので、最小二乗法を併用したニュートン法で解を求めることができる。このとき、範囲評価関数の効果により、未知数が指定された範囲内に収まるような力が働き、範囲内の解が選ばれやすくなり、大きく外れることはなくなる。前項と同様、 RSS 評価関数の方程式については、該当する既知アンテナの RSS 計測値の信頼性 w を重みとして使う、重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となる。さらに、範囲評価関数の方程式に対しても重みを使い、他の重みとの相対的な大小関係によって、解となる座標を範囲内に収めようとする力の強弱を設定することもできる。

[0083] (2.2.5.5) RTT と RSS を組み合わせた計算方法例

既知アンテナ 4 本の RTT 計測値と RSS 計測値の両方を使い、2 次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$f_{t1}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t2}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t3}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t4}(x, y, l) = 0$$

$$f_{r1}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r2}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r3}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r4}(x, y, r) = 0$$

[0084] これも優決定系なので最小二乗法を併用したニュートン法で解を求めることができる。

さらに、 RTT 評価関数の方程式については、該当する既知アンテナの RTT 計測値の信頼性 w を重みとして使い、 RSS 評価関数の方程式については、該当する既知アンテナの RSS 計測値の信頼性 w を重みとして使う、重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となる。さらに、 RTT の重みと RSS の重みを相対的に増減することによって

、どちらの計測値を重視するか調整することも可能となる。

[0085] (2.2.5.6) R T T と R S S I を組み合わせ範囲評価関数も用いた計算方法例

既知アンテナ4本のR T T 計測値とR S S I 計測値の両方を使い、範囲評価関数を組み合わせ、2次元の座標推定値を計算する例として、以下のような連立方程式を作る。

$$f_{t1}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t2}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t3}(x, y, l) = 0$$

$$f_{t4}(x, y, l) = 0$$

$$f_{r1}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r2}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r3}(x, y, r) = 0$$

$$f_{r4}(x, y, r) = 0$$

$$f_L(x, y, l, r) = 0$$

[0086] 範囲評価関数の効果により、未知数が指定された範囲内に収まるような力が働き、範囲内の解が選ばれやすくなり、大きく外れることはなくなる。R T T / R S S I 計測値の信頼性 w を重みとして使った重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定が可能となるし、範囲評価関数の方程式に対しても重みを使い、他の重みとの相対的な大小関係によって、解となる座標を範囲内に収めようとする力の強弱を設定することもできる。

[0087] (2.2.6) 極小探索

連立方程式を解くのではなく、各評価関数を1つの誤差評価関数にまとめ、誤差評価関数の値が最小になるような推定値を探索して最適化することにより、座標を得る方法の例を示す。

[0088] (2.2.6.1) 誤差評価関数

既知アンテナ n 本のR T T 評価関数、R S S I 評価関数および範囲評価関数のすべてを組み合わせた誤差評価関数 f_{error} を定義する。

[0089]

[数1]

3次元の場合：

$$f_{\text{error}}(x, y, z, l, r) = \sum_{k=1}^n (w_{tk} f_{tk}(x, y, z, l))^2 + \sum_{k=1}^n (w_{rk} f_{rk}(x, y, z, r))^2 + (w_L f_L(x, y, z, l, r))^2$$

2次元の場合：

$$f_{\text{error}}(x, y, l, r) = \sum_{k=1}^n (w_{tk} f_{tk}(x, y, l))^2 + \sum_{k=1}^n (w_{rk} f_{rk}(x, y, r))^2 + (w_L f_L(x, y, l, r))^2$$

[0090] ただし、既知アンテナ i の $R T T$ 計測値の信頼性を重み w_{ti} 、同じく $R S S I$ 計測値の信頼性を重み w_{ri} 、範囲評価関数の重みを w_L とする。

[0091] $R T T$ 、 $R S S I$ 、範囲評価関数のうち、使用しないものがあれば、その項を消した誤差評価関数を使えばよい。誤差評価関数のパラメータは最大で x, y, z, l, r の5つとなるが、2次元の場合は z がなくなり、 $R T T$ を使わない場合は l がなくなり、 $R S S I$ を使わない場合は r がなくなる。 $R T T$ と $R S S I$ のどちらかは使わなければならないため、最小では x, y, l もしくは x, y, r の3つとなる。

[0092] (2.2.6.2) 探索

誤差評価関数が最小になるパラメータの組合せを探索する。ニュートン法で極小を探索してもよいし、 $L-BFGS$ 法などの準ニュートン法アルゴリズムで検索してもよいし、ベイズ最適化で探索してもよい。もっと単純に、一定の範囲内を一定の間隔で総当たり探索する方法もあるし、最初は荒い間隔で探索してから評価値が低くなりそうな周辺を順次細かい間隔で探索していく方法もある。

[0093] 探索の際にはすべてのパラメータを探索してもよいが、座標の推定値から誤差評価関数が最小になる l や r を求めることで、 l や r を探索しない方法もある。

例えば、2次元で座標の推定値を $(\hat{x}, \hat{y})$ とした場合、誤差評価関数の l または r の偏微分を取り、それがゼロになる l または r を見つけられればよい。なお、 $\hat{x}, \hat{y}$ は x ハット、 y ハットである。すなわち、

[0094] [数2]

$$\frac{\partial}{\partial l} f_{\text{error}}(\hat{x}, \hat{y}, l, r) = 0$$

を満たす l を見つけ、

[数3]

$$\frac{\partial}{\partial r} f_{\text{error}}(\hat{x}, \hat{y}, l, r) = 0$$

[0095] を満たす r を見つけ、それぞれを座標 $(\hat{x}, \hat{y})$ の時の l および r の推定値として使い、誤差評価関数を評価する。この方法を採用すると座標だけを探索すればよいことになり、探索空間を大幅に減らすことができる。

[0096] (2.3) 空間の伝搬損失係数 α を推定する

ここまで、RSSI から座標を得る方法で必要となる空間の伝搬損失係数 α は、あらかじめ計測しておくなどした既知の値であるとしてきた。しかし、多くの既知アンテナを使うことができ、かつ、RTT および RSSI 双方の計測が可能で、それぞれの計測誤差が小さい場合には、座標だけでなく α も推定することが可能となる。

[0097] 連立方程式による方法を採用の場合は、座標、 l 、 r だけでなく α を未知数として連立方程式を作る。多くの既知アンテナがあり RTT/RSSI 双方の計測結果が使えるため優決定系となり、最小二乗法を併用したニュートン法で解を求めることができる。RTT/RSSI 計測値の信頼性 w を重みとして使った重み付き最小二乗法を用いることで、より高精度の位置推定および α 推定が可能となる。範囲評価関数の方程式にも α の範囲を設定することができるし、重みを使い他の重みとの相対的な大小関係によって、 α を範囲内に収めようとする力の強弱を設定することもできる。

[0098] 極小探索による方法を採用の場合は、座標、 l 、 r だけでなく α を探索対象として RSSI 評価関数および範囲評価関数を作り、誤差評価関数を組み立てる。そして α を探索し最適化を行うことで推定することができる。

[0099] これらの方法で α を推定することによって、あらかじめ α を計測しておく必要がなくなる。また、一旦、多くの既知アンテナ数を使って高精度の計測を行うことで空間の α を求めておき、実際の運用時にはこの α を既知の値として用い、少ない既知アンテナ、一般的な精度で位置推定するという方法を採ることもできる。

[0100] (2.4) 座標安定化部 33

端末アンテナ 21 が静止していても、座標計算部 32 で求めた座標（以下、瞬時値座標）は細かく振動することがある。そこで、座標安定化部 33 で細かい振動を取り除いた座標（以下、安定化座標）を求めてもよい。

[0101] 例えば、「あそび」として一定の閾値を定めておき、瞬時値座標と安定化座標の差もしくは距離が閾値を超えた場合だけ、閾値を超えないように安定化座標を変化させることで安定化することができる。

[0102] 他にも、瞬時値座標をLPFやカルマンフィルタなどに通して細かい振動を取り除いたものを安定化座標としてもよい。

[0103] 以上説明した位置推定サーバ 30 の各部の処理は、コンピュータを機能させるコンピュータプログラムにより実現することができる。このコンピュータプログラムは、コンピュータが読み取り可能な記憶媒体に記憶することも、ネットワークを介して提供することも可能である。

符号の説明

- [0104]
- 10 無線局
 - 11 既知アンテナ
 - 12 信号送信部
 - 13 信号受信部
 - 14 R T T 測定部
 - 15 R S S I 測定部
 - 16 時計
 - 20 無線端末局
 - 21 端末アンテナ

- 2 2 信号受信部
- 2 3 信号送信部
- 2 4 制御部
- 2 5 時計
- 3 0 位置推定サーバ
- 3 1 測定値統計処理部
- 3 2 座標計算部
- 3 3 座標安定化部
- 4 0 無線基地局
- 4 1 ケーブル
- 4 2 分散アンテナ

請求の範囲

[請求項1]

互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間である $R T T$ を測定して該無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、

前記既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される前記 $R T T$ から推定される前記無線端末局の位置の推定値を評価する $R T T$ 評価関数 f_{ti} と、前記無線端末局の位置の推定値がその存在範囲を外れた場合に評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数 f_L とを連立させることにより得られる解、もしくは該 $R T T$ 評価関数と該範囲評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を前記無線端末局の位置として求める

ことを特徴とする位置推定方法。

[請求項2]

互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その受信電波強度である $R S S I$ を測定して該無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、

前記既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される前記 $R S S I$ から推定される前記無線端末局の位置の推定値を評価する $R S S I$ 評価関数 f_{ri} を連立させることにより得られる解、もしくは該 $R S S I$ 評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を前記無線端末局の位置として求める

ことを特徴とする位置推定方法。

[請求項3]

互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その受信電波強度である $R S S I$ を測定して該無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、

前記既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される前

記RSSIから推定される前記無線端末局の位置の推定値を評価するRSSI評価関数 f_{ri} と、前記無線端末局の位置の推定値がその存在範囲を外れた場合に評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数 f_L とを連立させることにより得られる解、もしくは該RSSI評価関数と該範囲評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を前記無線端末局の位置として求めることを特徴とする位置推定方法。

[請求項4]

互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間であるRTTおよびその受信電波強度であるRSSIを測定して該無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、

前記既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される前記RTTから推定される前記無線端末局の位置の推定値を評価するRTT評価関数 f_{ti} と、前記RSSIから推定される前記無線端末局の位置の推定値を評価するRSSI評価関数 f_{ri} とを連立させることにより得られる解、もしくは該RTT評価関数と該RSSI評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を前記無線端末局の位置として求めることを特徴とする位置推定方法。

[請求項5]

互いに異なる既知の位置に設置された複数 n 個の既知アンテナを備える無線局と、端末アンテナを備える無線端末局との間で測定信号と応答信号を送受信し、その往復遅延時間であるRTTおよびその受信電波強度であるRSSIを測定して該無線端末局の位置を推定する位置推定方法において、

前記既知アンテナ i ($i = 1, 2, \dots, n$) との間で測定される前記RTTから推定される前記無線端末局の位置の推定値を評価するRTT評価関数 f_{ti} と、前記RSSIから推定される前記無線端末局の

位置の推定値を評価するRSSI評価関数 f_{ri} と、前記無線端末局の位置の推定値がその存在範囲を外れた場合に評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数 f_L とを連立させることにより得られる解、もしくは該RTT評価関数と該RSSI評価関数と該範囲評価関数を組み合わせた誤差評価関数 f_{error} が最小になるように推定値を探索した値を前記無線端末局の位置として求める

ことを特徴とする位置推定方法。

[請求項6] 請求項1～請求項5のいずれかに記載の位置推定方法により無線端末局の位置を推定する位置推定システムにおいて、

前記複数 n 個の既知アンテナを備える無線局でそれぞれ測定される前記RTTまたは／および前記RSSIを位置推定サーバに転送し、該位置推定サーバで前記RTT評価関数 f_{ti} または／および前記RSSI評価関数 f_{ri} を算出して前記無線端末局の位置を求める構成である

ことを特徴とする位置推定システム。

[請求項7] 請求項1～請求項5のいずれかに記載の位置推定方法により無線端末局の位置を推定する位置推定システムにおいて、

前記複数 n 個の既知アンテナは、無線基地局から既知の長さのケーブルを介して分散配置された分散アンテナであり、該無線基地局で測定される分散アンテナごとの前記RTTまたは／および前記RSSIを位置推定サーバに転送し、該位置推定サーバで前記RTT評価関数 f_{ti} または／および前記RSSI評価関数 f_{ri} を算出して前記無線端末局の位置を求める構成である

ことを特徴とする位置推定システム。

[請求項8] 請求項1～請求項5のいずれかに記載の位置推定方法により無線端末局の位置を推定する位置推定サーバにおいて、

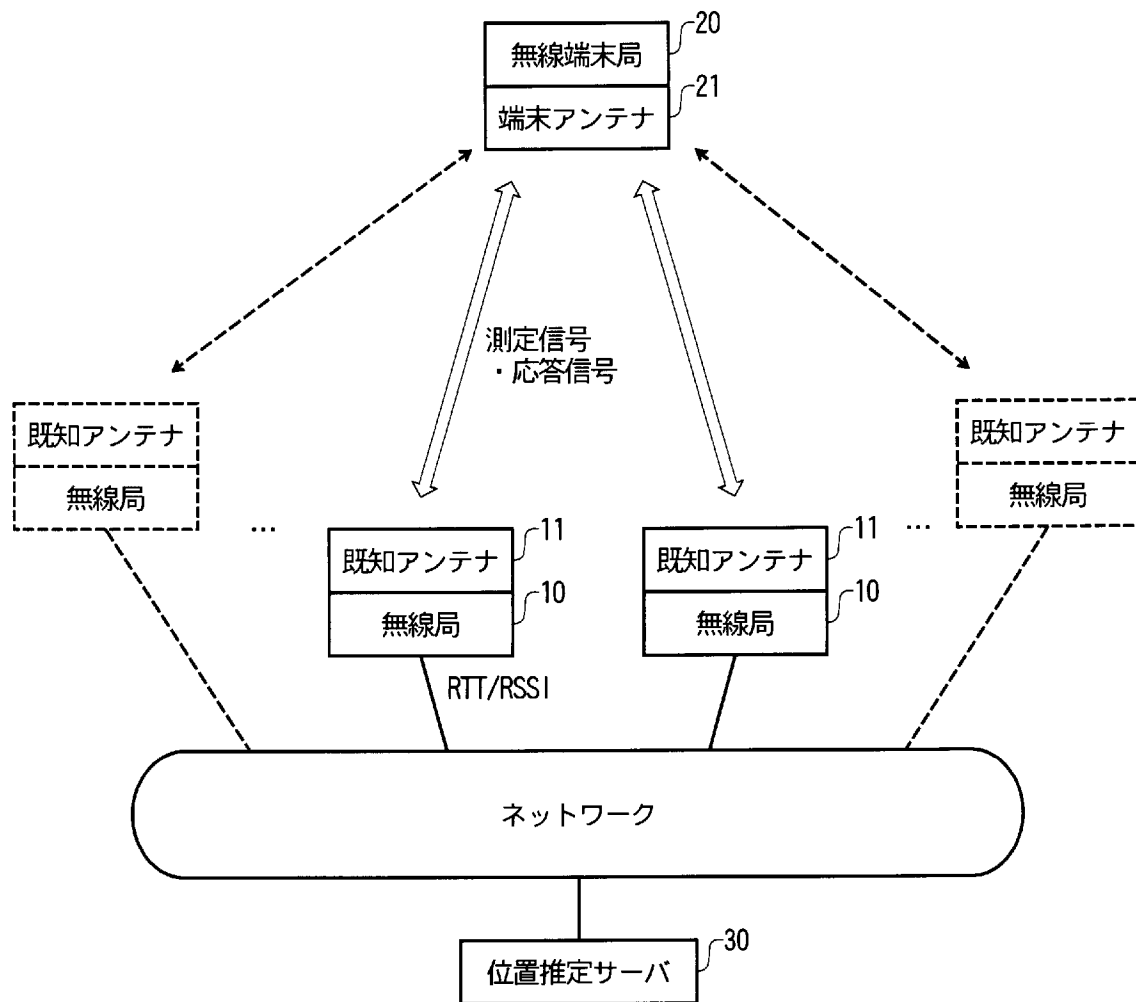
前記複数 n 個の既知アンテナを備える無線局でそれぞれ測定される前記RTTまたは／および前記RSSIが転送され、前記RTT評価

関数 f_{ti} または／および前記RSSI評価関数 f_{ri} を算出して前記無線端末局の位置を求める構成である

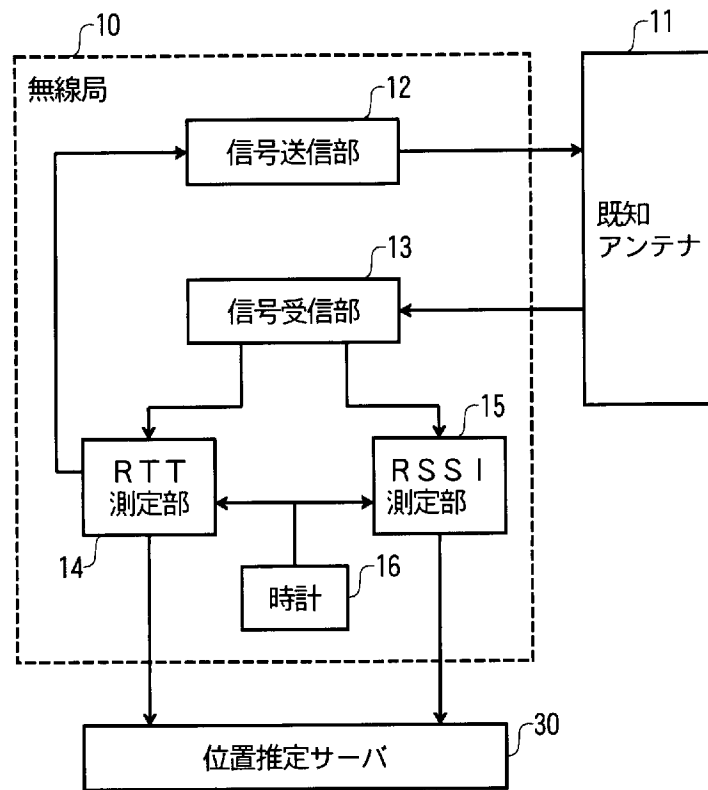
ことを特徴とする位置推定サーバ。

[請求項9] 請求項8に記載の位置推定サーバが実行する処理をコンピュータに実行させ、前記RTT評価関数 f_{ti} または／および前記RSSI評価関数 f_{ri} を算出して前記無線端末局の位置を求めることを特徴とする位置推定プログラム。

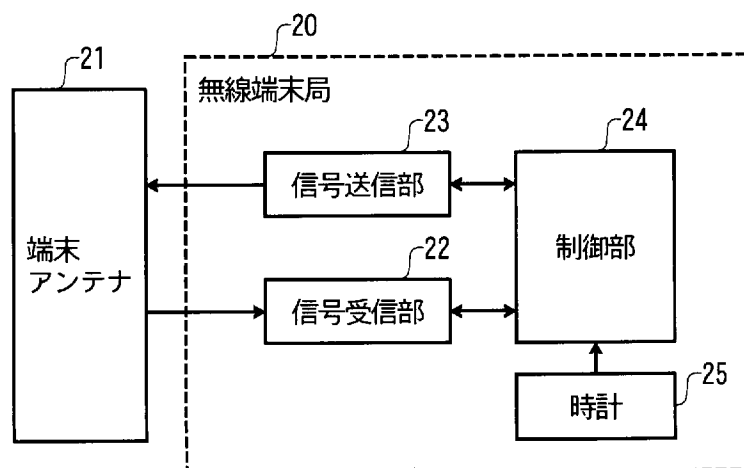
[図1]



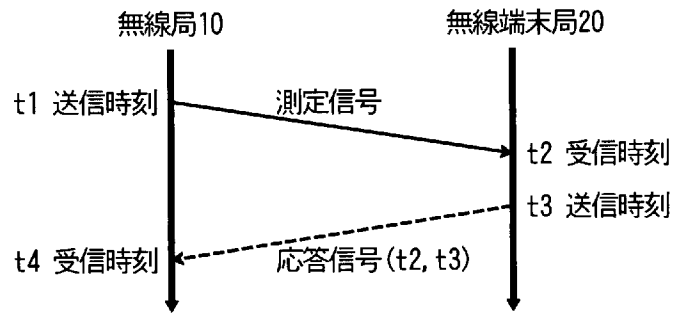
[図2]



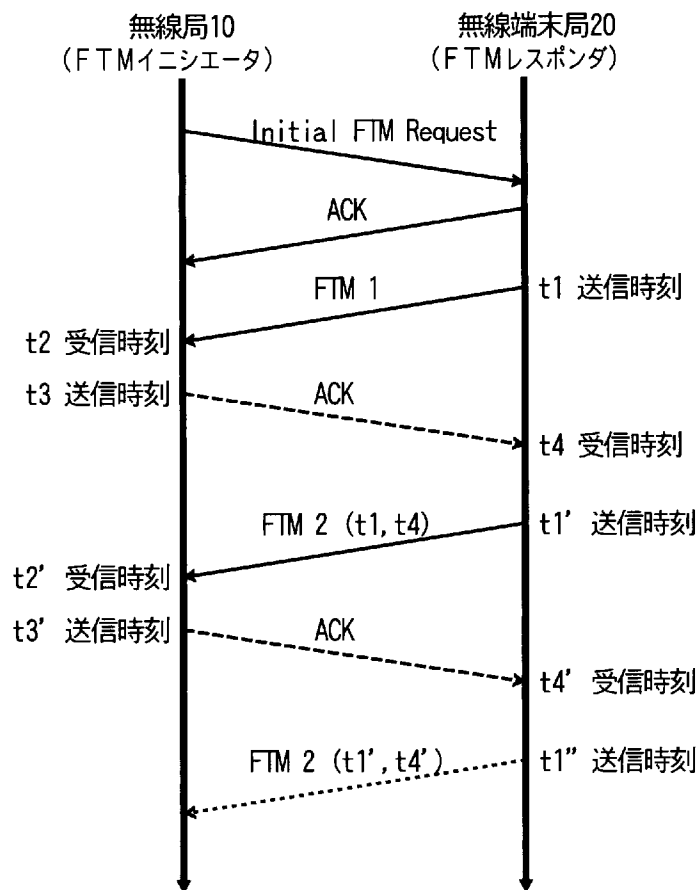
[図3]



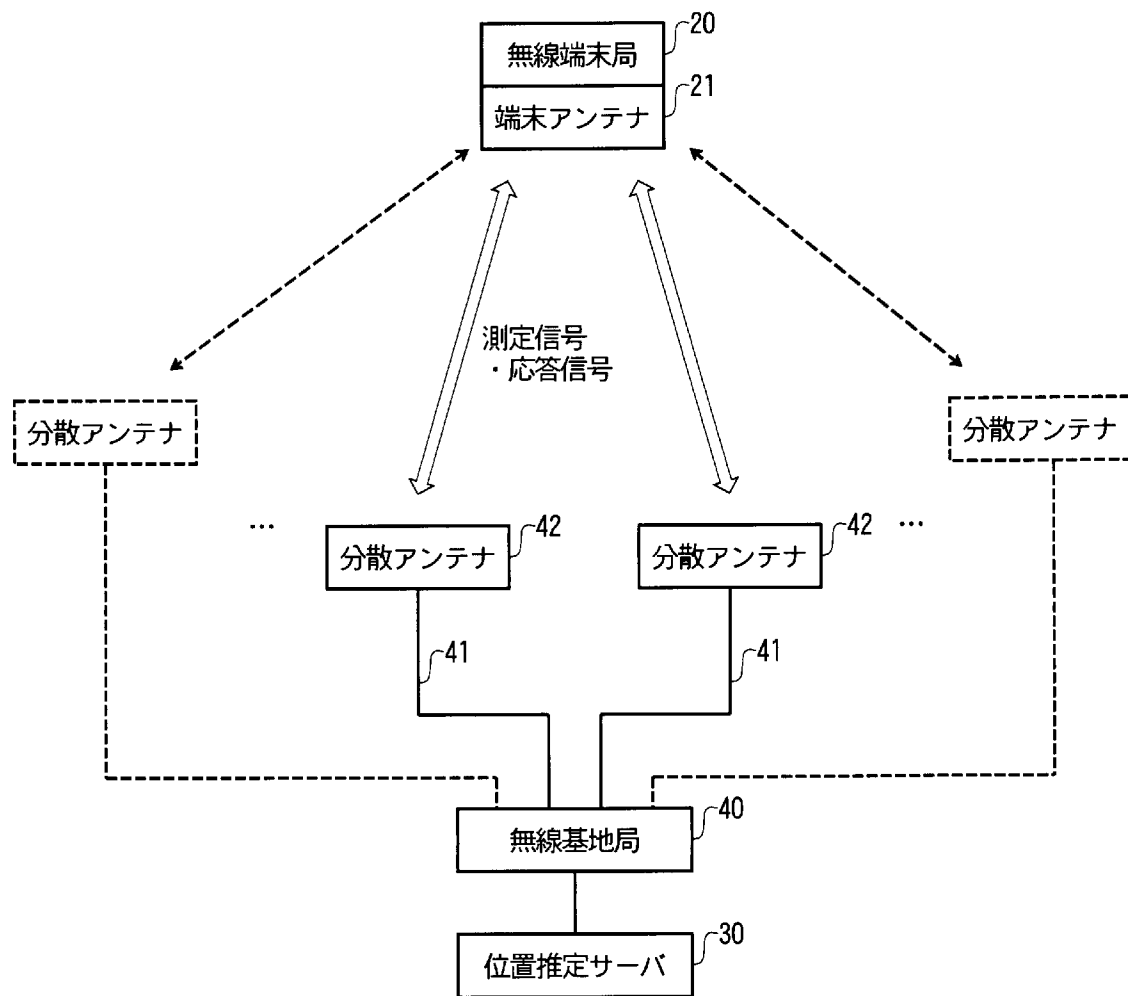
[図4]



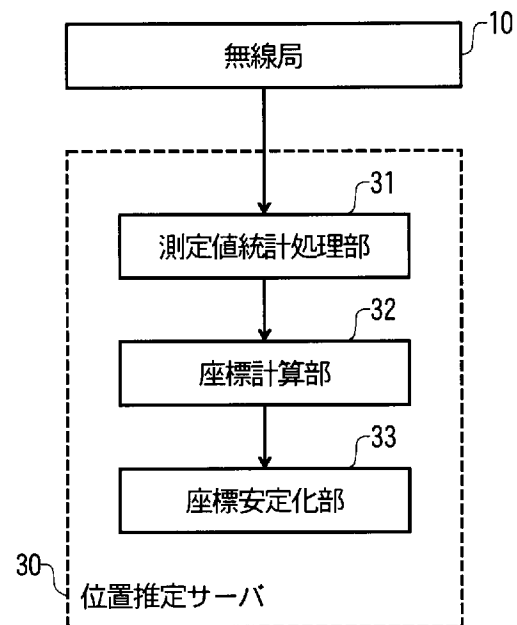
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/002753

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01S5/02(2010.01) i, G01S5/14(2006.01) i
FI: G01S5/02A, G01S5/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01S5/00-5/14, G01S19/00-19/55, H04B7/24-7/26, H04W4/00-99/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2004-053510 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 19.02.2004 (2004-02-19), paragraphs [0049]-[0079], [0113]-[0129], fig. 1-9, 22, 23	2, 6-9 1, 3-5
Y	JP 2008-178006 A (HITACHI, LTD.) 31.07.2008 (2008-07-31), paragraphs [0013]-[0067], fig. 1-9	1, 3-5
Y	JP 2009-002886 A (BROTHER INDUSTRIES, LTD.) 08.01.2009 (2009-01-08), paragraphs [0140]-[0147], fig. 1	1, 4-5
Y	JP 2010-190629 A (OKI ELECTRIC IND CO., LTD.) 02.09.2010 (2010-09-02), claims, paragraphs [0012]-[0050], fig. 1-4	1, 3, 5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07.02.2020

Date of mailing of the international search report
25.02.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/002753

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-174472 A (TOSHIBA CORPORATION) 05.09.2013 (2013-09-05), paragraphs [0023]-[0052], fig. 1, 2	2, 6-9
A	JP 2010-146180 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 01.07.2010 (2010-07-01), paragraphs [0045]-[0059], fig. 8-13	1, 3, 5
A	JP 2009-281793 A (BROTHER INDUSTRIES, LTD.) 03.12.2009 (2009-12-03), paragraphs [0046]-[0055], fig. 5-8	1, 3, 5
A	JP 2000-244967 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 08.09.2000 (2000-09-08), entire text, all drawings	4-5
A	JP 2012-509483 A (QUALCOMM INCORPORATED) 19.04.2012 (2012-04-19), entire text, all drawings	4-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/002753

JP 2004-053510 A	19.02.2004	(Family: none)
JP 2008-178006 A	31.07.2008	(Family: none)
JP 2009-002886 A	08.01.2009	(Family: none)
JP 2010-190629 A	02.09.2010	(Family: none)
JP 2013-174472 A	05.09.2013	(Family: none)
JP 2010-146180 A	01.07.2010	(Family: none)
JP 2009-281793 A	03.12.2009	US 2009/0291694 A1 paragraphs [0068]-[0082], fig. 5-8
JP 2000-244967 A	08.09.2000	(Family: none)
JP 2012-509483 A	19.04.2012	WO 2010/059934 A2 entire text, all drawings US 2010/0135178 A1 TW 201037344 A KR 10-2011-0089431 A EP 2368131 B1 CN 102265174 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01S 5/02(2010.01)i; G01S 5/14(2006.01)i FI: G01S5/02 A; G01S5/14														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01S5/00-5/14; G01S19/00-19/55; H04B7/24-7/26; H04W4/00-99/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2020年													
日本国実用新案登録公報	1996-2020年													
日本国登録実用新案公報	1994-2020年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
X	JP 2004-053510 A（日本電信電話株式会社）19.02.2004（2004-02-19） [0049]-[0079], 図1-9	2, 6-9												
Y	[0049]-[0079], [0113]-[0129], 図1-9, 22-23	1, 3-5												
Y	JP 2008-178006 A（株式会社日立製作所）31.07.2008（2008-07-31） [0013]-[0067], 図1-9	1, 3-5												
Y	JP 2009-002886 A（ブラザー工業株式会社）08.01.2009（2009-01-08） [0140]-[0147], 図1	1, 4-5												
Y	JP 2010-190629 A（沖電気工業株式会社）02.09.2010（2010-09-02） [特許請求の範囲], [0012]-[0050], 図1-4	1, 3, 5												
X	JP 2013-174472 A（株式会社東芝）05.09.2013（2013-09-05） [0023]-[0052], 図1-2	2, 6-9												
A	JP 2010-146180 A（三菱電機株式会社）01.07.2010（2010-07-01） [0045]-[0059], 図8-13	1, 3, 5												
A	JP 2009-281793 A（ブラザー工業株式会社）03.12.2009（2009-12-03） [0046]-[0055], 図5-8	1, 3, 5												
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 07.02.2020	国際調査報告の発送日 25.02.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 東 治 企 2S 9708 電話番号 03-3581-1101 内線 3216													

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2000-244967 A (三菱電機株式会社) 08.09.2000 (2000 - 09 - 08) 全文全図	4-5
A	JP 2012-509483 A (クアルコム, インコーポレイテッド) 19.04.2012 (2012 - 04 - 19) 全文全図	4-5

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/002753

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2004-053510	A	19.02.2004	(ファミリーなし)	
JP	2008-178006	A	31.07.2008	(ファミリーなし)	
JP	2009-002886	A	08.01.2009	(ファミリーなし)	
JP	2010-190629	A	02.09.2010	(ファミリーなし)	
JP	2013-174472	A	05.09.2013	(ファミリーなし)	
JP	2010-146180	A	01.07.2010	(ファミリーなし)	
JP	2009-281793	A	03.12.2009	US 2009/0291694 A1 [0068]-[0082], 図5-8	
JP	2000-244967	A	08.09.2000	(ファミリーなし)	
JP	2012-509483	A	19.04.2012	WO 2010/059934 A2 全文全図 US 2010/0135178 A1 TW 201037344 A KR 10-2011-0089431 A EP 2368131 B1 CN 102265174 A	