

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4571041号
(P4571041)

(45) 発行日 平成22年10月27日 (2010.10.27)

(24) 登録日 平成22年8月20日 (2010.8.20)

(51) Int.Cl. F I
HO4W 64/00 (2009.01) HO4Q 7/00 502
GO1S 5/02 (2010.01) HO4Q 7/00 503
 GO1S 5/02 Z

請求項の数 12 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2005-243946 (P2005-243946)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成17年8月25日 (2005.8.25)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(65) 公開番号	特開2006-287897 (P2006-287897A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成18年10月19日 (2006.10.19)	(74) 代理人	100112715
審査請求日	平成20年3月28日 (2008.3.28)		弁理士 松山 隆夫
(31) 優先権主張番号	特願2005-64978 (P2005-64978)	(74) 代理人	100085213
(32) 優先日	平成17年3月9日 (2005.3.9)		弁理士 鳥居 洋
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	滝沢 泰久
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
		(72) 発明者	ピーター デイビス
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線装置およびそれを備えた無線ネットワークシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

自律的に確立され、かつ、送信元と送信先との間で無線通信が行なわれる無線ネットワークを構成する無線装置であって、

当該無線装置の仮の自己位置を示す仮の自己位置情報を生成する位置情報生成手段と、
 m (m は 3 以上の整数) 個の無線装置から任意に選択された 1 つの無線装置の仮の位置情報と前記仮の自己位置情報とに基づいて演算された当該無線装置と前記 1 つの無線装置との間の演算距離が当該無線装置と前記 1 つの無線装置との間の測定距離に近づくように前記仮の自己位置を修正する位置修正処理を前記 m 個の無線装置の m 個の仮の位置情報を用いて所定回数だけ実行する位置修正手段と、

所定の条件が満たされると、前記位置修正手段によって修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する位置推定手段と、

前記位置修正手段によって修正された仮の自己位置を示す仮の修正自己位置情報を前記 m 個の無線装置へ送信する送信手段とを備える、無線装置。

【請求項 2】

当該無線装置と前記 m 個の無線装置との間の m 個の距離を測定し、その測定した m 個の測定距離を保持する距離保持手段をさらに備え、

前記位置修正手段は、前記 m 個の仮の位置情報と前記 m 個の測定距離とに基づいて前記位置修正処理を少なくとも m 回実行する、請求項 1 に記載の無線装置。

【請求項 3】

前記 m 個の仮の位置情報を前記 m 個の無線装置から受信する受信手段をさらに備え、
 前記位置修正手段は、前記受信手段が前記 1 つの無線装置から 1 つの仮の位置情報を受信すると、当該無線装置と前記 1 つの無線装置との間の測定距離を前記距離保持手段から取得し、前記仮の自己位置を始点とし、前記仮の自己位置から前記 1 つの無線装置の方向へ前記取得した測定距離だけ移動した点を終点とする第 1 のベクトルを演算するとともに、前記仮の自己位置および前記受信された 1 つの仮の位置情報によって示される位置をそれぞれ始点および終点とする第 2 のベクトルを演算し、前記第 1 のベクトルと前記第 2 のベクトルとの差である距離偏差ベクトルを演算し、その演算した距離偏差ベクトルに従って前記仮の自己位置を移動させて前記位置修正処理を実行する、請求項 1 または請求項 2 に記載の無線装置。

10

【請求項 4】

前記位置修正手段は、前記 m 個の仮の位置情報と前記仮の自己位置情報とに基づいて演算した m 個の演算距離と前記 m 個の演算距離に対応する前記 m 個の測定距離との誤差の平均を示す距離平均誤差の変化量がしきい値以下であるとき、前記距離偏差ベクトルの反転ベクトルに従って前記仮の自己位置を移動させて前記位置修正処理を実行し、

前記位置推定手段は、前記変化量が前記しきい値よりも大きく、かつ、前記位置修正処理の回数が所定回数に達すると、前記位置修正手段によって最終的に修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する、請求項 3 に記載の無線装置。

【請求項 5】

前記 m 個の無線装置の各々は、当該無線装置から 1 ホップ内に存在する無線装置である、請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の無線装置。

20

【請求項 6】

前記 m 個の無線装置は、
 x (x は、正の整数) 個の無線装置と、
 当該無線装置に対して前記 x 個の無線装置よりも近い位置に配置された y (y は、 $x + y = m$ を満たす整数) 個の無線装置とを含み、

前記位置修正手段は、
 前記 x 個の無線装置から任意に選択された第 1 の無線装置の仮の位置情報と前記仮の自己位置情報とに基づいて演算された当該無線装置と前記第 1 の無線装置との間の第 1 の演算距離が当該無線装置と前記第 1 の無線装置との間の第 1 の測定距離に近づくように前記仮の自己位置を修正する第 1 の位置修正処理を第 1 の回数だけ実行する第 1 の位置修正手段と、

30

前記第 1 の位置修正手段により修正された仮の自己位置と前記 y 個の無線装置のうち前記第 1 の無線装置に隣接する第 2 の無線装置の仮の位置情報とに基づいて演算された当該無線装置と前記第 2 の無線装置との間の第 2 の演算距離が当該無線装置と前記第 2 の無線装置との間の第 2 の測定距離に近づくように前記仮の自己位置を修正する第 2 の位置修正処理を第 2 の回数だけ実行する第 2 の位置修正手段とを含み、

前記第 1 の測定距離は、前記第 1 および第 2 の無線装置間の第 3 の測定距離を前記第 2 の測定距離に加算することによって決定され、

前記 x 個の無線装置の各々は、当該無線装置から 2 ホップ内に存在する無線装置であり、
 前記 y 個の無線装置の各々は、当該無線装置から 1 ホップ内に存在する無線装置である、請求項 1 に記載の無線装置。

40

【請求項 7】

当該無線装置と前記 y 個の無線装置との間の y 個の前記第 2 の測定距離を測定し、その測定した y 個の前記第 2 の測定距離を保持する距離保持手段と、

前記 x 個の無線装置の x 個の仮の位置情報と、前記 y 個の無線装置の y 個の仮の位置情報と、前記 y 個の無線装置に対応する y 個の第 3 の測定距離とを前記 y 個の無線装置から受信する受信手段とをさらに備え、

前記第 1 の位置修正手段は、前記 x 個の仮の位置情報と、前記 y 個の仮の位置情報と、

50

前記 y 個の第 3 の測定距離とを受信すると、前記 y 個の第 2 の測定距離を前記距離保持手段から取得し、その取得した y 個の第 2 の測定距離と、前記受信した x 個の仮の位置情報、 y 個の仮の位置情報および y 個の第 3 の測定距離とに基づいて、前記 y 個の無線装置の仮の位置情報よりも前記 x 個の無線装置の仮の位置情報を優先して前記仮の自己位置を修正するための第 1 の距離偏差ベクトルを演算し、その演算した第 1 の距離偏差ベクトルに従って前記仮の自己位置を移動させて前記第 1 の位置修正処理を実行し、

前記第 2 の位置修正手段は、前記 y 個の仮の位置情報を受信すると、前記 y 個の第 2 の測定距離を前記距離保持手段から取得し、その取得した y 個の第 2 の測定距離と前記受信した y 個の仮の位置情報とに基づいて、前記 y 個の無線装置の仮の位置情報によって前記第 1 の位置修正手段から受けた仮の自己位置を修正するための第 2 の距離偏差ベクトルを演算し、その演算した第 2 の距離偏差ベクトルに従って前記仮の自己位置を移動させて前記第 2 の位置修正処理を実行する、請求項 6 に記載の無線装置。

10

【請求項 8】

前記第 1 の位置修正手段は、前記取得した第 2 の測定距離を前記第 3 の測定距離に加算して前記第 1 の測定距離を演算し、前記仮の自己位置を始点とし、前記仮の自己位置から前記第 1 の無線装置の方向へ前記演算した第 1 の測定距離だけ移動した点を終点とする第 1 のベクトルを演算し、前記仮の自己位置および前記受信された前記第 1 の無線装置の仮の位置情報によって示される位置をそれぞれ始点および終点とする第 2 のベクトルを演算し、前記第 1 のベクトルと前記第 2 のベクトルとの差である第 1 の修正ベクトルを演算するベクトル演算処理を前記 x 個の仮の位置情報に対して実行して x 個の第 1 の修正ベクトルを演算するとともに、前記仮の自己位置を始点とし、前記仮の自己位置から前記第 2 の無線装置の方向へ前記取得した第 2 の測定距離だけ移動した点を終点とする第 3 のベクトルを演算し、前記仮の自己位置および前記受信された前記第 2 の無線装置の仮の位置情報によって示される位置をそれぞれ始点および終点とする第 4 のベクトルを演算し、前記第 3 のベクトルと前記第 4 のベクトルとの差である第 2 の修正ベクトルを演算し、前記 x 個の第 1 の修正ベクトルの加算和と前記第 2 の修正ベクトルとを加算して前記第 1 の距離偏差ベクトルを演算し、

20

前記第 2 の位置修正手段は、前記第 1 の位置修正手段によって修正された仮の自己位置を始点とし、前記仮の自己位置から前記第 2 の無線装置の方向へ前記取得した第 2 の測定距離だけ移動した点を終点とする第 5 のベクトルを演算し、前記第 1 の位置修正手段によって修正された仮の自己位置を始点とし、前記受信された前記第 2 の無線装置の仮の位置情報によって示される位置を終点とする第 6 のベクトルを演算し、前記第 5 のベクトルと前記第 6 のベクトルとの差である前記第 2 の距離偏差ベクトルを演算する、請求項 7 に記載の無線装置。

30

【請求項 9】

前記第 1 の位置修正手段は、前記第 1 の演算距離が前記第 2 の演算距離以下であるとき、前記受信された前記第 2 の無線装置の仮の位置情報によって示される位置と前記仮の自己位置とをそれぞれ始点および終点とする第 7 のベクトルを演算するとともに、前記受信された前記第 2 の無線装置の仮の位置情報および第 1 の無線装置の仮の位置情報をそれぞれ始点および終点とする第 8 のベクトルを演算し、さらに、前記第 2 の測定距離を前記第 1 および第 2 の無線装置間の測定距離で除算した除算結果を前記第 8 のベクトルに乗算して第 9 のベクトルを演算し、前記第 7 のベクトルと前記第 9 のベクトルとを加算して第 1 の修正ベクトルを演算する、請求項 8 に記載の無線装置。

40

【請求項 10】

前記位置推定手段は、前記第 1 の回数と前記第 2 の回数との和が前記所定回数に達すると、前記第 2 の位置修正手段によって最終的に修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する、請求項 6 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の無線装置。

【請求項 11】

前記 m 個の無線装置および当該無線装置の少なくとも 1 つの無線装置は、既知である絶対位置を前記仮の位置または前記仮の自己位置として有する、請求項 1 から請求項 10 の

50

いずれか 1 項に記載の無線装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 から請求項 1 1 のいずれか 1 項に記載の無線装置を n (n は 4 以上の整数) 個以上備える無線ネットワークシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、無線装置およびそれを備えた無線ネットワークシステムに関し、特に、無線ネットワークを構成する無線装置の位置を自律的に推定可能な無線装置およびそれを備えた無線ネットワークシステムに関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

近年の GPS (Global Positioning System) を用いたカーナビゲーションシステムの普及および携帯電話機によるパーソナルナビゲーションサービスの開始により、位置情報に基づいたサービス (LBS: Location Based Service) がモバイル市場へ急速に展開されつつある。

【0003】

例えば、人、車およびペット等の位置情報を使用して防犯に関わる各種サービスが提供されている。また、移動通信事業者は、メールで現在の位置情報を地図情報とともに送受信するサービスを提供している。

20

【0004】

今後、更に多様な LBS が市場に展開されることが予想され、所謂、ロケーションビジネス市場が拡大することが期待されている。

【0005】

しかし、市場の拡大には、利用範囲が屋外および屋外に存在する設備だけでなく、屋内および屋内に存在する設備・機器を対象とし、対象物の位置とともに対象物の動的な状態を扱うことが必要不可欠となる。

【0006】

一方、マイクロデバイスのコスト性能比の向上と無線通信技術の普及とにより、微弱電力で近接通信を可能とする無線デジタルデバイス (RFID タグ、Bluetooth、および ZigBee) が小型化、低価格化および高性能化され、多様な目的に使用可能となっている。

30

【0007】

このような無線デジタルデバイスは、その特徴から、人間の日常活動における身近で多様な物品に添付され、大量に流通することが予想されている。無線デジタルデバイスが日常生活における一般的な物品に添付されることで、従来、情報処理の対象になり得なかった多様な物品、およびそれらが偏在する広範囲な場所が情報処理の対象となり得る環境が構築されつつある。即ち、ユビキタスコンピューティング環境が整備されつつある。

【0008】

このユビキタスコンピューティング環境においては、人間本位の情報処理が求められるため、人間と偏在する物品との間の位置関係およびそれらの状態からサービスを構築する LBS の研究および実験が多数行なわれている。これらの LBS の研究および実験には、センサーを完全に配置した自由空間を用いて (非特許文献 1)、人および物品の位置と状態とを正確に検知し、より緻密でリアルタイムなサービスを提供する高度な LBS が数多く含まれている。

40

【0009】

人間の活動空間は、その移動により、身近な空間が連続的に繋がった広範囲で屋内外が混在する多様な空間であると考えられる。このような環境において、現在、GPS または数多くのセンサーを配置して人および物品等の位置を検出することが行なわれている (非特許文献 1)。

50

【非特許文献1】A. Harter, A. Hopper, P. Stegglers, A. Ward, and P. Webster, "The Anatomy of a Contextaware Application", MOBICOM 1999, (1999).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかし、GPSまたは携帯電話機を用いた位置推定技術は、広範囲をカバーできるが、屋内において精度の高い位置推定を行なうことが困難であり、日常の一般的な物品に適用するのは困難である。

【0011】

また、センサーによる位置推定技術においては、広範囲な領域にわたり高い精度の位置情報を得るには、大量のセンサーを広範囲に、無線デジタルデバイスの通信制約を考慮して完全に配置する必要があり、拡張性および柔軟性に欠け、更に、設備コストおよびその保守コストが高くなるという問題がある。

10

【0012】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、無線ネットワークシステムを構成する無線装置の位置を自律的に推定可能な無線装置を提供することである。

【0013】

また、この発明の別の目的は、無線装置の位置を自律的に推定可能な無線装置を備えた無線ネットワークシステムを提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

この発明によれば、無線装置は、自律的に確立され、かつ、送信元と送信先との間で無線通信が行なわれる無線ネットワークを構成する無線装置であって、位置情報生成手段と、位置修正手段と、位置推定手段と、送信手段とを備える。位置情報生成手段は、当該無線装置の仮の自己位置を示す仮の自己位置情報を生成する。位置修正手段は、 m (m は3以上の整数)個の無線装置から任意に選択された1つの無線装置の仮の位置情報と仮の自己位置情報とに基づいて演算された当該無線装置と1つの無線装置との間の演算距離が当該無線装置と1つの無線装置との間の測定距離に近づくように仮の自己位置を修正する位置修正処理を m 個の無線装置の m 個の仮の位置情報を用いて所定回数だけ実行する。位置推定手段は、所定の条件が満たされると、位置修正手段によって修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する。送信手段は、位置修正手段によって修正された仮の自己位置を示す仮の修正自己位置情報を m 個の無線装置へ送信する。

30

【0015】

好ましくは、無線装置は、距離保持手段をさらに備える。距離保持手段は、当該無線装置と m 個の無線装置との間の m 個の距離を測定し、その測定した m 個の測定距離を保持する。位置修正手段は、 m 個の仮の位置情報と m 個の測定距離とに基づいて位置修正処理を少なくとも m 回実行する。

【0016】

好ましくは、無線装置は、受信手段をさらに備える。受信手段は、 m 個の仮の位置情報を m 個の無線装置から受信する。位置修正手段は、受信手段が1つの無線装置から1つの仮の位置情報を受信すると、当該無線装置と1つの無線装置との間の測定距離を距離保持手段から取得し、仮の自己位置を始点とし、仮の自己位置から1つの無線装置の方向へ取得した測定距離だけ移動した点を終点とする第1のベクトルを演算するとともに、仮の自己位置および受信された1つの仮の位置情報によって示される位置をそれぞれ始点および終点とする第2のベクトルを演算し、第1のベクトルと第2のベクトルとの差である距離偏差ベクトルを演算し、その演算した距離偏差ベクトルに従って仮の自己位置を移動させて位置修正処理を実行する。

40

【0017】

好ましくは、位置修正手段は、 m 個の仮の位置情報と仮の自己位置情報とに基づいて演

50

算した m 個の演算距離と m 個の演算距離に対応する m 個の測定距離との誤差の平均を示す距離平均誤差の変化量がしきい値以下であるとき、距離偏差ベクトルの反転ベクトルに従って仮の自己位置を移動させて位置修正処理を実行する。位置推定手段は、変化量がしきい値よりも大きく、かつ、位置修正処理の回数が所定回数に達すると、位置修正手段によって最終的に修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する。

【0018】

好ましくは、 m 個の無線装置の各々は、当該無線装置から 1 ホップ内に存在する無線装置である。

【0019】

好ましくは、 m 個の無線装置は、 x (x は、正の整数) 個の無線装置と、当該無線装置に対して x 個の無線装置よりも近い位置に配置された y (y は、 $x + y = m$ を満たす整数) 個の無線装置とを含む。そして、位置修正手段は、第 1 および第 2 の位置修正手段を含む。第 1 の位置修正手段は、 x 個の無線装置から任意に選択された第 1 の無線装置の仮の位置情報と仮の自己位置情報とに基づいて演算された当該無線装置と第 1 の無線装置との間の第 1 の演算距離が当該無線装置と第 1 の無線装置との間の第 1 の測定距離に近づくように仮の自己位置を修正する第 1 の位置修正処理を第 1 の回数だけ実行する。第 2 の位置修正手段は、第 1 の位置修正手段により修正された仮の自己位置と y 個の無線装置のうち第 1 の無線装置に隣接する第 2 の無線装置の仮の位置情報とに基づいて演算された当該無線装置と第 2 の無線装置との間の第 2 の演算距離が当該無線装置と第 2 の無線装置との間の第 2 の測定距離に近づくように仮の自己位置を修正する第 2 の位置修正処理を第 2 の回数だけ実行する。第 1 の測定距離は、第 1 および第 2 の無線装置間の第 3 の測定距離を第 2 の測定距離に加算することによって決定される。 x 個の無線装置の各々は、当該無線装置から 2 ホップ内に存在する無線装置である。 y 個の無線装置の各々は、当該無線装置から 1 ホップ内に存在する無線装置である。

【0020】

好ましくは、無線装置は、距離保持手段と、受信手段とをさらに備える。距離保持手段は、当該無線装置と y 個の無線装置との間の y 個の第 2 の測定距離を測定し、その測定した y 個の第 2 の測定距離を保持する。受信手段は、 x 個の無線装置の x 個の仮の位置情報と、 y 個の無線装置の y 個の仮の位置情報と、 y 個の無線装置に対応する y 個の第 3 の測定距離とを y 個の無線装置から受信する。第 1 の位置修正手段は、 x 個の仮の位置情報と、 y 個の仮の位置情報と、 y 個の第 3 の測定距離とを受信すると、 y 個の第 2 の測定距離を距離保持手段から取得し、その取得した y 個の第 2 の測定距離と、受信した x 個の仮の位置情報、 y 個の仮の位置情報および y 個の第 3 の測定距離とに基づいて、 y 個の無線装置の仮の位置情報よりも x 個の無線装置の仮の位置情報を優先して仮の自己位置を修正するための第 1 の距離偏差ベクトルを演算し、その演算した第 1 の距離偏差ベクトルに従って仮の自己位置を移動させて第 1 の位置修正処理を実行する。第 2 の位置修正手段は、 y 個の仮の位置情報を受信すると、 y 個の第 2 の測定距離を距離保持手段から取得し、その取得した y 個の第 2 の測定距離と受信した y 個の仮の位置情報とに基づいて、 y 個の無線装置の仮の位置情報によって第 1 の位置修正手段から受けた仮の自己位置を修正するための第 2 の距離偏差ベクトルを演算し、その演算した第 2 の距離偏差ベクトルに従って仮の自己位置を移動させて第 2 の位置修正処理を実行する。

【0021】

好ましくは、第 1 の位置修正手段は、取得した第 2 の測定距離を第 3 の測定距離に加算して第 1 の測定距離を演算し、仮の自己位置を始点とし、仮の自己位置から第 1 の無線装置の方向へ演算した第 1 の測定距離だけ移動した点を終点とする第 1 のベクトルを演算し、仮の自己位置および受信された第 1 の無線装置の仮の位置情報によって示される位置をそれぞれ始点および終点とする第 2 のベクトルを演算し、第 1 のベクトルと第 2 のベクトルとの差である第 1 の修正ベクトルを演算するベクトル演算処理を x 個の仮の位置情報に対して実行して x 個の第 1 の修正ベクトルを演算するとともに、仮の自己位置を始点とし、仮の自己位置から第 2 の無線装置の方向へ取得した第 2 の測定距離だけ移動した点を終

10

20

30

40

50

点とする第3のベクトルを演算し、仮の自己位置および受信された第2の無線装置の仮の位置情報によって示される位置をそれぞれ始点および終点とする第4のベクトルを演算し、第3のベクトルと第4のベクトルとの差である第2の修正ベクトルを演算し、 x 個の第1の修正ベクトルの加算和と第2の修正ベクトルとを加算して第1の距離偏差ベクトルを演算する。第2の位置修正手段は、第1の位置修正手段によって修正された仮の自己位置を始点とし、仮の自己位置から第2の無線装置の方向へ取得した第2の測定距離だけ移動した点を終点とする第5のベクトルを演算し、第1の位置修正手段によって修正された仮の自己位置を始点とし、受信された第2の無線装置の仮の位置情報によって示される位置を終点とする第6のベクトルを演算し、第5のベクトルと第6のベクトルとの差である第2の距離偏差ベクトルを演算する。

10

【0022】

好ましくは、第1の位置修正手段は、第1の演算距離が第2の演算距離以下であるとき、受信された第2の無線装置の仮の位置情報によって示される位置と仮の自己位置とをそれぞれ始点および終点とする第7のベクトルを演算するとともに、受信された第2の無線装置の仮の位置情報および第1の無線装置の仮の位置情報をそれぞれ始点および終点とする第8のベクトルを演算し、さらに、第2の測定距離を第1および第2の無線装置間の測定距離で除算した除算結果を第8のベクトルに乗算して第9のベクトルを演算し、第7のベクトルと第9のベクトルとを加算して第1の修正ベクトルを演算する。

【0023】

好ましくは、位置推定手段は、第1の回数と第2の回数との和が所定回数に達すると、第2の位置修正手段によって最終的に修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する。

20

【0024】

好ましくは、 m 個の無線装置および当該無線装置の少なくとも1つの無線装置は、既知である絶対位置を仮の位置または仮の自己位置として有する。

【0025】

また、この発明によれば、無線ネットワークシステムは、請求項1から請求項12のいずれか1項に記載の無線装置を n (n は4以上の整数)個以上備える。

【発明の効果】

【0026】

この発明によれば、無線装置は、仮の自己位置と近傍に存在する無線装置の仮の位置とに基づいて演算した演算距離が自己と近傍に存在する無線装置との間の測定距離に近づくように仮の自己位置を自律的に順次修正し、自己の位置を決定する。

30

【0027】

従って、この発明によれば、無線装置の位置を自律的に推定できる。その結果、センサーを大量、かつ、完全に配置しなくても、広範囲な領域において日常生活における物品の位置情報を取得できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

40

【0029】

[実施の形態1]

図1は、この発明の実施の形態1による無線ネットワークシステムの概念図である。この発明の実施の形態1による無線ネットワークシステム10は、無線装置1~7を備える。

【0030】

無線ネットワークシステム10は、自律的に確立され、送信元と送信先との間で無線通信を行なうネットワークシステムであり、例えば、無線アドホックネットワークからなる。そして、無線装置1~7は、鉛筆、ノート、テレビ、パーソナルコンピュータ、カメラ

50

、自転車、自動車および建物等の屋内外の日常生活に用いられる物品に装着され、無線アドホックネットワークを構成する。

【0031】

無線装置1~7は、無線通信空間に配置され、それぞれ、アンテナ11, 21, 31, 41, 51, 61, 71を介して相互に無線通信を行なう。そして、無線装置1~7の各々は、後述する方法によって、自己の位置を推定する。無線装置2~7は、無線装置1から1ホップ内の位置に配置され、無線装置1と無線装置2~7との距離は、それぞれ、 $R_1 \sim R_6$ である。

【0032】

なお、アンテナ11, 21, 31, 41, 51, 61, 71の各々は、全方位性のアンテナである。

10

【0033】

図2は、図1に示す無線装置1の構成を示す機能ブロック図である。無線装置1は、受信部12と、自己位置測位部13と、距離測定部14と、組織化測位部15と、送信部16とを含む。

【0034】

受信部12は、アンテナ11を介して無線装置2~7からの信号を受信し、その受信した信号を必要に応じて自己位置測位部13、距離測定部14および組織化測位部15のいずれかへ出力する。組織化測位部15が無線装置1の位置を推定する場合、受信部12は、無線装置2~7の仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ をそれぞれ無線装置2~7からアンテナ11を介して受信し、その受信した仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を組織化測位部15へ出力する。

20

【0035】

自己位置測位部13は、例えば、GPSによって無線装置1の位置を測定し、その測定した無線装置1の位置を仮の自己位置 $w_i(0)$ として保持する。なお、自己位置測位部13は、無線装置1の位置を実際に測定せずに仮の自己位置 $w_i(0)$ をランダムに生成してもよい。

【0036】

そして、自己位置測位部13は、組織化測位部15からの要求に応じて仮の自己位置 $w_i(0)$ を組織化測位部15へ出力する。

30

【0037】

距離測定部14は、無線装置1と無線装置2~7のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ を測定し、その測定した距離 $R_1 \sim R_6$ をそれぞれ無線装置2~7に対応付けて保持する。距離測定部14は、無線装置1と無線装置2~7のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ をTOA (Time Of Arrival) 法によって測定する。

【0038】

より具体的には、無線装置2は、タイミング t_1 で信号を送信し、無線装置1の受信部12は、無線装置2からの信号を受信し、その受信した信号を距離測定部14へ出力する。距離測定部14は、無線ネットワークシステム10における共通のタイマーを保持しており、無線装置2がタイミング t_1 で信号を送信したことを認識している。そして、距離測定部14は、受信部12から信号を受けると、信号を受けたタイミング t_2 を検出し、タイミング t_1, t_2 に基づいて、 $(t_2 - t_1) \times c$ (c は光速)を演算して距離 R_1 を測定する。

40

【0039】

距離測定部14は、同様にして、無線装置1と、無線装置3~7のそれぞれとの距離 $R_2 \sim R_6$ を測定する。

【0040】

なお、距離測定部14は、TDOA (Time Difference Of Arrival) 法またはRTOF (Roundtrip Time Of Flight) 法によって、無線装置1と無線装置2~7のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ を測定してもよい。

50

【 0 0 4 1 】

このTDOA法は、複数の無線装置から信号が到達する時刻を検出し、その検出した時刻の差から2つの無線装置間の距離を測定する方法である。また、RTOFは、信号が2つの無線装置間を往復する時間を計測し、その計測した往復時間から2つの無線装置間の距離を測定する方法である。

【 0 0 4 2 】

距離測定部14は、上述したTOA法、TDOA法およびRTOF法のいずれかを用いて無線装置1と無線装置2～7のそれぞれとの距離R1～R6を測定すると、その測定した距離R1～R6をそれぞれ無線装置2～7に対応付けて記憶する。そして、距離測定部14は、組織化測位部15からの要求に応じて距離R1～R6のいずれかを組織化測位部15へ出力する。

10

【 0 0 4 3 】

組織化測位部15は、自己位置測位部13からの仮の自己位置 $w_i(0)$ と、距離測定部14からの距離R1～R6と、受信部12からの仮の自己位置 $w_{jk}(s)$ ($k=1\sim 6$)とに基づいて、後述する方法によって、無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ ($t=0, 1, 2, \dots$)を順次修正し、その修正した自己位置 $w_i(t)$ を一定期間ごとに送信部16を介して無線装置2～7へ送信する。

【 0 0 4 4 】

そして、組織化測位部15は、所定の条件が満たされると、最終的に修正された自己位置 $w_i(t)$ を無線装置1の位置と推定する。

20

【 0 0 4 5 】

送信部16は、距離測定部14または組織化測位部15の要求に応じて、信号(自己位置 $w_i(t)$ を含む)等をアンテナ11を介して無線装置2～7へ送信する。

【 0 0 4 6 】

なお、無線装置2～7の各々は、図2に示す無線装置1の構成と同じ構成からなる。

【 0 0 4 7 】

以下、無線装置1の組織化測位部15が無線装置1の位置を推定する方法について具体的に説明する。

【 0 0 4 8 】

組織化測位部15は、無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置2の仮の自己位置 $w_{j1}(s)$ とに基づいて無線装置1と無線装置2との距離 $|w_i(t) - w_{j1}(s)|$ を演算する。この場合、仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{j1}(s)$ は、例えば、 $x-y$ 座標によって表されているため、組織化測位部15は、距離 $|w_i(t) - w_{j1}(s)|$ (「演算距離」という)を容易に演算できる。

30

【 0 0 4 9 】

そして、組織化測位部15は、演算した演算距離 $|w_i(t) - w_{j1}(s)|$ と、距離測定部14から取得した無線装置1と無線装置2との間の測定された距離R1(= $d_{ij}(t)$)、「測定距離」という)とに基づいて、演算距離 $|w_i(t) - w_{j1}(s)|$ を測定距離 $d_{ij}(t)$ に近づけるための修正ベクトル $V_i(t)$ を次式により演算する。

40

【 0 0 5 0 】

【数1】

$$V_i(t) = \frac{d_{ijk}(t) - |w_i(t) - w_{jk}(s)|}{|w_i(t) - w_{jk}(s)|} (w_i(t) - w_{jk}(s)) \quad \dots(1)$$

【 0 0 5 1 】

なお、 $w_i(t) = w_i(0), w_i(1), w_i(2), \dots$ であり、 t は、無線

50

装置 1 における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数を示す。また、 $w_{j_1}(s) = w_{j_1}(0), w_{j_1}(1), w_{j_1}(2), \dots$ であり、 s は、無線装置 2 における仮の自己位置 $w_{j_1}(s)$ の修正回数を示す。

【0052】

そして、組織化測位部 15 は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 1 と、無線装置 1 の近傍に存在する無線装置 2 ~ 7 との距離平均誤差量 $D_i(t)$ の変化量 $\Delta D_i(t)$ を次の式 (2) および式 (3) によって演算する。

【0053】

【数 2】

$$\Delta D_i(t) = D_i(t) - D_i(t-1) \quad \dots(2)$$

10

【0054】

【数 3】

$$D_i(t) = \sqrt{\frac{1}{N_i(t)} \sum_{k=1}^{N_i(t)} (d_{ijk}(t) - |w_i(t) - w_{jk}(s)|)^2} \quad \dots(3)$$

20

【0055】

式 (3) において、 $N_i(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時において無線装置 1 の近傍に存在する無線装置の総数を表し、具体的には、無線装置 2 ~ 7 の個数である 6 個である。

【0056】

また、 $d_{ijk}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 2 ~ 7 のいずれかとの間の測定距離を表す。より具体的には、 $d_{ij1}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 2 との間の測定距離を表し、 $d_{ij2}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 3 との間の測定距離を表し、 $d_{ij3}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 4 との間の測定距離を表し、 $d_{ij4}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 5 との間の測定距離を表し、 $d_{ij5}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 6 との間の測定距離を表し、 $d_{ij6}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 7 との間の測定距離を表す。従って、 $d_{ij1}(t) \sim d_{ij6}(t)$ は、それぞれ、 $R_1 \sim R_6$ に等しい。

30

【0057】

更に、 $w_{jk}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時において無線装置 1 の近傍に存在する無線装置の仮の自己位置を表し、より具体的には、 $w_{j_1}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 2 の仮の自己位置を表し、 $w_{j_2}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 3 の仮の自己位置を表し、 $w_{j_3}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 4 の仮の自己位置を表し、 $w_{j_4}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 5 の仮の自己位置を表し、 $w_{j_5}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 6 の仮の自己位置を表し、 $w_{j_6}(s)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 7 の仮の自己位置を表す。従って、 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ は、それぞれ、無線装置 2 ~ 7 から無線装置 1 へブロードキャスト (1 ホップ内の通信を意味する) される仮の自己位置である。

40

【0058】

そうすると、組織化測位部 15 は、無線装置の総数 $N_i(t)$ 、測定距離 $d_{ij1}(t) \sim d_{ij6}(t)$ および仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を取得でき、その取得した無線装置の総数 $N_i(t)$ 、測定距離 $d_{ij1}(t) \sim d_{ij6}(t)$ および仮の

50

自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を式 (3) に代入して距離平均誤差 $D_i(t)$ を演算し、その演算した距離平均誤差 $D_i(t)$ と、仮の自己位置 $w_i(t)$ の $t - 1$ 回目の修正時における距離平均誤差 $D_i(t - 1)$ との差を演算することにより、距離平均誤差の変化量 $D_i(t)$ を演算できる。

【0059】

組織化測位部 15 は、距離平均誤差の変化量 $D_i(t)$ を演算すると、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 以下であるか否かを判定し、その判定結果に応じて異なる方法によって無線装置 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0060】

即ち、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 以下であるとき ($D_i(t)$)、組織化測位部 15 は、修正ベクトル $V_i(t)$ を用いて次式によって無線装置 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0061】

【数 4】

$$w_i(t+1) = w_i(t) - e_{ijk}(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot V_i(t) \quad \dots(4)$$

【0062】

また、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 よりも大きいとき ($D_i(t) >$)、組織化測位部 15 は、修正ベクトル $V_i(t)$ を用いて次式によって無線装置 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0063】

【数 5】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + e_{ijk}(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot V_i(t) \quad \dots(5)$$

【0064】

なお、式 (4) および式 (5) において、 $e_{ijk}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 1 と無線装置 2 ~ 7 のいずれかとのリンクの重みである。また、 $\alpha_i(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 1 の学習関数である。

【0065】

そして、リンクの重み $e_{ijk}(t)$ は、次式によって演算される。

【0066】

【数 6】

$$e_{ijk}(t) = \exp(\theta - \Delta D_i(t)) \quad \dots(6)$$

【0067】

また、学習関数 $\alpha_i(t)$ は、次式によって演算される。

【0068】

10

20

30

40

【数 7】

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} 1 & \Delta D_i(t) \leq \theta \text{ のとき} \\ \eta \cdot \alpha_i(t-1) & \Delta D_i(t) > \theta \text{ のとき} \end{cases} \dots(7)$$

【0069】

なお、式(7)において、 η は、減衰定数であり、 $0 < \eta < 1$ を満たす正の実数である。

10

【0070】

上記式(4)または式(5)を用いた無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を概念的に説明すると次のようになる。

【0071】

図3は、無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正概念を説明するための図である。無線装置1は、仮の自己位置 $w_i(t)$ に存在し、無線装置2は、仮の自己位置 $w_{j_1}(s)$ に存在している。そして、仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{j_1}(s)$ に基づいて演算された演算距離 $d_{i s t}(t)$ は、 $d_{i s t}(t) = |w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ である。この演算された演算距離 $d_{i s t}(t)$ が実測された無線装置1、2間の測定距離 $d_{i j_1}(t)$ ($= R_1$)と異なるとき、測定距離 $d_{i j_1}(t)$ と演算距離 $d_{i s t}(t)$ との差を修正ベクトル $V_i(t)$ として求め、その求めた修正ベクトル $V_i(t)$ に従って無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

20

【0072】

これによって、無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ と、無線装置2の仮の自己位置 $w_{j_1}(s)$ との間の距離は、測定距離 $d_{i j_1}(t)$ になる。

【0073】

従って、式(4)または式(5)によって、仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正することは、演算距離 $d_{i s t}(t) = |w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ が測定距離 $d_{i j_1}(t)$ に近づくように仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正することに相当する。

30

【0074】

仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{j_1}(s)$ は、それぞれ、無線装置1、2の自己位置測位部13において生成されるものであり、自己位置測位部13がGPS等の位置測定機能を有しないときは、ランダムに生成されるものであるので、式(4)または式(5)によって修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ は誤差を含んでおり、演算距離 $|w_i(t+1) - w_{j_1}(s)|$ が測定距離 $d_{i j_1}(t)$ ($= R_1$)に即座に一致するものではない。

【0075】

従って、無線装置1の組織化測位部15は、式(4)または式(5)による仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を無線装置1の近傍に存在する無線装置2~7の仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を用いて所定回数実行し、所定回数実行後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1の位置と推定する。

40

【0076】

式(4)および式(5)のいずれかを用いて無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するのは、次の理由による。

【0077】

図4は、反学習の効果を説明するための概念図である。上述した方法によって無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正した場合、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ が図4の(a)のエネルギー図に示すように、局所解に至る可能性がある。この場合、上述した変化量 $D_i(t)$ は、しきい値以下になっている。

50

【0078】

そこで、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ が局所解から抜け出せるように反学習の効果を与える。より具体的には、図4の(b)に示すように、毎回の修正時に振動を与えることによって、山MTを越えさせて局所解から抜け出させ、より安定なエネルギーに到達するようにする(図4の(c)参照)。

【0079】

これを実行するために、変化量 $D_i(t)$ がしきい値以下であるとき、式(4)によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正することにしたものである。この場合、式(1)を用いて演算された修正ベクトル $V_i(t)$ の反転ベクトル $-V_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t)$ に加算して反学習の効果を与える。

10

【0080】

また、この反学習の効果を高めるために、式(7)の上段において学習関数 $\eta_i(t)$ を初期化して多くの入力を受け入れられるようにしたものである。

【0081】

なお、変化量 $D_i(t)$ がしきい値よりも大きいとき、仮の自己位置 $w_i(t)$ は、局所解に至っていないので、式(5)によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正することにしたものである。

【0082】

無線装置1の組織化測位部15は、無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を6回修正したとき、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置2~7へブロードキャストする。

20

【0083】

そして、仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の6回の修正を1セットとすると、無線装置1の組織化測位部15は、変化量 $D_i(t)$ がしきい値よりも大きく、かつ、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を所定セット数だけ実行したときに、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1の位置と推定する。

【0084】

また、無線装置1の組織化測位部15は、所定セット数(例えば、300セット)だけ仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を実行すると、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1の位置と推定するようにしてもよい。

30

【0085】

無線装置2~7は、上述した無線装置1における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正方法と同じ修正方法に従って、仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を順次修正し、自己の位置を推定する。

【0086】

なお、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1から受信した無線装置2~7は、その受信した無線装置1の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を用いて無線装置1における方法と同じ方法によって無線装置2~7の各々の仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を修正し、その修正後の仮の自己位置 $w_{j_1}(s+1) \sim w_{j_6}(s+1)$ をブロードキャストする。そして、無線装置1は、無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s+1) \sim w_{j_6}(s+1)$ を受信し、その受信した仮の自己位置 $w_{j_1}(s+1) \sim w_{j_6}(s+1)$ を用いて、上述した方法によって、仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正する。

40

【0087】

図5は、無線装置の位置を推定する動作を説明するための実施の形態1におけるフローチャートである。なお、図5においては、無線装置1が無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を受信して仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する場合について説明する。

【0088】

一連の動作が開始されると、無線装置 i (=無線装置1) の組織化測位部15は、 $k =$

50

1を設定し(ステップS1)、無線装置i(=無線装置1)における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数tを $t=0$ に設定し(ステップS2)、無線装置2~7における仮の自己位置 $w_{jk}(s)$ の修正回数sを $s=0$ に設定する(ステップS3)。

【0089】

その後、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、自己位置測位部13から無線装置i(=無線装置1)の仮の自己位置 $w_i(0)$ を取得し(ステップS4)、その取得した仮の自己位置 $w_i(0)$ をブロードキャストするように送信部16を制御し、送信部16は、組織化測位部15から受けた仮の自己位置 $w_i(0)$ を無線装置2~7へブロードキャストする(ステップS5)。

【0090】

無線装置i(=無線装置1)の受信部12は、無線装置jk(=無線装置2)から仮の自己位置 $w_{jk}(s)$ を受信し(ステップS6)、その受信した仮の自己位置 $w_{jk}(s)$ を組織化測位部15へ出力する。

【0091】

その後、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ に基づいて、演算距離 $|w_i(t) - w_{jk}(s)|$ を演算し(ステップS7)、無線装置i(=無線装置1)と無線装置jk(=無線装置2)との間の測定距離 $d_{ijk}(t)$ (=R1)を距離測定部14から取得する(ステップS8)。

【0092】

そうすると、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ 、演算距離 $|w_i(t) - w_{jk}(s)|$ および測定距離 $d_{ijk}(t)$ を式(1)に代入して修正ベクトル $V_i(t)$ を演算する(ステップS9)。

【0093】

その後、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、無線装置1の近傍に存在する無線装置の総数 $N_i(t)$ (=6)、演算距離 $|w_i(t) - w_{jk}(s)|$ および測定距離 $d_{ijk}(t)$ を式(3)に代入して距離平均誤差 $D_i(t)$ を演算し、その演算した距離平均誤差 $D_i(t)$ を用いて式(2)により距離平均誤差の変化量 $D_i(t)$ を演算する(ステップS10)。

【0094】

そして、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、変化量 $D_i(t)$ がしきい値以下であるか否かを判定し(ステップS11)、変化量 $D_i(t)$ がしきい値以下でないとき、式(7)の下段により学習関数 $\alpha_i(t)$ を演算し、式(6)により無線装置i(=無線装置1)と無線装置jk(=無線装置2)とのリンクの重み $e_{ijk}(t)$ を演算し、その演算した学習関数 $\alpha_i(t)$ およびリンクの重み $e_{ijk}(t)$ と、ステップS9において演算した修正ベクトル $V_i(t)$ とを式(5)に代入して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する(ステップS12)。

【0095】

一方、ステップS11において、変化量 $D_i(t)$ がしきい値以下であると判定されたとき、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、式(7)の上段により学習関数 $\alpha_i(t)$ を演算し、式(6)により無線装置i(=無線装置1)と無線装置jk(=無線装置2)とのリンクの重み $e_{ijk}(t)$ を演算し、その演算した学習関数 $\alpha_i(t)$ およびリンクの重み $e_{ijk}(t)$ と、ステップS9において演算した修正ベクトル $V_i(t)$ とを式(4)に代入して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する(ステップS13)。

【0096】

そして、ステップS12またはステップS13の後、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15は、 $k=m$ であるか否かを判定する(ステップS14)。mは、無線装置1の近傍に存在する無線装置2~7の個数であり、具体的には、 $m=6$ である。従って、ステップS14において、 $k=m$ であるか否かを判定することは、無線装置i(=無線装置1)の組織化測位部15が無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$

10

20

30

40

50

s)の全てに基づいて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正したか否かを判定することに相当する。

【0097】

ステップS14において、 $k = m$ でないと判定されたとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、 $k = k + 1$ および $t = t + 1$ を設定する(ステップS15)。そして、ステップS14において、 $k = m$ であると判定されるまで、上述したステップS6~ステップS15が繰り返し実行される。

【0098】

ステップS6~ステップS14が2回目に実行される時、 k は $k = 2$ に設定されており、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、無線装置 j_k (=無線装置3)からの仮の自己位置 $w_{j_k}(s)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。この場合、修正回数 t は、 $t = 0 + 1 = 1$ に設定されているため、ステップS6~ステップS14が1回目に実行されたときにステップS12およびステップS13のいずれかにおいて修正された仮の自己位置 $w_i(t+1) = w_i(1)$ と、仮の自己位置 $w_{j_k}(s) = w_{j_k}(0)$ とを用いて仮の自己位置 $w_i(1)$ が修正される。

10

【0099】

以下、同様にして、無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ の全てを用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ が修正されるまで、ステップS6~ステップS15が繰り返し実行される。

【0100】

そして、ステップS14において、 $k = m$ 、即ち、無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ の全てを用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ が修正されたと判定されると、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、最後に修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置2~7へブロードキャストするように送信部16を制御し、送信部16は、組織化測位部15の制御に従って、仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置2~7へブロードキャストする(ステップS16)。

20

【0101】

これによって、無線装置2~7は、修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1から受信し、その受信した仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を用いて仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を修正できる。

30

【0102】

ステップS16の後、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、 $s = s + 1$ を設定し(ステップS17)、変化量 $D_i(t)$ がしきい値よりも大きく($D_i(t) > \quad$)、かつ、 $s = N$ であるか否かを判定する(ステップS18)。

【0103】

そして、変化量 $D_i(t)$ がしきい値よりも大きく($D_i(t) > \quad$)、かつ、 $s = N$ であることが成立しないと判定されたとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、 $s = N$ であるか否かを更に判定する(ステップS19)。そして、 $s = N$ でないとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、 $k = 1$ および $t = t + 1$ を設定する(ステップS20)。

40

【0104】

その後、ステップS18において、変化量 $D_i(t)$ がしきい値よりも大きく($D_i(t) > \quad$)、かつ、 $s = N$ であると判定されるまで、またはステップS19において $s = N$ であると判定されるまで、上述したステップS6~ステップS20が繰り返し実行される。

【0105】

ステップS6~ステップS17が2回目に実行される時、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ の全てを用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を1回修正したので、再度、無線装置2~7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を順次用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を順

50

次修正するために、ステップS20において、 $k = 1$ と設定することにしたものである。

【0106】

また、修正回数 t は、無線装置2～7からの仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ の全てを用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する回数が増えることによっても増加するので、ステップS20において $t = t + 1$ と設定することにしたものである。

【0107】

更に、ステップS6～ステップS17が2回目に実行されるとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、無線装置1が修正して無線装置2～7へブロードキャストした仮の自己位置 $w_i(t)$ に基づいて修正された仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するようにするために、ステップS17において、 $s = s + 1$ と設定することにしたものである。

10

【0108】

更に、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、ステップS6～ステップS17を2回目以降に実行するとき、同じ無線装置(無線装置2～7のいずれか)から送信された p (p は2以上の整数)個の仮の自己位置 $w_{j_k}(0), w_{j_k}(1), \dots, w_{j_k}(p-1)$ を用いて、 q (q は $1 \leq q \leq p-1$ を満たす整数)番目の仮の位置 $w_{j_k}(q)$ と仮の自己位置 $w_i(t)$ とに基づいて q 回目の位置修正処理を実行し、 $q+1$ 番目の仮の位置情報 $w_{j_k}(q+1)$ と q 回目の位置修正処理によって修正された仮の自己位置情報 $w_i(t+1)$ とに基づいて $q+1$ 回目の位置修正処理を実行する。

【0109】

そして、ステップS18において、変化量 $D_i(t)$ がしきい値よりも大きく ($D_i(t) > \quad$)、かつ、 $s = N$ であると判定されたとき、またはステップS19において、 $s = N$ であると判定されたとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15は、最終的に修正された自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1の位置と推定する(ステップS21)。そして、一連の動作が終了する。

20

【0110】

なお、無線装置2～7の各々も、図5に示すフローチャートに従って自己の位置を推定する。

【0111】

これによって、無線ネットワークシステム10における無線装置1～7の位置が自律的に推定される。この場合、無線装置1～7のうち、少なくとも1個の無線装置が既知である絶対位置を仮の自己位置とする場合、無線装置1～7の位置は絶対位置として決定される。

30

【0112】

また、無線装置1～7の全てが既知である絶対位置を有しない場合、無線装置1～7の位置は相対的に決定される。

【0113】

このように、いずれにしても、無線装置1～7の各々が図5に示すフローチャートに従って自己の位置を自律的に推定することによって無線ネットワークシステム10において無線装置1～7の位置を自律的に決定できる。

40

【0114】

なお、図5に示すフローチャートのステップS18, S19における N は、無線装置1～7の配置構造、または無線装置1～7が設置される対象物(物品)の種類に応じて決定される。

【0115】

無線装置1～7の配置構造が異なれば、ブロードキャスト(1ホップ内の通信)によって仮の自己位置 $w_i(t), w_{j_k}(s)$ を通信可能な無線装置の個数が変化するので、所定の精度で無線装置1～7の位置を推定するための回数 N が変化するためである。また、無線装置1～7が鉛筆に装着された場合、推定される位置の精度は、1m以下の精度が要求されるが、無線装置1～7が建物に装着される場合、推定される位置の精度は、数十m

50

の精度でよい。従って、無線装置 1 ~ 7 が装着される物品によって、上述した方法によって推定する位置の要求精度が異なり、それぞれの精度を達成するための回数 N が異なるからである。

【 0 1 1 6 】

また、図 5 に示すフローチャートにおいては、ステップ S 1 8 を削除し、ステップ S 1 7 の後、ステップ S 1 9 を実行し、 $s = N$ である場合に、ステップ S 2 1 へ移行して無線装置 1 ~ 7 の位置を推定するようにしてもよい。

【 0 1 1 7 】

つまり、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数が所定数 N に到達したときに、組織化測位部 1 5 における位置の推定動作を終了するようにしてもよい。

10

【 0 1 1 8 】

以下、図 5 に示すフローチャートに従って無線装置 1 ~ 7 の位置を推定する場合のシミュレーション結果について説明する。シミュレーションにおいては、図 1 に示す無線ネットワークシステム 1 0 が配置される空間として $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ の平面を定義し、この空間に図 1 に示す無線装置 1 ~ 7 をランダムに配置したネットワークトポロジーを定義する。

【 0 1 1 9 】

また、距離測定部 1 4 によって測定される無線装置間の距離は、エラーを含むが、このエラーは、正規分布に従うものとする。

【 0 1 2 0 】

20

更に、無線装置 1 が修正した仮の自己位置を近傍の無線装置 2 ~ 7 へ配信する間隔は、無線装置 2 ~ 7 の全てと通信して仮の自己位置を修正した度毎とする。そして、これを 1 サイクルとして、各無線装置 1 ~ 7 ごとに 3 0 0 サイクルの仮の自己位置の修正を行なった。

【 0 1 2 1 】

位置推定精度の評価関数は、推定した自己位置と無線装置の実際の位置のユークリッド距離の差の総和として次式により定義された。

【 0 1 2 2 】

【数 8】

30

$$Er\ rave = \sqrt{\frac{1}{Nt} \sum_{i=1}^{Nt} |W_i - w_i(t)|^2} \quad \dots(8)$$

【 0 1 2 3 】

なお、 Nt は、無線装置 1 ~ 7 の総数であり、 W_i は、無線装置 i ($i = 1 \sim 7$) の実際の位置である。

【 0 1 2 4 】

更に、シミュレーションの各調整パラメータは、表 1 に示す値を用いた。

40

【 0 1 2 5 】

【表 1】

誤差しきい値 θ	0.1
減衰定数 η	0.95

【 0 1 2 6 】

図 6 は、無線装置の数による位置推定誤差の変化を示す図である。図 6 において、横軸は、隣接する無線装置の数を表し、縦軸は、正解率および位置推定誤差の平均値を表す。

50

【 0 1 2 7 】

なお、図 6 のシミュレーションにおいては、絶対位置を自己の位置とする無線装置の個数を 2 個とし、相互に無線通信可能な距離を $(2)^{1/2}$ m とし、無線装置間の距離の誤差偏差は、0.01 とした。この通信可能な距離 $(2)^{1/2}$ m は、定義されたネットワーク空間の全ての無線装置が相互に直接通信可能な距離である。

【 0 1 2 8 】

図 6 から分かるように、推定平均誤差は、無線装置の数が増加するに従って減少し、特に、無線装置の数が 60 個を超えると、無線装置間の距離の誤差偏差と同等の値となる(曲線 k 1 参照)。

【 0 1 2 9 】

推定平均誤差が 0.1 を下回る場合を正しく位置推定できたものとして、その割合とその場合の推定平均誤差とを表したのが曲線 k 2, k 3 である。

【 0 1 3 0 】

その結果、隣接する無線装置の数が少ない場合は、正解推定の占める割合が 8 ~ 9 割と低いので、300 サイクルの推定処理後に式 (2) において無線装置 1 と無線装置 2 ~ 7 との間の距離の誤差の平均が期待する誤差よりも大きい場合、その無線装置 1 は、推定した位置を破棄し、ランダムな位置を生成して再度 300 サイクルの推定処理を行なう。このような処理は、式 (4) に従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するのと同じ効果を与える。

【 0 1 3 1 】

図 7 は、距離誤差の平均が期待する誤差よりも大きい場合、推定した位置を破棄して新たに生成された位置に基づいて位置を推定する場合のシミュレーション結果を示す図である。図 7 において、横軸は、隣接する無線装置の数を表し、縦軸は、正解率および位置推定誤差の平均値を表す。

【 0 1 3 2 】

図 6 および図 7 を比較すると、隣接する無線装置の数が少ない場合でも正解率が高くなった。従って、隣接する無線装置の数および処理回数により、位置推定誤差を制御可能である。

【 0 1 3 3 】

図 8 は、アンカーノード数による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。なお、アンカーノードとは、既知である絶対位置を有する無線装置をいう。

【 0 1 3 4 】

図 8 において、横軸は、アンカーノード数を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。また、曲線 k 4 は、通信可能距離が 0.35 m である場合を示し、曲線 k 5 は、通信可能距離が 0.2 m である場合を示す。そして、無線装置の総数は、100 個であり、無線装置間の距離の誤差偏差は、0.01 である。

【 0 1 3 5 】

図 8 から明らかなように、通信可能距離が 0.35 m および 0.2 m のいずれにおいても、位置推定誤差の平均値は、アンカーノード数の増加に伴い急速に減少する。通信可能距離が 0.35 m である場合、アンカーノード数が“5”を超えると、位置推定誤差は、無線装置間の距離の誤差偏差と同等の値となる。この場合、隣接する無線装置の平均数は、29.32 個であり、直接通信可能なアンカーノード数の平均は、1.19 個である。

【 0 1 3 6 】

一方、通信可能距離が 0.2 m である場合、アンカーノード数が“40”個から通信可能距離が 0.35 m の場合と同等の精度になる。この場合、隣接する無線装置の平均数は、10.14 個であり、直接通信可能なアンカーノード数の平均は、4.23 個である。

【 0 1 3 7 】

通信可能距離が 0.2 m の場合において位置推定誤差を減少させるために多くのアンカーノードが必要であるのは、通信可能距離が短いため、近接する無線装置の数が少ないからである。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 8 】

図 9 は、無線装置間の距離の誤差偏差による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。図 9 において、横軸は、距離の誤差偏差を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。また、曲線 k 6 は、無線装置の総数が 50 個であり、アンカーノード数が 6 個である場合を示し、曲線 k 7 は、無線装置の総数が 50 個であり、アンカーノード数が 3 個である場合を示し、曲線 k 8 は、無線装置の総数が 20 個であり、アンカーノード数が 3 個である場合を示す。

【 0 1 3 9 】

いずれの場合においても、位置推定誤差は、距離の誤差偏差に比例して大きくなる。また、アンカーノード数が多い方が位置推定誤差がより少なくなる。

10

【 0 1 4 0 】

図 8 において、通信可能距離が 0.35 m であるネットワークと、通信可能距離が 0.2 m であるネットワークにおいては、位置推定誤差において明らかに違いがある。通信可能距離が 0.35 m であるネットワークでは、その位置推定誤差が距離の誤差と同等となるのは、アンカーノード数が“5”のときである。

【 0 1 4 1 】

この場合、隣接する無線装置の平均数、および直接通信可能な平均のアンカーノード数は、それぞれ、29.32 個および 1.19 個である。

【 0 1 4 2 】

通信可能距離が 0.2 m であるネットワークの場合、アンカーノード数が 30 個における隣接する無線装置の平均数および直接通信可能なアンカーノード数の平均数は、それぞれ、10.14 個および 3.04 個である。

20

【 0 1 4 3 】

これを比較すると、通信可能距離が 0.2 m であるネットワークは、隣接する無線装置の数が少ないが、アンカーノード数が高い値となっているので、十分に高い精度を期待できるネットワーク構成となっている。そして、推定平均誤差が、0.032733 である。

【 0 1 4 4 】

従って、位置推定誤差は、通信可能距離に依存し、通信可能距離が短いと距離の誤差の影響を受けやすくなり、その結果、位置推定誤差が大きくなる。

30

【 0 1 4 5 】

図 10 は、無線装置間の通信総数と位置推定誤差との相関を示す図である。図 10 において、横軸は、無線装置の数を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値および推定処理遅延を表す。また、曲線 k 9 は、位置推定誤差の平均値と無線装置の数との関係を示し、曲線 k 10 は、推定処理遅延と無線装置の数との関係を示す。

【 0 1 4 6 】

なお、図 10 のシミュレーションにおいては、アンカーノード数が 2 個であり、通信可能距離が 0.5 m であり、無線装置間の距離誤差は、0.01 である。

【 0 1 4 7 】

図 10 から明らかのように、位置推定誤差の平均値は、無線装置の数が増加するに伴って減少するが、推定処理遅延は、無線装置の数が増加するに伴って増加する。

40

【 0 1 4 8 】

図 11 は、図 10 に示す位置推定誤差の平均値と推定処理遅延との関係を示す図である。図 11 において、横軸は、位置推定誤差の平均値を表し、縦軸は、推定処理遅延を表す。

【 0 1 4 9 】

図 11 に示す結果から、位置推定の精度を保証するには、無線装置の数を適切な数に設定することが必要であることが分かる。

【 0 1 5 0 】

上述したように、この発明による位置推定方法を用いることによって無線ネットワーク

50

に存在する無線装置の位置を高い精度で推定可能であることがシミュレーションによっても確認された。

【0151】

なお、上記においては、無線ネットワークシステム10は、7個の無線装置1~7からなると説明したが、この発明においては、無線ネットワークシステム10は、 n (n は4以上の整数)個の無線装置から構成されていけばよい。3個の無線装置では、推定した3個の位置に基づいて3個の無線装置の位置を決定しようとした場合、3個目の無線装置の位置が1個目および2個目の無線装置を結ぶ直線に対して対称な位置に存在し得るので、3個目の無線装置の位置を決定することができないが、少なくとも4個の無線装置が存在すれば、4個目の無線装置の位置も含めて3個目および4個目の無線装置の位置を決定できる。結果的に4個の無線装置の位置を決定できる。

10

【0152】

また、上記においては、全方位性のビームパターンを用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ を送信すると説明したが、この発明においては、指向性のビームパターンを用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ を送信するようにしてもよい。

【0153】

これにより、全方位性のビームパターンを用いる場合よりも遠くまで仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ を送信することができ、1ホップ内に存在する無線装置の数を増加して位置推定の誤差を低減できる。

【0154】

また、より遠くまで仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ を送信することにより、アンカーノードへ仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ を送信できる可能性が高くなり、各無線装置の位置を絶対的に決定できるようになる。

20

【0155】

この発明においては、自己位置測位部13は、「位置情報生成手段」を構成する。

【0156】

また、距離測定部14は、「距離保持手段」を構成する。

【0157】

更に、図5に示すフローチャートのステップS7~ステップS13は、「位置修正処理」を構成する。

30

【0158】

更に、図5に示すフローチャートのステップS1~ステップS20に従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正する組織化測位部15は、位置修正処理を実行する「位置修正手段」を構成する。

【0159】

更に、図5に示すフローチャートのステップS18、S19、S21に従って、最終的に修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置1~7の位置と推定する組織化測位部15は、所定の条件が満たされると、位置修正手段によって修正された仮の自己位置を当該無線装置の位置と推定する「位置推定手段」を構成する。

【0160】

更に、無線装置1が図5に示すフローチャートに従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を所定回数だけ修正するとき、無線装置2~7は、「 m (m は3以上の整数)個の無線装置」を構成する。

40

【0161】

更に、仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置2の方向へ測定距離 $d_{ijk}(t)$ だけ移動するベクトルは、「第1のベクトル」を構成し、仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置2の方向へ演算距離 $d_{ist}(t) = |w_i(t) - w_{jk}(s)|$ だけ移動するベクトルは、「第2のベクトル」を構成する。

【0162】

更に、修正ベクトル $v_i(t)$ は、「距離偏差ベクトル」を構成する。

50

【0163】

この発明の実施の形態1によれば、無線ネットワークシステム10を構成する無線装置1~7の各々は、仮の自己位置 $w_i(t)$ と近傍に存在する無線装置の仮の位置 $w_{jk}(s)$ とに基づいて演算した演算距離 $|w_i(t) - w_{jk}(s)|$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ に近づくように仮の自己位置 $w_i(t)$ を自律的に順次修正し、自己の位置を決定する。

【0164】

従って、この発明によれば、無線装置の位置を自律的に推定できる。その結果、センサーを大量、かつ、完全に配置しなくても、広範囲な領域において日常生活における物品の位置情報を取得できる。

10

【0165】

[実施の形態2]

図12は、実施の形態2による無線ネットワークシステム10Aの概念図である。実施の形態2による無線ネットワークシステム10Aは、無線装置81~87, 91~96を備える。

【0166】

無線ネットワークシステム10Aは、無線ネットワークシステム10と同じように、自律的に確立され、送信元と送信先との間で無線通信を行なうネットワークシステムであり、例えば、無線アドホックネットワークからなる。そして、無線装置81~87, 91~96は、無線装置1~7と同じように、鉛筆、ノート、テレビ、パーソナルコンピュータ、カメラ、自転車、自動車および建物等の屋内外の日常生活に用いられる物品に装着され、無線アドホックネットワークを構成する。

20

【0167】

無線装置81~87, 91~96は、無線通信空間に配置され、それぞれ、アンテナ811, 821, 831, 841, 851, 861, 871, 911, 921, 931, 941, 951, 961を介して相互に無線通信を行なう。そして、無線装置81~87, 91~96の各々は、後述する方法によって、自己の位置を推定する。無線装置82~87は、無線装置81から1ホップ内の位置に配置され、無線装置81と無線装置82~87との距離は、それぞれ、 $R_1 \sim R_6$ である。

【0168】

また、無線装置91~96は、無線装置81から2ホップ内の位置に配置され、無線装置82と無線装置91との距離、無線装置83と無線装置92との距離、無線装置84と無線装置93との距離、無線装置85と無線装置94との距離、無線装置86と無線装置95との距離、および無線装置87と無線装置96との距離は、それぞれ、 $R_7 \sim R_{12}$ である。

30

【0169】

なお、アンテナ811, 821, 831, 841, 851, 861, 871, 911, 921, 931, 941, 951, 961の各々は、全方位性のアンテナである。

【0170】

図13は、図12に示す無線装置81の構成を示す機能ブロック図である。無線装置81は、図2に示す無線装置1の距離測定部14および組織化測位部15をそれぞれ距離測定部14Aおよび組織化測位部15Aに代えたものであり、その他は、無線装置1と同じである。

40

【0171】

なお、無線装置81においては、受信部12は、アンテナ811を介して無線装置82~87からの信号を受信し、その受信した信号を必要に応じて自己位置測位部13、距離測定部14Aおよび組織化測位部15Aのいずれかへ出力する。組織化測位部15Aが無線装置81の位置を推定する場合、受信部12は、無線装置82~87の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ 、無線装置91~96の仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ 、および距離 $R_7 \sim R_{12}$ をそれぞれ無線装置82~87からアンテナ811を介し

50

て受信し、その受信した仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ 、仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ および距離 $R_7 \sim R_{12}$ を組織化測位部 15 A へ出力する。

【0172】

距離測定部 14 A は、無線装置 81 と無線装置 82 ~ 87 のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ を測定し、その測定した距離 $R_1 \sim R_6$ をそれぞれ無線装置 82 ~ 87 に対応付けて保持する。なお、距離測定部 14 A は、距離測定部 14 と同じ方法によって距離 $R_1 \sim R_6$ を測定する。

【0173】

組織化測位部 15 A は、自己位置測位部 13 からの仮の自己位置 $w_i(0)$ と、距離測定部 14 A からの距離 $R_1 \sim R_6$ と、受信部 12 からの仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ 、仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ 、および距離 $R_7 \sim R_{12}$ とに基づいて、後述する方法によって、無線装置 81 の仮の自己位置 $w_i(t)$ ($t = 0, 1, 2, \dots$) を順次修正し、その修正した自己位置 $w_i(t)$ を一定期間ごとに送信部 16 を介して無線装置 82 ~ 87 へ送信する。

10

【0174】

そして、組織化測位部 15 A は、所定の条件が満たされると、最終的に修正された自己位置 $w_i(t)$ を無線装置 81 の位置と推定する。

【0175】

なお、無線装置 82 ~ 87 の各々は、図 13 に示す無線装置 81 の構成と同じ構成からなる。

20

【0176】

無線ネットワークシステム 10 A においては、無線装置 91 ~ 96 は、仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ をブロードキャストする。従って、例えば、無線装置 91 の仮の自己位置 $w_{x_1}(t)$ は、無線装置 82, 83, 87, 92 によって受信される。無線装置 92 ~ 96 の仮の自己位置 $w_{x_2}(t) \sim w_{x_6}(t)$ も、同様に複数の無線装置によって受信される。

【0177】

従って、無線装置 82 ~ 87 の受信部 12 は、無線装置 91 ~ 96 から仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を受信し、その受信した仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を距離測定部 14 A へ出力する。

30

【0178】

無線装置 82 ~ 87 の距離測定部 14 A は、それぞれ、無線装置 91 ~ 96 との距離 $R_7 \sim R_{12}$ を測定し、その測定した距離 $R_7 \sim R_{12}$ をそれぞれ無線装置 91 ~ 96 に対応付けて保持する。

【0179】

そして、無線装置 82 ~ 87 の距離測定部 14 A は、受信部 12 から仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を受けると、その受けた仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を無線装置 91 ~ 96 および距離 $R_7 \sim R_{12}$ に対応付けて送信部 16 へ出力する。

【0180】

また、無線装置 82 ~ 87 の組織化測位部 15 A は、自己位置測位部 13 からそれぞれ仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を受け、その受けた仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を送信部 16 へ出力する。

40

【0181】

そうすると、無線装置 82 ~ 87 の送信部 16 は、それぞれ、位置情報 $PST_1 \sim PST_6$ を作成し、その作成した位置情報 $PST_1 \sim PST_6$ をそれぞれアンテナ 821, 831, 841, 851, 861, 871 を介して無線装置 81 へ送信する。

【0182】

この場合、位置情報 PST_1 は、[無線装置 82 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_1}(t)$ / 無線装置 91 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_1}(t)$, 距離 R_7] からなり、位置情報 PST_2 は、[無線装置 83 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_2}(t)$ / 無

50

線装置 9 2 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_2}(t)$ ，距離 R 8] からなる。

【 0 1 8 3 】

また、位置情報 P S T 3 は、[無線装置 8 4 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_3}(t)$ / 無線装置 9 3 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_3}(t)$ ，距離 R 9] からなり、位置情報 P S T 4 は、[無線装置 8 5 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_4}(t)$ / 無線装置 9 4 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_4}(t)$ ，距離 R 1 0] からなる。

【 0 1 8 4 】

更に、位置情報 P S T 5 は、[無線装置 8 6 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_5}(t)$ / 無線装置 9 5 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_5}(t)$ ，距離 R 1 1] からなり、位置情報 P S T 6 は、[無線装置 8 7 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_6}(t)$ / 無線装置 9 6 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_6}(t)$ ，距離 R 1 2] からなる。

【 0 1 8 5 】

従って、無線装置 8 1 の受信部 1 2 は、仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ 、仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ 、および距離 R 7 ~ R 1 2 を受信できる。

【 0 1 8 6 】

なお、位置情報 P S T 1 ~ P S T 6 に含まれる無線装置 8 1 ~ 8 6 の IP アドレスは、無線装置 8 1 ~ 8 6 を識別可能な識別子であれば、どのような識別子に代えられてもよい。

【 0 1 8 7 】

以下、無線装置 8 1 の組織化測位部 1 5 A が無線装置 8 1 の位置を推定する方法について具体的に説明する。

【 0 1 8 8 】

無線装置 8 1 の組織化測位部 1 5 A は、無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置 8 2 の仮の自己位置 $w_{y_1}(t)$ とに基づいて無線装置 8 1 と無線装置 8 2 との距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ を演算する。この場合、仮の自己位置 $w_i(t)$ ， $w_{y_1}(t)$ は、例えば、 $x - y$ 座標によって表されているため、組織化測位部 1 5 A は、距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ (「演算距離」という) を容易に演算できる。

【 0 1 8 9 】

そして、組織化測位部 1 5 A は、演算した演算距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ と、距離測定部 1 4 A から取得した無線装置 8 1 と無線装置 8 2 との間の測定された距離 R 1 (= $d_{iy_1}(t)$)、「測定距離」という) とに基づいて、演算距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ を測定距離 $d_{iy_1}(t)$ に近づけるための修正ベクトル $V_i^{(1)}(t)$ を次式により演算する。

【 0 1 9 0 】

【 数 9 】

$$V_i^{\{1\}}(t) = \frac{d_{iy}(t) - |w_i(t) - w_y(t)|}{|w_i(t) - w_y(t)|} (w_i(t) - w_y(t)) \quad \dots(9)$$

【 0 1 9 1 】

なお、 $w_i(t) = w_i(0)$ ， $w_i(1)$ ， $w_i(2)$ ， \dots であり、 $w_y(t) = w_y(0)$ ， $w_y(1)$ ， $w_y(2)$ ， \dots であり、 t は、無線装置 8 1 における仮の自己位置 $w_i(t)$ および無線装置 8 2 ~ 8 7 における仮の自己位置 $w_y(t)$ の修正回数を示す。また、 y は、無線装置 8 2 ~ 8 7 に対応して $y_1 \sim y_6$ である。

【 0 1 9 2 】

また、組織化測位部 1 5 A は、無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置 9 1 の仮の自己位置 $w_{x_1}(t)$ とに基づいて無線装置 8 1 と無線装置 9 1 との距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を演算する。この場合、仮の自己位置 $w_{x_1}(t)$ も、例えば、 x

10

20

30

40

50

- y 座標によって表されているため、組織化測位部 15 A は、距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ (「演算距離」という) を容易に演算できる。

【0193】

そして、組織化測位部 15 A は、演算した演算距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を演算距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ と比較する。

【0194】

組織化測位部 15 A は、演算距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ が演算距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ よりも長いとき、演算距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ と、距離測定部 14 A から取得した無線装置 81 と無線装置 82 との間の測定距離 $R1 (= d_{iy_1}(t))$ と、受信部 12 から受けた無線装置 82 と無線装置 91 との間の測定距離 $R7 (= d_{y_1x_1}(t))$ とに基づいて、演算距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を測定距離 $d_{iy_1}(t) + d_{y_1x_1}(t)$ に近づけるための修正ベクトル $V_i^{(2)}(t)$ を次式により演算する。

10

【0195】

【数10】

$$V_i^{(2)}(t) = \frac{d_{iy}(t) + d_{yx}(t) - |w_i(t) - w_x(t)|}{|w_i(t) - w_x(t)|} (w_i(t) - w_x(t)) \quad \dots(10)$$

20

【0196】

なお、 $w_x(t) = w_x(0), w_x(1), w_x(2), \dots$ であり、 t は、無線装置 91 ~ 96 における仮の自己位置 $w_x(t)$ の修正回数を示す。また、 x は、無線装置 91 ~ 96 に対応して $x_1 \sim x_6$ である。

【0197】

一方、組織化測位部 15 A は、演算距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ が演算距離 $|w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ 以下であるとき、ベクトル $w_{y_1}(t) - w_i(t)$ と、ベクトル $w_{y_1}(t) - w_{x_1}(t)$ とを演算し、その演算したベクトル $(w_{y_1}(t) - w_i(t))$ 、 $(w_{y_1}(t) - w_{x_1}(t))$ と、測定距離 $R1 (= d_{iy_1}(t))$ および測定距離 $R7 (= d_{y_1x_1}(t))$ とに基づいて、演算距離 $|w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を測定距離 $d_{iy_1}(t) + d_{y_1x_1}(t)$ に近づけるための修正ベクトル $V_i^{(2)}(t)$ を次式により演算する。

30

【0198】

【数11】

$$V_i^{(2)}(t) = w_y(t) - w_i(t) + \frac{d_{iy}(t)}{d_{yx}(t)} (w_y(t) - w_x(t)) \quad \dots(11)$$

40

【0199】

そして、組織化測位部 15 A は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数 t がしきい値以下であるとき、式(9)によって示される修正ベクトル $V_i^{(1)}(t)$ と、式(10)または式(11)によって表される修正ベクトル $V_i^{(2)}(t)$ とを用いて次式によって無線装置 81 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0200】

【数 1 2】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot \left(V_i^{\{1\}}(t) + \sum_x V_x^{\{2\}}(t) \right) \quad \dots(12)$$

【0 2 0 1】

また、組織化測位部 1 5 A は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数 t がしきい値よりも大きいとき、式 (9) によって示される修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ を用いて次式によって無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。 10

【0 2 0 2】

【数 1 3】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot V_i^{\{1\}}(t) \quad \dots(13)$$

【0 2 0 3】

なお、式 (1 2) および式 (1 3) において、 $\alpha_i(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における学習関数であり、次式によって表される。 20

【0 2 0 4】

【数 1 4】

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} -1 & \theta \leq E_i(t) - E_i(t-1) \\ \eta \cdot |\alpha_i(t-1)| & otherwise \end{cases} \quad \dots(14)$$

【0 2 0 5】

式 (1 4) において、 $E_i(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 1 と、無線装置 8 1 の近傍に存在する無線装置 8 2 ~ 8 7 との距離平均誤差量であり、 $E_i(t-1)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の $t-1$ 回目の修正時における無線装置 8 1 と、無線装置 8 1 の近傍に存在する無線装置 8 2 ~ 8 7 との距離平均誤差量である。 30

【0 2 0 6】

組織化測位部 1 5 A は、距離平均誤差量 $E_i(t)$ を次式により演算する。

【0 2 0 7】

【数 1 5】

$$E_i(t) = \sqrt{\frac{1}{N_i(t)} \sum_{y=1}^{N_i(t)} (d_{iy}(t) - |w_i(t) - w_y(t)|)^2} \quad \dots(15)$$

40

【0 2 0 8】

式 (1 5) において、 $N_i(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時において無線装置 8 1 の近傍に存在する無線装置の総数を表し、具体的には、無線装置 8 2 ~ 8 7 の個数である 6 個である。

【0 2 0 9】

また、 $d_{iy}(t)$ (y は、 $y 1 \sim y 6$ のいずれかを表す) は、無線装置 8 1 と無線装置 8 2 ~ 8 7 のいずれかとの間の測定距離を表す。より具体的には、 $d_{iy 1}(t)$ は、 50

無線装置 8 1 と無線装置 8 2 との間の測定距離を表し、 $d_{iy_2}(t)$ は、無線装置 8 1 と無線装置 8 3 との間の測定距離を表し、 $d_{iy_3}(t)$ は、無線装置 8 1 と無線装置 8 4 との間の測定距離を表し、 $d_{iy_4}(t)$ は、無線装置 8 1 と無線装置 8 5 との間の測定距離を表し、 $d_{iy_5}(t)$ は、無線装置 8 1 と無線装置 8 6 との間の測定距離を表し、 $d_{iy_6}(t)$ は、無線装置 8 1 と無線装置 8 7 との間の測定距離を表す。従って、 $d_{iy}(t) = d_{iy_1}(t) \sim d_{iy_6}(t)$ は、それぞれ、 $R_1 \sim R_6$ に等しい。

【0210】

更に、 $w_y(t)$ (y は、 $y_1 \sim y_6$ のいずれかを表す) は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時において無線装置 1 から 1 ホップ内に存在する無線装置の仮の自己位置を表し、より具体的には、 $w_{y_1}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 2 の仮の自己位置を表し、 $w_{y_2}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 3 の仮の自己位置を表し、 $w_{y_3}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 4 の仮の自己位置を表し、 $w_{y_4}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 5 の仮の自己位置を表し、 $w_{y_5}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 6 の仮の自己位置を表し、 $w_{y_6}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の t 回目の修正時における無線装置 8 7 の仮の自己位置を表す。従って、 $w_y(t) = w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ は、それぞれ、無線装置 8 2 ~ 8 7 から無線装置 8 1 へブロードキャストされる仮の自己位置である。

10

【0211】

20

そうすると、組織化測位部 15 A は、無線装置の総数 $N_i(t)$ 、測定距離 $d_{iy_1}(t) \sim d_{iy_6}(t)$ および仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を取得でき、その取得した無線装置の総数 $N_i(t)$ 、測定距離 $d_{iy_1}(t) \sim d_{iy_6}(t)$ および仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を式 (15) に代入して距離平均誤差 $E_i(t)$ を演算する。

【0212】

そして、組織化測位部 15 A は、その演算した距離平均誤差 $E_i(t)$ と、仮の自己位置 $w_i(t)$ の $t - 1$ 回目の修正時における距離平均誤差 $E_i(t - 1)$ との差を演算することにより、距離平均誤差の変化量 $E_i(t) = E_i(t) - E_i(t - 1)$ を演算する。

30

【0213】

組織化測位部 15 A は、距離平均誤差の変化量 $E_i(t)$ を演算すると、変化量 $E_i(t)$ がしきい値 以上であるか否かを判定し、その判定結果に応じて異なる学習関数 $f_i(t)$ を式 (12) または式 (13) に代入して無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0214】

即ち、変化量 $E_i(t) = E_i(t) - E_i(t - 1)$ がしきい値 以上であるとき ($E_i(t) \geq \text{しきい値}$)、組織化測位部 15 A は、 $f_i(t) = -1$ を式 (12) または式 (13) に代入して無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

40

【0215】

また、変化量 $E_i(t) = E_i(t) - E_i(t - 1)$ がしきい値 よりも小さいとき ($E_i(t) < \text{しきい値}$)、組織化測位部 15 A は、 $f_i(t) = \cdot |f_i(t - 1)|$ を式 (12) または式 (13) に代入して無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0216】

上記の式 (9) を用いた無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正概念は、図 3 に示す修正概念と同じである。

【0217】

上記の式 (10) を用いた無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を概念的に説明する。図 14 は、式 (10) を用いた無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正概

50

念を説明するための図である。

【0218】

無線装置81は、仮の自己位置 $w_i(t)$ に存在し、無線装置82は、仮の自己位置 $w_y(t)$ に存在し、無線装置91は、仮の自己位置 $w_x(t)$ に存在している。

【0219】

そして、仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_x(t)$ に基づいて演算された演算距離 $|w_i(t) - w_x(t)|$ が、実測された無線装置81、82間の測定距離 $d_{iy}(t)$ (=R1)と実測された無線装置82、91間の測定距離 $d_{yx}(t)$ (=R7)との和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ と異なるとき、測定距離 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ と演算距離 $|w_i(t) - w_x(t)|$ との差を修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ として求め、その求めた修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ に従って無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

10

【0220】

これによって、無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ と、無線装置91の仮の自己位置 $w_x(t)$ との間の距離は、測定距離 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ になる。

【0221】

従って、式(9)または式(10)によって、仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正することは、演算距離 $|w_i(t) - w_y(t)|$ または $|w_i(t) - w_x(t)|$ が測定距離 $d_{iy}(t)$ または $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ に近づくように仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正することに相当する。

20

【0222】

式(10)においては、無線装置81と無線装置82との間の測定距離 $d_{iy}(t)$ と、無線装置82と無線装置91との間の測定距離 $d_{yx}(t)$ との和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ を無線装置81と無線装置91との間の測定距離として用いる。

【0223】

これは、無線装置81から2ホップ内に存在する無線装置91の仮の自己位置 $w_x(t)$ を用いて無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する場合、無線装置81と無線装置91との間の距離を強調して仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するためである。

【0224】

即ち、無線装置82は、無線装置81から1ホップ内に存在し、無線装置91は、無線装置81に対して無線装置82よりも遠くに存在するというネットワークのトポロジー(即ち、無線ネットワークシステム10Aにおける無線装置81~87、91~96の配置形態)を反映して無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するために、和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ を無線装置81と無線装置91との間の測定距離として用いることにしたものである。

30

【0225】

そして、ネットワークのトポロジーを反映した無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ への修正を強調するために、式(12)を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

【0226】

即ち、式(12)は、無線装置91~96の仮の自己位置 $w_x(t) = w_{x1}(t) \sim w_{x6}(t)$ を用いて式(10)によって演算された6個の修正ベクトル $V_{x1}^{\{2\}}(t) \sim V_{x6}^{\{2\}}(t)$ の和 $V_{x1}^{\{2\}}(t) + V_{x2}^{\{2\}}(t) + V_{x3}^{\{2\}}(t) + V_{x4}^{\{2\}}(t) + V_{x5}^{\{2\}}(t) + V_{x6}^{\{2\}}(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

40

【0227】

次に、上記の式(11)を用いた無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を概念的に説明する。図15は、式(11)を用いた無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正概念を説明するための図である。

【0228】

50

無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置 9 1 の仮の自己位置 $w_x(t)$ とに基づいて演算された演算距離 $|w_i(t) - w_x(t)|$ が無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置 8 2 の仮の自己位置 $w_y(t)$ とに基づいて演算された演算距離 $|w_i(t) - w_y(t)|$ 以下であるとき、即ち、無線装置 9 1 が無線装置 8 2 よりも無線装置 8 1 に近い位置に存在するとき、和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ を無線装置 8 1 と無線装置 9 1 との間の測定距離とすると、無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ が仮の自己位置 $w'_i(t+1)$ へ修正される。

【0229】

そうすると、無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w'_i(t+1)$ は、無線装置 8 2 の仮の自己位置 $w_y(t)$ と無線装置 9 1 の仮の自己位置 $w_x(t)$ とを結ぶ線分の延長線の方向と異なる方向へ修正されるため、無線装置 8 1 と無線装置 9 1 との間の測定距離として和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ を用いることが困難になる。

10

【0230】

そこで、無線装置 8 1 と無線装置 9 1 との間の測定距離として和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ を用いることができるようにするため、即ち、式(10)によって修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ を演算できるようにするために、演算距離 $|w_i(t) - w_x(t)|$ が演算距離 $|w_i(t) - w_y(t)|$ 以下であるとき、式(11)によって修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ を演算することにしたものである。

【0231】

式(11)によって演算される修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ は、無線装置 8 1 から無線装置 8 2 へ向かうベクトル(= $w_y(t) - w_i(t)$)に、無線装置 9 1 から無線装置 8 2 へ向かうベクトル(= $w_y(t) - w_x(t)$)の $d_{iy}(t) / d_{yx}(t)$ 倍を加算したものである。

20

【0232】

つまり、無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を無線装置 9 1 から無線装置 8 2 へ向かうベクトル(= $w_y(t) - w_x(t)$)の延長線上の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正するように、修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ を演算することにしたものである。

【0233】

これによって、無線装置 8 1 と無線装置 9 1 との間の測定距離として和 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ を用いて無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正できるようになる。

30

【0234】

なお、ベクトル(= $w_y(t) - w_x(t)$)を $d_{iy}(t) / d_{yx}(t)$ 倍するのは、無線装置 8 1 の修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ と無線装置 9 1 の仮の自己位置 $w_x(t)$ とに基づいて演算された演算距離 $|w_i(t+1) - w_x(t)|$ が無線装置 8 1, 9 1 間の測定距離 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ に一致するようにするためである。

【0235】

ベクトル $(w_y(t) - w_x(t)) / d_{yx}(t)$ は、無線装置 9 1 から無線装置 8 2 へ向かう単位ベクトルになり、その単位ベクトルを $d_{iy}(t)$ 倍することによって、無線装置 9 1 から無線装置 8 2 へ向かう方向を有し、長さが無線装置 8 1, 8 2 間の測定距離に等しいベクトル $(w_y(t) - w_x(t)) d_{iy}(t) / d_{yx}(t)$ が得られるからである。

40

【0236】

更に、式(14)によって学習関数 $i(t)$ を演算するようにしたのは、図4において説明したように、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ が局所解に至った場合に、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ が局所解から抜け出せるようにするためである。

【0237】

実施の形態2においては、無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する場合、修正回数 t がしきい値 に達するまで、式(12)によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正し、修正回数 t がしきい値 に達すると、式(13)によ

50

って仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

【0238】

これは、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正の初期段階（修正回数 t しきい値）においては、無線ネットワークシステム 10A のトポロジを反映して無線装置 81 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正し、その後、無線装置 81 の近傍（1 ホップ内）に存在する無線装置 82 ~ 87 の仮の自己位置 $w_y(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するようにするためである。

【0239】

つまり、無線ネットワークシステム 10A における無線装置の配置形態を特徴付ける無線ネットワークシステム 10A のトポロジを反映して無線装置 81 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を概略的に修正し、その後、無線装置 81 の近傍（1 ホップ内）に存在する無線装置 82 ~ 87 の仮の自己位置 $w_y(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ が最適解に近くように仮の自己位置 $w_i(t)$ を局所的に修正するようにするためである。

【0240】

仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_y(t)$, $w_x(t)$ は、それぞれ、無線装置 81 , 82 , 91 の自己位置測位部 13 において生成されるものであり、自己位置測位部 13 が GPS 等の位置測定機能を有しないときは、ランダムに生成されるものであるので、式 (12) または式 (13) によって修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ は誤差を含んでおり、演算距離 $|w_i(t+1) - w_x(t)|$ が測定距離 $d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ (= $R1 + R7$) に即座に一致し、演算距離 $|w_i(t+1) - w_y(t)|$ が測定距離 $d_{iy}(t)$ (= $R1$) に即座に一致するものではない。

【0241】

従って、無線装置 81 の組織化測位部 15A は、式 (12) または式 (13) による仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を無線装置 81 から 2 ホップ内に存在する無線装置 91 ~ 96 の仮の自己位置 $w_x(t)$ ($x = x1 \sim x6$) と無線装置 81 から 1 ホップ内に存在する無線装置 82 ~ 87 の仮の自己位置 $w_y(t)$ ($y = y1 \sim y6$) とを用いて所定回数実行し、所定回数実行後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 81 の位置と推定する。

【0242】

無線装置 81 の組織化測位部 15A は、無線装置 82 ~ 87 から受信した仮の自己位置 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$, $w_{x1}(t) \sim w_{x6}(t)$ および測定距離 $R7 \sim R12$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を 6 回修正したとき、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 82 ~ 87 へブロードキャストする。

【0243】

また、無線装置 81 の組織化測位部 15A は、好ましくは、無線装置 82 ~ 87 の一部の仮の自己位置 ($w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ の一部) , ($w_{x1}(t) \sim w_{x6}(t)$ の一部) および測定距離 ($R7 \sim R12$ の一部) を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を所定回数修正したとき、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 82 ~ 87 へブロードキャストする。

【0244】

例えば、無線装置 81 の組織化測位部 15A は、無線装置 82 , 85 , 87 からの仮の自己位置 $w_{y1}(t)$, $w_{y4}(t)$, $w_{y6}(t)$; $w_{x1}(t)$, $w_{x4}(t)$, $w_{x6}(t)$ および測定距離 $R7$, $R10$, $R12$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を 3 回修正したとき、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 82 ~ 87 へブロードキャストする。

【0245】

そして、仮の自己位置 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$, $w_{x1}(t) \sim w_{x6}(t)$ および測定距離 $R7 \sim R12$ を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の所定回数の修正を 1 セットとすると、無線装置 81 の組織化測位部 15A は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正を所定セット数だけ実行したときに、その修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 81 の

10

20

30

40

50

位置と推定する。

【0246】

無線装置82～87は、上述した無線装置81における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正方法と同じ修正方法に従って、仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を順次修正し、自己の位置を推定する。そして、無線装置82～87は、その修正後の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を無線装置81, 91～96へブロードキャストする。

【0247】

更に、無線装置91～96は、上述した無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正方法と同じ修正方法に従って、仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を順次修正し、自己の位置を推定する。そして、無線装置91～96は、その修正後の仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を無線装置82～87へブロードキャストする。

【0248】

なお、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置81から受信した無線装置82～87は、その受信した無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を用いて無線装置81における方法と同じ方法によって無線装置82～87の各々の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を修正し、その修正後の仮の自己位置 $w_{y_1}(t+1) \sim w_{y_6}(t+1)$ をブロードキャストする。そして、無線装置81は、無線装置82～87からの仮の自己位置 $w_{y_1}(t+1) \sim w_{y_6}(t+1)$ を受信し、その受信した仮の自己位置 $w_{y_1}(t+1) \sim w_{y_6}(t+1)$ を用いて、上述した方法によって、仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正する。

【0249】

図16および図17は、それぞれ、無線装置の位置を推定する動作を説明するための実施の形態2における第1および第2のフローチャートである。なお、図16および図17においては、無線装置81が無線装置82～87のうちの一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ (d は2以上の整数)から仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$, $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ ($= R7 \sim R12$ の一部)を受信して仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する場合について説明する。

【0250】

一連の動作が開始されると、無線装置 i ($=$ 無線装置81)の組織化測位部15Aは、無線装置 i ($=$ 無線装置81)における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数 t を $t=0$ に設定し、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正時間 T を $T=0$ に設定する(ステップS31)。なお、無線装置 i ($=$ 無線装置81)の組織化測位部15Aは、タイマーを内蔵しており、タイマーによって修正時間 T を計測する。そして、無線装置 i ($=$ 無線装置81)の組織化測位部15Aは、無線装置81における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正セット数 S_t を $S_t=0$ に設定する(ステップS32)。

【0251】

その後、無線装置 i ($=$ 無線装置81)の組織化測位部15Aは、自己位置測位部13から無線装置 i ($=$ 無線装置81)の仮の自己位置 $w_i(0)$ を取得し(ステップS33)、その取得した仮の自己位置 $w_i(0)$ をブロードキャストするように送信部16を制御し、送信部16は、組織化測位部15Aから受けた仮の自己位置 $w_i(0)$ を無線装置82～87へブロードキャストする(ステップS34)。

【0252】

無線装置 i ($=$ 無線装置81)の受信部12は、1ホップ内に存在する無線装置 y ($=$ 無線装置82～87)のうちの一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$ 、2ホップ内に存在する無線装置 x ($=$ 無線装置91～96)の一部の無線装置 $x_1 \sim x_d$ の仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ を無線装置82～87の一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から受信し(ステップS35)、その受信した仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$, $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ を組織化測位部15Aへ出力する。

【0253】

その後、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、 $c(1 \leq c \leq d) = 1$ を設定し (ステップ S36)、仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$ のうちの 1 つの仮の自己位置 $w_{y_c}(t)$ ($c = 1$) と、仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ のうちの 1 つの仮の自己位置 $w_{x_c}(t)$ ($c = 1$) と、測定距離 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ のうちの 1 つの測定距離 $d_{y_{x_c}}(t)$ ($c = 1$) とを選択する。

【0254】

仮の自己位置 $w_{x_c}(t)$ は、仮の自己位置 $w_{y_c}(t)$ を有する無線装置 y_c から 1 ホップ内に存在する無線装置 x_c の仮の自己位置であり、測定距離 $d_{y_{x_c}}(t)$ は、無線装置 y_c と無線装置 x_c との間の測定距離である。

10

【0255】

例えば、無線装置 y_c として無線装置 82 が選択された場合、仮の自己位置 $w_{y_c}(t)$ は、無線装置 82 の仮の自己位置 $w_{y_1}(t)$ になり、仮の自己位置 $w_{x_c}(t)$ は、無線装置 91 の仮の自己位置 $w_{x_1}(t)$ になり、測定距離 $d_{y_{x_c}}(t)$ は、無線装置 82, 91 間の測定距離 R7 になる。

【0256】

そして、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、その選択した 1 つの仮の自己位置 $w_{y_c}(t)$ を有する無線装置 y_c と無線装置 i との間の測定距離 $d_{i_{y_c}}(t)$ を距離測定部 14A から取得する (ステップ S37)。

【0257】

その後、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_{y_c}(t)$ に基づいて演算距離 $d_{i_{y_s}}(t) = |w_i(t) - w_{y_c}(t)|$ を演算するとともに、仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_{x_c}(t)$ に基づいて演算距離 $d_{i_{x_s}}(t) = |w_i(t) - w_{x_c}(t)|$ を演算する (ステップ S38)。

20

【0258】

そうすると、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、演算距離 $d_{i_{x_s}}(t)$ が演算距離 $d_{i_{y_s}}(t)$ 以下であるか否かを判定し (ステップ S39)、演算距離 $d_{i_{x_s}}(t)$ が演算距離 $d_{i_{y_s}}(t)$ 以下でないとき、仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_{x_c}(t)$ および測定距離 $d_{i_{y_c}}(t)$, $d_{y_{x_c}}(t)$ に基づいて、式 (10) を用いて、修正ベクトル $V_{x_c}^{\{2\}}(t)$ を演算する (ステップ S40)。

30

【0259】

一方、ステップ S39 において、演算距離 $d_{i_{x_s}}(t)$ が演算距離 $d_{i_{y_s}}(t)$ 以下であると判定されたとき、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_{x_c}(t)$ および測定距離 $d_{i_{y_c}}(t)$, $d_{y_{x_c}}(t)$ に基づいて、式 (11) を用いて、修正ベクトル $V_{x_c}^{\{2\}}(t)$ を演算する (ステップ S41)。

【0260】

そして、ステップ S40 またはステップ S41 の後、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、 $c = d$ であるか否かを判定し (ステップ S42)、 $c = d$ でないとき、 $c = c + 1$ を設定する (ステップ S43)。

40

【0261】

その後、一連の動作は、ステップ S37 へ移行し、ステップ S42 において、 $c = d$ であると判定されるまで、上述したステップ S37 ~ ステップ S43 が繰り返し実行される。

【0262】

即ち、無線装置 i (= 無線装置 81) の周囲に存在する無線装置 82 ~ 87 の一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から受信した仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ の全てを用いて修正ベクトル $V_{x_c}^{\{2\}}(t)$ を演算するまで、ステップ S37 ~ ステップ S43 が繰り返し実行される。

【0263】

50

そして、ステップ S 4 2 において、 $c = d$ であると判定されると、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、無線装置 $y_1 \sim y_d$ の中から 1 つの無線装置 y_r を選択し、その選択した無線装置 y_r と無線装置 i との間の測定距離 $d_{i y_r}(t)$ を距離測定部 1 4 A から取得する (ステップ S 4 4)。

【0 2 6 4】

そして、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{y_r}(t)$ および測定距離 $d_{i y_r}(t)$ に基づいて、式 (9) に示す修正ベクトル $V_{i \{1\}}(t)$ を演算する (ステップ S 4 5)。

【0 2 6 5】

引き続いて、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数 t がしきい値 以下であるか否かを判定し (ステップ S 4 6)、修正回数 t がしきい値 以下であるとき、式 (12) によって、仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する (ステップ S 4 7)。この場合、図 1 6 に示すステップ S 3 7 ~ ステップ S 4 3 のループで演算された c 個の $V_{x_c}^{(2)}(t)$ の和が式 (12) により演算され、仮の自己位置 $w_i(t)$ が仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正される。

【0 2 6 6】

一方、ステップ S 4 6 において、修正回数 t がしきい値 よりも大きいと判定されたとき、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、式 (13) によって、仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する (ステップ S 4 8)。

【0 2 6 7】

なお、ステップ S 4 7、S 4 8 の修正においては、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、式 (15) によって距離平均誤差量 $E_i(t)$ を演算し、更に、距離平均誤差量 $E_i(t)$ の変化量 $E_i(t) = E_i(t) - E_i(t-1)$ を演算する。そして、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、変化量 $E_i(t)$ がしきい値 以上であるとき、学習関数 $f_i(t) = -1$ を式 (12) または式 (13) へ代入して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正し、変化量 $E_i(t)$ がしきい値 よりも小さいとき、学習関数 $f_i(t) = \cdot |f_i(t-1)|$ を式 (12) または式 (13) へ代入して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

【0 2 6 8】

また、ステップ S 4 6 において、修正回数 t がしきい値 に達したと判定され、ステップ S 4 8 において、式 (13) に従って仮の自己位置 $w_i(t)$ が修正される場合、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、ステップ S 4 7 において、式 (12) に従って修正した後の仮の自己位置 $w_i(t)$ を式 (13) を用いて仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

【0 2 6 9】

そして、ステップ S 4 7 またはステップ S 4 8 の後、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、 $T = T_c$ であるか否かを判定し (ステップ S 4 9)、 $T = T_c$ でないとき、一連の動作は、図 1 6 のステップ S 3 5 へ移行する。そして、ステップ S 4 9 において、 $T = T_c$ であると判定されるまで、上述したステップ S 3 5 ~ ステップ S 4 9 が繰り返し実行される。

【0 2 7 0】

即ち、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正時間 T が時間 T_c に達するまで、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の周囲に存在する無線装置 8 2 ~ 8 7 のうちの一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から受信した仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$ 、 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{y x_1}(t) \sim d_{y x_d}(t)$ の全てを用いて、修正ベクトル $V_{x_c}^{(2)}(t)$ を演算し、その演算した修正ベクトル $V_{x_c}^{(2)}(t)$ と、無線装置 $y_1 \sim y_d$ から選択した 1 つの無線装置 y_r の仮の自己位置 $w_{y_r}(t)$ とを用いて無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ が修正される。

【0271】

なお、 T_c は、定数であり、任意の時間からなる。

【0272】

そして、ステップS49において、 $T = T_c$ であると判定されると、無線装置 i (=無線装置81)の組織化測位部15Aは、修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ をブロードキャストするように送信部16を制御し、送信部16は、修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置82~87へブロードキャストする(ステップS50)。

【0273】

これによって、無線装置82~87は、修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置81から受信し、その受信した仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を用いて仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を修正できる。

10

【0274】

ステップS50の後、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15Aは、 $S_t = S_{t+1}$ を設定し(ステップS51)、 $S_t = N$ であるか否かを判定する(ステップS52)。

【0275】

そして、 $S_t = N$ でないと判定されたとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15Aは、修正時間 T を $T = 0$ に設定する(ステップS53)。つまり、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15Aは、修正時間 T をリセットする。

【0276】

その後、一連の動作は、ステップS35へ移行し、ステップS52において、修正セット数 $S_t = N$ であると判定されるまで、上述したステップS35~ステップS53が繰り返し実行される。

20

【0277】

そして、ステップS52において、 $S_t = N$ であると判定されたとき、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15Aは、最終的に修正された自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置81の位置と推定する(ステップS54)。そして、一連の動作が終了する。

【0278】

なお、図16および図17に示すフローチャートにおいては、ステップS49は、削除されてもよい。この場合、無線装置 i (=無線装置1)の組織化測位部15Aは、ステップS47またはステップS48によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するごとに、その修正した仮の自己位置 $w_i(t)$ をブロードキャストする。

30

【0279】

また、無線装置82~87, 91~96の各々も、図16および図17に示すフローチャートに従って自己の位置を推定する。

【0280】

これによって、無線ネットワークシステム10Aにおける無線装置81~87, 91~96の位置が自律的に推定される。この場合、無線装置81~87, 91~96のうち、少なくとも1個の無線装置が既知である絶対位置を仮の自己位置とする場合、無線装置81~87, 91~96の位置は絶対位置として決定される。

40

【0281】

また、無線装置81~87, 91~96の全てが既知である絶対位置を有しない場合、無線装置81~87, 91~96の位置は相対的に決定される。

【0282】

このように、いずれにしても、無線装置81~87, 91~96の各々が図16および図17に示すフローチャートに従って自己の位置を自律的に推定することによって無線ネットワークシステム10Aにおいて無線装置81~87, 91~96の位置を自律的に決定できる。

【0283】

図16および図17に示すフローチャートにおいては、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正

50

回数 t がしきい値 以下であるとき、無線装置 i (=無線装置 81) から 2 ホップ内に存在する無線装置 91 ~ 96 のうちの一部の無線装置 $x_1 \sim x_d$ の仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する (ステップ S46, S47 参照)。

【0284】

ステップ S47 における仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正においては、無線装置 i (=無線装置 81) から 2 ホップの位置に存在する無線装置 $x_1 \sim x_d$ (無線装置 91 ~ 96 の一部) の仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ の全てを用いて演算された修正ベクトル $V_{x_1}^{\{2\}}(t) \sim V_{x_d}^{\{2\}}(t)$ の和 $V_{x_1}^{\{2\}}(t) + V_{x_2}^{\{2\}}(t) + \dots + V_{x_d}^{\{2\}}(t)$ を使用して仮の自己位置 $w_i(t)$ を自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

10

【0285】

従って、仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正回数 t がしきい値 以下である初期段階においては、無線ネットワークシステム 10A のトポロジーを反映して仮の自己位置 $w_i(t)$ の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ への修正が行なわれる。

【0286】

そして、修正回数 t がしきい値 に達すると、無線装置 i (=無線装置 81) から 1 ホップの位置に存在する無線装置 y_r (無線装置 82 ~ 87 のうちの 1 個の無線装置) の仮の自己位置 $w_{y_r}(t)$ を用いて修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ によって仮の自己位置 $w_i(t)$ の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ への修正が行なわれる (ステップ S46, S48 参照)。

20

【0287】

即ち、修正回数 t がしきい値 に達すると、仮の自己位置 $w_i(t)$ が最適解に近づくように仮の自己位置 $w_i(t)$ が局所的に修正される。

【0288】

このように、実施の形態 2 においては、初期段階においては、無線装置 i (=無線装置 81) の仮の自己位置 $w_i(t)$ を無線ネットワークシステム 10A のトポロジーを反映して大局的に修正し、修正回数 t がしきい値 に達すると、仮の自己位置 $w_i(t)$ を局所的に修正する。

【0289】

これによって、既知である絶対位置を有する無線装置を増加させなくても、各無線装置の位置を推定する精度を向上できる。

30

【0290】

また、図 16 および図 17 に示すフローチャートにおいては、無線装置 i (=無線装置 81) は、自己から 1 ホップ内に存在する無線装置 82 ~ 87 の全てから仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ 等を受信してから仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するのではなく、無線装置 82 ~ 87 の一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$ 等を受信すると仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する (ステップ S35 ~ ステップ S48 参照)。

【0291】

そして、一連の動作がステップ S53 からステップ S35 へ戻り、ステップ S37 ~ ステップ S43 のループが 2 回目以降に実行される場合、無線装置 i (=無線装置 81) は、無線装置 82 ~ 87 のうち、各回毎に同一または異なる一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$, $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ を受信して仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

40

【0292】

これによって、後述するように、各無線装置の位置を推定する精度を向上できる。

【0293】

なお、図 16 および図 17 に示すフローチャートにおいては、無線装置 i (=無線装置 81) は、自己から 1 ホップ内に存在する無線装置 82 ~ 87 の全てから仮の自己位置 w

50

$w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ 等を受信してから仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するようによい。

【0294】

この場合、図16および図17に示すフローチャートのステップS35, S42において、 $c = v (= 6)$ と設定すればよい。

【0295】

以下、図16および図17に示すフローチャートに従って無線装置81~87, 91~96の位置を推定する場合のシミュレーション結果について説明する。シミュレーションにおいては、図12に示す無線ネットワークシステム10Aが配置される空間として1.0m x 1.0mの平面を定義し、この空間に図12に示す無線装置81~87, 91~97をランダムに配置したネットワークポロジを定義する。

10

【0296】

また、距離測定部14Aによって測定される無線装置間の距離は、エラーを含むが、このエラーは、正規分布に従うものとする。

【0297】

更に、無線装置81が修正した仮の自己位置を近傍の無線装置82~87へ配信する間隔は、無線装置82~87の全てと通信して仮の自己位置を修正した度毎とする。そして、これを1サイクルとして、各無線装置81~87ごとに300サイクルの仮の自己位置の修正を行なった。

【0298】

20

更に、実施の形態2による位置推定方法の比較評価対象として、距離により位置推定を行なう三辺測量を用いた。図18および図19は、それぞれ、三辺測量における無線装置の第1および第2の配置図である。

【0299】

図18および図19において、碁盤目状の交点に配置された黒丸は、アンカーノード(絶対位置が既知である無線装置)を示し、それ以外の黒丸は、無線装置を示す。

【0300】

従って、図18に示す配置形態においては、各無線装置は、3個のアンカーノードと無線通信が可能であり、図19に示す配置形態においては、各無線装置は、4個のアンカーノードと無線通信が可能である。

30

【0301】

そして、図18に示す配置形態における三辺測量を「三辺測量1」とし、図19に示す配置形態における三辺測量を「三辺測量2」とする。

【0302】

更に、シミュレーションの各調整パラメータは、表2に示す値を用いた。

【0303】

【表2】

繰り返し回数しきい値 γ	50
誤差しきい値 θ	0.01
減衰定数 η	0.99

40

【0304】

なお、位置推定精度の評価関数は、実施の形態1と同じように、式(8)によって定義された。

【0305】

図20は、無線装置の数による位置推定誤差の変化を示す図である。図20において、横軸は、無線ネットワークシステム10Aにおける無線装置の数を表し、縦軸は、式(8)によって定義される位置推定誤差の平均値を表す。

50

【 0 3 0 6 】

また、白三角は、三辺測量 1 を用いた結果を示し、白四角は、三辺測量 2 を用いた結果を示し、黒丸は、実施の形態 2 による結果を示す。

【 0 3 0 7 】

なお、図 2 0 に示すシミュレーションにおいては、アンカーノード数を 3 個とし、通信可能距離を 0 . 5 m とし、無線装置間の距離の誤差偏差を 0 . 0 1 とした。また、三辺測量 1 においては、アンカーノード数が 1 4 個であり、三辺測量 2 においては、アンカーノード数が 1 7 個である。更に、無線装置の数毎に各無線装置をランダムに配置した 5 0 通りのネットワークトポロジーに関してシミュレーションを実施した。

【 0 3 0 8 】

無線装置の数が少ない場合、実施の形態 2 による位置推定方法は、位置推定の精度が三辺測量 1 , 2 に比べ低い。これは、位置推定を行なっている無線装置の近傍に存在する無線装置の数が少なく、位置推定を行なっている無線装置から 2 ホップ内に存在する無線装置の仮の自己位置を反映した位置推定が不十分であり、正しいトポロジーを再現することができないためである。

【 0 3 0 9 】

しかし、実施の形態 2 による位置推定方法は、無線装置が増加するに伴い、精度が急速に向上する。無線ネットワークシステム 1 0 A における無線装置の数が 2 0 個を超えると（平均近傍ノード数： 1 0 . 4 個）、実施の形態 2 による位置推定方法は、三辺測量 1 よりも高い精度を示す。

【 0 3 1 0 】

実施の形態 2 による位置推定方法は、無線装置の数が増加しても、三辺測量 2 よりも低い精度を示すが、実施の形態 2 による位置推定方法においては、3 個のアンカーノードが用いられており、三辺測量 1 , 2 におけるアンカーノード数（ 1 4 個、 1 7 個）よりも少ない。

【 0 3 1 1 】

即ち、実施の形態 2 による位置推定方法は、それぞれ、三辺測量 1 , 2 におけるアンカーノード数の約 2 1 % および約 1 8 % のアンカーノード数を用いて三辺測量 1 よりも高い精度を示し、三辺測量 2 の精度に近い精度を示す。

【 0 3 1 2 】

図 2 1 は、無線装置の数による位置推定誤差の変化を示す他の図である。図 2 1 において、横軸は、無線ネットワークシステム 1 0 A における無線装置の数を表し、縦軸は、式（ 8 ）によって定義される位置推定誤差の平均値を表す。

【 0 3 1 3 】

図 2 1 に示すシミュレーションは、図 2 0 に示すシミュレーションにおいて、距離誤差偏差を 0 . 0 1 から 0 . 0 5 へ変えたものであり、その他は、図 2 0 に示すシミュレーションと同じである。

【 0 3 1 4 】

無線ネットワークシステム 1 0 A における無線装置の数が 1 0 個以上である場合、実施の形態 2 による位置推定方法は、三辺測量 1 , 2 に比べ高い精度を示す。

【 0 3 1 5 】

三辺測量 1 , 2 は、距離誤差偏差が 0 . 0 5 である場合、約 2 0 % 程度が測位不能または非常に大きな誤差を算出する。一方、実施の形態 2 による位置推定方法は、測位不能になることはなく、また、無線装置の数が十分である場合（ 1 0 個以上、平均近傍ノード数： 6 個以上）、距離誤差偏差が 0 . 0 5 （約 ± 0 . 1 5 の誤差）である場合においても、位置推定誤差の平均値が約 0 . 0 3 であり、位置推定が可能である。

【 0 3 1 6 】

従って、実施の形態 2 による位置推定方法は、無線装置の数が 1 0 個以上である無線ネットワークシステム 1 0 A において、三辺測量 1 , 2 よりも少量のアンカーノード数（三辺測量 1 の約 2 1 %、三辺測量 2 の約 1 8 %）で三辺測量 1 , 2 と同等またはそれ以上の

10

20

30

40

50

精度で位置推定が可能である。

【 0 3 1 7 】

図 2 2 は、距離誤差偏差による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。図 2 2 において、横軸は、距離誤差偏差を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。

【 0 3 1 8 】

通信可能距離は、0.5 m であり、白三角は、無線装置の数が 20 個である三辺測量 1 を示し、白四角は、無線装置の数が 20 個である三辺測量 2 を示す。また、曲線 k 1 1 は、無線装置の数 / アンカーノード数がそれぞれ 20 個 / 3 個である実施の形態 2 による位置推定方法を示し、曲線 k 1 2 は、無線装置の数 / アンカーノード数がそれぞれ 50 個 / 3 個である実施の形態 2 による位置推定方法を示し、曲線 k 1 3 は、無線装置の数 / アンカーノード数がそれぞれ 50 個 / 6 個である実施の形態 2 による位置推定方法を示す。

10

【 0 3 1 9 】

実施の形態 2 による位置推定方法は、距離誤差偏差が大きくなっても、位置推定誤差の平均値の増加割合が三辺測量 1, 2 に比べ小さくなる。三辺測量 1, 2 では、距離誤差偏差が大きくなるに従って、測位不能となる無線装置の数が急増する。距離誤差偏差が 0.04 である場合、約 10% の無線装置が測位不能であり、距離誤差偏差が 0.07 である場合、約 50% の無線装置が測位不能であり、距離誤差偏差が 0.1 である場合、約 80% の無線装置が測位不能である。従って、距離誤差偏差が 0.07 以上である場合、三辺測量は殆ど機能しない結果となった。

【 0 3 2 0 】

一方、実施の形態 2 による位置推定方法では、測定に用いたいずれの距離誤差偏差においても、収束し、良好な精度を示す。

20

【 0 3 2 1 】

従って、実施の形態 2 による位置推定方法は、三辺測量 1, 2 が測位困難である大きなエラーを含む距離誤差偏差においても、少量のアンカーノード数で良好な精度の位置推定が可能である。

【 0 3 2 2 】

図 2 3 は、アンカーノード数による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。図 2 3 において、横軸は、アンカーノード数を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。

【 0 3 2 3 】

また、黒丸は、無線装置の数が 30 個である場合を示し、黒四角は、無線装置の数が 50 個である場合を示し、黒三角は、無線装置の数が 100 個である場合を示す。

30

【 0 3 2 4 】

なお、図 2 3 に示すシミュレーションにおいては、無線装置間の距離誤差偏差は、0.03 に設定され、通信可能距離は、0.25 m に設定された。

【 0 3 2 5 】

実施の形態 2 による位置推定方法は、無線装置の数がいずれの個数であっても、アンカーノード数の増加に伴って、位置推定誤差の平均値が小さくなる。

【 0 3 2 6 】

通信可能距離が 0.25 m である 1.0 m × 1.0 m の平面に三辺測量 1, 2 による無線装置を配置した場合、三辺測量 1 で 33 個のアンカーノードが必要であり、三辺測量 2 で 49 個のアンカーノードが必要である。そして、この場合の位置推定誤差の平均値を表 3 に示す。

40

【 0 3 2 7 】

【表 3】

	三辺測量 1	三辺測量 2
ノード数 30	0.0398	0.0345
ノード数 50	0.0402	0.0351
ノード数 100	0.0415	0.0362

通信可能距離：0.25

10

【0328】

図 2 3 と表 3 とを比較すると、実施の形態 2 による位置推定方法においては、三辺測量 1 の位置推定誤差の平均値よりも良好な位置推定が可能となるアンカーノード数は、無線装置の数が 30 個であるネットワークにおいて 10 個（三辺測量 1 の約 30%）であり、無線装置の数が 50 個であるネットワークにおいて 8 個（三辺測量 1 の約 24%）であり、無線装置の数が 100 個であるネットワークにおいて 7 個（三辺測量 1 の約 21%）である。

【0329】

また、実施の形態 2 による位置推定方法においては、三辺測量 2 の位置推定誤差の平均値よりも良好な位置推定が可能となるアンカーノード数は、無線装置の数が 30 個であるネットワークにおいて 12 個（三辺測量 2 の約 24%）であり、無線装置の数が 50 個であるネットワークにおいて 9 個（三辺測量 2 の約 18%）であり、無線装置の数が 100 個であるネットワークにおいて 7 個（三辺測量 2 の約 14%）である。

20

【0330】

従って、実施の形態 2 による位置推定方法は、三辺測量 1, 2 と比較して、少量のアンカーノード数で高精度な位置推定が可能である。また、無線装置の数が 30 個のネットワークおよび無線装置の数が 50 個のネットワークの平均近傍ノード数は、それぞれ、約 5 個および約 8 個である。

【0331】

このようなネットワークにおいても、実施の形態 2 による位置推定方法は、アンカーノード数を増やすことにより位置推定の精度が向上し、三辺測量 1, 2 よりも少ないアンカーノード数で三辺測量 1, 2 の精度を上回る。

30

【0332】

従って、実施の形態 2 による位置推定方法は、無線装置の数が少ないネットワークにおいても、少量のアンカーノードを増やすことで高精度な位置推定が可能となる。

【0333】

図 2 4 および図 2 5 は、それぞれ、仮の位置情報の配信回数および仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を減少させた場合における無線装置の数による位置推定誤差の平均値の変化を示す第 1 および第 2 の図である。

【0334】

図 2 4 および図 2 5 において、横軸は、無線装置の数を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。また、白三角は、配信回数を 1/5 に減少した場合を示し、白丸は、配信回数を 1/10 に減少した場合を示す。更に、黒丸は、近傍の無線装置の情報を 1/5 に減少した場合を示し、黒四角は、近傍の無線装置の情報を 1/10 に減少した場合を示し、黒三角は、近傍の無線装置の情報を“1 個”に減少した場合を示す。

40

【0335】

なお、図 2 4 に示すシミュレーションは、アンカーノード数を 3 個に設定し、通信可能距離を 0.5 m に設定し、距離誤差偏差を 0.01 に設定した条件で行なわれ、図 2 5 に示すシミュレーションは、アンカーノード数を 3 個に設定し、通信可能距離を 0.5 m に設定し、距離誤差偏差を 0.05 に設定した条件で行なわれた。

50

【 0 3 3 6 】

配信回数を減少した場合、位置推定の精度は、劣化し、同条件の三辺測量 1 の精度よりも低い（図 2 0 および図 2 1 参照）。

【 0 3 3 7 】

一方、仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を減少した場合、位置推定の精度が劣化せず、同条件の三辺測量 1 の精度を上回り、同条件の三辺測量 2 の精度と同程度となる（図 2 0 および図 2 1 参照）。

【 0 3 3 8 】

即ち、大量のデータから比較的長い周期で位置修正 / 位置更新を行なうよりも、少量のデータから短い周期で頻繁に位置修正 / 位置更新を行なう方が有効であることが分かる。

10

【 0 3 3 9 】

図 2 6 および図 2 7 は、それぞれ、仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を 1 個の無線装置の情報とし、配信回数を変化させた場合における無線装置の数による位置推定誤差の平均値の変化を示す第 1 および第 2 の図である。

【 0 3 4 0 】

図 2 6 および図 2 7 において、横軸は、無線装置の数を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。また、白三角は、三辺測量 1 の場合を示し、白丸は、三辺測量 2 の場合を示す。更に、黒丸は、配信回数を 1 / 2 に減少した場合を示し、黒四角は、配信回数を 1 / 3 に減少した場合を示す。

【 0 3 4 1 】

20

なお、図 2 6 に示すシミュレーションは、アンカーノード数を 3 個に設定し、通信可能距離を 0 . 5 m に設定し、距離誤差偏差を 0 . 0 1 に設定した条件で行なわれ、図 2 7 に示すシミュレーションは、アンカーノード数を 3 個に設定し、通信可能距離を 0 . 5 m に設定し、距離誤差偏差を 0 . 0 5 に設定した条件で行なわれた。

【 0 3 4 2 】

図 2 6 および図 2 7 に示す結果から、実施の形態 2 による位置推定方法は、通信量を大幅に削減しても三辺測量 1 , 2 と同等またはそれ以上の精度を維持する。

【 0 3 4 3 】

従って、位置推定を行なう無線装置 i (= 無線装置 8 1) は、自己の周囲に存在する無線装置 8 2 ~ 8 7 の全てから仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ 等を受信してから仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するよりも、無線装置 8 2 ~ 8 7 の一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$ 等を受信して、仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正した方が通信の遅延に伴う位置推定の遅延が低減される。

30

【 0 3 4 4 】

そこで、図 1 6 および図 1 7 に示すフローチャートに示すように、実施の形態 2 による位置推定方法においては、位置推定を行なう無線装置 i (= 無線装置 8 1) は、自己の周囲に存在する無線装置 8 2 ~ 8 7 の一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$ 等を受信すると、仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正することにしたものである。

【 0 3 4 5 】

40

つまり、無線装置 i (= 無線装置 8 1) は、少量のデータから短い周期で頻繁に位置修正 / 位置更新を行なうことにしたものである。

【 0 3 4 6 】

上記においては、無線ネットワークシステム 1 0 A のトポロジを反映して無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するために、無線装置 8 1 から 2 ホップの位置に存在する無線装置 9 1 ~ 9 6 の仮の自己位置 $w_x(t)$ ($x = 1 \sim 6$) を用いたが、この発明においては、これに限らず、無線ネットワークシステム 1 0 A のトポロジを反映して無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するために、無線装置 8 1 から 3 ホップ以上の位置に存在する無線装置の仮の自己位置を用いるようにしてもよい。

【 0 3 4 7 】

50

また、この発明においては、しきい値は、無線ネットワークシステム10Aのトポロジー、即ち、無線ネットワークシステム10A内に存在する無線装置の数に応じて変えてもよい。

【0348】

しきい値は、無線ネットワークシステム10Aのトポロジーを反映した仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正段階から、近傍の無線装置の仮の自己位置を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の局所的な修正段階への切替えを行なう基準となるものであるので、しきい値は、当然、無線ネットワークシステム10Aのトポロジーによって変化し得るからである。

【0349】

この発明においては、距離測定部14Aは、「距離保持手段」を構成する。

10

【0350】

また、図16および図17に示すフローチャートのステップS35～ステップS51は、「位置修正処理」を構成する。

【0351】

更に、図16および図17に示すフローチャートのステップS35～ステップS48, S50, S51は、「第1の位置修正処理」を構成し、図16および図17に示すフローチャートのステップS35～ステップS47, S49～S51は、「第2の位置修正処理」を構成する。

【0352】

更に、図16および図17に示すフローチャートのステップS35～ステップS43は、「ベクトル演算処理」を構成する。

20

【0353】

更に、図16および図17に示すフローチャートのステップS35～ステップS48, S50, S51に従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する組織化測位部15Aは、「第1の位置修正手段」を構成し、図16および図17に示すフローチャートのステップS35～ステップS47, S49～S51に従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する組織化測位部15Aは、「第2の位置修正手段」を構成する。

【0354】

更に、図16および図17に示すフローチャートに従って仮の自己位置 $w_i(t)$ する場合、無線装置81～87, 91～96は、「 m (m は3以上の整数)個の無線装置」を構成する。

30

【0355】

更に、図16および図17に示すフローチャートに従って仮の自己位置 $w_i(t)$ する場合、無線装置91～96は、「 x (x は正の整数)個の無線装置」を構成し、無線装置82～87は、「 y (y は、 $x+y=m$ を満たす整数)個の無線装置」を構成する。

【0356】

更に、修正ベクトル $[V_{i_1}^{\{1\}}(t) + (V_{x_1}^{\{2\}}(t) + V_{x_2}^{\{2\}}(t) + \dots + V_{x_d}^{\{2\}}(t))]$ は、「第1の距離偏差ベクトル」を構成し、修正ベクトル $V_{i_1}^{\{1\}}(t)$ は、「第2の距離偏差ベクトル」を構成する。

【0357】

更に、図16に示すフローチャートのステップS40, S41において演算される修正ベクトル $V_{x_c}^{\{2\}}(t)$ は、「第1の修正ベクトル」を構成し、図17に示すフローチャートのステップS46において演算される修正ベクトル $V_{i_1}^{\{1\}}(t)$ は、「第2の修正ベクトル」を構成する。

40

【0358】

更に、仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置91～96の方向へ測定距離 $d_{i_{y_c}}(t) + d_{y_{x_c}}(t)$ だけ移動するベクトルは、「第1のベクトル」を構成し、仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置91～96の方向へ演算距離 $|w_i(t) - w_{x_c}(t)|$ だけ移動するベクトルは、「第2のベクトル」を構成する。

【0359】

50

更に、仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置 82 ~ 87 の方向へ測定距離 $d_{iy_c}(t)$ だけ移動するベクトルは、「第3のベクトル」を構成し、仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置 82 ~ 87 の方向へ演算距離 $|w_i(t) - w_y(t)|$ だけ移動するベクトルは、「第4のベクトル」を構成する。

【0360】

更に、図17に示すフローチャートのステップS48において修正された後の仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置 82 ~ 87 の方向へ測定距離 $d_{iy_c}(t)$ だけ移動するベクトルは、「第5のベクトル」を構成し、図17に示すフローチャートのステップS48において修正された後の仮の自己位置 $w_i(t)$ から無線装置 82 ~ 87 の方向へ演算距離 $|w_i(t) - w_y(t)|$ だけ移動するベクトルは、「第6のベクトル」を構成する。

10

【0361】

更に、ベクトル $[w_{y_c}(t) - w_i(t)]$ は、「第7のベクトル」を構成し、ベクトル $[w_{y_c}(t) - w_{x_c}(t)]$ は、「第8のベクトル」を構成し、ベクトル $[(w_{y_c}(t) - w_{x_c}(t)) d_{iy_c}(t) / d_{yx_c}(t)]$ は、「第9のベクトル」を構成する。

【0362】

更に、 $d_{ix_s}(t) = |w_i(t) - w_{x_c}(t)|$ は、「第1の演算距離」を構成し、 $d_{iy_s}(t) = |w_i(t) - w_{y_c}(t)|$ は、「第2の演算距離」を構成する。

20

【0363】

更に、しきい値 θ は、「第1の回数」を構成し、“ $N -$ ” は、「第2の回数」を構成する。

【0364】

その他は、実施の形態1と同じである。

【0365】

実施の形態2によれば、無線装置81から2ホップの位置に存在する無線装置91 ~ 96の仮の自己位置 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を用いて無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を所定回数(しきい値 θ)だけ修正し、その後、無線装置81から1ホップの位置に存在する無線装置82 ~ 87の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を用いて無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を所定回数($N -$)だけ修正する。

30

【0366】

つまり、実施の形態2によれば、組織化測位部15Aは、無線ネットワークシステム10Aのトポロジを反映して無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を概略的に修正し、その後、無線装置81の近傍(1ホップ内)に存在する無線装置82 ~ 87の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ が最適解に近づくように仮の自己位置 $w_i(t)$ を局所的に修正する。

【0367】

従って、この発明によれば、アンカーノードの個数を増加させなくても、各無線装置の位置を精度良く自律的に推定できる。

40

【0368】

また、実施の形態2によれば、組織化測位部15Aは、無線装置81の近傍に存在する無線装置82 ~ 87の一部から仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_d}(t)$, $w_{x_1}(t) \sim w_{x_d}(t)$ および測定距離 $d_{yx_1}(t) \sim d_{yx_1}(t)$ を受信して仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正する。

【0369】

従って、この発明によれば、各無線装置の位置を速く、かつ、精度良く推定できる。

【0370】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲

50

によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0371】

この発明は、無線ネットワークシステムを構成する無線装置の位置を自律的に推定可能な無線装置に適用される。また、この発明は、無線装置の位置を自律的に推定可能な無線装置を備えた無線ネットワークシステムに適用される。

【図面の簡単な説明】

【0372】

【図1】この発明の実施の形態1による無線ネットワークシステムの概念図である。 10

【図2】図1に示す無線装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図3】無線装置の仮の自己位置の修正概念を説明するための図である。

【図4】反学習の効果を説明するための概念図である。

【図5】無線装置の位置を推定する動作を説明するための実施の形態1におけるフローチャートである。

【図6】無線装置の数による位置推定誤差の変化を示す図である。

【図7】距離誤差の平均が期待する誤差よりも大きい場合、推定した位置を破棄して新たに生成された位置に基づいて位置を推定する場合のシミュレーション結果を示す図である。

【図8】アンカーノード数による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。 20

【図9】無線装置間の距離の誤差偏差による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。

【図10】無線装置間の通信総数と位置推定誤差との相関を示す図である。

【図11】図10に示す位置推定誤差の平均値と推定処理遅延との関係を示す図である。

【図12】実施の形態2による無線ネットワークシステムの概念図である。

【図13】図12に示す無線装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図14】式(10)を用いた無線装置の仮の自己位置の修正概念を説明するための図である。

【図15】式(11)を用いた無線装置の仮の自己位置の修正概念を説明するための図である。 30

【図16】無線装置の位置を推定する動作を説明するための実施の形態2における第1のフローチャートである。

【図17】無線装置の位置を推定する動作を説明するための実施の形態2における第2のフローチャートである。

【図18】三辺測量における無線装置の第1の配置図である。

【図19】三辺測量における無線装置の第2の配置図である。

【図20】無線装置の数による位置推定誤差の変化を示す図である。

【図21】無線装置の数による位置推定誤差の変化を示す他の図である。

【図22】距離誤差偏差による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。

【図23】アンカーノード数による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。 40

【図24】仮の位置情報の配信回数および仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を減少させた場合における無線装置の数による位置推定誤差の平均値の変化を示す第1の図である。

【図25】仮の位置情報の配信回数および仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を減少させた場合における無線装置の数による位置推定誤差の平均値の変化を示す第2の図である。

【図26】仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を1個の無線装置の情報とし、配信回数を変化させた場合における無線装置の数による位置推定誤差の平均値の変化を示す第1の図である。

【図27】仮の位置情報に含まれる近傍の無線装置の情報を1個の無線装置の情報とし、 50

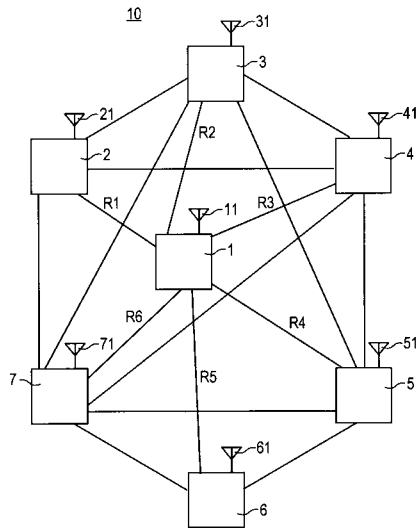
配信回数を変化させた場合における無線装置の数による位置推定誤差の平均値の変化を示す第2の図である。

【符号の説明】

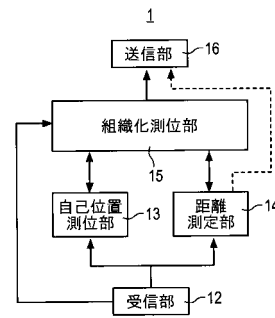
【0373】

1 ~ 7, 81 ~ 87, 91 ~ 96 無線装置、10, 10A 無線ネットワークシステム、11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 811, 821, 831, 841, 851, 861, 871, 911, 921, 931, 941, 951, 961 アンテナ、12 受信部、13 自己位置測位部、14, 14A 距離測定部、15, 15A 組織化測位部、16 送信部。

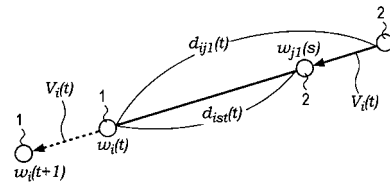
【図1】



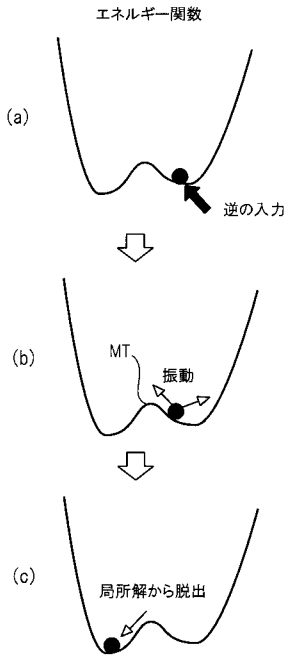
【図2】



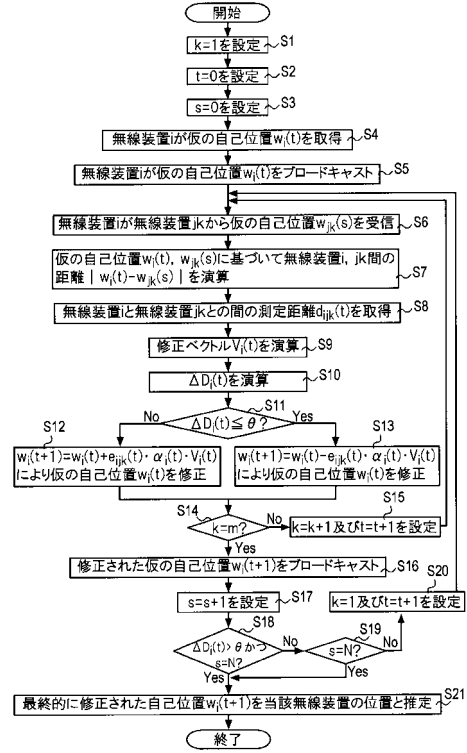
【図3】



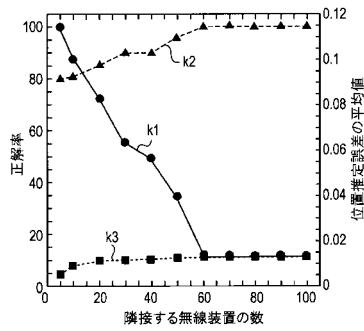
【図4】



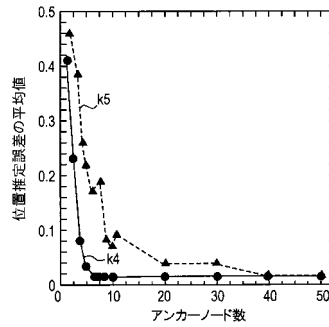
【図5】



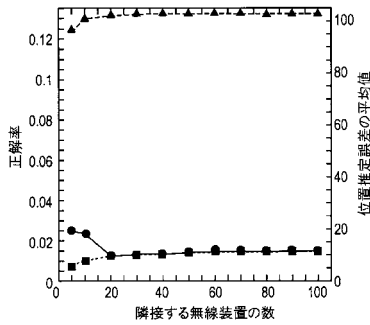
【図6】



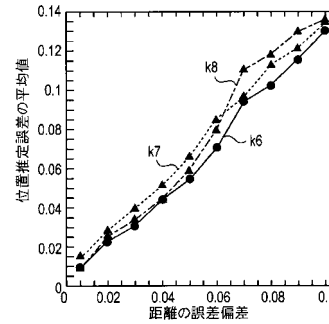
【図8】



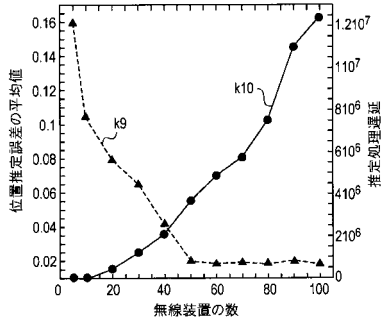
【図7】



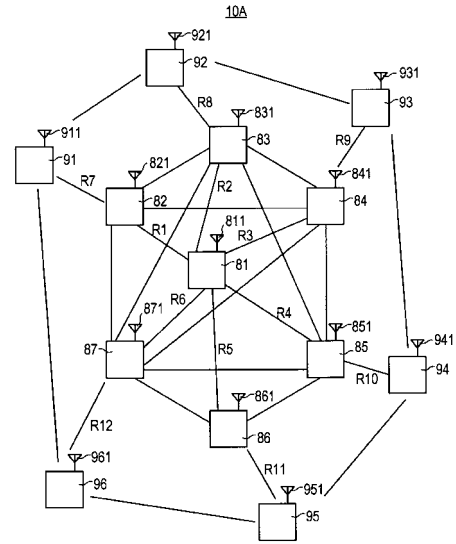
【図9】



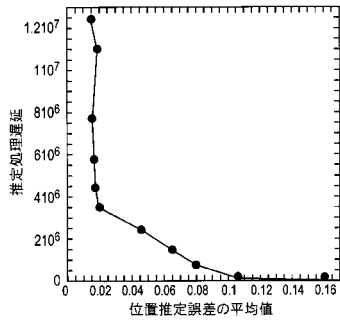
【図10】



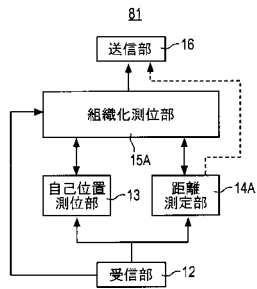
【図12】



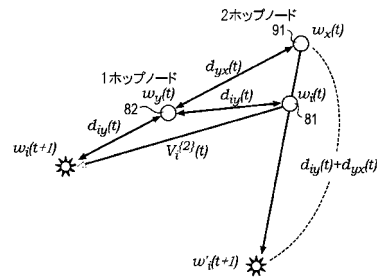
【図11】



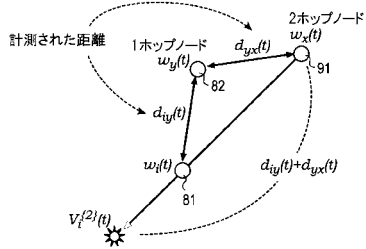
【図13】



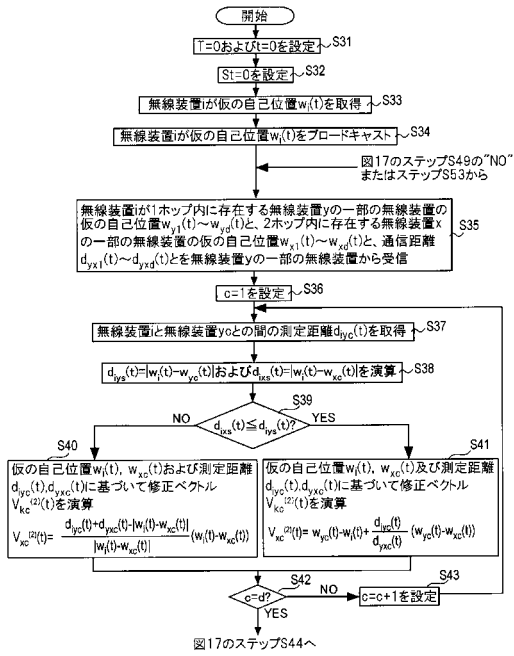
【図15】



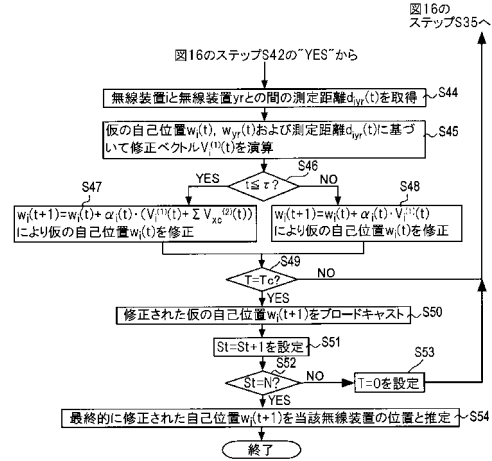
【図14】



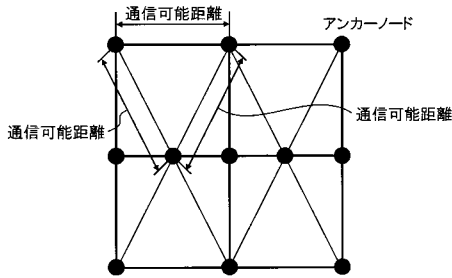
【図16】



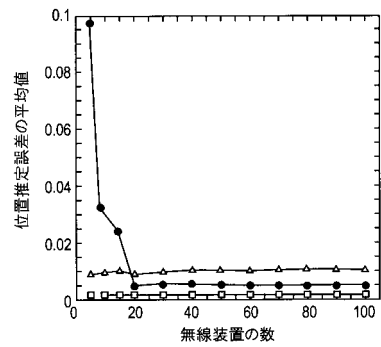
【図17】



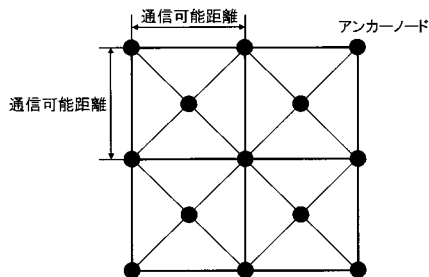
【図18】



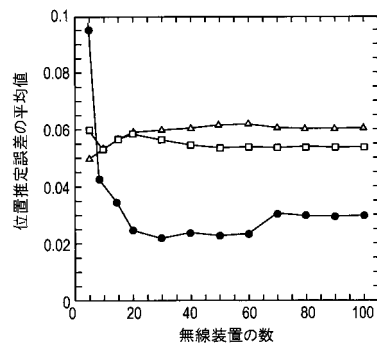
【図20】



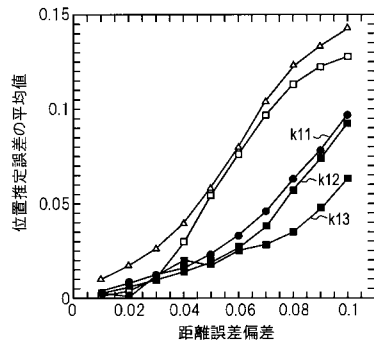
【図19】



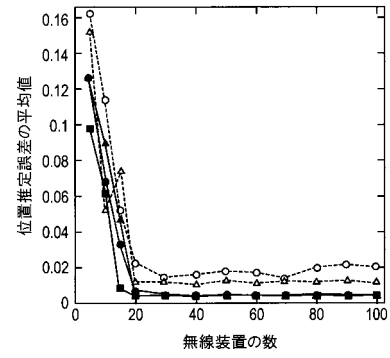
【図21】



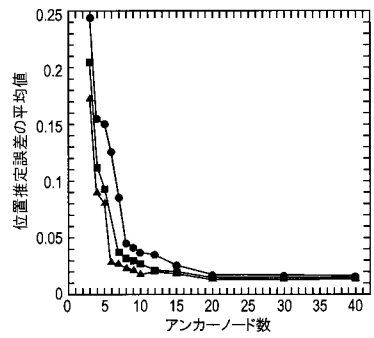
【 図 2 2 】



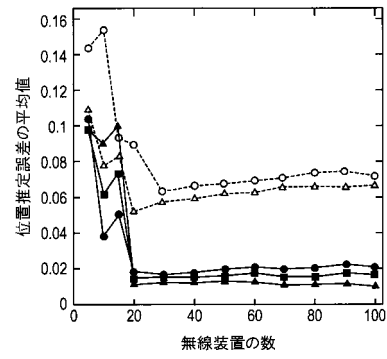
【 図 2 4 】



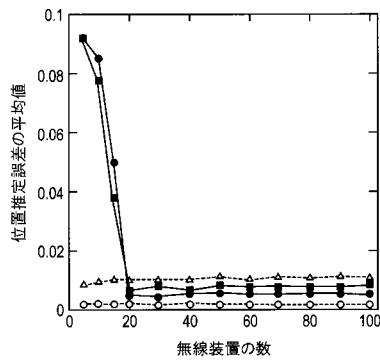
【 図 2 3 】



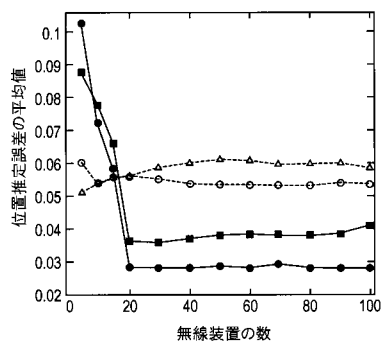
【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



フロントページの続き

- (72)発明者 山口 明
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 川合 誠
兵庫県西宮市六湛寺町2-2-1405
- (72)発明者 岩井 誠人
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 小花 貞夫
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 望月 章俊

- (56)参考文献 特開2004-179846(JP,A)
特表2005-510172(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04W4/00 - H04W99/00
H04B7/24 - H04B7/26