

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4878488号
(P4878488)

(45) 発行日 平成24年2月15日 (2012.2.15)

(24) 登録日 平成23年12月9日 (2011.12.9)

(51) Int.Cl. F I
GO1S 5/02 (2010.01) GO1S 5/02 Z
HO4W 64/00 (2009.01) HO4Q 7/00 508

請求項の数 10 (全 48 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-97207 (P2006-97207)</p> <p>(22) 出願日 平成18年3月31日 (2006.3.31)</p> <p>(65) 公開番号 特開2007-271444 (P2007-271444A)</p> <p>(43) 公開日 平成19年10月18日 (2007.10.18)</p> <p>審査請求日 平成20年10月21日 (2008.10.21)</p> <p>(出願人による申告) 平成17年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「ユビキタスITSの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100112715 弁理士 松山 隆夫</p> <p>(74) 代理人 100085213 弁理士 鳥居 洋</p> <p>(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</p> <p>(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</p>
---	--

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第1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前記m個の無線装置の全てについて順次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、

前記位置修正手段は、前記測定距離よりも前記演算距離を信頼して前記位置修正処理を実行し、

前記位置修正手段は、前記演算距離が前記測定距離以上であるとき、前記演算距離を前記測定距離に近づける度合を第1の度合に設定して前記位置修正処理を実行し、前記演算距離が前記測定距離よりも短いとき、前記演算距離を前記測定距離に近づける度合を前記第1の度合よりも小さい第2の度合に設定して前記位置修正処理を実行する、無線装置。

【請求項 2】

前記測定距離を前記 1 つの無線装置から送信された無線信号の受信信号強度に基づいて検出する距離検出手段を更に備え、

前記位置修正手段は、前記演算距離と前記距離検出手段によって検出された測定距離との比較結果に応じて、前記第 1 の度合または前記第 2 の度合を用いて前記位置修正処理を実行する、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更に備え、

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。

【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】

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第 1 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、

前記位置修正手段は、前記測定距離よりも前記演算距離を信頼して前記位置修正処理を実行し、

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、

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

10

20

30

40

50

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、

前記第 1 の位置修正手段は、前記第 1 の測定距離よりも前記第 1 の演算距離を信頼して前記第 1 の位置修正処理を実行し、

前記第 2 の位置修正手段は、前記第 2 の測定距離よりも前記第 2 の演算距離を信頼して前記第 2 の位置修正処理を実行し、

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。

【請求項 6】

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 1 の測定距離以上であるとき、前記第 1 の演算距離を前記第 1 の測定距離に近づける度合を前記第 1 の度合に設定して前記第 1 の位置修正処理を実行し、前記第 1 の演算距離が前記第 1 の測定距離よりも短いとき、前記第 1 の演算距離を前記第 1 の測定距離に近づける度合を前記第 2 の度合に設定して前記第 1 の位置修正処理を実行し、

前記第 2 の位置修正手段は、前記第 2 の演算距離が前記第 2 の測定距離以上であるとき、前記第 2 の演算距離を前記第 2 の測定距離に近づける度合を前記第 1 の度合に設定して前記第 2 の位置修正処理を実行し、前記第 2 の演算距離が前記第 2 の測定距離よりも短いとき、前記第 2 の演算距離を前記第 2 の測定距離に近づける度合を前記第 2 の度合に設定して前記第 2 の位置修正処理を実行する、請求項 5 に記載の無線装置。

【請求項 7】

当該無線装置が前記第 2 の無線装置から受信した無線信号の受信信号強度に基づいて前記第 2 の測定距離を検出する距離検出手段を更に備え、

前記第 1 の位置修正手段は、前記第 1 の演算距離と前記第 1 の測定距離との比較結果に応じて、前記第 1 の度合または前記第 2 の度合を用いて前記第 1 の位置修正処理を実行し、

前記第 2 の位置修正手段は、前記第 2 の演算距離と前記距離検出手段によって検出された第 2 の測定距離との比較結果に応じて、前記第 1 の度合または前記第 2 の度合を用いて前記第 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。

【請求項 8】

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更に備え、

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、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

10

20

30

40

50

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5から請求項7のいずれか1項に記載の無線装置。

【請求項9】

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、

10

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8に記載の無線装置。

20

【請求項10】

請求項1から請求項9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】

30

【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。

【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。

40

【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。

【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

50

および屋内に存在する設備・機器をも対象とし、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（登録商標）、およびZigBee（登録商標））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。

【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。

10

【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。

20

【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）。

【非特許文献1】A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, 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。

30

【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。

【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。

40

【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。

【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

50

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第1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。そして、位置修正手段は、測定距離よりも演算距離を信頼して位置修正処理を実行する。

【0015】

10

好ましくは、位置修正手段は、演算距離が測定距離以上であるとき、演算距離を測定距離に近づける割合を第1の割合に設定して位置修正処理を実行し、演算距離が測定距離よりも短いとき、演算距離を測定距離に近づける割合を第1の割合よりも小さい第2の割合に設定して位置修正処理を実行する。

好ましくは、無線装置は、距離検出手段を更に備える。距離検出手段は、測定距離を1つの無線装置から送信された無線信号の受信信号強度に基づいて検出する。位置修正手段は、演算手段と距離検出手段によって検出された測定距離との比較結果に応じて、第1の割合または第2の割合を用いて位置修正処理を実行する。

【0016】

20

好ましくは、無線装置は、受信手段を更に備える。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。

【0017】

30

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 個の無線装置は、 x (x は、正の整数)個の無線装置と、 y (y は、 $x + y = m$ を満たす整数)個の無線装置とを含む。 y 個の無線装置は、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る。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。第1の位置修正手段は、第1の測定距離よりも第1の演算距離を信頼して第1の位置修正処理を実行する。第2の

40

50

位置修正手段は、第2の測定距離よりも第2の演算距離を信頼して第2の位置修正処理を実行する。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。

【0019】

好ましくは、第1の位置修正手段は、第1の演算距離が第1の測定距離以上であるとき、第1の演算距離を第1の測定距離に近づける度合を第1の度合に設定して第1の位置修正処理を実行し、第1の演算距離が第1の測定距離よりも短いとき、第1の演算距離を第1の測定距離に近づける度合を第2の度合に設定して第1の位置修正処理を実行する。第2の位置修正手段は、第2の演算距離が第2の測定距離以上であるとき、第2の演算距離を第2の測定距離に近づける度合を第1の度合に設定して第2の位置修正処理を実行し、第2の演算距離が第2の測定距離よりも短いとき、第2の演算距離を第2の測定距離に近づける度合を第2の度合に設定して第2の位置修正処理を実行する。

好ましくは、無線装置は、距離検出手段を更に備える。距離検出手段は、当該無線装置が第2の無線装置から受信した無線信号の受信信号強度に基づいて第2の測定距離を検出する。第1の位置修正手段は、第1の演算距離と第1の測定距離との比較結果に応じて、第1の度合または第2の度合を用いて第1の位置修正処理を実行する。第2の位置修正手段は、第2の演算距離と距離検出手段によって検出された第2の測定距離との比較結果に応じて、第1の度合または第2の度合を用いて第2の位置修正処理を実行する。

【0020】

好ましくは、無線装置は、距離保持手段と、受信手段とを更に備える。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。

【0022】

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10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】

【0023】

この発明によれば、無線装置は、自己と近傍に存在する無線装置との間の測定距離よりも、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を信頼して演算距離が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。

【0024】

従って、この発明によれば、測定距離の信頼性が低い場合であっても、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】

【0025】

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。

【0026】

[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。

【0027】

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、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。

【0028】

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。

【0029】

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。

【0030】

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、距離検出部14と、組織化測位部15と、送信部16とを含む。

【0031】

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、距離検出部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

10

20

30

40

50

、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。

【0032】

また、受信部 12 は、アンテナ 11 を介して無線装置 2 ~ 7 から受信した信号の受信信号強度 P_r を検出し、その検出した受信信号強度 P_r を距離検出部 14 へ出力する。

【0033】

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。

10

【0034】

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。

【0035】

距離検出部 14 は、無線装置 1 と無線装置 2 ~ 7 のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ を検出し、その検出した距離 $R_1 \sim R_6$ をそれぞれ無線装置 2 ~ 7 に対応付けて保持する。距離検出部 14 は、受信部 12 から受けた受信信号強度 P_r を次式に代入して無線装置 1 と無線装置 2 ~ 7 のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ を演算する。

【0036】

【数 1】

20

$$P_r = P_t - 10 \log \left(\frac{4\pi d'}{\lambda} \right)^2 \quad \dots(1)$$

【0037】

式(1)において、 P_t は、送信電力であり、 λ は、電波の波長であり、 d' は、無線装置間の距離である。

【0038】

無線装置 1 の距離検出部 14 は、電波の波長 λ を保持しており、無線装置 2 ~ 7 における送信電力 P_t を知っているため、受信信号強度 P_r 、送信電力 P_t および波長 λ を式(1)に代入することによって距離 d' (= 距離 $R_1 \sim R_6$) を演算できる。

30

【0039】

このように、距離検出部 14 は、無線装置 1 が無線装置 2 ~ 7 から受信した信号の受信信号強度 P_r に基づいて、無線装置 1 と無線装置 2 ~ 7 のそれぞれとの距離 $R_1 \sim R_6$ を検出する。

【0040】

距離検出部 14 は、上述した方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 $R_1 \sim R_6$ を検出すると、その検出した距離 $R_1 \sim R_6$ をそれぞれ無線装置 2 ~ 7 に対応付けて記憶する。そして、距離検出部 14 は、組織化測位部 15 からの要求に応じて距離 $R_1 \sim R_6$ のいずれかを組織化測位部 15 へ出力する。

40

【0041】

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、距離検出部 14 からの距離 $R_1 \sim R_6$ と、受信部 12 からの仮の自己位置 $w_{j_k}(s)$ ($k = 1 \sim 6$) 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。

【0042】

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。

50

【 0 0 4 3 】

送信部 1 6 は、距離検出部 1 4 または組織化測位部 1 5 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 1 1 を介して無線装置 2 ~ 7 へ送信する。

【 0 0 4 4 】

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 5 】

以下、無線装置 1 の組織化測位部 1 5 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 6 】

組織化測位部 1 5 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 $w_{j_1}(s)$ とに基づいて無線装置 1 と無線装置 2 との距離 $|w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ を演算する。この場合、仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_{j_1}(s)$ 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 1 5 は、距離 $d_{i s t}(t) = |w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ （「演算距離」という）を容易に演算できる。

10

【 0 0 4 7 】

そして、組織化測位部 1 5 は、演算した演算距離 $d_{i s t}(t) = |w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ と、距離検出部 1 4 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 $R_1 (= d_{i j}(t))$ 、「測定距離」という）とに基づいて、演算距離 $|w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ を測定距離 $d_{i j}(t)$ 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。

20

【 0 0 4 8 】

【数 2】

$$V_i(t) = \frac{d_{ijk}(t) - |w_i(t) - w_{jk}(s)|}{|w_i(t) - w_{jk}(s)|} (w_i(t) - w_{jk}(s)) \quad \dots(2)$$

【 0 0 4 9 】

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

30

【 0 0 5 0 】

そして、組織化測位部 1 5 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 (3) および式 (4) によって演算する。

【 0 0 5 1 】

【数 3】

$$\Delta D_i(t) = D_i(t) - D_i(t-1) \quad \dots(3)$$

40

【 0 0 5 2 】

【数 4】

$$D_i(t) = \sqrt{\frac{1}{N_i(t)} \sum_{k=1}^{N_i(t)} \text{Bias}_i(t) \cdot (d_{ijk}(t) - |w_i(t) - w_{jk}(s)|)^2} \quad \dots(4)$$

【 0 0 5 3 】

式 (4) 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。

50

【 0 0 5 4 】

また、 $d_{ij_k}(t)$ 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、 $d_{ij_1}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 2 との間の測定距離を表し、 $d_{ij_2}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 3 との間の測定距離を表し、 $d_{ij_3}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 4 との間の測定距離を表し、 $d_{ij_4}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 5 との間の測定距離を表し、 $d_{ij_5}(t)$ は、無線装置 1 と無線装置 6 との間の測定距離を表し、 $d_{ij_6}(t)$ 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、 $d_{ij_1}(t) \sim d_{ij_6}(t)$ は、それぞれ、 $R_1 \sim R_6$ に等しい。

【 0 0 5 5 】

更に、 $w_{j_k}(s)$ 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。

【 0 0 5 6 】

更に、セルフバイアス $Bias_i(t)$ は、後述するように、1.0 または 1.0 よりも小さい値からなる定数である。

【 0 0 5 7 】

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 $d_{ij_1}(t) \sim d_{ij_6}(t)$ 、仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ およびセルフバイアス $Bias_i(t)$ 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 $d_{ij_1}(t) \sim d_{ij_6}(t)$ 、仮の自己位置 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ 、およびセルフバイアス $Bias_i(t)$ を式 (4) 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。

【 0 0 5 8 】

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。

【 0 0 5 9 】

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。

【 0 0 6 0 】

【 数 5 】

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

【 0 0 6 1 】

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。

【 0 0 6 2 】

【 数 6 】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + Bias_i(t) \cdot e_{ijk}(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot V_i(t) \quad \dots(6)$$

【 0 0 6 3 】

なお、式(5)および式(6)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

10

【 0 0 6 4 】

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

【 0 0 6 5 】

【 数 7 】

$$e_{ijk}(t) = \exp(\theta - \Delta D_i(t)) \quad \dots(7)$$

【 0 0 6 6 】

また、学習関数 $\alpha_i(t)$ は、次式によって演算される。

20

【 0 0 6 7 】

【 数 8 】

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} 1 & \Delta D_i(t) \leq \theta \text{ のとき} \\ \eta \cdot \alpha_i(t-1) & \Delta D_i(t) > \theta \text{ のとき} \end{cases} \quad \dots(8)$$

【 0 0 6 8 】

なお、式(8)において、 θ は、減衰定数であり、 $0 < \theta < 1$ を満たす正の実数である

30

【 0 0 6 9 】

上記式(5)または式(6)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。

【 0 0 7 0 】

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。なお、図3の説明においては、式(5)、(6)のセルフバイアス $Bias_i(t)$ の値は、“1.0”であるとして説明する。

【 0 0 7 1 】

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 $d_{ist}(t)$ は、 $d_{ist}(t) = |w_i(t) - w_{j_1}(s)|$ である。この演算された演算距離 $d_{ist}(t)$ が実測された無線装置1、2間の測定距離 $d_{ij_1}(t) (= R_1)$ と異なるとき、測定距離 $d_{ij_1}(t)$ と演算距離 $d_{ist}(t)$ 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。

40

【 0 0 7 2 】

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 $d_{ij_1}(t)$ になる。

【 0 0 7 3 】

50

従って、式(5)または式(6)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。

【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ため、式(5)または式(6)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 $d_{i_j 1}(t)$ (= R1) に即座に一致するものではない。

10

【0075】

従って、無線装置1の組織化測位部15は、式(5)または式(6)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。

【0076】

式(5)および式(6)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。

20

【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(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。この場合、式(2)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。

30

【0080】

また、この反学習の効果を高めるために、式(8)の上段において学習関数 $f_i(t)$ 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(6)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。

40

【0082】

次に、式(4), (5), (6)におけるセルフバイアス $Bias_i(t)$ は、次式によって決定される。

【0083】

【数9】

$$Bias_i(t) = \begin{cases} Bias1 & \phi_1 \leq \frac{d_{ijk}(t)}{d_{ist}(t)} \leq \phi_2 \text{ のとき} \\ Bias2 & \phi_2 < \frac{d_{ijk}(t)}{d_{ist}(t)} \text{ のとき} \\ 1.0 & otherwise \end{cases} \quad \dots (9)$$

10

【0084】

式(9)において、しきい値 ϕ_1 , ϕ_2 の各々は、“1”よりも大きい値からなり、しきい値 ϕ_1 , ϕ_2 の間には、 $\phi_1 < \phi_2$ の関係が存在する。また、 $Bias1$, $Bias2$ の各々は、“1”よりも小さいからなり、 $Bias1$, $Bias2$ の間には、 $Bias1 > Bias2$ の関係が存在する。

【0085】

演算距離 $d_{ist}(t)$ に対する測定距離 $d_{ijk}(t)$ の比 ($= d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$) が“1”よりも小さいとき、即ち、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ よりも長いとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ は、“1.0”からなる。また、比 ($= d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$) が“1”以上であるとき、即ち、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ 以下であるとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ は、“1.0”よりも小さい $Bias1$ または $Bias2$ からなる。

20

【0086】

そして、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ 以下である場合において、比 ($= d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$) が $1 < d_{ijk}(t) / d_{ist}(t) < \phi_1$ を満たす場合、セルフバイアス $Bias_i(t)$ は、 $Bias1$ からなり、比 ($= d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$) が $\phi_2 < d_{ijk}(t) / d_{ist}(t) < \phi_1$ を満たす場合、セルフバイアス $Bias_i(t)$ は、 $Bias1$ よりも小さい $Bias2$ からなる。

【0087】

このように、セルフバイアス $Bias_i(t)$ は、比 ($= d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$) が小さくなるに従って、 $Bias2$, $Bias1$, 1.0 と大きくなる。

30

【0088】

次に、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を用いて式(5)または(6)によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する理由について説明する。

【0089】

図5は、受信信号強度 P_r を用いて検出された測定距離 d' の分布図である。図5において、縦軸は、ライス確率分布関数における確率を表し、横軸は、測定距離 d' を表す。また、曲線 $k1$ は、間接波の電力に対する直接波の電力の比を表すライスファクター (Rice factor K) が 6 dB である場合における測定距離 d' の分布を表し、曲線 $k2$ は、ライスファクター (Rice factor K) が -6 dB である場合における測定距離 d' の分布を表す。

40

ライスファクター (Rice factor) が 6 dB である場合、直接波の電力は、間接波の電力よりも強く、測定距離 d' の分布は、TOA (Time Of Arrival) 法またはTDOA (Time Difference Of Arrival) 法を用いて測定した測定距離の分布とほぼ同じである (曲線 $k1$ 参照)。

一方、ライスファクター (Rice factor) が -6 dB である場合、間接波の電力は、直接波の電力よりも強く、測定距離 d' の分布は、正常な分布 (= 曲線 $k1$) と大きく異なる (曲線 $k2$)。そして、この場合、測定距離 d' が真の距離である“1m”よりも長くなる確率は、相対的に高い。

このように、受信信号強度 P_r に基づいて無線装置間の測定距離 d' を検出する場合、検

50

出された測定距離 d' は、電波環境の指標であるライスファクター (Rice factor or K) によって真の距離から長くなる方向へ大きくずれた値になることがある。

【0090】

そこで、この発明においては、受信信号強度 P_r に基づいて検出した測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ と、演算距離 $d_{ist}(t)$ とを比較し、その比較結果に応じて、修正ベクトル $V_i(t)$ による仮の自己位置 $w_i(t)$ の修正割合を変えることにした。

【0091】

演算距離 $d_{ist}(t)$ は、仮の自己位置 $w_i(t)$ を用いて演算され、仮の自己位置 $w_i(t)$ は、無線装置 1 の周囲に存在する無線装置 2 ~ 7 の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を用いて修正される。従って、複数の無線装置 2 ~ 7 の複数の仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を用いて修正された仮の自己位置 $w_i(t)$ と、仮の自己位置 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ とにより演算された演算距離 $d_{ist}(t)$ は、測定距離 d' よりも信頼性が高いと考えられる。

10

【0092】

その結果、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ よりも長いとき ($= \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\} < 1$)、測定距離 $d' = d_{ist}(t)$ の分布は、ライスファクター (Rice factor) が 6 dB である場合の分布 (図 5 の曲線 k1 参照) に近くなり、測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ の信頼性は、無線装置間の距離が TDOA 法または TOA 法によって測定された場合と同様に高くなる。

【0093】

20

そこで、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ よりも長いとき ($= \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\} < 1$)、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を “1.0” に設定することにしたものである。即ち、測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ の信頼性が高いので、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ に近づくように修正ベクトル $V_i(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する割合を相対的に大きくしたものである。

【0094】

一方、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ 以下であるとき ($= \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\} \geq 1$)、測定距離 $d' = d_{ist}(t)$ の分布は、ライスファクター (Rice factor) が -6 dB である場合の分布 (図 5 の曲線 k2 参照) に近くなり、測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ の信頼性は、無線装置間の距離が TDOA 法または TOA 法によって測定された場合よりも低くなる。

30

【0095】

そこで、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ 以下であるとき ($= \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\} \geq 1$)、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を “1.0” よりも小さい “Bias1” または “Bias2” に設定することにしたものである。即ち、測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ の信頼性が低いので、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ に近づくように修正ベクトル $V_i(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する割合を相対的に小さくしたものである。

【0096】

40

そして、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ 以下である場合 ($= \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\} \geq 1$) において、測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ が演算距離 $d_{ist}(t)$ よりもずれる程度に応じて、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ に近づくように修正ベクトル $V_i(t)$ を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する割合を変えるために、2 個の値 “Bias1”, “Bias2” を導入し、 $1 < \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\} < 2$ であるとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を Bias1 に設定し、 $2 < \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\}$ であるとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を Bias1 よりも小さい Bias2 に設定することにしたものである。

【0097】

50

このように、この発明においては、無線装置 1 の組織化測位部 15 は、測定距離 $d' = d_{ijk}(t)$ よりも演算距離 $d_{ist}(t)$ (= 複数の無線装置 2 ~ 7 の仮の自己位置 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ を反映して修正された仮の自己位置 $w_i(t)$ と、仮の自己位置 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ とにより演算される) を信頼して仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正し、無線装置 1 の位置を決定する。

【0098】

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 $w_{j1}(s) \sim w_{j6}(s)$ を用いて上述した方法によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を 6 回修正すると、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。

【0099】

そして、仮の自己位置 $w_{j1}(s) \sim w_{j6}(s)$ 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。

【0100】

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。

【0101】

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 $w_{j1}(s) \sim w_{j6}(s)$ を順次修正し、自己の位置を推定する。

【0102】

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 $w_{j1}(s) \sim w_{j6}(s)$ を修正し、その修正後の仮の自己位置 $w_{j1}(s+1) \sim w_{j6}(s+1)$ 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 $w_{j1}(s+1) \sim w_{j6}(s+1)$ を受信し、その受信した仮の自己位置 $w_{j1}(s+1) \sim w_{j6}(s+1)$ 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。

【0103】

図 6 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 6 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 $w_{j1}(s) \sim w_{j6}(s)$ 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。

【0104】

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、 $k = 1$ 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)。

【0105】

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)。

【0106】

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 $w_{jk}(s)$

10

20

30

40

50

)を組織化測位部15へ出力する。

【0107】

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 $d_{ist}(t) = |w_i(t) - w_{jk}(s)|$ 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)を距離検出部14から取得する(ステップS8)。

【0108】

そして、無線装置*i*(=無線装置1)の組織化測位部15は、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ 以上であるか否かを判定し(ステップS9)、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ 以上であるとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を“1.0”に設定する(ステップS10)。

10

【0109】

一方、演算距離 $d_{ist}(t)$ が測定距離 $d_{ijk}(t)$ 以上でないとき、無線装置*i*(=無線装置1)の組織化測位部15は、演算距離 $d_{ist}(t)$ に対する測定距離 $d_{ijk}(t)$ の比 $R_{dst} = d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$ を演算し、その演算した比 $R_{dst} = d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$ が $1 - \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\}^2$ を満たすか否かを更に判定する(ステップS11)。

【0110】

そして、無線装置*i*(=無線装置1)の組織化測位部15は、比 $R_{dst} = d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$ が $1 - \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\}^2$ を満たすとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を $Bias_1$ に設定し(ステップS12)、比 $R_{dst} = d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)$ が $1 - \{d_{ijk}(t) / d_{ist}(t)\}^2$ を満たさないとき、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を $Bias_2$ に設定する(ステップS13)。

20

【0111】

ステップS10、S12、S13のいずれかの後、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 $w_i(t)$ 、 $w_{jk}(s)$ 、演算距離 $d_{ist}(t) = |w_i(t) - w_{jk}(s)|$ 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S14)。

30

【0112】

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 $d_{ist}(t) = |w_i(t) - w_{jk}(s)|$ および測定距離 $d_{ijk}(t)$ を式(4)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(3)により距離平均誤差の変化量 $\Delta D_i(t)$ を演算する(ステップS15)。

【0113】

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 $\Delta D_i(t)$ がしきい値以下であるか否かを判定し(ステップS16)、変化量 $\Delta D_i(t)$ がしきい値以下でないとき、式(8)の下段により学習関数 $f_i(t)$ を演算し、式(7)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 $f_i(t)$ およびリンクの重み $e_{ijk}(t)$ と、ステップS14において演算した修正ベクトル $V_i(t)$ とを式(6)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S17)。

40

【0114】

一方、ステップS16において、変化量 $\Delta D_i(t)$ 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(8)の上段により学習関数 $f_i(t)$ を演算し、式(7)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 $f_i(t)$ およびリンクの重み $e_{ijk}(t)$ と、ステップS14において演算した修正ベク

50

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 S18)。

【0115】

そして、ステップ S17 またはステップ S18 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 S19)。 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 S19 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 $w_{j_1}(s) \sim w_{j_6}(s)$ 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。

10

【0116】

ステップ S19 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 S20)。そして、ステップ S19 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 S20 が繰り返し実行される。

【0117】

ステップ S6 ~ ステップ S19 が 1 回実行される時、一連の動作がステップ S9 の “YES” およびステップ S10 を経由してステップ S14 へ至ったのであれば、無線装置 i (= 無線装置 1) の組織化測位部 15 は、ステップ S17 またはステップ S18 において、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を “1.0” に設定して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ に修正する。また、一連の動作がステップ S9 の “NO” ステップ S11 の “YES” およびステップ S12 を経由してステップ S14 へ至ったのであれば、無線装置 i (= 無線装置 1) の組織化測位部 15 は、ステップ S17 またはステップ S18 において、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を “Bias1” に設定して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ に修正する。更に、一連の動作がステップ S9 の “NO” ステップ S11 の “NO” およびステップ S13 を経由してステップ S14 へ至ったのであれば、無線装置 i (= 無線装置 1) の組織化測位部 15 は、ステップ S17 またはステップ S18 において、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を “Bias2” に設定して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ に修正する。

20

【0118】

このように、無線装置 i (= 無線装置 1) の組織化測位部 15 は、測定距離 $d_{ij_k}(t)$ の信頼性の程度に応じて、演算距離 $d_{i_s t}(t)$ を測定距離 $d_{ij_k}(t)$ に近づける割合を変化させて仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

30

【0119】

また、ステップ S6 ~ ステップ S19 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 jk (= 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 S19 が 1 回目に実行されたときにステップ S17 およびステップ S18 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。

40

【0120】

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 S20 が繰り返し実行される。

【0121】

そして、ステップ S19 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

50

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 S 2 1)。

【0122】

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。

【0123】

ステップ S 2 1 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 S 2 2)、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 よりも大きく ($D_i(t) >$)、かつ、 $s = N$ であるか否かを判定する (ステップ S 2 3)。

10

【0124】

そして、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 よりも大きく ($D_i(t) >$)、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 S 2 4)。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 S 2 5)。

【0125】

その後、ステップ S 2 3 において、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 よりも大きく ($D_i(t) >$)、かつ、 $s = N$ であると判定されるまで、またはステップ S 2 4 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 S 6 ~ ステップ S 2 5 が繰り返し実行される。

20

【0126】

ステップ S 6 ~ ステップ S 2 2 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 $w_i(t)$ を順次修正するために、ステップ S 2 5 において、 $k = 1$ と設定することにしたものである。

【0127】

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 S 2 5 において $t = t + 1$ と設定することにしたものである。

30

【0128】

更に、ステップ S 6 ~ ステップ S 2 2 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 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 S 2 2 において、 $s = s + 1$ と設定することにしたものである。

【0129】

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 S 6 ~ ステップ S 2 2 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。

40

【0130】

そして、ステップ S 2 3 において、変化量 $D_i(t)$ がしきい値 よりも大きく ($D_i(t) >$)、かつ、 $s = N$ であると判定されたとき、またはステップ S 2 4 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

50

、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 S 2 6)。そして、一連の動作が終了する。

【0131】

なお、無線装置 2 ~ 7 の各々も、図 6 に示すフローチャートに従って自己の位置を推定する。

【0132】

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。

10

【0133】

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。

【0134】

このように、いずれにしても、無線装置 1 ~ 7 の各々が図 6 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。

【0135】

なお、図 6 に示すフローチャートのステップ S 2 3, S 2 4 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。

20

【0136】

無線装置 1 ~ 7 の配置構造が異なれば、ブローキャスト (1 ホップ内の通信) によって仮の自己位置 $w_i(t)$, $w_{jk}(s)$ 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、1 m 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 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。

30

【0137】

また、図 6 に示すフローチャートにおいては、ステップ S 2 3 を削除し、ステップ S 2 2 の後、ステップ S 2 4 を実行し、 $s = N$ である場合に、ステップ S 2 6 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。

【0138】

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 15 における位置の推定動作を終了するようにしてもよい。

【0139】

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ればよい。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ので、結果的に 4 個の無線装置の位置を決定できる。

40

【0140】

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。

50

【0141】

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 $w_i(t)$ 、 $w_{j_k}(s)$ 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。

【0142】

また、より遠くまで仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{j_k}(s)$ を送信することにより、アンカーノードへ仮の自己位置 $w_i(t)$ 、 $w_{j_k}(s)$ 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。

【0143】

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。

10

【0144】

また、距離検出部14は、「距離検出手段」および「距離保持手段」を構成する。

【0145】

更に、図6に示すフローチャートのステップS7～ステップS18は、「位置修正処理」を構成する。

【0146】

更に、図6に示すフローチャートのステップS1～ステップS25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。

【0147】

更に、図6に示すフローチャートのステップS23、S24、S25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。

20

【0148】

更に、無線装置1が図6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。

【0149】

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 $d_{i_{j_k}}(t)$ 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 $d_{i_{s_t}}(t) = |w_i(t) - w_{j_k}(s)|$ だけ移動するベクトルは、「第2のベクトル」を構成する。

30

【0150】

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。

【0151】

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 $w_{j_k}(s)$ とに基づいて演算した演算距離 $d_{i_{s_t}}(t) = |w_i(t) - w_{j_k}(s)|$ を測定距離 $d_{i_{j_k}}(t)$ よりも信頼し、演算距離 $d_{i_{s_t}}(t)$ が測定距離 $d_{i_{j_k}}(t)$ 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。

40

【0152】

従って、この発明によれば、測定距離 $d_{i_{j_k}}(t)$ が誤差を含んでいても、無線装置の位置を自律的に正確に推定できる。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。

【0153】

[実施の形態2]

図7は、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。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。

【0154】

50

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。

【0155】

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、R1 ~ R6 である。

10

【0156】

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、R7 ~ R12 である。

【0157】

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。

20

【0158】

図 8 は、図 7 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 の距離検出部 14 および組織化測位部 15 をそれぞれ距離検出部 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。

【0159】

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、距離検出部 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 R7 ~ R12 をそれぞれ無線装置 82 ~ 87 からアンテナ 811 を介して受信し、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 R7 ~ R12 を組織化測位部 15A へ出力する。

30

【0160】

距離検出部 14A は、無線装置 81 と無線装置 82 ~ 87 のそれぞれとの距離 R1 ~ R6 を測定し、その測定した距離 R1 ~ R6 をそれぞれ無線装置 82 ~ 87 に対応付けて保持する。なお、距離検出部 14A は、距離検出部 14 と同じ方法によって距離 R1 ~ R6 を測定する。

40

【0161】

組織化測位部 15A は、自己位置測位部 13 からの仮の自己位置 $w_i(0)$ と、距離検出部 14A からの距離 R1 ~ R6 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 R7 ~ R12 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。

【0162】

そして、組織化測位部 15A は、所定の条件が満たされると、最終的に修正された自己

50

位置 $w_i(t)$ を無線装置 81 の位置と推定する。

【0163】

なお、無線装置 82 ~ 87 の各々は、図 8 に示す無線装置 81 の構成と同じ構成からなる。

【0164】

無線ネットワークシステム 10A 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。

10

【0165】

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 $w_{x_1}(t) \sim w_{x_6}(t)$ を距離検出部 14A へ出力する。

【0166】

無線装置 82 ~ 87 の距離検出部 14A 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。

【0167】

そして、無線装置 82 ~ 87 の距離検出部 14A 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。

20

【0168】

また、無線装置 82 ~ 87 の組織化測位部 15A 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。

【0169】

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。

30

【0170】

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 $w_{y_2}(t)$ / 無線装置 92 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_2}(t)$, 距離 R_8] からなる。

【0171】

また、位置情報 PST_3 は、[無線装置 84 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_3}(t)$ / 無線装置 93 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 PST_4 は、[無線装置 85 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_4}(t)$ / 無線装置 94 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_4}(t)$, 距離 R_{10}] からなる。

40

【0172】

更に、位置情報 PST_5 は、[無線装置 86 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_5}(t)$ / 無線装置 95 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_5}(t)$, 距離 R_{11}] からなり、位置情報 PST_6 は、[無線装置 87 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{y_6}(t)$ / 無線装置 96 の IP アドレス：仮の自己位置 $w_{x_6}(t)$, 距離 R_{12}] からなる。

【0173】

従って、無線装置 81 の受信部 12 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 $R_7 \sim R_{12}$ を受信できる。

【0174】

なお、位置情報 $PST_1 \sim PST_6$ に含まれる無線装置 81 ~ 86 の IP アドレスは、

50

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 7 5 】

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 7 6 】

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 $d_{i y s}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ 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 $d_{i y s}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ (「演算距離」という) を容易に演算できる。

10

【 0 1 7 7 】

そして、組織化測位部 1 5 A は、演算した演算距離 $d_{i y s}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ と、距離検出部 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 $R_1 (= d_{i y_1}(t))$ (「測定距離」という) とに基づいて、演算距離 $d_{i y s}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ を測定距離 $d_{i y_1}(t)$ 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 7 8 】

【数 1 0】

20

$$V_i^{(1)}(t) = \frac{d_{i y}(t) - |w_i(t) - w_{y_1}(t)|}{|w_i(t) - w_{y_1}(t)|} (w_i(t) - w_{y_1}(t)) \quad \dots(10)$$

【 0 1 7 9 】

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。

30

【 0 1 8 0 】

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 $d_{i x s}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を演算する。この場合、仮の自己位置 $w_{x_1}(t)$ も、例えば、 $x - y$ 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 $d_{i x s}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ (「演算距離」という) を容易に演算できる。

【 0 1 8 1 】

そして、組織化測位部 1 5 A は、演算した演算距離 $d_{i x s}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を演算距離 $d_{i y s}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ と比較する。

40

【 0 1 8 2 】

組織化測位部 1 5 A は、演算距離 $d_{i x s}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ が演算距離 $d_{i y s}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ よりも長いとき、演算距離 $d_{i x s}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ と、距離検出部 1 4 A から取得した無線装置 8 1 と無線装置 8 2 との間の測定距離 $R_1 (= d_{i y_1}(t))$ と、受信部 1 2 から受けた無線装置 8 2 と無線装置 9 1 との間の測定距離 $R_7 (= d_{y_1 x_1}(t))$ とに基づいて、演算距離 $d_{i x s}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ を測定距離 $d_{i y_1}(t) + d_{y_1 x_1}(t)$ 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。

【 0 1 8 3 】

50

【数 1 1】

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

【0 1 8 4】

なお、 $w_x(t) = w_x(0), w_x(1), w_x(2), \dots$ であり、 t は、無線装置 9 1 ~ 9 6 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 9 1 ~ 9 6 に対応して $x_1 \sim x_6$ である。

10

【0 1 8 5】

一方、組織化測位部 1 5 A は、演算距離 $d_{ixs}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ が演算距離 $d_{iys}(t) = |w_i(t) - w_{y_1}(t)|$ 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 $(w_{y_1}(t) - w_i(t)) \cdot (w_{y_1}(t) - w_{x_1}(t))$ と、測定距離 $R_1 (= d_{iy_1}(t))$ および測定距離 $R_7 (= d_{y_1x_1}(t))$ とに基づいて、演算距離 $d_{ixs}(t) = |w_i(t) - w_{x_1}(t)|$ 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。

【0 1 8 6】

20

【数 1 2】

$$V_i^{\{2\}}(t) = w_y(t) - w_i(t) + \frac{d_{iy}(t)}{d_{yx}(t)} (w_y(t) - w_x(t)) \quad \dots(12)$$

【0 1 8 7】

そして、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とき、式 (1 0) によって示される修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と、式 (1 1) または式 (1 2) 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 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

30

【0 1 8 8】

【数 1 3】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + Bias_i(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot \left(V_i^{\{1\}}(t) + \sum_x V_x^{\{2\}}(t) \right) \quad \dots(13)$$

【0 1 8 9】

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 (1 0) 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。

40

【0 1 9 0】

【数 1 4】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + Bias_i(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot V_i^{\{1\}}(t) \quad \dots(14)$$

【0 1 9 1】

なお、式 (1 3) および式 (1 4) 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。

50

【 0 1 9 2 】

【 数 1 5 】

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} -1 & \theta \leq E_i(t) - E_i(t-1) \\ \eta \cdot |\alpha_i(t-1)| & \text{otherwise} \end{cases} \dots(15)$$

【 0 1 9 3 】

式(15)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81と、無線装置81の近傍に存在する無線装置82～87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81と、無線装置81の近傍に存在する無線装置82～87との距離平均誤差量である。

10

【 0 1 9 4 】

組織化測位部15Aは、距離平均誤差量 $E_i(t)$ を次式により演算する。

【 0 1 9 5 】

【 数 1 6 】

$$E_i(t) = \sqrt{\frac{1}{N_i(t)} \sum_{y=1}^{N_i(t)} \text{Bias}_i(t) \cdot (d_{iy}(t) - |w_i(t) - w_y(t)|)^2} \dots(16)$$

20

【 0 1 9 6 】

式(16)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81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82～87の個数である6個である。

【 0 1 9 7 】

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81と無線装置82～87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、無線装置81と無線装置82との間の測定距離を表し、 $d_{iy_2}(t)$ は、無線装置81と無線装置83との間の測定距離を表し、 $d_{iy_3}(t)$ は、無線装置81と無線装置84との間の測定距離を表し、 $d_{iy_4}(t)$ は、無線装置81と無線装置85との間の測定距離を表し、 $d_{iy_5}(t)$ は、無線装置81と無線装置86との間の測定距離を表し、 $d_{iy_6}(t)$ は、無線装置81と無線装置87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。

30

【 0 1 9 8 】

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82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83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84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85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86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87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82～87から無線装置81へブロードキャストされる仮の自己位置である。

40

【 0 1 9 9 】

そうすると、組織化測位部15Aは、無線装置の総数 $N_i(t)$ 、測定距離 $d_{iy_1}(t)$

50

t) ~ $d_{iy_6}(t)$ 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。

【0200】

そして、組織化測位部15A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。

【0201】

組織化測位部15A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(13)または式(14)に代入して無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0202】

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15Aは、 $f_i(t) = -1$ を式(13)または式(14)に代入して無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0203】

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15Aは、 $f_i(t) = \frac{E_i(t-1)}{|E_i(t-1)|}$ を式(13)または式(14)に代入して無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【0204】

上記の式(10)を用いた無線装置81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。

【0205】

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9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。

【0206】

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。

【0207】

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。

【0208】

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。

【0209】

従って、式(10)または式(11)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。

【0210】

10

20

30

40

50

式(11)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。

【0211】

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。

【0212】

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。

10

【0213】

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。

【0214】

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。

20

【0215】

次に、上記の式(12)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10は、式(12)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。

【0216】

無線装置81の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置91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81の仮の自己位置 $w_i(t)$ と無線装置82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91が無線装置82よりも無線装置81に近い位置に存在するとき、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すると、無線装置81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。

30

【0217】

そうすると、無線装置81の仮の自己位置 $w'_i(t+1)$ は、無線装置82の仮の自己位置 $w_y(t)$ と無線装置91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81と無線装置91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。

40

【0218】

そこで、無線装置81と無線装置91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(11)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(12)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。

【0219】

式(12)によって演算される修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ は、無線装置81から無線装置82へ向かうベクトル(= $w_y(t) - w_i(t)$)に、無線装置91から無線装

50

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。

【 0 2 2 0 】

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。

【 0 2 2 1 】

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。

10

【 0 2 2 2 】

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。

【 0 2 2 3 】

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 ($w_y(t) - w_x(t) / d_{yx}(t) \cdot d_{iy}(t)$) が得られるからである。

20

【 0 2 2 4 】

更に、式 (15) 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。

【 0 2 2 5 】

式 (13)、式 (14) および式 (16) におけるセルフバイアス $Bias_i(t)$ は、実施の形態 1 における式 (9) に従って決定されるが、実施の形態 2 においては、組織化測位部 15 A は、修正回数 t がしきい値 以下である場合、式 (13) を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正し、修正回数 t がしきい値 よりも多い場合、式 (14) 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。

30

【 0 2 2 6 】

従って、実施の形態 2 においては、修正回数 t がしきい値 以下である場合、式 (9) における演算距離 $d_{ist}(t)$ は、 $d_{ist}(t) = d_{ixs}(t)$ からなり、測定距離 $d_{ijk}(t)$ は、 $d_{ijk}(t) = d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ からなる。

【 0 2 2 7 】

また、実施の形態 2 においては、修正回数 t がしきい値 よりも多い場合、式 (9) における演算距離 $d_{ist}(t)$ は、 $d_{ist}(t) = d_{iys}(t)$ からなり、測定距離 $d_{ijk}(t)$ は、 $d_{ijk}(t) = d_{iy}(t)$ からなる。

40

【 0 2 2 8 】

更に、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 (13) によって仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正し、修正回数 t がしきい値 に達すると、式 (14) 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。

【 0 2 2 9 】

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 10 A のトポロジーを反映して無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正し、その後、無線装置 8 1 の近傍 (1 ホップ内) に存在する無線装置 8 2 ~ 8 7 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

50

にするためである。

【0230】

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のトポロジー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。

【0231】

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(13)または式(14)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。

10

【0232】

従って、無線装置81の組織化測位部15Aは、式(13)または式(14)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。

20

【0233】

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。

【0234】

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の一部からの仮の自己位置($w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ 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。

30

【0235】

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。

【0236】

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の位置と推定する。

40

【0237】

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 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ 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 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ を無線装置81、91~96へブロードキャストする。

50

【 0 2 3 8 】

更に、無線装置 9 1 ~ 9 6 は、上述した無線装置 8 1 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 9 1 ~ 9 6 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 8 2 ~ 8 7 へブロードキャストする。

【 0 2 3 9 】

なお、修正後の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 8 1 から受信した無線装置 8 2 ~ 8 7 は、その受信した無線装置 8 1 の仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を用いて無線装置 8 1 における方法と同じ方法によって無線装置 8 2 ~ 8 7 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 8 1 は、無線装置 8 2 ~ 8 7 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。

【 0 2 4 0 】

図 1 1 および図 1 2 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 1 1 および図 1 2 においては、無線装置 8 1 が無線装置 8 2 ~ 8 7 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 $d_{y_{x_1}}(t) \sim d_{y_{x_d}}(t)$ ($= R_7 \sim R_{12}$ 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。

【 0 2 4 1 】

一連の動作が開始されると、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 i ($=$ 無線装置 8 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、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 S 3 1)。なお、無線装置 i ($=$ 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A 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 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、無線装置 8 1 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 S 3 2)。

【 0 2 4 2 】

その後、無線装置 i ($=$ 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、自己位置測位部 1 3 から無線装置 i ($=$ 無線装置 8 1) の仮の自己位置 $w_i(0)$ を取得し (ステップ S 3 3)、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 1 6 を制御し、送信部 1 6 は、組織化測位部 1 5 A から受けた仮の自己位置 $w_i(0)$ を無線装置 8 2 ~ 8 7 へブロードキャストする (ステップ S 3 4)。

【 0 2 4 3 】

無線装置 i ($=$ 無線装置 8 1) の受信部 1 2 は、1 ホップ内に存在する無線装置 y ($=$ 無線装置 8 2 ~ 8 7) 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 9 1 ~ 9 6) の一部無線装置 $x_1 \sim x_d$ 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 8 2 ~ 8 7 の一部の無線装置 $y_1 \sim y_d$ から受信し (ステップ S 3 5)、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 1 5 A へ出力する。

【 0 2 4 4 】

その後、無線装置 i ($=$ 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、 $c(1 \sim c \sim d) = 1$ を設定し (ステップ S 3 6)、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。

【0245】

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。

【0246】

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 R_7 になる。

【0247】

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 $d_{i_{y_c}}(t)$ を距離検出部 14A から取得する(ステップ S37)。

【0248】

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)。

【0249】

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(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 S40)。

【0250】

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(12)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)。

【0251】

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)。

【0252】

その後、一連の動作は、ステップ S37へ戻り、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。

【0253】

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。

【0254】

そして、ステップ S42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 81) の組織化測位部 15A 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 $d_{i_{y_r}}(t)$ を距離検出部 14A から取得する(ステップ S44)。

【0255】

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 $w_i(t)$, $w_{y_r}(t)$ および測定距離 $d_{i_{y_r}}(t)$ に基づいて、式(10)に示す修正ベ

10

20

30

40

50

クトル $V_i^{(1)}(t)$ を演算する (ステップ S 4 5)。

【0256】

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、演算距離 $d_{i s t}(t)$ ($= d_{i x s}(t)$ または $d_{i y s}(t)$ 、以下同じ) が測定距離 $d_{i j k}(t)$ ($= d_{i y}(t) + d_{y x}(t)$ または $d_{i y}(t)$ 、以下同じ) 以上であるか否かを判定し (ステップ S 4 6)、演算距離 $d_{i s t}(t)$ が測定距離 $d_{i j k}(t)$ 以上であるとき、セルフバイアス $B i a s_i(t)$ を “1.0” に設定する (ステップ S 4 7)。

【0257】

一方、演算距離 $d_{i s t}(t)$ が測定距離 $d_{i j k}(t)$ 以上でないとき、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の組織化測位部 1 5 A は、演算距離 $d_{i s t}(t)$ に対する測定距離 $d_{i j k}(t)$ の比 $R_{d s t} = d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)$ を演算し、その演算した比 $R_{d s t} = d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)$ が $1 - \{d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)\}^2$ を満たすか否かを更に判定する (ステップ S 4 8)。

【0258】

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、比 $R_{d s t} = d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)$ が $1 - \{d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)\}^2$ を満たすとき、セルフバイアス $B i a s_i(t)$ を $B i a s_1$ に設定し (ステップ S 4 9)、比 $R_{d s t} = d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)$ が $1 - \{d_{i j k}(t) / d_{i s t}(t)\}^2$ を満たさないとき、セルフバイアス $B i a s_i(t)$ を $B i a s_2$ に設定する (ステップ S 5 0)。

【0259】

ステップ S 4 7, S 4 9, S 5 0 のいずれかの後、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 5 1)、修正回数 t がしきい値 以下であるとき、式 (1 3) 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 5 2)。この場合、図 1 1 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 (1 3) 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。

【0260】

一方、ステップ S 6 1 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 (1 4) 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 5 3)。

【0261】

なお、ステップ S 5 2, S 5 3 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 (1 5) 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 $\alpha_i(t) = -1$ を式 (1 3) または式 (1 4) 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 $\alpha_i(t) = \cdot | \alpha_i(t-1) |$ を式 (1 3) または式 (1 4) 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。

【0262】

また、ステップ S 5 1 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 5 3 において、式 (1 4) 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 5 2 において、式 (1 3) に従って修正した後の仮の自己位置 $w_i(t)$ を式 (1 4) を用いて仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

【0263】

そして、ステップ S 5 2 またはステップ S 5 3 の後、無線装置 i (= 無線装置 8 1) の

10

20

30

40

50

組織化測位部 15 A は、 $T = T_c$ であるか否かを判定し (ステップ S 5 4)、 $T = T_c$ でないとき、一連の動作は、図 11 のステップ S 3 5 へ戻る。そして、ステップ S 5 4 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 5 4 が繰り返し実行される。

【0264】

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。

10

【0265】

なお、 T_c は、定数であり、任意の時間からなる。

【0266】

そして、ステップ S 5 4 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 8 1) の組織化測位部 15 A 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 8 2 ~ 8 7 へブロードキャストする (ステップ S 5 5)。

【0267】

これによって、無線装置 8 2 ~ 8 7 は、修正された仮の自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 8 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 $w_{y_1}(t) \sim w_{y_6}(t)$ を修正できる。

20

【0268】

ステップ S 5 5 の後、無線装置 i (= 無線装置 1) の組織化測位部 15 A は、 $S_t = S_t + 1$ を設定し (ステップ S 5 6)、 $S_t = N$ であるか否かを判定する (ステップ S 5 7)。

【0269】

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 15 A は、修正時間 T を $T = 0$ に設定する (ステップ S 5 8)。つまり、無線装置 i (= 無線装置 1) の組織化測位部 15 A は、修正時間 T をリセットする。

30

【0270】

その後、一連の動作は、図 11 に示すステップ S 3 5 へ戻り、ステップ S 5 7 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 S 3 5 ~ ステップ S 5 8 が繰り返し実行される。

【0271】

そして、ステップ S 5 7 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 15 A は、最終的に修正された自己位置 $w_i(t+1)$ を無線装置 8 1 の位置と推定する (ステップ S 5 9)。そして、一連の動作が終了する。

【0272】

なお、図 11 および図 12 に示すフローチャートにおいては、ステップ S 5 4 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 15 A は、ステップ S 5 2 またはステップ S 5 3 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。

40

また、無線装置 8 2 ~ 8 7、9 1 ~ 9 6 の各々も、図 11 および図 12 に示すフローチャートに従って自己の位置を推定する。

【0273】

これによって、無線ネットワークシステム 10 A における無線装置 8 1 ~ 8 7、9 1 ~ 9 6 の位置が自律的に推定される。この場合、無線装置 8 1 ~ 8 7、9 1 ~ 9 6 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 8

50

1 ~ 87, 91 ~ 96 の位置は絶対位置として決定される。

【0274】

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。

【0275】

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 11 および図 12 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。

【0276】

図 11 および図 12 に示すフローチャートにおいては、ステップ S35 ~ ステップ S54 (またはステップ S58) が 1 回実行される時、一連の動作がステップ S46 の“YES”およびステップ S47 を経由してステップ S51 へ至ったのであれば、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、ステップ S52 またはステップ S53 において、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を“1.0”に設定して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ に修正する。また、一連の動作がステップ S46 の“NO”ステップ S48 の“YES”およびステップ S49 を経由してステップ S51 へ至ったのであれば、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、ステップ S52 またはステップ S53 において、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を“Bias1”に設定して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ に修正する。更に、一連の動作がステップ S46 の“NO”ステップ S48 の“NO”およびステップ S50 を経由してステップ S51 へ至ったのであれば、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、ステップ S52 またはステップ S53 において、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を“Bias2”に設定して仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ に修正する。

【0277】

このように、無線装置 i (= 無線装置 81) の組織化測位部 15A は、測定距離 $d_{ijk}(t)$ の信頼性の程度に応じて、演算距離 $d_{ist}(t)$ を測定距離 $d_{ijk}(t)$ に近づける度合を変化させて仮の自己位置 $w_i(t)$ を仮の自己位置 $w_i(t+1)$ へ修正する。

【0278】

また、図 11 および図 12 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 $x1 \sim xd$ の仮の自己位置 $w_{x1}(t) \sim w_{xd}(t)$ 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 S51, S52 参照)。

【0279】

ステップ S52 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 $x1 \sim xd$ (無線装置 91 ~ 96 の一部) の仮の自己位置 $w_{x1}(t) \sim w_{xd}(t)$ の全てを用いて演算された修正ベクトル $V_{x1}^{\{2\}}(t) \sim V_{xd}^{\{2\}}(t)$ の和 $V_{x1}^{\{2\}}(t) + V_{x2}^{\{2\}}(t) + \dots + V_{xd}^{\{2\}}(t)$ 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。

【0280】

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。

【0281】

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 yr (無線装置 82 ~ 87 のうちの 1 個の無線装置) の仮

10

20

30

40

50

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 S 5 1, S 5 3 参照)。

【0282】

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。

【0283】

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 8 1) の仮の自己位置 $w_i(t)$ を無線ネットワークシステム 10 A のトポロジ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。

10

【0284】

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。

【0285】

更に、図 1 1 および図 1 2 に示すフローチャートにおいては、無線装置 i (= 無線装置 8 1) は、自己から 1 ホップ内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 $w_i(t)$ を修正するのではなく、無線装置 8 2 ~ 8 7 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 S 3 5 ~ ステップ S 5 3 参照)。

20

【0286】

そして、一連の動作がステップ S 5 8 からステップ S 3 5 へ戻り、ステップ S 3 7 ~ ステップ S 4 3 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 8 1) は、無線装置 8 2 ~ 8 7 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。

【0287】

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。

【0288】

30

なお、図 1 1 および図 1 2 に示すフローチャートにおいては、無線装置 i (= 無線装置 8 1) は、自己から 1 ホップ内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 $w_i(t)$ を修正するようにしてもよい。

【0289】

この場合、図 1 1 および図 1 2 に示すフローチャートのステップ S 3 5, S 4 2 において、 $c = v (= 6)$ と設定すればよい。

【0290】

以下、図 1 1 および図 1 2 に示すフローチャートに従って無線装置 8 1 ~ 8 7, 9 1 ~ 9 6 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 7 に示す無線ネットワークシステム 10 A 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 7 に示す無線装置 8 1 ~ 8 7, 9 1 ~ 9 6 をランダムに配置したネットワークトポロジを定義する。

40

【0291】

また、距離検出部 1 4 A 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。

【0292】

更に、無線装置 8 1 が修正した仮の自己位置を近傍の無線装置 8 2 ~ 8 7 へ配信する間隔は、無線装置 8 2 ~ 8 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 8 1 ~ 8 7 ごとに 3 0 0 サイクルの仮の自己位置

50

の修正を行なった。

【0293】

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13および図14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。

【0294】

図13および図14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。

【0295】

従って、図13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14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。

【0296】

そして、図13に示す配置形態における三辺測量を「三辺測量1」とし、図14に示す配置形態における三辺測量を「三辺測量2」とする。

【0297】

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。

【0298】

【表1】

修正回数のしきい値 τ	30
誤差しきい値 θ	0.1
減衰定数 η	0.99
セルフバイアスのしきい値 ϕ_1	2.0
セルフバイアスのしきい値 ϕ_2	3.0
セルフバイアス Bias1	0.1
セルフバイアス Bias2	0.01

【0299】

そして、位置推定精度の評価関数は、次式によって定義された。

【0300】

【数17】

$$Errave = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |W_i - w_i(t)|^2} \quad \dots(17)$$

【0301】

なお、式(17)において、Nは、無線装置81～87、91～96の総数であり、 W_i は、無線装置i ($i = 81 \sim 87, 91 \sim 96$) の実際の位置である。

【0302】

図15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15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(17)によって定義される位置推定誤差の平均値を表す。

【0303】

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、黒三角は、従来の推定法による結果を示し、黒丸は、実施の形態 2 による結果を示す。ここで、従来の推定法とは、上述したセルフバイアス $Bias_i(t)$ を用いないで仮の自己位置 $w_i(t)$ を推定する方法を言う。即ち、演算距離 $d_{i_s t}(t)$ と測定距離 $d_{i_j k}(t)$ との関係に無関係にセルフバイアス $Bias_i(t)$ の値を常に “ 1 . 0 ” に設定して図 1 1 および図 1 2 に示すフローチャートに従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を推定する方法を言う。

【 0 3 0 4 】

なお、図 1 5 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、ライスファクター (Rice factor K) を 6 dB 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ポロジータンに関してシミュレーションを実施した。

10

【 0 3 0 5 】

従来の推定法においては、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、三辺測量 1 , 2 を用いた場合の位置推定誤差よりも大きい。従来の推定法では、無線装置の配置に大きく影響され、その無線装置の配置が実際の配置よりも大きくなり、測定距離の誤差に依存して振動するからである。

【 0 3 0 6 】

一方、実施の形態 2 による方法においては、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、三辺測量 1 , 2 を用いた場合の位置推定誤差よりも小さくなる。

20

【 0 3 0 7 】

図 1 6 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 1 6 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 (1 7) によって定義される位置推定誤差の平均値を表す。

【 0 3 0 8 】

図 1 6 に示すシミュレーションは、図 1 5 に示すシミュレーションにおいて、ライスファクター (Rice factor K) を 6 dB から - 6 dB へ変えたものであり、その他は、図 1 5 に示すシミュレーションと同じである。

【 0 3 0 9 】

ライスファクター (Rice factor K) が - 6 dB である場合、即ち、測定距離が大きな誤差を含む場合、三辺測量 1 , 2 の配置においては、それぞれ、3 0 . 7 % の無線装置および 4 1 . 7 % の無線装置が自己の位置を推定することができない。無線装置の位置を推定不可能な場合、無線装置が通信可能なアンカーノードの中心は、推定位置に配置される。従って、位置推定誤差の平均値は、三辺測量 1 , 2 の両方において、自然と大きくなる。従来の推定法を用いた場合も、無線装置の配置が実際の配置よりも大きくなり、測定距離の誤差に依存して振動するので、位置推定誤差の平均値は、大きくなる。

30

【 0 3 1 0 】

一方、実施の形態 2 による方法においては、測定距離の誤差が大きくなるにも拘わらず、位置推定誤差の平均値は、ライスファクター (Rice factor K) が 6 dB である場合に比べ、わずかに大きくなる程度であり、従来の推定法および三辺測量 1 , 2 に比べて明らかに小さい。

40

【 0 3 1 1 】

その結果、セルフバイアス $Bias_i(t)$ を用いることは、有効である。

【 0 3 1 2 】

図 1 7 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 1 7 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 1 3 】

また、黒丸は、ライスファクター (Rice factor K) が 6 dB である場合を示し、黒三角は、ライスファクター (Rice factor K) が - 6 dB である場合を示す。

50

【0314】

なお、図17に示すシミュレーションにおいては、無線装置の個数は、120個に設定され、通信可能距離は、0.2mに設定され、ライスファクター(Rice factor K)は、6dBまたは-6dBに設定された。また、無線装置の数毎に各無線装置をランダムに配置した50通りのネットワークポロジーに関してシミュレーションを実施した。

【0315】

このような条件の下では、各無線装置に隣接する無線装置の数は、数個であり、図15および図16において無線装置の数が5個である場合の位置推定に類似した現象が生じる。

10

【0316】

図15および図16においては、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、改善された。一方、図17においては、位置推定誤差の平均値は、アンカーノード数の増加に伴って改善される。

【0317】

通信可能距離が0.2mである場合、三辺測量1,2は、それぞれ、45個および47個のアンカーノードを必要とする。そして、ライスファクター(Rice factor K)が-6dBである場合、三辺測量1,2における位置推定誤差の平均値は、それぞれ、0.077および0.082であり、ライスファクター(Rice factor K)が6dBである場合、三辺測量1,2における位置推定誤差の平均値は、それぞれ、0.033および0.024である。

20

【0318】

図17に示す結果から、実施の形態2による方法においては、位置推定誤差の平均値は、ライスファクター(Rice factor K)が-6dBである場合、5個のアンカーノードで三辺測量1,2における位置推定誤差の平均値よりも低くなり、ライスファクター(Rice factor K)が6dBである場合、9個のアンカーノードで三辺測量1,2における位置推定誤差の平均値よりも低くなる。

【0319】

従って、実施の形態2による方法は、三辺測量1,2よりも少ないアンカーノード数を用いて無線装置の位置を正確に推定可能である。

30

【0320】

図18は、ライスファクター(Rice factor K)による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。図18において、横軸は、ライスファクター(Rice factor K)を表し、縦軸は、位置推定誤差の平均値を表す。

【0321】

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、黒三角は、従来の推定法による結果を示し、黒丸は、実施の形態2による結果を示す。

【0322】

更に、図18に示すシミュレーションにおいては、無線装置の個数は、50個に設定され、通信可能距離は、0.5mに設定された。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50通りのネットワークポロジーに関してシミュレーションを実施した。

40

【0323】

三辺測量1,2の両方においては、ライスファクター(Rice factor K)の減少に伴って、即ち、測定距離の誤差が大きくなるに伴って、位置推定誤差の平均値は、大きくなる。

【0324】

ライスファクター(Rice factor K)が5dBである場合、三辺測量1においては、約12%の無線装置は、位置推定が不可能であり、三辺測量2においては、約

50

4%の無線装置は、位置推定が不可能である。

【0325】

しかし、ライスファクター (Rice factor K) が 0 dB である場合、三辺測量 1 においては、約 34% の無線装置は、位置推定が不可能であり、三辺測量 2 においては、約 22% の無線装置は、位置推定が不可能である。

【0326】

従って、三辺測量 1, 2 の両方は、ライスファクター (Rice factor K) が 0 dB よりも小さい領域においては、有効に機能しない。

【0327】

図 18 においては、三辺測量 1, 2 の両方における位置推定誤差の平均値を示すカーブの曲率は、0 dB よりも小さくなるに従ってゆるやかになる。これは、無線装置が通信可能なアンカーノードの中心が位置推定が不可能な位置であり、置き換えられた位置が評価された位置における主になるからである。

【0328】

従来の推定法においては、位置推定誤差の平均値は、三辺測量 1, 2 よりも大きい。これは、上述した理由によるものである。

【0329】

実施の形態 2 による方法においては、ライスファクター (Rice factor K) が小さくなくても、位置推定誤差の平均値の増加は、他の方法に比べ小さく、良好な位置推定結果が得られる。従って、この結果は、セルフバイアス $Bias_i(t)$ が有効であることを示す。

【0330】

上記においては、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 $w_i(t)$ を修正するために、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 $w_x(t)$ ($x = 1 \sim 6$) 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 10A のトポロジを反映して無線装置 81 の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するために、無線装置 81 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。

【0331】

また、この発明においては、しきい値 θ は、無線ネットワークシステム 10A のトポロジ、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。

【0332】

しきい値 θ は、無線ネットワークシステム 10A のトポロジ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 θ は、当然、無線ネットワークシステム 10A のトポロジによって変化し得るからである。

【0333】

この発明においては、距離検出部 14A は、「距離保持手段」を構成する。

【0334】

また、図 11 および図 12 に示すフローチャートのステップ S35 ~ ステップ S56 は、「位置修正処理」を構成する。

【0335】

更に、図 11 および図 12 に示すフローチャートのステップ S35 ~ ステップ S53, S55, S56 は、「第 1 の位置修正処理」を構成し、図 11 および図 12 に示すフローチャートのステップ S35 ~ ステップ S52, S54 ~ S56 は、「第 2 の位置修正処理」を構成する。

【0336】

更に、図 11 および図 12 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。

10

20

30

40

50

【0337】

更に、図11および図12に示すフローチャートのステップS35～ステップS53，S55，S56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11および図12に示すフローチャートのステップS35～ステップS52，S54～S56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。

【0338】

更に、図11および図12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。

10

【0339】

更に、図11および図12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。

【0340】

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。

【0341】

更に、図11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12に示すフローチャートのステップS45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。

20

【0342】

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。

【0343】

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 $d_{i_{y_c}}(t)$ 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。

30

【0344】

更に、図12に示すフローチャートのステップS53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 $d_{i_{y_c}}(t)$ だけ移動するベクトルは、「第5のベクトル」を構成し、図12に示すフローチャートのステップS53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。

40

【0345】

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 $[(w_{y_c}(t) - w_{x_c}(t))d_{i_{y_c}}(t) / d_{y_{x_c}}(t)]$ は、「第9のベクトル」を構成する。

【0346】

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

【0347】

50

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

【0348】

その他は、実施の形態1と同じである。

【0349】

実施の形態2によれば、無線ネットワークシステム10Aを構成する無線装置81~87, 91~96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 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$, $w_{x1}(t) \sim w_{x6}(t)$ とに基づいて演算した演算距離 $d_{ist}(t)$ ($=d_{ixs}(t)$ または $d_{iys}(t)$)を測定距離 $d_{ijk}(t)$ ($=d_{iy}(t) + d_{yx}(t)$ または $d_{iy}(t)$)よりも信頼し、演算距離 $d_{ist}(t)$ 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。

10

【0350】

従って、この発明によれば、測定距離 $d_{ijk}(t)$ が誤差を含んでいても、無線装置の位置を自律的に正確に推定できる。

【0351】

また、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 $w_{x1}(t) \sim w_{x6}(t)$ 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)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 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ 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。

20

【0352】

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のトポロジー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 $w_{y1}(t) \sim w_{y6}(t)$ 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。

【0353】

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。

30

【0354】

更に、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 $w_{y1}(t) \sim w_{yd}(t)$, $w_{x1}(t) \sim w_{xd}(t)$ および測定距離 $d_{yx1}(t) \sim d_{yx1}(t)$ を受信して仮の自己位置 $w_i(t)$ を順次修正する。

【0355】

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。

【0356】

上述した実施の形態1, 2においては、距離検出部14, 14Aは、受信信号強度 P_r に基づいて、無線装置間の測定距離 d' ($=R1 \sim R12$)を検出し、組織化測位部15, 15Aは、距離検出部14, 14Aによって検出された測定距離 d' ($=R1 \sim R12$)を用いて図6に示すフローチャートまたは図11および図12に示すフローチャートに従って仮の自己位置 $w_i(t)$ を推定する。

40

【0357】

そして、この発明においては、演算距離 $d_{ist}(t)$ と測定距離 $d_{ijk}(t) = d' = R1 \sim R12$ との比較結果に応じて、演算距離 $d_{ist}(t)$ を測定距離 $d_{ijk}(t)$ に近づく度合をセルフバイアス $Bias_i(t)$ を用いて変化させ、仮の自己位置 $w_i(t)$ を推定する。

【0358】

この発明による位置の推定方法を用いた場合、電波環境の指標であるライスファクター

50

(Rice factor K)が6 dBおよび - 6 dBのいずれであっても、位置推定誤差の平均値は、図15および図16に示すように、従来の推定法および三辺測量1, 2に比べ、小さくなる。

【0359】

また、TOA法およびTDOA法を用いて無線装置間の測定距離を検出した場合、位置推定誤差の平均値は、ライスファクター(Rice factor K)が6 dBである場合の位置推定誤差の平均値とほぼ同じになるので、組織化測位部15, 15Aは、TOA法またはTDOA法によって検出された測定距離を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を推定しても、位置推定誤差の平均値は、小さくなる。従って、距離検出部14, 14Aは、受信信号強度 P_r に基づいて測定距離を検出する方法のみならず、TOA法、TDOA法およびRTOF(Roundtrip Time Of Flight)法のいずれかを用いて測定距離を検出してよい。

10

【0360】

TOA法によって無線装置1, 2間の測定距離を検出する場合、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検出部14, 14Aへ出力する。距離検出部14, 14Aは、無線ネットワークシステム10, 10A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、距離検出部14, 14A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。

20

【0361】

距離検出部14, 14Aは、同様にして、無線装置1と、無線装置3~7のそれぞれの距離 $R_2 \sim R_6$ を測定する。

【0362】

また、距離検出部14, 14Aは、TDOA法を用いて測定距離 $R_1 \sim R_{12}$ を検出する場合、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検出する。

【0363】

更に、距離検出部14, 14Aは、RTOFを用いて測定距離 $R_1 \sim R_{12}$ を検出する場合、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検出する。

30

【0364】

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】

【0365】

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。

40

【図面の簡単な説明】

【0366】

【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。

【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】受信信号強度を用いて検出された測定距離の分布図である。

【図6】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

50

ャートである。

【図7】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8】図7に示す無線装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図9】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。

【図10】式(12)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11】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12】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13】三辺測量における無線装置の第1の配置図である。

【図14】三辺測量における無線装置の第2の配置図である。

【図15】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16】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17】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。

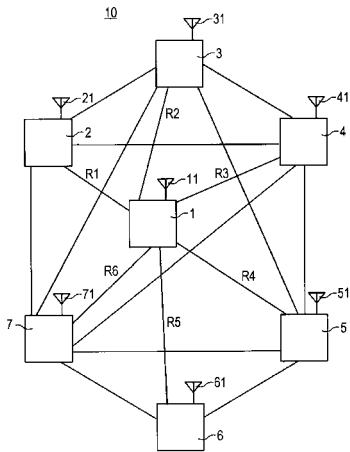
【図18】ライスファクター(Rice factor K)による位置推定誤差の平均値の変化を示す図である。

【符号の説明】

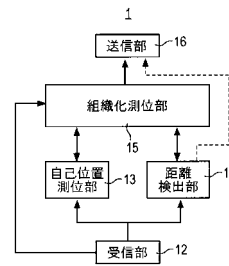
【0367】

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 距離検出部、15, 15A 組織化測位部、16 送信部。

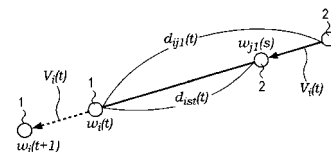
【図1】



【図2】



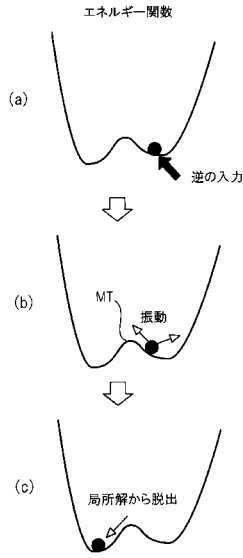
【図3】



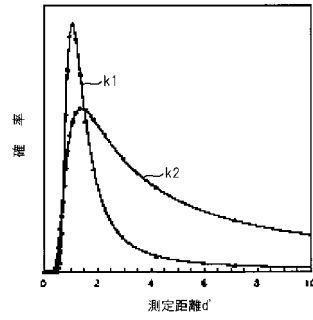
10

20

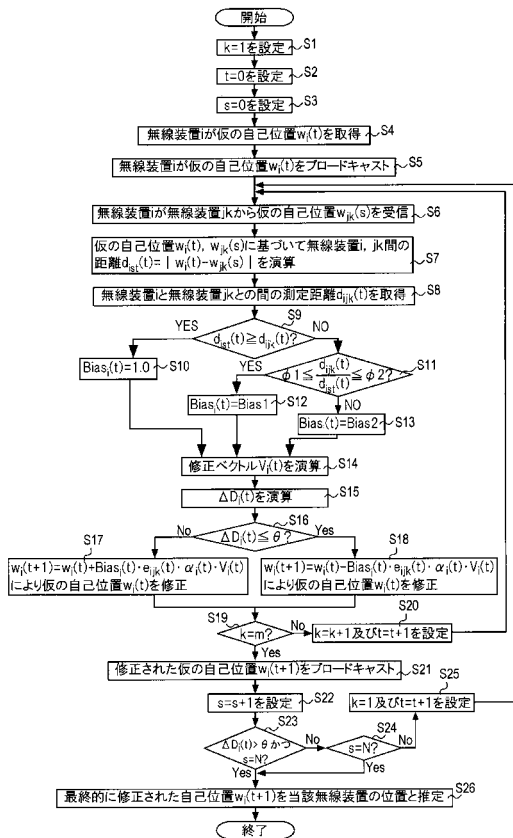
【図4】



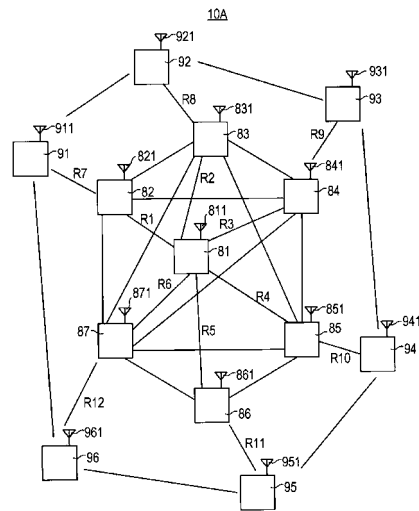
【図5】



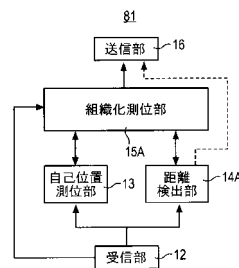
【図6】



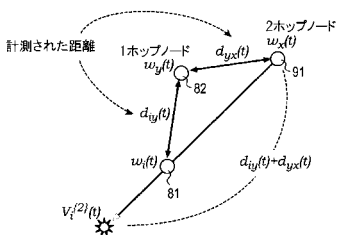
【図7】



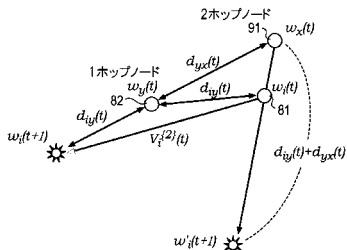
【図8】



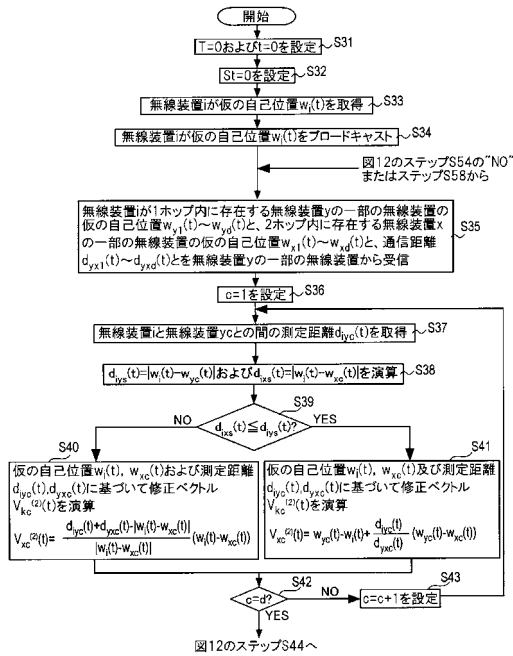
【図9】



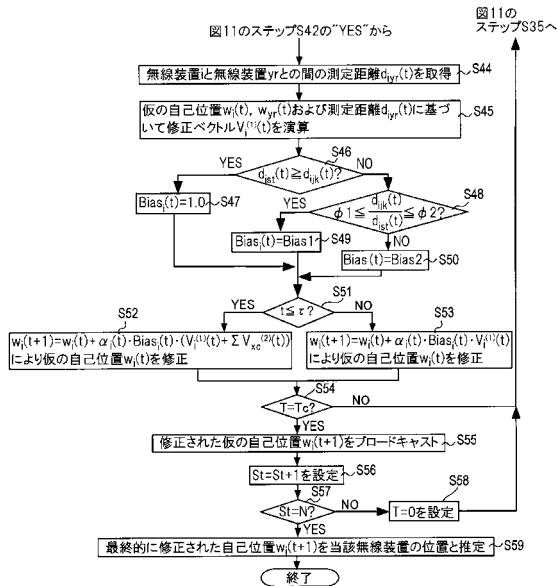
【図10】



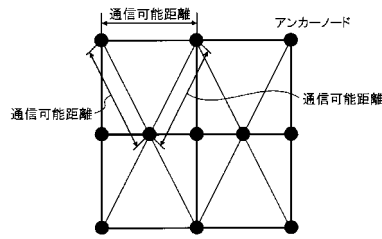
【図11】



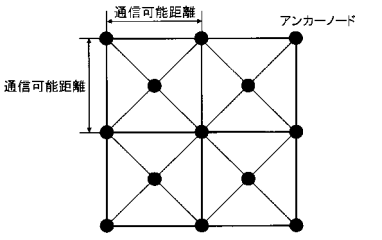
【図12】



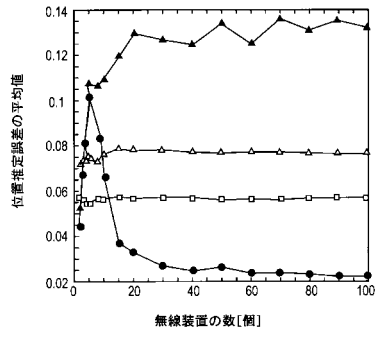
【図13】



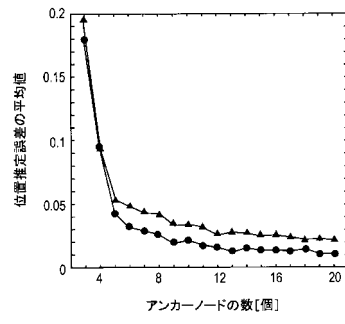
【図14】



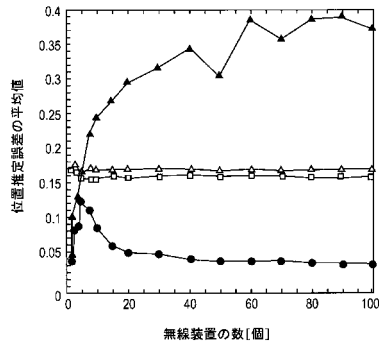
【図 15】



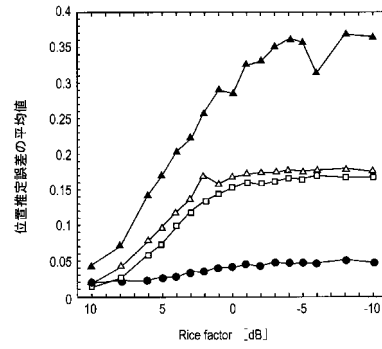
【図 17】



【図 16】



【図 18】



フロントページの続き

- (72)発明者 川合 誠
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 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 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 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 戸次 一夫

- (56)参考文献 特表2005-535886(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0233748(US,A1)
特開平08-070305(JP,A)
特開2004-179846(JP,A)
特表2005-510172(JP,A)
特開2006-003187(JP,A)
特開2007-248362(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 5/00 - 5/14、
19/00 - 19/55、
H04B 7/24 - 7/26、
H04W 4/00 - 99/00