

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-108257
(P2017-108257A)

(43) 公開日 平成29年6月15日(2017.6.15)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
 HO4W 64/00 (2009.01) HO4W 64/00 130 5K067
 HO4W 64/00 173

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 38 頁)

(21) 出願番号	特願2015-239884 (P2015-239884)	(71) 出願人	399030060
(22) 出願日	平成27年12月9日 (2015.12.9)		
		(74) 代理人	100125704
			弁理士 坂根 剛
		(74) 代理人	100104444
			弁理士 上羽 秀敏
		(74) 代理人	100112715
			弁理士 松山 隆夫
		(74) 代理人	100120662
			弁理士 川上 桂子
		(72) 発明者	滝沢 泰久
			大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学環境都市工学部内

最終頁に続く

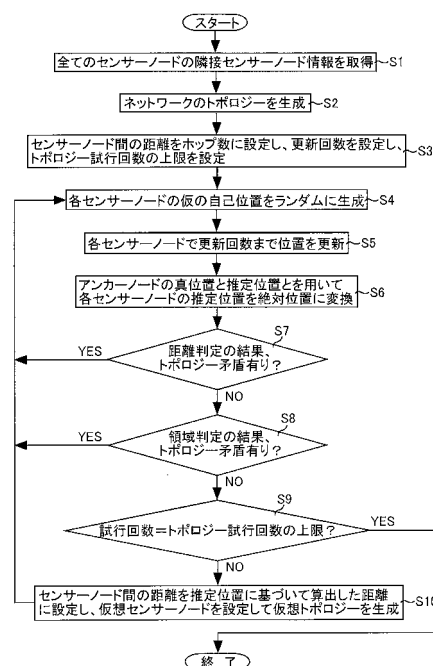
(54) 【発明の名称】 位置推定装置、位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 各無線装置の位置を高精度に推定可能な位置推定装置を提供する。

【解決手段】 位置推定装置は、センサーノードのトポロジを生成し(ステップS2)、各センサーノードの仮の自己位置を生成し(ステップS4)、各センサーノードの位置を更新回数まで更新する(ステップS5)。そして、位置推定装置は、トポロジー矛盾の有無を距離判定および領域判定を用いて判定し(ステップS7、S8)、トポロジー矛盾が無いと判定されると、センサーノード間の距離を推定位置に基づいて算出した距離に設定し、仮想センサーノードを追加して仮想トポロジーを生成し(ステップS10)、仮想トポロジーを用いて各センサーノードの位置を更新回数まで更新する(ステップS5)。位置推定装置は、上記の処理を試行回数の上限まで繰り返し実行する。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1つの無線装置から1ホップの位置に存在する1次近傍無線装置の情報である隣接無線装置情報を m (m は、4以上の整数)個の無線装置の各々から取得する取得手段と、

前記 m 個の無線装置についての隣接無線装置情報に基づいて前記 m 個の無線装置によって構成される無線ネットワークのトポロジーを生成するトポロジー生成手段と、

前記 m 個の無線装置の仮の自己位置を示す m 個の仮の自己位置情報を生成する位置情報生成処理を行う位置情報生成手段と、

前記位置情報生成手段によって前記位置情報生成処理が実行されると、前記無線ネットワークのトポロジーおよび前記 m 個の仮の自己位置情報に基づいて前記 m 個の無線装置の各々について位置推定処理を所望回数実行して m 個の無線装置の位置を更新する更新処理を行う位置更新手段と、

前記位置更新手段によって前記更新処理が実行されると、1つの無線装置の推定された位置が前記1つの無線装置の隣接無線装置よりも前記1つの無線装置から2ホップの位置に存在する2次近傍無線装置に近いことを示すトポロジー矛盾の有無を領域判定処理によって判定する判定処理を行う判定手段と、

前記判定手段によって前記トポロジー矛盾が無いと判定されると、前記 m 個の無線装置の更新された m 個の更新位置を用いて n (n は1以上の整数)ホップの無線装置間の距離、前記 n ホップの無線装置間の距離の平均値および前記 n ホップの無線装置間の距離の期待値を演算する演算手段と、

前記演算手段によって演算された n ホップの無線装置間の距離の平均値と n ホップの無線装置間の距離の期待値とに基づいて前記 m 個の無線装置のうちの位置推定の対象となる対象無線装置から n ホップ目までの各位置における無線通信のカバレッジを求め、追加された仮想の無線装置の隣接無線装置情報と前記 m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とを前記カバレッジを用いて作成し、その作成した仮想の無線装置の隣接無線装置情報と前記 m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とを用いて前記無線ネットワークの仮想トポロジーを生成する仮想トポロジー生成手段とを備え、

前記位置情報生成手段は、前記判定手段によって前記トポロジー矛盾があると判定される毎、または前記仮想トポロジー生成手段によって前記仮想トポロジーが生成される毎に前記位置情報生成処理を実行し、

前記位置推定処理は、位置推定の対象となる対象無線装置の仮の自己位置情報と前記対象無線装置から n ホップの位置に存在する n 次近傍無線装置の仮の自己位置情報とに基づいて計算された前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の距離が n ホップのホップ数からなる距離に近づくように前記対象無線装置の仮の自己位置を前記対象無線装置からのホップ数 n に応じてそれぞれ修正するための1次修正ベクトル、2次修正ベクトル、 \dots 及び n 次修正ベクトルからなる n 個の修正ベクトルを、1次修正ベクトルと n 次修正ベクトルとからなる第1番目の修正ベクトル、1次修正ベクトルと $n-1$ 次修正ベクトルとからなる第2番目の修正ベクトル、 \dots 、1次修正ベクトルと2次修正ベクトルとからなる第 $n-1$ 番目の修正ベクトルの順に適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する処理であり、

前記領域判定処理は、前記対象無線装置の推定された位置と前記対象無線装置の1次近傍無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として前記対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が前記対象無線装置および前記対象無線装置の1次近傍無線装置のいずれに近いかを判定し、当該判定に引き続いて、前記対象無線装置と前記対象無線装置の2次近傍無線装置との共通の1次近傍無線装置の推定された位置と前記対象無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として前記対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が前記対象無線装置および前記共通の1次近傍無線装置のいずれに近いかを前記共通の1次近傍無線装置を複数回変えて判定する処理であり、

前記位置更新手段は、前記仮想トポロジー生成手段によって前記仮想トポロジーが生成

10

20

30

40

50

されると、前記位置推定処理において、前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の距離が前記演算手段によって演算された前記 n ホップの無線装置間の距離に近づくように前記第 1 番目の修正ベクトル、前記第 2 番目の修正ベクトル、 \dots 、前記第 $n - 1$ 番目の修正ベクトルを順次適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する、位置推定装置。

【請求項 2】

前記判定手段は、距離矛盾判定処理および前記領域判定処理を順次適用して前記トポロジー矛盾の有無を判定し、

前記距離矛盾判定処理は、前記対象無線装置の複数の 1 次近傍無線装置と複数の 2 次近傍無線装置とを用いて、前記対象無線装置の推定された位置が前記対象無線装置の 1 次近傍無線装置よりも前記対象無線装置の 2 次近傍無線装置に近いと判定されたとき、トポロジー矛盾があると判定する処理である、請求項 1 に記載の位置推定装置。

10

【請求項 3】

前記 m 個の無線装置のうち、 k (k は 3 以上の整数または 4 以上の整数) 個の無線装置の k 個の絶対位置情報に基づいて相対位置を絶対位置に変換するための変換行列を求め、その求めた変換行列を用いて前記 m 個の無線装置の推定された位置を絶対位置に変換する変換手段を更に備える、請求項 1 または請求項 2 に記載の位置推定装置。

【請求項 4】

前記 m 個の仮の自己位置情報の各々は、2 次元の位置情報からなる、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の位置推定装置。

20

【請求項 5】

前記 m 個の仮の自己位置情報の各々は、3 次元の位置情報からなる、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の位置推定装置。

【請求項 6】

m (m は、4 以上の整数) 個の無線装置の位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

取得手段が、1 つの無線装置から 1 ホップの位置に存在する 1 次近傍無線装置の情報である隣接無線装置情報を m (m は、4 以上の整数) 個の無線装置の各々から取得する第 1 のステップと、

トポロジー生成手段が、前記 m 個の無線装置についての隣接無線装置情報に基づいて前記 m 個の無線装置によって構成される無線ネットワークのトポロジーを生成する第 2 のステップと、

30

位置情報生成手段が、前記 m 個の無線装置の仮の自己位置を示す m 個の仮の自己位置情報を生成する位置情報生成処理を行う第 3 のステップと、

位置更新手段が、前記第 3 のステップにおいて前記位置情報生成処理が実行されると、前記無線ネットワークのトポロジーおよび前記 m 個の仮の自己位置情報に基づいて前記 m 個の無線装置の各々について位置推定処理を所望回数実行して m 個の無線装置の位置を更新する更新処理を行う第 4 のステップと、

判定手段が、前記第 4 のステップにおいて前記更新処理が実行されると、1 つの無線装置の推定された位置が前記 1 つの無線装置の隣接無線装置よりも前記 1 つの無線装置から 2 ホップの位置に存在する 2 次近傍無線装置に近いことを示すトポロジー矛盾の有無を領域判定処理によって判定する判定処理を行う第 5 のステップと、

40

演算手段が、前記第 5 のステップにおいて前記トポロジー矛盾が無いと判定されると、前記 m 個の無線装置の更新された m 個の更新位置を用いて n (n は 1 以上の整数) ホップの無線装置間の距離、前記 n ホップの無線装置間の距離の平均値および前記 n ホップの無線装置間の距離の期待値を演算する第 6 のステップと、

仮想トポロジー生成手段が、前記第 6 のステップにおいて演算された n ホップの無線装置間の距離の平均値と n ホップの無線装置間の距離の期待値とに基づいて前記 m 個の無線装置のうちの位置推定の対象となる対象無線装置から n ホップ目までの各位置における無線通信のカバレージを求め、追加された仮想の無線装置の隣接無線装置情報と前記 m 個の

50

無線装置の更新された隣接無線装置情報とを前記カバレッジを用いて作成し、その作成した仮想の無線装置の隣接無線装置情報と前記 m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とを用いて前記無線ネットワークの仮想トポロジを生成する第 7 のステップとを備え、

前記位置情報生成手段は、前記第 5 のステップにおいて前記トポロジ矛盾が有ると判定される毎、または前記第 7 のステップにおいて前記仮想トポロジが生成される毎に前記位置情報生成処理を実行し、

前記位置推定処理は、前記対象無線装置の仮の自己位置情報と前記対象無線装置から n ホップの位置に存在する n 次近傍無線装置の仮の自己位置情報とに基づいて計算された前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の距離が n ホップのホップ数からなる距離に近づくように前記対象無線装置の仮の自己位置を前記対象無線装置からのホップ数 n に応じてそれぞれ修正するための 1 次修正ベクトル、2 次修正ベクトル、 \dots 及び n 次修正ベクトルからなる n 個の修正ベクトルを、1 次修正ベクトルと n 次修正ベクトルとからなる第 1 番目の修正ベクトル、1 次修正ベクトルと $n - 1$ 次修正ベクトルとからなる第 2 番目の修正ベクトル、 \dots 、1 次修正ベクトルと 2 次修正ベクトルとからなる第 $n - 1$ 番目の修正ベクトルの順に適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する処理であり、

前記領域判定処理は、前記対象無線装置の推定された位置と前記対象無線装置の 1 次近傍無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として前記対象無線装置の 2 次近傍無線装置の推定された位置が前記対象無線装置および前記対象無線装置の 1 次近傍無線装置のいずれに近いかを判定し、当該判定に引き続いて、前記対象無線装置と前記対象無線装置の 2 次近傍無線装置との共通の 1 次近傍無線装置の推定された位置と前記対象無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として前記対象無線装置の 2 次近傍無線装置の推定された位置が前記対象無線装置および前記共通の 1 次近傍無線装置のいずれに近いかを前記共通の 1 次近傍無線装置を複数回変えて判定する処理であり、

前記位置更新手段は、前記第 7 のステップにおいて前記仮想トポロジが生成されると、前記第 4 のステップの前記位置推定処理において、前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の距離が前記第 6 のステップにおいて演算された前記 n ホップの無線装置間の距離に近づくように前記第 1 番目の修正ベクトル、前記第 2 番目の修正ベクトル、 \dots 、前記第 $n - 1$ 番目の修正ベクトルを順次適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する、コンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 7】

前記判定手段は、前記第 5 のステップにおいて、距離矛盾判定処理および前記領域判定処理を順次適用して前記トポロジ矛盾の有無を判定し、

前記距離矛盾判定処理は、前記対象無線装置の複数の 1 次近傍無線装置と複数の 2 次近傍無線装置とを用いて、前記対象無線装置の推定された位置が前記対象無線装置の 1 次近傍無線装置よりも前記対象無線装置の 2 次近傍無線装置に近いと判定されたとき、トポロジ矛盾があると判定する処理である、請求項 6 に記載のコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 8】

変換手段が、前記 m 個の無線装置のうち、 k (k は 3 以上の整数または 4 以上の整数) 個の無線装置の k 個の絶対位置情報に基づいて相対位置を絶対位置に変換するための変換行列を求め、その求めた変換行列を用いて前記 m 個の無線装置の推定された位置を絶対位置に変換する第 8 のステップを更にコンピュータに実行させる、請求項 6 または請求項 7 に記載のコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 9】

前記 m 個の仮の自己位置情報の各々は、2 次元の位置情報からなる、請求項 6 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載のコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 10】

前記 m 個の仮の自己位置情報の各々は、3次元の位置情報からなる、請求項 6 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載のコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 11】

請求項 6 から請求項 10 のいずれか一項に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、位置推定装置、位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

無線センサーネットワークにおいて、センシングデータの取得位置は、重要な情報である。従来、センサーノードの位置を推定する方式として、自己組織化マップ (SOM) を用いたセンサーノード位置推定方式 (SOL: Self-Organizing Localization) が知られている (非特許文献 1)。

【0003】

SOL は、極少数のアンカーノードを使用し、測距デバイスを用いずに、高精度な位置推定が可能であり、障害物による見通し内 (LOS: Line-Of-Sight) と見通し外 (NLOS: Non-Line-Of-Sight) が混在する環境においても従来方式と比較して位置精度の劣化が少ない。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】高島 優斗、北之馬 貴正、安達 直世、滝沢 泰久，“NLOS 混在環境における無線ネットワークの集約型自己組織化ノード位置推定方式”，情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS)，Vol. 2015 - DPS - 162，No. 18，pp. 1 - 6，2015。

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、SOL では、位置推定の対象となる対象センサーノードの推定位置が対象センサーノードから 1 ホップの位置に存在する 1 次近傍ノードよりも対象センサーノードから 2 ホップの位置に存在する 2 次近傍ノードに近くなるトポロジー矛盾を十分に解決できないため、各センサーノードの位置を高精度に推定することが困難である。

【0006】

そこで、この発明の実施の形態によれば、各無線装置の位置を高精度に推定可能な位置推定装置を提供する。

【0007】

40

また、この発明の実施の形態によれば、各無線装置の高精度な位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムを提供する。

【0008】

さらに、この発明の実施の形態によれば、各無線装置の高精度な位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この発明の実施の形態によれば、位置推定装置は、取得手段と、トポロジー生成手段と、位置情報生成手段と、位置更新手段と、判定手段と、演算手段と、仮想トポロジー生成

50

手段とを備える。

【0010】

取得手段は、1つの無線装置から1ホップの位置に存在する1次近傍無線装置の情報である隣接無線装置情報を m (m は、4以上の整数)個の無線装置の各々から取得する。トポロジー生成手段は、 m 個の無線装置についての隣接無線装置情報に基づいて m 個の無線装置によって構成される無線ネットワークのトポロジーを生成する。位置情報生成手段は、 m 個の無線装置の仮の自己位置を示す m 個の仮の自己位置情報を生成する位置情報生成処理を行う。位置更新手段は、位置情報生成手段によって位置情報生成処理が実行されると、無線ネットワークのトポロジーおよび m 個の仮の自己位置情報に基づいて m 個の無線装置の各々について位置推定処理を所望回数実行して m 個の無線装置の位置を更新する更新処理を行う。判定手段は、位置更新手段によって更新処理が実行されると、1つの無線装置の推定された位置が1つの無線装置の隣接無線装置よりも1つの無線装置から2ホップの位置に存在する2次近傍無線装置に近いことを示すトポロジー矛盾の有無を領域判定処理によって判定する判定処理を行う。演算手段は、判定手段によってトポロジー矛盾が無いと判定されると、 m 個の無線装置の更新された m 個の更新位置を用いて n (n は1以上の整数)ホップの無線装置間の距離、 n ホップの無線装置間の距離の平均値および n ホップの無線装置間の距離の期待値を演算する。仮想トポロジー生成手段は、演算手段によって演算された n ホップの無線装置間の距離の平均値と n ホップの無線装置間の距離の期待値とに基づいて m 個の無線装置のうちの位置推定の対象となる対象無線装置から n ホップ目までの各位置における無線通信のカバレッジを求め、追加された仮想の無線装置の隣接無線装置情報と m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とをカバレッジを用いて作成し、その作成した仮想の無線装置の隣接無線装置情報と m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とを用いて無線ネットワークの仮想トポロジーを生成する。

10

20

【0011】

そして、位置情報生成手段は、判定手段によってトポロジー矛盾があると判定される毎、または仮想トポロジー生成手段によって仮想トポロジーが生成される毎に位置情報生成処理を実行する。位置推定処理は、位置推定の対象となる対象無線装置の仮の自己位置情報と前記対象無線装置から n ホップの位置に存在する n 次近傍無線装置の仮の自己位置情報とに基づいて計算された対象無線装置と n 次近傍無線装置との間の距離が n ホップのホップ数からなる距離に近づくように対象無線装置の仮の自己位置を対象無線装置からのホップ数 n に応じてそれぞれ修正するための1次修正ベクトル、2次修正ベクトル、・・・及び n 次修正ベクトルからなる n 個の修正ベクトルを、1次修正ベクトルと n 次修正ベクトルとからなる第1番目の修正ベクトル、1次修正ベクトルと $n-1$ 次修正ベクトルとからなる第2番目の修正ベクトル、・・・、1次修正ベクトルと2次修正ベクトルとからなる第 $n-1$ 番目の修正ベクトルの順に適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する処理である。

30

【0012】

領域判定処理は、対象無線装置の推定された位置と対象無線装置の1次近傍無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が対象無線装置および対象無線装置の1次近傍無線装置のいずれに近いかを判定し、当該判定に引き続いて、対象無線装置と対象無線装置の2次近傍無線装置との共通の1次近傍無線装置の推定された位置と対象無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が対象無線装置および共通の1次近傍無線装置のいずれに近いかを共通の1次近傍無線装置を複数回変えて判定する処理である。

40

【0013】

位置更新手段は、仮想トポロジー生成手段によって仮想トポロジーが生成されると、位置推定処理において、対象無線装置と n 次近傍無線装置との間の距離が演算手段によって演算された n ホップの無線装置間の距離に近づくように第1番目の修正ベクトル、第2番目の修正ベクトル、・・・、第 $n-1$ 番目の修正ベクトルを順次適用して対象無線装置の

50

仮の自己位置を推定する。

【0014】

また、この発明の実施の形態によれば、コンピュータに実行させるためのプログラムは、 m (m は、4以上の整数)個の無線装置の位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、取得手段が、1つの無線装置から1ホップの位置に存在する1次近傍無線装置の情報である隣接無線装置情報を m (m は、4以上の整数)個の無線装置の各々から取得する第1のステップと、トポロジー生成手段が、 m 個の無線装置についての隣接無線装置情報に基づいて m 個の無線装置によって構成される無線ネットワークのトポロジーを生成する第2のステップと、位置情報生成手段が、 m 個の無線装置の仮の自己位置を示す m 個の仮の自己位置情報を生成する位置情報生成処理を行う第3のステップと、位置更新手段が、第3のステップにおいて位置情報生成処理が実行されると、無線ネットワークのトポロジーおよび m 個の仮の自己位置情報に基づいて m 個の無線装置の各々について位置推定処理を所望回数実行して m 個の無線装置の位置を更新する更新処理を行う第4のステップと、判定手段が、第4のステップにおいて更新処理が実行されると、1つの無線装置の推定された位置が1つの無線装置の隣接無線装置よりも1つの無線装置から2ホップの位置に存在する2次近傍無線装置に近いことを示すトポロジー矛盾の有無を領域判定処理によって判定する判定処理を行う第5のステップと、演算手段が、第5のステップにおいてトポロジー矛盾が無いと判定されると、 m 個の無線装置の更新された m 個の更新位置を用いて n (n は1以上の整数)ホップの無線装置間の距離、 n ホップの無線装置間の距離の平均値および n ホップの無線装置間の距離の期待値を演算する第6のステップと、仮想トポロジー生成手段が、第6のステップにおいて演算された n ホップの無線装置間の距離の平均値と n ホップの無線装置間の距離の期待値とに基づいて m 個の無線装置のうちの位置推定の対象となる対象無線装置から n ホップ目までの各位置における無線通信のカバレッジを求め、追加された仮想の無線装置の隣接無線装置情報と m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とをカバレッジを用いて作成し、その作成した仮想の無線装置の隣接無線装置情報と m 個の無線装置の更新された隣接無線装置情報とを用いて無線ネットワークの仮想トポロジーを生成する第7のステップとを備え、位置情報生成手段は、第5のステップにおいてトポロジー矛盾があると判定される毎、または第7のステップにおいて仮想トポロジーが生成される毎に位置情報生成処理を実行し、位置推定処理は、対象無線装置の仮の自己位置情報と対象無線装置から n ホップの位置に存在する n 次近傍無線装置の仮の自己位置情報とに基づいて計算された対象無線装置と n 次近傍無線装置との間の距離が n ホップのホップ数からなる距離に近づくように対象無線装置の仮の自己位置を対象無線装置からのホップ数 n に応じてそれぞれ修正するための1次修正ベクトル、2次修正ベクトル、・・・及び n 次修正ベクトルからなる n 個の修正ベクトルを、1次修正ベクトルと n 次修正ベクトルとからなる第1番目の修正ベクトル、1次修正ベクトルと $n-1$ 次修正ベクトルとからなる第2番目の修正ベクトル、・・・、1次修正ベクトルと2次修正ベクトルとからなる第 $n-1$ 番目の修正ベクトルの順に適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する処理であり、領域判定処理は、対象無線装置の推定された位置と対象無線装置の1次近傍無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が対象無線装置および対象無線装置の1次近傍無線装置のいずれに近いかを判定し、当該判定に引き続いて、対象無線装置と対象無線装置の2次近傍無線装置との共通の1次近傍無線装置の推定された位置と対象無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が対象無線装置および共通の1次近傍無線装置のいずれに近いかを共通の1次近傍無線装置を複数回変えて判定する処理であり、位置更新手段は、第7のステップにおいて仮想トポロジーが生成されると、第4のステップの位置推定処理において、対象無線装置と n 次近傍無線装置との間の距離が第6のステップにおいて演算された n ホップの無線装置間の距離に近づくように第1番目の修正ベクトル、第2番目の修正ベクトル、・・・、第 $n-1$ 番目の修正ベクトルを順次適用して対象無線装置の仮の自己位置を推定する、コンピュータに実行させるためのプログラムである。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

さらに、この発明の実施の形態によれば、コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、請求項6から請求項10のいずれか一項に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 6 】

この発明の実施の形態によれば、領域判定を用いてトポロジーの折れ曲がりによるトポロジー矛盾の有無を検出し、トポロジー矛盾があると、そのトポロジー矛盾が無いようにm個の無線装置の位置を推定するので、m個の無線装置の位置を高精度に推定できる。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 この発明の実施の形態による無線ネットワークの構成を示す概略図である。

【 図 2 】 図 1 に示すセンサーノードの構成を示す概略図である。

【 図 3 】 図 1 に示すシンクの構成を示す概略図である。

【 図 4 】 図 1 に示す位置推定装置の構成を示す概略図である。

【 図 5 】 トポロジー矛盾を示す概念図である。

【 図 6 】 領域判定を説明するための概念図である。

【 図 7 】 推定カバレッジの概念図である。

【 図 8 】 ホップ数とセンサーノード間の距離の期待値との関係を示す図である。

【 図 9 】 カバレッジRを用いて仮想センサーノードの隣接センサーノード情報の作成および実センサーノードの隣接センサーノード情報の更新を行う方法を説明するための図である。

20

【 図 1 0 】 図 1 に示す位置推定装置におけるセンサーノードの位置の推定方法を説明するためのフローチャートである。

【 図 1 1 】 図 1 0 に示すステップS10の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。

【 図 1 2 】 位置推定の誤りの平均とセンサーノードの個数との関係を示す図である。

【 図 1 3 】 距離のエラーとセンサーノードの個数との関係を示す図である。

【 図 1 4 】 シミュレーションの諸元を示す図である。

【 図 1 5 】 本発明の実施の形態による位置推定方法におけるパラメータ諸元を示す図である。

30

【 図 1 6 】 通信回数とセンサーノードの個数との関係を示す図である。

【 図 1 7 】 障害物により構成されるネットワークのトポロジーの形状を示す図である。

【 図 1 8 】 C型トポロジーにおける相対位置評価と絶対位置評価を示す図である。

【 図 1 9 】 L型トポロジーにおける相対位置評価と絶対位置評価を示す図である。

【 図 2 0 】 H型トポロジーにおける相対位置評価と絶対位置評価を示す図である。

【 図 2 1 】 O型トポロジーにおける相対位置評価と絶対位置評価を示す図である。

【 図 2 2 】 C型トポロジーにおけるアンカーノードの個数に応じたDV-hopの位置推定誤差を示す図である。

【 図 2 3 】 C型トポロジーにおけるオリジナルのトポロジーと本発明の位置推定方法とDV-hopそれぞれの推定トポロジーを示す図である。

40

【 図 2 4 】 L型トポロジーにおけるオリジナルのトポロジーと本発明の位置推定方法とDV-hopそれぞれの推定トポロジーを示す図である。

【 図 2 5 】 H型トポロジーにおけるオリジナルのトポロジーと本発明の位置推定方法とDV-hopそれぞれの推定トポロジーを示す図である。

【 図 2 6 】 O型トポロジーにおけるオリジナルのトポロジーと本発明の位置推定方法とDV-hopそれぞれの推定トポロジーを示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

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

50

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。

【0019】

図1は、この発明の実施の形態による無線ネットワークの構成を示す概略図である。図1を参照して、この発明の実施の形態による無線ネットワーク10は、センサーノード1~7と、シンク8とを備える。

【0020】

センサーノード1~7のうちの3個のセンサーノードは、アンカーノードである。センサーノード1~7は、無線通信空間に配置される。センサーノード1~7の各々は、温度、湿度、および回転速度等のセンサー値を検出し、その検出したセンサー値を無線通信によってシンク8へ送信する。

10

【0021】

また、センサーノード1~7の各々は、自己の識別情報(例えば、アドレス)を含む広告パケットを生成し、その生成した広告パケットをブロードキャストする。そして、センサーノード1~7の各々は、他のセンサーノードから広告パケットを受信すると、その受信した広告パケットに含まれる識別情報を検出する。この場合、センサーノード1~7の各々は、複数の広告パケットを受信した場合、複数の広告パケットから複数の識別情報を検出する。

【0022】

そうすると、センサーノード1~7の各々は、その検出した少なくとも1つの識別情報からなる識別情報リストを作成し、その作成した識別情報リストと自己の識別情報とを対応付けた隣接センサーノード情報を生成し、その生成した隣接センサーノード情報を含むパケットPKT_DTGを生成してシンク8へ送信する。この隣接センサーノード情報は、各センサーノード1~7が他のセンサーノードから直接受信した広告パケットから検出した識別情報を含むので、各センサーノード1~7から1ホップの位置に存在するセンサーノードの情報を示す。

20

【0023】

なお、図1においては、センサーノード1~7の全てがパケットPKT_DTGをシンク8へ直接送信するように図示しているが、パケットPKT_DTGがセンサーノード1~7からシンク8へ直接送信できない場合、センサーノード1~7からのパケットPKT_DTGをマルチホップでシンク8へ送信する。

30

【0024】

シンク8は、センサーノード1~7の各々からパケットPKT_DTGを受信し、その受信したパケットPKT_DTGから隣接センサーノード情報を検出し、その検出した隣接センサーノード情報を位置推定装置9へ送信する。

【0025】

位置推定装置9は、例えば、クラウド上に設置される。そして、位置推定装置9は、シンク8から隣接センサーノード情報を受信する。これによって、位置推定装置9は、センサーノード1~7の全てから隣接センサーノード情報を取得する。位置推定装置9は、隣接センサーノード情報を取得すると、その取得した隣接センサーノード情報に基づいて、センサーノード1~7の配置関係を示すトポロジーを作成する。その後、位置推定装置9は、その作成したトポロジーに基づいて、後述する方法によってセンサーノード1~7の位置を推定する。

40

【0026】

図2は、図1に示すセンサーノード1の構成を示す概略図である。図2を参照して、センサーノード1は、アンテナ11と、送受信部12と、制御部13とを含む。なお、図2においては、センサーノード1が搭載するセンサーを図示していないが、センサーノード1は、センサーを搭載している。

【0027】

送受信部12は、アンテナ11を介して広告パケットを受信し、その受信した広告パケットを制御部13へ出力する。

50

【 0 0 2 8 】

また、送受信部 1 2 は、センサーノード 1 の識別情報を含む広告パケットを制御部 1 3 から受けると、その受けた広告パケットをアンテナ 1 1 を介してブロードキャストする。

【 0 0 2 9 】

さらに、送受信部 1 2 は、隣接センサーノード情報を含むパケット P K T _ D T G を制御部 1 3 から受けると、その受けたパケット P K T _ D T G をアンテナ 1 1 を介してシンク 8 へ送信する。

【 0 0 3 0 】

制御部 1 3 は、センサーノード 1 の識別情報 A d d r e s s 1 を予め保持している。制御部 1 3 は、識別情報 A d d r e s s 1 を含む広告パケットを生成し、その生成した広告パケットを送受信部 1 2 へ出力する。

10

【 0 0 3 1 】

制御部 1 3 は、送受信部 1 2 から広告パケットを受けると、その受けた広告パケットから識別情報を検出する。例えば、センサーノード 1 がセンサーノード 2 , 4 , 5 から広告パケットを受信した場合、制御部 1 3 は、3 個の広告パケットからそれぞれ識別情報 A d d r e s s 2 , A d d r e s s 4 , A d d r e s s 5 を検出する。そして、制御部 1 3 は、識別情報 A d d r e s s 1 と識別情報 A d d r e s s 2 , A d d r e s s 4 , A d d r e s s 5 とを対応付けた隣接センサーノード情報を生成し、その生成した隣接センサーノード情報を含むパケット P K T _ D T G を生成して送受信部 1 2 へ出力する。

【 0 0 3 2 】

なお、図 1 に示すセンサーノード 2 ~ 7 の各々も、図 2 に示すセンサーノード 1 と同じ構成からなる。

20

【 0 0 3 3 】

図 3 は、図 1 に示すシンク 8 の構成を示す概略図である。図 3 を参照して、シンク 8 は、アンテナ 8 1 と、送受信部 8 2 と、制御部 8 3 とを含む。

【 0 0 3 4 】

送受信部 8 2 は、アンテナ 8 1 を介してパケット P K T _ D T G を受信し、その受信したパケット P K T _ D T G を制御部 8 3 へ出力する。

【 0 0 3 5 】

また、送受信部 8 2 は、制御部 8 3 から隣接センサーノード情報を受けると、その受けた隣接センサーノード情報をアンテナ 8 1 およびインターネットを介して位置推定装置 9 へ送信する。

30

【 0 0 3 6 】

制御部 8 3 は、送受信部 8 2 からパケット P K T _ D T G を受けると、その受けたパケット P K T _ D T G から隣接センサーノード情報を検出し、その検出した隣接センサーノード情報を送受信部 8 2 へ出力する。

【 0 0 3 7 】

図 4 は、図 1 に示す位置推定装置 9 の構成を示す概略図である。図 4 を参照して、位置推定装置 9 は、受信部 9 1 と、取得手段 9 2 と、トポロジー生成手段 9 3 と、位置更新手段 9 4 と、位置情報生成手段 9 5 と、変換手段 9 6 と、判定手段 9 7 と、演算手段 9 8 と、仮想トポロジー生成手段 9 9 とを含む。

40

【 0 0 3 8 】

受信部 9 1 は、シンク 8 からインターネットを介して隣接センサーノード情報を受信し、その受信した隣接センサーノード情報を取得手段 9 2 へ出力する。

【 0 0 3 9 】

取得手段 9 2 は、受信部 9 1 から隣接センサーノード情報を受ける。そして、取得手段 9 2 は、全ての隣接センサーノード情報を受信部 9 1 から受けると、その受けた全ての隣接センサーノード情報をトポロジー生成手段 9 3 および位置情報生成手段 9 5 へ出力する。

【 0 0 4 0 】

50

トポロジー生成手段 93 は、隣接センサーノード情報を取得手段 92 から受ける。そして、トポロジー生成手段 93 は、隣接センサーノード情報に基づいて、無線ネットワーク 10 におけるセンサーノード 1 ~ 7 の配置関係を示すトポロジーを生成する。そうすると、トポロジー生成手段 93 は、その生成したトポロジーを位置更新手段 94 へ出力する。

【0041】

位置更新手段 94 は、トポロジー生成手段 93 からセンサーノード 1 ~ 7 のトポロジーを受け、位置情報生成手段 95 からセンサーノード 1 ~ 7 の仮の自己位置情報を受ける。そして、位置更新手段 94 は、センサーノード 1 ~ 7 のトポロジーおよび仮の自己位置情報に基づいて、後述する方法によってセンサーノード 1 ~ 7 の位置を推定する。

【0042】

位置更新手段 94 は、センサーノード 1 ~ 7 の位置推定を予め設定された設定回数行くと、その推定したセンサーノード 1 ~ 7 の位置を変換手段 96 へ出力する。

【0043】

位置更新手段 94 は、センサーノード 1 ~ 7 の推定位置を 1 回目に変換手段 96 へ出力した後、後述する距離 D_{cal} を演算手段 98 から受け、仮想トポロジーを仮想トポロジー生成手段 99 から受けると、その受けた距離 D_{cal} および仮想トポロジーを用いて後述する方法によってセンサーノード 1 ~ 7 の位置推定を予め設定された設定回数行う。

【0044】

位置情報生成手段 95 は、取得手段 92 から隣接センサーノード情報を受け、その受けた隣接センサーノード情報に基づいて、無線ネットワーク 10 を構成するセンサーノード 1 ~ 7 を認識する。

【0045】

そして、位置情報生成手段 95 は、その認識したセンサーノード 1 ~ 7 の仮の自己位置を示す仮の自己位置情報をランダムに生成する。この場合、位置情報生成手段 95 は、センサーノード i ($i = 1 \sim 7$) の仮の自己位置の t (t は正の整数) 回目の更新時に仮の自己位置 $w_i(t)$ をランダムに生成する。仮の自己位置 $w_i(t)$ は、2次元の位置情報からなる。

【0046】

また、位置情報生成手段 95 は、後述するトポロジー矛盾が有ることを示す信号 TP_incos を判定手段 97 から受けたとき、または仮想トポロジーを生成したことを示す信号 VTP を仮想トポロジー生成手段 99 から受けたとき、センサーノード 1 ~ 7 の仮の自己位置情報をランダムに生成する。

【0047】

そうすると、位置情報生成手段 95 は、その生成したセンサーノード 1 ~ 7 の仮の自己位置情報を位置更新手段 94 へ出力する。

【0048】

変換手段 96 は、アンカーノードの絶対位置を予め保持している。変換手段 96 は、センサーノード 1 ~ 7 の推定された推定位置を位置更新手段 94 から受け、その受けたセンサーノード 1 ~ 7 の推定位置とアンカーノードの絶対位置とに基づいて、後述する方法によってセンサーノード 1 ~ 7 の推定位置を絶対位置に変換する。そして、変換手段 96 は、その変換したセンサーノード 1 ~ 7 の絶対位置を判定手段 97 へ出力する。

【0049】

判定手段 97 は、センサーノード 1 ~ 7 の絶対位置を変換手段 96 から受け、その受けたセンサーノード 1 ~ 7 の絶対位置に基づいて、後述する方法によってトポロジー矛盾の有無を判定する。

【0050】

そして、判定手段 97 は、トポロジー矛盾が有ると判定したとき、信号 TP_incos を位置情報生成手段 95 へ出力する。

【0051】

10

20

30

40

50

一方、判定手段 97 は、トポロジー矛盾が無いと判定したとき、トポロジー矛盾が無いことを示す信号 TP_c o s およびセンサーノード 1 ~ 7 の絶対位置を演算手段 98 および仮想トポロジー生成手段 99 へ出力する。

【0052】

演算手段 98 は、信号 TP_c o s およびセンサーノード 1 ~ 7 の絶対位置を判定手段 97 から受けると、センサーノード 1 ~ 7 の絶対位置に基づいて、センサーノード 1 ~ 7 の各々を位置推定の対象とした対象センサーノードから n (n は 1 ~ n 最大ホップ数) ホップの位置までの距離 $D_c a l$ 、対象センサーノードから n ホップの位置までの距離 $D_c a l$ の平均 M 、および対象センサーノードから n ホップの位置までの距離 $D_c a l$ の期待値 E を演算する。

10

【0053】

そして、演算手段 98 は、その演算した距離 $D_c a l$ を位置更新手段 94 へ出力し、その演算した平均 M および期待値 E を仮想トポロジー生成手段 99 へ出力する。

【0054】

仮想トポロジー生成手段 99 は、判定手段 97 から信号 TP_c o s およびセンサーノード 1 ~ 7 の絶対位置を受け、演算手段 98 から平均 M および期待値 E を受ける。そして、仮想トポロジー生成手段 98 は、平均 M および期待値 E に基づいて後述する方法によって無線通信のカバレッジを求め、その求めた無線通信のカバレッジおよびセンサーノード 1 ~ 7 の絶対位置に基づいて、後述する方法によって仮想トポロジーを生成する。そして、仮想トポロジー生成手段 99 は、その生成した仮想トポロジーを位置更新手段 94 へ出力する。

20

【0055】

[トポロジーの生成]

トポロジー生成手段 93 におけるトポロジーの生成方法について説明する。

【0056】

(1) センサーノード i の隣接センサーノード情報に含まれるセンサーノードをセンサーノード i の 1 次近傍センサーノード j (j は、 $i \neq j$ を満たし、1 ~ 7) とする。

【0057】

(2) 1 次近傍センサーノード j の隣接センサーノード情報に含まれるセンサーノードで、センサーノード i の隣接センサーノード情報に含まれないセンサーノードを、センサーノード j を中継センサーノードとするセンサーノード i の 2 次近傍センサーノードとする。

30

【0058】

(3) 同様に、 n 次近傍センサーノード x の隣接センサーノード情報に含まれて、 $(n - 1)$ 次までの近傍センサーノード群の隣接センサーノード情報に含まれないセンサーノードを、センサーノード x を中継センサーノードとするセンサーノード i の $(n + 1)$ 次近傍センサーノードとする。

【0059】

(4) 上記 (1) ~ (3) を再帰的に繰り返し、センサーノード i の近傍トポロジーを拡大し、ネットワーク全体を通してセンサーノード i の多次近傍センサーノードを設定する。

40

【0060】

トポロジー生成手段 93 は、上記 (1) ~ (4) をセンサーノード 1 ~ 7 の全体について実行し、センサーノード 1 ~ 7 のトポロジーを生成する。

【0061】

[位置推定方法]

位置更新手段 94 における位置推定方法について説明する。

【0062】

トポロジーの生成において説明したように、トポロジーは、センサーノード i から n 次近傍センサーノードまでを考慮して生成されるので、位置更新手段 94 は、センサーノード

50

ド 1 ~ 7 のトポロジーを用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する場合、センサーノード i から n ホップ目の位置に存在する n 次近傍センサーノード以下のセンサーノード (= 多次近傍センサーノード) を認識できる。

【 0 0 6 3 】

多次近傍センサーノードの情報は、ホップ数に応じてセンサーノード間の距離が増加するように構成されている。すなわち、センサーノード i の位置更新のために選択されるセンサーノードは、センサーノード i から n 次近傍センサーノード以下であり、かつ、センサーノード i からの $(n - 1)$ 次近傍センサーノードのいずれのセンサーノードよりもセンサーノード i から遠方に位置する条件を満たす。

【 0 0 6 4 】

従って、1 ホップのセンサーノード間の距離を一定距離 d とすると、センサーノード i から n 次近傍センサーノードまでの距離は、一定距離 $d \times$ ホップ $n = nd$ で表される。

【 0 0 6 5 】

そして、この発明の実施の形態においては、位置推定の対象となるセンサーノード i の仮の自己位置を更新する場合、センサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ と n 次近傍センサーノードの仮の自己位置 $w_n(t)$ とを用いて計算された距離 $|w_i(t) - w_n(t)|$ がセンサーノード i から n 次近傍センサーノードまでのホップ数からなる距離 nd に近づくようにセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正する。

【 0 0 6 6 】

この場合、 n 次近傍センサーノードの仮の自己位置 $w_n(t)$ を用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を修正するときの n 次修正ベクトルは、次式によって求められる。

【 0 0 6 7 】

【 数 1 】

$$V_i^{\{n\}}(t) = \frac{nd - |w_i(t) - w_n(t)|}{|w_i(t) - w_n(t)} (w_i(t) - w_n(t)) \cdots (1)$$

【 0 0 6 8 】

そして、この発明の実施の形態においては、位置修正の初期段階においては、広い範囲の近傍センサーノードを用いて大域的にトポロジーを形成し、修正段階の進行に伴い、位置修正に使用する近傍センサーノードのホップ数を減少させて、局所的かつ詳細なトポロジーを形成し、収束させる。

【 0 0 6 9 】

従って、次式 (2) に従ってセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する。

【 0 0 7 0 】

【 数 2 】

$$w_i(t+1) = \begin{cases} w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot (V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)) & (t < \tau_n) \\ w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot (V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)) & (\tau_n < t < \tau_{n-1}) \\ \vdots & \cdots (2) \\ w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot (V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)) & (\tau_4 < t < \tau_3) \\ w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot (V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)) & (otherwise) \end{cases}$$

10

20

30

40

50

【 0 0 7 1 】

式 (2) において、 θ_n は、ホップ数 n における更新終了の閾値を示し、 θ_{n-1} は、ホップ数 n における更新開始の閾値を示す。また、式 (2) において、 $\alpha_i(t)$ は、 t 回目の修正におけるセンサーノード i の学習関数であり、次式 (3) によって決定される。

【 0 0 7 2 】

【 数 3 】

$$\alpha_i(t) = \eta \alpha_i(t-1) (0 < \eta < 1) \cdots (3)$$

10

【 0 0 7 3 】

式 (3) において、 η は、正の減衰定数である。また、学習関数 $\alpha_i(t)$ の初期値 $\alpha_i(0)$ は、1 である。

【 0 0 7 4 】

最大ホップ数から 3 ホップまでは、更新回数を均等とし、2 ホップは、局所的な位置推定を行うため、他のホップ数における更新回数の 2 倍の割合として、最大ホップ数から降順に更新開始および更新終了の閾値を設定する。

【 0 0 7 5 】

そして、位置更新手段 9 4 は、式 (2) の右辺の最上段の修正ベクトルから最下段の修正ベクトルまでを順次適用して式 (2) に従ってセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する。

20

【 0 0 7 6 】

式 (2) の右辺の最上段の修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)$) は、1 次修正ベクトルと n 次修正ベクトルとの和からなり、上から 2 番目の修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)$) は、1 次修正ベクトルと ($n-1$) 次修正ベクトルとの和からなり、以下同様にして、下から 2 番目の修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$) は、1 次修正ベクトルと 3 次修正ベクトルとの和からなり、最下段の修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$) は、1 次修正ベクトルと 2 次修正ベクトルとの和からなる。

30

【 0 0 7 7 】

従って、位置更新手段 9 4 は、センサーノード 1 の 1 次近傍センサーノードと n 次近傍センサーノードとを用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新し、その後、センサーノード 1 の 1 次近傍センサーノードと ($n-1$) 次近傍センサーノードとを用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新し、以下、同様にして、センサーノード 1 の 1 次近傍センサーノードと 3 次近傍センサーノードとを用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新し、最終的に、センサーノード 1 の 1 次近傍センサーノードと 2 次近傍センサーノードとを用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する。

【 0 0 7 8 】

これによって、センサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を大局的から局所的に更新でき、センサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を一定の位置に収束させることができる。

40

【 0 0 7 9 】

修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)$)、 \cdots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$) を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の更新回数は、相互に均等であり、修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$) を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の更新回数は、修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)$)、 \cdots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$) を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の更新回

50

数の2倍である。

【0080】

従って、10次修正ベクトル($n = 10$)までを用いてセンサーノード*i*の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する場合、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{10\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{9\}}(t)$)、 \dots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$)を用いた更新回数を1回とすれば、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$)を用いた更新回数は、2回である。その結果、全ての修正ベクトルを用いた更新回数は、10回となる。

【0081】

また、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{10\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{9\}}(t)$)、 \dots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$)を用いた更新回数を2回とすれば、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$)を用いた更新回数は、4回である。その結果、全ての修正ベクトルを用いた更新回数は、20回となる。

10

【0082】

更に、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{10\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{9\}}(t)$)、 \dots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$)を用いた更新回数を3回とすれば、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$)を用いた更新回数は、6回である。その結果、全ての修正ベクトルを用いた更新回数は、30回となる。

20

【0083】

従って、修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{10\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{9\}}(t)$)、 \dots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$)を用いた更新回数を p (p は整数)回とすれば、全ての修正ベクトルを用いた更新回数は、一般的には、 $8p + 2p = 10p$ 回となる。

【0084】

更新回数 $10p$ における"10"は、 n 次修正ベクトルの $n = 10$ に等しいので、式(2)の右辺における全ての修正ベクトルを用いた更新回数は、一般的には、 np 回となる。

【0085】

従って、式(2)を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の更新回数は、 n を決定し、その後、 p を決定することにより、決定される。 n を決定することは、センサーノード*i*からどの程度のホップ数の位置に存在する近傍センサーノードの仮の自己位置を仮の自己位置 $w_i(t)$ の更新に用いるかを決定することに相当する。また、 p を決定することは、仮の自己位置 $w_i(t)$ を大局的に更新する回数を決定することに相当する。

30

【0086】

[トポロジー矛盾の判定]

(I) 距離判定

図5は、トポロジー矛盾を示す概念図である。図5を参照して、センサーノード*i*は、仮の自己位置 $w_i(t)$ に存在する。そして、センサーノード*i*から距離 d_1 の位置に1次近傍センサーノードが存在し、センサーノード*i*から距離 d_2 の位置に2次近傍センサーノードが存在する。

40

【0087】

その結果、センサーノード*i*の仮の自己位置 $w_i(t)$ は、1次近傍センサーノードよりも2次近傍センサーノードに近い。これは、2次近傍センサーノードがセンサーノード*i*から1次近傍センサーノードよりも遠い位置に存在するという本来のトポロジーに明らかに矛盾する。

【0088】

従って、位置推定の対象であるセンサーノード*i*の仮の自己位置 $w_i(t)$ が1次近傍センサーノードよりも2次近傍センサーノードに近いことをトポロジー矛盾と言う。

50

【0089】

そして、位置推定の対象であるセンサーノード*i*の仮の自己位置 $w_i(t)$ が1次近傍センサーノードよりも2次近傍センサーノードに近いか否かの判定を複数の1次近傍センサーノードと2次近傍センサーノードで実施し、次式を満たさない場合、センサーノード*i*の推定位置は、トポロジー矛盾有りとは判定する。

【0090】

【数4】

$$\frac{I_i^{(2)}}{N_i^{(2)}} < \lambda \cdots (4)$$

10

【0091】

式(4)において、 $I_i^{(2)}$ は、センサーノード*i*においてトポロジー矛盾と判定した2次近傍センサーノードの個数を示し、 $N_i^{(2)}$ は、トポロジー矛盾の判定に用いた2次近傍センサーノードの個数を示し、 λ は、トポロジー矛盾の閾値である。

【0092】

上記の判定は、距離を用いて行われるので、距離判定と言う。

【0093】

(II)領域判定

図6は、領域判定を説明するための概念図である。

20

【0094】

図5に示すように、トポロジー矛盾有りとは判定される場合、トポロジーの折れ曲がりが発生する。そして、このトポロジーの折れ曲がり、センサーノード*i*から1次近傍センサーノードまでの距離と、センサーノード*i*から2次近傍センサーノードまでの距離とを用いた判定(上述の距離判定)によって検知できない場合がある。

【0095】

図6の(a)に示すように、センサーノード*i*、センサーノード*i*の1次近傍センサーノード*j*、およびセンサーノード*i*の2次近傍センサーノードであり、かつ、1次近傍センサーノード*j*の1次近傍センサーノードであるセンサーノード*l*の推定位置をそれぞれ w_i, w_j, w_l とし、センサーノード*l*の真の位置を W_l とすると、 w_l は、折れ曲がりトポロジーの要因となる。

30

【0096】

この場合、 w_i, w_j を基準点とする w_l のトポロジー矛盾判定は、 w_l のトポロジー矛盾を検知できる範囲 $|w_l - w_i| < |w_j - w_i|$ の外にある(=トポロジー矛盾無しの条件を満たす)ので、 w_l による折れ曲がりを検知できない。すなわち、上述した距離判定によるトポロジー矛盾判定は、折れ曲がりトポロジーを十分に検知可能とする領域をカバーできていない。

【0097】

そこで、次のように、トポロジー矛盾判定の適応領域を拡大する。

【0098】

図6の(b)を参照して、基準点 w_i, w_j において、線分 $L_1 = w_j - w_i$ の垂直2等分線 L_{1H} を用いて w_l が w_i, w_j のいずれかに近い領域に空間を2分割する。

40

【0099】

この場合、垂直2等分線 L_{1H} の左側の領域(斜線を施した領域)は、 w_l が w_i に近い領域であり、垂直2等分線 L_{1H} の右側の領域は、 w_l が w_j に近い領域である。

【0100】

センサーノード*l*は、センサーノード*i*の2次近傍センサーノードであるので、 w_l は、 w_j に近い領域内に位置しなければならない。

【0101】

従って、 w_l が w_i に近い領域(斜線を施した領域)に位置する場合($|w_l - w_i|$

50

$|w_l - w_j|$)、トポロジー矛盾有り と判定する。

【0102】

更に、折れ曲がりによるトポロジー矛盾の検知領域を拡大するために、図6の(c)に示すように、センサーノードjに加えてセンサーノードiとセンサーノードlの共通の1次近傍センサーノードkを基準点として用いる。そして、基準点 w_i, w_k において、線分 $L_2 = w_k - w_i$ の垂直二等分線 L_{2H} を用いて w_l が w_i, w_k のいずれかに近い領域に空間を2分割する。

【0103】

この場合、垂直二等分線 L_{2H} の左側の領域(斜線を施した領域)は、 w_l が w_i に近い領域であり、垂直二等分線 L_{2H} の右側の領域は、 w_l が w_k に近い領域である。

10

【0104】

センサーノードlは、センサーノードiの2次近傍センサーノードであるので、 w_l は、 w_k に近い領域内に位置しなければならない。

【0105】

従って、 w_l が w_i に近い領域(斜線を施した領域)に位置する場合($|w_l - w_i| < |w_l - w_k|$)、トポロジー矛盾有り と判定する。

【0106】

図6の(c)に示す領域判定は、共通の1次近傍センサーノードの組み合わせを複数回変えて実施される。そして、複数回実施した結果において、式(5)を満たさない場合、トポロジー矛盾有り と判定する。

20

【0107】

【数5】

$$\frac{a}{A} \leq \beta \quad \dots (5)$$

【0108】

式(5)において、Aは、共通1次近傍群を用いた領域判定を行った回数を示し、aは、トポロジー矛盾の発生回数を示し、 β は、閾値である。

30

【0109】

図6の(b), (c)に示す2つの領域判定を順次適用することにより、折れ曲がりによるトポロジー矛盾の検知領域を拡大でき、折れ曲がりによるトポロジー矛盾を効果的に検知できる。

【0110】

上述した距離判定および領域判定の少なくとも1つによってトポロジー矛盾有り と判定された場合、センサーノードiの学習関数 $f_i(t)$ を初期値(=1)に戻し、位置推定処理を再度実行する。

【0111】

[仮想トポロジーの生成]

40

上述したトポロジー矛盾の判定において、トポロジー矛盾無しと判定された場合、推定位置は、高い精度で推定された位置となる。すなわち、各センサーノードの推定位置から得られるセンサーノード間の距離も、精度が高いと仮定できる。

【0112】

そこで、センサーノード間の距離を用いて次のようにネットワークのトポロジーを再設定する。

【0113】

(I) センサーノード間の距離の変更

センサーノード間の距離をホップ数から推定位置に基づいて得られるセンサーノード間の距離に変更する。すなわち、高い精度を有するセンサーノード間の距離を用いることに

50

よって位置推定の精度を向上させる。

【0114】

(II) 仮想センサーノードの追加

センサーノードの推定位置に基づいて、各センサーノードの隣接(1ホップ)センサーノードとの間の距離の平均 $M^{(1)}$ を算出する。

【0115】

無線通信のカバレッジを R とすると、カバレッジ R 内にセンサーノードが一様に分布する場合、カバレッジ R を有するセンサーノードの近傍センサーノードまでの距離の期待値 $d^{(n)}$ は、次式によって決定される。

【0116】

【数6】

$$\begin{aligned} d^{(n)} &= \int_{(n-1)R}^{nR} x \cdot f^{(n)}(x) dx = \int_{(n-1)R}^{nR} \frac{2\pi x^2}{\pi((nR)^2 - ((n-1)R)^2)} dx \\ &= \frac{2}{((nR)^2 - ((n-1)R)^2)} \int_{(n-1)R}^{nR} x^2 dx = \frac{2}{3R^2(n^2 - (n-1)^2)} [x^3]_{(n-1)R}^{nR} = \frac{2R^3(n^3 - (n-1)^3)}{3R^2(n^2 - (n-1)^2)} \\ &= \frac{2(n^3 - (n-1)^3)}{3(2n-1)} R \quad \dots (6) \end{aligned}$$

10

20

【0117】

式(6)において、 x は、 $(n-1)R \leq x \leq nR$ を満たす。

【0118】

カバレッジ R を有するセンサーノードと、そのセンサーノードから1ホップの位置に存在するセンサーノードとの間の距離の期待値 $d^{(1)}$ と平均 $M^{(1)}$ とからカバレッジ R を求める。この求めたカバレッジ R を推定カバレッジ R とする。

【0119】

そして、任意の仮想センサーノードを既に作成されたトポロジー内に配置し、推定カバレッジ R を用いて仮想センサーノードの隣接センサーノード情報の作成と、実際のセンサーノードの隣接センサーノード情報の更新を行い、仮想トポロジーを生成する。

30

【0120】

図7は、推定カバレッジの概念図である。また、図8は、ホップ数とセンサーノード間の距離の期待値との関係を示す図である。

【0121】

図8におけるセンサーノード間の距離の期待値 $d^{(n)}$ は、式(6)を用いて計算された期待値である。

【0122】

図7を参照して、センサーノード i から $(n-1)$ ホップまでのカバレッジは、 $(n-1)R$ によって表され、センサーノード i から n ホップまでのカバレッジは、 nR によって表される。そして、カバレッジ $(n-1)R$ 、 nR は、同心円状に配置される。

40

【0123】

その結果、センサーノード i から n ホップのセンサーノードは、カバレッジ nR からカバレッジ $(n-1)R$ を除いた領域内に位置する。

【0124】

各センサーノードの推定位置に基づいて、1ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の平均 $M^{(1)}$ 、2ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の平均 $M^{(2)}$ 、 \dots 、 n ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の平均 $M^{(n)}$ を計算することができる。

【0125】

図8に示す期待値 $d^{(n)}$ によれば、1ホップの位置に存在するセンサーノードまでの

50

距離の期待値 $d \{ 1 \}$ は、 $d \{ 1 \} = 0.67R$ によって表され、2 ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の期待値 $d \{ 2 \}$ は、 $d \{ 2 \} = 1.56R$ によって表され、3 ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の期待値 $d \{ 3 \}$ は、 $d \{ 3 \} = 2.53R$ によって表され、4 ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の期待値 $d \{ 4 \}$ は、 $d \{ 4 \} = 3.52R$ によって表され、5 ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の期待値 $d \{ 5 \}$ は、 $d \{ 5 \} = 4.52R$ によって表される。

【0126】

従って、計算した平均 $M \{ 1 \}$ を $d \{ 1 \} = 0.67R$ の期待値 $d \{ 1 \}$ に代入することにより、1 ホップの位置におけるカバレッジ R_1 を算出できる。また、計算した平均 $M \{ 2 \}$ を $d \{ 2 \} = 1.56R$ の期待値 $d \{ 2 \}$ に代入することにより、2 ホップの位置におけるカバレッジ R_2 を算出できる。以下、同様にして、3 ホップの位置におけるカバレッジ R_3 、4 ホップの位置におけるカバレッジ R_4 および5 ホップの位置におけるカバレッジ R_5 を算出できる。

10

【0127】

図9は、カバレッジ R を用いて仮想センサーノードの隣接センサーノード情報の作成および実センサーノードの隣接センサーノード情報の更新を行う方法を説明するための図である。

【0128】

図9を参照して、実センサーノードであるセンサーノード1~7がそれぞれ推定位置 $w_1 \sim w_7$ に配置されている。

20

【0129】

そして、4個の仮想センサーノード $V_1 \sim V_4$ をそれぞれ位置 $w_{V_1} \sim w_{V_4}$ に配置する。

【0130】

センサーノード1から1ホップ、2ホップ、3ホップ、4ホップおよび5ホップのカバレッジ $R_1 \sim R_5$ は、センサーノード1を中心として同心円状に配置される。

【0131】

そして、領域 $REG_1 \sim REG_5$ は、それぞれ、センサーノード1から1ホップのセンサーノード、2ホップのセンサーノード、3ホップのセンサーノード、4ホップのセンサーノード、および5ホップのセンサーノードが位置する領域である。

30

【0132】

センサーノード1を中心として同心円状のカバレッジ $R_1 \sim R_5$ を配置すると、センサーノード2, 7, 3は、それぞれ、センサーノード1から1ホップ、2ホップおよび3ホップの位置に配置され、センサーノード4, 5は、センサーノード1から4ホップの位置に配置され、センサーノード6は、センサーノード1から5ホップの位置に配置されていることが分かる。

【0133】

また、仮想センサーノード V_1, V_2 は、それぞれ、センサーノード1から3ホップおよび4ホップの位置に配置され、仮想センサーノード V_3, V_4 は、センサーノード1から5ホップの位置に配置されていることが分かる。

40

【0134】

そうすると、実センサーノード1~7および仮想センサーノード $V_1 \sim V_4$ が配置された状態で、仮想センサーノード $V_1 \sim V_4$ の隣接センサーノード情報を作成し、実センサーノード1~7の隣接センサーノード情報に仮想センサーノード $V_1 \sim V_4$ を追加して実センサーノード1~7の隣接センサーノード情報を更新する。

【0135】

そして、仮想センサーノード $V_1 \sim V_4$ の隣接センサーノード情報と、実センサーノード1~7の更新された隣接センサーノード情報とを用いて仮想トポロジーを生成する。

【0136】

演算手段98は、センサーノード1~7の推定された推定位置を用いて各センサーノード

50

ドから n ホップの位置に存在するセンサーノードまでの距離の平均 $M^{\{n\}}$ および期待値 $d^{\{n\}}$ を演算し、その演算した平均 $M^{\{n\}}$ および期待値 $d^{\{n\}}$ を仮想トポロジー生成手段 99 へ出力する。

【0137】

仮想トポロジー生成手段 99 は、平均 $M^{\{n\}}$ および期待値 $d^{\{n\}}$ を演算手段 98 から受け、その受けた平均 $M^{\{n\}}$ および期待値 $d^{\{n\}}$ を用いてカバレッジ R を求め、その求めたカバレッジ R を用いて、上述した方法によって、仮想トポロジーを生成する。そして、仮想トポロジー生成手段 99 は、その生成した仮想トポロジーを位置更新手段 94 へ出力する。

【0138】

なお、追加する仮想センサーノードの個数は、任意であり、仮想センサーノードの配置位置も任意である。

【0139】

[絶対位置への変換]

上述した位置推定処理によって推定される位置は、相対位置である。この相対位置をアンカーノードの推定位置と絶対位置とを用いて絶対位置へ変換する。

【0140】

アンカーノードの真位置 (= 絶対位置) を $W_A = (X_A, Y_A)$ とし、推定位置を $w_A = (x_A, y_A)$ とすると、真位置 $W_A = (X_A, Y_A)$ は、推定位置 $w_A = (x_A, y_A)$ を用いて次式のように表される。

【0141】

【数7】

$$\begin{cases} X_A = ax_A + by_A + t_x \\ Y_A = cx_A + dy_A + t_y \end{cases} \dots (7)$$

【0142】

3つのアンカーノードから構成される連立方程式(7)から6つの係数 a, b, c, d, t_x, t_y を得ることにより、全てのセンサーノードの推定位置 $w_i = (x_i, y_i)$ は、次式によって絶対位置 $W_i = (X_i, Y_i)$ へ変換される。

【0143】

【数8】

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & t_x \\ c & d & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix} \dots (8)$$

【0144】

変換手段 96 は、式(7)から係数 a, b, c, d, t_x, t_y を決定し、その決定した係数 a, b, c, d, t_x, t_y を式(8)に代入してセンサーノード 1~7 の全ての推定位置を絶対位置に変換する。

【0145】

位置推定装置 9 におけるセンサーノード 1~7 の位置の推定方法について説明する。

【0146】

図 10 は、図 1 に示す位置推定装置 9 におけるセンサーノード 1~7 の位置の推定方法を説明するためのフローチャートである。

【0147】

図 10 を参照して、位置の推定が開始されると、位置推定装置 9 の取得手段 92 は、上

10

20

30

40

50

述した方法によって全てのセンサーノード 1 ~ 7 の隣接センサーノード情報を取得する (ステップ S 1)。

【0148】

そして、取得手段 9 2 は、その取得した隣接センサーノード情報をトポロジー生成手段 9 3 および位置情報生成手段 9 5 へ出力する。

【0149】

トポロジー生成手段 9 3 は、隣接センサーノード情報を取得手段 9 2 から受け、その受けた隣接センサーノード情報に基づいて、上述した方法によってネットワーク (無線ネットワーク 10) のトポロジーを生成し (ステップ S 2)、その生成したトポロジーを位置更新手段 9 4 へ出力する。

【0150】

位置更新手段 9 4 は、トポロジーをトポロジー生成手段 9 3 から受ける。そして、位置更新手段 9 4 は、トポロジーにおけるセンサーノード 1 ~ 7 間の距離をホップ数に設定し、位置の更新回数を設定し、トポロジー試行回数の上限を設定する (ステップ S 3)。ここで、センサーノード 1 ~ 7 間の距離をホップ数に設定するとは、センサーノード 1 ~ 7 間の距離をホップ数によって表すことであり、1 ホップ間の距離を d で表し、2 ホップ間の距離を $2d$ で表し、以下、同様にして n ホップ間の距離を nd で表すことを意味する。また、更新回数は、上述した [位置推定方法] の項目で説明した修正ベクトル ($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)$)、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)$)、 \dots 、($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{3\}}(t)$) を用いた仮の自己位置 $w_i(t)$ の更新回数を設定することを意味する。更に、トポロジー試行回数の上限は、図 10 に示すフローチャートを用いてセンサーノード 1 ~ 7 の位置を推定する回数の上限值を意味する。

【0151】

ステップ S 3 の後、位置情報生成手段 9 5 は、隣接センサーノード情報を取得手段 9 2 から受け、その受けた隣接センサーノード情報に基づいて、全てのセンサーノード 1 ~ 7 を認識し、その認識したセンサーノード 1 ~ 7 の仮の自己位置 $w_i(t)$ をランダムに生成する (ステップ S 4)。

【0152】

位置更新手段 9 4 は、位置情報生成手段 9 5 から仮の自己位置 $w_i(t)$ を受け、その受けた仮の自己位置 $w_i(t)$ および式 (1) ~ (3) を用いて仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新回数まで更新する (ステップ S 5)。

【0153】

そして、位置更新手段 9 4 は、その更新したセンサーノード i の位置を変換手段 9 6 へ出力し、変換手段 9 6 は、センサーノード i の推定位置を位置更新手段 9 4 から受ける。

【0154】

その後、変換手段 9 6 は、アンカーノードの真位置と推定位置とを用いて上述した方法によってセンサーノード i の推定位置を絶対位置に変換する (ステップ S 6)。

【0155】

そうすると、変換手段 9 6 は、センサーノード i の絶対位置を判定手段 9 7 へ出力する。

【0156】

判定手段 9 7 は、センサーノード i の絶対位置を変換手段 9 6 から受け、その受けたセンサーノード i の絶対位置に基づいて、上述した距離判定を行い、トポロジー矛盾が有るか否かを判定する (ステップ S 7)。

【0157】

ステップ S 7 において、トポロジー矛盾が有ると判定されたとき、判定手段 9 7 は、信号 TP_incos を生成して位置情報生成手段 9 5 へ出力し、その後、一連の動作は、ステップ S 4 へ戻り、ステップ S 7 において、トポロジー矛盾が無いと判定されるまで、ステップ S 4 ~ ステップ S 7 が繰り返し実行される。

【0158】

10

20

30

40

50

なお、ステップ S 4 へ戻るとき、学習関数 $w_i(t)$ は、初期値 (= 1) に戻される。また、ステップ S 4 へ戻るとき、位置情報生成手段 9 5 は、信号 TP__incos に応じて、センサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ をランダムに生成して位置更新手段 9 4 へ出力する。

【0159】

そして、ステップ S 7 において、トポロジー矛盾が無いと判定されると、判定手段 9 7 は、上述した領域判定を行い、トポロジー矛盾が有るか否かを判定する (ステップ S 8)

【0160】

ステップ S 8 において、トポロジー矛盾が有ると判定されたとき、判定手段 9 7 は、信号 TP__incos を生成して位置情報生成手段 9 5 へ出力し、その後、一連の動作は、ステップ S 4 へ戻り、ステップ S 8 において、トポロジー矛盾が無いと判定されるまで、上述したステップ S 4 ~ ステップ S 8 が繰り返し実行される。

【0161】

なお、ステップ S 8 からステップ S 4 へ戻る場合も、学習関数 $w_i(t)$ は、初期値 (= 1) に戻される。また、この場合も、位置情報生成手段 9 5 は、信号 TP__incos に応じて、センサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ をランダムに生成して位置更新手段 9 4 へ出力する。

【0162】

そして、ステップ S 8 において、トポロジー矛盾が無いと判定されると、判定手段 9 7 は、試行回数がトポロジー試行回数の上限に等しいか否かを判定する (ステップ S 9)。

【0163】

ステップ S 9 において、試行回数がトポロジー試行回数の上限に等しくないと判定されたとき、判定手段 9 7 は、信号 TP__cos を生成し、その生成した信号 TP__cos と、センサーノード i の絶対位置とを演算手段 9 8 および仮想トポロジー生成手段 9 9 へ出力する。

【0164】

仮想トポロジー生成手段 9 9 は、信号 TP__cos およびセンサーノード i の絶対位置を判定手段 9 7 から受ける。そして、仮想トポロジー生成手段 9 9 は、信号 TP__cos に応じて、後述する方法によって、センサーノード i 間の距離を推定位置に基づいて算出した距離に設定し、仮想センサーノードを設定して仮想トポロジーを生成する (ステップ S 10)。

【0165】

その後、一連の動作は、ステップ S 4 へ戻り、ステップ S 9 において、試行回数がトポロジー試行回数の上限に等しいと判定されるまで、上述したステップ S 4 ~ ステップ S 10 が繰り返し実行される。

【0166】

そして、ステップ S 9 において、試行回数がトポロジー試行回数の上限に等しいと判定されると、センサーノード i の位置推定が終了する。

【0167】

図 11 は、図 10 に示すステップ S 10 の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。

【0168】

図 11 を参照して、図 10 のステップ S 9 において、試行回数がトポロジー試行回数の上限に等しくないと判定されると、演算手段 9 8 は、信号 TP__cos とセンサーノード i の絶対位置とを判定手段 9 7 から受ける。そして、演算手段 9 8 は、信号 TP__cos に応じて、センサーノード i の絶対位置 (推定位置) に基づいてセンサーノード間の距離を算出し、その算出したセンサーノード間の距離 (センサーノード間演算距離) を位置更新手段 9 4 へ出力し、位置更新手段 9 4 は、演算手段 9 8 から受けたセンサーノード間の

10

20

30

40

50

距離（センサーノード間演算距離）をセンサーノード間の距離に設定する（ステップ S 101）。

【0169】

その後、演算手段 98 は、センサーノード間の距離の平均および期待値を算出し（ステップ S 102）、その算出したセンサーノード間の距離の平均および期待値を仮想トポロジー生成手段 99 へ出力する。

【0170】

そして、仮想トポロジー生成手段 99 は、センサーノード間の距離の平均および期待値を演算手段 98 から受け、その受けたセンサーノード間の距離の平均および期待値を用いて上述した方法によって無線通信のカバレッジを算出する（ステップ S 103）。

10

【0171】

引き続き、仮想トポロジー生成手段 99 は、任意の位置に任意の数の仮想センサーノードを配置し、センサーノード i の絶対位置（推定位置）と無線通信のカバレッジとを用いて、上述した方法によって仮想センサーノードの隣接センサーノード情報を作成する（ステップ S 104）。

【0172】

そして、仮想トポロジー生成手段 99 は、センサーノード i の絶対位置（推定位置）、無線通信のカバレッジ、および仮想センサーノードの位置に基づいて実センサーノード i の隣接センサーノード情報に仮想センサーノードを追加して実センサーノード i の隣接センサーノード情報を更新する（ステップ S 105）。

20

【0173】

その後、仮想トポロジー生成手段 99 は、実センサーノードの更新した隣接センサーノード情報と仮想センサーノードの隣接センサーノード情報とを用いて、トポロジー生成手段 93 におけるトポロジーの生成方法と同じ方法によって仮想トポロジーを生成する（ステップ S 106）。

【0174】

そして、一連の動作は、図 10 のステップ S 4 へ移行する。

【0175】

図 10 に示すフローチャートにおいては、ステップ S 7 においてトポロジー矛盾が有ると判定されたとき、またはステップ S 8 においてトポロジー矛盾が有ると判定されたとき、センサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ が新たにランダムに生成され（ステップ S 4 参照）、その生成されたセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を用いてセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ が更新される（ステップ S 5 参照）。

30

【0176】

そして、ステップ S 7 およびステップ S 8 の両方において、トポロジー矛盾が無いと判定された場合、仮想センサーノードを追加して仮想トポロジーが生成される（ステップ S 10 参照）。

【0177】

すなわち、折れ曲がりによるトポロジー矛盾が解消された場合（ステップ S 8 参照）に仮想トポロジーが生成される。

40

【0178】

従って、折れ曲がりによるトポロジー矛盾の発生を抑制してセンサーノード i の位置を高精度に推定できる。

【0179】

また、図 10 に示すフローチャートにおいては、ステップ S 10 からステップ S 4 へ戻り、その後、ステップ S 5 が実行される場合、ステップ S 10 において、センサーノード i の推定位置を用いて算出した距離にセンサーノード間の距離を設定してセンサーノード i の仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する（ステップ S 5 参照）。

【0180】

従って、センサーノード i と 1 次近傍センサーノード ~ n 次近傍センサーノードとの間

50

の距離 $|w_i(t) - w_1(t)|$, $|w_i(t) - w_2(t)|$, \dots , $|w_i(t) - w_n(t)|$ が、それぞれ推定位置を用いて算出された1ホップ間の距離(1ホップ間の演算距離)、2ホップ間の距離(2ホップ間の演算距離)、 \dots 、nホップ間の距離(nホップ間の演算距離)に近づくようにセンサーノードiの仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新する。

【0181】

推定位置を用いて算出された距離(演算距離)は信頼性が高いので、推定位置を用いて算出された距離(演算距離)に近づくようにセンサーノードiの仮の自己位置 $w_i(t)$ を更新することにより、センサーノードiの位置を高精度に推定できる。

【0182】

更に、図10に示すフローチャートにおいては、ステップS7が実行されなくてもよい。即ち、距離判定によるトポロジー矛盾の有無を判定せず、領域判定によるトポロジー矛盾の有無だけを判定してもよい。

【0183】

上述したように、領域判定によってトポロジー矛盾の有無を判定することによって、距離判定の対象領域よりも広い領域に判定対象の領域を拡大できるので、トポロジー矛盾の有無を高精度に判定できるからである。

【0184】

更に、図10に示すフローチャートにおいては、ステップS6が実行されなくてもよい。即ち、図10に示すフローチャートを用いてセンサーノード1~7の相対位置が推定されてもよい。

【0185】

センサーノード1~7の相対位置が推定された場合、その推定された相対位置に基づいて作成されたトポロジーは、センサーノード1~7の実際のトポロジーと相似になる。

【0186】

従って、センサーノード1~7のトポロジー形状が実際のトポロジー形状と根本的に異なる限り、相対位置を用いて作成されたトポロジーの実用性がある。

【0187】

図12は、位置推定の誤りの平均とセンサーノードの個数との関係を示す図である。図12において、縦軸は、位置推定の誤りの平均 ERR_{ave} を表し、横軸は、センサーノードの個数を表す。

【0188】

そして、図12は、上述した領域判定によるトポロジー矛盾の有無の判定において、共通1次近傍センサーノードの個数を変えたときの位置推定の誤りの平均とセンサーノードの個数との関係を示す。

【0189】

図12を参照して、共通1次近傍センサーノードの個数を変えた場合、位置推定の誤りの平均 ERR_{ave} は、共通1次近傍センサーノードの個数によって大きな違いがなく、領域判定を行わない場合よりも低くなっている。

【0190】

従って、この発明の実施の形態においては、領域判定によってトポロジー矛盾の有無を判定する場合、共通1次近傍センサーノードの個数を特に制限することなく、共通1次近傍センサーノードの個数を任意の個数に設定することにした。

【0191】

図13は、距離のエラーとセンサーノードの個数との関係を示す図である。図13において、縦軸は、距離のエラーを表し、横軸は、センサーノードの個数を表す。

【0192】

また、黒三角は、実センサーノードであるセンサーノード1~7の隣接センサーノード情報を用いて作成したトポロジーを用いたときの距離のエラーとセンサーノードの個数との関係を示し、黒丸は、実センサーノードであるセンサーノード1~7の隣接センサーノ

10

20

30

40

50

ード情報と仮想センサーノードの隣接センサーノード情報とを用いて作成した仮想トポロジーを用いたときの距離のエラーとセンサーノードの個数との関係を示す。

【0193】

図13を参照して、仮想トポロジーを用いたときの距離のエラーは、センサーノードの個数が増加するに従って、実センサーノードだけのトポロジーを用いたときの距離のエラーよりも大きく低下する。

【0194】

従って、仮想センサーノードを追加して作成した仮想トポロジーを用いてセンサーノード1～7の位置を推定することによって、距離のエラーを大きく低減できることが分かった。

【0195】

[シミュレーション評価]

シミュレーション評価について説明する。

【0196】

図14は、シミュレーションの諸元を示す図である。図15は、本発明の実施の形態による位置推定方法におけるパラメータ諸元を示す図である。図16は、通信回数とセンサーノードの個数との関係を示す図である。図17は、障害物により構成されるネットワークのトポロジーの形状を示す図である。

【0197】

シミュレーションを繰り返し、経験的に得た本発明の実施の形態による位置推定方法に用いる各パラメータを図15に示す。NLOS混在環境の2次元フィールドを図17に示す。障害物の配置を4通りとし、それぞれの障害物により構成されるネットワークのトポロジーの形状からC型トポロジー、L型トポロジー、H型トポロジー、O型トポロジーと呼ぶ。センサーノード間を結ぶ直線上に障害物がある場合をNLOSとし、センサーノード間の通信を不可とする。その他の場合は、LOSとし、センサーノード間の通信を可能とする。また、位置推定においては、フィールド範囲は未知とする。

【0198】

図16に、SOLと本発明による位置推定方法のそれぞれの位置推定までの全センサーノードの送信回数を示す。図16を参照して、本発明による位置推定方法は、大幅に送信回数を削減する。SOLは、位置更新を各センサーノードで実施するため、センサーノード間で更新された仮の自己位置を頻繁に交換する。そのため、通信量は、大きくなる。一方、本発明による位置推定方法は、位置更新をクラウド環境の仮想の無線ネットワークで実施するため、各センサーノードは、位置更新時の仮の自己位置の交換は不要であり、仮想の無線ネットワークの構成のために、自身の隣接センサーノード情報をクラウドサーバへ転送するだけである。従って、通信回数を大幅に低減できる。

【0199】

(相対位置評価と絶対位置評価)

以下の方式での比較評価を行う。DV-hopは、アンカーノードの個数が3個でも、推定可能なRange-Free方式であるため比較対象とする。他の方式は、各センサーノードが少なくとも3個のアンカーノードとLOSである必要があり、評価条件では適用できない。

【0200】

- ・本発明による位置推定方法
- ・SOL
- ・DV-hop

評価は、相対位置評価と絶対位置評価の2通り行う。相対位置評価は、推定されたセンサーノードの位置により構成されるネットワークの形状(推定ネットワーク形状)とオリジナルネットワークの形状の相似性を次式(11)、(12)により評価する。

【0201】

10

20

30

40

【数 1 1】

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{D_{ij}}, \bar{r} = \frac{1}{|N|C_2} \sum_{i=1}^{|N|-1} \sum_{j=i+1}^{|N|} r_{ij} \quad \dots (11)$$

【0 2 0 2】

【数 1 2】

$$V[r_{ij}] = \frac{1}{|N|C_2} \sum_{i=1}^{|N|-1} \sum_{j=i+1}^{|N|} (1 - r_{ij}/\bar{r})^2 \quad \dots (12)$$

10

【0 2 0 3】

d_{ij} は、推定位置におけるセンサーノード i とセンサーノード j の距離 (推定距離) であり、 D_{ij} は、オリジナルのネットワークにおけるセンサーノード i とセンサーノード j の距離であり、 N は、位置推定センサーノードの集合であり、 $|N|$ は、センサーノードの数 (集合 N の要素数) を示す。 $V[r_{ij}]$ が 0 に近づけば、推定ネットワーク形状は、オリジナルのネットワーク形状と相似となる。すなわち、 $V[r_{ij}]$ が 0 の場合、推定ネットワーク形状は、オリジナルのネットワーク形状にばらつきなく完全に一致する

20

絶対位置評価は、推定された各センサーノードの位置と真位置のユークリッド距離の総和の平均である位置推定誤差 Err_{ave} を用いて評価する。 Err_{ave} は、次式によって求められる。

【0 2 0 4】

【数 1 3】

$$Err_{ave} = \frac{1}{|N|} \sum_{i=1}^N |W_i - w_i| \quad \dots (13)$$

【0 2 0 5】

30

W_i は、センサーノード i の真位置であり、 w_i は、推定位置を示す。以上の 2 つの評価を用いて、センサーノード間の相対位置関係が正しく、かつ、個々のセンサーノード位置が絶対位置として正しく推定されて有用な位置であるかを評価する。

【0 2 0 6】

図 18、図 19、図 20、および図 21 は、それぞれ、C 型トポロジー、L 型トポロジー、H 型トポロジー、および O 型トポロジーにおける相対位置評価と絶対位置評価を示す図である。

【0 2 0 7】

各図は、それぞれの評価ごとに全体スケール (左側) と詳細スケール (右側) とを示す。

【0 2 0 8】

40

まず、相対評価について説明する。図 18 の C 型トポロジーの相対位置評価において、本発明の位置推定方法の $V[r_{ij}]$ は、SOL の $V[r_{ij}]$ より低く、かつ、0 に極めて近い。一方、DV-hop の $V[r_{ij}]$ は、SOL や本発明の位置推定方法と比較すると非常に大きい。この原因は、NLOS 混在環境においては、DV-hop では、算出された 1 ホップの距離精度が低いため、多角測量の最小二乗法から解が得られず、その場合には、センサーノードの位置を 3 個のアンカーノード重心として推定するためである。すなわち、NLOS 混在環境においてアンカーノードの個数が 3 個では、DV-hop は、ほぼ機能しない。本発明の位置推定方法と SOL とを比較すると、本発明の位置推定方法の $V[r_{ij}]$ は、SOL よりも常に低く、極めて 0 に近い。すなわち、本発明の位置推定方法は、SOL よりも高精度なトポロジー形状を再現でき、そのばらつきも極めて小さい。

50

SOLは、いくつかのケースで折れ曲がりが発生し、 $V[r_{ij}]$ が高くなる。

【0209】

図19のL型トポロジーの相対評価 $V[r_{ij}]$ も、C型トポロジーと同等の傾向（本発明の位置推定方法は、SOLよりも常に低く極めて0に近く、DV-hopは、この2方式と比較して非常に高い）であるが、SOLの $V[r_{ij}]$ がC型トポロジーの場合より低い値になっている。L型トポロジーは、縦方向と横方向の2つのブロックの組み合わせであり、比較的少ないホップ数でも形状の識別が可能である。一方、C型トポロジーは、上部と下部の横方向のブロックと左側の縦方向のブロックの3つのブロックの組み合わせであり、L型トポロジーと比較すると、ホップ数を重ねないと、その形状が識別できない。従って、SOLは、C型トポロジーよりL型トポロジーにおいて比較的折れ曲がりを抑制でき、その $V[r_{ij}]$ が低くなると考えられる。

10

【0210】

図20のH型トポロジーの相対評価は、C型トポロジーとほぼ同等の結果となる。H型トポロジーは、左右の縦方向のブロックと中央の横方向のブロックの3つのブロックの組み合わせであることから、C型トポロジーと同等の結果になると考えられる。

【0211】

図21のO型トポロジーの相対評価も同様の傾向であるが、SOLの $V[r_{ij}]$ が他の型のトポロジーの場合より高く、DV-hopは、やはり他の2方式と比較すると非常に高い値であるが、 $V[r_{ij}]$ がセンサーノード数の増加に従って減少する。SOLの $V[r_{ij}]$ が高くなる原因は、O型トポロジーが上下の横方向のブロックと左右の縦方向のブロックの4つのブロックの組み合わせであり、他の型のトポロジーより形状を識別するにはより多くのホップ数が必要なためと考えられる。DV-hopがセンサーノード数の増加とともに $V[r_{ij}]$ が減少するのは、多角測定の最小二乗法が収束しないケースが少なくなっているためであるが、その値は、他の2方式と比較して圧倒的に高いことは変わらない。

20

【0212】

以上のことから、

- ・DV-hopは、いずれの型のトポロジーにおいてもオリジナルの形状を再現できない。すなわち、センサーノード間の相対的位置関係は、著しく不正である。

【0213】

- ・SOLは、トポロジーの型に依存して形状再現の精度が変動する。すなわち、トポロジーの型に依存してセンサーノード間の相対的位置関係が不正となる場合がある。

30

【0214】

- ・本発明の位置推定方法は、トポロジーの型に関わらず、高精度に形状を再現する。すなわち、トポロジーの型に依存せず高精度なセンサーノード間の相対的位置関係を推定できる。

といえる。

【0215】

次に、絶対位置評価について述べる。図18の絶対位置評価において、本発明の位置推定方法は、SOLと比較して、位置推定誤差が非常に小さく、位置推定精度が圧倒的に高い。SOLは、少数のネットワークのトポロジーにおいて、部分的な形状は、正しく推定されているが、折れ曲がりが発生し、トポロジー全体として大きな誤差となる。数は少ないが、誤差が非常に大きなケースがあり、これが全トポロジーの平均誤差を大きく引き上げる。

40

【0216】

一方、本発明の位置推定方法は、完全に折れ曲がりトポロジーを抑制し、安定して低い誤差を維持する。DV-hopの位置推定誤差は、SOLより低くなっているが、相対位置評価で述べたように、DV-hopは、センサーノード間の相対位置関係が全く再現されておらず、位置推定誤差以上に位置情報としての有用性は非常に低い。

【0217】

50

図19の絶対位置評価では、SOLの位置推定誤差は、ノード数が増えると小さくなって安定し、DV-hopより良くなる。これは、前述したようにL型トポロジーは、少ないホップ数でも形状を識別できるため、SOLにおいても折れ曲がり抑制され、C型トポロジーの場合より改善したためと考えられる。DV-hopは、C型トポロジーと同様に0.2から0.25となる。これは、大部分のセンサーノードが3個のアンカーノードの重心位置として推定しているためである。本発明の位置推定方法は、図18と同様に、その位置推定誤差は、安定して非常に小さい。

【0218】

図20の絶対位置評価では、SOLの値は、大きく変動し、図19のL型トポロジーの場合と明らかに異なる。大きな値となる場合は、折れ曲がりが多く発生しており、その原因は、相対評価で述べたように、H型トポロジーは、L型トポロジーと比較すると、その形状を識別するには多くのホップ数を必要とするためである。DV-hopの位置推定誤差は、上述したのと同様の結果となる。本発明の位置推定方法は、上述したのと同様に安定して非常に低い。

10

【0219】

図21のO型トポロジーの絶対位置評価では、SOLのH型トポロジーと同様に変動する。その原因は、C型トポロジー、H型トポロジーと同じ要因による。DV-hopの傾向が異なるが、これは、多角測量における最小二乗法から解が得られるケースが増えているためである。

【0220】

20

図22は、C型トポロジーにおけるアンカーノードの個数に応じたDV-hopの位置推定誤差を示す図である。この図から分かるようにアンカーノードの個数を増やしても、DV-hopの精度は改善しない。DV-hopでは、アンカーノード間にNLOSが存在すれば、1ホップの見積もり距離の精度が劣化し、多角測量のセンサーノードとアンカーノードとの間にNLOSが混在すると、精度の低い1ホップ距離に基づくセンサーノードとアンカーノードとの間の距離の精度は、さらに劣化する。この距離見積もり手法は、アンカーノードを増やしてもアンカーノード間を含むすべてのセンサーノード間においてNLOSとなる空間を排除できないため、改善されない。すなわち、多角測量は、LOS環境の距離を想定しており、DV-hopは、障害物がある環境ではアンカーノードを増やしてもセンサーノード間のNLOS環境を排除できないため、位置推定誤差の改善は困難となる。以上のことから、

30

- ・DV-hopは、NLOS混在環境では有用な位置推定ができない。

【0221】

- ・SOLは、トポロジーの型に依存して折れ曲がりが発生し、その位置精度が劣化する。

【0222】

- ・本発明の位置推定方法は、トポロジーの型に依存せず、高精度な位置を推定可能である。

といえる。

【0223】

40

図23、図24、図25および図26は、それぞれ、C型トポロジー、L型トポロジー、H型トポロジーおよびO型トポロジーにおけるオリジナルのトポロジーと本発明の位置推定方法とDV-hopそれぞれの推定トポロジーを示す図である。

【0224】

図23において、図18の相対位置評価が示すように、DV-hopの推定センサーノードの位置により構成されるネットワーク形状は、オリジナルネットワークの形状と著しく異なる。

【0225】

一方、本発明の位置推定方法により推定された形状は、オリジナルのネットワーク形状にほぼ一致する。図24、図25および図26に示すネットワーク形状においても、同様

50

に、D V - h o pにより推定された形状は、オリジナルのネットワークと著しく異なり、本発明の位置推定方法により推定された形状は、オリジナルのネットワーク形状にほぼ一致する。従って、C型トポロジー、L型トポロジー、H型トポロジー、O型トポロジーとなるNLOS混在環境において、本発明の位置推定方法は、ネットワークのトポロジーの形状再現に圧倒的に優れている。

【0226】

以上のことから、本発明の位置推定方法は、SOLでは折れ曲がる可能性があり、D V - h o pでは推定困難であるNLOS環境においてもネットワーク全体の高精度な形状再現と高精度なセンサーノードの位置推定が維持可能である。

【0227】

上述したシミュレーション評価によって、本発明の位置推定方法は、センサーノードの位置を高精度に推定できることが分かった。

【0228】

上記においては、仮の自己位置 $w_i(t)$ は、2次元の位置情報からなると説明したが、この発明の実施の形態においては、これに限らず、仮の自己位置 $w_i(t)$ は、3次元の位置情報からなってもよい。

【0229】

この場合、センサーノード1~7のうち、4個のセンサーノードがアンカーノードであり、アンカーノードの真位置 $W_A = (X_A, Y_A, Z_A)$ と推定位置 $w_A = (x_A, y_A, z_A)$ との関係は、次式のようになる。

【0230】

【数9】

$$\left. \begin{aligned} X_A &= ax_A + by_A + cz_A + t_x \\ Y_A &= dx_A + ey_A + fz_A + t_y \\ Z_A &= gx_A + hy_A + iz_A + t_z \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

【0231】

式(9)を用いて、4つのアンカーノードの真位置と推定位置とから12個の連立方程式を作成し、12個の連立方程式を解くことにより、係数 $a, b, c, d, e, f, g, h, i, t_x, t_y, t_z$ を得る。

【0232】

そして、得られた係数 $a, b, c, d, e, f, g, h, i, t_x, t_y, t_z$ を用いて、全てのセンサーノード i について、次式によって推定位置 $w_i = (x_i, y_i, z_i)$ を絶対位置 $W_i = (X_i, Y_i, Z_i)$ に変換する。

【0233】

【数10】

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c & t_x \\ d & e & f & t_y \\ g & h & i & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} \dots (10)$$

【0234】

従って、仮の自己位置 $w_i(t)$ が3次元の位置情報からなる場合、変換手段96は、式(9)、(10)を用いてセンサーノード i の推定位置 $w_i = (x_i, y_i, z_i)$ を絶対位置 $W_i = (X_i, Y_i, Z_i)$ に変換する。

【0235】

また、上記においては、無線ネットワーク10は、センサーノード1~7を備えると説

10

20

30

40

50

明したが、この発明の実施の形態においては、これに限らず、無線ネットワーク10は、一般的には、 m (m は4以上の整数)個の無線装置を備えていればよい。上述した領域判定によってトポロジー矛盾の有無を判定するためには、位置推定の対象となる対象無線装置と、対象無線装置の1次近傍無線装置と、対象無線装置の2次近傍無線装置と、対象無線装置と2次近傍無線装置との共通1次近傍無線装置とが必要であるので、無線ネットワーク10は、少なくとも4個の無線装置を備えている必要があるからである。

【0236】

位置推定の対象が無線装置である場合、図10に示すフローチャートのステップS5において実行される位置推定処理は、次のように定義される。

【0237】

位置推定処理は、前記対象無線装置の仮の自己位置情報と前記対象無線装置から n ホップの位置に存在する n 次近傍無線装置の仮の自己位置情報とに基づいて計算された前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の距離が n ホップのホップ数からなる距離に近づくように前記対象無線装置の仮の自己位置を前記対象無線装置からのホップ数 n に応じてそれぞれ修正するための1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ 、2次修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ 、 \dots 及び n 次修正ベクトル $V_i^{\{n\}}(t)$ からなる n 個の修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t) \sim V_i^{\{n\}}(t)$ を、1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と n 次修正ベクトルと $V_i^{\{n\}}(t)$ からなる第1番目の修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)$)、1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と $n-1$ 次修正ベクトル $V_i^{\{n-1\}}(t)$ とからなる第2番目の修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)$)、 \dots 、1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と2次修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ とからなる第 $n-1$ 番目の修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$)の順に適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する処理である。

【0238】

また、図10に示すフローチャートにおいて、ステップS10の後にステップS5が実行される場合、推定された位置を用いて算出された無線装置間の演算距離が用いられるので、位置推定処理は、前記対象無線装置の仮の自己位置情報と前記対象無線装置から n ホップの位置に存在する n 次近傍無線装置の仮の自己位置情報とに基づいて計算された前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の距離が推定位置を用いて算出された前記対象無線装置と前記 n 次近傍無線装置との間の演算距離に近づくように前記対象無線装置の仮の自己位置を前記対象無線装置からのホップ数 n に応じてそれぞれ修正するための1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ 、2次修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ 、 \dots 及び n 次修正ベクトル $V_i^{\{n\}}(t)$ からなる n 個の修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t) \sim V_i^{\{n\}}(t)$ を、1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と n 次修正ベクトルと $V_i^{\{n\}}(t)$ からなる第1番目の修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n\}}(t)$)、1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と $n-1$ 次修正ベクトル $V_i^{\{n-1\}}(t)$ とからなる第2番目の修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{n-1\}}(t)$)、 \dots 、1次修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ と2次修正ベクトル $V_i^{\{2\}}(t)$ とからなる第 $n-1$ 番目の修正ベクトル($V_i^{\{1\}}(t) + V_i^{\{2\}}(t)$)の順に適用して前記対象無線装置の仮の自己位置を推定する処理である。

【0239】

また、領域判定処理は、次のように定義される。領域判定処理は、対象無線装置の推定された位置と対象無線装置の1次近傍無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が対象無線装置および対象無線装置の1次近傍無線装置のいずれに近いかを判定し、当該判定に引き続いて、対象無線装置と対象無線装置の2次近傍無線装置との共通の1次近傍無線装置の推定された位置と対象無線装置の推定された位置との間の線分の垂直二等分線を基準として対象無線装置の2次近傍無線装置の推定された位置が対象無線装置および共通の1次近傍無線装置のいずれに近いかを共通の1次近傍無線装置を複数回変えて判定する処理である。

【0240】

10

20

30

40

50

更に、距離矛盾判定処理は、次のように定義される。距離矛盾判定処理は、対象無線装置の複数の1次近傍無線装置と複数の2次近傍無線装置とを用いて、対象無線装置の推定された位置が対象無線装置の1次近傍無線装置よりも対象無線装置の2次近傍無線装置に近いと判定されたとき、トポロジー矛盾があると判定する処理である。

【0241】

図4に示す位置推定装置9の取得手段92、トポロジー生成手段93、位置更新手段94、位置情報生成手段95、変換手段96、判定手段97、演算手段98および仮想トポロジー生成手段99は、ソフトウェアによって実現されてもよい。

【0242】

この場合、位置推定装置9は、CPU(Central Processing Unit)、ROM(Read Only Memory)およびRAM(Random Access Memory)を備える。そして、ROMは、図10および図11に示すフローチャートからなるプログラムPROGを記憶する。

【0243】

CPUは、プログラムPROGをROMから読み出して実行し、上述した方法によってm個の無線装置の位置を推定する。そして、CPUは、ステップS10の後にステップS5を実行する場合、既に推定された位置を用いて対象無線装置とn次近傍無線装置との間の距離を演算し、その演算した演算距離をRAMに記憶しておき、対象無線装置の仮の自己位置とn次近傍無線装置の仮の自己位置とを用いて算出された距離が対象無線装置とn次近傍無線装置との間の演算距離に近づくように対象無線装置の仮の自己位置を更新する。

【0244】

従って、プログラムPROGは、m個の無線装置の位置の推定をコンピュータ(CPU)に実行させるためのプログラムである。

【0245】

この発明の実施の形態においては、プログラムPROGは、CDおよびDVD等の記録媒体に記憶されていてもよい。そして、無線装置の位置を推定しようとするユーザは、その記録媒体をコンピュータにセットし、記録媒体からプログラムPROGを読み出して実行する。

【0246】

従って、プログラムPROGを記録した記録媒体は、コンピュータが読み取り可能な記録媒体である。

【0247】

上記においては、位置推定装置9は、クラウド上に配置されると説明したが、この発明の実施の形態においては、これに限らず、位置推定装置9は、シンク8に設置されてもよい。

【0248】

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】

【0249】

この発明は、位置推定装置、位置推定をコンピュータに実行させるためのプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に適用される。

【符号の説明】

【0250】

1~7 センサーノード、8 シンク、9 位置推定装置、10 無線ネットワーク、11, 81 アンテナ、12, 82 送受信部、13, 83 制御部、91 受信部、92 取得手段、93 トポロジー生成手段、94 位置更新手段94、95 位置情報生

10

20

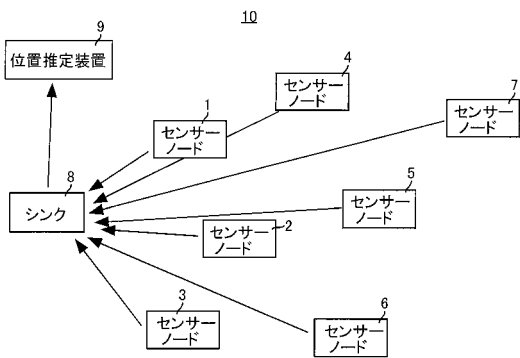
30

40

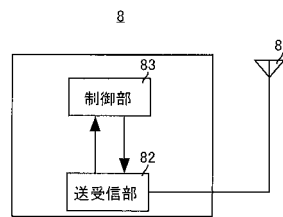
50

成手段、96 変換手段、97 判定手段、98 演算手段、99 仮想トポロジー生成手段。

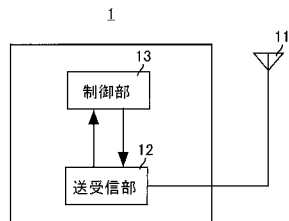
【図1】



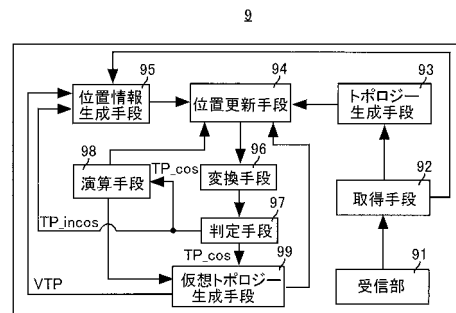
【図3】



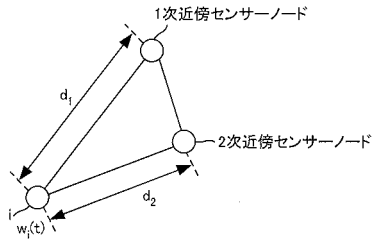
【図2】



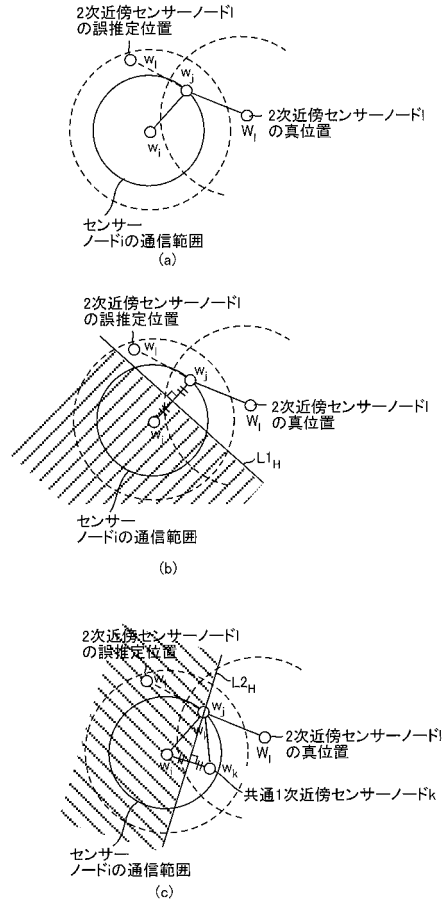
【図4】



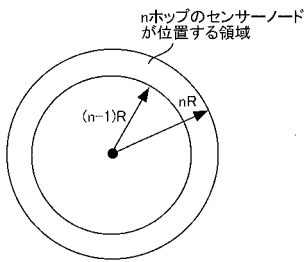
【 図 5 】



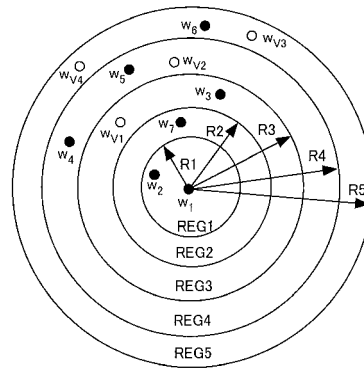
【 図 6 】



【 図 7 】



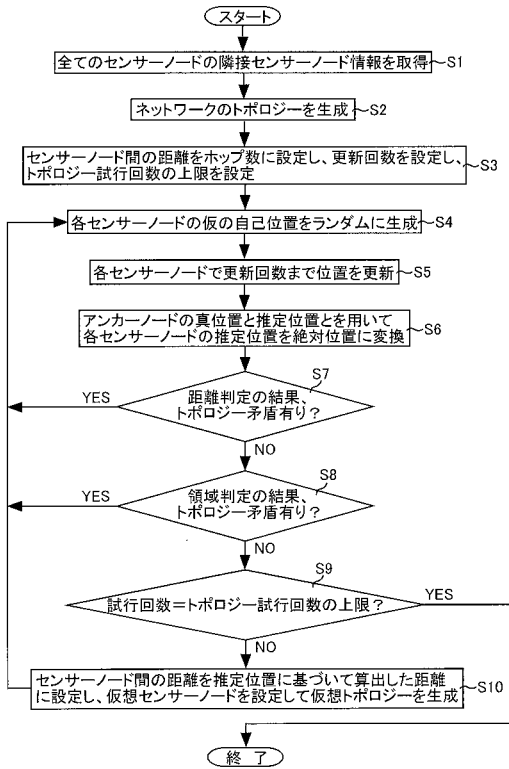
【 図 9 】



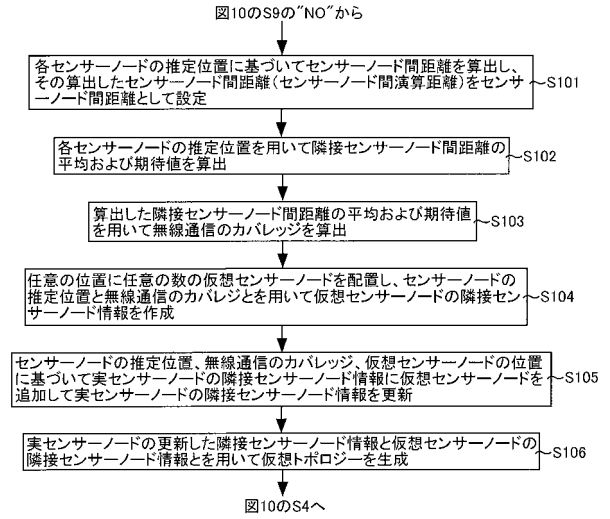
【 図 8 】

ホップ数n	1	2	3	4	5
センサーノード間の距離の期待値 $d^{(n)}$	$(2/3)R = 0.67R$	$(14/9) = 1.56R$	$(38/15)R = 2.53R$	$(74/21)R = 3.52R$	$(122/27)R = 4.52R$

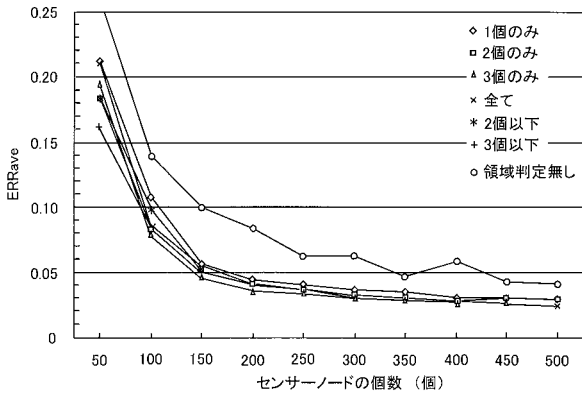
【 図 1 0 】



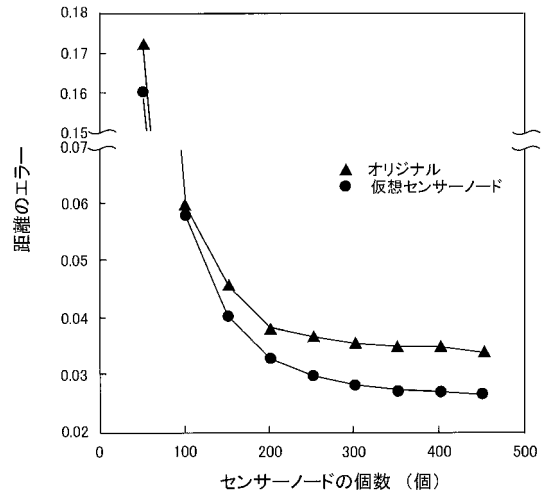
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



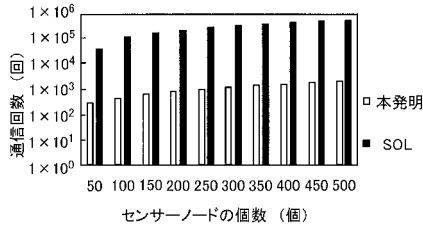
【 図 1 4 】

フィールド範囲	1.0m × 1.0m
障害物	C型、L型、H型、O型
通信半径	0.2m
アンカーノード数	3
位置修正回数	800
評価トポロジー数	50

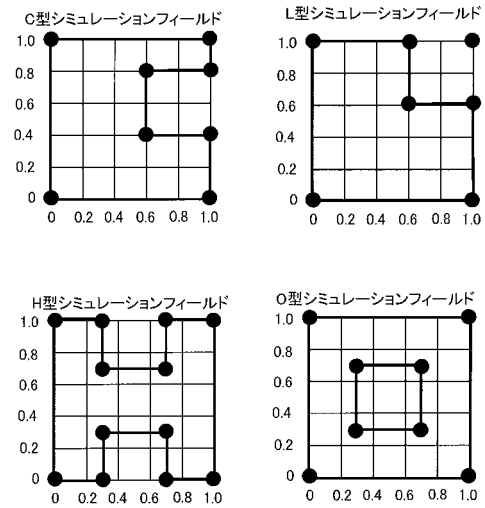
【 図 1 5 】

減衰定数 η	0.995
トポロジー無線閾値 λ	0.1
判定閾値 β	0.05

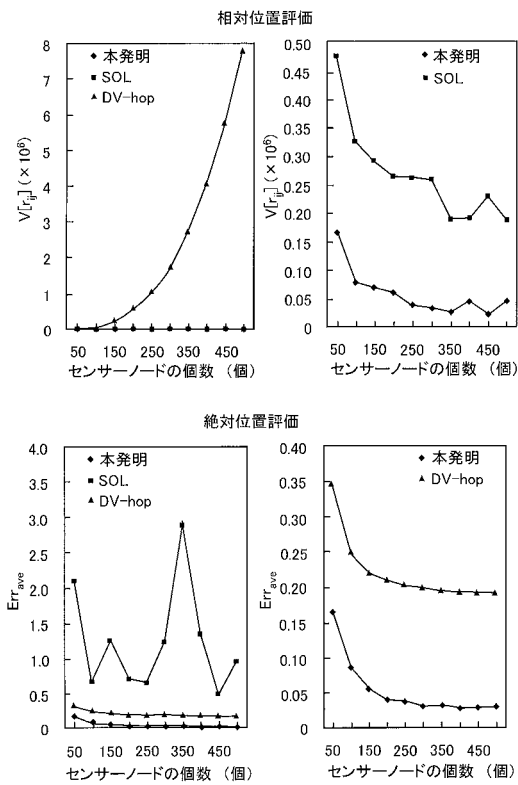
【 図 1 6 】



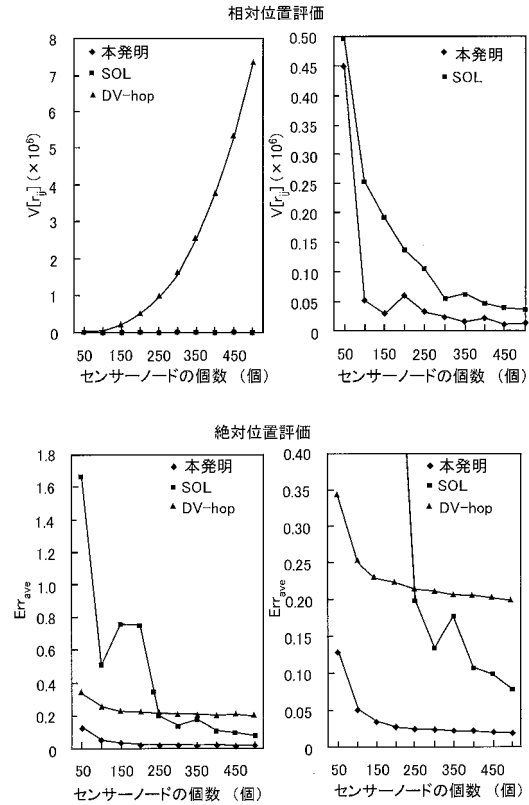
【 図 1 7 】



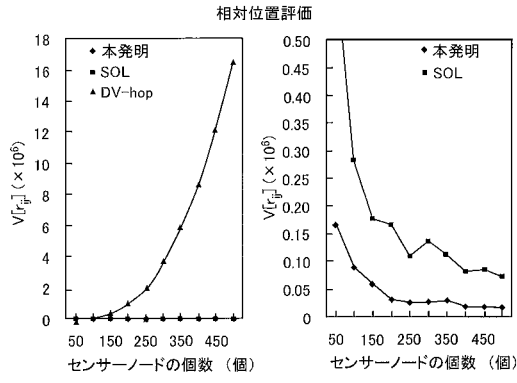
【 図 1 8 】



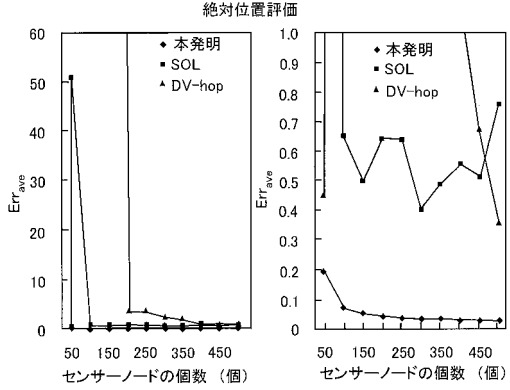
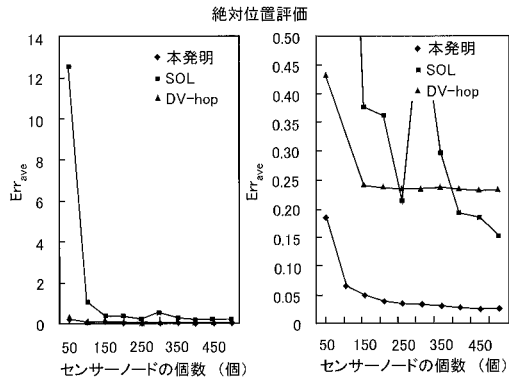
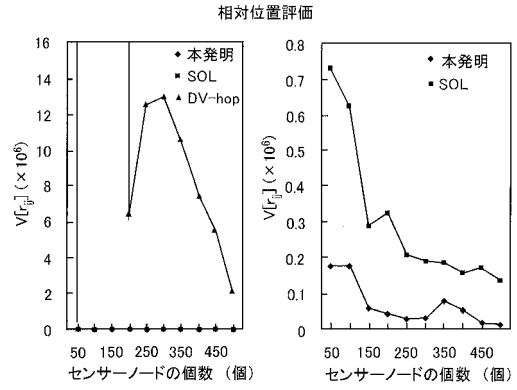
【 図 1 9 】



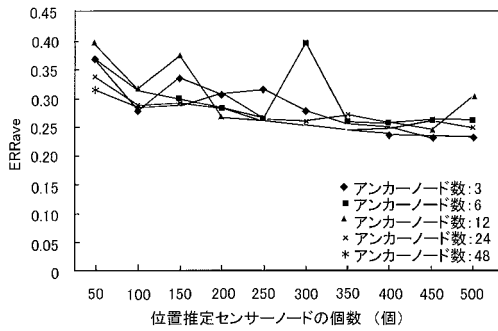
【 図 2 0 】



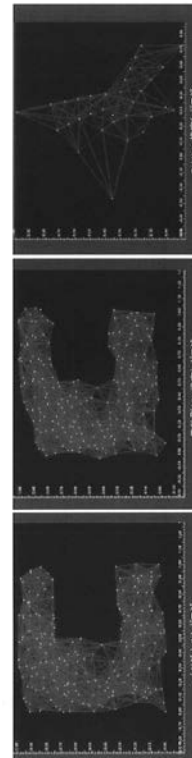
【 図 2 1 】



【 図 2 2 】

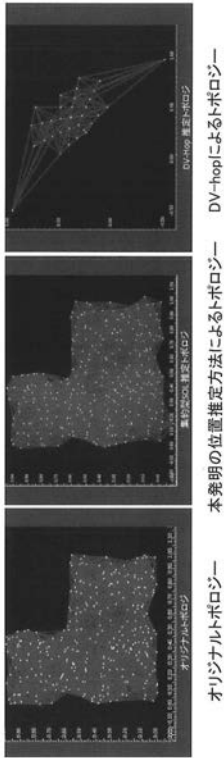


【 図 2 3 】

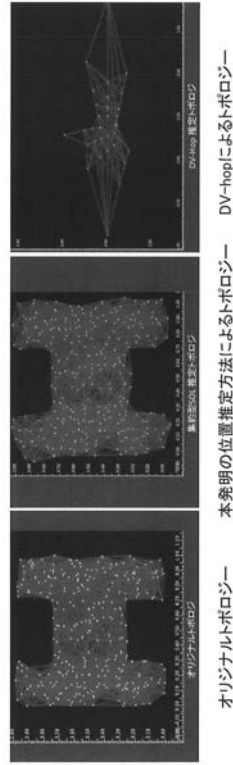


オリジナルトポロジー
本発明の位置推定方法によるトポロジー
DV-hopによるトポロジー

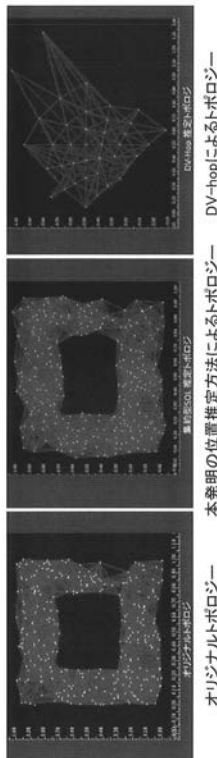
【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 北之馬 貴正
大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学大学院理工学研究科内
- (72)発明者 毛利 友紀
大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学大学院理工学研究科内
- (72)発明者 安達 直世
大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学環境都市工学部内
- Fターム(参考) 5K067 AA42 EE12 JJ41 JJ52