

(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2020-139930
(P2020-139930A)

(43) 公開日 令和2年9月3日(2020.9.3)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO1S 5/02 (2010.01) GO1S 5/02 Z 5J062

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-38028 (P2019-38028)</p> <p>(22) 出願日 平成31年3月1日(2019.3.1)</p> <p>(出願人による申告)平成30年度、総務省、電波資源拡大のための研究開発、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(71) 出願人 301022471 国立研究開発法人情報通信研究機構 東京都小金井市貫井北町4-2-1</p> <p>(74) 代理人 100120868 弁理士 安彦 元</p> <p>(72) 発明者 小野 文枝 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内</p> <p>(72) 発明者 児島 史秀 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内</p> <p>(72) 発明者 三浦 龍 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

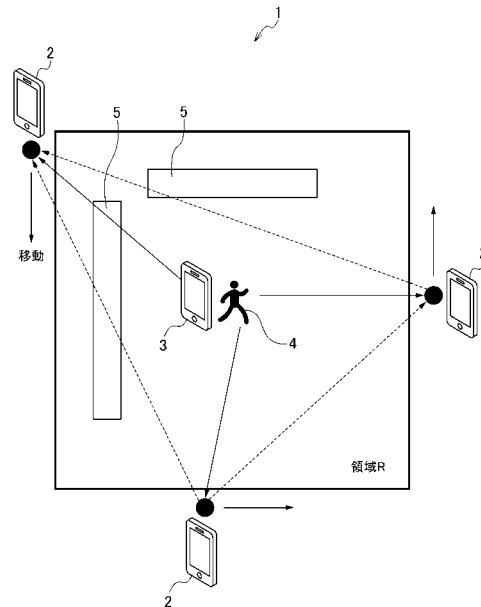
(54) 【発明の名称】 位置推定システム及び方法

(57) 【要約】

【課題】領域外に固定的に配置する相当数の無線端末を準備することなく、また事前に障害物の配置を推定していない未知の領域において、人間の位置を即座に推定する。

【解決手段】移動無線端末2間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(1)}$ を測定し、移動無線端末2と対象体4との間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(2)}$ を測定し、移動無線端末2間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(1)}$ を取得し、対象体4と移動無線端末2間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(2)}$ を取得し、測定した観測ベクトル $z^{(1)}$ と、取得した重み行列 $W^{(1)}$ とに基づいて、領域内を分割した小領域毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求め、測定した観測ベクトル $z^{(2)}$ と、取得した重み行列 $W^{(2)}$ と減衰マップ f とに基づいて、対象体の位置を推定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

領域外を時系列的に移動する複数の移動無線端末により、上記領域内にある対象体の位置推定を行う移動無線端末による位置推定システムにおいて、

上記移動無線端末間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(1)}$ を測定する第 1 観測ベクトル測定手段と、

上記移動無線端末と上記対象体との間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(2)}$ を測定する第 2 観測ベクトル測定手段と、

上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(1)}$ を取得する第 1 重み行列取得手段と、

上記対象体と上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(2)}$ を取得する第 2 重み行列取得手段と、

上記第 1 観測ベクトル測定手段により測定された観測ベクトル $z^{(1)}$ と、上記第 1 重み行列取得手段により取得された重み行列 $W^{(1)}$ とに基づいて、上記領域内を分割した小領域毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求める減衰マップ取得手段と、

上記第 2 観測ベクトル測定手段により測定された観測ベクトル $z^{(2)}$ と、上記第 2 重み行列取得手段により取得された重み行列 $W^{(2)}$ と、上記減衰マップ取得手段により取得された減衰マップ f とに基づいて、上記対象体の位置を推定する位置推定手段とを備えること

を特徴とする位置推定システム。

【請求項 2】

上記位置推定手段は、更に上記移動無線端末と上記対象体との間で送受信する無線信号の距離減衰 d とに基づいて、上記対象体の位置を推定すること

を特徴とする請求項 1 記載の位置推定システム。

【請求項 3】

上記位置推定手段は、上記観測ベクトル $z^{(2)}$ と、上記重み行列 $W^{(2)}$ と、上記距離減衰 d について、上記対象体の位置 r をそれぞれ関数とした $z^{(2)}(r)$ 、 $W^{(2)}(r)$ 、 $d(r)$ を有する下記式を満たす r に基づいて上記対象体の位置を推定すること

$$z^{(2)}(r) = W^{(2)}(r) f + d(r)$$

を特徴とする請求項 2 記載の位置推定システム。

【請求項 4】

上記減衰マップ取得手段は、それぞれ時系列的に取得された上記観測ベクトル $z_t^{(1)}$ と、上記重み行列 $W_t^{(1)}$ とに基づいて、上記減衰マップ F_t を時系列的に取得し、

上記位置推定手段は、それぞれ時系列的に取得された上記観測ベクトル $z_t^{(2)}$ と、上記重み行列 $W_t^{(2)}$ と、上記減衰マップ取得手段により時系列的に取得された上記減衰マップ F_t とに基づいて、上記対象体の位置を時系列的に順次推定すること

を特徴とする請求項 1 記載の位置推定システム。

【請求項 5】

上記減衰マップ取得手段は、更に観測誤差 v_t を時系列的に取得し、

下記式に基づいてカルマンフィルタによる逐次推定を行うことで、上記減衰マップ F_t を求めること

$$z_t^{(1)} = W_t^{(1)} F_t + v_t$$

$$F_{t+1} = F_t$$

v_t : 時系列的に設定される観測誤差

を特徴とする請求項 4 記載の位置推定システム。

【請求項 6】

領域外を時系列的に移動する複数の移動無線端末により、上記領域内にある対象体の位置推定を行う移動無線端末による位置推定方法において、

上記移動無線端末間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(1)}$ を測定

する第 1 観測ベクトル測定ステップと、

上記移動無線端末と上記対象体との間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(2)}$ を測定する第 2 観測ベクトル測定ステップと、

上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(1)}$ を取得する第 1 重み行列取得ステップと、

上記対象体と上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(2)}$ を取得する第 2 重み行列取得ステップと、

上記第 1 観測ベクトル測定ステップにおいて測定した観測ベクトル $z^{(1)}$ と、上記第 1 重み行列取得において取得した重み行列 $W^{(1)}$ とに基づいて、上記領域内を分割した小領域毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求める減衰マップ取得ステップと、

上記第 2 観測ベクトル測定ステップにおいて測定した観測ベクトル $z^{(2)}$ と、上記第 2 重み行列取得ステップにおいて取得した重み行列 $W^{(2)}$ と、上記減衰マップ取得ステップにおいて取得された減衰マップ f とに基づいて、上記対象体の位置を推定する位置推定ステップとを有すること

を特徴とする位置推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

領域外を時系列的に移動する複数の移動無線端末により、上記領域内にある対象体の位置推定を行う位置推定システム及び方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

火災が発生している建築構造物等に消防員が突入して消火活動や救助活動を行う場合のように、危険領域内において人間が作業を行わざるを得ないケースがある。かかる場合には、万一のことも想定し、その危険領域内に侵入した人間の正確な位置を把握する必要もある。

【0003】

従来において、危険領域内に侵入した人間が携帯する無線端末からの受信信号強度 (RSS) 等を測定し、その測定した RSS からその危険領域内を移動する人間の位置をリアルタイムに把握する方法が提案されている。しかしながら、この RSS に基づく位置推定方法では、例えば建築構造物内における壁や什器等により無線端末から発信した電波が遮蔽されてしまうことから、位置推定の精度が低下してしまうという問題点があった。

【0004】

このため、無線トモグラフィを利用することにより、領域内を移動する人間の位置をより高精度に推定する方法が提案されている。この無線トモグラフィとは、領域外に設置された無線端末間の受信電力より、領域内部の各地点における信号電力の減衰量を推定する方法である。無線トモグラフィを利用した位置推定を行うためには、領域外に固定された無線端末を介して、領域内部の信号減衰の空間分布を推定し、更にこの空間分布に基づいて実際の人間の位置を推定することになる。

【0005】

図 7 は、無線トモグラフィを利用した従来の位置推定システム 7 を示している (例えば、非特許文献 1 参照)。この位置推定システム 7 では、領域外に固定的に設けられた無線端末 71 により、領域内における人間の位置を把握するためには、領域内にある壁や什器の影響を除去する必要がある。このため、図 7 (a) に示すように、先ず計測対象の人間が居ない状態における領域内に対して、領域外の無線端末 71 から無線信号を照射し、その減衰量から領域内の壁や什器等の障害物 72 の配置を推定する。次に、実際に位置情報を測定したい人間が、この領域内に侵入した場合には、図 7 (b) に示すように、領域外の無線端末 71 から無線信号を照射し、その減衰量を得るところまでは同様であるが、以前に推定した障害物 72 の配置をこの減衰量から補正することにより、当該障害物 72 の影響を除去した人間のみの位置情報を高精度に推定することが可能となる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】J. Wilson, and N. Patwari, "Radio Tomographic Imaging with Wireless Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 9, no. 5, pp. 621--632, 2010.

【非特許文献2】B. R. Hamilton, X. Ma, Robert J. Baxley, and Stephen M. Matechik, "Propagation Modeling for Radio Frequency Tomography in Wireless Networks," IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 8, no. 1, pp. 55-65, Feb. 2015

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述した従来技術によれば、位置推定精度を向上させるためには、領域外に固定的に設置する無線端末の数をある程度揃える必要がある。このため、実際に無線トモグラフィによる位置推定を行う領域毎に、相当数の無線端末を予め敷設しておく必要があることから、実用化を考える上では、その敷設労力の増大に伴いコストが増加してしまう問題点があった。

【0008】

また、上述した従来技術によれば、事前に障害物の配置を推定するための減衰量測定を行った上で、人間の位置情報の推定時にこれを補正する必要がある。このため、事前に障害物の配置を推定していない未知の領域において、人間の位置推定を緊急に行う必要がある場合に、これを即座に開始することができなくなるという問題点もあった。

20

【0009】

そこで、本発明は、上述した問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的とするところは、領域外を時系列的に移動する複数の移動無線端末により、領域内にある対象体の位置推定を無線トモグラフィにより行う上で、領域外に固定的に配置する相当数の無線端末を準備することなく、また事前に障害物の配置を推定していない未知の領域において、人間の位置を即座に推定することが可能な位置推定システム及び方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、上述した課題を解決するために、移動無線端末間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(1)}$ を測定し、移動無線端末と対象体との間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(2)}$ を測定し、移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(1)}$ を取得し、対象体と移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(2)}$ を取得し、測定した観測ベクトル $z^{(1)}$ と、取得した重み行列 $W^{(1)}$ とに基づいて、領域内を分割した小領域毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求め、測定した観測ベクトル $z^{(2)}$ と、取得した重み行列 $W^{(2)}$ と減衰マップ f とに基づいて、対象体の位置を推定する方法を発明した。

40

【0011】

第1発明に係る位置推定システムは、領域外を時系列的に移動する複数の移動無線端末により、上記領域内にある対象体の位置推定を行う移動無線端末による位置推定システムにおいて、上記移動無線端末間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(1)}$ を測定する第1観測ベクトル測定手段と、上記移動無線端末と上記対象体との間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(2)}$ を測定する第2観測ベクトル測定手段と、上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(1)}$ を取得する第1重み行列取得手段と、上記対象体と上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(2)}$ を取得する第2重み行列取得手段と、上記第1観測ベクトル測定手段により測定された観測ベクトル $z^{(1)}$ と、上記第1重み行列取得手段により取得された重み行列 $W^{(1)}$ とに基づいて、上

50

記領域内を分割した小領域毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求める減衰マップ取得手段と、上記第2観測ベクトル測定手段により測定された観測ベクトル $z^{(2)}$ と、上記第2重み行列取得手段により取得された重み行列 $W^{(2)}$ と、上記減衰マップ取得手段により取得された減衰マップ f とに基づいて、上記対象体の位置を推定する位置推定手段とを備えることを特徴とする。

【0012】

第2発明に係る位置推定システムは、第1発明において、上記位置推定手段は、更に上記移動無線端末と上記対象体との間で送受信する無線信号の距離減衰 d とに基づいて、上記対象体の位置を推定することを特徴とする。

【0013】

第3発明に係る位置推定システムは、第2発明において、上記位置推定手段は、上記観測ベクトル $z^{(2)}$ と、上記重み行列 $W^{(2)}$ 、上記距離減衰 d について、上記対象体の位置 r をそれぞれ関数とした $z^{(2)}(r)$ 、 $W^{(2)}(r)$ 、 $d(r)$ を有する下記式を満たす r に基づいて上記対象体の位置を推定すること

$$z^{(2)}(r) = W^{(2)}(r) f + d(r)$$

を特徴とする。

【0014】

第4発明に係る位置推定システムは、第1発明において、上記減衰マップ取得手段は、それぞれ時系列的に取得された上記観測ベクトル $z_t^{(1)}$ と、上記重み行列 $W_t^{(1)}$ とに基づいて、上記減衰マップ F_t を時系列的に取得し、上記位置推定手段は、それぞれ時系列的に取得された上記観測ベクトル $z_t^{(2)}$ と、上記重み行列 $W_t^{(2)}$ と、上記減衰マップ取得手段により時系列的に取得された上記減衰マップ F_t とに基づいて、上記対象体の位置を時系列的に順次推定することを特徴とする。

【0015】

第5発明に係る位置推定システムは、第4発明において、上記減衰マップ取得手段は、下記式に基づいてカルマンフィルタによる逐次推定を行うことで、上記減衰マップ F_t を求めること

$$z_t^{(1)} = W_t^{(1)} F_t + v_t$$

$$F_{t+1} = F_t$$

v_t : 時系列的に設定される観測誤差

を特徴とする。

【0016】

第6発明に係る位置推定方法は、領域外を時系列的に移動する複数の移動無線端末により、上記領域内にある対象体の位置推定を行う移動無線端末による位置推定方法において、上記移動無線端末間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(1)}$ を測定する第1観測ベクトル測定ステップと、上記移動無線端末と上記対象体との間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z^{(2)}$ を測定する第2観測ベクトル測定ステップと、上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(1)}$ を取得する第1重み行列取得ステップと、上記対象体と上記移動無線端末間の位置関係に基づく重み行列 $W^{(2)}$ を取得する第2重み行列取得ステップと、上記第1観測ベクトル測定ステップにおいて測定した観測ベクトル $z^{(1)}$ と、上記第1重み行列取得において取得した重み行列 $W^{(1)}$ とに基づいて、上記領域内を分割した小領域毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求める減衰マップ取得ステップと、上記第2観測ベクトル測定ステップにおいて測定した観測ベクトル $z^{(2)}$ と、上記第2重み行列取得ステップにおいて取得した重み行列 $W^{(2)}$ と、上記減衰マップ取得ステップにおいて取得された減衰マップ f とに基づいて、上記対象体の位置を推定する位置推定ステップとを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

上述した構成からなる本発明によれば、領域 R 内における対象体の位置を正確に推定することができる。本発明によれば、領域外に移動無線端末を時系列的に移動させれば位置

10

20

30

40

50

推定ができることから、従来のように、固定的に設置する無線端末の数をある程度揃える必要も無くなり、その敷設労力を軽減でき、コストを抑えることができる。

【0018】

また本発明によれば、事前に障害物の配置を推定するステップを省略し、対象体の位置推定時に、この障害物の配置も同時に考慮して補正することができる。このため、事前に障害物の配置を推定していない未知の領域において、対象体の位置を即座に推定することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明を適用した位置推定システムの全体構成を示す図である。

10

【図2】対象体の位置推定を行う上で必要な定義について説明するための図である。

【図3】本発明を適用した位置推定システムにおいて位置推定を行うためのフローチャートである。

【図4】移動無線端末間で計測する観測ベクトル $z^{(1)}$ について説明するための図である。

【図5】減衰マップ f の一例を示す図である。

【図6】観測ベクトル $z^{(2)}$ について説明するための図である。

【図7】従来技術の問題点について説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

20

以下、本発明を適用した位置推定システムについて図面を参照しながら詳細に説明をする。

【0021】

図1は、本発明を適用した位置推定システム1の全体構成を示している。この位置推定システム1は、領域Rの外部を時系列的に移動する複数の移動無線端末2と、領域R内にある対象体4が携帯し、又は実装されるデバイス3とを備えている。この位置推定システム1は、領域R内にある対象体4の位置推定を行うことを目的としたものである。

【0022】

移動無線端末2は、無線信号の送信機能、受信機能をそれぞれ有するものである。移動無線端末2は、例えば、センサ端末、リモートコントローラ、携帯電話機、スマートフォン、ウェアラブル端末、タブレット型端末、ノートPC、その他電子機器として具現化される。一对の移動無線端末2における一方の移動無線端末2は、無線信号を送信し、他方の移動無線端末2は、この送信されてきた無線信号を受信する。また、この一对の移動無線端末2における一方の移動無線端末2は無線信号の送信のみを行うものではなく、送信されてきた無線信号を受信し、他の移動無線端末2も同様に無線信号の受信のみを行うものではなく、無線信号の送信を行う場合もある。この移動無線端末2間で行われる無線信号の送受信は、主として領域Rにおける壁や什器といった遮蔽物の配置を把握するために行われるものである。

30

【0023】

また、この移動無線端末2は、領域R内にある対象体4が携帯し、又は実装されるデバイス3との間で無線信号を送受信する。この移動無線端末2とデバイス3との間における無線信号の送受信は、デバイス3の正確な位置を推定するために行われる。そして、デバイス3の位置を推定することができれば、当該デバイス3の位置を介して対象体4の位置を推定することが可能となる。

40

【0024】

各移動無線端末2は、領域R外における所定箇所に固定的に配置されるものではなく、それぞれ時系列的に移動することが前提となっている。この移動無線端末2の移動方法としては、スマートフォンやウェアラブル端末として具現化した上で、人間にこれを携帯させることで移動自在となるように構成するようにしてもよいし、人間以外の車両、ロボット、無人航空機(ドローン)、ヘリコプター等に搭載されることで移動自在とされていて

50

もよい。

【0025】

デバイス3は、無線信号の送信機能、受信機能をそれぞれ有するものである。デバイス3は、例えば、センサ端末、リモートコントローラ、携帯電話機、スマートフォン、ウェアラブル端末、タブレット型端末、ノートPC、その他電子機器として具現化される。デバイス3は、位置の推定対象である対象体により携帯され、又は実装される。対象体4が領域Rを時系列的に移動するものであるならば、このデバイス3もこれに応じて領域R内を時系列的に移動する。デバイス3は、上述したように、自らの位置を正確に把握することを目的とした無線信号の送受信を移動無線端末2との間で行う。

【0026】

対象体4は、デバイス3を携帯し、又はデバイス3が実装され、領域R内を移動自在としてなる。この対象体4は、領域R内に侵入した人間を想定しているが、これに限定されるものではなく、人間以外の対象物で構成されていてもよく、例えば、動物、ロボット、無人航空機、車両、船舶等で構成されていてもよい。対象体4は領域Rを時系列的に移動することを前提としているが、これに限定されるものではなく、必ずしも時系列的に移動することは必須ではない。

【0027】

領域Rは、例えば建築構造物の内部等である。この領域R内において例えば什器や壁等の遮蔽物5が配置され、更に上述した対象物が時系列的に移動する。但し、この領域Rは屋内に限定されるものではなく、屋外である場合も含まれる。

【0028】

次に本発明を適用した位置推定システム1の動作について説明をする。なお、以下に説明する動作において行われる各種演算は、何れか1以上の移動無線端末2やデバイス3において行うようにしてもよいし、移動無線端末2から図示しない基地局を介して通信可能な他の電子機器を通じて行うようにしてもよい。

【0029】

対象体4(デバイス3)の位置推定を行う上で以下に説明する定義を行う。図2に示すように、ターゲットとしての対象体4の位置をrとする。また、時刻t(t=1, 2, ...)における移動無線端末2としての観測ノードn(移動ノード)の位置をy_{t, n}(n=1, 2, ..., N)と定義する。つまり、n=1, 2, ..., Nからなる各移動無線端末2は、時刻t(t=1, 2, ...)においてそれぞれ時系列的に移動する。

【0030】

このような前提条件の下、本発明を適用した位置推定システム1は、図3に示すフローチャートに基づいて対象体4の位置推定を行う。

【0031】

まずステップS11において、移動無線端末2間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトルz⁽¹⁾を測定するとともに、重み行列W⁽¹⁾の算出を行う。

【0032】

図4に示すように観測ベクトルz⁽¹⁾は、例えば移動無線端末2におけるn₁、n₂に焦点を当てたとき、以下の式1)で定義することができる。なお、この式1)における観測ベクトルz⁽¹⁾は、あくまで距離減衰を除いた減衰量を仮定する。つまり、移動無線端末2の位置は分かっているものと仮定し、距離減衰も既知と仮定した上、これを除いた減衰量である。この減衰量には、移動無線端末2に存在する遮蔽物5に基づく減衰も含まれる。

【0033】

【数1】

$$z^{(1)} = \sum_{i=1}^{N_1 N_2} w(x_i; y_{n_1}, y_{n_2}) f_i = \mathbf{w}^T \mathbf{f}$$

..... 1)

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

ここで、 f_i は、図 4 に示すように領域 R を $N_1 \times N_2$ のブロックに分割したとき、 i 番目のブロックにおける信号減衰率を示している。各ブロック (1、2、3、 \dots 、 $N_1 \times N_2$) についての信号減衰率は、それぞれ f_1 、 f_2 、 f_3 、 \dots 、 $f_{N_1 \times N_2}$ となる。各ブロック毎の信号減衰率を組み合わせることで領域 R についてブロック毎に信号減衰率が推定された減衰マップ f を求めることができる。この減衰マップ f を定式化するには、式 2) に示すように、ブロック毎の信号減衰率 f_1 、 f_2 、 f_3 、 \dots 、 $f_{N_1 \times N_2}$ の集合体で表示することができる。

【 0 0 3 5 】

【 数 2 】

10

$$f = (f_1 \ f_2 \ \dots \ f_{N_1 N_2})^T$$

$\dots \dots \dots 2)$

【 0 0 3 6 】

また、式 1) における $w (x_i ; y_{n_1}, y_{n_2})$ は、移動無線端末 2 間の位置関係に基づく重み付けである。つまり、図 4 に示すように移動無線端末 2 における n_1 、 n_2 間の位置関係に応じてこの重み付けは変わってくる。

【 0 0 3 7 】

重み付け $w (x_i ; y_{n_1}, y_{n_2})$ における x_i は、領域 R 内における各位置を示しており、上述した i 番目のブロックに相当する。また、 y_{n_1} 、 y_{n_2} は、移動無線端末 2 における n_1 、 n_2 の各位置を示している。この重み付け $w (x_i ; y_{n_1}, y_{n_2})$ は、具体的には非特許文献 2 に示す以下の 3) 式で定義することができる。

20

【 0 0 3 8 】

【 数 3 】

$$w(x; x_1, x_2) = \begin{cases} 0 & \text{if } \|x - x_1\|_2 + \|x - x_2\|_2 > \|x_1 - x_2\|_2 + \lambda/2 \\ \frac{4}{\pi \zeta_\beta(x; x_1, x_2) \sqrt{\|x_1 - x_2\|_2^2 + \zeta_\beta^2(x; x_1, x_2)}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\zeta_\beta(x; x_1, x_2) = \sqrt{\max \{ \beta^2, (\|x - x_1\|_2 + \|x - x_2\|_2)^2 - \|x_1 - x_2\|_2^2 \}}$$

$\dots \dots \dots 3)$

30

【 0 0 3 9 】

3) 式の例では、 x_1 、 x_2 が 2 つの移動無線端末 2 の位置であり、また x は、領域 R 内における任意の位置を示している。この任意の位置 x における重み付け $w (x ; x_1, x_2)$ は、上記 3) 式に基づいて計算されるが、移動無線端末 2 間の位置関係に基づいて決まることが分かる。 β は、この減衰量を決めるパラメータであり、 β が小さい場合には長軸から離れた位置ほど重みが小さくなる。この β は定数であり、システム側、或いはユーザ側において自由に決めてもよい。

【 0 0 4 0 】

式 1) における説明に戻るが、 $z^{(1)}$ は、重み付け $w (x_i ; y_{n_1}, y_{n_2})$ と、 f_i の乗算の各ブロックの総和で表される。重み付け $w (x_i ; y_{n_1}, y_{n_2})$ の集合は、重み行列 W^T として表示することが可能となる。

40

【 0 0 4 1 】

この式 1) のうち、 $z^{(1)}$ は、移動無線端末 2 間で送受信する無線信号の減衰量を測定することで求めることができる。また重み付け $w (x_i ; y_{n_1}, y_{n_2})$ は、式 3) から計算で求めることができる。これら 2 つの変数を求めることができれば、減衰マップ f を求めることができる。

【 0 0 4 2 】

なお、上述した例では、移動無線端末 2 が n_1 、 n_2 の一対で構成される場合を例にとり説明をしたが、移動無線端末 2 が 3 以上で構成される場合には、更に n_3 、 n_4 、 \dots 、 N 間における無線信号の送受信も行われることとなる。この無線信号の送受信は、移動無線

50

端末 2 間におけるノード対の最大個数分行われることとなる。この移動無線端末 2 間のノード対の最大個数 M は、移動無線端末 N の個数に応じて、 $M = (N - 1) N / 2$ で表される。そして、このノード対の個数 M に応じた無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z_m^{(1)}$ を得ることができる (ここで $m = 1, 2, \dots, M$)。

【 0 0 4 3 】

かかる場合には、この観測ベクトル $z_m^{(1)}$ の集合 $z^{(1)}$ は、 $(z_1^{(1)}, z_2^{(1)}, z_3^{(1)}, \dots, z_M^{(1)})^T$ で表すことができる。

【 0 0 4 4 】

このような観測ベクトルの集合 $(z_1^{(1)}, z_2^{(1)}, z_3^{(1)}, \dots, z_M^{(1)})^T$ により $z^{(1)}$ を表示する場合、上記 1) 式は、下記 4) 式で表示することが可能となる。

10

【 0 0 4 5 】

【 数 4 】

$$z^{(1)} = \begin{pmatrix} w_1^T \\ w_2^T \\ \vdots \\ w_M^T \end{pmatrix} f = W^{(1)} f$$

..... 4)

【 0 0 4 6 】

つまり、1) 式における重み行列 $w_1^T, w_2^T, w_3^T, \dots, w_M^T$ は、M 個の観測ベクトルの分に応じてそれぞれ算出されることになり、これらをまとめて $W^{(1)}$ として表示することができる。

20

【 0 0 4 7 】

次にステップ S 1 2 へ移行し、この減衰マップ f を求める。図 5 は、減衰マップ f の一例である。 $z^{(1)}$ には、遮蔽物 5 を含んだ観測ベクトルの集合である。これに加えて、移動無線端末 2 間の位置関係に基づいて求められた重み行列 $w_1^T, w_2^T, w_3^T, \dots, w_M^T$ の集合からなる $W^{(1)}$ を既に求めており、これらが共に減衰マップ f として反映される。これにより、遮蔽物 5 が存在すると信号が減衰する結果、減衰マップ f には濃淡として相対的に表示することが可能となる。

【 0 0 4 8 】

上述した 1) ~ 4) 式は、何れもある一時点に着目したものであるが、移動通信端末 2 は、時系列的に移動することを前提としている。このため、移動通信端末 2 が逐次移動することにより、各ノード対の間で送受信される無線信号の減衰量は逐次変化し、また重み付け w、ひいては重み行列 $W^{(1)}$ も逐次変化することになる。このため、本発明においては、逐次変化する $z^{(1)}, W^{(1)}$ を時系列的に取得していく。この時系列的に順次取得する観測ベクトル $z_t^{(1)}$ 、重み行列 $W_t^{(1)}$ は逐次変化するものであるのに対して、同じく行列としての減衰マップ F_t は、あくまで遮蔽物 5 に基づく各ブロックにおける信号減衰率の集合であることから、これ自体は時系列的に変化するものではない。このため、 $z_t^{(1)}, W_t^{(1)}, F_t$ は、以下の 5) 式により示される状態空間モデルで表示することができる。

30

【 0 0 4 9 】

$$z_t^{(1)} = W_t^{(1)} F_t + v_t \quad \dots \dots \dots 5)$$
$$F_{t+1} = F_t$$

40

【 0 0 5 0 】

つまり、減衰マップ F_t は、時系列的に変化するものではないことから、 $F_{t+1} = F_t$ で表される。また観測誤差 v_t も時系列的に取得した場合には、これを 5) 式に盛り込むようにしてもよい。観測誤差 v_t は、時系列的に取得する各データの統計的な分散やばらつきを考慮して設定するものである。観測誤差 v_t は、5) 式において省略するようにしてもよい。

【 0 0 5 1 】

この 5) 式に基づいて F_t を求める上では、周知のいかなる数学的手法を用いるようにしてもよいが、カルマンフィルタによる逐次推定を行うようにしてもよい。

50

【 0 0 5 2 】

カルマンフィルタによる推定を行う場合には、以下の手順に基づいて行う。

【 0 0 5 3 】

先ず t = 1 において下記 6) ~ 8) 式に沿って、カルマンゲイン、時刻 t における F_t の推定値、推定誤差の共分散行列を求めていく。これらがすべて終了した後、時刻 t = t + 1 とした上で同様に下記 6) ~ 8) 式に沿って演算を繰り返す。

【 0 0 5 4 】

【 数 5 】

$$K_t = P_{t-1} W_t^T (W_t P_{t-1} W_t^T + R)^{-1} \quad \dots\dots\dots 6) \quad 10$$

【 0 0 5 5 】

【 数 6 】

$$\hat{F}_t = \hat{F}_{t-1} + K_t (z_t^{(1)} - W_t \hat{F}_{t-1}) \quad \dots\dots\dots 7)$$

【 0 0 5 6 】

【 数 7 】

$$P_t = P_{t-1} - K_t W_t P_{t-1} \quad \dots\dots\dots 8) \quad 20$$

【 0 0 5 7 】

【 数 8 】

- K_t** カルマンゲイン
- P_t** 推定誤差の共分散行列
- R** ノイズ v_t の共分散行列
- F̂_t** 時刻 t における F_t の推定値

【 0 0 5 8 】

上述したカルマンフィルタによる逐次推定を通じて時刻 t における F_t の推定値していくこととなる。

【 0 0 5 9 】

次にステップ S 1 3 へ移行し、移動無線端末 2 とデバイス 3 間で送受信する無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル z⁽²⁾ を測定するとともに、重み行列 W⁽²⁾ の算出を行う。

【 0 0 6 0 】

図 6 に示すように観測ベクトル z⁽²⁾ は、例えば移動無線端末 2 における n と、デバイス 3 (対象体 4) の位置に焦点を当てたとき、以下の式 9) で定義することができる。

【 0 0 6 1 】

【 数 9 】

$$z^{(2)} = \sum_{i=1}^{N_1 N_2} w(x_i; y_n, r) f_i = \mathbf{w}^T \mathbf{f} \quad \dots\dots\dots 9) \quad 40$$

【 0 0 6 2 】

ここで、f は、ステップ S 1 2 において求めた減衰マップである。また、式 9) における w (x_i ; y_n、 r) は、移動無線端末 2 とデバイス 3 間の位置関係に基づく重み付けである。

【 0 0 6 3 】

観測ベクトル z⁽²⁾ には、移動無線端末 2 とデバイス 3 間の位置関係により決まる減衰

量に加え、その間に存在する遮蔽物に基づく減衰量も含まれている

【 0 0 6 4 】

重み付け $w(x_i; y_{n1}, y_{n2})$ における x_i は、領域 R 内における各位置を示しており、上述した i 番目のブロックに相当する。また、 y_n は、移動無線端末 2 における n の位置を示している。この重み付け $w(x_i; y_n, r)$ は、3) 式に基づいて算出することができることは上述の通りである。

【 0 0 6 5 】

式 9) における説明に戻るが、 $z^{(2)}$ は、重み付け $w(x_i; y_n, r)$ と、 f_i の乗算の各ブロックの総和で表される。重み付け $w(x_i; y_n, r)$ の集合は、重み行列 W^T として表示することが可能となる。

10

【 0 0 6 6 】

この式 9) のうち、 $z^{(2)}$ は、移動無線端末 2 とデバイス 3 間で送受信する無線信号の減衰量を測定することで求めることができる。また重み付け $w(x_i; y_n, r)$ は、式 3) から計算で求めることができる。これら 2 つの変数を求めることができれば、減衰マップ f を求めることができる。

【 0 0 6 7 】

なお、上述した例では、移動無線端末 2 が n のみで構成される場合を例にとり説明をしたが、移動無線端末 2 は 2 以上で構成される場合には、更に $n = 1, 2, 3 \dots N$ とデバイス 3 間における無線信号の送受信も行われることとなる。この無線信号の送受信は、移動無線端末 2 間におけるノード対の個数分 (N 個分) 行われることとなる。そして、このノード対の個数 N に応じた無線信号の減衰量に基づく観測ベクトル $z_m^{(2)}$ を得ることができる (ここで $m = 1, 2, \dots, N$)。

20

【 0 0 6 8 】

かかる場合には、この観測ベクトル $z_m^{(2)}$ の集合 $z^{(2)}$ は、 $(z_1^{(2)}, z_2^{(2)}, z_3^{(2)}, \dots, z_N^{(2)})^T$ で表すことができる。

【 0 0 6 9 】

このような観測ベクトルの集合 $(z_1^{(2)}, z_2^{(2)}, z_3^{(2)}, \dots, z_N^{(2)})^T$ により $z^{(2)}$ を表示する場合、上記 9) 式は、下記 10) 式で表示することが可能となる。

【 0 0 7 0 】

【 数 1 0 】

$$z^{(2)} = \begin{pmatrix} w_1^T \\ w_2^T \\ \vdots \\ w_N^T \end{pmatrix} f = W^{(2)} f$$

30

..... 1 0)

【 0 0 7 1 】

つまり、9) 式における重み行列 $w_1^T, w_2^T, w_3^T, \dots, w_N^T$ は、 N 個の観測ベクトルの分に応じてそれぞれ算出されることになり、これらをまとめて $W^{(2)}$ として表示することができる。

【 0 0 7 2 】

次にステップ S 1 4 へ移行し、デバイス 3 (対象体 4) の位置推定を行う。このステップ S 1 4 では、デバイス 3 の位置 r を未知の変数とし、ステップ S 1 3 以前において求めた各種パラメータに基づいて、この r を求めていくことを行う。

40

【 0 0 7 3 】

移動無線端末 2 における位置 y_n を既知としたとき、 $z^{(2)}$ 、即ち移動無線端末 2 とデバイス 3 間で送受信する無線信号の減衰量は、デバイス 3 の位置 r に依存するものとなる。このため、以下の式 1 1) に示すように $z^{(2)}$ は、 r の関数で表示することができる。

【 0 0 7 4 】

【数 1 1】

$$\mathbf{z}^{(2)}(\mathbf{r}) = (z_1^{(2)}(\mathbf{r}) z_2^{(2)}(\mathbf{r}) \dots z_N^{(2)}(\mathbf{r}))^T$$

. 1 1)

【 0 0 7 5】

この 1 1) 式で表される $z_n^{(2)}(\mathbf{r})$ は、以下の式 1 2) で再定義することができる。

【 0 0 7 6】

【数 1 2】

$$z_n^{(2)}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{N_1 N_2} w(x_i; \mathbf{y}_n, \mathbf{r}) f_i + 10\alpha \log \|\mathbf{r} - \mathbf{y}_n\|$$

. 1 2)

10

【 0 0 7 7】

この 1 2) 式における $10 \text{ Log } \|\mathbf{r} - \mathbf{y}_n\|$ は、距離減衰の項である。距離減衰は、移動無線端末 2 とデバイス 3 間の距離 $\mathbf{r} - \mathbf{y}_n$ に基づく。即ち、この 1 2) 式を通じて、 $z_n^{(2)}(\mathbf{r})$ は、移動無線端末 2 とデバイス 3 間の遮蔽物 5 による減衰と距離減衰により決まるものとしている。

【 0 0 7 8】

この式 1 2) は、一の移動無線端末 2 に着目したとき、その移動無線端末 2 の位置 \mathbf{y}_n は基地であるから、以下の式 1 3) に書き換えることができる。

20

【 0 0 7 9】

【数 1 3】

$$\mathbf{z}^{(2)}(\mathbf{r}) = \mathbf{W}^{(2)}(\mathbf{r})\mathbf{f} + d(\mathbf{r})$$

. 1 3)

【 0 0 8 0】

ここで $d(\mathbf{r})$ は、デバイス 3 の位置に基づく距離減衰である。

【 0 0 8 1】

この式 1 3) を満たす \mathbf{r} が、実測した $\mathbf{z}^{(2)}(\mathbf{r})$ が、移動無線端末 2 とデバイス 3 間の遮蔽物 5 による減衰と距離減衰との間において整合が取れる \mathbf{r} である。デバイス 3 の正確な位置 \mathbf{r} である場合に、この式 1 3) 式の整合が取れることとなる。この式 1 3) を満たす \mathbf{r} を求める上ではいかなる方法に基づいて行うようにしてもよいが下記の式 1 4) に示される関数に基づいて正確な \mathbf{r} の推定位置を推定するようにしてもよい。

30

【 0 0 8 2】

【数 1 4】

推定位置 $\hat{\mathbf{r}}$

$$\hat{\mathbf{r}} = \underset{\mathbf{r}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{z}^{(2)}(\mathbf{r}) - \mathbf{W}^{(2)}(\mathbf{r})\mathbf{f} - d(\mathbf{r})\|$$

. 1 4)

【 0 0 8 3】

この 1 4) 式における argmin 関数の中には、上述した 1 3) 式の左辺と右辺の差を代入している。最小の \mathbf{r} を求めることで 1 3) 式に最も漸近した \mathbf{r} を求めることができる。

40

【 0 0 8 4】

以上の \mathbf{r} を求めることでステップ S 1 4 が終了する。

【 0 0 8 5】

本発明においては、このステップ S 1 1 ~ ステップ S 1 4 に示す動作を時系列的に継続して行う。つまり、 $t = 1$ においてステップ S 1 1 ~ ステップ S 1 4 に示す動作を実行してデバイス 3 の位置 \mathbf{r} を求めた後、ステップ S 1 5 において $t = t + 1$ とし、位置推定が終了するまで再びステップ S 1 1 ~ ステップ S 1 4 に示す動作を実行することを繰り返す。その結果、各 t について、デバイス 3 の位置 \mathbf{r} を時系列的に順次推定することができる

50

。そして、このデバイス3の位置rを介して、これを携帯し、又は実装する対象体4の位置rも同様に推定することができる。

【0086】

上述した構成からなる本発明によれば、領域R内における対象体4の位置rを正確に推定することができる。本発明によれば、領域外に移動無線端末2を時系列的に移動させれば位置推定ができることから、従来のように、固定的に設置する無線端末の数をある程度揃える必要も無くなり、その敷設労力を軽減でき、コストを抑えることができる。

【0087】

また本発明によれば、事前に障害物5の配置を推定するステップを省略し、対象体4の位置推定時に、この障害物5の配置も同時に考慮して補正することができる。このため、事前に障害物5の配置を推定していない未知の領域において、対象体4の位置を即座に推定することが可能となる。

【符号の説明】

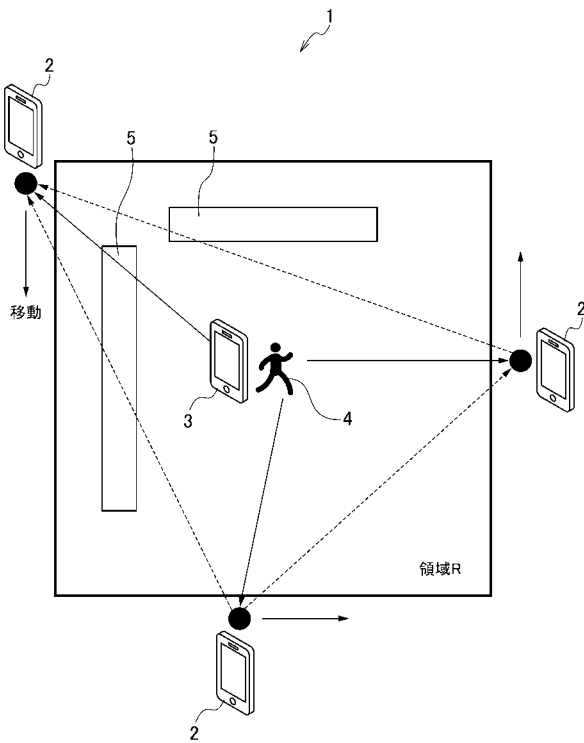
【0088】

- 1 位置推定システム
- 2 移動無線端末
- 3 デバイス
- 4 対象体
- 5 遮蔽物
- 7 位置推定システム
- 7 1 無線端末
- 7 2 障害物

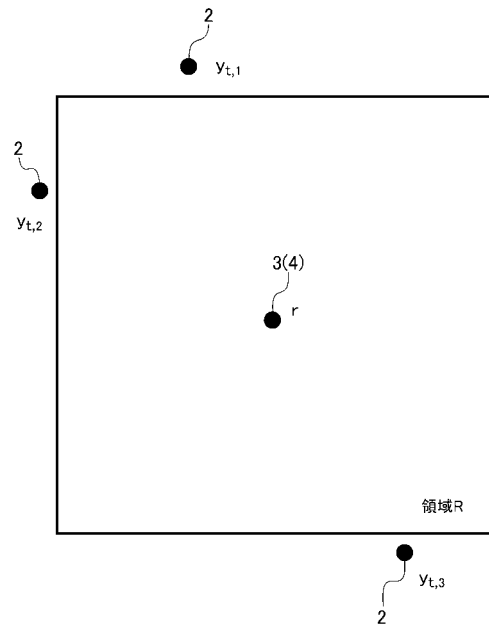
10

20

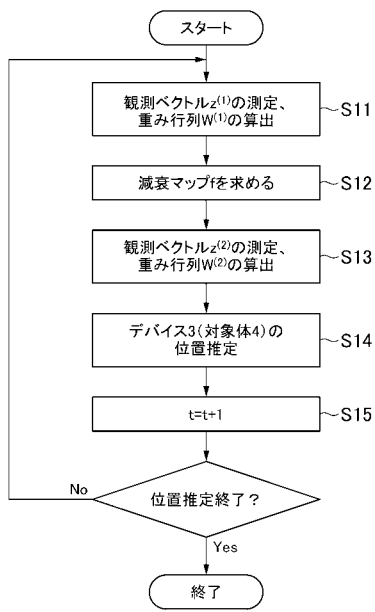
【図1】



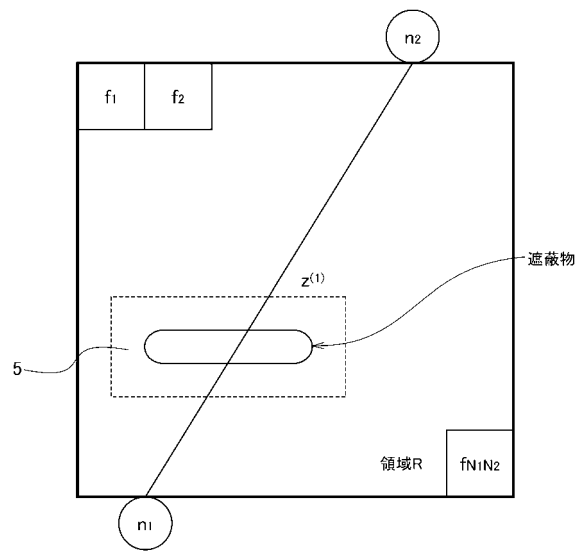
【図2】



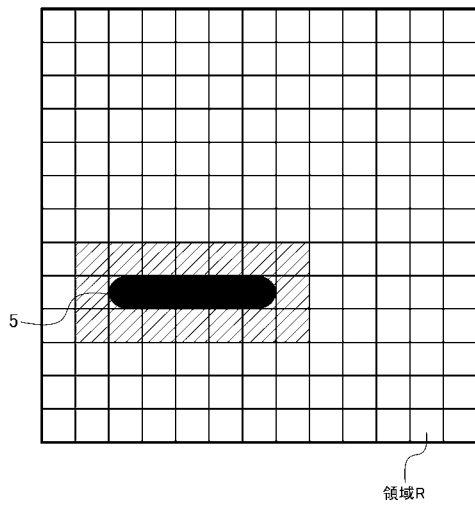
【 図 3 】



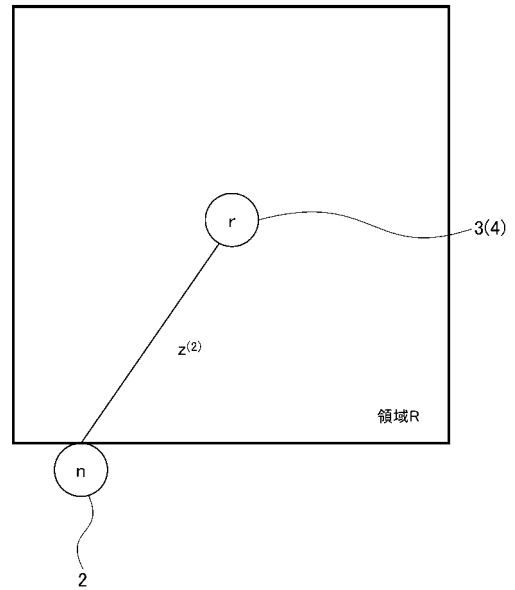
【 図 4 】



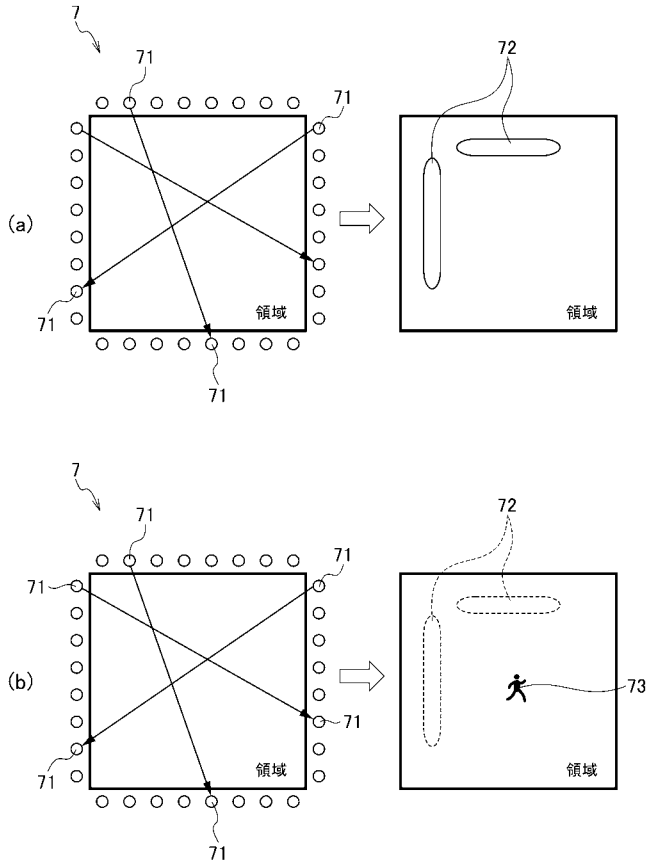
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 松田 崇弘

東京都日野市万願寺3 - 3 5 - 1 0 - 2 0 5

Fターム(参考) 5J062 AA07 AA09 BB05 CC18 DD23 DD25 EE01