

自己組織化位置推定方式 SOL における位置推定改良方式*

永井 仁一朗[†]
関西大学中島 圭汰[‡]
関西大学大学院川田 千尋[§]
関西大学大学院上原 すばる[¶]
関西大学新田 朝輝^{||}
関西大学滝沢 泰久^{**}
関西大学

1 はじめに

近年、建設現場や火災現場において精度要求の高い位置推定が必要とされている。屋外での測位は一般的に GPS を使用し位置を取得する。そのため、建物の中などの信号が届かない場所では位置が取得できない。現在この問題点に対し、屋内位置測位技術が進歩し利用も進んでいる。既存の屋内位置測位技術である iBeacon[1] では、高精度に位置推定するために定点ビーコンを測位環境内に多数設置する必要がある。また、FingerPrinting[2] では環境に応じた事前計測が必要となる。これらの課題から屋内位置推定システムを建設現場や火災現場に適用することは困難である。

北之馬らは、屋内の集約型自己組織化スマートデバイス位置推定方式 SmartFinder[3] を提案している。SmartFinder は、スマートデバイス間の隣接情報を用いて定点 3 点のみで、多数のスマートデバイスの位置を取得する自律型屋内測位技術であり、測位設備の依存性が極めて低い。従って、SmartFinder は、測位設備が機能しない、または測位設備がない環境において、屋内位置推定システムとして適用可能性を有する。

SmartFinder では現在、スマートデバイスの隣接情報から構成される仮想環境のスマートデバイスのトポロジをマルチホップトポロジと想定する。しかし、実環境ではこの想定を満たさない場合がある。従って、本稿では、このような想定を排除して、スマートデバイスの隣接情報から構成される仮想環境のスマートデバイスにおいて任意のトポロジに対応する SOL の改良方式を提案する。

2 IR-UWB を用いた SmartFinder

2.1 システム構成

IR-UWB を用いた SmartFinder はスマートデバイスモジュールとサーバモジュールから構成される (図 1)。

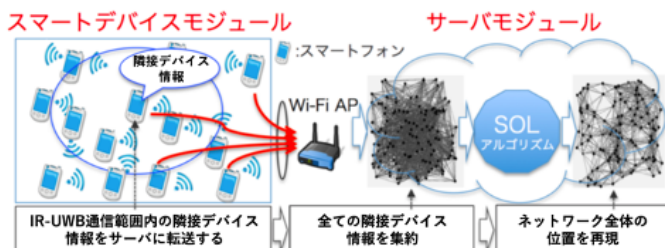


図 1: IR-UWB を適用した SOL の構成

2.2 スマートデバイスモジュール

スマートデバイスモジュールは IR-UWB デバイスを用いて、隣接デバイスの距離を RTOF (Round Trip Of Flight) で計測する。計測した隣接デバイスとの距離は Wi-Fi によりサーバへ転送する。UWB デバイスの測距精度は 10cm 程度であり、高精度である。

2.3 サーバモジュール

サーバモジュールは Self-Organizing Localization (SOL) を実行する。SOL は、スマートデバイスモジュールからの隣接デバイス情報 (隣接デバイスとその計測距離) を集約して仮想メッシュネットワークを構成し、この仮想メッシュネットワークのトポロジと隣接デバイス間の距離から自己組織化メカニズムを用いてデバイスの位置を推定する。また、SOL は大域 SOL と局所 SOL から構成される。大域 SOL は長周期で全停止デバイスの位置を高精度に推定し、局所 SOL は短周期で個々に移動デバイスの位置を大域 SOL で位置推定した隣接停止デバイスの位置を用いて位置推定する。SOL は大域 SOL と移動デバイスごとの局所 SOL が並列に位置推定を行う。

2.4 トポロジ矛盾評価

大域 SOL は長周期で停止デバイスを測位対象に複数回 SOL を実行して、その複数の推定結果から最良の推定結果を選出する。選出方法として推定された仮想メッシュネットワークのジオメトリにおけるトポロジ矛盾を用いている。トポロジ矛盾は、再現された仮想メッシュネットワークのジオメトリにおいて、1 ホップノードが 2 ホップノードより遠い位置に推定されることであり、このトポロジ矛盾が最も少ない結果を最良結果として選出する。トポロジ矛盾評価では、矛盾の少ないジオメトリを推定するために相対距離矛盾率の算出による推定ジオメトリ評価を行う (図 2)。ノード i において、ランダムに選択したノードを 2 次近傍ノード相当のノード k とし、 $(d_{ij} \leq d_{ik})$ かつ $(d_{jk} \leq d_{ik})$ のノードを 1 次近傍ノード相当のノード j とする。 i と j を基準点とし、線分 ij の垂直二等分線を用いて、空間を 2 分割し、 i に近い領域にある $(|w_i - w_i| \leq |w_i - w_j|)$ 場合、相対距離矛盾と判定する。全ての 2 次近傍ノードとの組み合わせを領域判定値とし、最小の領域判定値のジオメトリ、すなわちトポロジ矛盾数が最小となるジオメトリを位置推定結果とする。

しかし、現行のトポロジ矛盾評価では、仮想メッシュネットワークはマルチホップトポロジを想定しており、シングルホップの場合を想定していない。

*Improvement for Self - Organizing Localization

†Jinichiro Nagai Kansai University

‡Keita Nakashima Kansai University Graduate School

§Chihiro Kawata Kansai University Graduate School

¶Subaru Uehara Kansai University

||Tomoki Nitta Kansai University

**Yasuhisa Takizawa Kansai University

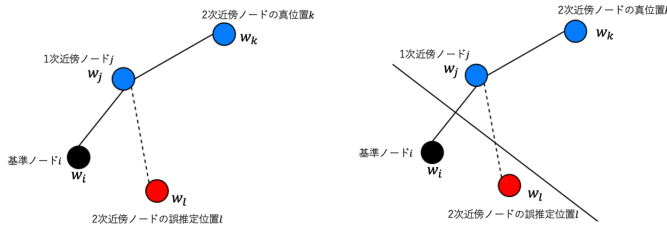


図 2: 推定ジオメトリ評価

3 提案方式

トポロジ矛盾評価では仮想メッシュネットワークはマルチホップトポロジを想定しており、シングルホップの場合を想定していない。この問題を解決し、任意のトポロジ状況下の評価方法を提案する。提案方式は、アンカーノード3点の真位置でのジオメトリと推定位置でのジオメトリを比較し、相似性の高い推定結果を最良結果として選出する。両ジオメトリの相似性判定は次のように行う。

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i \in ALINK} \frac{d_i}{D_i} \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i \in ALINK} (E - \frac{d_i}{D_i})^2 \quad (2)$$

d_i は SOL 位置推定結果に基づくアンカーノード間推定リンク長、 D_i はアンカーノード間真リンク長、 N はアンカーノード間リンク数、 $ALINK$ はアンカーノード間リンクの集合である。

相似評価値 V は小さい値であれば相似性が高いことを示し、0 で完全な相似となる。従って、提案方式は相似評価値が最小となる SOL 位置推定結果を最良結果として選出する。

4 提案方式の評価と考察

4.1 実験システム

IR-UWB デバイスの構成を表 1 に、デバイス配置を図 3 に示す。本実験では、SmartFinder は位置が未知である停止デバイス (赤丸) の位置推定を行う。

表 1: IR-UWB のデバイスの構成

IR-UWB デバイス	Qorvo DWS3000
Host デバイス	Raspberry Pi 3B/4B
通信規格	IEEE802.15 4z
測距通信手順	DS-TWR

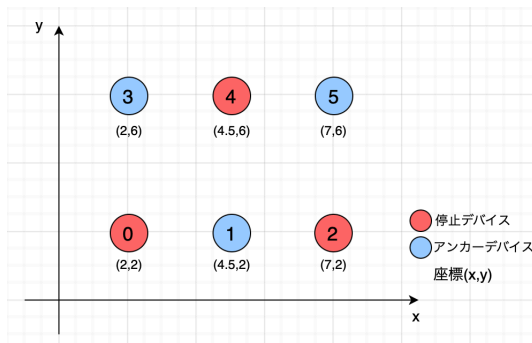


図 3: デバイス配置

4.2 評価結果

図 4 に従来方式、提案方式および最良結果の測位対象ノード平均位置誤差を示す。横軸は大域 SOL 実行周期で、周期毎に複数の推定結果から 1 つの結果を選出し、推定結果とする。提案方式は従来方式より測位対象の平均誤差を減少させるが、最良結果を選出できていない。図 5 に相似評価値とノード平均位置誤差を示す。これから分かるように、相似評価値とノード平均位置誤差に明確な相関がない。従って、提案方式は最良結果を選出できない。

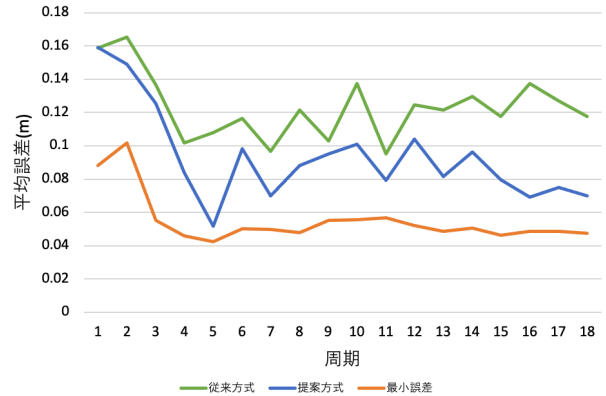


図 4: ノード平均推定位置誤差の比較

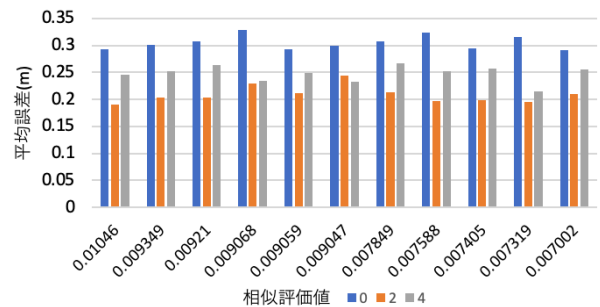


図 5: 相似評価値とノード位置誤差

5 まとめ

本稿では、現行 SOL において、トポロジ矛盾評価では仮想メッシュネットワークはマルチホップトポロジを想定しているため、任意のトポロジ状況下の最良推定結果選出方法を提案した。実験評価より、提案方式では精度改善するが、相似評価値と測位対象の平均誤差に相関がないことがわかった。

今後はアンカーノード推定位置結果に基づく推定結果選出方法を再考する。

参考文献

- [1] Nic, N. : " Apple iBeacon technology briefing. " Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice 15.3, pp.222-225 (2014).
- [2] 久保田僚介, 田頭茂明, 荒川豊, 北須賀輝明, 福田晃. 無線 LAN を用いた屋内位置推定における学習コスト削減のための高精度データ補間手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1609- 1618, (2013).
- [3] 北之馬貴正, 新居英志, 森流星, 滝沢泰久: 集約型自己組織化スマートデバイス位置推定方式 SmartFinder のノード間経路長を用いた実機実装評価, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.12, pp2291-2301 (2019)