

無線 LAN を用いた干渉測位における位置推定誤差分布に関する一検討

武者大樹† 藤井雅弘†

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻†

1. まえがき

近年、スマートフォンやタブレットの普及に伴い、屋内位置推定技術の需要が高まっている。既存の位置推定技術の例として、GPS (Global Positioning Systems) を用いた単独測位や、無線 LAN を用いた TOA (Time Of Arrival) 測位などが挙げられる。GPS を用いた単独測位では、測位局で観測される擬似距離を用いて測位が行われる。しかし、GPS を用いて屋内位置推定を行う場合、マルチパスや壁などの遮蔽物の影響により、電波が遮蔽されることがある。これに対し、無線 LAN を用いた TOA 測位では、衛星ではなく AP (Access Point) からの電波を用いるため、遮蔽物による影響は少ない。しかし、AP や測位局に搭載されている時計は精度が低いため、単独測位と同様、測位性能が著しく劣化する場合がある。

一方、近年、干渉測位と呼ばれる GPS 測位の手法に注目が集まっている。干渉測位では、時計誤差を相殺することが可能なことから、高精度な測位が可能であるとされている[1]。GPS の干渉測位では、衛星、基準局、測位局の三種が明確に分かれて動作するが、無線 LAN では衛星と基準局の役割を AP が担うことが可能であるため、GPS とは異なる新しい干渉測位が可能となる[2]。本稿では干渉測位の原理を基にした無線 LAN を想定した新しい位置推定手法を提案し、提案手法の位置推定誤差の分布について評価する。

2. 提案手法

2.1. 信号モデル

本章では、GPS の干渉測位の原理を無線 LAN システムへ適用する手法を提案する。まず、第 k 局 ($k \in \mathbb{K} = \{0, \dots, K-1\}$) は位置が既知の AP であり、第 K 局は位置が未知の測位端末とする。送信局を第 g 局 ($g \in \mathbb{K}, g \neq k$) とし、搬送波周波数を f (波長 λ) の搬送波で送信した信号に基づく第 k 受信局での搬送波位相の計測 ϕ_k^g は、GPS における干渉測位と同様に、

$$\phi_k^g = \rho_k^g / \lambda + N_k^g + f\delta_k - f\delta^g + \epsilon_k^g \quad (1)$$

と表せる。ここで、

A study on distribution of location estimation error on real time kinematic positioning by using wireless LAN
Hiroki MUSA†, Masahiro FUJII†
† Department of Information Systems Science, Utsunomiya University

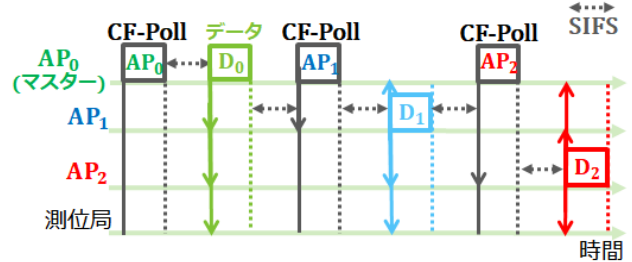


図 1 PCF の制御例

ρ_k^g : 第 g 送信局と第 k 受信局の距離 (未知)

N_k^g : 整数値アンビギュイティ (未知)

δ_k : 第 k 受信局の時計誤差 (未知)

δ^g : 第 g 送信局の時計誤差 (未知)

ϵ_k^g : 観測誤差 (未知)

とした。また、 ρ_k^g は第 k 局の座標を $\underline{u}_k = [x_k, y_k]^T$ とすると、

$$\rho_k^g = \|\underline{u}_k - \underline{u}_g\| \quad (2)$$

と表せる。提案手法では、アクセス制御方式として、IEEE802.11 でオプションとして定義されている PCF (Point Coordination Function) を用いる。PCF は図 1 に示すようなポーリングに基づく集中制御によるアクセス制御方式であり、マスターである AP が次に送信を行う AP を CF-Poll を用いて指定する。そのため、フレームの衝突が起こることなく、全ての AP が決められた順番に送信可能である。ここで、第 g 局が送信する際には、第 g 局の座標 \underline{u}_g 及び第 g 局で計測した $K-1$ 個の搬送波位相 $\{\phi_k^g\}_{k=0, \dots, K-1, k \neq g}$ を情報として送信するものとする。これらの情報を全ての AP が送信し終わると、測位局には、全ての AP の座標 $\{\underline{u}_k\}_{k=0, \dots, K-1}$ 及び各 AP における搬送波位相の計測 $\{\phi_k^g\}_{g=0, \dots, K-1, k=0, \dots, K-1, g \neq k}$ 及び測位局における搬送波位相の計測 $\{\phi_k^g\}_{g=0, \dots, K-1}$ が集約される。ここで、搬送波位相の計測の総数は $K(K-1) + K$ 個である。しかし、これらの搬送波位相の計測には、未知である AP 及び測位局の時計誤差が含まれているため、干渉測位と同様に、位相差の導出によってこれらの時計誤差を相殺する。

2.2. 位相差による時計誤差の相殺

まず、送信系時計誤差の相殺方法である一重位相差について考える。第 g 局の搬送波位相を第 K 局で計測した場合の位相計測 ϕ_K^g の式は、

$$\phi_K^g = \rho_K^g / \lambda + N_K^g + f\delta_K - f\delta^g + \epsilon_K^g \quad (3)$$

と表せる. 式(1)と式(3)の2つの位相計測の差を求めると, 一重位相差 $\phi_{k,K}^g$ は,

$$\phi_{k,K}^g = \rho_{k,K}^g / \lambda + N_{k,K}^g + f\delta_{k,K} + \epsilon_{k,K}^g \quad (4)$$

と表せる. ここで, $\rho_{k,K}^g = \rho_K^g - \rho_k^g$, $N_{k,K}^g = N_K^g - N_k^g$, $\delta_{k,K} = \delta_K - \delta_k$, $\epsilon_{k,K}^g = \epsilon_K^g - \epsilon_k^g$ とした. これにより, 送信系の時計誤差 δ^g を相殺することができる.

次に, 受信系時計誤差の相殺方法である二重位相差について考える. 二重位相差は, 第 g 送信局だけでなく, 第 s 送信局($s \in \mathbb{K}, s \neq g, k$)についての一重位相差も用いる. 第 s 局の搬送波位相を第 k 局及び第 K 局で計測した場合の位相計測から求まる一重位相差 $\phi_{k,K}^s$ の式は,

$$\phi_{k,K}^s = \rho_{k,K}^s / \lambda + N_{k,K}^s + f\delta_{k,K} + \epsilon_{k,K}^s \quad (5)$$

と表せる. これより, 式(4)と式(5)の差から求まる二重位相差 $\phi_{k,K}^{g,s}$ は,

$$\phi_{k,K}^{g,s} = \rho_{k,K}^{g,s} / \lambda + N_{k,K}^{g,s} + \epsilon_{k,K}^{g,s} \quad (6)$$

と表せる. ここで, $\rho_{k,K}^{g,s} = \rho_{k,K}^s - \rho_{k,K}^g$, $N_{k,K}^{g,s} = N_{k,K}^s - N_{k,K}^g$, $\epsilon_{k,K}^{g,s} = \epsilon_{k,K}^s - \epsilon_{k,K}^g$ とした. これにより, 受信系の時計誤差 $\delta_{k,K}$ を相殺することができる. ここで, 全ての AP が送信を終えることで測位局に集約される $K(K-1) + K$ 個の位相計測を全て用いると, 送信系及び受信系の時計誤差が全て相殺された $K \cdot {}_{K-1}C_2$ 個の二重位相差を求めることが可能である. 二重位相差を求めることで, 残りの未知数は第 K 局の座標 \underline{u}_K とアンビギュイティのみとなる.

2.3. 準ニュートン法による位置推定

本稿では, アンビギュイティは別の手法で求められたと仮定し, \underline{u}_K の値のみを推定することを考える. まず, 測位局の高さは固定されると仮定し, 2次元における位置推定を想定する. 提案手法では, 二乗和誤差関数

$$f(\underline{\tilde{u}}_K) = \frac{1}{2} \sum_{g=0}^{K-1} \sum_{s=0, s \neq g}^{K-1} \sum_{k=0, k \neq g, s}^{K-1} \{ \lambda \phi_{k,K}^{g,s} - \rho_{k,K}^{g,s}(\underline{\tilde{u}}_K) - \lambda N_{k,K}^{g,s} \}^2 \quad (7)$$

を最小にするように準ニュートン法により $\underline{\tilde{u}}_K$ を決定し, その時の $\underline{\tilde{u}}_K$ を推定値 $\underline{\hat{u}}_K$ とする. \underline{u}_K を推定するためには, 全ての AP の座標 $\{\underline{u}_k\}_{k=0, \dots, K-1}$ と二重位相差 $\{\phi_{k,K}^{g,s}\}_{k,g,s=0, \dots, K-1, k \neq g \neq s}$ が必要であるが, これらは全ての AP が送信後, 測位局で求められるため, \underline{u}_K を推定することが可能となる.

3. 数値計算例

本節では数値計算シミュレーションを用いて, 提案手法の推定精度をヒートマップを用いて評価する. 本シミュレーションでは, 50m×50mの

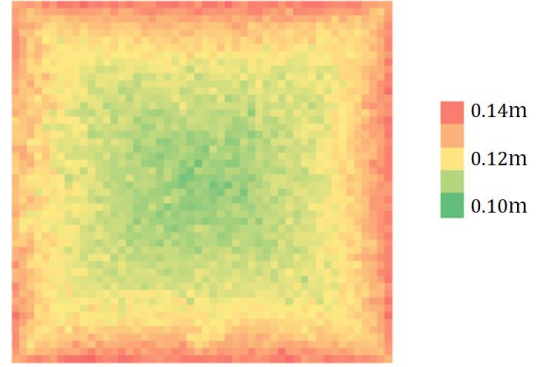


図2 部屋内部のヒートマップ

部屋を1m四方の領域に区切り, 合計2500個の領域に分け, 各領域の中央の1点を測位局の座標 \underline{u}_K とし, 1000回ずつ推定を行った. また, 計測環境には壁などの遮蔽物が無いものとし, APは部屋の4隅に1台ずつ設置し, APの時計誤差は計測の間で変化せず, アンビギュイティは理想的に推定されているものとする. 観測誤差 ϵ_k^g は, 発振器の誤差を考慮し, 平均0, 分散1.0の正規分布に従うものとした. 各領域における誤差の平均 $E\{\|\underline{u}_K - \underline{\hat{u}}_K\|\}$ をヒートマップを用いて表した結果を図2に示す. ヒートマップより, 部屋の端に近づくほど誤差が大きくなることが確認できる. また, 全領域の誤差の平均は0.1202mであり, 中央付近では約0.10mの誤差で推定可能であることが確認できた. この結果から, 各APを測位局との距離が等距離になるように設置することで推定精度を向上可能であると考えられる.

4. まとめと今後の予定

本稿では, 無線LANを用いて, GPSの干渉測位の原理を基にした新たな位置推定手法を提案した. 提案手法では, 送受信局の時計誤差が相殺された二重位相差を用いることで, 無線LANを用いた場合においても時計誤差に依存しない位置推定が可能である. 本稿では数値計算の結果, 部屋の中央から外側へと近づくに従い, 測位誤差が増加することが明らかとなった.

今後は, アンビギュイティの推定方法について検討, 及びアンビギュイティの推定を含めた際の推定精度の評価をしていく予定である.

謝辞

本研究はJSPS 科研費JP15K00114の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: GNSS, (2008).
- [2] 武者大樹, 藤井雅弘: 無線LANを用いた干渉測位に基づく屋内位置推定に関する一検討, 信学技報, vol.117, No.51, pp.23-28(2017).