

# マルチパス誤差の空間・時間相関性を用いた 歩行者測位精度向上に関する検討

陳 子強 小花 貞夫 湯 素華

電気通信大学

## 1. はじめに

警視庁の調査結果[1]によると、歩行者の交通死亡事故は、94.7%が相手当事者側の違反（前方不注意等）が関わっている。歩行者事故を低減するために、見通しの悪い場所で、歩行者から車両へ位置情報を歩車間無線通信で配信し、車両側では歩車間距離に応じて注意喚起を行うことが重要である。

しかし、歩行者の測位に普段使用される GPS 衛星による測位方法は、都市部において高層建物の遮蔽や反射の影響を受ける。受信機が GPS 衛星から直接波を受信できず、反射波を受信してしまう場合、反射波により計測された距離と直接距離の差であるマルチパス誤差が生じ、それにより歩行者測位精度が大幅に劣化する。この問題に対して、狭域空間では、マルチパス誤差の空間相関性があることに着目し、周辺車両でのマルチパス誤差から歩行者でのマルチパス誤差を推測・補正する手法が提案された[2]。

本稿では、さらにマルチパス誤差の時間相関性を調べ、空間相関性と併用して周辺車両でのデータが不足する場合、歩行者のマルチパス誤差の推測・補正による測位精度の向上を検討・評価する。

## 2. 関連研究

**3D 地図を用いたマルチパス誤差の推定。** 3D 地図とレイトレーシングシミュレーション[3]を用いて、衛星からの電波伝搬状況を模擬する。それを基にマルチパス誤差の有無を判断し、ある場合の値を算出する。計算量の大きさが問題である。

**マルチパス誤差の空間相関性の利用。** 狭域空間では、GPS 衛星からの電波が同じ壁により反射され道路上の車両受信機に届く際、マルチパス誤差の空間相関性があることが確認された[2]。また、歩行者のスマートフォンに搭載される安価な GPS 受信機と比べて、車載機は GPS 以外に車線検知、距離センサ、3D-LiDAR 等を併用して高精度な位置情報・マルチパス誤差を算出できることを前

提として、周辺車両の位置とマルチパス誤差を利用して歩行者のマルチパス誤差を推測・補正する手法が提案された。ただし、周辺車両が少ない場合性能が劣化する。また、時間相関性に関する検討は行われていなかった。

## 3. 検討方式

本検討手法では、位置の正確な車両でのマルチパス誤差を利用して、歩行者でのマルチパス誤差を推測・補正する。ただし、任意の時点で、歩行者の周辺にいつも車両があるとは限らない。そこで、時間相関性を利用して過去のデータから周辺の座標でのマルチパス誤差を推測する。それを基に、現時刻の歩行者のマルチパス誤差を推測する。

表 1 シミュレーション条件

試行時間	2020/1/1 AM12:00:00 から AM12:09:59 まで、1秒間隔
試行地域	東京、中野通り
車載受信機	道路上、32台、8行（水平方向）× 4列（垂直方向）、間隔5m
データ不足の模擬	車両ごとに、ランダムに40%時間のデータを除外
歩行者受信機	道路両側、10台×2列

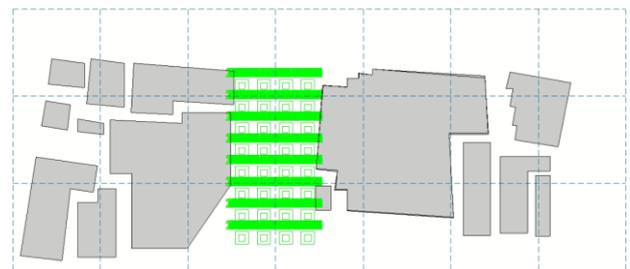


図 1 相関性を確認するための受信機設置

まず、マルチパス誤差の時間相関性を確認する。3次元レイトレーシングツール RapLab と図 1 に示す 3D 地図を使って、表 1 の条件で、各車載受信機で衛星からの擬似距離におけるマルチパス誤差を計算し、その時間変化を図 2 に示す。図から、隣接する受信機でのマルチパス誤差がスムーズに変化し、空間・時間相関性があることを確認できる。

Improving Pedestrian Positioning Precision by Exploiting both Spatial and Temporal Correlation of Multipath Errors

Ziqiang Chen, Sadao Obana, Suhua Tang

The University of Electro-Communications

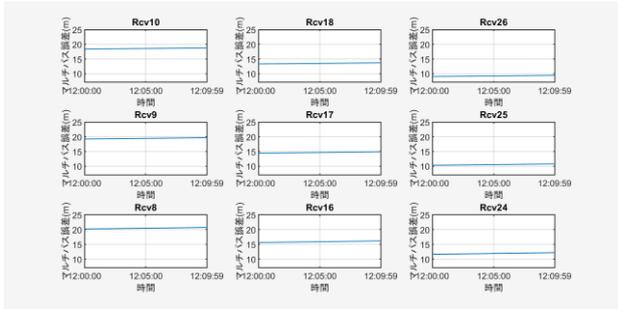


図2 隣接する受信機のマルチパス誤差の空間・時間相関性の検証

下記の流れで、歩行者のマルチパス誤差を推測・補正し、位置を算出する。

- ① 歩行者の位置を、あるグリッドポイントと仮定する。
- ② 仮定位置周辺の基準座標を決定する。基準座標の現時点のマルチパス誤差データがなければ、過去のデータを利用して線形回帰モデルを作成し、それを基に推測する。
- ③ 空間相関性を利用して、基準座標でのマルチパス誤差から、仮定位置でのマルチパス誤差を推測する。
- ④ 歩行者の疑似距離をマルチパス誤差の推測値で補正し、位置を算出する。
- ⑤ 算出位置と仮定位置の差の最小化から、歩行者の位置を求める。

#### 4. シミュレーション結果

3節の時間相関性の検証と同じ条件で、図3に示す場所に歩行者に相当する受信機を設置し、そのマルチパス誤差の推測と水平測位誤差を評価する。図1で求めた基準座標でのマルチパス誤差を算出するが、すべての時刻で値があるわけではなく、車両のランダム通行を模擬するために、ランダムに40%の計測値をなくす。時間相関性を利用して、残りの計測値から欠損のデータを推測する。マルチパス誤差補正をしない直接測位方式と比較対象とする。測位中、電離層などの影響はすべて除外できたとし、マルチパス誤差のみを考慮する。

歩行者とみなす9号機の水平測位誤差の時系列を図4に示す。検討方式では、半分以上の時間帯において、マルチパス誤差をきれいに除外できて、測位誤差が0に近づくことが確認できる。一部の時間帯では、マルチパス誤差は残るが、直接測位方式と比べてだいぶ低減される。

両方式の水平測位誤差の累積度数分布を図5に示す。検討方式は直接測位方式と比べて水平測位誤差を約56.4%削減することが確認できる。

各場所での測位結果を調べてみると、改善でき

ない場所もあることがわかった。これは、基準とする車両台数が少なく、一部場所では、空間相関性をうまく利用できなかったためと考えられる。

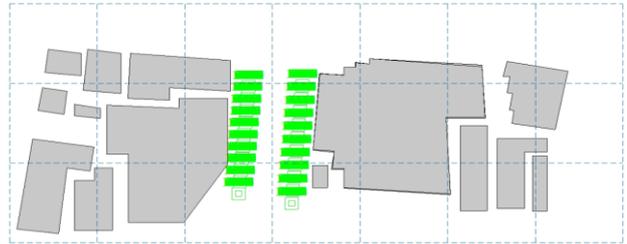


図3 歩行者とみなす20台の受信機



図4 9号機の水平測位誤差の時系列変化

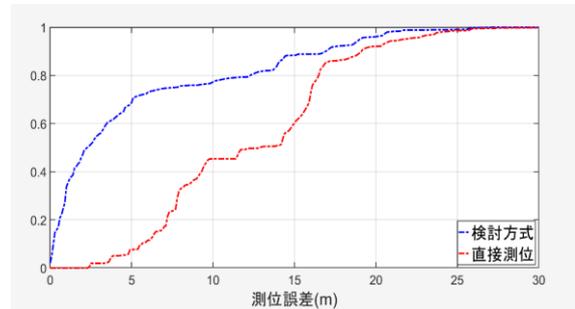


図5 水平測位誤差の累積度数分布

#### 5. おわりに

都市部において、GPS測位信号のマルチパス誤差の時間相関性を確認し、それを空間相関性と併用して、歩行者のマルチパス誤差を推測する際のデータ欠損を補完し、その補正により、測位精度を改善できることを確認した。今後、より正確なモデルで時間・空間相関性を利用して歩行者のマルチパス誤差を推測する手法を検討し、より多くの環境で評価する予定である。

#### 参考文献

- [1] 警視庁:歩行者の交通事故防止 2020.1.8 時点  
<https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/hokoujiko.html>
- [2] Patou Yearlor, *et al.*, "Improvement of pedestrian positioning precision by using spatial correlation of multipath error," in Proc. IEEE ICVES'18, 2018.
- [3] Shunsuke Miura, *et al.*, "GPS multipath detection and rectification using 3D maps," in Proc. ITSC'03, 2013.