

# 車両移動による無線チャネル状態情報の変化を利用した高精度な歩行者測位法

駒宮 亘<sup>†</sup> 小花 貞夫<sup>‡</sup> 湯 素華<sup>‡</sup>

電気通信大学 情報理工学部<sup>†</sup> / 大学院情報理工学研究科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

歩行者の測位精度向上のため、安全運転支援システム[1]の車車間通信で配信される車両の位置情報を含むパケットの電波を歩行者の携帯端末で傍受し、GPS信号と合わせて測位に利用する方式[2]が提案されている。この方式では、車両を基準点として、受信信号から歩車間の距離と角度情報を推測し歩行者位置を算出することにより、GPS信号のみの場合より測位精度を大きく向上させることができる。しかし、高精度な角度推定には携帯端末に多数のアンテナが必要となり、現在のスマートフォン等の端末実装上現実的ではない。

本稿では、車両の移動によるCSI(チャネル状態情報)の時間変化から角度を推定し、アンテナ数に依らず高精度な測位を行う方式を提案する。

## 2. 先行方式

[2]の方式では、歩行者は車両が位置情報を配信する信号を傍受し、車両の位置情報を取得するとともに、時間・周波数ごとの信号強度を表す情報(CSI:Channel State Information)を取得し、建物等に反射・回折せずに直接届いた信号(直接波)の信号強度を得る。電波の距離減衰の特性より、直接波の信号強度から歩車間距離を導出する。

また、通信は速度や品質の向上のため複数のアンテナを用いて行われるが、同一の信号でも受信アンテナごとに電波伝搬距離がわずかに異なり、それぞれの受信信号間に位相差が存在する。伝搬距離差はアンテナ間の距離と信号が到達した角度(電波到来角度)によるため、アンテナごとの直接波の位相差から伝搬距離差を求め、電波到来角度を導出する。

測位計算は、上記の情報とGPS信号の情報を併用し、歩行者の位置を求める式を作成する。

位置 $(x_k, y_k, z_k)$ にあるGPS衛星 $k$ と位置 $(x, y, z)$ にいる歩行者の、衛星-歩行者間の距離 $d_k$ は

$$\sqrt{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2+(z-z_k)^2}+c\Delta t-d_k=0 \quad (1)$$

Precise Pedestrian Positioning Using Change of Channel State Information Caused by Vehicle Movement

Wataru Komamiya<sup>†</sup>, Sadao Obana<sup>‡</sup>, Suhua Tang<sup>‡</sup>

Faculty of Informatics and Engineering<sup>†</sup> / Graduate School of Informatics and Engineering<sup>‡</sup>, The University of Electro-Communications

で表される。  $c$ は光速、 $\Delta t$ は歩行者の携帯端末の時刻誤差である。

また、 $i$ 番目の車両の位置を $(x_i, y_i, z_i)$ とすると、車両-歩行者間の距離 $d_i$ は下の式で表される。

$$\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2}-d_i=0 \quad (2)$$

さらに、歩行者に対する $i$ 番目の車両からの電波到来角度 $\theta_i$ を利用すると、車両-歩行者間の位置関係に下記の式が成立する。

$$x_i-(x+d_i\cos\theta_i)=0 \quad (3)$$

$$y_i-(y+d_i\sin\theta_i)=0 \quad (4)$$

全ての衛星・車両に関する式の最適解より、歩行者位置を算出する。しかし、この手法で高精度な角度推定を行うには、空間分解能を高めるため歩行者端末に多数のアンテナが必要となる。一方で、現在の携帯端末では、サイズの制限からアンテナ数を増やすのは難しい。

## 3. 提案方式

### 3.1. 概要

方式[2]におけるアンテナ数に角度推定精度が依存する問題に対し、単一のアンテナでも同等以上の角度情報を取得して高精度な歩行者測位を可能とする方式を提案する。

### 3.2. 前提条件

1. 車両は搭載する無線機から自車両の位置情報と速度情報を周期的(100ms毎)に配信する
2. 車両の位置情報と速度情報は正確である
3. 歩行者は携帯端末を所持し、車両からの信号を受信できる

1は車車間通信の規格[3]として検討、実用化されているものである。2は車両には、携帯端末と異なりサイズや消費電力の制約がなく高精度なGPSや各種センサが搭載可能であり、また測位に、マップマッチングや速度センサ・ジャイロセンサ等が利用でき、自動運転に向けて今後の更なる精度向上が期待されることによる。3は歩行者が車両からの信号を利用するために設けた。

### 3.3. 角度情報の導出

歩行者は走行する周辺車両が送信した信号を傍受し、図1左部で示すように、パケット内で受信時間が $\Delta t$ 離れた複数箇所でもCSIをそれぞれ取得

する。車両は信号を送信しながら移動するため信号の経路状況が時間に伴って変化し、CSI には位相差が発生する。複数の CSI からそれぞれ得られた直接波の位相差 $\Delta\varphi$ は、

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot \frac{\Delta d}{\lambda}$$

で表される。 $\lambda$ は信号の波長、 $\Delta d$ は信号の伝播距離差である。図1下部で示すように、車両速度が $v_c$ 、車両の進行方向に対する歩行者位置の角度が $\theta_c$ の場合、微小時間 $\Delta t$ 間の歩車間距離の変化量は $v_c \cdot \Delta t \cdot \cos \theta_c$ とでき、これが直接波の伝播距離差 $\Delta d$ となる。よって、CSIの位相差に加えて信号の波長と車両速度、CSIを取得した箇所の受信時間差を利用して、歩車間角度 $\theta_c$ を導出する。

この手法では、方式[2]と異なり角度推定に用いる複数 CSIの取得に複数アンテナを利用しないため、推定精度がアンテナ数の影響を受けない。

角度情報取得後は、加えて車両位置と歩車間の距離情報、GPS信号の情報を併用し、先行方式[2]と同様に式(1)~(4)を作成して測位計算を行う。

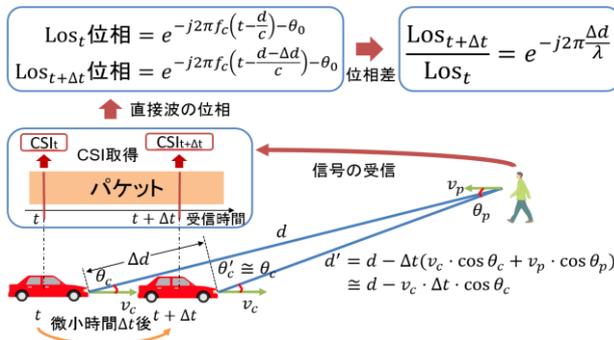


図1 車両移動により発生するCSIの位相差

#### 4. シミュレーション評価

提案方式と先行方式[2]の角度・位置推定精度の比較をシミュレーションにより行った。

##### 4.1. シミュレーション条件

都市部の環境を想定して、銀座のマップ上に歩行者と車両、衛星を配置し、RapLab((株)構造計画研究所)を用いてレイトレーシングシミュレーションを行った。結果として得られたCSIなどの信号伝搬情報をもとに、MATLABで測位計算を行った。ただし、RapLabでは受信機の時間分解能の制限がないため高精細なCSIが得られるが、実際の受信機では時間分解能の制限でそれほど細かいCSIを取得することができない。現実に近いシミュレーションを行うため、RapLabで得られたCSIに一般的な無線LANと同じ50nsの時間分解能を設定し、50nsの範囲内の信号強度値を合成して一つの値として扱った。表1にシミュレーション条件を示す。

表1 シミュレーション条件

試行条件	2016/1/1 AM8:30 から 0.1 秒毎 200 回
試行地域	東京, 銀座 4 丁目交差点
車両位置	片側 2 車線, 車頭間隔 5~30m ランダム配置, 移動速度 60km/h
歩行者位置	車線脇の歩道を移動(4km/h)
衛星	仰角 15 度以上の GPS 衛星で単独測位
歩車間距離	直接波の電波強度から線形回帰で算出
角度推定に用いる複数CSIの取得	提案方式: 同一パケット内 100 $\mu$ 秒間隔の 2 箇所から取得 先行方式[2]: 3 アンテナから取得

#### 4.2. シミュレーション結果

提案方式と先行方式[2]での角度推定誤差、測位誤差の累積度数分布を図2に、このときの平均誤差を表2に示す。上記の条件では、先行方式で3本のアンテナを使用した場合と比較して、提案方式により平均値で角度誤差を約38%、測位誤差を約37%削減できることがわかった。

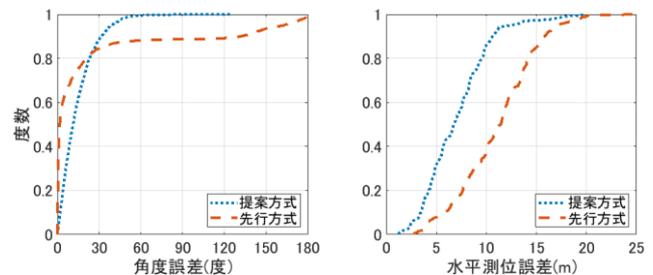


図2 シミュレーション結果の累積度数分布

表2 シミュレーション結果の平均値

	提案方式	先行方式
角度推定誤差(度)	14.42	23.22
水平測位誤差(m)	7.05	11.11

#### 5. おわりに

提案方式により、少ないアンテナ数でも測位精度を向上できることを確認した。今後様々な条件でのシミュレーションを実施し、先行方式との比較を行う。

#### 参考文献

- [1] 一般社団法人 UTMS 協会, 安全運転支援システム(DSSS) 2019.1.11 時点, <http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>.
- [2] 戸田 和宏, 湯 素華, 小花 貞夫, “車両からの電波到来角度を利用した歩行者測位精度向上方式の提案と評価”, 情報処理学会 DICO2017, 3C-1, pp. 506 – 513, Jun. 2017.
- [3] ITS Connect 推進協議会, 車車間通信メッセージ仕様 ITS Connect TD-001 1.0 版, 2015.