4V-05

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のための方式提案

戸田 和宏 †　　湯　素華‡　　小花　貞夫‡

電気通信大学　情報理工学部†／大学院情報理工学研究科‡

1　はじめに

歩行者死亡事故の削減を目的に，歩行者が携帯するスマートフォン等のモバイル端末から端末の位置情報を周辺車両に周知する歩車間通信が注目されている．ここでは歩行者端末の測位の高精度化が課題である．高いビルに囲まれる都市部での GPS 等の GNSS による測位精度の低下を抑制するために，複数 GNSS を用いる手法[1]が検討されているが，効果は限定的である．

筆者らは，これまでに GPS による測位と車両が発する電波(直接波)の強度から算出した歩車間距離に基づく測位を併用して，都市部でも GPS 単独より高い精度で測位できる方式を検討・評価した [2].

本稿では，この方式に加えて，車両からの電波到来角度を算出し，より高精度な測位を可能とする方式を提案する．

2　筆者らの先行研究 [2]の概要

筆者らは，車車間通信の電波を利用して，衛星電波のみでは高精度な測位が困難な場所でも，歩行者の測位精度を向上させる手法を提案した[2]．マルチパスの影響を受けないように，車両から受信した電波の総受信信号強度(RSSI)ではなく CIR(チャネルインパルス応答)により得られる直接波の強度から，車両と携帯端末（受信機）を持つ歩行者との距離を算出し，GPS 衛星信号に加えて歩行者の位置を求める．

2.1. GPS の利用

k番目の測位計算に有効な GPS 衛星$(x_k, y_{,k}, z_k)$と歩行者(x, y, z)の間の実距離と，歩行者端末と GPS 衛星との擬似距離$d_{est,k}$との差が 0 になることから，式(1)を利用可能な衛星数だけ立式する．cは光速を示す．なお，擬似距離の測距誤差は時刻誤差Δtによる誤差のみとする．

$$\sqrt{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2+(z-z_k)^2} + c\Delta t - d_{est,k} = 0\,. \qquad (1)$$

Improving Positioning Precision of Pedestrians by Using Direction of Arrival of Signals from Vehicles
Kazuhiro Toda†, Suhua Tang‡, Sadao Obana‡
Faculty of Informatics and Engineering† / Graduate School of Informatics and Engineering‡, The University of Electro-Communications

2.2. 車両からの電波の利用

自車両の測位は正確とする．i番目の測位計算に有効な車両(x_i, y_i, z_i)から受信した電波の CIR を用いて直接波の強度を求め，その強度から式(2)に示す直接波の強度L_iと距離$d_{est,i}$の関係を用いて，歩車間距離を計算する．

$$L_i = a\log_{10} d_{est,i} + b\,. \qquad (2)$$

式(2)のa，bは定数である．また，車両と歩行者の間の実距離をd_iとすると，

$$d_i = \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2} \qquad (3)$$

となる．この値とL_iから算出した歩車間距離$d_{est,i}$との差が 0 になるように，式(4)を利用可能な車両台数だけ立式する．

$$d_i - d_{est,i} = 0. \qquad (4)$$

2.3. 歩行者位置の計算

式(1)(4)から成る連立方程式の最適解を求める．

3　提案方式

測位精度をさらに向上させるため，先行研究[2]の手法に加えて，新たに車両からの電波到来角度を求め，それも含めて歩行者の位置を算出する方式を提案する．図 1 に提案方式の概要を示す．車両の電波から得られる情報は，車両位置，歩車間距離，電波到来角度である．車両位置は，車両側で求め車両からの無線通信により運ばれるパケットに含まれ，歩車間距離，電波到来角度は，車両からの電波から歩行者の携帯端末側で求める．

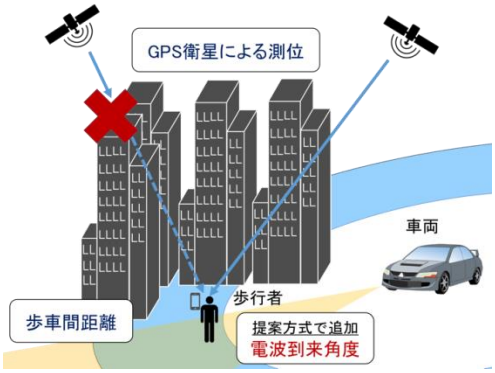

図 1　提案方式の概要

Copyright ©2017 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

3.1 前提条件

先行研究 [2]の方式の前提条件，①車両は無線機を搭載，自車両位置情報を定期的に周辺車両に配信，②自車両の測位は正確，③歩行者はGPS と車両からの電波を受信する携帯端末を所持，に加えて，④端末は電波到来角度を計算するため複数アンテナを備えるとする．

3.2 車両からの電波到来角度の推定

提案方式では，車両からの歩行者端末に届く電波から電波の到来角度を，MUSIC アルゴリズム [3]を用いて求める．本アルゴリズムは高分解能周波数推定の手法で，電波到来角度推定 [4]等に用いられる．

まず歩行者端末において，車両から受信した電波に MUSIC アルゴリズムを適用して方位角と仰角から成る Broadside Angle を得る．Broadside Angle を βとすると，方位角$az(-\pi \leq az \leq \pi)$，仰角$el(-\pi/2 \leq el \leq \pi/2)$を用いて以下のように表される．

$$\beta = \sin^{-1}(\sin az \cos el). \tag{5}$$

Broadside Angle では，-90 度から 90 度の範囲でしか角度を推定できないため，アンテナのどちら側に車両がいるか複数台の車両の角度推定結果から算出する．一般的に，歩行者と車両はほぼ同じ高度に位置すると考えられるため，仰角は 0 度とみなせる．得られたβを電波到来角度$\theta_{est,i}$とする．このとき，実際の車両の位置と，車両の推定位置との関係から，式(3)を用いて，式(6)(7)を利用可能な車両台数だけ立式する．

$$x_i - \left(x + d_i \cos\theta_{est,i}\right) = 0\,. \tag{6}$$
$$y_i - \left(y + d_i \sin\theta_{est,i}\right) = 0\,. \tag{7}$$

3.3 歩行者位置の計算

式(1)(4)と，提案方式で立式した式(6)(7)から成る連立方程式の最適解を求める．

4 シミュレーション評価

[2]の手法に加えて，車両からの電波の到来角度も用いることにより，どの程度誤差を軽減できるかをシミュレーションにより検証した．

4.1 シミュレーション条件

実測データは利用せずにシミュレータ MATLAB で検証した．車両位置の真値は既知とする．歩車間距離，電波到来角度は，ランダムに生成した推定誤差を真値に付加したデータを利用した．表 1 にシミュレーション条件を示す．距離推定誤差は， [2]の実験データ(表 2)から曲線近似して値を設定した．

表 1　シミュレーション条件

試行条件	2016 年 10 月 30 日から 2016 年 11 月 5 日までの 1 週間の衛星配置で 100 秒おきに 6049 回試行，試行ごとに車両の配置を変更
車両位置・台数	片側 2 車線道路に車頭間隔 15～45m でランダム配置
歩行者位置	道路の端から 2m 離れた場所
衛星擬似距離	仰角 65 度以下の衛星に平均 25m(一様分布)のランダムなマルチパス誤差を付加
歩車間距離推定誤差	表 2 から曲線近似して設定
車両からの電波到来角度推定誤差	平均 30 度(一様分布), 5 回に 1 回外れ値をとる

表 2　距離推定誤差

実距離[m]	誤差平均[m]
15	2.0
30	8.5
50	20.5

4.2 シミュレーション結果

全試行結果の平均を表 3 に示す．上記の条件では，電波到来角度を用いることにより測位誤差を約 25%削減可能であることがわかった．

表 3　シミュレーション結果

GPS のみでの測位誤差	[m]	15.7
先行研究 [2]方式の測位誤差①	[m]	6.55
提案方式の測位誤差②	[m]	4.87
改善率 {(①-②)/①)}×100	[%]	25.7

5 おわりに

電波到来角度を利用することで測位精度の向上が期待できることがわかった．今回のシミュレーションでは，ランダムな誤差を付加して評価したが，今後は，衛星擬似距離，歩車間距離・角度推定を実環境に即して模擬できるよう，レイ・トレーシングによる電波伝搬のシミュレーションで提案方式の有効性を検証する．

引用文献

[1] L. Hsu, *et al.*, "Evaluation of multi GNSSs and GPS with 3D map methods for pedestrian positioning in an urban canyon environment," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E98-A, No.1, pp. 284-293, January 2015.

[2] R. Yamashita, *et al.*, "Improving positioning precision of pedestrians by using both GPS satellites and vehicles," Proc. ITS world congress 2016, October 2016.

[3] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," IEEE Trans. Antennas Propagat. vol. AP-34, pp. 276-280, 1986.

[4] S. Souvik, *et al.*, "Avoiding multipath to revive inbuilding WiFi localization," MobiSys, 2013.

Copyright ©2017 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.