

車両からの電波の長期計測による 路側機の高精度測位方式

戸田 和宏 湯 素華 小花 貞夫

電気通信大学 大学院情報理工学研究科

1 はじめに

自動運転の実現には、車両位置の数十 cm レベルの高精度測位が必須である。そこで、高精度な位置が既知である信号機等の路側機を測位基準点とすることにより周辺を走行する車両位置の高精度化が可能であると考えられる。しかし、既に設置された膨大な数（国内の車両用信号灯器数 126 万灯[1]）の路側機は正確な測量がなされておらず、そのままでは基準点とすることはできない。これらの路側機すべての測量には膨大な時間と費用が必要となる。

本稿では、簡易な無線機を路側機に取付け、安全運転支援のための車車間通信[2]（以下、車車間通信）で交換される位置誤差を含む周辺車両の位置情報と、それを運ぶ無線信号の直接波のみの信号強度を用いて車両と路側機との距離を算出し、それを長期間繰り返すことにより路側機の高精度な測位を行う方式を提案する。

2 関連研究

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[3]。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 RSSI（総受信信号強度）ではなく、2.1 で述べる CSI（チャネル状態情報）から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 衛星信号と合わせて歩行者の位置を実時間で求める。この手法では、前提条件として車両位置は正確としている。

2.1 CSI

CSI は、OFDM 信号から取得できる情報で、時間軸の信号強度を示す。CSI から得られる直接波の強度は、受信機が直接波や反射波、回折波の伝播経路を分離するのに十分な時間分解能を持つ場合、周囲の建物や地面で反射・回折した電波の干渉による信号強度の増幅・減衰の影響を受けないため、信号強度から送受信機間距離を算出する際に生じる誤差が RSSI から算出したときに比べて小さくなる。

2.2 歩車間距離の算出

車両から受信した電波の CSI を用いて直接波の強度を求める。式(1)に示す直接波の強度 L と距離 d の

関係から、定数 a , b を用いて歩車間距離を計算する。

$$L = a \log_{10} d + b. \quad (1)$$

3 提案方式

関連研究[3]では、車両の位置は正確であるとしたが、現在の車両測位では、GPS に加えマップマッチング、ジャイロセンサや車速パルス信号を利用することで平均数 m 程度の誤差を含む精度となっている。車車間通信により位置情報に誤差が含まれる車両が発する信号から推定した路車間距離のデータを長期間収集し、カルマンフィルタを用いて路側機の測位を高精度に行う方式を提案する。図 1 に提案方式の概要を示す。車両側で求めた車両位置情報は、車両からの無線信号により運ばれるパケットに含まれ、その信号を受信する路側機側で車両との距離（路車間距離）を求める。

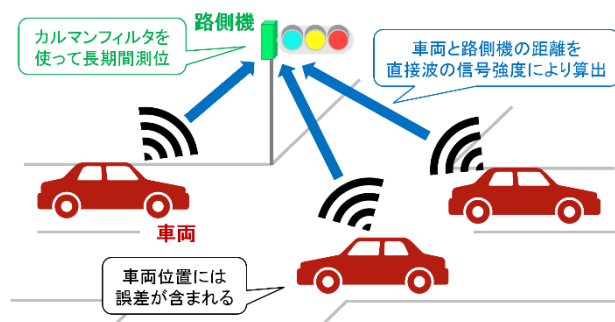


図1 提案方式の概要

3.1 前提条件

車両は無線機を搭載、車車間通信により自車両位置情報を定期的に周辺車両に配信し、路側機は車両からの電波を受信可能であるとする。また、自車両の測位には誤差があることを考慮する。

3.2 測位計算

路側機の状態を \mathbf{x} 、路車間距離の測定値を \mathbf{y} とすると、

$$\mathbf{x} = (x, y, z)^T, \quad (2)$$

$$\mathbf{y} = (d_1, d_2, \dots, d_n)^T, \quad (3)$$

と表される。ここで、 x, y, z は路側機の位置、 d は CSI から算出した路車間距離である。

次に、時刻更新における状態遷移モデル \mathbf{F} 、状態推定誤差分散 \mathbf{P} 、状態ノイズ分散 \mathbf{Q} を用いて、時刻を $m-1$ から m に更新する。なお、添字(-)は予測値、添字(+)は最新の推測値である。

High precision positioning of roadside units in the long-term updates by using vehicle signals

Kazuhiro Toda, Suhua Tang, Sadao Obana

Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

$$\mathbf{x}_m^- = \mathbf{F}\mathbf{x}_{m-1}^+ \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_m^- = \mathbf{F}\mathbf{P}_{m-1}^+\mathbf{F}^T + \mathbf{Q} \quad (5)$$

次に、状態変換方向ベクトル \mathbf{H} 、カルマンゲイン \mathbf{K} を求める。ここで、 $\rho(\mathbf{x})$ は路車間距離、 \mathbf{R} は測定ノイズ分散を表す。

$$\mathbf{H}_m = \left. \frac{\partial \rho(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}_m^-} \quad (6)$$

$$\mathbf{K}_m = \mathbf{P}_m^- \mathbf{H}_m^T (\mathbf{H}_m \mathbf{P}_m^- \mathbf{H}_m^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (7)$$

最後に、測定値 \mathbf{y} と、状態 \mathbf{x} を用いて状態を更新する。

$$\mathbf{x}_m^+ = \mathbf{x}_m^- + \mathbf{K}_m (\mathbf{y}_m - \rho(\mathbf{x}_m^-)) \quad (8)$$

$$\mathbf{P}_m^+ = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_m \mathbf{H}_m) \mathbf{P}_m^- \quad (9)$$

状態 \mathbf{x} は時間経過による変化がない為、計測期間が延びるにつれて状態推定誤差分散 \mathbf{P} 、カルマンゲイン \mathbf{K} は小さくなり、更新量は減少して真値に収束する。

4 シミュレーション評価

提案方式の有効性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

3D レイトレーシング法による電波伝搬シミュレーションを行うソフトウェア (RapLab) を用いた。銀座付近の 3D 建物データ (NTT データ社製) に車両、路側機を配置して測位評価を行った。シミュレーション条件を表 1 に示す。車両と路側機の配置を図 2 に示す。路側機は車両が 100ms 間隔 (ここでの一回を 1epoch とする) で発する電波から路車間距離を算出し、全 10000epoch の中でデータ数が更新条件を満たせばカルマンフィルタにより状態を更新する。

表 1 シミュレーション条件

レイトレーシングシミュレータ	RapLab (「構造計画研究所」社製)
総 epoch 数	10,000epoch
延べ利用車両台数	49,697 台
測位に利用する車両条件	直接波を含む 路車間距離 30m 以内
カルマンフィルタ更新条件	測位に利用する車両が 40 台の 位置情報が蓄積されたとき
カルマンフィルタ状態更新回数	1,138 回
路側機の電波時間分解能	50ns / 1ns / 0.1ns
車両送信周波数	700MHz
車両送信電力	20dBm
最大電波反射回数	1 回
最大電波回折回数	1 回
車両位置誤差	平均 6m (標準偏差 $\sigma = 6\sqrt{\pi/2}$)

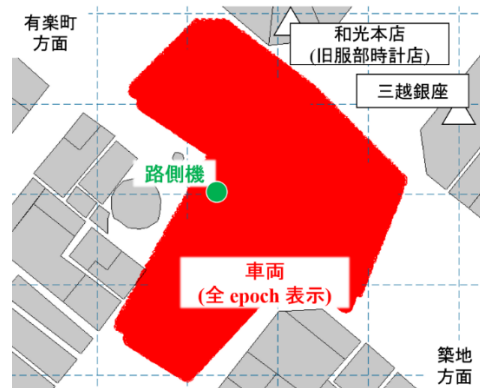


図 2 車両と路側機の配置

4.2 シミュレーション結果

水平面測位誤差を図 3 に示す。計測期間 (図 3 横軸) が大きくなるにつれ測位誤差 (図 3 縦軸) が収束し、路側機の電波受信の時間分解能が 50ns (一般的な無線 LAN)、1ns では 30cm、0.1ns では 8.3cm までそれぞれ測位誤差を低減できている。

路側機の時間分解能が 50ns および 1ns の場合、直接波と地面との反射波が干渉した信号強度が得られる為、路車間距離算出に誤差が含まれ、測位誤差に影響していると考えられる。

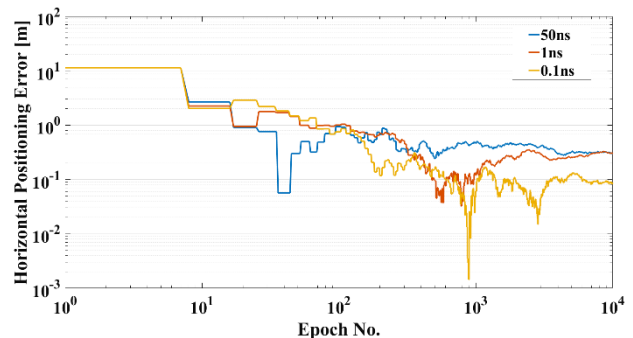


図 3 水平面測位誤差

5 おわりに

車両からの電波を長期間計測することで路側機を高精度に測位する方式を提案し、有効性をシミュレーションにより検証した。今後は、複数の環境で検証をするとともに、カルマンフィルタの初期位置を変更した場合に同様の結果が得られるかどうかを検証していく。

参考文献

- [1] 警察庁, “都道府県別交通信号機等ストック数,” 2016. [Online]. Available: <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/annzen-s-hisetu/hyoushiki-shingouki/pdf/H28kazu.pdf>. [Accessed: 02- Jan- 2018].
- [2] “700MHz 帯高度道路交通システム”, ARIB 標準, STD-T109 1.0 版, 2012.
- [3] 山下 遼, 湯 素華, 小花 貞夫, “歩行者自己削減のための GPS と車両からの電波を用いた歩行者位置の高精度測位方式の提案と評価,” 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.1, 2018.