

GPS測位に基づく自車および周辺車両走行挙動観測システムの開発

千葉工業大学	学生員	○小宮 粹史
東京都立大学	正会員	大口 敬
*千葉工業大学	正会員	赤羽 弘和
東京大学	正会員	桑原 雅夫

1. はじめに

ITS を活用した安全運転支援システムなどを実現させる上で、支援対象車両と周辺車両の微視的走行挙動を観測し、その知見を蓄積することが必須である。非円滑交通が発生する地点では、安全運転支援技術が効果を発揮すると予想できる。しかし、そのような地点での詳細な非 AHS 車両挙動の計測は従来の車両観測方法では困難である。

現在、高精度 GPS システムを採用して高度な位置精度の計測を可能とする¹⁾、慣性航法システム等を採用して車両の姿勢・加減速度等を高精度計測に可能とする²⁾等の機能を備えた実験車両が開発されている。しかし、それらの実験車両では、いずれも計測精度に関する検証は必ずしも十分ではなく、また安全運転支援技術開発へ向けての、周辺車両を含めた詳細な車両挙動を高精度に観測するための機能は備わっていない。そこで本研究では、GPS 測位をはじめ各種高精度センサ搭載車両を開発し、自車および周辺車両挙動測定システムを構築³⁾することにより、安全運転支援技術導入効果の評価につなげる。

2. 本研究の目的

本システムでは、絶対位置測定に GPS 測位結果を利用する。自車両位置は測定データの中で最も重要な要素であるため、GPS 情報の誤差補正には高精度測位を可能する RTK (Real Time Kinematic) 方式を用いる。しかし、自車両位置のみでは、微視的な走行挙動を計測することは困難である。そこで、自車および周辺車両の詳細な走行挙動観測を実現するために、図-1 に示すように複数の計測機器を実験車両に搭載した。それら機器の計測誤差特性を考慮して真値を最小自乗推定できる独自の平滑化アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを用いる事により、RTK 測位の環境が整わず低精度の測位時や欠測時にも、所要精度の推



図-1 実験車両

定が可能となる。また、周辺車両の挙動測定用機器を搭載し、自車との相対位置を計測し、その結果を自車の測定値と統合することにより、周辺車両の走行挙動も推定できるシステムとする。

本研究では高速度走行時における RTK-GPS 測位精度を検証する。また、平滑化アルゴリズムの妥当性検証のため、モデルパラメータ推定と欠測値補間処理機能の有効性を検証する。

3. 実験車両への搭載機器

本実験車両では、自車の挙動計測にGPS受信機、3軸ジャイロ加速度計、ロータリーエンコーダを、周辺車両の挙動計

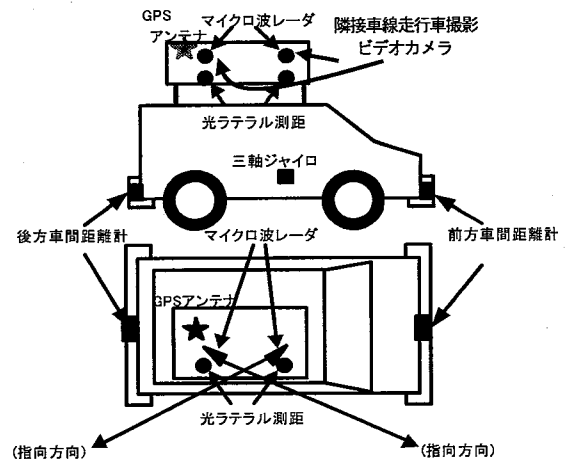


図-2 測定機器設置イメージ

Keywords : 車両挙動計測, GPS, 安全運転支援技術, カルマンフィルター

*連絡先: akahane@ce.it-chiba.ac.jp 047-478-0444

測には、筆者ら⁴⁾がこれまで開発してきた実験車両に搭載していた車間距離計のみならず、横方向や隣接車線走行車両の挙動測定用に、光ラテラル測距器、マイクロ波レーダを搭載した。これら各センサからのデータはGPSの高精度時刻情報を時間軸とし、1/30秒(NTSCビデオフォーマットの1フレーム)周期で同期を取りながら車載PCに一元記録する。それら機器の配置図を図-2に示す。また、隣接車線走行車両のより詳細な挙動を測定するため、高精度デジタルビデオカメラをルーフキャリア内に設置し、ビデオ撮影を行える。

4. 自車両の位置測定

従来のRTK-GPS測位では、観測地点付近に別途基準局用にGPS受信機を設置し、受信機間に携帯電話等の無線装置を用いて補正情報を移動局(実験車両)に伝送していた。RTK測位では、GPS衛星の配置や電離層の影響等による測位精度の低下は、基準局と移動局の距離が長いほど大きい。そのため、都市間高速道路等の長い区間を対象とした調査の際には基準局の設置位置に十分な配慮が必要であった。しかし近年、仮想電子基準点を利用し、リアルタイムに補正情報を提供するサービスが実用化された。移動局を走行車両に搭載しGPS測位を行う本システムでは、そのサービスを用いて補正情報を受信することにより、基準局の設置や走行区域等における制限を受けなくなった。

RTK方式の測位では連続的に補正情報を受信しなければならない。仮想電子基準点からの補正情報は携帯電話を用いて伝送されるため、山間部やビルの谷間等、携帯電話電波の受信しにくい地点では高精度な位置測定は保証されていない。そのため、本システムでは位置情報とは別系統で、同時に基地局と実験車両における未処理のGPSデータをそれぞれPCにオフラインで蓄積し、後処理によってRTK測位と同程度の測位精度で位置解析を可能としている(この方式を本論文ではK-GPS測位と呼ぶ)。

5. 走行時におけるRTK-GPS測位の精度検証

静止時のRTK-GPS測位や後処理によるK-GPS測位では1~2cm程度の測位精度が得られるが、車両走行時にはデータの記録遅延や補正情報の伝送遅延により静止時に比べ測位精度は低下する可能性がある。その精度と遅延の程度を検証するためRTK-GPS測位の精度検証を行った。

移動時におけるRTK-GPS測位精度を求めるためには、GPS測位タイミングの車両位置を別の方法で正確に測定する必要がある。本研究では、路面に車両位置特定のために巻き尺を貼り付け、これを走行中の実験車両よりビデオ撮影す

ることで、GPS測位タイミングにおける車両位置を同定する。そのために、GPS時刻情報によって同期を取った車両位置を巻き尺から読み取り、その位置を別途トータルステーションにより精密測量した。

巻き尺撮影用カメラは車両後部に取り付けたため、巻き尺の目盛読み取り位置とGPSアンテナ搭載位置とに較差が生じる。これを、車両上の搭載機器の相対的位置関係を用いて補正した。また、カメラの撮影中心と巻き尺の中心線とが正確に一致するように実験走行することは不可能である。これも、撮影中心からの巻き尺目盛偏移量より補正した。

精密測量結果に上記の補正を行って真値(GPSアンテナ搭載位置)と見なし、RTK-GPS測位結果との誤差を評価した。その結果、横方向誤差は10~25cm、進行方向の誤差は20cm~-85cmの範囲となり、特に進行方向誤差が大きくなった。

走行時における補正情報の伝送遅延の影響を評価するため、GPS測位時刻に前後した時点での巻き尺の目盛を読み取り、車両位置を算出した。補正後の目盛読み取り値を真値として、測位時刻に前後したGPS測位結果との誤差を評価したところ、±2フレームの時点で±3cm程度と相対的に高い測位精度を得た。

図-3には、進行方向の誤差を示す。同図中の「-1F誤差」「-2F誤差」は、GPS測位時刻よりもそれぞれ1フレーム、2フレーム(1フレーム=1/30秒)以前の巻き尺目盛と真値との誤差、「+1F誤差」「+2F誤差」は逆に測位時刻よりも遅れたフレームの巻き尺目盛と真値との誤差を表す。図-3の横軸の測位順序番号が25から30付近では測位値が変化せずに停止していることがわかるが、車両進行方向の真値との誤差が85cm~1m程度存在する。本研究は本来停止時の測位精度が最も高いはずである。したがって、これはトータルステーションによる精密測量とRTK-GPS測位との座標系変換時

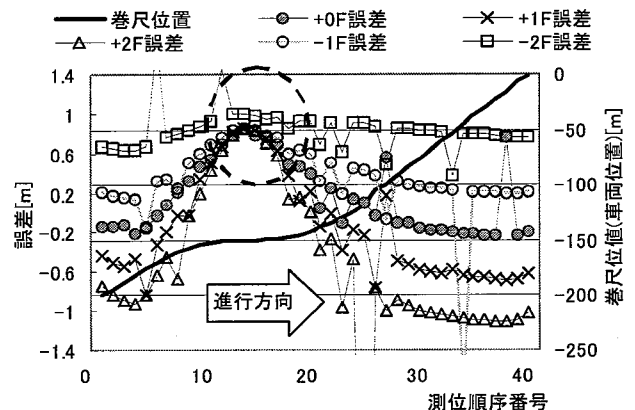


図-3 進行方向測位誤差

に生じたバイアス誤差であろう。この点はあらためてトータルステーションによる測定の基準点を再度GPS測量することで解決できるはずであり、現在その準備中である。

図-3より走行中の誤差を見ると、-2Fでは停止時の誤差とほぼ同程度であるが、フレーム時刻が正になるほど停止時から大きく乖離する。このことから、記録遅延あるいは補正情報の伝送遅延が2フレーム=約0.07秒程度存在し、実用上の測位精度は0.2m程度と予想される。ちなみに図-3における走行中の速度は約45km/hであり、1フレームあたり60cm移動している。

6. 平滑化アルゴリズムのパラメータ推定

各測定機器の計測データには、偶然誤差及び定誤差が含まれている。また、トンネルや遮音壁設置区間などのGPS信号の受信状況が悪い場所ではGPS測位データに欠側が生じる。このため、欠測区間においても一体化された車両軌跡を取得するために、実験車両搭載の各センサのデータを統合平滑化処理し、走行挙動を最小自乗推定する。この推定に、本研究では拡張カルマンスムーザを採用した。

本研究では拡張カルマンスムーザを、3軸回り回転角と平行移動の30次元のシステム方程式(1)と、観測方程式(2)とで表されるシステムに適用した。

$$\dot{\bar{x}}(t+\Delta) = \bar{f}(\bar{x}(t)) + \bar{w}(t) \quad (1)$$

$$\bar{y}(t) = \bar{h}(\bar{x}(t)) + \bar{e}(t) \quad (2)$$

ここに、

- $\bar{x}(t)$: システムの状態変数ベクトル
- $\bar{y}(t)$: 観測変数ベクトル
- $\bar{f}(\bar{x}(t))$: システム関数ベクトル
- $\bar{h}(\bar{x}(t))$: 観測関数ベクトル
- $\bar{w}(t)$: 状態変数のランダム変動ベクトル
- $\bar{e}(t)$: 観測誤差ベクトル

である。

このアルゴリズムの利点は以下の通りである。

- ① 観測値諸量間の物理的相互関係を、推定に明示的に反映できる。
- ② 事後的なオフライン推定であるため、各時刻の状態変数の推定に、時間軸上で過去のみならず将来における観測値を含む全観測値を反映させることができる。
- ③ 各センサの各時刻における観測値精度の変動を、観測誤差分散値の設定により、推定における観測値の重み付けとして個別に調整することができる。

平滑化を行う際に、このアルゴリズムのモデルパラメータである観測誤差分散値の設定によって、真値の推定精度が変動する。本研究ではシステム方程式が多次元で複雑なため、仮想データを用いて分散値設定を確認した。仮想データでは、正弦関数値にランダム変動成分として正規乱数値(0.0049~0.01)を加え、加速度の仮想真値とした。それを累加して速度と位置の仮想真値とした。これらに、観測誤差としても正規乱数値(速度:9~0.01, 位置:256~0.01)を加えて、仮想観測値とした。図-4は、こうして作成された仮想観測値に対してある観測誤差分散値をパラメータとして与えて平滑化を行い、その結果と仮想真値とを比較した一例である。この例は、観測値とパラメータ値の較差の関係を確認するため、必ずしも実走行データの観測誤差の傾向を反映しているわけではないが、推定値と仮想真値との較差が約±0.3m/sの範囲で安定して収まっていることがわかる。

推定値が安定する(発散しない)パラメータ値を設定できれば、仮想データの観測誤差分散値を変えても推定値は発散せず、十分な精度で真値が推定されることがわかった。これにより、本アルゴリズムの誤差分散パラメータの適切な範囲が見出され、アルゴリズムの妥当性も示された。

仮想データ処理より見出したパラメータ設定を用いて、実験車走行データの平滑化処理を行う。図-5にXY平面方向、図-6に標高の観測値(GPS)とアルゴリズムによる推定結果の例を示す。図-7には、GPS測位に欠測が生じても補間処理が適切に行われ真値が推定されている様子を示す。これらの図から、実道における実験車走行データへの平滑化アルゴリズム適用性が実証されている。平滑化アルゴリズムによる真値推定結果に対してGPS測位データには、表-1よりX方向位置では平均で50cm以上の較差が生じている。GPS測位データの単独使用には注意を要するべきことが分かる。

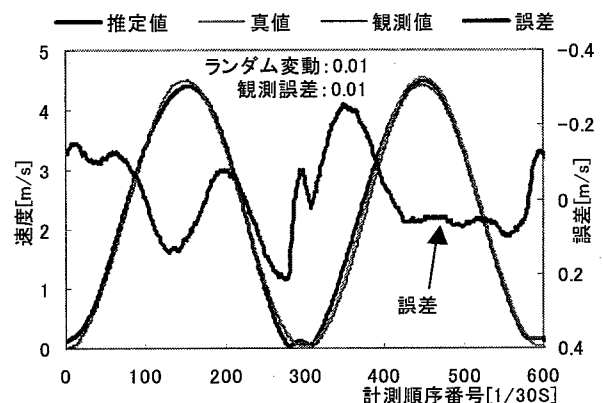


図-4 仮想データの平滑処理(速度)

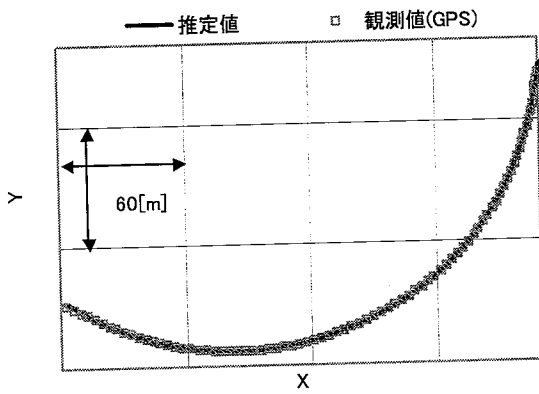


図-5 走行データの平滑処理(XY平面)

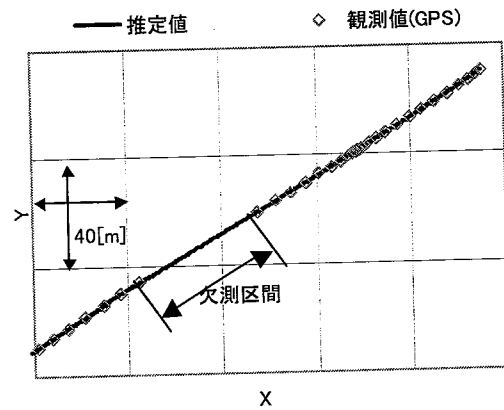


図-7 欠測区間を含む走行データの平滑処理

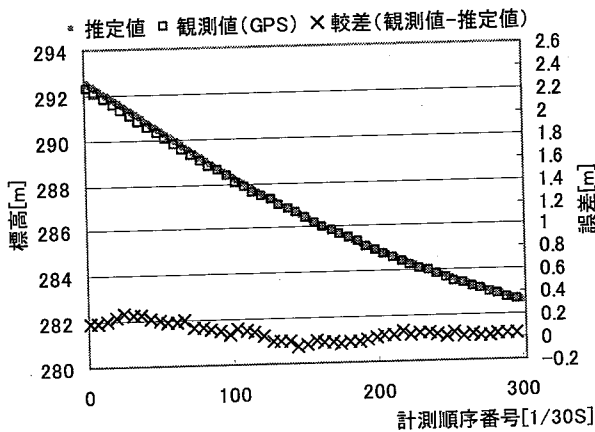


図-6 走行データの平滑処理(標高)

表-1 GPS 測位値の平滑位置座標値に対する較差

	X[m]	Y[m]	Z[m]	V[m/s]
仮想データ	-0.058	-0.069	N/A	-0.022
	0.119	0.082	N/A	0.181
走行データ	-0.556	-0.089	0.078	-0.874
	0.381	0.674	0.087	3.048

(上段:平均値, 下段:標準偏差)

7. 周辺車両の挙動測定

本システムでは周辺車両の計測機器として、車間距離計、光ラテラル測距計、マイクロ波レーダを搭載している。また側方走行車両の走行挙動を詳細に測定するため、GPS 信号により同期された 2 台のデジタルビデオカメラを搭載し、その画像から射影変換式を用いて自車との相対位置を推定する。これらの測定結果は、現在のカルマンスムージングアルゴリズムを拡張することにより、自車の走行挙動と統合し平滑化処理を可能とする。

8. 結論と今後の課題

本研究において開発中の走行挙動観測システムについて、走行時における位置計測の精度、特に GPS 測位の欠測時における補間精度が、実道路における走行データに基づいて検証された。今後、周辺車両走行挙動との統合化処理を完成させ、より高精度な自車及び周辺走行車両の走行挙動観測を実現させる計画である。これは、非円滑交通発生地点をはじめとする様々な地点における車両挙動の解析を可能とし、安全運転支援システム等の技術開発にも貢献できるものと認識している。

本研究における RTK-GPS 精度検証では国土交通省国土技術政策総合研究所高度道路交通システム研究室のご協力を頂いた。また、本研究は東京大学生産技術研究所西川功技官の多大なる支援と助力なしには成立しえないものであった。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 川村彰 中辻隆 前田近邦 大西康文: 冬期路面状態における Probe 車の車両運動データの周波数特性およびスリップ比特性 Proc. 第 1 回 ITS シンポジウム 2002,311-317, 2002.
- 2) 山野芳樹: モービルマッピングシステムによる道路空間データ収集手法の開発, APA No.77, 日本測量調査技術協会, 2000.
- 3) 西川功 野田隆 桑原雅夫 赤羽弘和 大口敬: 運転挙動の計測システム搭載実験車両とデータ処理システムの開発, 第 26 回土木計画学研究・講演集, 土木学会, 2002.
- 4) 赤羽弘和, 大庭孝之, 桑原雅夫, 越正毅: 車両の走行挙動計測システム, 土木計画学研究・講演集, No.11, pp.63-70, 1988.