

GNSS ドップラ速度との複合測位を行う 拡張カルマンフィルタによる一次元拘束条件付き高信頼列車位置計測 High Reliability Train Positioning with One-Dimensional Constraint Condition by Extended Kalman Filter for Complex Positioning with GNSS Doppler Speed

山本春生¹ 高須知二² 久保信明² 中曽根隆太¹
Haruo Yamamoto Tomoji Takasu Nobuaki Kubo Ryuta Nakasone

鉄道総合技術研究所¹ 東京海洋大学²
Railway Technical Research Institute Tokyo University of Marine Science and Technology

1. まえがき

列車保安制御システムへの適用を目標として、三次元線路マップを利用する一次元拘束条件付き測位、ならびに既定値、異なる物理現象、アンテナおよび衛星の冗長性を利用するマルチパス誤差低減のアルゴリズムを開発している。営業路線にて取得した測位衛星観測データを用い、後処理により測位性能を評価した結果、最大誤差を 8m 程度にまで低減でき、検定に伴う測位率の低下も僅かであることを確認した[1]。その後、本アルゴリズムに適した GDOP_{1D} による上限検定機能を追加し[2]、さらに GNSS ドップラ速度との複合測位のためのカルマンフィルタを導入したので、測位性能を再評価した。

2. 開発アルゴリズムの概要

擬似距離とドップラに関する観測方程式を用い、4つの未知パラメータ（起点線路座標からの通算距離、線路座標間ベクトルの接線方向速度、受信機クロックバイアス、受信機クロックドリフト）をカルマンフィルタにより求める。観測方程式が非線形であるため拡張カルマンフィルタとなる。タイトリーカップルであるため、1衛星でも観測更新が行われる。

3. フィールドデータを用いた検証

前節のアルゴリズムを評価システムに追加実装した。拡張カルマンフィルタに関わる各種設定値、閾値の一部は、レファレンス位置を参照して差が小さくなるように適切に選定した。評価では、営業路線にて取得した測位衛星観測データを使用した後処理測位により、一次元拘束条件付き測位に拡張カルマンフィルタを付加した効果、さらに既開発のマルチパス誤差低減検定を組み合わせた場合の効果を確認するため、以下の6ケースについて測位誤差および測位率の比較を行った。

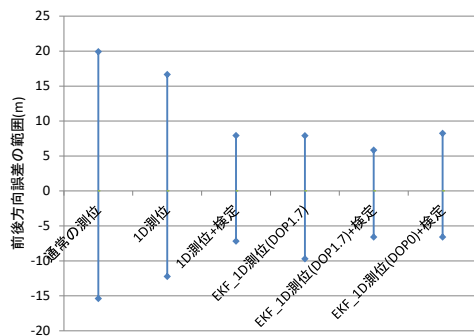


図1 前後方向誤差の範囲

- (a)通常の測位
- (b)一次元拘束条件付き測位 (→ 1D 測位)
- (c)一次元拘束条件付き測位+各種マルチパス誤差低減検定 (→ 1D 測位+検定)
- (d)拡張カルマンフィルタによる一次元拘束条件付き測位 (GDOP_{1D}上限 1.7) (→ EKF_1D 測位(DOP1.7))
- (e)拡張カルマンフィルタによる一次元拘束条件付き測位 (GDOP_{1D}上限 1.7)+各種検定 (→ EKF_1D 測位(DOP1.7)+検定)
- (f)拡張カルマンフィルタによる一次元拘束条件付き測位 (GDOP_{1D}上限検定なし)+各種検定 (→ EKF_1D 測位(DOP0)+検定)

ここで、(b)に拡張カルマンフィルタを適用したものが(d)、(c)に同様に適用したものが(e)に相当する。前後方向誤差の範囲を図1に、測位率を図2に示す。

4. 拡張カルマンフィルタの導入効果

図1および図2に示したように、拡張カルマンフィルタの導入により、測位誤差が低減するとともに、測位率も向上することが確かめられた。さらに、この特長を活かし、冗長構成が必要とされない支援システムへの適用可能性を探るため、受信系の2重化が前提の検定（5つある検定のうちの2つ）を機能させない場合の上記効果を確認したところ、同等の測位性能を確保できることが判った。受信系を単一にできるため、支援システムにも適用できる可能性がある。

謝辞：機材を提供頂いた JAXA，データ取得に協力頂いた JR 西日本，ジェイアール西日本コンサルタンツ，国土地理院，ジェノバの関係各位に謝意を表す。

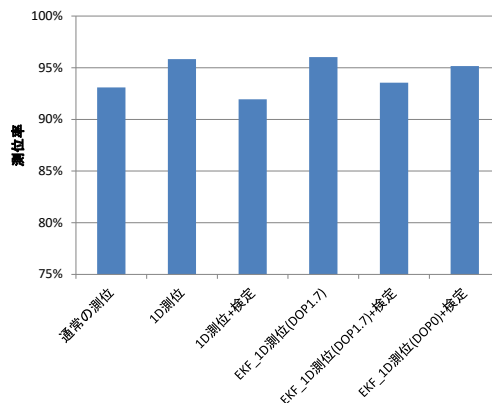


図2 測位率の一例

参考文献：[1] 山本春生，高須知二，久保信明“三次元線路マップを利用するマルチ GNSS 高信頼列車位置計測アルゴリズムの性能評価（その2）”，測位航法学会（全国大会）2016年4月。
[2] 山本春生，高須知二，久保信明“列車の一次元拘束条件付き測位に適した GDOP_{1D} 上限検定の効果”，測位航法学会（全国大会）2017年5月。