

都市部におけるGNSS単独測位性能改善に関する研究

著者	富永 貴樹
学位名	博士(工学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2018
学位授与番号	12614博甲第522号
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00001761/

博士学位論文要約

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科
応用環境システム学専攻 富永貴樹

題目：都市部における GNSS 単独測位性能改善に関する研究

本研究は、GNSS(Global Navigation Satellite System)単独測位性能が大きく劣化する都市部における性能改善のため、アダプティブカルマンフィルタを適用させることによる有効性を示したものである。本論文は全5章構成となっており、以下に各章の要約をまとめる。

第1章 序論

本研究では、反射や回折によって生じる NLOS (Non-line-of-sight)の影響を低減することによる GNSS 単独測位性能改善を行う。GNSS 測位精度やそのロバスト性、さらにコストへの要求は高まる一方であり、特に近年では自動車分野における自動走行や先進運転支援システムにおける利用への期待が高まっている。自動走行システムにおいては数十 cm 程度の測位精度が求められることから、搬送波位相観測値を用いたセンチメートル級測位や、GNSS と IMU(Inertial Measurement Unit)等とのセンサー統合による高精度化に関する研究が多くなされている。そのような状況もあってか、GNSS の最も基礎的な測位方式で、擬似距離やドップラーシフトのみを用いてメートルオーダーの精度を実現する単独測位について議論されることは少なくなってきたのが現状である。一方で、搬送波位相観測が途切れるような環境においては、その間を単独測位が補うことが一般的である。また前述のセンサーは、GNSS 単独測位による速度情報からキャリブレーションを行って初めて利用可能になる。このように、GNSS 測位のロバスト性を議論する場合、単独測位は無視できない重要な測位方式である。

しかしながら高層ビルが立ち並ぶ都市部においては、GNSS 受信機が NLOS 信号を追尾しまうことにより、大きな測位誤差が生じると同時に、インテグリティ情報によるミスリードも頻発する。そのため魚眼カメラや 3D 都市モデルと呼ばれるモデル推定なども行われているが、低コストの GNSS 受信機で動作させることは難しいのが現状である。また測位アルゴリズムは受信機メーカーのブラックボックスとなっており、都市部における測位精度が議論された例は少ない。

そこで本研究では、都市部における GNSS 単独測位性能の改善のため、従来の測位アルゴリズムを明らかにすると共に性能改善のための有効な手法を確立し、提案することを目的とする。なお、本稿における単独測位性能とは、位置及び速度の推定精度と確度、さらにその信頼性としてのインテグリティ情報を意味する。

第2章 観測ノイズアダプティブ推定による都市部 GNSS 単独測位誤差の低減

上記目的達成のため、GNSS 単独測位において従来技術としての拡張カルマンフィルタを導出し、さらにアダプティブ拡張カルマンフィルタを適用することで問題解決を図った。アダプ

ティブカルマンフィルタの特徴の一つは、観測ノイズの分布が未知である場合を想定していることである。複雑な信号経路となる NLOS の観測ノイズ推定は難しく未知であると考え、アダプティブ推定による効果を期待した。そこで拡張カルマンフィルタにおける観測ノイズ共分散行列のアダプティブ推定を行うことにした。ただし、一般的なアダプティブ拡張カルマンフィルタとは異なり、フィルタが収束後にアダプティブ推定を適用すること、従来の拡張カルマンフィルタによる観測ノイズの分散推定値をアダプティブ推定した分散の下限値とすること、を特徴とするフィルタを考案した。

評価のため、西新宿の都庁付近にて走行実験を実施した。こちらは世界中で最も NLOS の影響が大きいと言われる都市の一つである。同一の走行コースを設定し、全 6 周回分から受信機の実出力データを収録し、PC 上のオフライン解析にてアダプティブ拡張カルマンフィルタを適用した。比較のため、信号レベルから観測ノイズを推定する従来の拡張カルマンフィルタによる結果も確認した。

結果、アダプティブ拡張カルマンフィルタによる位置及び速度の劇的な性能改善を確認した。従来の拡張カルマンフィルタでは位置誤差が大きく、航跡の飛びが見られるのに対して、アダプティブ拡張カルマンフィルタにてその誤差が抑制され、航跡の飛びも見られなくなった。また速度誤差についても同様の改善が見られた。さらに定量解析から誤差の統計値を算出し、その効果を確認した。例えば全 6 周回分の水平位置誤差を比べると、従来の拡張カルマンフィルタでは誤差の平均が 13.35m、標準偏差が 46.7m であったのに対して、アダプティブ拡張カルマンフィルタではそれぞれ 2.50m、15.9m まで改善された。

第 3 章 NLOS 信号追尾に起因する観測誤差と測位誤差の関係性に関する考察

前章の改善の理由を定量的に示した。まず、観測値の衛星間一重差と、衛星軌道及び座標の真値から得られる同様の一重差を算出し、それらの差分から主に NLOS による観測誤差を取り出す手法を考案した。すると、例えば擬似距離には 100m を優に超える誤差が重畳されていることがわかり、これが都市部における支配的な GNSS 測位誤差要因であることが確認できた。

また、NLOS による観測誤差と信号レベルに顕著な相関がみられないことも確認した。両者の相関係数は 0.2~0.6 程度に留まった。よって信号レベルから観測誤差を推定する従来技術では、このような誤差を推定することは非常に困難であることがわかった。

一方、上記観測誤差とアダプティブ推定した観測ノイズ共分散行列に高い相関がみられた。相関係数は全て 0.9 を超えた。従来技術では難しかった観測ノイズ共分散行列の正しい推定がアダプティブカルマンフィルタで可能となり、結果として GNSS 単独測位における位置及び速度の精度及び確度が改善するとの知見を得た。

第 4 章 都市部 GNSS 単独測位におけるインテグリティ情報の評価

GNSS 測位結果の信頼性を示す情報の一つに、インテグリティ情報が挙げられる。インテグリティ情報のうちプロテクションレベルと呼ばれる情報は状態ベクトルの共分散行列から導出されることが多い。この状態ベクトルの共分散行列は観測ノイズ共分散行列推定の影響を大きく受けるため、アダプティブ拡張カルマンフィルタがプロテクションレベルにも寄与するも

のと考え、評価を行った。

結果、アダプティブ推定はプロテクションレベルにも大きく貢献した。上述の走行実験において、例えば水平位置の比較では、従来の拡張カルマンフィルタに 82.7%のミスリードがあったのに対して、アダプティブ拡張カルマンフィルタにてそれを 26.4%まで軽減した。高さ方向の位置や速度についても同様の改善がみられた。

第 5 章 結論

本研究により、都市部における GNSS 単独測位性能改善においてアダプティブ拡張カルマンフィルタが有効であることがわかった。位置、速度推定結果の改善がみられたことから、本稿の範囲外ではあるが、GNSS 測位にて位置及び速度と同時に得られる時刻情報の改善にも効果があるものと推察される。さらに観測誤差の定量解析から、都市部の GNSS 測位において NLOS が支配的な誤差要因であること、アダプティブ推定によりこれら観測誤差を正しく推定できたことで測位性能の改善が見られたことも確認できた。また、観測ノイズのアダプティブ推定が状態ベクトルの共分散行列にも寄与することで、インテグリティ情報の改善にも効果があることも示した。

しかし、インテグリティ情報の理想的なミスリード確率は 0%である。本研究で示したアダプティブ拡張カルマンフィルタのみでは、0%を達成することが困難であるとの見解である。よりロバストな信頼性情報確立のため、更なる調査・研究を継続する。

以上