

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14316

研究課題名(和文) ストリートビューによる衛星測位精度推定マップの構築とQZSSの利用可能性検証

研究課題名(英文) Development of GNSS Availability in Urban Environments Using by Street View Images and Evaluation of QZSS in Urban

研究代表者

長井 正彦(Nagai, Masahiko)

山口大学・大学院創成科学研究科・准教授

研究者番号：20401309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、都市部でのGNSSの利用において、高層ビルや高架橋等による遮蔽によって生じる可視衛星数の減少や可視衛星の配置劣化、マルチパスによる測位精度劣化を評価するために、一般的に公開されている地上の写真(Google Street View)から、建物や高架橋などの影響を推定し、都市部での効果的な衛星測位利用のシミュレーションシステムの開発を行った。測位精度劣化を評価する環境の整っていないアジア地域で利用することを踏まえて、バンコクとマニラを対象地域に絞り研究を行った。また、バンコクとマニラにおけるQZSSの利用についても検討した。

研究成果の概要(英文)：Performance of Global Navigation Satellite System (GNSS) positioning in urban environments is hindered by poor satellite availability because there are many man-made and natural objects in urban environments that obstruct satellite signals. To evaluate the availability of GNSS in cities, a software simulation of GNSS availability in urban areas using a panoramic image dataset from Google Street View. Photogrammetric image processing techniques are applied to reconstruct fisheye sky view images and detect signal obstacles. A software simulation of GNSS availability was demonstrated in Bangkok and Manila, and also evaluation of QZSS in Bangkok and Manila.

研究分野：宇宙データ利用

キーワード：衛星測位 GNSS 準天頂衛星 画像処理 測位シミュレーション Google Street View

1. 研究開始当初の背景

都市部での衛星測位において、高層ビルや高架橋等の影響によって生じる測位精度劣化が著しい。そのために従来から都市域でのGNSS測位の精度検証や改善に関する研究が多く行われてきた。3次元GISデータを利用して測位衛星の受信状況をシミュレーションしたり、車載計測システムにGNSS受信機と魚眼レンズカメラを搭載し、建物や高架橋などの影響を実際に計測して評価したりしている。しかしながら、発展途上国の都市では、3次元GISデータが整備されていない都市が多く、また車載計測システム等の現地調査において、広範囲のデータを実測により集めるということは膨大な時間とコストを必要とする。そこで本研究では、一般的に公開されている地上の写真(Google Street View など)から、都市部での天空写真を合成し、建物や高架橋などの影響を推定する。天空写真と測位衛星の軌道からGNSS測位精度推定マップの構築を行い、さらにマルチパスの可能性のある衛星を排除した測位を実施し、都市部での測位精度改善の検証を行う。

2. 研究の目的

1) 3次元GISデータや現地計測なしで、都市部でのGNSSの測位精度推定マップの構築と、都市部での測位精度改善を行うことを目的とする。その際、一般的に公開されている地上の写真(Google Street View など)から、GNSSの測位に対する建物や高架橋などの影響を推定する点に大きな特色がある。

2) 一般的に公開されている膨大な写真データを扱う必要があるため、画像処理の自動化手法を検討する。Google Street Viewで公開されている画像を利用し、仮想の魚眼レンズによる天空写真を合成する(図4・右側)。

3) 天空写真から天空率(図5・中央の空が見えるエリア)を求め、測位衛星の軌道から、都市域でのGNSS測位の精度推定マップの構築を行い、同時にGNSS測位精度の改善検証を行う。

3. 研究の方法

本研究の成果をアジア地域で利用することを踏まえて、バンコクとマニラを対象地域に絞り、研究を行う。公開されているGoogle Street View画像を取得し、Google Street View画像から天空写真を合成し、天空率を求めるまでの自動化された手法を開発する。測位衛星の軌道と天空率から、都市域での測位衛星の可視数や配置を推定し、都市部におけるGNSS測位精度推定マップの構築を行う。また、GNSS測位精度推定マップの評価を行う

ために、バンコクとマニラにおいて実測の検証実験を行い、同時に、GNSS測位精度の改善検証を行う。さらに、GNSS測位精度推定サービスを構築し、全世界を対象にサービスを公開する。

Google Street View画像の取得

公開されているGoogle Street View画像を取得する。Google Street View画像は、およそ5mおきに画像が計測されているため、取得する画像数は膨大になる。また、対象コンテンツの所有権はGoogleに帰属するため、利用規約に則りデータを取得する。また、対象地域の広さによってはデータが膨大になるため、データのサイズや画像数を考慮してデータを取得する。また、現地において、実際にレンズカメラを用いて、天空写真の撮影を行い、Google Street View画像の位置精度を評価する。

天空写真を合成および天空率の推定

Google Street View画像から、天空写真を合成する。Google Street View画像は、水平方向に0度(真北)から45度おきに8方向の画像が取得されており、垂直方向には、水平、45度、真上の画像撮影されている。これらの画像を結合し、上向きの魚眼レンズで撮影された様な画像を合成する。また、合成された天空写真から、天空率を推定する。ある地点(Google Street View画像の撮影地点)での空の見える部分を抽出する。公開されているGoogle Street View画像は膨大なため、これらの画像処理プロセスの全自動化を検討・開発する。

測位衛星の軌道の推定

測位衛星の軌道生成に関しては、いくつかの軌道情報提供サービスがあるのでそれらを利用する。天文基準系と測地基準系間の座標変換を行い、衛星位置を地上の座標系に変換することで衛星直下の緯度・経度を求め、測位衛星の地上軌跡を計算する。衛星の軌道は、刻々と変化するので、GNSS測位精度の評価結果も、時間によって変化する。

GNSS測位精度推定マップの構築

天空写真から高層ビルや高架橋等の影響による可視衛星数や衛星配置を推定する。可視衛星と衛星配置は、時間により変化するため、様々な地点の天空率と合わせて時間毎の推定を行う。また、測位衛星の可視数や配置の推定から、GNSS測位精度推定マップを構築する。さらに、ビルのスカイラインより、ある程度以上離れている衛星は直達波だけでなく反射波も一緒に来ていると考えて、マルチパスの可能性のある衛星を排除した測位を実施し、都市部での測位精度改善の検証を行う。測位精度の改善は、都市部の高層ビルなどのスカイラインから一定程度離れた衛星のみを利用することを検討し、離れの閾値は

実験的に検討する。

現地実験による精度評価

バンコクおよびマニラにおいて実測の検証実験を行う。車に、マルチ GNSS 受信機、天空写真を撮影するためのデジタルビデオカメラを搭載し、バンコク市内で走行実験を行う。可視衛星数と衛星配置は、時間により変化するため、時間を変えて、何度か走行実験を行う必要がある。特に、本研究では、高精度測位を目的としているので、RTK-GNSS (RTK:リアルタイム・キネマティック) による測位実験を行う。バンコクで走行実験および準備には、車やドライバーの手配を含めて現地でのサポートが必要なため、バンコクの大学などと連携を行って実証実験を行う。また、本研究代表者は、バンコクのチュラロンコン大学、およびマニラのフィリピン大学と共同研究を実施しており、それぞれの大学に設置してある GNSS 電子基準点の利用が可能であるので、現地での実験を行う環境は確保されている。

走行実験により得られた実際の測位精度と、Google Street View 画像から合成された天空写真による測位衛星の可視数や配置の推定結果を比較し、構築した GNSS 測位精度推定マップの評価を行う。同時に、Web サービスの開発を行い、実運用に向けての検証をおこなう。RTK 測位においても、数値バイアスが決まるまでに、ある程度の時間を必要とするので、移動しながら衛星測位を行う場合、高精度測位解が得られる道路などを推定する。

衛星測位評価 Web サービスの構築

GNSS 測位精度推定サービスを構築し、全世界を対象にサービスを公開する。本研究は、高精度の GIS データが整備されていない東南アジアの都市部において、Google Street View 画像から各地点の測位精度の評価をすることに意義がある。同時に、本研究によって開発された手法やサービスは、Google Street View 画像が提供されている地域であれば、世界中どこでも、応用が可能である。全世界を対象にサービスを公開し、アフリカや、南米などの地域における利用可能性についても検証する。

また、日本の QZSS (準天頂衛星システム) についても、2019 年までに、4 機体制で運用されることが決定されており、アジアにおける QZSS の利用ニーズが高まってくると考えられる。衛星測位評価 Web サービスでは、今後、QZSS が運用されたときに、効率良く利用できる場所や時間帯なども評価できるようにする。日本の宇宙インフラの海外利用展開にも貢献する。

4. 研究成果

Google Street View 画像の取得

公開されている Google Street View 画像を取得し、天空写真の合成について検討した。Google Street View 画像は、水平方向に 0 度 (真北) から 45 度おきに 8 方向の画像が取得されており、垂直方向には、水平、45 度、真上の画像が撮影されており、1 箇所に対し 17 枚の画像がある。本研究では、天空写真の合成には、垂直方向に 45 度と真上の 9 枚の画像を利用した。表 1 に Google Street View の撮影方向を示す。天空写真の合成では、9 枚の画像 (図 1) のみで合成可能であった。

表 1 合成画像の撮影方向

Image No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
FOV	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
Azimuth	0°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Elevation	90°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°

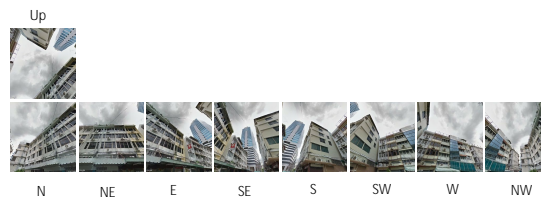
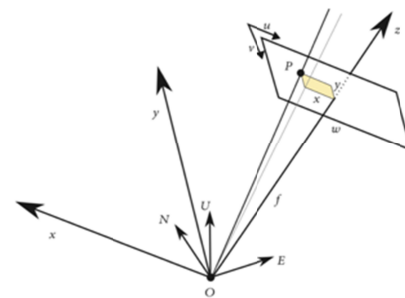


図 1 Google Street View 画像

天空写真の合成および天空率の推定

9 枚の Google Street View 画像 (図 1) から天空写真の合成を行った。天空写真への合成は、図 2 の標準平面投影 (Rectilinear projection) により行った。図 2 は、ワールド座標系 (E, N, U) カメラ座標系 (x, y, z)



画像座標系 (u, v) があり、これらの座標変換をおこない、共通の魚眼画像座標系 (図 3) に変換した。

図 2 標準平面投影

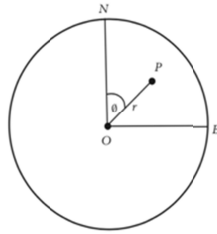


図3 魚眼画像座標系

座標系の変換により、図1の9枚の画像のリサンプリングを行った。天空写真の作成結果を図4に示す。

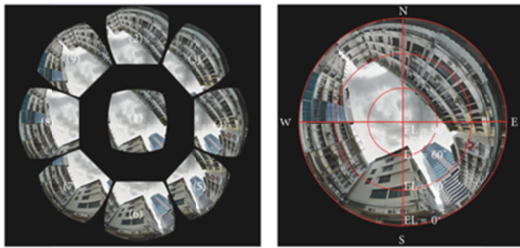


図4 天空写真の合成画像

天空率の推定は、図4で作成した天空写真より自動検知を実施した。図5に天空率の推定の手順と結果をしめす。(a)は、カラー合成画像からグレースケール画像を作成する。(b)は、グレースケール画像から閾値を用いて2値化をおこなう。白か黒(0か1)の画像となる。(c)は、モフォロジカルフィルタのクローズ処理により、ノイズを除去し画像の分割を行う。(d)は、メディアンフィルタを行い、画像のノイズを除去し、周りの画素の濃度の中央値に変換する。(d)の白に箇所が空の見えている箇所である。

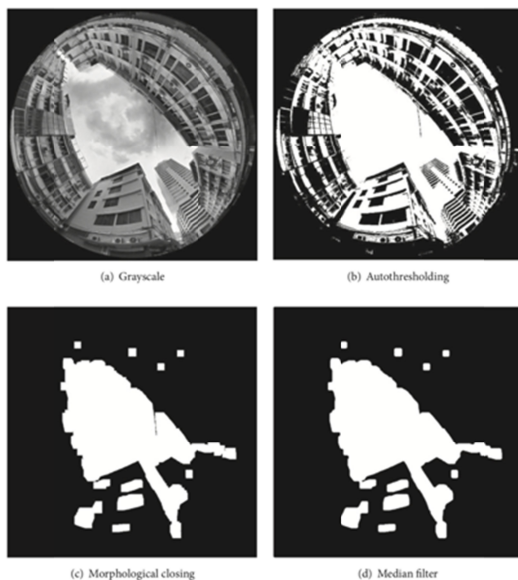


図5 天空率の推定

測位衛星の軌道の推定

測位衛星の軌道情報に関しては、SGP4 (Simplified General Perturbations Satellite Orbit Model 4)を利用した。天空写真と撮影された地点の測位衛星の軌道上を重ね合わせて、高層ビルや高架橋等の影響による可視衛星数や衛星配置を推定した。バンコクにおいて、車にGNSS受信機を搭載し試験的な走行実験を行った。可視衛星数や衛星配置を推定結果の検証を行った。Google Street View画像による「シミュレーション」と「実測」を比較・検証し、衛星配置や合成写真において、非常に近い結果が得られた。

図6に(a)実測と(b)シミュレーションの比較した例を示す。シミュレーションによって合成された天空写真と天空域から推定した観測できると予測した衛星と実測の値は非常に近い物となった。

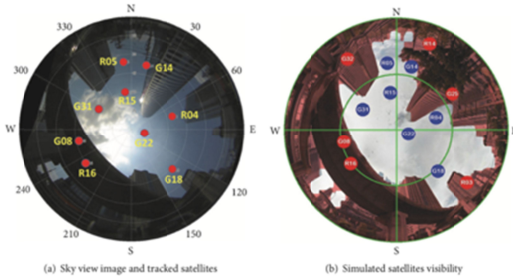


図6 (a) 実測と(b) シミュレーション

GNSS 測位精度推定マップの構築

天空写真から高層ビルや高架橋等の影響による可視衛星数や衛星配置を推定した。実証実験は、バンコクおよびマニラ(図7)で実施した。都市部の高層ビル群では、可視衛星と衛星配置は、時間により見える衛星が大きく違うため時系列に検討した。また、測位衛星の可視数や配置の推定から、GNSS 測位精度推定マップを構築した。また、高層ビル群ではマルチパスの可能性のある衛星を排除した測位を実施し、都市部での測位精度改善の検証を行った。測位精度の改善は、都市部の高層ビルなどのスカイラインから一定程度離れた衛星のみを利用することを検討し、離れの閾値は実験的に検討した。



図7 マニラにおける天空率の推定

GNSS 測位精度推定マップの構築では、それぞれの道路において、どの程度衛星データを受信できるか推定した。図8は、バンコクにおけるシミュレーションの結果である。道路に沿ったバーグラフは、受信できる衛星の数を示している。バーが高ければ受信できる衛星数は多く、バーが低い場合は、受信できる衛星数が少ない。つまり、その時間帯のその箇所の位置精度は低いということになる。また、準天頂衛星の利用についても考慮した。準天頂衛星が利用できる時間帯では、都市域でも効果的な精度向上が見込める結果となった。



図8 バンコクにおけるシミュレーション

現地実験による精度評価

表2に、精度検証の結果をしめす。GPS、QZSS（準天頂衛星）、Beidou がどの程度受信できるか、実測とシミュレーションを比較することで実施した。表2は、左の列から、実測とシミュレーションで両方確認できた衛星。2列目が、実測とシミュレーションで両方確認できない衛星。3列目がシミュレーションのみで観測できる衛星、4列目が実測のみで観測できる衛星である。実測とシミュレーションが同じ場合を正解とすると、81.9%の精度でシミュレーションができたと言える。

表2 精度検証に結果

Satellite name	Number of predictions and observations			
	Tracked	Observation		Tracked
		Visible	Not tracked	
	Simulation	Visible	Not visible	
GPS PRN G02	101	298	164	56
GPS PRN G04	1870	984	310	240
GPS PRN G10	469	2177	709	49
GPS PRN G13	744	2147	378	135
GPS PRN G17	3081	57	62	204
GPS PRN G20	911	1958	344	231
GPS PRN G23	1662	1031	455	256
GPS PRN G28	769	1405	300	77
QZSS PRN J01	2872	130	116	286
BEIDOU PRN C01	379	1645	1239	141
BEIDOU PRN C03	500	2353	501	50
BEIDOU PRN C04	575	1873	675	281
BEIDOU PRN C08	2936	35	361	72
BEIDOU PRN C09	547	2563	251	43
BEIDOU PRN C31	149	1533	286	57
Total	17565 (38.16%)	29229 (43.74%)	6051 (13.37%)	2178 (4.73%)

衛星測位評価 Web サービスの構築

衛星測位評価 Web サービスの構築では、図9の通り Web システムを構築した。Google Map と連動し、ある地点をクリックすると、その地点の Google Street View 画像から天空を推定し、衛星の軌道情報から、見えるであろう衛星を表示する。

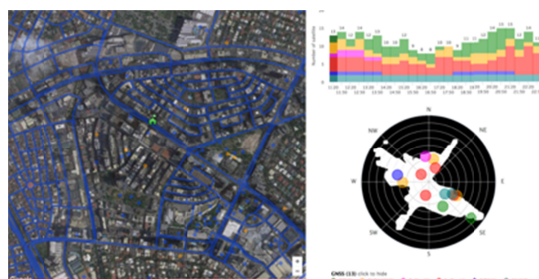


図9 衛星測位評価 Web サービス

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Sakpod Tongleamnak and Masahiko Nagai, Simulation of GNSS Availability in Urban Environments Using a Panoramic Image Dataset, International Journal of Navigation and Observation, Volume 2017 (2017), Article ID 8047158, 12 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/8047158>.

〔学会発表〕(計1件)

Masahiko NAGAI, Sakpod TONGLEAMNAK, Zahid WANI, Simulation for GNSS Utilization and DEM Construction in Urban, 宇宙技術および科学の国際シンポジウム(ISTS)(国際学会), 2017年6月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長井 正彦 (Nagai Masahiko)
山口大学 大学院創成科学研究科 准教授
研究者番号：20401309

(2) 研究分担者

()
研究者番号：

(3) 連携研究者

()
研究者番号：

(4) 研究協力者

()