

(26) 車両搭載センシングユニットの試作と計測実験

窪田 諭¹・塚田 義典²・梅原 喜政³・中原 匡哉⁴・田中 成典⁵

¹正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

²正会員 摂南大学講師 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8)

E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

³正会員 関西大学特別任命助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp

⁴学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1) /
国土交通省国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室

E-mail: k732803@kansai-u.ac.jp

⁵正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

我が国では、道路や河川などの社会基盤の維持管理や自動運転のための高精度三次元地図の生成に Mobile Mapping System (MMS) が用いられている。しかし、MMS は非常に高価であるため、全国の地方公共団体が利用することは難しい。筆者らは、市販の安価なセンサ機器を用いて、車両搭載センシングユニットを設計し、計測してきた。ただし、ユニットの揺れやセンサ機器の設置位置などに課題があった。

本研究では、高精度な三次元空間データを構築することを目的に、既存のセンシングユニットの課題を解決する新たなユニットを設計、試作した。そして、大学キャンパス内と一般道において計測実験を実施し、安全にデータを計測できることと三次元空間データ構築のための課題を明らかにした。

Key Words: MMS, sensing unit, laser scanner, three-dimensional data, point cloud data.

1. はじめに

我が国では、道路や河川などの社会基盤の維持管理や自動運転のための高精度三次元地図の生成に Mobile Mapping System (MMS) が用いられている。しかし、MMS は非常に高価であるため、全国の地方公共団体が利用することは難しい。そのため、国土交通省は、安価な機器を用いた車両搭載型センシング技術の確立を目標に掲げ、実験¹⁾を行った。一方、安価な機器を用いることにより、計測データの精度が低下する課題があり、安価かつ高精度な三次元情報の整備のための研究開発が求められている。文献²⁾では市販の機器を台車に搭載して歩道を計測する研究を行っているが、安価なセンサ機器を組み合わせることで車両に搭載し、MMS を実現する取り組みは見あたらない。

これらの背景の下、筆者らは、市販の比較的安価なセンサ機器を用いて、レーザスキャナ、IMU (Inertial Measurement Unit) と GNSS (Global Navigation Satellite System) を組み合わせた車両搭載センシングユニットを設計³⁾し、計測と3次元データの生成⁴⁾を行ってきた。このとき製

作したユニットを図-1に示す。ただし、センシングユニットには、次の課題があった。

- ・ユニット全体の揺れ：ルーフキャリアのフレームがアルミ製であったため、自重によって揺れが発生し、計測精度に影響があった。
- ・レーザスキャナの設置位置：道路面を計測するために道路交通法における車高の限界である積載含め 3.8m 以下に近い高さにレーザスキャナを設置した。
- ・ユニットの取り付けの簡便性：ルーフキャリアとセンシングユニットの全体の重量が重く、設置に工具が必要なため、取り付けが容易でなく、作業効率に課題があった。
- ・GNSS アンテナの設置位置：電波を阻害しやすいアルミ製のルーフキャリア上に直接 GNSS アンテナを設置したため、測位精度の低下の要因となった可能性がある。
- ・GNSS の FIX 率：使用した GNSS では、上空視界が開けた場所であっても、高精度に RTK 測位できている計測点である FIX 解を得るまでに時間を要した。そこで、本研究では、これらの課題を解決するために、



図-1 既存の車両搭載センシングユニット

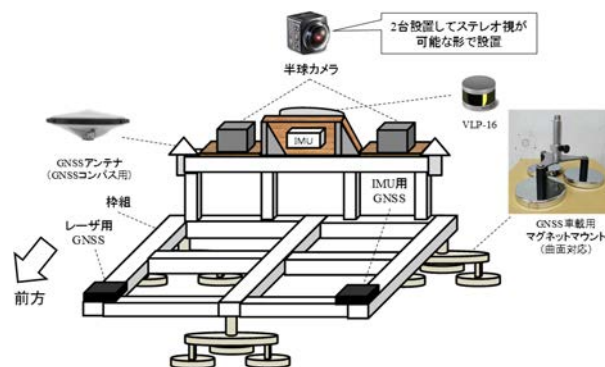


図-2 センシングユニットの全体像

車両搭載センシングユニットを再設計して試作し、大学キャンパス内と一般道における計測実験を行うことによって、安価なセンサ機器を組み合わせ、高精度な三次元空間データを構築することを目的とする。

2. 車両搭載型センシングユニットの再設計

(1) 既存センシングユニットの課題の解決方針

前章で述べた既存センシングユニットの5つの課題において、次の解決方針を考案した。

a) 方針1：ユニット全体の揺れ

センシングユニットの土台やフレーム全てに曲げや伸縮に強い金属柱を利用し、ユニット全体の揺れを軽減する。

b) 方針2：レーザスキャナの設置位置

センシングユニットを車両の後部に移動し、レーザスキャナを低い位置に設置しても路面を計測できるようにする。

c) 方針3：ユニットの取り付けの簡便性

工具を用いなくても車両にセンシングユニットを取り付けられるように、ユニット下部に磁石を配置し、取り外しの作業効率を向上する。

d) 方針4：GNSSアンテナの設置位置

アルミ製のフレームなどの衛星電波の阻害要因を排除しマルチパスが軽減されるように、GNSSアンテナの設置位置を見直す。

e) 方針5：GNSSのFIX率

車両が街中や公道を走行して計測するため、マルチパスに強いGNSS機器として、2周波対応の機器を新規に用いる。

(2) センシングユニットの再設計

前節の方針に基づき、センシングユニットを再設計した。ユニットを前方斜めから見た俯瞰図を図-2に示す。使用したセンサ機器は、レーザスキャナにVelodyne社製のVLP-16 Hi-Res、IMUに東京航空計器社製のCSM-

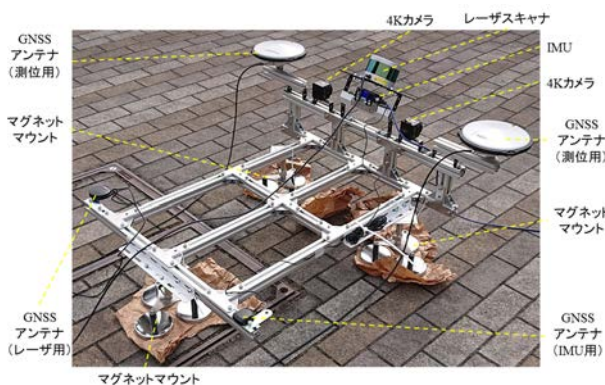


図-3 試作したセンシングユニット



図-4 車体に設置したセンシングユニット

MG100, GNSSにSeptentrio社とiシステムリサーチ社製のAsteRx-m2a UAS with SOI, 半球カメラにコダック社製のアクションカメラPIXPRO SP360 4Kである。なお、レーザスキャナとIMUは既存のセンシングユニット³⁾と同様であり、GNSSと半球カメラを変更した。半球カメラは、レーザスキャナの計測範囲のRGB値を計測し、今後、カラー点群の生成を目指すために設置した。

(3) センシングユニットの試作

試作したセンシングユニットの全体を図-3に示す。これを図-4に示すように車両の後方に設置した。ユニットを車両に搭載するときには、車体とマグネットマウントの間に布や紙を挟み、車体を傷つけないようにし、ユニットの落下防止のため、ユニットとベースキャリアを紐で固定した。これらの結果、工具を使用せず、ユニッ

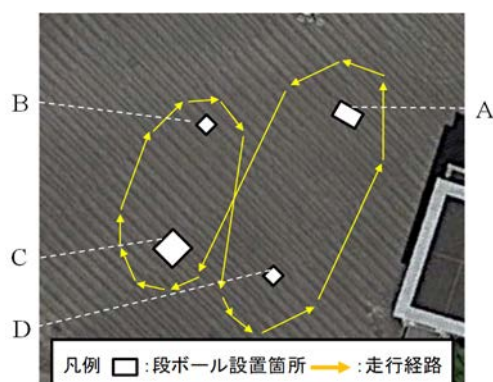


図-5 移動軌跡によるフィルタリングの評価実験

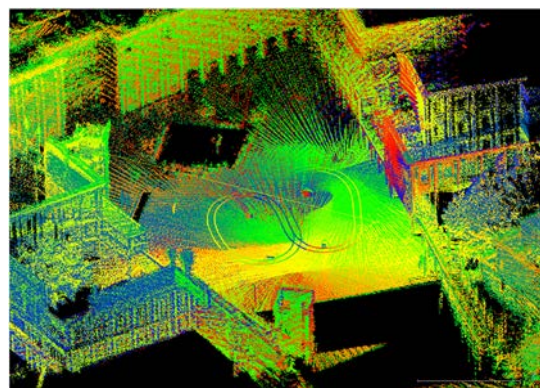


図-7 車両搭載センシングユニットの計測結果

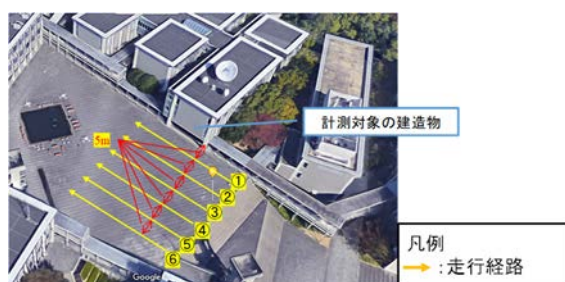


図-6 計測範囲ごとの計測精度の評価実験（背景 Google）

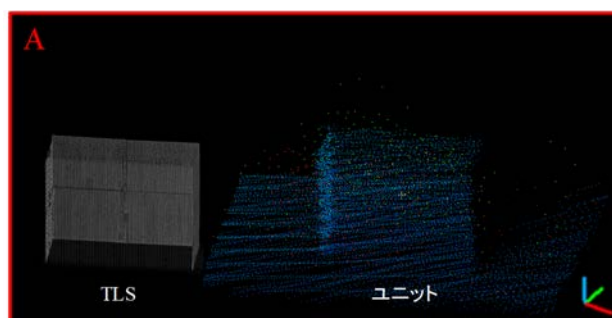


図-8 段ボールの計測結果

トは大人3名で外すことができる程度の磁力で車体に固定されたため、方針3を実現できた。

センシングユニットの設置後に解決方針を確認するための走行実験を行った。まず、急ブレーキ時でもユニットが車体の揺れと同様であることを目視で確認し、方針1を実現したと判断した。次に、レーザスキャナの計測結果を確認しながら、その設置位置を調整し、車両後方の測線を計測できていることを確認し、方針2を実現できた。最後に、GNSSがカタログ精度で計測できることと、そのFIX解を基地局との通信が確立した時点で得られることを確認し、方針4と5を実現できた。

3. 大学キャンパス内における計測実験

(1) 実験概要

試作したセンシングユニットが高精度な点群データを計測できる範囲を明らかにするために、関西大学高槻キャンパスにおいて計測実験を行った。そこでは、高精度な点群データのみを用いて、GNSSとIMUを用いた補正とSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）による補正のそれぞれの三次元データ生成技術を開発するために、移動軌跡による計測データのフィルタリング（項目1）と入射角度や距離による計測範囲ごとの計測精度（項目2）とを評価することを目指した。

項目1では、図-5に示す走行経路の円内にダンボールを評価対象として4つ設置し、車両搭載センシングユ

ニットと地上型レーザスキャナ（TLS：Terrestrial Laser Scanner）によって計測した。項目2では、図-6に示す建造物の壁面から5、10、15、20、25、30m離れた地点①～⑥から、走行速度5、10、15km/hにて車両搭載センシングユニットによって計測した。

(2) 計測結果の処理と分析

a) 移動軌跡によるフィルタリングの評価

車両搭載センシングユニットによってキャンパス内を計測して得られたデータを図-7に示す。これは、Yaw角によってカラーリングしたものである。

項目1では、車両搭載センシングユニットとTLSのそれぞれの点群データを比較した。図-5の段ボールAの計測結果を図-8に示す。図より、車両搭載センシングユニットによる点群データにバラツキが発生し、段ボールの角を認識することが難しいことがわかる。また、走行経路の中央部の任意断面を横方向から可視化した結果を図-9に示す。図より、TLSでは面の厚さが0.005～0.017mと高精度に計測できたが、車両搭載センシングユニットでは面の厚さが0.687～0.830mとなり、中央でPitch方向の回転誤差が発生し、端部で大きなズレが生じることがわかった。以上の結果から、車両搭載センシングユニットで計測された全てのデータを統合するとバラツキが発生するため、移動軌跡や計測範囲を用いた補正が必要であることが明らかになった。

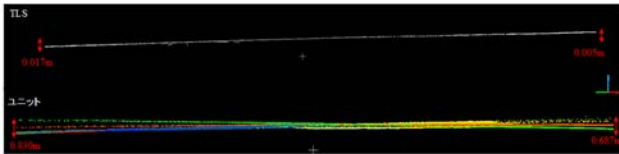


図-9 任意断面における横方向からの可視化

表-1 計測範囲ごとの計測精度の結果

ルート	距離 (m)	時速 5km/h		時速 10km/h		時速 15km/h	
		標準 偏差 (cm)	点数	標準 偏差 (cm)	点数	標準 偏差 (cm)	点数
①	5	1.54	46,885	1.59	24,050	1.46	17,127
②	10	1.51	49,970	1.75	29,317	1.70	22,053
③	15	1.65	40,624	2.11	23,483	1.90	22,211
④	20	2.36	64,244	2.29	29,927	—	—
⑤	25	2.54	67,922	2.80	27,528	2.31	27,349
⑥	30	3.76	64,270	3.72	23,606	3.10	22,576

b) 計測範囲ごとの計測精度の評価

項目 2 では、対象の壁面からの距離毎に壁面の点群データを抽出し、水平面に対して垂直な近似平面を生成した。そして、それに対する点群データの垂直距離の標準偏差を算出した。ここでは、ユニットのレーザスキャナの計測精度が標準偏差 3.0cm であり、GNSS の水平方向の計測精度が標準偏差 0.6cm であるため、標準偏差 3.6cm を超える地点までを高精度な点群データの計測範囲とした。計測範囲ごとの計測精度において、近似平面に対する垂直距離の標準偏差と抽出点数の結果を表-1 に示す。なお、時速 15km/h でのルート④の計測は、現地に障害物があったため実施できなかった。ルートごとの標準偏差を確認すると、⑥30m のときに時速 5, 10km/h で標準偏差が 3.6cm を超えた。一方、等速で安定して走行しているときは、車速によらず、計測距離 35m までの点群データであれば、高精度と判断できる。また、計測距離が 35m 以上の場合、計測機器の計測精度よりも標準偏差が大きくなる可能性が高いと言える。

4. 一般道における計測実験

(1) 実験概要

車両搭載センシングユニットを用いて、道路空間を時速 40～50km/h で安全に走行してデータを計測することと高架道路橋の下部工の点群データを計測することを目的に、大阪府豊中市内の一般道を走行した。走行ルートには、市街地と阪神高速道路の高架下を含む。このとき、GNSS の基地局と移動局の直線距離は約 1.6～1.8km であった。

(2) 計測結果の処理と分析

計測実験の結果、GNSS の基地局と移動局との通信は長距離でも問題なく実施でき、レーザスキャナと IMU のデータも正常に記録できたため、センシングユニットを搭載した車両が道路空間を 40～50km/h で安全に走行し、データを計測できることがわかった。

走行中の GNSS の FIX 率を分析した結果、上空視界が開けた市街地では 84～87% の FIX 解を得た。しかし、大きな建築物の横や歩道橋の下を通過する場合には FIX 解を得られないことがあった。さらに、阪神高速道路の高架下を走行する場合には、上空視界が遮られるため FIX 解が得られず、単独測位となった。そのため、Float 解、DGPS 解および点群データ解析によって補正する技術を検討する必要がある。

今後、市道を計測した MMS による点群データを最確値として、本ユニットによる計測データの精度と特性を検証する。

5. おわりに

本研究では、高精度な三次元空間データを構築することを目的に、地方公共団体が幅広く MMS を利用できる環境を整備するために、安価なセンサ機器を組み合わせることで車両搭載用のセンシングユニットを設計、試作し、大学キャンパス内と一般道において計測実験を行った。今後、センシングユニットの一般道における点群データと MMS による計測データとを比較して、精度を検証する。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、関西大学社会空間情報科学研究センターの参画企業からご助言を賜った。本研究の一部は、関西大学先端科学技術推進機構研究グループ予算（2019年度）によって実施されたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：車両搭載型センシング技術を活用した道路基盤地図データの収集実験の開始について、<https://www.mlit.go.jp/common/001157623.pdf>，（2020.6.9 入手）。
- 2) 江守央，佐田達典，今村一紀，小川達也，岩上弘明：手押し台車型 MMS を用いた歩道空間の計測に関する実験，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol. 71，No. 2，pp. II_86-II_91，2015。
- 3) 田中成典，中村健二，山本雄平，姜文淵，高橋裕大，西藤怜：かんたん MMS の設計開発に関する研究，土木情報学シンポジウム講演集，土木学会，Vol. 42，pp. 195-196，2017。
- 4) 塚田義典，窪田諭，田中成典：車両搭載センシングユニットを用いた 3 次元計測結果と SLAM の適用結果との比較研究，第 34 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，No. TE2-4，pp. 526-527，2018。