モバイルマッピングシステムを用いた架空線・電柱位置管理に関する研究

Aerial Cable and Power Pole Management System Using Mobile Mapping System

○学 小野 修平 (早大院) 正 石川 貴一朗 (早大院)
正 瀧口 純一 (三菱電機) 島 嘉宏 (三菱電機)
正 天野 嘉春 (早大) 正 橋詰 匠 (早大)

○Shuhei ONO, Kiichiro ISHIKAWA, Yoshiharu AMANO
Takumi HASHIZUME, Waseda University, 17 kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo
Jun-ichi TAKIGUCHI, Yoshihiro SHIMA, Mitsubishi Electric Corporation

Abstract: This paper describes cable height measurement & database system using a single camera and 3D environmental model. The proposed Mobile Mapping System (MMS), featuring the carrier phase D-GPS/DR(Dead Reckoning)combined navigation system and the GPS-Gyro/IMU(Inertial Measurement Unit), performs highly accurate positioning performance in centimeters and posture estimation at $0.073[\text{deg}](1\sigma)$ for heading, $0.064[\text{deg}](1\sigma)$ for pitch and $0.116[\text{deg}](1\sigma)$ for roll. As a result of the evaluation test, the difference between the conventional method and the proposed one was less than 10 [cm]. Moreover, the aerial cable database, which can be made using the obtained 3D data, is proved to be valid and effective for the continuous aerial cable maintenance work.

Key Words: Mobile Mapping System, GIS, aerial cable, 3D environmental model.

1. 緒言

道路法第32条では、道路上に架空線を設け、継続して道路を使用しようとする場合には道路管理者の許可を受けなければならないと定められており、その高さは道路管理者の設ける道路占用許可基準を満たしていなければならない。ところが、2006年11月には横浜市で架空線の引っ掛け事故が発生し、架空線高さ管理が社会問題となり、架空線高さ点検頻度向上や、架空線管理の効率化が求められている。近年、ITSやCALS/ECの導入、普及に伴い、道路構造物、道路占用物等の管理のための情報化の確立が必要となっている。道路に関わる情報には地理データとの対応が求められるので、情報化に対してGIS(Geographic Information System)データの活用が有効であるとされている。よって本研究では、計測された架空線のデータをGISデータとして処理、管理する手法を提案する。道路上に設置された架空線すべてに対して固有のIDを与え、設置された位置、たるみの大きさ等の形状、路面からの高さ等をGISデータとして処理し、データベースを作成して管理を行う。

従来の架空線高さの計測方法としては、検測桿を用いて直接測定する方法や、レーザ距離計や超音波測高機、トータルステーションを用いて測定する方法があるが、いずれにせよ人手によって一箇所ずつ測定を行うため、多大な労力と時間を要し、現存する架空線全てを頻繁に計測することは困難である。より少ない労力で計測を行う方法として、モーションステレオを用いた手法や、三次元レーザスキャナを用いたものが提案されているが、現在実用化には至っていない。そこで本報告では、設置された架空線のGISデータを高効率に取得する手段としてモバイルマッピングシステム(MMS)を用いた計測手法を提案する。

MMSとは、車両にGPSとさまざまなセンサを搭載し、道路を走行することで自動的に道路周辺の情報を収集するシステムである。本研究では、架空線計測に対して有効な計測車両を開発し、MMSを用いた架空線高さ管理システムの開発を行う。

2. システム構成

本システムは車載機、後処理データ解析装置、そして、GPS補正データ配信システムである、三菱電機PASTM[4]により構成される。車載機側は図1に示すとおり、搬送波位相D-GPS/DR複合航法装置、GPS-Gyro/IMU複合による姿勢標定装置[3]、CCDカメラ、そしてLRF(Laser Range Finder)から構成される。各センサは車両上部の天板に設置されており、取得データは、車内のPCに保存され、後処理にて位置・姿勢標定を実施する。車両の位置標定は、GPSの衛星状況が良い環境下では水平方向精度 $0.02[\text{m}](1\sigma)$ 、高さ方向精度 $0.04[\text{m}](1\sigma)$ の精度で行われ、姿勢標定は、相対角度精度がHeading方向では $0.073[\text{deg}](1\sigma)$ 、Pitch方向では $0.064[\text{deg}](1\sigma)$ 、Roll方向では $0.116[\text{deg}](1\sigma)$ という精度で行われる。カメラによる画像データやLRFによる距離データは、この高精度な位置・姿勢標定と同期して取得されるので、本システムの計測車両を用いることによって、高精度な三次元データの移動計測が可能となる。

IMU、カメラそしてLRFの各センサデータは、GPS時刻によるタイムタグがPC内で付与され、用途に応じてカメラやLRFの増設が容易という特徴を持つ。本研究に用いた計測車両の仕様では、架空線計測に有効なLRFとして、角度分解能に優れ、ワイヤターゲットの計測に対応している、RIEGL社のLMS-Q120iと、路面形状の計測に有効なLRFとして、計測範囲とスキャンレートに優れたSICK社のLMS291を搭載している。

① GPS(RTK-GPS)	⑤ LRF(SICK LMS291)
② GPS(D-GPS)	⑥ LRF(RIEGL LMS-Q120i)
③ FOG	⑦ Camera(2M)
④ AHRS	

Fig.1 System configuration.

3. 架空線高さ計測

架空線高さの算出には、計測車両のカメラによって得た画像データと、LRF によって得た距離情報から作成した三次元データを用いる。図 2 に示すように、三次元データをカメラ画像に点群として投影表示し、カメラ画像から確認できる架空線と、その架空線を表している三次元データの対応を確認して処理を行う。

Fig.2 3D data project on picture data.

架空線計測システムの全体的な処理の流れを図 3 に示す。

Fig.3 The line measurement algorithm.

架空線高さを算出するために、まず LRF によって得られた距離データと計測車両の位置・姿勢データから計測環境の三次元データの復元を行う。次に、復元した三次元データをカメラ画像へ投影表示する。投影された点群を操作することによって架空線高さを算出する。処理は以下の手順にて行う。

Fig.4 Calculate approximation curve.

投影表示された点と画像との対応を確認し、1 本の架空線を表す点群の中から 3 点を選択する。そして、選択した 3 点を通る曲線を ENU 座標上で求める。前提として、架空線を EN 平面上に投影した形状は直線に近似できるので、求める曲線

はその直線と U 軸方向によって定まる平面上に存在する。次に、求めた曲線との距離がある閾値以下の点を測定対象の架空線であるとして抽出し、抽出した点群を最小二乗法によって二次曲線に近似する。この近似曲線が架空線の形状を表す。次に、求めた曲線の中で最も低い点の座標を算出し、その点の真下の 3 点を、路面を表す点群の中から特定する。そして、特定した 3 点によって定まる平面を求め、この平面と曲線の中で最も低い点との距離を算出し、架空線高さを求める。

処理を行う際は、図 4 に示すように、近似曲線に用いた点や、算出された曲線の形状などを画像上に表示して確認する。このとき、近似曲線の形状や、求まる架空線高さ等が明らかに誤っている場合は手動にて補正をかけることができる。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Linedata>
  <head>
    <date>2007/10/06</date>
    <name>*Experiment location_1*</name>
    <address>*ADDRESS*</address>
  </head>
  <local no="*localnumber_1_1*">
    <body>
      <data>
        <id number>
          <id number>1</id number>
          <height>6.007983</height> Height of Aerial Cable
        </data>
      <position>
        <min>-9532.946633,-21471.93652,-30.919247</min>
        <max>-9524.941745,-21466.14749,-27.593626</max> Range in aerial Cable where it exists (E,N,U)
      </position>
      <calculation>
        <curve>0.015273,-0.182311,-30.933099</curve> Coefficient of approximation curve
        <angle>0.624001</angle> Inclination of approximation straight line
        <offsetE>-11736.73966</offsetE> Offset value used for curve approximation
      </calculation>
    </body>
  </local>
  <local no="*localnumber_1_2*">
    <body>
      <data>
        <id number>
          <id number>2</id number>
          <height>5.177278</height>
        </data>
      <position>
        <min>-9532.946633,-21471.93652,-30.919247</min>
        <max>-9524.941745,-21466.14749,-27.593626</max> Range in aerial Cable where it exists (E,N,U)
      </position>
      <calculation>
        <curve>0.015273,-0.182311,-30.933099</curve> Coefficient of approximation curve
        <angle>0.624001</angle> Inclination of approximation straight line
        <offsetE>-11736.73966</offsetE> Offset value used for curve approximation
      </calculation>
    </body>
  </local>
</Linedata>

```

Fig.5 Database format sample.

高さを算出した架空線には固有の ID を与え、データ処理の際に用いた各値とともに、図 5 に示すような xml 形式で保存し、架空線のデータベースを作成する。データベースは、架空線の存在する ENU 座標空間の範囲、架空線を EN 平面に投影した場合の近似直線の係数、架空線の形状を近似した曲線の係数、架空線の高さ、で構成される。次回以降の計測データの処理は、このデータベースを用いて自動で行う。

Fig.6 Database format sample.

計測データの自動処理は次のように行う。まず、計測された三次元データの中から、各 ID の架空線を示すものを、データベースに保存された各値を用いて探索する。その形状の近似曲線を最算出し、高さを求める。曲線の係数等の最算出された値は一回目の処理と同様に保存し、データベースの更新をする。処理を終えた架空線のデータについては、図 6 に示すように、その架空線に与えられた ID と、処理に用いられた三次元データを投影画像上に表示して確認をする。また、更新前のデータと更新後のデータを比較し、その変化域を求め、合わせてデータベース上に保存する。このとき、変化域が一

定の閾値を超えるものに関しては、処理が適切に行えていない可能性が高いので、エラー警告を表示する。

4. 評価試験結果

構築した架空線高さ計測システムの有効性を確認するために、提案手法による架空線の検出率および曲線近似の適合性、高さ計測値の3点に関して評価試験を行う。計測試験は、一般的な住宅街で行った。

Fig.7 The lines found by MMS.

図12に示すように、カメラ画像と三次元データの比較によって架空線の検出率を算出する。結果、実験環境下において検出率100%という結果を確認した。

Fig.8 Approximation curve.

次に、このときの計測データを提案手法に基づいて処理し、処理の適合性を確認する。確認は、図13に示すように、LRFによって取得された三次元データの点群と、そのデータを近似処理して求めた曲線とを比較することによって行う。その結果、実験環境下において、検出された架空線のうちの87.2%に対して自動的に適切な近似処理が行えていることを確認した。

Fig.9 The subject of measurement.

最後に、提案手法によって求められる架空線高さの数値について評価をする。評価は、提案手法による計測値と、従来手法である検測桿を用いた計測値とを比較することによって

行う。評価試験の対象とした架空線は図9に示した4本である。従来手法である、検測桿を用いた計測値を真値と仮定して誤差を計算した結果を表1に示す。従来手法による計測値と ± 10 [cm]以下程度であり、要求仕様に対して走行しながらの計測において、十分な精度を持つ事が確認できた。

Table. 1 Result of measurement test

	Measuring stick m	MMS m	Error cm
Wire 1	4.98	4.905	-7.5
Wire 2	5.26	5.278	+1.8
Wire 3	4.11	4.180	+7.0
Wire 4	4.52	4.430	-9.0

5. 決言

本研究では、搬送波位相 D-GPS/DR 複合位置標定装置、GPS Gyro/IMU 複合姿勢標定装置、LRF、CCD カメラを搭載した MMS を開発し、架空線高さ計測・管理システムを構築した。本手法の特徴は、MMS によって取得した画像と三次元データを複合して処理することによって、従来手法よりも高効率に計測が行える点と、一回目の計測データからデータベースを作成することで、二回目以降の計測データの処理を自動で行える点にある。本報告では、実際の道路上における評価試験を行い、その有効性を確認した。今後は、データベースの形式や内容の検討を進め、さらなる架空線管理の高効率化を目指す予定である。

文 献

- [1] Kuniaki NAKAMURA, Keiichi UCHIMURA and Shinji WAKISAKA, "Position Estimation of Direction Signboard for Road Information Maintenance", 2003.
- [2] H. Gontran, J. Skaloud, P. -Y. Gillieron, "AMOBILE MAPPING SYSTEM FOR ROAD DATA CAPTURE VIA A SINGLE CAMERA", 6th optical 3D Measurement Techniques - Zurich, Switzerland, 2003.
- [3] Kiichiro Ishikawa, Jun-ichi Takiguchi, et al, "A Mobile Mapping System for road data capture based on 3D road model", IEEE International Conference on Control Applications, Munich, Germany, 2006
- [4] M.Sito, et al, Network-based RTK-GPS for Nation-Wide High Accuracy Positioning and Navigation in Japan, International Symposium International Space University, 2003