

II-13 映像による建築限界支障検知システムの開発

Development of a clearances detection system using a video

掛橋孝夫¹・桑原清²・今野博史³

Kakehashi Takao, Kuwabara Kiyoshi, and Konno Hiroshi

抄録：鉄道近接工事において、何らかの理由により資機材等が建築限界を支障した場合、運転阻害等の重要事故に至る危険性が高いが、現状では建築限界を支障の有無は人の目測に頼らざるを得ない場合が多く、正確な判断が難しいという問題がある。そこで現場内にモーションディテクターを搭載したデジタルカメラを設置して、建築限界へ侵入する障害物をデジタルカメラの画像をもとにパソコンで3次元画像処理し建築限界内に侵入する障害物を自動検知するシステムの開発を行った。本システムは物体の動きを瞬時に検知するモーションディテクターと高解像度ステレオデジタルカメラ計測を組み合わせることでリアルタイムに不特定な侵入物体を3次元計測することが可能である。ただし、実用化にあたっては気象条件、夜間、急なカーブ区間の計測などの解決すべき問題もある。しかしながら、本システムの開発により、鉄道近接工事における安全の確保や作業効率など多くのメリットがあると期待できる。

キーワード：映像、デジタル画像、建築限界、検知、計測

Keywords : video, digital image, detection, clearances, measurement

1. はじめに

鉄道近接工事において、何らかの理由により資機材等が建築限界を支障した場合、運転阻害等の重要事故に至る危険性が高いが、現状では建築限界支障の有無は人の目測に頼らざるを得ない場合が多く、正確な判断が難しいという問題がある。そこで現場内の電柱等に設置した2台のデジタルカメラの画像をパソコンに取込み、侵入した物体の3次元解析を行うことで、建築限界内に侵入する資機材等を検知するシステムの開発を行った。

2. システム構成

ハードウェアは、ライブ映像を捉えるビデオカメラ、進入物体を撮影する約600万画素のデジタルカメラ、物体の動きを検知するモーションディテクター(MD)、撮影画像を転送する無線LAN、ステレオ画像から進入物体の位置計測を行う解析用パソコンで構成されている(図-1)。ビデオカメラで撮影している映像内の物体の動きをモーションディテクターで検知し、検知信号を受け取った制御装置がデジタルカメラを操作して画像を撮影することで短時間に映像内へ侵入した物体の3次元計測が可能となっている。

ソフトウェアは①静止画キャプチャ機能、②標定点抽出機能、③標定点位置キャリブレーション機能、④建築限界支障検知設定機能、⑤標定点・計測点自動探索機能、⑥カメラ標定機能、⑦侵入物体位置解析機能、⑧支障検知機能で構成される。

①静止画キャプチャ機能

MDより侵入物体を検知してデジタルカメラより画像データを取り込む機能。2台のカメラより得られたステレオ画像から3次元計測を行うため、取込みは2台のカメラを同期させて行う。ビデオカメラ、MD、

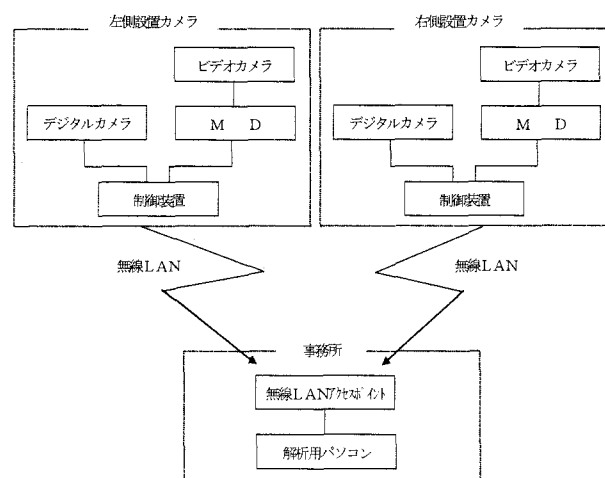


図-1 システム構成

1 : 正会員 (株)テクノバンガード システム企画・開発課

(〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-5-14, Tel : 03-5821-8541, E-mail : t-kake@t-vang.co.jp)

2 : 正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所

(〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6, Tel : 03-3379-4353, E-mail : k-kuwabara@jreast.co.jp)

3 : 正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所

デジタルカメラへの信号の流れを図-2に示す。

②標定点抽出機能

キャプチャ機能により取込まれた画像に画像処理を行い標定点抽出する。標定点自動探索機能をより正確に行う為の前処理である。

③標定点位置キャリブレーション機能

本システムを設置した直後の標定点の画像座標および3次元位置を記録しておく機能。この時、標定点の位置指定は手動で行う。標定点自動探索機能は、この記録をもとに自動探索を行う為、迅速かつ正確な探索処理が可能となる。

④建築限界支障検知設定機能

レーザで計測した建築限界と侵入物体がない状態のステレオ画像を設定する機能。

⑤標定点自動探索機能

標定点抽出機能で処理された画像から標定点の画像上の位置を自動探索する機能。

⑥カメラ標定機能

標定点自動探索機能で得られた標定点の画像座標より、カメラの撮影位置およびx、y、z軸に関するカメラの傾きを算出する機能。

⑦侵入物体位置解析機能

カメラ標定機能で得られた撮影時のカメラ位置および傾きのパラメータをもとに侵入物体の3次元解析を行う機能。侵入物体の有無は侵入物体がない状態の画像をもとに判断している。

⑧支障検知機能

侵入物体位置解析機能で得られた侵入物体の3次元座標と建築限界支障検知設定機能で設定した建築限界とを比較し侵入物体の判定を行う機能

3. 建築限界の設定

(1) 3次元レーザスキャナーの精度検証

建築限界を設定するための軌道計測手段として3次元レーザスキャナーを使用した(写真-1)。使用するにあたり計測精度の検証を行った。

a) データ取得方法による計測精度

本システムで使用した3次元レーザスキャナーは計測点に対してレーザを1回照射して計測するシングルショット、複数回照射してその平均をとって計測するマルチショットに対応している。本試験はこのデータ取得方法による計測精度の違いを確認するために同一ターゲットに対してシングルショット5回、マルチショット5回の計測を試みた。その結果ターゲットの再現性(同一ターゲットを数回計測して得られる座標値のずれ量)は、ターゲット位置座標の標準偏差(5回計測し算出されたx y z座標それぞれの標準偏差)の結果から、シングルショットで最大3.38mm、マルチシ

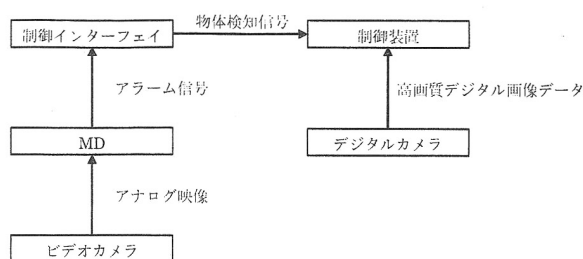


図-2 映像からの検知手順

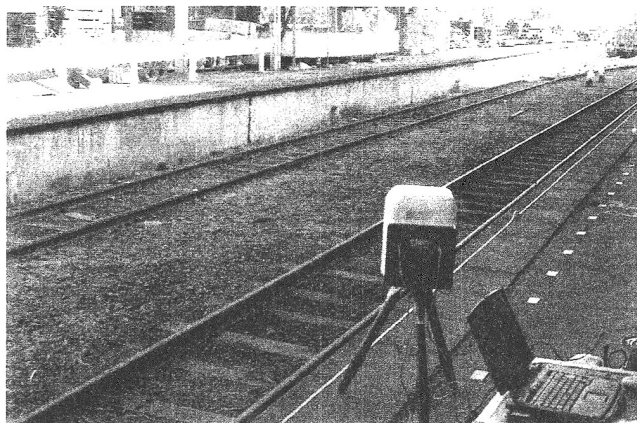


写真-1 レール形状計測状況

ョット1.37mmであった。精度面から見るとマルチショットによる計測を行うことが望ましいが、1点の計測時間にシングルショットの50倍程度必要(今回使用したターゲットに要した時間は約8分)とし実用面において複数の点を計測することを考えると実用的でない。シングルショットによる計測が30m範囲内程度で2mm以内におさまっていること、乱反射するレール面に関してはマルチショットを行ってもデータの取得は出来なかったことから通常使用時はシングルショット計測で十分であると考ええる。

b) 軌間および水準(カント)計測精度

本試験における軌間および水準(カント)の計測に関しては30m範囲内の計測で5mm程度の精度であれば可能であると考えられる。マルチショットによる計測を行えば多少の精度向上が期待できるが1mm精度での計測は難しく非常に計測時間がかかることからシングルショットでの計測に工夫を施した。

c) 構造物に関する計測精度

構造物の計測における計測精度は、専用ターゲットをおいた計測に比べ精度は劣るものの本試験ではトータルステーションを真値とした場合、±3mm程度(計測範囲は15m以内)での計測が可能であった。レールのような長い構造物を3次元レーザスキャナーで計測する場合は計測精度及び計測時間を考えるとシングルショットで10m先の対象物を5mm間隔で計測する機械設定で以下のような位置関係で計測することが望ましい。

(2) 建築限界のモデル化

3次元レーザスキャナーの精度検証をもとに以下の手順で建築限界の設定を行った。

① 3次元レーザスキャナーの設置

レールに対して正対する位置および斜め位置に3次元レーザスキャナーを設置する。

② 基準球の設置と測量

3次元レーザスキャナーはスキャナー本体を原点としたローカルな座標系で物体を計測するため、3次元レーザスキャナー本体が傾きを持って現場に設置された場合、水準の合っていない計測データとなり、レールの水準を正確に計測することができなくなる。そこで、水準の合った計測データとするために、基準球の設置を行う。基準球はレーザが計測する範囲内に最低3個設置し、3次元座標をトータルステーションにより計測する(図-3)。

③ レール計測

3次元レーザスキャナーによりレールの形状と基準球を同時に計測する。

④ レール形状の抽出

計測時の余分なデータを削除し、建築限界に必要なデータのみを抽出する。

⑤ 周辺施設の計測

レール以外の建築限界の設定に必要な周辺施設を3次元レーザスキャナーにより計測する。影の部分が生じないよう複数箇所から計測を行う。レールと同様に基準球も同時に計測し座標系を合わせる。

⑥ 計測データの合成

複数の計測位置から計測されたデータ及び基準球を用いて座標系を統一し合成する。

⑦ 建築限界のモデル化

3次元レーザスキャナーで計測したレール形状をもとに軌道の軌間と水準(カント)を求めて建築限界を算出し、本システムにモデル化してデータを取り込んだ(図-4)。

なお、3次元レーザスキャナーによるレール計測に関しては車輪との接触面が状態によりレーザの乱反射を引き起こし計測が困難な箇所(計測データが欠損)があることを確認した(図-5)。そこで乱反射するレール面に関しては図-6のようにレール面を左右から挟む方法で計測し、データを合成することでレールの外形形状を得た。

4. 検知精度及び検知時間

建築限界を設定した計測区間をデジタルビデオカメラで撮影し、建築限界内へ侵入する物体についてのMDの検知精度及び検知時間を検証した。

① リファレンスモード

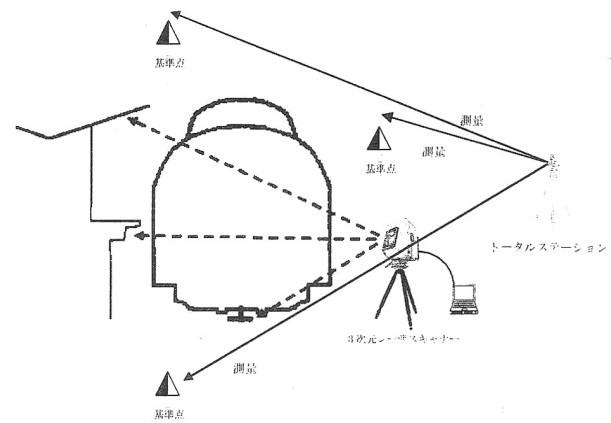


図-3 基準点の設置と測量

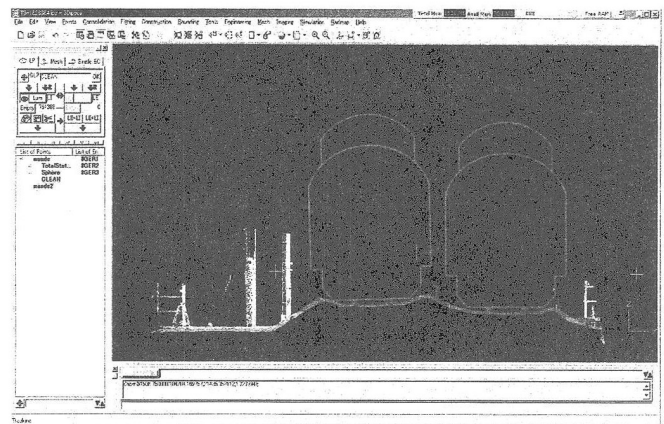


図-4 モデル化された建築限界

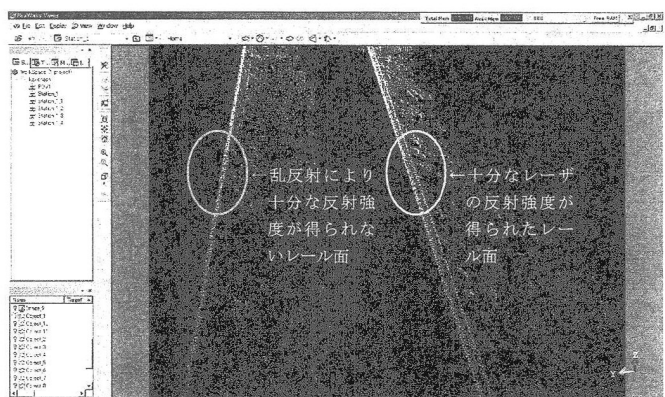


図-5 乱反射による計測データの欠損

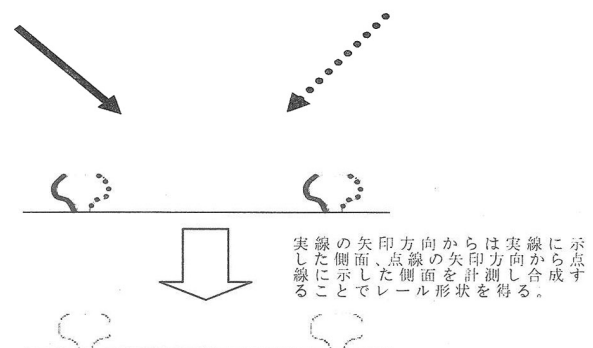


図-6 レール形状計測方法

今回使用したMDに比較画像の更新方法として自動更新と固定比較を選択することが可能である。自動更新は動作検出する画像を比較した後、最新リファレンスとして記録し、固定比較は比較する画像を固定して動作検出を行う。今回の検証では雲などにより明るさが変化する場合、固定比較が誤検出を行う確立が高く比較的自動更新の方が安定して検出を行った。リファレンスモードに関しては屋外使用では自動更新、屋内で照度が一定である場合は固定比較が有効であることが確認できた。

②昼夜間自動切換設定

設定した領域の輝度レベルが設定した閾値を超えた場合、検出領域の切り替えを行なう設定であるが、今回は建築限界という一定の領域に関して動作する必要があるため、自動切換えは使用しなかった。

③動き検出ウィンドウの設定

動き検出を行うウィンドウ（エリア）の設定で、最大で8箇所設定可能である。設定は矩形のみで建築限界のような任意のエリアを設定することは出来ないため、建築限界を囲むよう矩形で設定した。

④最小検出サイズ

物体の動きとして捉えるサイズを設定する。設定は0～5760の間で設定し、小さい値ほど僅かな変化でも捉えることが出来る。設定方法はこの設定を0として計測区間に検出したいサイズの侵入物体を入れ、動きを検出している個数を確認する。本システムでは動きを検出した個数の30～70%程度で設定した。

⑤動き検出間隔

リファレンスと比較する間隔を設定する。単位はフレームで最短検出間隔は1/30である。設定値としては0.5秒から2秒の間が適当なようである。

5. 検知手順

本システムは以下の手順で検知動作を行う。

①進入物体検知

ビデオカメラで撮影しているライブ映像をモーションディテクターに取込で進入物体を検知する。モーションディテクターの検知間隔は最短で1/30秒である。

②ステレオ画像取込

モーションディテクターの検知信号を受けて2台のデジタルカメラを同期させて現場を撮影する。

③標定点取得

取込まれた画像に画像処理を行い現場に設置した標定点の画像上の位置を自動探索する。

④カメラ標定

標定点の画像座標より、カメラの撮影位置およびx、y、z軸に関するカメラの傾きを算出する。カメラに振動等の揺れが生じても計測データに影響が生じない

よう撮影毎に標定を行う。

⑤進入物体位置解析

ステレオ写真解析を行い進入物体の3次元位置を計測する。進入物体の有無は進入物体がない状態の画像をもとに判断する。

⑥支障検知

進入物体位置解析機能で得られた進入物体の3次元位置とモデル化された建築限界とを比較し、進入物体が建築限界内か否かを判定する。

6. 結果

本システムを実際の現場で連続運用した結果を下記に示す。

- ・強い雨でなければモーションディテクターの検出およびデジタルカメラの3次元位置計測は雨による影響を受けることはなかった。
- ・日中はモーションディテクターの検出およびデジタルカメラの3次元位置計測の動作に問題はなかったが、明け方または夕暮れ時の比較的短時間で照度に変化する時間帯において誤検出および検出動作しない場合があった。
- ・検知した物体の計測精度を検証した結果、最大で10cm程度、平均して5cm程度であった。
- ・物体を検知して計測できる距離は10m～30mの区間であった。

不特定な進入物体を短時間で検知することを目的にシステムを構築しているため、多少計測精度を犠牲にしているところがあり、高解像度のデジタルカメラによるステレオ3次元写真計測から見ると非常に粗い計測精度となった。しかしながら進入物体を瞬時に検知してその3次元位置座標を計測し、建築限界の内か外かを自動的に確認できることは非常に有効である。今回は比較的、位置座標が簡単に取れる直線区間での試験であったため、比較的良好な結果を得ることができたが、実用化に向けては奥行き方向の精度が必要なカーブ区間への対応が必要である。

7. おわりに

物体の動きを瞬時に検知するモーションディテクターと高解像度ステレオデジタルカメラ計測を組み合わせることでリアルタイムに不特定な進入物体を3次元計測することが可能なことを確認した。実用化にあたっては、気象条件、夜間、急なカーブ区間の計測などの解決すべき問題もあるが、本システムの開発により、鉄道近接工事における安全の確保や作業効率など多くのメリットがあると期待できる。