

複数のビデオカメラによる車両軌跡の連続観測システムの開発*

A Development of a Vehicle Tracking System with Plural Video-Cameras

中村良太**, 赤羽弘和***

By Ryota NAKAMURA, Hirokazu AKAHANE

1. はじめに

AHS-i や AHS-c において、適切な時期に適切な内容の情報を運転者に提供したり、運転操作に強制介入することにより危険を回避するためには、人間の運転操作、あるいはその結果としての車両の走行挙動や周辺走行車両との相対的位置関係の変動を高精度に把握しておくことが必須である。

本研究は、このような問題意識に基づいて、折り込み区間や流入部・流出部を含む平面交差点などの、交通が錯綜していて、従来の画像処理手法では把握しきれないほどの長さや広さを有する道路区間を対象としている。しかし、単一のビデオカメラによる観測では、カメラの解像度の制約から、観測対象区間の長さ・広さと観測精度とを高水準で両立させることは困難であり、また、画角の制約によっては、オクルジョン（トラッキング対象の画像上における重なり）が、観測精度を低下させる要因となる。

これらの点を補うため、隣接して設置された複数の高精度ビデオカメラによるビデオ画像を、画像処理や幾何補正等の技術により車両軌跡に関する一体的な計測データとして処理するシステムを開発し、オクルジョンやカメラの解像度の観測精度に対する影響を大幅に低減させることを目指す。

2. 単一ビデオカメラ画像処理法の開発経緯 1)

本研究で利用する画像処理システムは既存する単一ビデオカメラに関する研究のアルゴリズム、システムを用いる。また、複数ビデオカメラに応用した場合にも重要な理論を含んでいるため、ここで単一ビデオカメラ画像処理法について触れる。

(1) 画像処理アルゴリズム

図-1 に画像処理アルゴリズムを示す。

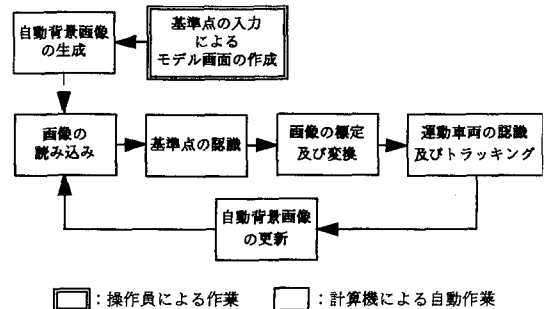


図-1 画像処理アルゴリズム

(a) 基準点入力

垂直撮影に最も近く、道路方向と画面の走査線が平行である映像をモデル画面とし、画面上および地図上に 4 つ以上の基準点（画面を標定するための対応点）を設定して入力する。

(b) 背景画像の自動作成

車両抽出の原理として、各画像と背景画像の差画像から運動車両を抽出している。数十枚の画像より、画面各点の輝度のモード（最頻度値）を用いて背景画像を構成する。

(c) 基準点の認識

基準点はレーンマークを利用している。道路面を 0、レーンマーク部分を 1 として画面を 2 値化し、1 の集合領域を縦横の分布頻度やエッジ検索により領域の特徴を抽出し、既知のレーンマークの特徴情報と照らし合わせて認識する。

(d) 画像の標定および射影変換

画像上の基準点より、画像の標定、地図上の標定を別々に行い、双方の対応関係を確立する。（画像は 3 次元、道路上は 2 次元として扱う）

(e) 背景画像の更新

時間や天候の変化により画面の輝度に変化するの

* キーワード：交通量計測, ITS

** 学生員, 学士, 千葉工業大学大学院, E-mail: g9877006@cc.it-chiba.ac.jp

*** 正会員, 工博, 千葉工業大学, 〒275-0016, 千葉県習志野市津田沼 2-17-1, Tel0474-78-0444, Fax78-0474

で、随時更新する。

(f) 車両の認識とトラッキング

同一車両の認識は、車両の大きさ、同じ輝度の領域面積、速度履歴、位置を認識条件として用いる。車両の現在の位置、速度履歴より t 秒後の位置を予測し、認識領域を予め設置しておく。

(2) ビデオ画像の幾何補正

撮影した画像（以後データ画像と呼ぶ）と背景画像の差画像を求めるために、このデータ画像の画面の座標とモデル画像の画面の座標を一致させるように、データ画像を変換する必要がある。これを画像の正規化と呼ぶ。

ここでは、モデル画像と各データ画像は各々単写真標定し、それぞれの座標関係から各データ画像を変換する方法を用いており、道路部分の地上の基準点をと各画像上の対応基準点を決定する事で、カメラの外部標定変数及び内部標定変数を求め、各画像の座標と地上座標の対応関係を確立している。図-2に関係を示す。

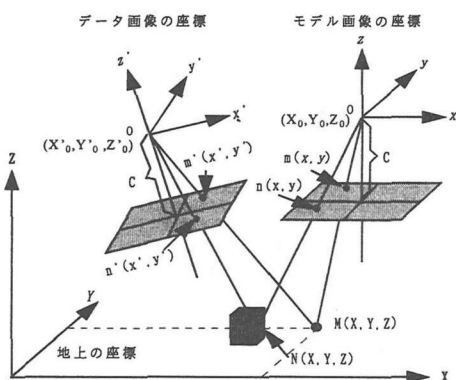


図-2 データ画像とモデル画像の位置関係

一般的には道路面を平面と見なせる状況が多く、画像の正規化には 2 次元の射影変換式を用いる事ができる。式-1 に射影変換式を示す。

$$X = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_7x + b_8y + 1} \quad Y = \frac{b_4x + b_5y + b_6}{b_7x + b_8y + 1} \quad (\text{式-1})$$

ここで、 $b_1 \sim b_8$; $b'_1 \sim b'_8$: 定数

モデル画像とデータ画像との関係式は同じく射影変換の関係になる。

これにより、地上の任意の点 $M(X, Y)$ のそれぞれの画像上への投影点 $m(x, y)$ と $m'(x', y')$ の

座標変換が可能となる。本研究はこの方法を採用し、以下の手順で各未知変数を求めている。

- モデル画面と地上に基準点を 4 つ以上指定し、最小 2 乗法により式-1 の未知変数 $b_1 \sim b_8$ を求める。
- 各データ画面の基準点を同じく 4 つ以上指定し、同様に未知変数を求める。
- 式-1 を利用し、データ画面を射影変換する。

3. 複数カメラによるビデオ画像処理

本研究における作業の大まかな構成は以下のよう

- 道路上の複数カメラでの同期撮影
 - 単一ビデオ画像上の座標の標定
 - 同一車両の照合と車両軌跡の作成
 - 複数ビデオ画像の車両軌跡の接続
- それぞれの項目について簡単に触れる。

(1) 複数のビデオカメラによる同期撮影

主カメラのタイムコードおよびフレーム位置情報を他の副カメラに伝達して同期撮影を行う。図-3 に同期撮影の概念図を示す。

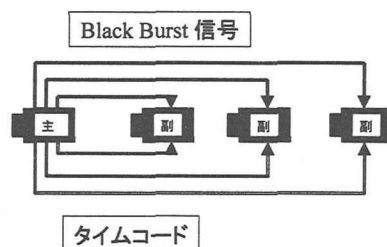


図-3 同期撮影の概念図

(2) 単一ビデオ画像上の座標の標定

画像上において車両の位置座標を測定する。この際、カメラのレンズの特性、撮影角度、等から実際の道路上における位置座標と画面上における座標ではひずみが生じる。それらによる誤差を幾何補正する。基準点の位置座標は高い精度で位置座標を求められていると仮定し、2-(2)で示した射影変換式を用いて幾何補正する。

(3) 同一車両の照合と車両軌跡の作成

単一ビデオカメラ画像処理法を利用し、幾何補正した車両座標と車両の外観に関する特徴情報（大きさ、輝度、RGB 値）、さらには車両の速度履歴、前フレームの位置から車両位置の推定を行う事により、フレーム間において同一車両を照合

する。そして、各車両の位置座標の時間変動をプロットして走行軌跡観測データを構成する。

(4) 複数ビデオ画像の車両軌跡の接続

それぞれの単一ビデオカメラで得られた車両軌跡について時間的かつ空間的に同一である車両軌跡を抜き出す。この時それぞれの車両軌跡には位置的な誤差が生じている。この誤差をカルマンスムージングアルゴリズムを用いて平滑化する。この際、カメラの3軸回りの傾き、レンズの焦点距離、投影点座標等のカメラの設置条件と画像内の車両位置により射影変換後の誤差の大きさが異なる事を利用して、各カメラ画像の誤差分散推定に取り入れる事を考えている。式-2にカメラの設置条件から画像内座標の任意の点における地上座標上での誤差量を求める数式を示す。

$$\begin{aligned} dX &= \frac{1}{f} y \cdot d\kappa + \left(1 + \frac{x^2}{f^2}\right) d\varphi - \frac{xy}{f^2} \cdot d\omega \\ dY &= -\frac{1}{f} x \cdot d\kappa + \frac{1}{f^2} xy \cdot d\varphi - \left(1 + \frac{y^2}{f^2}\right) \cdot d\omega \end{aligned} \quad (\text{式-2})$$

dX, dY : 地上座標のおけるずれの量

$d\kappa, d\varphi, d\omega$: Z軸, Y軸, X軸の回りの回転角

x, y : 写真上の座標(写真主点を原点)

f : 焦点距離

図-4に平滑化の概念を示す。また、変換誤差の分布については4-(3)を参照されたい。

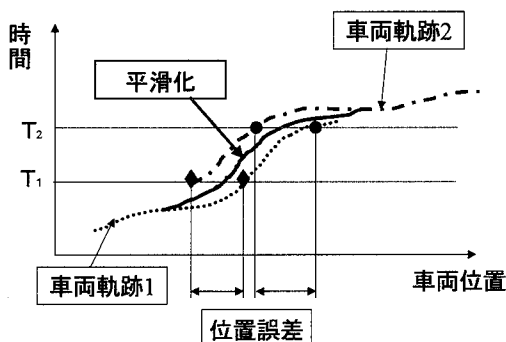


図-4 車両軌跡のスムージングの概念

4. 複数カメラによる同期撮影画像の処理実験

(1) 実験概要

各種理論を考察するため、地上座標、車両位置

座標を計測し、画像上の座標においても同様に計測し、地上座標と画面座標の関係においてどの程度のずれが生じるのかを検証した。表-1に実験条件を示す。

表-1 実験条件

日時	1999年4月15日, 16日	
場所	千葉工業大学 津田沼校舎内	
設置条件	カメラ1	高さ: 22.142m 垂直角度: 73°
	カメラ2	高さ: 22.097m 垂直角度: 71°
座標測定	地上座標	トータルステーション[m]
	画像座標	Photoshop5.0上のツール[cm]
対象車両	実験用車両 1台	

(2) 実験手順

- 2台のカメラの映像が50%程度重なるように撮影方向、角度を調整し据え付ける。
- 各カメラの画像内の4すみおよび中心に位置するように地上にベンチマークを設置する。また画像が重なる部分にも設置する。(合計13個)
- トータルステーションにより各ベンチマークの位置、カメラの座標を測定する。
- 車両を各映像内に移動し、1m移動毎に停車させ、その都度車両4すみ、重心位置の座標をトータルステーションで測定する。
- 各カメラで得られた画像上で、ベンチマーク、車両位置座標を測定する。
- 各カメラ別に、得られたベンチマークの地上座標、画像座標を射影変換式に代入し、最小二乗法によって未知変量を求める。
- 未知変量を代入した射影変換式より各カメラで撮影された車両位置座標を射影変換し、実測の地上座標と比較する。

(3) 実験結果

図-5に実験中の各座標の位置関係を示す。

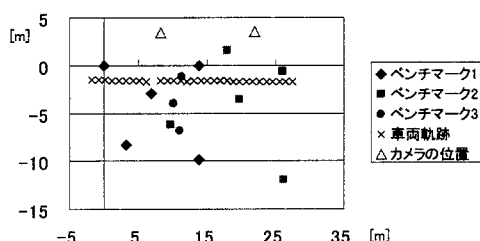


図-5 各座標の位置関係

図-6 には実測による車両走行軌跡と各カメラの画像座標を射影変換して得られた車両走行軌跡を比較したものを示す。

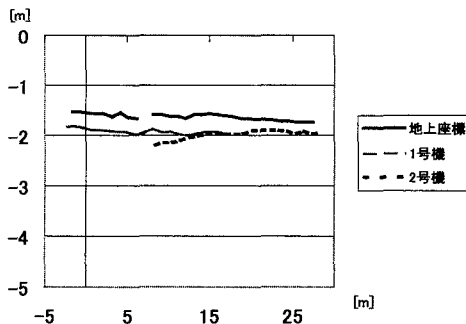


図-6 車両走行軌跡の比較

図-7 は画像内 1[px]あたりの地上座標における移動量の分布を示しており、式-2 に任意の画面座標を代入し、X、Y それぞれの値から地上での移動距離を取ってプロットしたものである。ただし、カメラの設置条件は X 軸回りの傾き 15.4° 、Y 軸回りの傾き -2.44° 、Z 軸回りの傾き -4.01° 、レンズの焦点距離 9mm、撮影高度 22.142m であり、撮影はグラフの y 軸負の方向から撮影をしている。

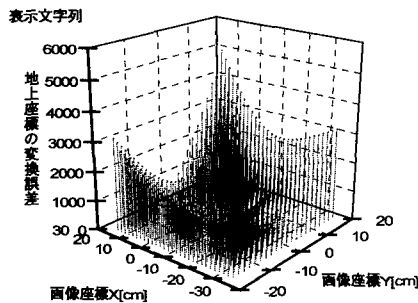


図-7 画像内位置と地上座標のズレの量

(4) 実験の考察

図-6 より、実測による車両軌跡と画像の射影変換により得られた車両軌跡には平均して 20cm 程度のズレが生じている事がわかる。このズレは画像上の対象物を平面とみなし、車両の高さを射影変換の過程において考慮に入らなかった事が原因と思われる。カメラ 1 とカメラ 2 の後半部分では一様なズレが見られるため、上記の点を考慮すれば定誤差として除去可能である。

また、カメラ 1 の車両軌跡は実測の車両軌跡と

似たような傾向を取っているが、カメラ 2 の特に前半部分では明らかに異なる傾向を取っている。車両軌跡の前半部分は画像の端に当たり、さらにベンチマーク座標の空白域でもあるため、射影変換式の未定係数が反映されていない事が一因として挙げられるが、詳しい原因については今後の課題とする。

図-7より画面上の右下すみの方は比較的ズレが小さく、左上すみでは大きくなっている事がわかる。総じて、斜め撮影時の画面上の縮尺は一様ではない事が言える。この事を利用し、カメラ毎に測定値の重み付けをする際に、地上座標におけるズレの大きさと対象物の画像内の位置を画像座標測定値の信頼度評価に取り入れる事を検討している。

5. まとめ

本稿では既存の研究である単一ビデオカメラ画像処理法を複数ビデオカメラに導入するための理論、作業について述べてきた。また実験によってカメラの撮影条件と画像座標の歪みには相関がある事が確かめられた。以上の点を踏まえて、今後の作業として以下の事を考えている。

- (a)様々な撮影条件における誤差分布の検証
- (b)車両軌跡平滑化理論の確立
- (c)高さを考慮した射影変換の検討

また、実際の道路上における交通流を対象とした実験を行う事も視野に入れている。

なお、本研究は土木学会土木計画学研究会委員会において公募採用された「交通事故と ITS」として研究を進めてきたものである。

引用文献・参考文献

- 1)陳 鶴：“交通調査のためのビデオ画面上の車両走行軌跡のトラッキング手法に関する研究”，東京大学大学院工学科博士論文，1997。
- 2)片山 徹：“応用カルマンフィルタ”，朝倉書店，1983。
- 3)赤羽 弘和，大庭 孝之，桑原 雅夫，越 正毅：“車両の走行挙動計測システム”，土木計画学研究・講演集 No11 1988 年 11 月。
- 4)中村 英樹，桑原 雅夫，鈴木 隆，越 正毅，赤羽 弘和：“首都高速道路織り込み区間での交通流観測と運転挙動解析”，土木計画学研究・講演集 No12 1989 年 12 月。
- 5)内山 久雄：“高速道路における工事時の自動車車両のミクロ的な合流挙動特性解析”，土木学会論文集 No.542/IV-32, p79-p87, 1996.7
- 6)丸安 隆和：“測量学(上)・(下)増補”，コロナ社，1994
- 7)社団法人 日本写真測量学会：“解析写真測量”，1983