

交通流ビデオ解析システムの開発と交通コンフリクト解析への適用*

Development of Vehicle Tracking System using Digital VCR and Its Application to Traffic Conflict Analysis

若林拓史**・小嶋紀之***・大石 理****

by Hiroshi WAKABAYASHI, Noriyuki KOJIMA and Satoshi OHISHI

1. はじめに

交通安全対策の効果を分析するには、事故指標よりも発生回数の多い交通錯綜を調査するのが効果的であるといわれている。交通錯綜およびその危険度判定は専門家の経験的主観的判断によるところが大きい。しかし、観測者の訓練の程度や主観性の問題があり、この点を改良するためにTTC指標¹⁾やPET指標²⁾等の定量的基準が提案されている。交通錯綜には種々の種類があることから、筆者は専門家による判断と定量的指標は相補的な関係にあると考えている。元田³⁾は錯綜手法に関する研究のレビューを行っており、この中で、定量的指標といえども解析に時間と労力がかかるため現場に応用するのが困難であり、我が国では実用に供されていない、と述べている。近年、デジタルビデオや画像解析の利用可能性が飛躍的に向上し、安価な解析システムの構築が可能となっている。本研究では、交通安全対策の効果評価を目的として横断歩道橋等から撮影されたビデオ画像から複数車両の走行軌跡を測定するシステムを開発し、TTC指標等の危険度指標を算出するものである。

2. 交通流ビデオ解析システムの概要

本研究では図-1に示すビデオ解析システム⁴⁾を開発した。ここ3,4年の間に①デジタルビデオカメラが購入しやすくなったこと、②画像処理に適した言語が使いやすく進歩したこと、③高解像度のビデオキャプチャボードおよびソフトウェアが進歩したこと、などによって、画面上の対象物の位置情報を、他の機器と複

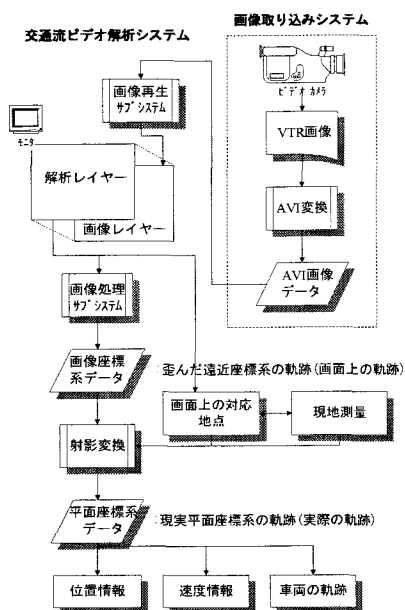


図-1 交通流ビデオ解析システムの概要

雑に組み合わせることなく安価にパーソナルコンピュータ内ですべて処理できるシステムの構築が可能となった。開発したシステムは画面上での物体の動きをマウスで追うことにより、対象物の位置情報を記録することができるものである。

(1) 画像取り込みシステム

本研究では撮影にデジタルビデオカメラを用いる。静止画やスロー画像などのボケやブレを減らして解析誤差を減少させるにはたいへん有効である。撮影した映像はビデオキャプチャボードでキャプチャすることによってAVIファイルとして保存し、後続過程で再生して解析する。このときのキャプチャサイズは4:3のTVサイズでは現在のところの最大サイズである640×480ピクセルである(縦方向の480ピクセルは、走査線の数に対応している)。

(2) 画像解析システム

画像レイヤーと解析レイヤーを重ね合わせることでより画像を数値処理する。今回は対象物をマウスにより

* キーワード：交通流解析、交通事故、コンフリクト解析、効果評価、ビデオ交通流解析
 ** 正会員 名城大学都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘, Tel:0574-69-0131, Fax: 0574-69-0155)
 *** 非会員 岐阜県警察加茂署 (〒505-0034 岐阜県美濃加茂市古井町下古井, Tel:0574-25-0110)
 **** 非会員 鳥羽洋行株式会社 (〒424-0847 静岡県清水市大坪2丁目5-22, tel:0543-44-6570)

追跡して軌跡を記録する方法をとった。この方法にはさらに種々の方法が考えられるが、今回は等時間間隔のコマ送り画像を使用して、対象物の等時間間隔の軌跡を数値処理した。速度、加速度、単位時間内移動量などの出力が可能である。この方法により短時間で大量の位置情報を捉えることが可能となった。複数の車両の軌跡の記録も可能である。座標単位系はピクセル単位を使用した。

(3) 射影変換処理

ピクセル単位系で得られた各タイムスライス毎の数値(X, Y)を、現地の平面座標系(U, V)に変換する。この過程では現場での簡単な測量作業が必要である。

(4) 移動量の平滑化と現地平面座標の確定

(3)を時系列的に並べると不等間隔になる。この理由は、解析画面上での解析対象が遠方になればなるほど、ピクセル座標上での移動量が少なく、かつ、ピクセル座標値が離散的に与えられることに起因している。したがって、不等間隔になるのは当然といえる。これを平滑化してできるだけ等間隔にする必要がある。

平滑化の処理法としては、種々考えられるが、B-spline平滑⁹⁾、移動平均法などが考えられる。B-spline平滑は、目的関数 f の n 次微分値を設定し、 $d^n f/dx^n = 0$ として、各タイムスライスでの変化量(速度、加速度)を最小化しようとする考え方である。しかしながら、平滑化処理は行われるものの、境界条件の設定が困難であり、走行距離の保存ができない、またピクセル座標系で得られるオリジナル値の1次情報の方が有用である、といった問題が生じた。移動平均法では、1次情報が比較的保存され、不等間隔が比較的等間隔に補正される。また、急ブレーキを踏むなどの行為は、不等間隔となって当然なので、二律背反的な処理も可能である。このため、本研究では移動平均法によって、各タイムスライスでの車両位置の補正を行った。

(5) タイムスライス間での移動量等の算出

各タイムスライス毎の車両の現地座標(U, V)をもとに、移動量(速度)や加速度を計算する。今回は2台の車両によるコンフリクトを対象とするので、2台の車両の各タイムスライスでの位置、車両相互間の距離、および後述するコンフリクト指標としてのTTC指標、近似的TTC指標、PET指標等を算出している。

3. 本ビデオ解析システムの解析精度と特徴

(1) 本ビデオ解析システムの解析精度

通常、カメラ位置は高層ビルや鉄塔からの直下映像で



写真-1 きわめて危険性の高い交通錯綜の例

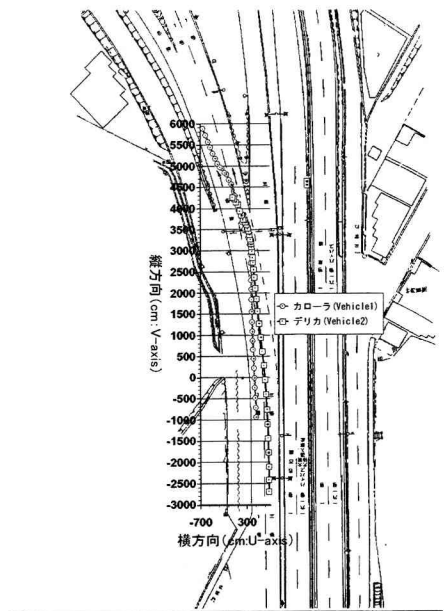


図-2 交通錯綜下での車両の軌跡(写真-1の事例)

ない場合が多い。例えば、横断歩道橋などの斜め角度からの映像解析にも耐えられないといけない。そこで、本システムの精度を検討した。大学キャンパス内に格子点を設置し、各階から撮影を行い、精度の検証を行った。この方法による誤差は、1辺が400cmの格子点16個分、すなわち16m四方の格子点において、中心部においては2~5cm程度、周辺部では誤差が拡大し最大でも15cm以内である。この精度は、車両の大きさを考える場合、満足のいくレベルであるといえる。さらに、この誤差は、現地基準座標に対する絶対的なものであり、例えば2台の車両間の位置は、現地基準座標に対して相対的に同じ距離だけずれることとなる。したがって、車両相互間の距

離の精度は保つことができる。よって、本ビデオ解析システムでは、良好な精度でコンフリクト事象を解析できると考えられる。

(2) 本ビデオ解析システムの特徴

本システムの特徴としては、

- ① 安価であり、可搬性に優れている。
 - ② 短時間で大量の位置情報を記録できる。
 - ③ 同一のパソコン内での数値処理が可能なので、後続の統計的処理にも連続性が保て数値処理が容易である。
 - ④ 完全に画像を静止させて解析と入力ができる。
 - ⑤ ④の特色とコマ送り静止画像を利用することで、車両追跡時の入力個人エラーを相当除去できる。
- 等である。特に、従来のアナログ画像では、アナログビデオ、アナログディスプレイにより再生画像がブレるなど安定しなかった。今回のシステムでは、ビデオ記録・再生とモニタ上での再生・解析画像の両者がデジタル処理されているので、画像が小刻みに震えるなどという解析上の困難な点は一掃されている。

写真-1は実際に撮影されたきわめて危険な交通錯綜である。この錯綜に対し、本システムを利用して各車両の0.2秒ごとの位置をプロットすると、図-2のようになる。

4. 交通コンフリクトの指標と解析結果

本ビデオ解析システムにて各車両の0.2秒ごとの位置を求め、以下に述べる各種指標を算出する。

(1) TTC 指標

Hayward(1972)によって提唱された衝突までの時間(Time-to-collision)を表す指標である。Hayward(1972)は、十字交差点での出会い頭事故を対象に分析を行っている。当初はTMTC(Time measured to collision)として提案したが、後にTTC(Time-to-collision)として一般的に用いられるようになった。2台の車両が回避行動を伴わず、その時点での角度と速度でそのまま進行すれば、何秒後に衝突するか、で定義される。最大値は無量大、最小値は0秒(衝突)である。本研究では、この指標を(厳密的)TTC指標と呼び、以下の手順で算出した。

(1.1)厳密的TTCの算出法

各タイムスライス(0.2秒)毎に以下を計算する

- ① 2台の車両の進行角度を計算する。
- ② 2台の車両の1タイムスライス(0.2秒のこと)での速度をそれぞれ計算する。
- ③ 2台の車両が現在の速度、方向のままで進行したと仮定する。

④ 2台の車両の予定軌跡が交差するか否かを判定する。

⑤ ④で交差が生じない場合は計算をstopする。

⑥ ④で交差が生じる場合は、質点(後部車輪の位置)の交差位置を計算する。

⑦ 交差するまでの時間を、車両1、車両2それぞれについて計算する。

⑧ 交差するまでの時間は、質点の移動であるから、車両の長さ(5mと設定)を考慮して実際に接触するまでの時間を計算する。

(2) 近似的TTC指標

上記TTC指標では、

① 0.1秒でも時間差があつて衝突が回避される場合にはTTC値は無量大となる。

② 2台の車両がきわめて接近し、側面衝突をするきわめて危険な状態になっても、2台の車両の相対的角度がゼロ(2台の車両は全く平行に走行)あるいはきわめて小さい場合にはTTC指標は算出されないか、きわめて大きな値(安全な値)で算出される。この欠点を補うために算出した指標である。

(2.1)近似的TTCの算出法

各タイムスライス(0.2秒)毎に以下を計算する

① 下記(6)での合距離を算出する。

② 2台の車両の予定軌跡が交差するか否かを判定する。

③ タイムスライス間で合距離の増減を計算して、その時点での増減率がそのまま推移すれば何秒後に0になるかを計算する。

(3) PET 指標

Allen *et al.* (1978)によって提唱された交通コンフリクト測度(行動後到達時間, Post encroachment time)である。車両1がその時点で占有している場所を衝突の可能性のある地点とし、車両2がその場所に到達する時間で定義されている(Allen *et al.*, 1978)。Allenらは、交差点直交通(我が国における右直交通)を対象に研究を行った。

本研究においては、厳密的TTC指標で、2台の車の予定軌跡が交差する場合で衝突が生じない場合はTTC指標は算出されない。しかし、衝突が生じなくても、その走行軌跡の交点を通過する時間差が小さい場合、これは『ニアミス』と考えられその数値は有用で

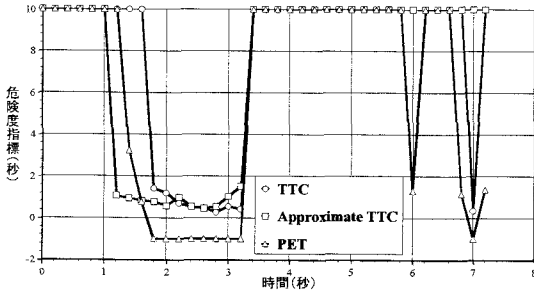


図-3 コンフリクト指標の時系列的変化

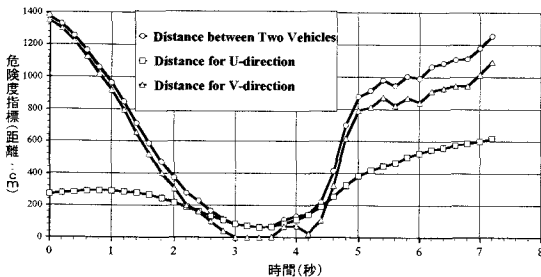


図-4 車両間の距離の時系列的変化

あると考えた。この時間差を PET 指標として求めている。ただし、TTC 指標が計算できる場合は、『ニアミス』ではなく衝突するのであるから計算を stop する(この時、便宜上、ニアミス指標は負値として算出する)。

(4) 横方向距離：左側車両の右端と右側車両の左端間の距離差である。

(5) 縦方向距離：2台の車両が同一車線上を走行している場合には、車間距離と同一である。

(6) 合距離：(1)と(2)の各距離の Euclid 距離である。

写真-1 のケースに対し得られた指標を図-3,4 に示す。このケースでは、TTC 指標や PET 指標等が危険性の高い値(人間の反応時間である 0.5~1.0 秒以下)と算出されており、これは図-2 および図-4 の車両相互の位置

関係からも理解できる。なお、図-3 において、TTC 指標が値をもつ(つまり衝突可能性がある)と PET 指標はゼロとなるが、図を見やすくするため便宜上、 $PET = -1.0$ として算出している。

5. まとめと今後の課題

本研究での結果と今後の課題は以下のとおりである。

- 1) 交通流ビデオ解析システムによって効率的に交通錯綜指標を計測できることを示した。
- 2) 本研究での事例では TTC, 近似的 TTC, PET 等がすべて有意な値を得られたが、交通錯綜には種々の種類があるため、単一の錯綜指標だけでは現象の説明が不可能であることもわかっている。今後は観測と計測の蓄積を行い、複数指標の組み合わせの妥当性を検討する予定である。

交通流ビデオ解析システム開発の動機は、京都府交通事故多発地点対策委員会での事故対策効果評価にある。記して謝意を表します。当委員会は国土交通省京都国道事務所、同福知山事務所、京都府警察本部、京都府、京都市、(財)交通事故総合分析センター、学識経験者等からなり京都府下の 200 箇所以上の事故多発地点の対策に当たっている。本手法およびその他の手法を用いて当委員会の関連予算および関与するデータを用いた研究は、今後連名で発表していく予定である。

参考文献

- 1) Hayward, J.C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 24-34.
- 2) Allen, B.L., Shin, B.T. and Cooper, D.J. (1978). Analysis of traffic conflicts and collision. Transportation Research Record, 667, 67-74.
- 3) 元田良孝: 錯綜手法に関する研究の概観, 交通工学, Vol.27, No.2, pp.35-46, 1992.
- 4) 若林拓史・小嶋紀之: 交通流ビデオ解析システムの開発と交差点内左折交通流解析への適用, 第19回交通工学研究発表会論文報告集, pp.85-88, 1999.
- 5) 池上宜伸・山中英生・中田博之: 実車両挙動分析による小交差点出合頭事故防止ITSシステムのリクワイアメント分析, 土木計画学研究・講演集, No.23(1), pp.735-738, 2000.