

交通映像データベースと柔軟なインタフェースの構築

小野 貴史† 松下剛士† 佐藤秀† 上條俊介† 坂内正夫†

あらまし 本稿では、画像センサを用いて道路交通を定常的に調査・監視し、膨大な道路交通情報を自動的に取得した後、必要に応じて自在に解析して結果を取り出すことの可能なデータベースシステムを紹介する。本システムは、ユーザからのさまざまな要求に応じて該当するデータに解析処理を行い、結果を整形した上でユーザに提示する。ユーザの要求する事象解析や統計量算出の内容は多岐に渡り、その解析対象となる車両や前提とする条件も複雑に変化する。そこで、専門知識を持たないユーザであっても容易に意図した情報を自在に取り出すことを可能にするため、自然言語を用いたインタフェースを提案し、撮影対象箇所に依存しない汎用的な GUI システムを構築した。

Interactive Data Base System of Traffic Statistic and Events

Takashi Ono †, Takeshi Matsushita †, Suguru Sato †, Shunsuke Kamijo †, Masao Sakauchi †
E-mail: {t_ono,take-m,suguru,kamijo,sakauchi}@sak.iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract

We are developing the database system which automatically acquire various traffic statistics and events from sequential image using occlusion robust vehicle tracking algorithm, and which analyzes various traffic events and traffic statistics according to the requirement from user. In this paper, we introduce the three points of that system: First, we added operation in order to calculate more kind of traffic statistics and traffic events(at the same time, we modified the "Operation Hierarchy"). Second, we evolved the natural language interface and it became possible to apply other crossings. Finally, we developed a smart GUI which is able to play image sequences with various primitive statistics on them.

1. はじめに

ITS(高度交通システム)の目的は、ドライバー及び道路、交通管理者へ交通情報の提供、運転支援などであり、具体的には「安全運転の支援」、「ナビゲーションシステムの高度化」、「自動料金収受システム」、

などの9分野に大別される。この構想のインフラの一部としてセンサを用いて交通状態を把握、収集することが重要であるが、道路や交差点などにおける交通事象を自動的に調査し、解析する技術を開発することは1つの課題である。また自動車検出技術や、情報処理技術の向上にともない、より詳細で即時性の強い情報が得られつつあり、リアルタイムの交通情報を基にした交通信号制御や、膨大なデータから未来の交通状態を予測する研究も盛んに行われている[1][2]。従来

†東京大学生産技術研究所,東京都
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo. 153-8505 Japan

では、交通状況を自動的に調査、監視する方法として超音波センサや誘導コイルのように車両をスポットとして検知する方式[3]が多いが、この方法では方向別交通量等の詳細な情報を得る事は難しく、これらの種類の調査は依然人の手作業に頼っているところが大きい。よって、短時間ならまだしも長時間の調査や多くの地点で同時に調査を行う際に困難が生じる。

PHSや光ビーコンを用いて車両を個別に識別する手法[4]は詳細なデータが得られるものの、すべての車両に搭載するにはコストパフォーマンスが悪く、個々の車両の情報を認識するためにプライバシー保護の観点からしても問題である。そこで、画像センサを用いることで、ある一点からの車両通過台数や速度だけでなく車両の軌跡を含む、速度の変化、色など詳細な情報まで比較的安価に取得することができる。[5]では、画像センサによって車両を検出し、その軌跡を多項式で近似した形で把握している。この多項式をデータベースのインデックスとして用いることによって、車両の動きをクエリーとした映像検索を可能にしている。

当研究室では、交通映像から自動的にデータを取得し、交通事象解析や統計量算出をユーザの要求に応じて対話的に行うプロトタイプシステム[6]を既に開発中であるが、交通に関わる統計量は様々な条件や要因が複雑に関わりあうものがあり、これら全てに関して選択肢を設けるインターフェースでは、かなり深い階層構造になってしまい操作性が低下する。これを避けるために、自然言語を用いた問い合わせ文を受け付け、それに応答するシステムを採用する。既にカーナビゲーションや航空便の座席情報を示す PEGASUS[7]などでも応用されているが、将来的に音声を用いた対話に発展させるためにもこの手法は有効である。

本稿では、これを改良したシステムについて、蓄積されたデータの解析とインターフェース部を中心に紹介する。以下の部分では、第2章においてデータベースシステムの概要について述べる。第3章では、演算の紹介をし、第4章では自然言語を用いた質問文に関して

述べ、第5章で別交差点での適応例や応用例をいくつか紹介し、最後にまとめとする。

2. 交通映像データベースシステム

2.1 システム概要

このシステムでは、道路や交差点に設置されたビデオカメラによって撮影された交通映像を元に、移動物体(車両など)に関わる情報を自動的に抽出し、蓄積する。一方、ユーザからのさまざまな要求に応じてデータを取りだして解析処理を行い、結果を整形した上でユーザに提示する。

本システムでは、ユーザから提示される様々な要求に対して柔軟に応答し、意図した情報を自在に提供することのできるインターフェースを提供する。

図1に、システムの基本構成を示す。

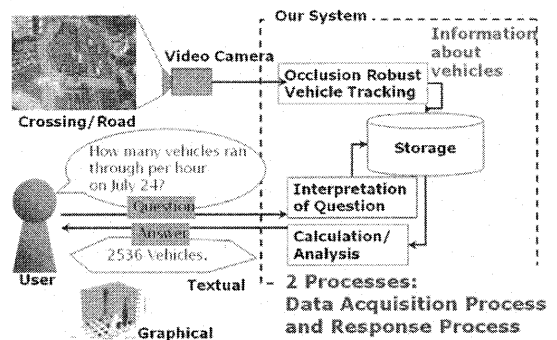


図1:システム概要

本システムではあらかじめ用意しておく必要のあるデータを取得するためのプロセスと実際に GUI 上で表示する応答プロセスから成り、図2はそれぞれのプロセスを示す概念図である。

2.2 データ取得プロセス

あらかじめ用意する必要のあるデータの取得はオフラインでの処理であり、道路交通映像から車両などの移動物体に関する情報を抽出し、適切に加工した上でストレージに蓄積する。この処理は交差点における道路

交通映像の取得、背景画像の作成、照度不変フィルタリング処理、トラッキング処理による移動物体（車両）検出、データ加工と蓄積、の5つの要素から構成され、毎日自動的にバックグラウンド処理されている。

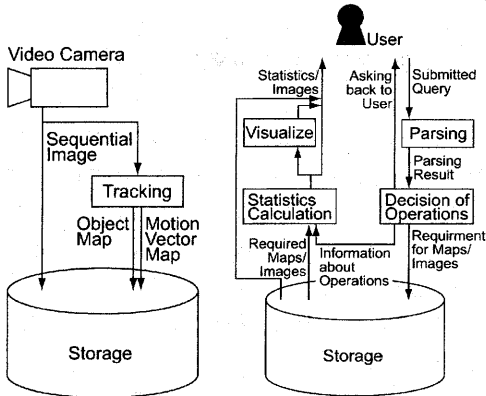


図2:データ取得プロセス(左)と応答プロセス(右)

交通映像の取得 東京都千代田区の神田駿河台地下交差点に、ビデオカメラを設置し24時間にわたって撮影を続けている。得られた映像信号は、画像のサイズ720×480・ビットレート4Mbpsでmpeg2にエンコードしている。なお、深夜時間帯の車両数の少なさと計算・ストレージ容量の問題から、データベースのソース映像としては1日を6回分(6・9・12・15・18・21時)×30分としている。

背景画像作成

得られたmpegを再び連続した時系列の静止画像にデコードする。その後、各画素のヒストグラムを保持し、その最頻値を当該ピクセルの背景色として背景画像を作成している。ただし、このアルゴリズムだけでは急激な照度の変化への対応が困難になるために、直近の時間帯に一定の割合を超える頻度の色が存在した場合には最頻値でなくともその色を背景色としている。また、背景画像は3分間毎に更新している。

照度不変フィルタリング処理

急激な照度の変化は背景差分やフレーム間での差分を行う際に大きな問題となる。照度変化に対する研究は

数多く行われているが[8][9]、本システムにおいて具体的に問題となる例は、夜間での車のヘッドライトや建物の影の変化が挙げられる。そこで、これらを解決するためにシグモイド関数を用いたフィルタリング処理を行い、エッジをぼかしている。

トラッキング処理

連続した濃淡画像と背景画像から車両を検出する。交差点では、様々な形状の車両が様々な方向から現れていろいろな挙動を見せ、たまに、お互いに重なり合ったまま画面上に現れる。そこで、等速直線運動を前提とせずに、車両同士の重なりにも強い特徴をもつSpatio-Temporal Markov Random Field(ST-MRF)モデルを用いたトラッキング手法[10][11]を利用する。

下図はフィルタリング処理を行う前と行った後の結果の比較である。図上部が原画像で、下部がトラッキング処理を行った結果であり、右部はフィルタをかけたときの画像である。これらの処理を行うことによって、車両のライト等による誤検出を減らすことが出来る。

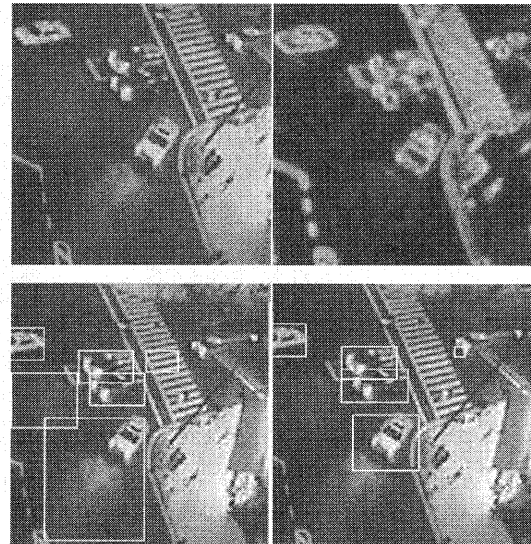


図3: 照度不変フィルタの効果

図上左 原画像 図上右 照度不変フィルタ処理後の画像

図下 長方形枠内がトラッキング後の結果

図下左 ヘッドライトを車両と誤認識している

データ加工と蓄積 トラッキングの結果として、Object Map と Motion Vector Map の2種類のデータが得られる。Object Map は各ブロックごとにどの車両が存在しているかを示し、Motion Vector Map は各ブロックの動きベクトルを保持している。これらは、共に時系列のデータであって、現在稼働中のシステムでは 10fps の時間解像度である。

図 4, 5 はそれぞれ Object Map と Motion Vector Map の概念図である。

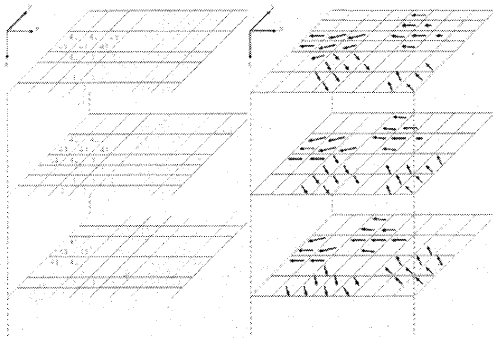


図 4: Object Map 図 5: Motion Vector Map

Object Map と Motion Vector Map はあらゆる解析をする上での基本となるデータであり、車両の挙動に関する主な解析はこの2種類のマップから算出している。しかし、プリミティブなデータに毎回複雑な演算を施しての解析は、計算時間がかかりすぎる場合もある。そこで、個々の車両の速度など、利用頻度に対して算出コストの高い情報や統計量はあらかじめ中間データとして保存しておき、応答時間の短縮化を図っている。

2.3 応答プロセス

応答プロセスはオンラインの処理であり、ユーザとのインタラクションによって解析処理を行い、結果を提示する。

システムはユーザから提示された要求を解釈し、解釈内容に応じた演算結果を組み立てる。この際、演算

の実行に必要な条件が不足している場合には、聞き返し、条件が全て揃った時点でストレージにアクセスする。演算を実行した後、必要に応じて視覚的にユーザに提供する。これらのプロセスは以下の章で述べる。

3. 交通事象解析と統計量算出

本システムでは、ユーザからの要求に対し、Object Map および Motion Vector Map に演算をほどこす事によって様々な事象を検出し、交通統計量を算出する。そこで、解析や算出のための演算を用意している。

3.1 演算の分解と再構築

ユーザが要求する質問は多岐にわたり、その対象や条件も様々である。よって、全ての条件を満たすような演算を用意しているのは、システムの肥大化につながり、汎用性、メンテナンス性からしても低下を招き現実的ではない。そこで、演算を要素単位に分割し、その組み合わせを再び行って、より高次の計算を実現する方式をとる。これによって、多様な要求に柔軟に応じるシステムをコンパクトに構成することができる。ここで、演算の組み合わせを階層的に表現した物を Operation Hierarchy と呼ぶことにしている。図 6 はプロトタイプにいくつかの変更を加えた、現時点での Operation Hierarchy である。

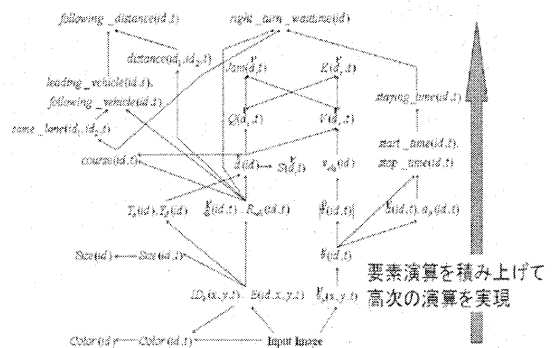


図 6: Operation Hierarchy

Operation Hierarchy に示されている演算の他にも平

均を取る、数量を数えるといった集計処理を行う演算もあり、これらを組み合わせて解析処理が実現される。

3.2 要素演算

ここでは、要素演算について簡単に説明する。

3.2.1 位置に関するもの

この演算は、時間や車両には関係がなく入力画像の2次元的な位置ごとに定義される属性である。

Region R(x,y): 交差点内の道路は、車線や横断歩道等の構造を元に領域分割されている。Rはブロックが殿領域の属しているかを出力する。

Direction D(r): DはRよりもさらに大まかな区分を指すものであり、各領域がどの方向の道路であるかを出力する。

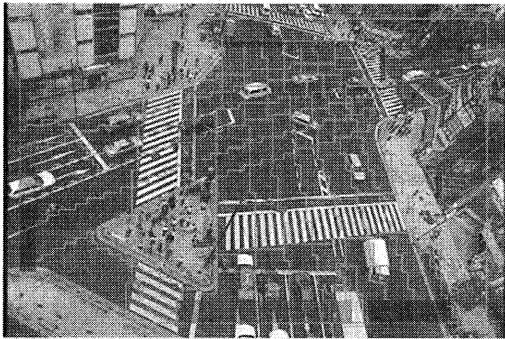


図 7: Region の表示

3.2.2 個々の車両に関するもの

個別の車両に着目した事象や属性に関する演算である。

車両の存在 $E(id,x,y,t)$: 時刻 t においてブロック (x,y) に車両 id が存在しているという事象を表す。車両 id が存在していれば 1、存在していなければ 0 である。

車両位置 $g(id,t)$: 車両 id の重心の位置を算出する。 $E(id,x,y,t)$ から求まる。

車両の出現・消滅時間 $Ta(id), Td(id)$: それぞれ車両 id が出現した時刻・消滅した時刻である。 $E(id,x,y,t)=1$ のブロックが初めて現れた時刻、全て消失した時刻として算出される。

車両の走行方向 $\vec{d}(id)=(do,dd)$

車両の走行方向(どの方向の道路から来て-Origin、

どの方向の道路に走り去ったか-Destination-)を示す。車両 id が出現した時刻の車両位置から Origin が、消滅した時刻の車両位置から Destination が分かるので、それぞれ $(do,dd)=(D(R(g(id,Ta(id))),D(R(g(id,Td(id))))$ により求まる。

車両の速度(瞬間、通過) $v(id,x)$: 車両 id の瞬間の速度。 $E(id,x,y,t)$ から算出される。ノイズの影響を避けるため、数フレームにわたる移動平均を取ることもある。

車両の大きさ $size(id,t)$, $size(id)$: $E(id,x,y,t)=1$ が占める領域の広さから大まかな値を推定できる。

車両の色 $color(id,t), color(id)$: 交通映像の 1 フレームおよび $E(id,x,y,t)=1$ の領域から得られる。

車両加速度 車両の加速度ベクトルは、車両の速度ベクトルから算出される。

停止時刻・発進時刻 車両 id が走行状態から停止した時刻と、停止状態から発進した時刻より求まる。

停留時間 車両 id が時刻 t をはさんで、同じ場所にとどまっている時間 $staying_time(id,t)$ は直前の $stop_time(id)$ と直後の $start_time(id)$ を用いて算出される。

右折待ち時間 右折車両は、交差点の中央まで進んで対向車が途切れるのを待つ。この位置をあらかじめ設定しておき、この位置で $v(id,t)=0$ となる右折車両を右折待ち車両と判定する。この車両に対して、右折待ち時間 $right_turn_wait_time(id)$ は時刻 t を含んだ停留時間として得られる。

走行コース コースは OD ごとに Region の列として設定されており、同一の OD にも一つ以上の車線が異なるコースが設定されうる。走行コースは時刻毎に存在し、コースの変更も認める。

3.2.3 複数の車両に関するもの

複数の車両が相互に関連しあうことで生じる事象や属性に関する演算である。

2 台の車両間の距離 時刻 t における 2 車両間の距離 $dist(id1, id2, t)$ は $g(id, t)$ を用いて算出される。

同一車線上の車両 車両 $id1$ を基準として、車両 $id2$

は同じ車線上にいるか、すなわち連なって走行しているかどうかを判定する。

先行車両・後続車両 車両 id と同一車線上にいる車両のうち、前方にいて直近の車両を先行車両 *leading_vehicle(id)*、後方にいて直近の車両を後続車両 *following_vehicle(id)* とする。

3.2.4 交通流に関するもの

これらは、特定の時刻や時間範囲における交通をマクロにとらえた場合の事象や統計量に関する演算である。

方向別交通量 $Q(dr, t)$: dr 方向の交通量である。 $d(id)$, Ta , Tb を元に、該当する車両の数を数えればよい。

方向別平均速度 $V(dr, t)$: dr 方向の平均速度である。 $d(id)$, Ta , Tb , $v_{obj}(id)$ から算出する。

方向別交通密度 $K(dr, t)$: dr 方向の交通密度であり、定義から $Q(dr, t)/V(dr, t)$ である。

渋滞状態 ここでは、交通量は少ないが出せる速度も低い状態を渋滞と考える。そこで、渋滞情報の特徴づける閾値 Q_0, V_0 を持ってかつ $Q(dr, t) < Q_0$ かつ $V(dr, t) < V_0$ 満たすとき渋滞と判定する。

信号表示 $S(dr, t)$: dr 方向の信号の状態を表す。ある瞬間に存在する車両の Origin とその速度から判断する。

4. 自然言語による質問応答

ユーザが意図した処理をシステムに行わせるためには、その意図を的確に伝える入力インターフェースが必要である[12]。インターフェースには各種あるが、本システムでは複雑な条件を一文で指定可能であり、ユーザの熟練を必要としない自然言語による入力インターフェースを採用する。また、音声技術をあわせてのナビゲーションシステム等への応用が期待できるという側面もある。質問文は英語で受け付けるものとしている。

質問応答の流れ

自然言語による質問応答の流れは以下の通りである。

単語切り分け・構文解析

ユーザからの質問文を単語毎に切り分け、CYK 法を

利用して文脈自由文法に沿った構文解析を行う。計算処理に好都合な構文解析を行っており、用いる文法は必ずしも自由英文法とは一致しない。

多段階文法を満たす構文木は必ずしも1通りとは限らない。複数の候補が存在する場合は、第1に文の種類によって(疑問文>命令文>平叙文)、第2に Right Association (ある句構造はより近い句に取り込まれる可能性が高いという性質)によって優先度を決定し、この優先度が高いものから順に処理する。

文要素と演算との対応付け 質問文の中には回答を生成するための演算方法を指定する重要な要素が含まれている。すなわち、疑問詞句、名詞句、形容詞句、動詞句、副詞句・副詞節である。システムは、質問文の構成要素と演算とを対応させて、最終的にどのような計算を行うかを決定する。

計算の実行と結果の表示 対応づけられた演算と条件指定に基づいて計算を実行しその結果を表示する。

単純な例文として、“How many vehicles ran from left on Sep. 22 2002?” という質問文を用いた場合の構文解析結果および構文木と演算との対応づけを図8に示す。「2002年9月22日(on Sep. 22 2002)」を処理の前提とし、「車両が走行した(vehicles ran)」という事象を「左から(from left)」という追加条件の下で検索し、そのような車両について数を数える(How many) という処理が実行される。

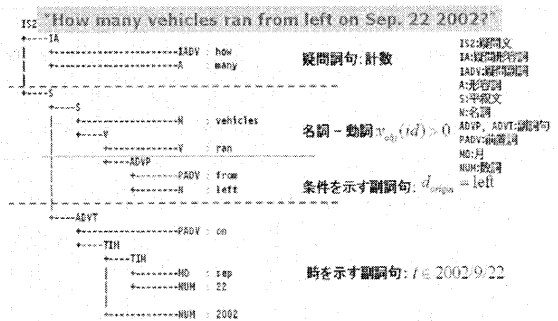


図8: “How many vehicles ran from left on Sep.22 2002?” に対する構文解析結果および構文木と演算との対応づけ

5. 処理結果の表示と他交差点での応用

5.1 解析結果の視覚化

トラッキングの結果やユーザからの要求に基づいた処理の結果は、内部的には数値データとして表現されるが、結果を表示する際にはユーザにとってわかりやすい形で提供する必要がある。そこで、解析結果を視覚的してから表示する。本システムでは、交通映像の再生、交通映像への情報のオーバーレイ、そしてオンラインでのグラフ作成を実現している。交通映像の再生は、撮影・蓄積しておいた交通映像をユーザの指示に応じて再生するものであり、情報のオーバーレイは、交通映像上に車両速度や OD などの各種情報を重ねて表示するものである。

5.2 統合システム

ユーザの要求を受け付け、解析結果を文字ベース・グラフィカル双方で提示可能であると同時に、ストレージに保管されている交通映像の再生も可能なインタフェースを備えた統合システムを GUI ベースにて作成した。これにより、システムの内部構造を意識せずに利用でき、操作が安易であるインタフェースを実現する。またシステムの各要素を互いに連携させることで相乗効果を引き出すことができる。グラフに関しては、プロトタイプシステムにおいてオフラインで作成したグラフの表示を行っていたが、本システムでは一部のグラフについてオンラインでの作成・表示を可能にした。(図9)

5.3 他の交差点での適用例

いままでのプロトタイプ[6]では、ある程度神田駿河台下に限定してのノイズ設定や演算を決めていたが、今後、撮影対象箇所依存しないようにするには、ある程度汎用性を持っていなければならない。そこで、神田駿河台下周辺の一ツ橋交差点周辺の2地点で方向別交通量や演算が適切に動作しているかの実験を行った。この交差点では、神田駿河台下交差点よりもかなりオ

クルージョンが起りやすい場所であるが、問題なく正常に作動している。(図10)

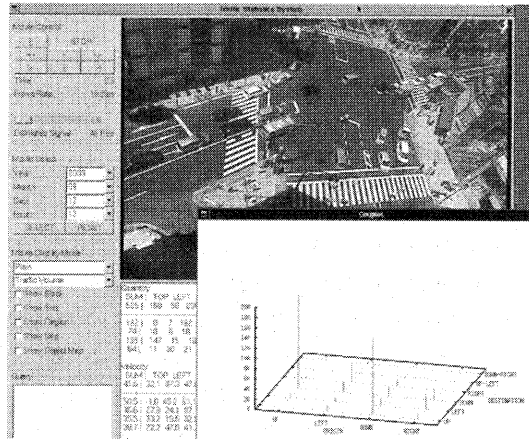


図9：グラフとの連動（方向別交通量の表示）

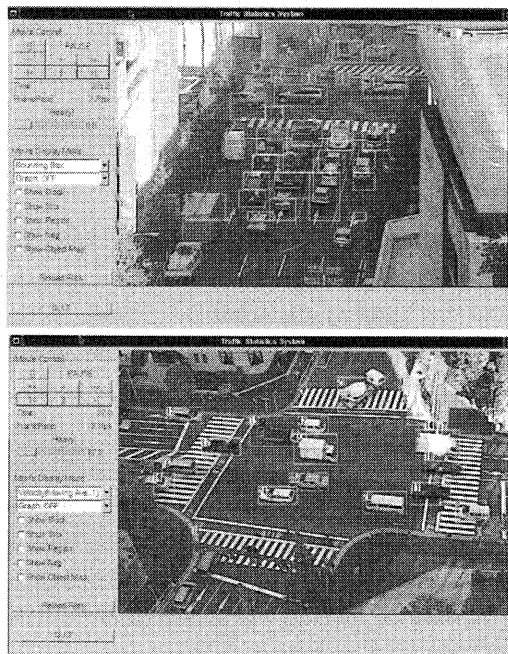


図10：他交差点での応用例

6. まとめ

本稿では交通映像データベースシステムにおいて、蓄積されたデータからの解析処理とインタフェースの部分を中心に紹介した。

今後の課題としては、数を数える・走行経路を表示する、などといったあらかじめ用意されている演算だけでなく、大まかな車種・天候情報・事故やニアミスといった判定をする演算を取り入れ、神田駿河台下以外の交差点の情報も利用し、より有効な情報が得られる事が期待される。また、複雑な多段階処理を行う際に実行速度の問題が顕在化しつつあり、解析を効率的に行うためにも、交通映像データベースに最も適していると思われるデータベース構造・データ管理方法を検討し直す必要がある。これらの課題を踏まえつつ、システムの評価をより定量的に表現するようにしていきたい。

参考文献

- [1] R.D.Bretherton,G.T.Brown,"Recent Enhancement to SCOOT-SCOOT Version 2.4",*IEEE Conference Publication*,No320,pp95-98,1990
- [2] 北岡広宜,寺本英寺,小根山裕之,桑原雅夫,"交通状況予測のためのOD交通量推定手法の開発",第一回ITSシンポジウム2002,pp.143-148,2002
- [3] S.W.Kim et al,"Performance comparison of loop/piezo and ultrasonic sensor-based traffic detection systems for collecting individual vehicle information",*Proc. of 6th World Congress on ITS*,1998
- [4] Mishima Daigo et al,"Estimating Traffic Information on Hanshin Expressway Using Mobile Location System",*Proc. Of 8th World Congress on ITS*,2000
- [5] Young-Kee Jung,Kyu-Won Lee,Yo-Sung Ho,"Content-Based Event Retrieval Using Semantic Scene Interpretation for Automated Traffic Surveillance",*IEEE Trans.on Intelligent Transportation Systems*, Vol2.No.3,pp.151-163,2001
- [6] 松下剛士,西田恒俊,上條俊介,坂内正夫,"交通事象の自動取得及び対話型解析システム",*電子情報通信学会技術研究報告 (ITS 研究会)*,Vol.102,No.233,pp.1-6,2002
- [7] V.Zue,J.Glass et al,"PEGASUS: A Spoken Dialogue Interface for On-Line Air Travel Planning",*Proc.International Symposium of Spoken Dialogue*,pp.157-160,1993.
- [8] Graham D.Finlayson,Steven D. Hordley,and Mark S. Drew,"Removing Shadows from Images",*In Proceedings of European Conference of Computer Vision*,ECCV '02 Vol.04,pp. 823-836, 2002
- [9] 松下康之,西野恒,池内克史,坂内正夫,"イントリック画像を用いたイルミネーション画像のモデリングとその応用" 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'02),vol.1,pp.253-260,2002
- [10] S.Kamijo,Y.Matsushita,K.Ikeuchi,M.Sakauchi,"Traffic Monitoring and Accident Detection at Intersections",*IEEE trans.ITS*,Vol.1 No.2,2000,pp108-118, June 2000
- [11] S.Kamijo,T.Nishida,M.Sakauchi,"Occlusion Robust and Illumination Invariant Vehicle Tracking for Acquiring Detailed Statistics from Traffic Images",*IEEE trans.INF & SYST.*, Vol.E85-D No.11,pp1753-1766,Nov 2002
- [12] Ingo Glockner,Alois Knoll,"Natural Language Navigation in Multimedia Archives :An Intergrated Approach",*ACM MM'99 Electronic Proceedings*,1999