社会インフラ分野における画像応用の 現状と課題*

Trends and Issues of Image Recognition Technology in Social Infrastructure

下村倫子** 佐藤雄隆*** 青木義満****

Noriko SHIMOMURA, Yutaka SATOH and Yoshimitsu AOKI

Key words

image recognition, automation, robustness, social infrastructure, intelligent transportation systems, security

1. はじめに

画像計測は昔から多くの技術が研究されている。特に、工場の自動化分野では広く普及しており、現代社会の中で必要不可欠の技術として日々稼働している。例えば、ウエハの欠陥検出では0.1 μm オーダの目視確認が不可能な極小欠陥を検出する。また、各種部品検査では人手の数倍から数千倍の速度で部品の質を認識し、自動振り分けを行う¹⁾。現在の便利な社会はこれら工場ラインにおける高速・高精度な「自動化」技術があるからこそ成り立っている。そして、この「自動化」技術の背景には計測機器設置環境における「ロバストな計測」が大きく寄与している。

さて、このような形で社会を支えてきた画像技術は、近年、社会インフラの分野でもその活用が期待されている。特に、ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) やセキュリティの分野からのニーズ拡大は急速である。本報では、社会インフラにおける画像応用としての、(1) 実環境で信頼性高く安定に動作するための「ロバスト性強化」、(2) 膨大な規模の社会インフラを支えるために必要となる「自動化」をキーワードとし、この2つのキーワードを念頭に置きながら、ITSとセキュリティの分野における事例を紹介する。

*原稿受付 平成20年11月26日

**日産自動車モビリティ研究所 (神奈川県厚木市森の里青山1-1)

***独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門 (茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)

****正会員 慶應義塾大学理工学部電子工学科 (神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

下村倫子

1991年東京農工大学大学院電子情報工学博士前

記課程了。同年日産自動車(株)総合研究所に入社。博士(工学)。現在、ITS用車載センシング技術の研究に従事。

佐藤雄隆

2001年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程修了。ソフトピアジャパンHOIPプロジェクト主任専門研究員を経て現在、産総研情報技術研究部門研究員。筑波大学大学院准教授(連携大学院)。博士(工学)。ロバストパターン認識などの研究に従事。

青木義満

2001年早稲田大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2002年芝浦工業大学工学部講師。2005年同大助教授を経て、2008年より慶應義塾大学理工学部准教授。博士(工学)。画像計測・認識・生成に関する研究に従事。

2. ITSに関する事例

2.1 概要

近年、交通の利便性、安全性向上を目指したITS研究が盛んに行われており、道路環境側のインフラ整備や自動車自体の機能の高度化・知能化が推進されている²⁾。また、カメラや処理ハードの性能向上・低価格化および画像処理技術の高度化を背景として、車載カメラ映像の認識結果を活用した様々な運転支援システムも開発され、市場に導入されつつある。

このようなシステムは、その目的に応じて、(1) 安全運転の支援、(2) 利便性・快適性の向上、の2つに分類される。前者は、道路や他車両、人物等、道路周辺環境に含まれるオブジェクトを検知する認識技術をコアとして、運転者の安全を確保するための支援を行うものである³⁾。一方、後者は、主に測位技術や通信技術に地図情報も併せて、より利便性の高いナビゲーションを実現しようとするものである⁴⁾。双方に共通する重要な課題は、時々刻々と変動する周辺環境に対する処理性能の「ロバスト性」を確保しながら、いかにドライバーの認知・判断能力をサポートするための「自動化」を実現するか、という点である。しかし、画像認識を中心としたビジョン技術のみでは、安全性や利便性を十分に満たすことが困難な状況も多く、インフラ側の高度情報化・知能化や、高精度な地図情報を事前知識として活用する流れもある。ここでは、ITSにおける社会インフラ整備のための画像応用例として、(1) カーナビ地図生成のための道路標識自動検出技術(2) 高速道路用自動運転システムを取り上げ、その技術を紹介する。

2.2 カーナビ情報高度化のための道路標識自動検出

カーナビの重要な役割は、地図・道路情報と位置情報に基づき、目的地までの最適経路を案内することである。また最近では、ナビゲーションが持つ標識やカーブ情報と車両信号との統合処理によるナビブレーキアシストなどの新しい運転支援システムも提案されはじめている。このような高度なナビゲーションシステムには、標識などの道路情報の付加が必要である。しかし、現行は車載カメラにより撮

影した道路画像を目視により確認し、手作業で標識情報を記録しており多大な処理時間と人的コストを要している。ここでは、このような作業の効率化やナビゲーションの高度化に役立てるための技術である、さまざまな状況下で道路案内標識を自動検出する手法の概要を述べる。

標識検出と認識技術としては、パターンが既知で事前にテンプレートを用意できるケースでは、SIFT 特徴量を用いたマッチングと追跡により、明暗とスケール変化にロバストな標識を実現する手法が提案されている⁵⁾。対象となる道路案内標識は、青色、緑色の矩形の中に白地で行き先や矢印が書かれたものであり、標識内部の内容は様々であるため、このようなアプローチは適用できない。そこで、色相ヒストグラムを類似尺度とする MeanShift 法により、大まかな色領域を絞り込んだ後、標識色が低い彩度値を有していることを利用し、高い色尤度をもつ領域の塊が画面中央付近に安定して抽出できるまで、彩度のしきい値をフレームごとに適応的に自動調整する。次に、矩形らしさの判定、領域内の白画素の存在割合を評価することで、道路案内標識を検出・追跡する(図1)。追跡された一連の標識画像の中から、条件の良い検出画像をベストショット画像として GPS 情報とともに地図上にマッピングする⁶⁾。さまざまな条件下での検出結果を図2に示す。

本システムを道路情報収集・整理作業へと適用すること

で、大幅な処理コストの削減と、高鮮度なカーナビゲーションデータの更新および提供が可能となる。これによって得られた道路地図情報データベースは、リアルタイムの標識認識の手がかりとしての利用や、道路標識・路面標示の正確な位置を手がかりとして、GPS による位置計測精度を補正する用途への応用が期待される。

2.3 高速道路用自動運転システム

交通インフラや自動車を智能化による完全自動走行の実現は、ITS における自動化の究極の目標の1つである。一般道車両との混在は難しいとしても、車-車間通信や路-車間通信を用いながら、見えないレールの上を自動で走らせるインフラ協調型自動運転の試み⁷⁾や、車自身に搭載した計測・認識技術による自律的なセンシング結果と、地図と GPS による位置情報との統合による自動走行⁸⁾などは実際に検討・実験が開始している。ここでは、画像センシングによる自律的な自動走行実現に向けての取り組みの概要を述べる。

高速道路用自動運転システムは、車載カメラによる環境認識、GPS による位置情報、自動運転センターを利用し、高速道路上を運転者に代わって自動走行させることを目的とする。システムの概要を図3に示す。高速道路走行時に、4台の車載カメラ映像(前方2台、後側方2台)から白線検出、白線種別認識、前方、後側方車両検出による周辺状況の認識をリアルタイムで行いながら、目的とするインターチェンジまで車両制御(舵角、アクセル、ブレーキ)を行い、自動運転を実現しようとする。単体での周辺状況理解では困難な情報(工事、突発的な事故、天候)は、自動運転センターという集中監視施設が情報提供を行う。また、自動運転許可、停止に関する情報管理もこのセンターが担当する、という構想で研究を進めている。

自動運転は、技術的な課題はもとより、事故責任や社会的享受性の問題が大きく、システムの製造者や運用者に多大な責任が求められる。システムの信頼性とヒューマンファクターの側面からの十分な検討が必要である。提案されつつあるさまざまな自動運転システムは、まだ試作とコンセプト提案という段階のものが多く、また、行政主導のインフラ整備も必要であることも実用化を困難としている。限られた場面での簡単なシステムの導入から実績を積みあ

げつつ、社会的コンセンサスを醸成して技術体系や法制度を整備していくことが必要であろう。

2.4 ITS における画像応用技術の今後の展望

環境変動に対してロバスト性を確保した画像応用技術の登場により、ITS におけるさまざまな支援、自動化システムが登場しつつある。一方で、環境変動の多様性に加え、人間の特性も十分に考慮したシステム作りが必要であることから、完全自動化が難しい領域でもある。特に「支援」と「自動化」の境界線は曖昧で、技術的にできることと「してほしいこと」の乖離もある。技術の進歩とあいまって、このあたりの統一的な議論が進んでいくことが重要であろう。

3. セキュリティに関する事例

3.1 概要

カメラを用いたセキュリティシステムは、犯罪の抑止や犯人の特定を行ううえで優れた効果をもつことが近年社会的によく知られ、重要な社会インフラの1つとなりつつある。街中や道路などには既に多数のカメラが設置され、最近では新幹線車内デッキにもカメラが設置されるなど、その設置数、設置範囲は急速に拡大している。海外においても同様の傾向が見られ、特にイギリスではロンドンの地下鉄構内だけで1万台以上のカメラが作動しており、イギリス全土では実に420万台以上のカメラが作動しているとされる。

監視カメラには監視員がモニターでリアルタイム監視するものと録画のみを行うものがあるが、近年のカメラ数の爆発的な増大により人手によるリアルタイム監視は限界をむかえている。録画のみを行うものは事後に犯人を特定するために有効であるが、犯罪を未然に防止したり、発生直後に迅速な対応を行うことが難しい問題がある。すなわち、カメラ台数を増加させてもリアルタイム監視できるカメラの数は限られているため、実際のセキュリティ向上の効果が十分に得られない可能性がある。

この問題を解決するためには、人物等の進入の自動検知、さらには通常と異なる異常な動作を自動検知する能力をもつ監視カメラの開発が重要となる。そこにおいては(1)照明変動など様々な外乱が予想される実環境下における安定な動作を支えるためのロバスト化技術、(2)異常な動作を自動検出するためのパターン認識技術、が特に重要となる。本章では、これらに関する具体的な事例として「ロバスト背景差分技術」および「異常動作の自動検知技術」を取りあげ、以下に紹介する。

3.2 ロバスト背景差分技術

背景差分法は、背景モデルと現在の観測画像との差異を、ある尺度に従って求めることで、前景（新たに出現した人・物など）のみを抽出する重要な要素技術である。背景差分処理を検討するうえでの本質的な難しさは、実はユーザーサイドの恣意的な要求によるものが大きい。例えば、人は検出するがその影は検出しないほしい、木々の

入力画像：

差分結果：

図4 SRF による背景差分

揺れは検出しないほしい、水面の波は検出しないほしい、といったものである。このような要求に応えるためには、明度変動に対してロバストな統計量を用いる⁹⁾¹⁰⁾ことや、外乱をモデル化して能動的に除去する¹¹⁾ことが必要となるが、近年、あらかじめ背景シーンを学習することで高い性能を発揮するものがいくつか提案されている。例えば、共起性に基づく背景差分法¹²⁾では、木々の揺れなどを含む背景画像を時系列にわたって記憶し、隣接ブロックの共起性から着目ブロックの背景を推定することで、外乱に対して優れたロバスト性をもつ背景差分を実現している。統計的リーチ特徴法（SRF 法）¹³⁾は、画像群中において明度の大小関係が一貫して安定に保たれる点対を統計的な基準に従って選択し、その保存性に着目するメカニズムにより、照明変動や木々の揺れなど空間的・時間的な外乱があってもロバストに前景を抽出することができる。図4に SRF 法による背景差分の例を示す。あらかじめ学習によって作成した単一の背景モデルを用いているが、極端な照明変動下にもかかわらず良好に人物領域のみを抽出できていることがわかる。

このように、さまざまな環境下においてロバストに前景を抽出する能力をもつ手法を開発することは、監視カメラの自動化を検討するうえで重要であり、今後さらなる進化が期待される。

3.3 異常動作の自動検知技術

立体高次局所自己相関特徴抽出法（CHLAC）¹⁴⁾¹⁵⁾を用いた、異常動作の自動検知について述べる。人物等の進入の有無だけでなく、通常と異なる動きを自動検出するための手法は、監視カメラの自動化を実現するうえで重要な要素技術である。従来、オプティカルフローの分析を行うことで動作解析する手法がいくつか提案され¹⁶⁾¹⁷⁾、エレベータ内での異常行動の検知や、生産ラインにおけるヒューマンエラーを自動的に検出することが試みられている。

CHLAC は、対象の形と動きを数値（多次元ベクトル）として表現することができる汎用的な特徴抽出方法である。その詳細な定義は文献に譲るが¹⁴⁾¹⁸⁾、図5に示すように3×3画素のマスクパターンに時間軸を加え、3×3×3画素の立方体マスクパターンを考える。次に、中心の画素と積を取る画素を0～N個選択する組み合わせを考える。Nは次数に相当するが、ここではN=2（2次の特徴まで扱う）

図5 CHLAC 特徴の抽出

図6 CHLAC による異常動作の検出

の場合を考える。このとき、全通りの組み合わせから、平行移動に関して等価になるパターンを除くと、全部で251通りのマスクパターンが得られる。このマスクパターンを時系列画像に対してあてはめ、パターン内で積を取り、さらに時空間方向に走査しながら和をとることで、251次元の特徴ベクトルを得ることができる。すなわち、動きと形の情報が251次元空間における1点に射影されることになる。

実際の運用では、フレーム間差分を二値化したものに対し、CHLACを適用し251次元の特徴ベクトルを抽出する。まず通常時に観測された時系列画像を学習セットとして用い、主成分分析によって線形部分空間を構成し、これを通常部分空間と呼ぶ。次に、観測画像から同様に特徴ベクトルを抽出し、通常部分空間からの逸脱度を求める。逸脱度が大きいものほど学習セットに含まれる「通常」のパターンから大きく逸脱する、すなわち「異常」であると判断する。図6に実験の例を示す。学習セットとしては、木々の揺れや歩行者の移動が含まれる画像シーケンスを用いた。テストセットのうち1つは、学習セットと同様に木々の揺れや歩行者などを含むもの、もう1つは柵を乗り越える不審者が含まれるものを用いた。結果のグラフを見ると、通常状態では、木々の揺れや歩行者などの動きが含まれるにもかかわらず、異常値(逸脱度)は低く保たれることがわかる。これに対し、柵の乗り越えが観測された場合には、大きな異常値が観測されていることがわかる。

この手法を用いた自動監視カメラの実現にあたっては、混雑する駅舎内など、より複雑なシーンでの性能の検証・改善が今後必要となると思われるが、監視カメラの自動化を支える重要な要素技術として期待されている。

4. ま と め

これまで述べてきたように、画像応用技術は着実に社会

インフラの中で実用化され始めている。しかし、さまざまな場面に応じたカメラの設置法や自動化した場合の信頼性の評価法など重要でありながら定石が固まっていない問題も多く残されており、実用化・普及への妨げとなっている。また、ユーザの期待と合致したシステムの提案、プライバシー保護と監視の両立など、技術的問題と平行して検討しなければならない課題も多く存在する。今後は、これらの問題を総合的に踏まえながら高度化を進めることにより、画像応用技術は社会インフラにおいてさらに重要な役割を担うものと発展するだろう。

参 考 文 献

- 1) 鷺見和彦, 金子俊一: マシンビジョン技術の実利用, 電学論 C, **124**, 3 (2004) 598-599.
- 2) 田中敏久: 新時代の ITS 展望—ITS の方向性と産官学民の新連携, Monthly Journal of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo, **59**, 3-1 (2007) 2-5.
- 3) 二宮芳樹: ITS における自動車の高機能化: 走行環境認識技術, Technical Report of IEICE, CST, **99**, 98 (1999) 33-39.
- 4) 浅野正春, 住沢紹夫: カーナビゲーションシステムを適用した新しい走行環境認識技術, 日立評論, **89**, 08 (2007) 650-651.
- 5) 高木雅成, 藤吉弘亘: SIFT 特徴量を用いた交通道路標識認識, 第13回画像センシングシンポジウム講演論文集, LD2-06 (2007).
- 6) 青木悠, 青木義満, 宮地恵美: 高鮮度ナビゲーションデータ作成支援のための道路案内標識の自動検出, 画像電子学会論文誌, **36**, 4 (2007) 456-464.
- 7) 藤村嘉一, 木間俊宏, 上條俊介: 高速道路における路車協調安全運転支援システムの開発, IEICE Technical Report, ITS2007-85, **107**, 556 (2008) 41-46.
- 8) 大前学, 橋本尚久, 清水浩, 藤岡健彦: RTK-GPS を用いた自動車の自動運転, 計測と制御, **44**, 4 (2005) 266-269.
- 9) 佐藤雄隆, 金子俊一, 丹羽義典, 山本和彦: Radial Reach Filter (RRF) によるロバストな物体検出, 信学論 D-II, **J86-D-II**, 5 (2003) 616-624.
- 10) 喜多泰代: 二次元濃度ヒストグラムを用いた画像間変化抽出, 信学論 D, **J90-D**, 8 (2007) 1957-1965.
- 11) 山田浩正, 伊藤渡, 上田博唯: 背景差分法における波の誤検出抑制法の検討, 信学技報, PRMU98-109 (1998) 23-30.
- 12) M. Seki, T. Wada, H. Fujiwara and K. Sumi: Background Subtraction Based on Cooccurrence of Image Variations, Proc. IEEE CVPR2003, **2** (2003) 65-72.
- 13) 岩田健司, 佐藤雄隆, 坂上勝彦: 統計的リーチ特徴法による画像群からの外乱にロバストな特徴の抽出, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2008 論文集, (2008) 331-337.
- 14) T. Kobayashi and N. Otsu: Action and Simultaneous Multiple Persons Identification Using Cubic Higher-order Local Auto-Correlation, Proc. ICPR2004, (2004).
- 15) 南里卓也, 大津展之: 複数人動画画像からの異常動作検出, 情報処理学会論文誌, **46**, SIG15 (CVIM12) (2005).
- 16) 林健太郎, 羽下哲司, 関真規人, 笹川耕一: 映像監視における人物位置行動の検出技術, 情報処理学会論文誌, **47**, SIG_9 (CVIM_14) (2006) 12-20.
- 17) 清水早苗, 平湯秀和, 浅井博次, 丹羽義典: 人物動作に着目したシーン分割による作業動作の異常検出, 信学技報, PRMU2007-78, **107**, 206 (2007) 195-200.
- 18) 岩田健司, 佐藤雄隆, 依田育士, 坂上勝彦, 大津展之: 超高速 CHLAC によるリアルタイム異常動作検出, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2006) 論文集, (2006) 43-48.