

次世代画像式車両センサの開発

山本英典*・加藤武彦・谷英哲
 是枝義輝・立木佳那栄・田中佳代
 長野洋

Development of Next-Generation Image Processing Vehicle Detector — by Hidenori Yamamoto, Takehiko Kato, Hideaki Tani, Yoshiteru Koreeda, Kanae Tachiki, Kayo Tanaka and Hiroshi Nagano — A novel image processing vehicle detector has been developed and released to the market. We have resolved defects seen in conventional detectors, most of which are caused by weather changes or lack of resolution. To overcome these problems, we have adopted two approaches: the improvement of algorithms for vehicle detection, and the use of a high resolution camera. These improvements have enabled the product to provide stable performance all day throughout the year and also to detect vehicles far from the camera more precisely than conventional NTSC cameras. Our product can be used not only as a traditional traffic flow detector but also as a next-generation detector such as one for the driving safety support system (DSSS). In addition, the product is upgradable due to its hardware and software scalability.

Keywords: sensor, video-image, vehicle, detect

1. 緒言

近年、地球温暖化等の環境問題への関心が高まる中、運輸・輸送分野、とりわけ道路交通分野における温室効果ガス削減に向けて、日米欧を中心に様々な国家プロジェクトが打ち出され、技術開発競争が活発化している。

一方、交通事故による死者数は、日本国内では年間5千人を下回ったが、負傷者数は100万人近くにも達し、また米国においては年間3万人以上の死亡事故が発生しており、環境だけでなく安全への関心も世界的に高まっている。

こういった状況の中、当社は長年、インフラの観点から環境と安全の問題に取り組んできた。

特に安全面では、警察庁において、安全運転支援システム（DSSS）が開発されており、実証実験やパイロット事業が行われている。DSSSは、インフラと車両が協調して、交差点や見通し不良区間に接近する車両に対して、信号情報や周辺に存在する車両情報を提供し、カーナビや音声を用いてドライバーに注意や警告を与えるシステムである。

また、高速道路においては、道路上やトンネル内における停止車両や低速車両を検出し、道路情報表示板を通してユーザに情報提供するシステム（突発事象検出システム）等を開発してきた。

いずれのシステムも、道路上を走行する車両を精度よく検出するインフラセンサが重要な役割を果たし、当社では、1992年よりカメラを用いた画像式車両センサ（画像センサ）を製品化してきた。

画像センサの利点は、①複数の車線の交通流（台数・速度・車種）を1台で同時に計測することができる、②小型で設置が容易かつ都市景観性に優れる、③特別な車載機を

必要としない、④映像を見ることができるとためリアルタイムに交通状況を把握することができる、等が挙げられる。

その一方で、天候や日照等の外部環境の変動や、遠方における画面解像度の低下によって、精度が低下する可能性があるという問題があった。

当社はこれまで画像センサの研究開発を重ね、これらの問題を克服し、①環境変動に対して性能が頑健で、②広範囲の計測が可能で、③従来の交通流計測及びDSSS等の次世代システムに共通の画像センサを製品化することに成功し、一部客先へ納入を開始した。

本稿では、今回製品化した画像センサの特長及び構成、さらに、フィールドでの評価結果について報告する。

2. システム構成

画像センサは、図1に示すようにカメラ部と制御部から成り立つ。カメラ部は通常路上に設置され、制御部は路側に設置される。カメラ部の映像を管制センターへ伝送している場合は、制御部を管制センターに設置することもある。

カメラ部で撮像された映像は、制御部に入力され、制御部で画像処理することにより、車両を検出する。

画像センサで計測した結果の送付先は、用途によって異なり、主に以下の3つがある。

- ①直近の信号機や道路情報表示板（信号制御や情報提供）
- ②交通管制センター（信号制御や情報提供）
- ③車載機（DSSS）

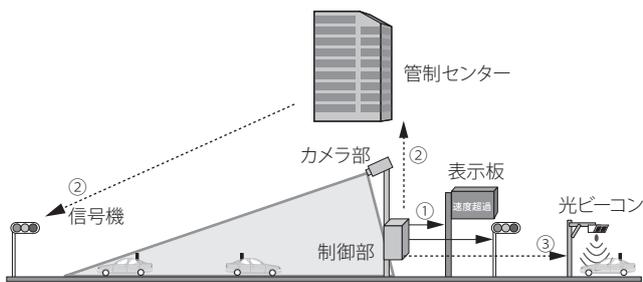


図1 システム構成

3. 開発にあたって

3-1 従来の問題点 一般に、画像センサの問題点として、一定の条件下において検出精度が低下する場合があります。これが挙げられる。

例えば、急激な日照の変化や、雨天時のヘッドライトの路面反射によって検出精度が一時的に低下したり、カメラから遠く離れた地点に存在する車両は、画像上での見え方や移動量が小さくなるために検出しにくくなったりすることがある。これらの状況下では、製品の性能仕様を一時的に満足できない状態に陥る場合があった。

その一方で、DSSSでは連続した無線通信を使って、車両の挙動をリアルタイムに広範囲で把握することも検討されている。挙動を正確に把握するためには、時々刻々の車両の位置情報を正確に計測する必要があり、従来の交通流計測用のセンサでは対応できなくなってきた。

3-2 開発目標 そこで当社は、①環境変化に頑健で24時間365日安定した計測精度を維持し、②高い位置精度を広範囲（約100m）で確保することを目標とした。計測精度は、表1に示すように用途ごとに目標値を設定した。

表1 用途ごとの性能目標（許容誤差）

	台数	速度	車種	位置精度
交通流計測用センサ	相対誤差10%	相対誤差10%	相対誤差20%	
DSSSセンサ	未検出率5% 誤検出率10%	誤差±10km/h		±10m

3-3 開発方針 上述した目標に対して、ソフトウェア・ハードウェアの両面からの開発を進めることとした。

①の目標に対しては、主にソフトウェア面での開発を実施することとし、当社の長年にわたる画像センサ開発の過程で得られた膨大なフィールド映像を利用して、計測アルゴリズムを改良することとした。

当社の画像センサは、日本国内において北は北海道から

南は沖縄まで、海外では東南アジアへ納入実績がある。そのため雪や霧から熱帯特有のスクールの映像まで、様々な環境条件の下で収集した映像を数多く所有し、データベース化している。この映像データベースを用いて、計測アルゴリズムの改良と検証を重ねることとした。

②の目標に対しては、主にハードウェア面での開発を実施することとし、通常解像度カメラ（NTSC*1）に比べて、1画素あたりの距離分解能の高い高解像度カメラ（フルハイビジョン、フルHD*2）をラインナップに加えることとした。

以降に上記2つのアプローチについて順に述べる。

4. 計測アルゴリズム

まず、車両の計測アルゴリズムの開発について述べる。計測アルゴリズムは基本的に、①カメラから得られた画像から特徴的な点を抽出し（特徴抽出）、②数多くられた特徴点群から車両領域を特定し（車両の認識）、③車両を追跡する（車両の追跡）、という流れとなる。③で得られた追跡結果から速度や台数等の最終出力が算出される。本稿では主に①特徴抽出、②車両の認識について説明する。

4-1 特徴抽出 画像から得られる代表的な特徴として、車両が存在していない時の画像（背景画像）と入力画像との差分（背景差分）や、過去の画像と入力画像との差分（時間差分）がある。背景差分は、正確に車体領域を抽出できるが、安定して正しい背景画像を定期的に更新することは難しい。時間差分は、移動物体の検出に効果があるが、停止車両を安定して検出できない、といった問題がある。

そこで、隣接する画素間の輝度の増減にのみ注目した増分符号⁽¹⁾と呼ばれる特徴を利用する。増分符号は、個々の画素の輝度値そのものを表現するものではなく、あくまで隣接する画素との大小関係のみを記述した符号であるため、日照変化による画像全体の輝度の増減には、本質的に影響を受けない。また、影が存在するシーンであっても、影のかかっている部分の符号は、影がない時と比較してほとんど変化しないため、車両等の影を車両と誤検出することは低減される。この環境変化の影響を受けにくい増分符号と背景差分や時間差分を組み合わせることでより安定した特徴を抽出することができる。

4-2 車両の認識 ここでは、前段の処理で得られた特徴点群（増分符号）をラベリングし、各ラベルを車両とそれ以外とに類別することを目的とする。車両認識の手法として、あらかじめ多数の車両の特徴パターンを学習させておき、入力毎の特徴パターンが、学習しておいた車両の特徴パターンと類似するか否かで、車両を認識する方法があるが、あらゆるフィールドで共通に通用する教師データを事前に準備しておくことは一般に困難である。

本稿では、透視投影変換を用いた手法を利用する。カメラ設置時に得られる道路上の数点の実測データをもとに、

カメラと道路平面との関係式（透視投影変換行列）を求めておく。よく知られているように、透視投影変換によって、道路平面上の任意の点を原点とした座標系（ワールド座標系）の点を、画像平面上の座標（画像座標）に一意に投影することができる。

一般に、透視投影変換は画像生成過程における3次元から2次元への次元の縮退を表現しているため、本来、非可逆変換である。しかし、ワールド座標系で表現される任意の平面上に限定すれば、画像上の点を一意にその平面上に逆投影することができる。そこで、任意の平面を道路平面に選べば、画像上の点を一意に道路平面上の点に逆投影することができる。

このことを利用し、前段で得られた特徴点群についてノイズ成分に注意を払いながら特徴点群をラベリングし、車両の先頭（後端）位置と思われる特徴点を全て、道路平面上へ逆投影する。そして、逆投影された全ての点について、車両が存在する領域を設定し、領域ごとに「車両らしさ」を求める。ここで車両らしさとは、特徴点の数や、車両を剛体と仮定した場合に得られる制約条件等から総合的に算出されるスコアを意味する。スコアが一定閾値以上のものを車両と判定し、スコアによって車両の大きさまで判定することができるため、最終的に車種を含めてそこにどのような車両が存在するのかを判別することができる。

5. 高解像度カメラ

次に、高解像度カメラについて説明する。フルHDは、横1920画素、縦1080画素の解像度があり、NTSC方式の5倍強の画素数をもつ。従って、カメラから遠方にある車両を映した場合、NTSCカメラの映像に比べて、同じ位置の高解像度カメラの映像の方が精細に写るため、車両として検出しやすくなる。

また、1画素あたりの距離分解能が高く、同じ位置精度ならNTSCカメラに比べてより遠方まで計測することができる。例えば、当社の定める画像センサの標準的設置条件では、1画素あたり10cm未満の分解能で車両の位置を同定できるのは、NTSCカメラではカメラから約36mまでであるのに対し、高解像度カメラでは約56m地点まで計測することができる。

加えて、フルHD規格は、家庭向けAV機器において主流となりつつあるため、撮像素子や録画機器の低価格化が進んでおり、将来的に産業用高解像度カメラの価格低下も予測される。これらを総合的に判断し、高い位置性能を要するシステムには高解像度カメラを利用できると判断した。

6. 製品の特長

これまでに述べた計測アルゴリズム及びNTSC、高解像度の両カメラを使用した製品化開発を行った。以下にその

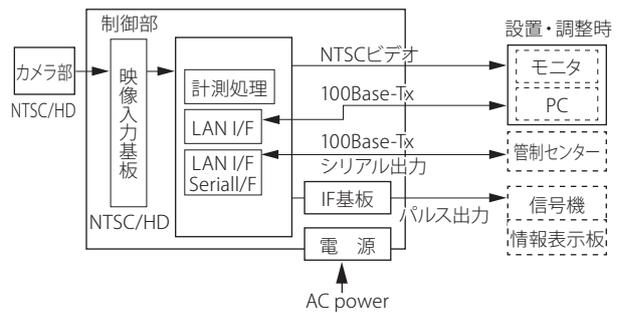


図2 機器構成

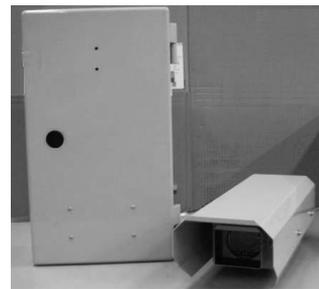


写真1 機器外観

表2 緒元

重 量	カメラ部4kg以下	
	制御部 6kg以下	
寸 法 (mm)	カメラ部	H95.5, W124, D335
	制御部	H380, W215, D110
電 源	AC/100V ± 10%, 50Hz	
消費電力	50VA以下	
動作温度	-10～50度	
動作湿度	40～90%	
制御部-カメラ部間ケーブル長	最大100m	

特長を述べる。図2に機器構成を示す。また、機器の外観と諸元を写真1、表2にそれぞれ示す。

用途に応じてカメラをNTSCカメラか、高解像度カメラかを選択するが、制御部では選択したカメラに応じて映像入力基板の種類を選択するだけで良く、処理基板はどちらのカメラであるかをソフトウェアで自動認識する仕組みとなっている。DSSSのように高い位置精度が要求されるシステムにおいては、高解像度カメラを用い、それ以外の信号制御や情報提供を目的とするシステムには安価なNTSCカメラを用いることができる。

6-1 処理基板 今回製品化を行ったのは、路側に

設置する交通流計測用の画像センサと DSSS 用の画像センサであるが、当社の画像センサはこれら以外にも様々なものがある。例えば、トンネル内の停止・低速車等の通常と異なる突発的な事象を検出するものや、高速道路を走行する車両の台数や平均速度を計測するものが挙げられる。これらは路上のカメラ映像を電気室等の屋内施設に伝送し、そこで集約的に画像処理を行うケースが多く、処理基板は架に多数取容される。加えて、近年では画像処理架に入力される映像は MPEG 方式で圧縮されている場合もあり、画像処理を行う前にデコード処理が必要である。このように、当社の画像センサの処理基板は、ハードウェア面において、基板の形状、表示 LED や調整時に接続する PC 用のコネクタの向きや位置、必要なデータ処理能力等について様々なタイプが必要となるが、従来はその都度専用の処理基板を開発し、開発費、開発期間を費やしてきた。

一方、プロセッサの進化は日進月歩であり、その他の電子部品についても近年では数年間で廃品となることもしばしばで、ハードウェアは一定期間後の設計変更は避けられない。また、屋内で画像処理する場合は、操作卓を含めたトータルコストの面から屋外対応の専用処理基板ではなく、市販 PC で手早くシステムを構築する場合もあり、従来はこのようなハードウェアの変更のたびに、ソフトウェアも変更して開発費・開発期間を費やすことになっていた。

これらのハードウェア面、ソフトウェア面両面の問題を解決するべく当社では ITS 機器共通プラットフォーム⁽²⁾を開発したが、今回の開発品においてもこれを適用し、開発費を抑制してスピーディに製品リリースを行った。

今回開発した処理基板は、前述の計測アルゴリズムを実装するため、当社従来比 3 倍以上のデータ処理能力を持たせている。

図 3 に今回開発した当社独自の処理基板の構成を示す。制御処理 CPU と画像処理 CPU を搭載し、両者は PCI バスで接続されており、MPEG 映像入力時等で必要となる高速なデータ転送が可能となっている。カメラ部から出力される NTSC 方式の映像、もしくはフル HD の映像は、AD 変換されて画像処理 CPU を経由して画像メモリへ転送される。画像処理 CPU が画像メモリ上の画像を画像処理し、

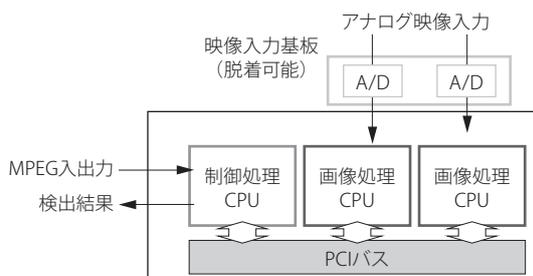


図3 処理基板構成

PCIバス経由で計測結果を制御処理CPUへ送信する。制御処理CPUは、用途に応じてパルス信号やシリアル信号、パケット信号等に変換してデータを外部へ送出する。

6-2 その他の特長 製品化に際しては、機能、性能の実現に加え機器コストも重要な要素となる。そこで、基板の部品実装密度を上げる等で徹底した基板の小型化設計を行い、従来比約 70 % 小型の汎用安価筐体を使用することで低コスト化を実現した。

路上に設置されるカメラ部は、都市景観性の観点、もしくは既存柱への追加設置といった工事の簡易性の観点から、小型軽量であることが望ましい。そこで、制御部と同様、内蔵基板の小型化設計を行うと共に、小型カメラを採用し、カメラ部の筐体サイズを従来比約 2/3 とした。

カメラは様々な用途及び設置位置に対応できるように NTSC カメラ、高解像度カメラいずれもズーム機能を有している。

カメラ部の前面ガラスには、くもり防止の目的でヒータを装備させた。一方で、ヒータによる発熱で筐体内部の温度が上昇しカメラ等のデバイスを痛めてしまう可能性がある。そこで、くもりが発生する可能性が低い一定以上の気温ではヒータをオフする機能を持たせた。

カメラ部のハウジングにも改良を加えた。画像処理による車両検出に悪影響を及ぼす要因として、朝日や西日のカメラへの入射、カメラ部の前面ガラスの汚れが挙げられる。これらを最小限に抑えるために、太陽光入射や風速のシミュレーション結果をもとに、太陽光入射を抑制し、前面ガラスへ当たる風量を抑制する当社独自のサブフードを開発し、一般的な日よけフードに加え、前面ガラスを局所的に覆うように実装した。真冬や降雪時等には、強い冷風が前面ガラスに当たることによりヒータの熱が逃げ、くもり止めの効果が得られなくなる場合があるが、このサブフードはこれに対しても効果がある。

7. 評価結果

以上の開発をもとに今回製品化した画像センサについて、前述した映像データベースを用いた性能評価を行った。図 4 は NTSC カメラにおける交通流計測精度 (%) を示す。横軸は環境変動のあるシーンの番号を示し、縦軸は各シーンにおける平均精度を示す。図 5 は高解像度カメラにおける広範囲計測（カメラから 100m）時の位置誤差 (cm) を示し、横軸は図 4 と同様で縦軸はシーンごとの平均位置誤差を示す。

この結果より、時間帯や天候の変動に左右されることなく、高い交通流計測精度を実現できていることがわかる。

また、高解像度カメラを用いれば、計測エリアが広範囲の場合でも位置誤差平均は約 2.8m に抑えられ、外部環境の変動による位置誤差の最大値も仕様の範囲内で、実用上問題のない精度が実現できていることがわかる。

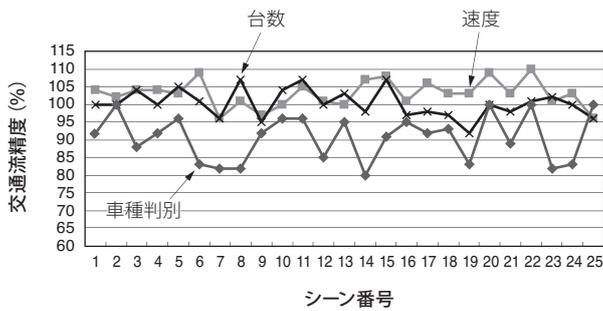


図4 NTSCカメラによる交通流計測精度

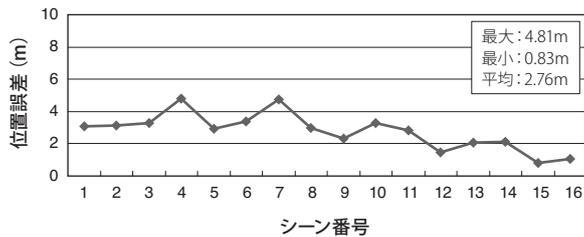


図5 高解像度カメラによる位置誤差

8. 結 言

従来の欠点を克服し、次世代のシステムに対応可能な新しい画像センサを開発し、製品化した。

ソフトウェア面では、環境変化に対して頑健な特徴を用いた新たな計測アルゴリズムを開発し、日照変化や影等による精度低下を低減させ、24時間365日安定した精度で動作することを実現した。

さらに、NTSCカメラだけでなく高解像度カメラにも対応することにより、広い計測範囲（カメラから100m）において高い位置精度を実現した。

その他ハードウェア面では、制御部に小型な筐体を使用することで低コスト化を実現し、カメラ部は従来比2/3の小型化を実現した。また、ガラスヒータや当社独自のサブフードの装備により西日やガラス汚れの対策を施した。専用処理基板は、当社独自のプラットフォームをベースに設計されており、機能・性能面でのスケラビリティを有する。

今後、環境や安全への関心が一層高まれば、インフラセンサに求められる機能は増え、より高い性能が必要となることが予想される。そのような要求に対し、本センサはハードウェア・ソフトウェア両面から柔軟に対応することができる。

9. 謝 辞

本センサを開発ならびに製品化するにあたり、ご協力頂きました全ての関係各位に対し、深く感謝の意を表します。

用語集

※1 NTSC

National Television Standards Committee（全米テレビジョン放送方式標準化委員会）：同委員会が策定したコンポジット映像信号とそのテレビジョン放送の方式を指して使われることが多く、日本のアナログ放送も、NTSCを採用している。

※2 フルHD

Full High Definition：1920×1080ピクセルの画面解像度のこと。また、デジタルテレビ放送の映像信号のうち、最も解像度の高い走査線が1080本の方式をフルHDと呼ぶ。

参 考 文 献

- (1) S. Kaneko, I. Murase and S. Igarashi, "Robust image registration by increment sign correlation," Pattern Recognition 35, 2223-2234 (2002)
- (2) 加藤武彦、川崎紀一、山本英典、田中佳代、日根野谷俊男、「ITS機器共通プラットフォームの開発」、SEIテクニカルレビュー第171号、pp.21-26 (July 2007)

執 筆 者

山本 英典*：システム事業部 主査
画像処理を用いた交通センサの開発に従事



加藤 武彦：システム事業部 主査

谷 英哲：住友電工システムソリューション(株) システム開発事業部

是枝 義輝：住友電工システムソリューション(株) システム開発事業部

立木佳那栄：住友電工システムソリューション(株) 交通機器開発事業部

田中 佳代：システム事業部 主席

長野 洋：システム事業部 主席

*主執筆者