

日本道路公団向け後尾警戒システム

Rear Surveillance System for Japan Highway Public Corporation

林 武史

HAYASHI Takeshi

関口 眞吾

SEKIGUCHI Shingo

小野口 一則

ONOGUCHI Kazunori

高速道路上の道路維持作業は、車載標識により後続の一般車に注意喚起を促しながら実施されているが、それでも道路維持作業車に対する一般車の追突事故が発生している。

P-MAC(Protection system of Maintenance vehicle Against Collision)は、日本道路公団が開発を進めている後尾警戒車である。これまでの追突緩衝装置や発光ダイオード(LED)標識による安全対策に加え、道路維持作業車に一般車が追突する事故を防止することが目的である。

P-MAC は、センサとして2台のCCD(電荷結合素子)カメラとミリ波レーダを搭載し、各々の特長を生かしたデータ統合処理を行うことで、実用的な追突判定が行えるように工夫されている。

Maintenance work on highways is carried out using special types of maintenance vehicles. Although these vehicles are equipped with signboards to warn following traffic, accidents do occur due to rear-end collisions.

P-MAC (Protection system of Maintenance vehicle Against Collision) is a rear surveillance system that is being developed by the Japan Highway Public Corporation. The purpose of P-MAC is to prevent any such traffic accidents as an additional measure to the large bumper and LED signboard that are presently employed. P-MAC consists of two CCD cameras and a millimeter-wave radar as a sensor. While these two devices have different features, the output data are integrated so that the advantages of each device can serve for practical detection of danger.

This paper mainly describes the part of the P-MAC system developed by Toshiba.

1 まえがき

道路清掃、レーンマーク塗装などに代表される高速道路上の道路維持作業は、作業車の車載標識あるいは標識車を従えて、後続の一般車に注意喚起しながら実施されている。現在、道路維持作業車に対する一般車の追突事故が発生していること、今後の高速道路の走行速度の高速化に伴う類似事故の増加が予想されることから、これまでの追突緩衝装置やLED標識での事故対策の安全対策に加え、抜本的な対策が必要になっている。

日本道路公団では、道路維持作業車(又は標識車)にセンサ機器や運転補助装置を付加し、①後方からの異常接近車両への注意喚起、②作業車運転者に対しての衝突事前予告、を行うことにより運転者の負担軽減を可能にするP-MAC実験車(以下、P-MACと略記)の開発に着手している⁽¹⁾。

当社は、日本道路公団からの研究委託を受けた(財)日本自動車研究所からの発注で、複数の企業と共同で開発を行っている。以下、当社の担当部分を中心に、P-MACについて述べる。

2 装置構成

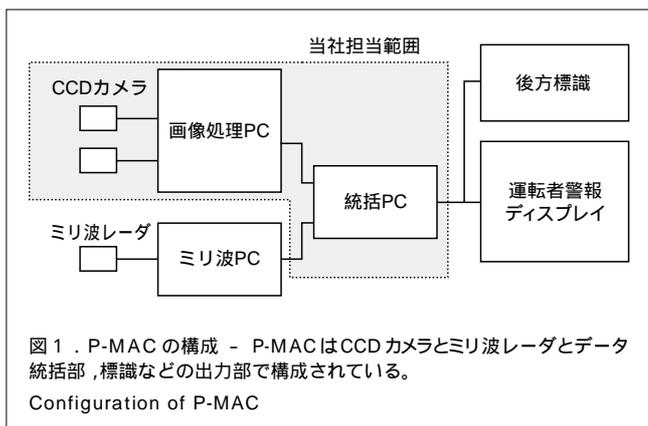
P-MACには、CCDカメラとミリ波レーダという二つのセンサを搭載している。そして各々のセンサの特長を生かしてデータを統合し、後方から接近してくる車両がP-MACに追突する危険度を判定して、P-MACと接近車のドライバーに適切な警報を発する。その構成はトラックに搭載した次の装置から成る(図1)。

- (1) CCDカメラとデータ処理用パソコン(PC) 画像処理PC)
- (2) ミリ波レーダとデータ処理用PC(ミリ波PC)
- (3) 各センサの検出結果を統合して、追突判定を行うPC(統括PC)
- (4) 追突判定結果をP-MAC運転者と接近車のドライバーに伝える運転者警報ディスプレイ、後方標識

このうち、当社の担当範囲は、後方画像処理部(CCDカメラと画像処理PC)と統括部^(注1)(統括PC)である。

画像による測定では、後方から接近してくる車両のみならず、白線など周囲を含めた全体の情報を得られるという特長がある。白線を認識して、接近してくる車両が同一車線を走

(注1) 統括部のアルゴリズムは、(財)日本自動車研究所と共同開発。



行してくるものなのか、他車線を走行してくる車両なのか、ということがわかる。

一方、ミリ波レーダによる測定は、100 m程度の遠方からの測定が可能で、かつ縦方向(自車と接近車との距離と相対速度)の分解能に優れている。

これらの特長を生かし、遠方から接近してくる車両についてはミリ波レーダの測定値を用い、衝突の危険性が増しても相変わらず接近してくる車両は、追突する危険性が高い車両を画像データから抽出して追突判定を行うようになっている。

判定結果は、P-MAC運転者に対しては運転者警報ディスプレイで、一般車の運転者に対しては後方標識により通知する。

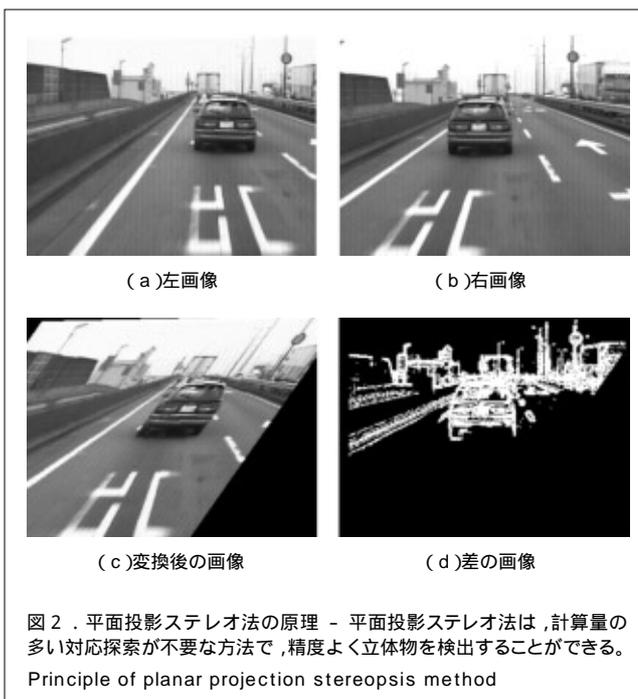
3 画像データによる処理

3.1 平面投影ステレオ法⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

画像による後方からの接近車の検出には、「平面投影ステレオ法」を採用している(図2)。

二次元の画像から三次元空間に存在する障害物を検出するためには、カメラを2台並べたステレオ視が有効である。一般的に、ステレオ視とは二つのカメラで図2の上段(a)(b)のような2枚の画像を取得し、同じ点を左右画像間で対応づけ、三角測量の要領で三次元位置を計算する技術である。1枚の画像では基本的に、道路路上に描かれた模様か、障害物かを判別できないのに対し、ステレオ視を用いれば両者を区別することができる。しかし、一般的なステレオ視には左右画像間で対応点を見つける「対応探索」の計算量が非常に多いという問題がある。また、図2(a)(b)に示すステレオ画像は晴れた日の昼間の画像なので比較的クリアであるが、雨天や夜間において対応点を正しく求めることは極めて困難である。

対応探索を行うことなく、直接的に障害物を検出する方式が平面投影ステレオ法である。図2(a)(b)に示すステレオ画像の内のどちらか一方の画像、例えば画像(b)を基準画像とする。もう一方の画像、つまり画像(a)を、画像上の点が道



路面上に存在する(道路面に対する高さが0)と仮定し、基準画像の視点から見た画像に変換する。(c)が変換後の画像である。この変換画像と基準画像を比較すると、道路に対応する部分(例えば「出口」と書いてある部分)は同一になるのに対し、障害物領域(例えば先行車)には道路からの高さに応じたズレが生じる。この性質を利用し、基準画像と変換画像の差分を取る(2枚の画像の違う部分を抽出する)ことで、(d)の画像で示すような、道路面に対して高さのある領域、すなわち、障害物領域を検出することができる。

平面投影ステレオ法において必要となる処理は、どちらか一方の画像の変換と、2枚の画像間の差分だけであり、ステレオ画像間の対応探索は不要である。したがって、大がかりな装置を搭載することができない車載装置用に適している。

図2では、車両の前方を撮影した画像で原理を説明したが、P-MACではこの方法を後方の画像に応用した。

3.2 P-MACへの適用

平面投影ステレオ法をITS(高度道路交通システム)に適用する場合、これまで運転席などに前方を向けてカメラを取り付け、先行車との距離を測定することで自動的に速度を調整し車間距離を維持するACC(Advanced Cruise Control)などに利用することを想定して開発されてきた。この場合は、車両が白線の中を走行するので、画像の中から白線を検出して白線で囲まれた領域内にある立体物(車両)を検出し、距離を測定するようになっている。

P-MACはこれと異なり、必ずしも車線内を走行するとは限らない。例えば、路面清掃車の場合は、路肩を走行したり、中央分離帯に接するように走行したりする。そこで、道路の

状態(直線,カーブなど)に応じてP-MACに衝突する可能性のある領域を設定し,その中を走行してくる車両について追突判定を行うように工夫した。

4 追突判定

4.1 追突判定の基本的な考え方

一般の運転者が前方にP-MACを発見した場合の回避行動は,操舵(そうだ)により車線変更をする場合と制動により減速する場合に分類される。そこで,各回避行動ごとに走行速度(この場合はP-MACとの相対速度)と回避可能距離の関係を研究した文献データ⁵⁾を基に,追突判定曲線を作成した(図3)。文献データは限界領域を示すものなので,実用的な判定基準とするために,これに回避行動に移るまでの応答時間や安全に回避するための余裕時間を加味して,判定領域を4段階(I~IV)に分類した。

領域 I(安全領域) 制動でも操舵でも安全に回避できる領域

領域 II(注意領域) 操舵によれば安全に回避可能だが,制動では追突する可能性がある領域

領域 III(危険領域) 操舵による回避でも追突の可能性のある領域

領域 (衝突領域) 追突を回避できない領域
検出した,後方からの接近車の接近速度とP-MACとの車間距離を基に追突判定曲線上でプロットし,そのデータが属する領域番号に応じて追突判定を行い,その危険レベルに応じて後続車及び作業車両運転者に対して警報を発する。

具体的なセンサの使い分けは以下のとおりである。

4.2 画像処理の測定データによる追突判定

近傍は横方向の分解能が高いという画像データの特長を

利用して,P-MACに衝突する可能性が高いものだけを抽出し,その車両に対してミリ波データも加味して図3の追突判定曲線により追突判定を行う。これにより,隣接車線を走行している車両に反応して誤判定をするのを回避する。

4.3 ミリ波レーダの測定データによる追突判定

遠方は縦方向の測定可能距離が長く,精度が高いというミリ波レーダの特長を利用して,図3の追突判定曲線により追突判定を行う。

5 処理結果例

5.1 画像データによる処理結果例

実際の作業車(路面清掃車)にカメラを取り付けて収集した画像の処理例を図4,図5に示す。

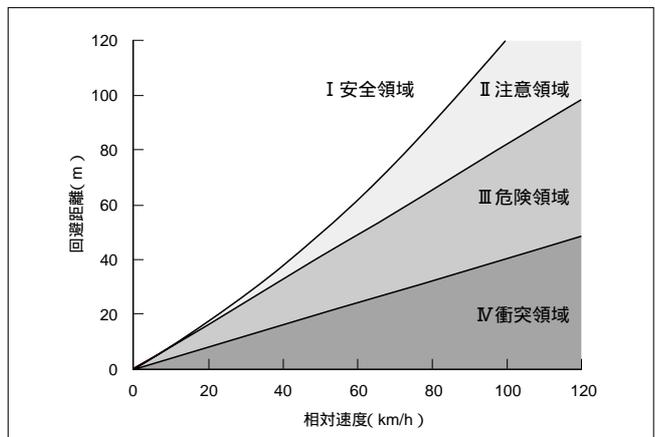


図3 追突判定曲線 - 文献データを基に,回避行動に移るまでの応答時間や安全に回避するための余裕時間を加味した。
Collision judgment curve



図4は追越車線の中央分離帯脇を走行している場合で、図5は走行車線側路肩を走行している場合である。

それぞれに、道路の状態(直線,カーブなど)に応じてP-MACに衝突する可能性のある領域を設定し,その領域内に進入した車両のみを検出し,検出したことを横線(画像では前面バンパ下部に表示されている)で表示している。

5.2 統合処理後の結果表示例

統合処理後の結果表示例を図6に示す。各センサの測定結果を入力し,統合処理をした後の後続車の相対位置を追突判定曲線上に黒丸(●)でプロットしている。この位置は,後続車の挙動により下図のマップ上を時々刻々移動し,追突判定はプロットされた位置に応じてリアルタイムで行われる。

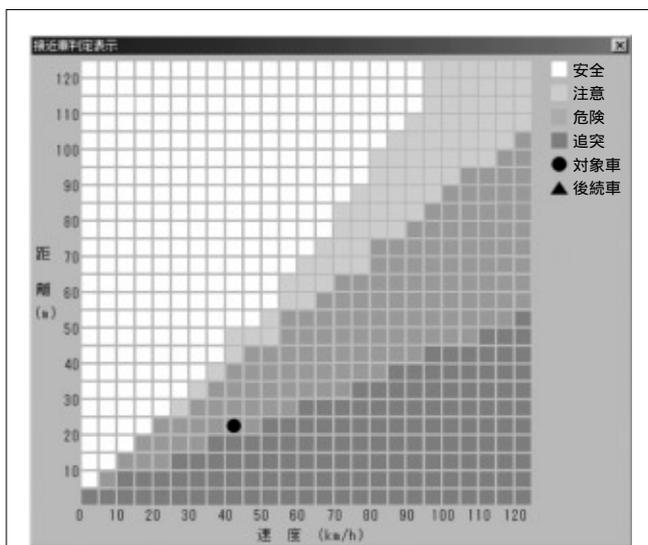


図6．統合処理結果例 - 統括PCの画面では,統合されたデータが追突判定曲線上に示される。

Example of integrated result

6 あとがき

カメラの画像を平面投影ステレオ法で処理したデータとミリ波レーダのデータを統合処理して,“遠方から検知”して

“近傍は精度よく”追突判定を行う実験装置を開発した。

今後は,実用化に向けたフィールド試験により,環境に対する画像処理アルゴリズムの改良など,実用化に向けた改良を行っていく。

また,現状では開発のスピードアップに重点を置いているため機能ブロックごとにPCを配置した構成になっているが,今後,耐環境性や装置の大きさを考慮して,実用化に向けての検討も行っていく所存である。

文 献

- (1) Noda, S., et.al. "Sensing and warning system of highway maintenance vehicle against collision - Protection System of Maintenance Vehicle Against Collision(P-MAC)". In The 18th Sensor Symposium. 2001, p.359 - 362.
- (2) 小野口一則,ほか.平面投影ステレオ法を用いた道路領域抽出.情報処理学会コンピュータビジョン研究会.93,7,1995-03,p.61-68.
- (3) Onoguchi, K., et.al. "Planar projection stereopsis method for road extraction". In Proc.IROS. 1995, p.249 - 256.
- (4) Hattori, H., et.al. "Stereo without Depth Search and Metric Calibration". In Proc. CVPR. 2000.
- (5) エリック ルンドゥグレン,ほか.障害物回避におけるドライバ支援システムに関する研究 その1:回避操作に関するシミュレーション検討.自動車研究.21,2,1999-02,p.20-23.



林 武史 HAYASHI Takeshi

e-ソリューション社 ITS・自動車事業統括部 テレマティクス・ソリューション事業推進担当主務。画像処理を応用した装置の開発に従事。

ITS & Automotive Business Planning Div.



関口 眞吾 SEKIGUCHI Shingo

e-ソリューション社 ITS・自動車事業統括部 テレマティクス・ソリューション事業推進担当参事。車載画像処理事業関連に従事。電気学会,計測自動制御学会会員。

ITS & Automotive Business Planning Div.



小野口 一則 ONOGUCHI Kazunori, Ph.D.

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員,情報科学博士。画像処理・画像認識関連の研究・開発に従事。電子情報通信学会,日本ロボット学会会員。

Multimedia Lab.