

## S7-3-1 多地点ステレオビジョンセンサによる踏切安全管理システム

[電]	○依田	育士	((独)産業技術総合研究所)
	細谷	大輔	((独)筑波大学)
[電]	坂上	勝彦	((独)産業技術総合研究所)
[電]	杉山	実	(東京急行電鉄(株))
[土]	太田	雅文	(東京急行電鉄(株))

Multi-point Stereo Vision Sensor System for Controlling Safety at Railroad Crossing  
Ikushi Yoda, Member (National Advanced Institute of Science and Technology)  
Daisuke Hosotani, Non-member (University of Tsukuba)  
Katsuhiko Sakaue, Member (National Advanced Institute of Science and Technology)  
Minoru Sugiyama, Member (Tokyu Corporation)  
Masafumi Ohta, Member (Tokyu Corporation)

Dozens of people are killed every year at railroad crossings, a situation that requires urgent action by railroad companies, especially in major cities. We are therefore developing a ubiquitous stereo vision based system for ensuring safety at railroad crossings. In this system, stereo cameras are installed at four corners and are pointed toward the center of the railroad crossing to monitor the passage of people. The system determines automatically and in real-time whether anyone or anything is inside the railroad crossing, and whether anyone remains in the crossing. The system can be configured to automatically switch over to a surveillance monitor or automatically connect to an emergency brake system in the event of trouble.

キーワード：踏切内安全管理，踏切事故，ステレオビジョン，人の監視

Keyword: Controlling safety at railroad crossing, accident of railroad crossing, stereo vision, monitoring people.

### 1. はじめに

近年，社会生活の複雑化に伴い，セイフティ・セキュリティサービスを自動化する技術のニーズは高まっている。そこで我々は，複数のステレオカメラを用いて，空間を3次的に詳細に把握し柔軟な処理が行える，人の認識技術を研究している。

この技術の適用例として，鉄道の踏切における自動監視を挙げる。踏切内障害物検知システムの研究として，1台のステレオカメラを使用した研究<sup>2)</sup>が始まっている。しかしこれは，複数ステレオカメラ間の協調などは考慮していない。

既存の踏切安全管理のためのセンシング技術としては，ループコイルを用いた電磁気方式や赤外線を用いた光電方式といったものが挙げられる<sup>3)</sup>。しかし，これらは対象物がある程度大きくなくては検知ができず，人の検知に対しては有効ではない。また，分解能が低いため，存在を検知できても，状況変化の把握には不向きである。また，踏切障害における死亡者の6割は歩行者となっている<sup>4)</sup>。これらを踏まえて，踏切にステレオビジョンによるセンシング

を導入し，人の存在を漏らさず検知し，また状況に応じた柔軟な処理を行うことを目標とする。

具体的には，ステレオカメラを踏切脇から中央を囲むように並べ，踏切を通過する人々の状況を監視し，危険な行動を取っている人がいないか，電車の通過する直前に人が存在していないかを把握する。この概念図を図1に示した。

以降，2章ではUSV<sup>5)</sup>(ユビキタスステレオビジョン)について，3章ではUSVの距離情報を利用して人や物を識別する手法について述べる。4章では実際に踏切で撮影したデータを使って実験を行い，5章ではその分析を行う。6章ではまとめと今後の研究について述べる。

### 2. ユビキタスステレオビジョン

踏切のように，天候・影・明るさの変化が激しい屋外環境や，休日の繁華街のような混雑状況下では，動差分ベースの画像処理による人物識別は困難である。そこで，USVを利用してこの問題の解決を図る。USVとは，多地点に配置されたステレオカメラからの距離情報とカラー画像情報に基づき，複数人の存在や，その個人の識別などを行

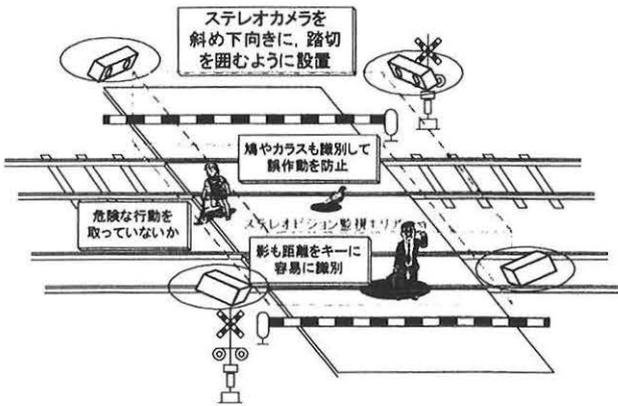


図1 USVによる踏切内安全管理

うシステムである。本研究ではその最大の特徴である、実環境からリアルタイムで得られる距離情報を利用して、踏切内における安全管理の実現を試みる。なお、ここで扱う距離情報とは、ステレオカメラからの距離情報を適宜変換し、3次元の再構成を行った情報のことである。

### 3. 3次元距離からの人物位置特定手法

#### 3.1 3次元距離情報の取得

ステレオカメラは、踏切脇の電柱などを利用し、監視エリアを斜めに見おろすよう多数設置する。

ここでカメラから得られる3次元座標系は、カメラの視界の中央が原点である。そして、カメラのレンズ表面(カメラ面)に平行な面がXY平面となり、カメラ面からのびる光軸がZ軸となる。この系での3次元座標点を(X, Y, Z)とする。この座標系は個々のカメラ毎に変わってくるので、統合処理するには実際の踏切内空間の座標系に変換する方が容易である。そこで、(1)のアフィン変換式を用いて(X, Y, Z)を新たな系での座標点(x, y, z)に変換する。a~i, t<sub>x</sub>~t<sub>z</sub>はあらかじめカメラの設置位置を測定して得た回転・平行移動のアフィン変換行列パラメータである。

$$[xyz1] = [XYZ1] \begin{bmatrix} a & b & c & 0 \\ d & e & f & 0 \\ g & h & i & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{bmatrix} \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} \neq 0 \quad (1)$$

#### 3.2 引き出し法による階層的射影

得られた距離情報から対象人物の頭部を探す。そのためにまず、得られた距離情報を基に、空間内の点列をz軸に沿って高さ別に地平面に投影し、n枚の2値の射影図P<sub>n</sub>を作成する。この射影図をプレーンと呼ぶ。空間の3次元座標点を(x, y, z)とし、射影されるプレーンP<sub>n</sub>の2次元座標点を(X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>)とする。また、aをプレーン段数、dをプレーン間の距離、hを検出する最低高度とすると、P<sub>n</sub>は(2)式より求める。プレーンは等間隔に置かれる。

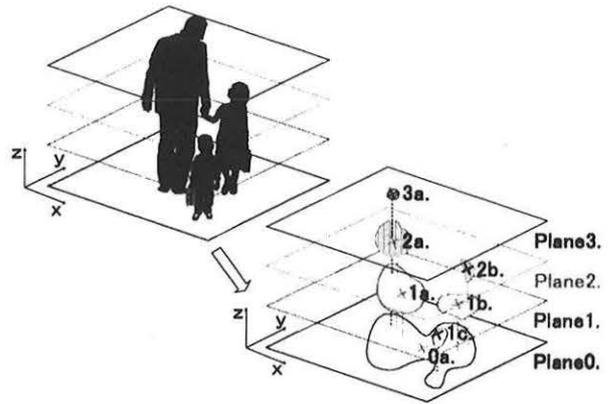


図2 人物位置特定の例

$$\begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \begin{cases} h + (a-1)d \leq z \leq h + ad & n=a \\ \vdots & \vdots \\ h + d \leq z \leq h + ad, & n=1 \\ h \leq z \leq h + ad, & n=0 \end{cases} \quad (2)$$

#### 3.3 モルフォロジーによる2値画像処理

各プレーンに対してモルフォロジー処理を行い、余計なノイズや、頭頂部同士の近接によるプレーン上での融合を除去する。人の頭頂部の大きさを構造要素とした opening 処理<sup>9)</sup>を行うことで、ノイズを除去するとともに融合を分離できる。最後にこれらの結果に対してプレーン単位のラベリング処理を行う。

#### 3.4 対象位置の特定(プレーン間情報の統合)

プレーン間の情報を統合し、個々の対象の頂点を求める。各プレーン単位でラベリングされたマップをL<sub>m</sub>とする。また、各プレーンに対応する、ラベル領域の重心群の行列をC<sub>n</sub>とする。重心には、所属するラベルに対応するインデックスが付けられている。前述のようにaはプレーンの段数を意味する。これに以下のアルゴリズムを適用する。

for n = a; n ≥ 0; n = n - 1 do

for m = a; m > n; m = m - 1 do

i = 0

while L<sub>m</sub>にはiというラベルの貼られた領域が存在する.

if L<sub>m</sub>において、C<sub>m</sub>のインデックスiのxy座標はjとしてラベリングされている(jは任意).

then C<sub>n</sub>のインデックスjの座標は頭頂部座標ではない.

i = i + 1

end

end

end

処理後、C<sub>n</sub>に残った有効な点が各対象の頭頂部である。

図2右下に処理例を示す。これは、シーンを4段のプレーンで処理した例である。処理はプレーンの上部から下部に向かって行われる。プレーン3で重心3a(大人の頭頂部)が、プレーン2では2b(子供の頭頂部)が、プレーン1では1c(幼児の頭頂部)が特定される。

表 1 自由が丘駅横踏切内監視実験概要

日程	2004年6月4日(金)~7日(月)
時間	午前6時~翌午前1時 始発~終電までの全時間帯
天候	晴れ・曇り・雨
カメラ配置	ステレオカメラ4台を踏切を囲むように配置
撮影データ	電車の通過直後に合わせ80秒×245本
フレームレート	15frame/sec
カラー画像	512×384画素
3次元再構成	320×240点の解像度で計算

#### 4. 踏切内監視実験

表1に東京急行電鉄自由が丘駅横踏切における踏切内監視実験の概要を示した。

自由が丘駅において、駅横の大井町線大井町方面踏切を囲むように4台のステレオカメラを配置し、始発から終電までの全時間帯において、実際に歩行者が通過する様子を撮影した。

#### 5. 認識結果の分析

##### 5.1 評価手法

本システムの精度に関して、特に安全管理の観点から人の位置特定のエラー率について分析をフレーム単位で行った。

ここでは、4で述べた自由が丘駅横踏切で4台のカメラを用いて採取したデータを使用した。そして、晴天のち曇天の日の午前6時~午前1時までの間の、一時間につき一本の計19本のデータを用いて分析を行った。各データは、電車が踏切を通過後、踏切が完全に上がってからの200フレームを対象とし、合計3800フレームに対し、フレーム単位で目視検査を行った。ここでの監視範囲は、各カメラから前方へ4.8m離れた地点を中心とする直径2.5mの領域とした。距離情報による人位置の特定に関し、全フレームにおいて、歩行者がいないのに存在が測定されることはなかった。以下に示すノーカウントとは、混雑時にフレーム単位で2人を1人に計測すること、もしくは歩行者がいるのに存在しないと計測すること意味する。一方、オーバーカウントとは1人を2人に計測することを意味している。

ここでは、以下の事項について評価した。

- ① 監視範囲内に存在する、人数の変化の影響
- ② カメラを設置する高度(カメラ1:3037mm, カメラ2:3396mm, カメラ3:3536mm, カメラ4:3828mm)の変化の影響
- ③ データ取得対象となるカメラ台数の変化の影響

図3, 4は、フレーム単位で映っている監視範囲内の人間に対してノーカウントとオーバーカウントがどの程度の

確率で発生するかを示している。なお、(1)~(5)は以下の要素変化を意味する。

- (1) カメラ1のデータのみを使用する。
- (2) カメラ2のデータのみを使用する。
- (3) カメラ3のデータのみを使用する。
- (4) カメラ4のデータのみを使用する。
- (5) 向かい合って設置されている、カメラ3とカメラ4のデータを使用する。

##### 5.2 考察

踏切内を斜めに見おろすように設置する形態において、図3, 4の結果から、人数計測を事例にした場合は、カメラを高く設置し、カメラ台数を増やす(5)のような設定が最も適切であった。

ノーカウントの主な発生原因は、二つ挙げられる。

- ① 人の密着によるプレーン内の射影領域の結合：  
これは、フレームあたりの人数が一定よりも多くなると、人々が密着するため、発生頻度が高くなる。
- ② カメラの設置高度の低さ：  
これにより次の二つの状況が発生する。  
一つめは、認識対象よりもカメラに近い場所に存在する歩行者による遮蔽である。これにより、対象を構成する距離情報が欠落し、認識されにくくなる。  
二つめは、対象物を構成するプレーン内射影領域の形状変化である。高度が低いカメラでは、対象の側面のみが撮影されることになる。その場合、射影領域の形状はU字に近いものとなり、モルフロジー処理の結果、消滅してしまう事がまれにある。これは、高度の高い(2)(4)および情報を補完し合って形状を円形に近づける(5)では発生しなかった。

一方、オーバーカウントの主な発生原因は、プレーンに射影される人形状によるものである。人の手や荷物が身体から一定以上離れると、距離情報で見たときに、頭部とは別の峰を作ることがある。システムはそれを別の対象として扱ってしまう。オーバーカウント発生率は対象の形状が詳細に検出されるほど大きくなる。よって、カメラ設置高度、もしくはカメラの台数に比例して大きくなる。

ノーカウントについては、カメラの設置方法を適切に行えば、歩行者がいるのに存在しないと計測する事態は避けることが可能である。融合に関しては、頂点だけでなく、それが属する射影領域全体に対して、危険領域への進入や踏切内での停止などの判定処理を行えばよい。一方、オーバーカウントは、あくまでも対象の分裂によって発生しており、危険領域の監視において、不要な警告が頻発するといった問題は少ないと予想される。これらのことより、本システムを使った踏切内安全管理は、十分に実用的であると考えられる。さらに、より高度な人数計測や動線監視な

ども、直前の位置・進行方向・移動速度を用いた位置の推定や、テクスチャによる探索などを併用すれば、高精度で実現可能と考えている。

## 6. まとめと今後の研究

ユビキタスステレオビジョンを利用して、踏切内安全管理を目的とした実環境における基礎実験を行い、そのデータ処理と評価実験を行った。

そのために、東急自由が丘駅横踏切では、実際に踏切内を行き交う人々の状況認識の実験を行った。そして、現実の踏切内を行き交う人々をフレーム単位で切り出し、人の存在そのものの検知が高精度で行われていることを確認した。

対象となる人物位置特定のためには、3次元距離情報を階層的に射影して利用する手法を提案した。これは、多峰点の探索問題を画像処理の問題に置き換えて扱うことで、ノイズの多い実データを実時間で処理することを想定している。この手法そのものは、距離点列から人を計測する手法として一般的に利用できるものと考えている。

踏切内の人計測問題については、現在のフレーム単位の処理で、ノーカウント・オーバーカウント発生率は、10%程度に過ぎない。よって、さらに時系列情報を加えることで、実動上問題のない精度が得られると考えている。

今後は実用化に向け、長期的に機器を設置することによる耐用性や誤作動リスクの確認実験が必要になる。それに併せて、位置特定アルゴリズムを改良するとともに、動線管理手法を確立させる。

## 参考文献

- 1) I. Yoda and K. Sakaue: "Concept of Ubiquitous Stereo Vision and Applications for Human Sensing", Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation CIRA2003, pp.1251-1257 (2003)
- 2) 柴山憲文, 塙圭二, 太田勝: 「踏切障害物検知用のステレオ画像装置の開発」, 第9回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.1-6 (2003)
- 3) JR 東日本: 「会社要覧」, <http://www.jreast.co.jp/youran/pdf/all.pdf> (2004)
- 4) 運輸省: 「事業者別運転事故件数及び死傷者数」, 平成6-10年度鉄道統計年報 (1994-2000)
- 5) I. Yoda, K. Sakaue, Y. Yamamoto, and D. Hosotani: "Human Body Sensing Using Multi-Point Stereo Cameras," Proceedings of International Conference on Pattern Recognition 2004, Vol.4, pp.1010-1015 (2004)
- 6) P. Soille: "Morphological Image Analysis: principles and applications 2<sup>nd</sup> ed," Springer-Verlag CO. (2003)

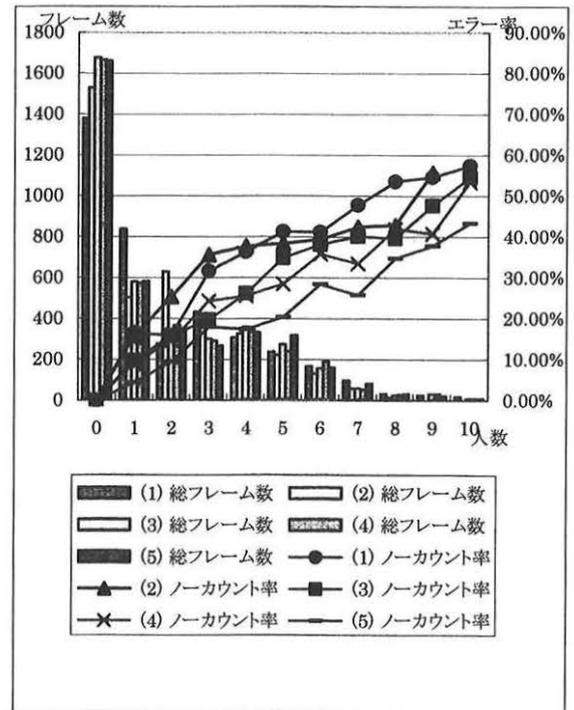


図3 エラー率の推移 (ノーカウント)

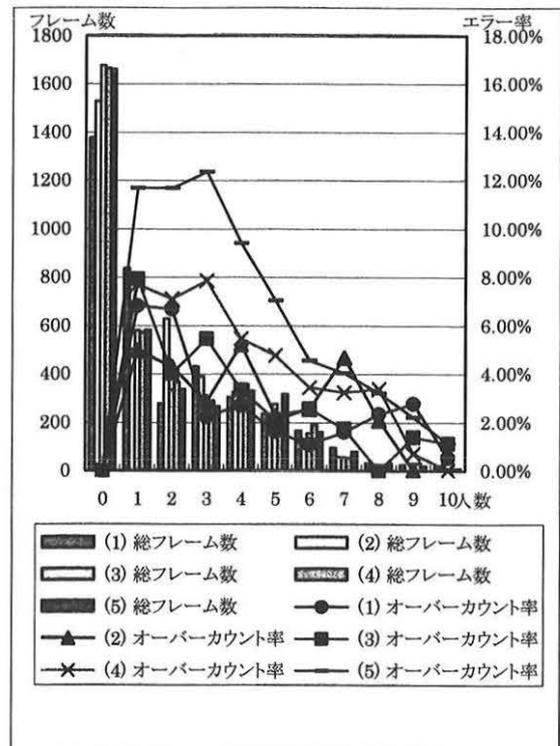


図4 エラー率の推移 (オーバーカウント)