

4. 画像認識・計測を用いた危険領域への侵入検出方法の検討

呂 健*, 深谷 潔**

4. Detection of Intrusion into the Dangerous Region by Image Recognition and Measurement

by Jian LU* and Kiyoshi FUKAYA**

Abstract: As mentioned in the previous papers of this report, one purpose of this specific research is to clarify the attention ability of the excavator driver by ergonomics methods. Another purpose is to propose and develop the automatic safety device as a safety support means for reducing the accident resulted from the human error of the driver. The intrusion detection device which detects the intrusion into the dangerous region in the working area of an excavator is such a kind of automatic safety device. This paper involves the detection method used in intrusion detection device for excavators.

Previously, some intrusion detection methods using various sensing devices such as infrared sensors, super-sonic sensors and laser sensors have been developed, but they have a number of problems difficult to be solved. In this paper, we study on intrusion detection by means of image recognition and image measurement. For the case that the intruders are nearby workers, the applicability of intrusion detection by means of image recognition was experimented and examined. As an example, intrusion detection by recognizing the color of the helmet was examined. For the case that the intruders are persons not limited to nearby workers (called general intrusion later), the intrusion detection method using the 3D measurement based on stereo vision is proposed.

Keywords; Intrusion detection, Image recognition, Color analysis, Stereo vision, 3D measurement

1. はじめに

本特別研究の課題には、運転者の注意力を人間工学的手段で解明することの他に、運転者のヒューマンエラーが原因となる事故を減らすために、補助安全手段としての自動安全装置の提案・開発も含まれている。機械の作動範囲の危険領域への侵入を検出し運転者に警告したり掘削機を自動停止する装置はこのような自動安全装置の一つである。本章はこのような装置で用いる人間の侵入検出方法について論じるものである。

掘削機用侵入検出方法において、周辺作業員を対象としたものには、主に人体の放射赤外線センサ方式、超

音波センサ方式及びレーザセンサ方式が研究・開発されている^{1,2)}。Table 1 はこれらの方式の概要、長所短所をまとめたものである。これらの短所の克服に対し、画像識別方式は有望と指摘されているが、高価格であるため、市場性がないとも指摘されている²⁾。

しかし、画像認識方式に使われる CCD カメラやコンピュータなどはハードウェア技術の進歩により年々価格が下がり、ハードウェアのコスト面は問題にならなくなりつつある。ソフト面からアルゴリズムの開発、その有効性や使用範囲などの検証ができれば、ハードウェアコストの減少にともない、画像識別方式を利用した侵入検出装置の実用化が可能となる。

* 物理工学安全研究部 Physical Engineering Safety Research Division

** 機械システム安全研究部、境界領域研究グループ Mechanical and System Safety Research Division, Interdisciplinary Research Group

Table 1 Sensing methods for intrusion detection.
侵入検出用センシング方式

検出方式	概要	長所	短所
1. 人体の放射赤外線センサ方式	人体から放射される赤外線 (6.5~15 μ m) を検出する	<ul style="list-style-type: none"> ・ センサ入手が容易 ・ 装置構成が比較的簡単 ・ 夜間でも利用できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光で誤動作あり ・ 周囲温度により人体検出困難
2. 超音波センサ方式	掘削機の前・後部に装置された超音波装置の親機と人体に携帯した子機間で、超音波を利用して信号をお互いに発信することにより子機を携帯した人体を検出する	<ul style="list-style-type: none"> ・ センサ入手が容易 ・ 夜間でも利用できる ・ 安価 ・ 距離情報が得られる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風の影響による通信不良 ・ 作業員に子機が必要 ・ 子機の向きによる通信不良 ・ 複数子機の対処が必要
3. レーザセンサ方式	ライン形のレーザ光を放射し、作業員に取付けた反射シートからの反射波を検出する	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発射光が強い ・ 距離が取れる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発射光ビームが極めて小さい、装置及びスキヤン方式が複雑 ・ 人体に安全な波長を使用する必要 ・ 反射材 (衣服, シート) の開発が必要

ところで、画像認識式侵入検出装置はセキュリティの分野でも研究開発が行われている。しかし、セキュリティを目的とする画像式検出装置は、背景差分によって固定された場所を監視し、1秒間1回程度の間隔で検出処理を行っているが、この手法は掘削機のような高速に巡回したり、背景が複雑な画像には適用できない。

そこで、別の手法を検討した。具体的には、作業帽 (ヘルメット) の色を認識する方法での侵入検出を検討した。周辺作業員を対象として、この画像識別式侵入検出方法の実用性について実験を行い、検証した。これを本章の第2節に示す。

また、周辺作業員以外の者を対象とした侵入検出 (以下、一般侵入体検出と呼ぶ) については、特定の標識の着用を期待するのは現実的ではないので、本章第3節には立体視3D計測を用いた一般侵入体検出方法を提案した。

2. 作業員を対象とした侵入検出

2.1 画像のパターン認識の一般手法

画像認識は、パターン認識のいくつかの課題の中の、画像を入力情報とするタイプである^{3,4)}。一般的パターン認識課題と同じように、画像認識は、Fig. 1に示すように、学習Phaseと適用Phaseの2段階からなる。学習Phaseでは、認識しようとする対象物を含むサンプル画像から、対象物の特徴を抽出し、その対象物の標準パターンとして学習 (登録) する。適用Phaseでは、入力画像の特徴抽出を行ってから、Phase 1の学習で得られた標準パターンとのマッチング (照合) により画像認識を行う。画像に関する特徴としては画像

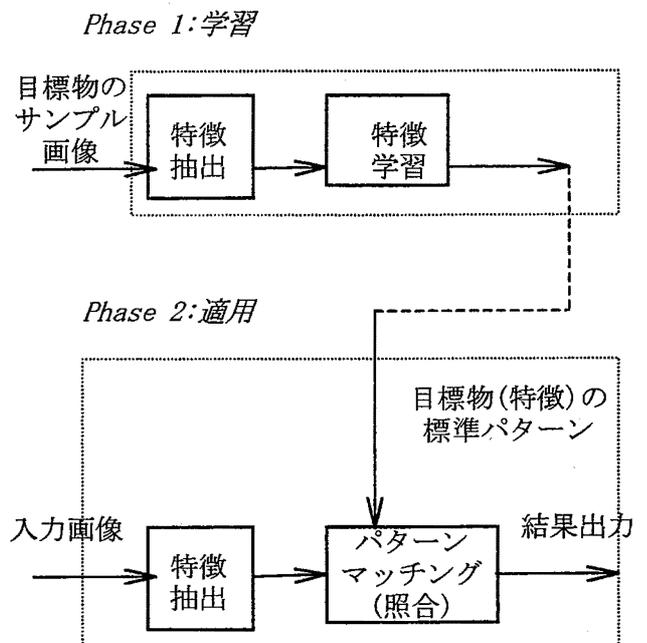


Fig. 1 Image pattern recognition.
画像のパターン認識

の内容及び認識方法によって異なるが、カラー、濃度及び形状などは良く使われる特徴である。

画像認識手法として、主にテンプレートマッチング法、シンタクティック方法、及び統計方法の3種類がある。テンプレートマッチングは、二進値テンプレート化した形状を目標物の特徴として、パターン学習照合を行う方法である。生産ラインの製品検査システムなど対象物の形状が固定している場合よく使われる。シンタクティック方法は目標物の構造的な解析を行い、その構成文法を対象物の特徴として、パターン学習照合を行う方法である。この方法は自動翻訳や文字認

識などの場合に、良く使われる。統計方法は数値で表現した特徴を用いて、対象物の特徴値空間で分類・認識を行う方法である。対象物の形状が複雑、構造の記述が困難な場合には、通常、統計方法を選択し、画素の濃淡・カラーなどもっとも基本的な特徴を利用する。

本研究において、作業員の検出を行う場合にも、目標物とする人体画像の形状が複雑な不定形物であり、テンプレート化や文法化での記述が困難であるため、統計方法で解決することを選択した。さらに、特徴としては、作業員が着用した作業帽の色、または着用させた標識の特定な色を利用した。

2.2 ヒストグラムと目標物の抽出

画像認識の統計方法において、ヒストグラムは重要な手段である。大きさ $M \times N$ の濃淡画像を $G = \{g(x, y) : x = 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1; g(x, y) \text{ は } (x, y) \text{ に位置する画素の濃淡値}\}$ とすると、 G のヒストグラム f_i は i (8 Bit で濃淡を表す場合では、 $i = 0, 1, \dots, 255$) の一次元関数であり、 G における各濃度値 i の頻度 (画素数) を表すものである。次の式で表現できる。

$$f_i = |\{g(x, y) : g(x, y) = i : \\ x = 0, 1, \dots, M-1 : \\ y = 0, 1, \dots, N-1\}|$$

ここで、集合の外側の記号 $|\cdot|$ は集合の大きさ、つまり集合に含む要素の数である。

背景が簡単で、照明が良い濃淡画像の場合、統計的に、同じ目標物に属する画素同士は同じ又は近似濃度を持ち、異なる目標物に属する画素は濃度値が違い又は濃度値の差が大きい。これを利用し、ヒストグラムに基づく、特定の目標物に属する画素の濃度分布の分析で、目標物領域の抽出ができる。しかし、照明変化や自然環境の濃淡画像においては、同じ目標物に対応する画素の間にも濃度値の分布範囲が大きい上に、異なる目標物に対応する画素も近似濃度値を持つこともある。このような単に画素の濃度値分布の解析で目標物の抽出が難しい場合、カラー特徴を利用した目標物の抽出が必要である。

カラー画像をコンピューターで処理するとき、主に RGB 方式と HIS 方式がある。RGB 方式は赤 R(Red)、緑 G(Green) 青、B(Blue) の三つの色でカラーを表し、画像の入力・出力装置の表示をそのまま使えるので、使いやすという利点があるが、RGB 値の間に相関があるため、特徴抽出にとって、不利な点もある。一方、HIS 方式は色相 H(Hue)、輝度 I(Intensity) と彩度 S(Saturation) でカラーを表し、入力・出力装置で直接使うものではないが、HIS 値の間に相関が低く、特徴

抽出しやすい面もある。

関連の低い HIS の 3 つの分量で表現するカラー画像は 3 つのバンドの濃淡画像に分割し、バンドごとに濃淡画像として、ヒストグラム方法が使え、バンドの特徴の組み合わせを利用し、自然環境の画像に対しても、目標物の抽出が可能である。

例えば、Fig. 2(a) のカラー画像に対し、Fig. 2(b) は作業帽上の画素の H バンド及び I バンドのヒストグラムを示している。Fig. 2(c) は空の部分画素の H バンド及び I バンドのヒストグラムを示している。Fig. 2(b) から、Fig. 2(a) の中の作業帽画素の色特徴として、 H 値及び I 値の範囲

$$H : (20, 41) \quad (1)$$

$$I : (120, 240) \quad (2)$$

が得られる。式 (1) と式 (2) を利用し、Fig. 2(a) の画像から、作業帽画素の抽出ができる。

2.3 作業帽の色識別による作業員侵入検出

2.3.1 検出方法

(1) 作業帽色特徴の学習

式 (1) と式 (2) は Fig. 2(a) のみから得られた作業帽画素の色特徴である。これに対し、より多くの場合に適用できる色特徴

$$H : (h_{\min}, h_{\max}) \quad (3)$$

$$I : (i_{\min}, i_{\max}) \quad (4)$$

を得るため、Fig. 1 の中の学習 Phase として、学習用サンプルを増加し、増加したサンプルに対する学習により、先に得られた標準パターンの特徴を逐次修正する。

k 番目のサンプル画像から学習した作業帽画素の色特徴を

$$H(k) : (h_{\min}(k), h_{\max}(k))$$

$$I(k) : (i_{\min}(k), i_{\max}(k))$$

とすると、それに対する学習が終わると、標準パターンの特徴は

$$H = \text{Union}(H(1), H(2), \dots, H(k)) \quad (5)$$

$$I = \text{Union}(I(1), I(2), \dots, I(k)) \quad (6)$$

になる。ここで、記号 $\text{Union}(\cdot)$ は集合のユニオン操作を表す。

(2) 面積 (画素数) 閾値の設置

学習サンプル数の増加にともない、式 (3) と (4) で学習した特徴をいろいろな入力画像へ適用するとき、

作業帽に対応する画素の抽出漏れの可能性は減少するが、作業帽以外部分の画素が作業帽画素として抽出する確率（誤検出率）が増加する。

そこで、実際に侵入検出を行うとき、ただ1つの画素が作業帽の色特徴（式（3）と式（4））に満足しても直ちに作業員侵入を検出したと判断することではなく、作業帽画素として抽出し、かつ、隣の作業帽画素同士が一定数（閾値）以上であるとき、はじめて作業帽を検出したと判断する。具体的な閾値は作業帽の色及び環境の明るさに依存するため、現場での学習による選択が必要である。

2.3.2 検証実験

作業帽の色識別による作業員侵入検出における実験システムの構成を Fig. 3 に示す。また画像認識判定装置の仕様は次の通りである。

- ・ パソコン：400 MHz PENTIUM II CPU を持つ Windows NT ワークステーション
- ・ 画像解析ソフト： Adcis 社の Aphelion 2.2

実験の手順として、まず、学習 Phase で、作業帽画素の色特徴を学習する。学習サンプルとして、A と B

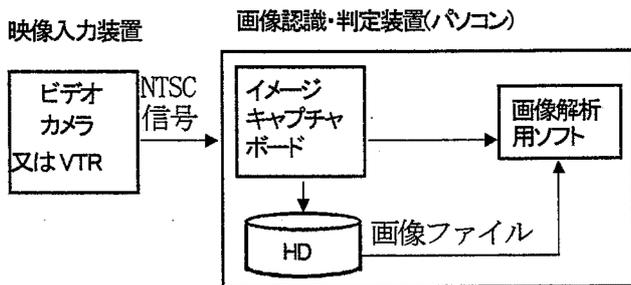


Fig. 3 An experiment system for detecting intrusion of workers.
作業員侵入検出用実験システムの構成

Table 2 Result of feature learning.
特徴学習の結果

Sample	H の範囲	I の範囲	背景
A 組	(17, 41)	(116, 190)	暗い
B 組	(16, 44)	(110, 192)	明るい
学習結果	(16, 44)	(110, 192)	—

Table 3 Results of helmet detection experiment.
作業帽検出実験の結果

検出された作業帽領域の面積		誤検出された領域の面積	
Max	Min	Max	Min
514	131	106	31

の2組8枚の画像を利用した。A組 (Fig. 4(a)) の画像は背景が相対的に暗い。一方、B組 (Fig. 5(a)) の画像は背景が明るい。学習の結果は Table 2 に示してある。

次に、適用 Phase で 60 枚の入力画像に対し、Table 2 で得られた標準特徴としての H 値と I 値の範囲を作業帽画素の抽出に適用できるかを検証した (Fig. 4(b), Fig. 5(b))。対象の入力画像の背景は、学習 Phase で使用した A と B の二組のいずれかと同様だが、撮影したとき、カメラと作業員との距離や作業員の顔向きなどの多様性が保証されるように注意した。実験結果は Table 3 に示している。

実験の結果として、Table 3 は次のことを示している：

- (1) 60 枚の入力画像から検出された作業帽領域の面積（画素数）の最小値と最大値は各々131 と 514 である。これは色による作業帽検出・認識において、作業帽領域の画素を一つも検出できない入力画像が存在しないことを意味する。
- (2) 誤検出された領域の面積は 31~106 である。この範囲は作業帽領域面積の最小値より小さいので、応用に当たっては、侵入検出用面積閾値はこの最大値 106 以上に設定すれば、誤検出された領域による侵入検出の判断が避けられる。

2.4 色識別方法の実用化に当たって

作業員侵入検出において、2.3 節に説明した実験を通し、色識別方法の侵入検出の有効性を検証した。本節は、その実用化について述べる。

(1) リアルタイム実行の可能性

色識別による作業員検出にかかる処理時間は主に次の2部分が占める：1) 入力画像の全画素を RGB 表示から HIS 表示へ変換 2) HIS 表示の全画素に対し、式（3）と（4）のような条件を満足する画素の抽出。2部分とも画素ベースの処理であり、画像のサイズ（画素数）に比例する計算量がかかる。400 MHz の Pentium II CPU を使うと、約 30 万の画素がある 640×480 の画像に対し、ビデオの 1 フレーム時間（33 ms）で、1 画素あたりの処理時間は約 40 クロックである。1) と 2) は複雑な処理ではないので、この 40 クロックには 1 画素分の 1) と 2) に対応する処理時間は十分に短く、リアルタイム実行が可能である。

(2) 環境に合せた標識色の選択

2.3 節の実験中において識別用の色として、黄色の作業帽を選択した。入力画像にこの色と類似した色は存在しないことが良い検出結果が得られたことの要因の一つである。反対の例として、白い作業帽を着用する

例を考察する。Fig. 6 は白い作業帽を着用するときの画像である。作業帽部分のヒストグラム解析を行うと、帽子部の色特徴は

$$H : (122, 160) \quad I : (215, 255)$$

である。しかし、空部分の色特徴は $H : (40, 128)$, $I : (250, 255)$ であり、作業帽の白色との区別は困難である。

一般に屋外環境での明るい物体や空などは白色と近似した H, I 値を有する場合が多いので、白色は標識色として使いにくい。特定の環境に対し、どんな色が標識として使えるのかは肉眼で判別できない場合が多いので、カラー画像解析ソフトを利用し、現場での解析をしながら、標識色を選定することが必要である。

(3) 学習の自動化

2.3 節に述べた実験の学習 phase では、各サンプル画像のヒストグラム解析に基づいて、式 (5) と式 (6) で識別色の特徴としての H, I の範囲を逐次修正した。実用に当たって、このような学習は現場環境でサンプルに対して行う必要がある。現場での学習を容易に実現するため、学習手段の自動化が望まれる。

3. 一般侵入体の検出及び 3D 計測

侵入者が周辺作業員以外の場合 (ここは一般侵入体と呼ぶ) の検出に当たっては、あらかじめ着用させた特別の標識が利用できないので、第 2 節の色による識別方法は利用できない。そのため、特定空間への侵入体の位置及び大きさに関する情報を計測し、安全制御部はこの情報に基づいて警報や停止等操作を行って作業の安全を守る方式について検討した。本節では、著者が提案した立体視 3 次元計測を実現するためのアルゴリズムと、その一般侵入体の検出・計測への適用方法について説明する。

3.1 立体視原理

立体視の基本的な原理は三角測量である⁵⁻⁷⁾。具体的に、異なる視点から同一の対象を観測しそれぞれの画像上への投影位置の違いから、対象の 3 次元位置情報を得ようとするものである。

立体視のもっともシンプルな構成は、焦点距離が等しいカメラ 2 台が、光軸がお互いに平行で、かつ各々の画像面が同一平面上に乗るように配置される場合である。

Fig. 7 に示したように、World 座標系 (X, Y, Z) と各々の画像における画像座標系を決めた時空間中にある点 $P(X, Y, Z)$ が、各々の画像上 (x_l, y_l) と (x_r, y_r) に投影されたとすれば、よく知られているように、以

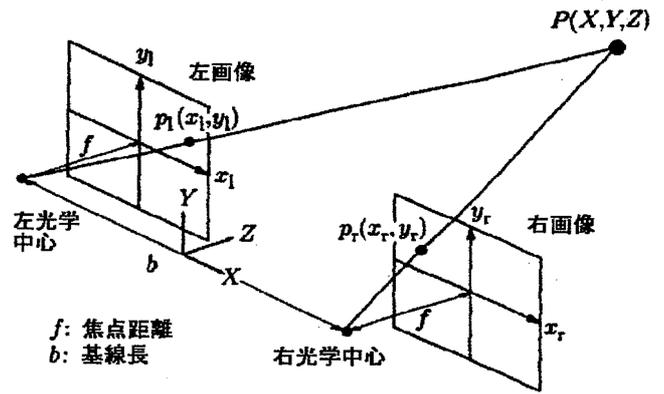


Fig. 7 Principle of stereo vision.
立体視原理

下の関係式が成立する。

$$X = \frac{b(x_l + x_r)}{2d} \quad (7)$$

$$Y = \frac{b(y_l + y_r)}{2d} \quad (8)$$

$$Z = \frac{bf}{d} \quad (9)$$

ただし、 f は焦点距離 (focal length), b は 基線長 (baseline), d は視差 (disparity) で、

$$d = x_l - x_r \quad (10)$$

である。従って、 f と b が既知のもとで、左右の画像上の投影座標から、もとの 3 次元位置 (X, Y, Z) が計算される。特に、奥行き Z は視差のみから決定される。

3.2 立体視に基づく 3D 計測

前節式 (10) で得られた視差値が画素として構成される画像は視差画像 (又は距離画像) という。視差画像の各画素から、その対応点の 3D 座標 (X, Y, Z) を式 (7) ~ (9) で求めることが可能だが、全画素の対応点の 3D 座標を求めるのは計算量が莫大となり、また、必要性もあまりないため、目標物ごとに対応する部分を分割・抽出し、抽出した部分のみに対する 3D 計測を行えば良い。このためのアルゴリズムを次のように提案する。

- (1) 左右の 2 台のカメラで異なる角度から同時撮影し各々エッジ画像^{3,4)}を計算する。左側のエッジ画像の画素 (x_l, y_l) に対し右側のエッジ画像の中から対応画素 (x_r, y_r) をテンプレートマッチングで探し出し視差 d を式 (10) で計算する。
- (2) 視差画像に対し、近傍の画素の間に、視差値の近いものを同一領域に属するような画像分割処理を行う。これは、同一目標物に対応する画素を同一領域へ分類するための処理である⁸⁾。

- (3) 上述 (2) で得られた領域に対し、凸領域分割を行う。距離の近い異なる目標物に対応する画素は (2) で同一領域に分類される可能性があるため、このステップは異なる目標物に対応する画素を異なる領域へ分類するための処理である。
- (4) 上述 (3) で得られた領域のなかに、面積がある閾値以上の各領域に対し各々の重心画素に対応する座標 (X, Y, Z) を求め、その領域に対応する目標物の位置の 3 次元計測値とする。領域境界の全画素に対応する (X, Y, Z) 座標から $\min\{X\}$, $\max\{X\}$, $\min\{Y\}$, $\max\{Y\}$, $\min\{Z\}$, $\max\{Z\}$ を求め、対応する目標物の X, Y, Z 座標の最大値と最小値とする。最後に $DX = \max\{X\} - \min\{X\}$, $DY = \max\{Y\} - \min\{Y\}$, $DZ = \max\{Z\} - \min\{Z\}$ を求め、領域に対応する目標物の大きさの 3 次元計測値とする。

3.3 3D 計測 による一般侵入体の検出

3.2 節の方法で特定空間に対し、一定程度以上の大きさのすべての物体の 3D 計測ができれば、一般侵入体の検出は簡単にできる。本節は簡単な例で説明する。

Fig. 8(b) は Fig. 8(a) の場合に、3.2 節の 1) で計算した視差画像である。(2) と (3) による分割の結果を Fig. 8(c) に示している。分割処理は視差画像に対して行ったが、分割処理の結果を示す時、目標物との対応関係が分かるように、Fig. 8(a) と同じ画像を用いた。4) で処理した結果として、人体部に対応する計測の結果は $(DZ, DY, DX) = (0.625, 1.535, 0.861)$ である。もし侵入体の大きさの閾値を、 $(0.2, 0.5, 0.5)$ に設定したとすると、この計測結果によって、侵入体を検出したと判断できる。また、 $DY = 1.535$ は人体の身長を測った値であり、約 10% の誤差があるが、侵入検出のためには、妥当な閾値を設定すれば、この誤差は問題にならない。

現段階では、実験装置の制限で、屋内環境のみで 3D 計測実験を行った。今後、屋外実験を行い、この立体視 3D 計測方法の有効性を十分に検証する必要があるが、下記の理由で、屋外環境の場合にも良い結果が期待できる。

- (1) 一般的に室内より明るいので、カメラの撮影効果が良い。
- (2) 前節 (1) に対応画素探し用のエッジについて、室内の床や壁のところにエッジがない部分が多いのに対し、室外の場合、エッジがない部分が少ないので、視差及び距離情報の信頼性が高く、それに基づく 3D 計測値の誤差も小さいと考えられる。また、2 節に説明した色識別方法と比べると、ここの

立体視 3D 計測の処理時間は長い。400 Mz の Pentium CPU での実験では、3.2 節の (1)~(4) を 1 回実行する時間は 0.15 秒である。これとビデオレートのリアルタイム実行に要求される 33 ms との差が大きい。しかし、近年の CPU 速度の増加率を考えると、2~3 年位に、この立体視 3D 計測方法はリアルタイム実行できる程度になるとと思われる。

4. おわりに

掘削機の自動安全装置用侵入検出のために、画像認識・計測を用いた方法を作業員の侵入検出と一般侵入体の 2 つの場合に分けてそれぞれ検討した。

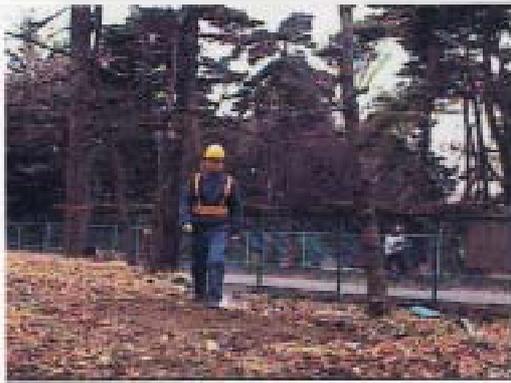
作業員の侵入検出においては、作業帽の色を用いた方法を実験で検証し、考察した。実験により、色抽出による検出方法の有効性を確認した。現場での実用化においては、実行速度は問題にならないが、標識色の選定及び特徴の学習は現場環境で行う必要があり、色特徴の自動学習方法及び関連ソフトウェアの開発は今後の課題になる。

一般侵入体の検出は周辺作業員の侵入検出より複雑な任務である。本章の後半には、立体視 3 次元計測を用いた侵入検出方法を提案し、室内環境の実験でその有効性を初歩的に検証した。今後、実作業現場での実験を通し、この立体視 3D 計測方法の有効性を十分に検証する必要がある。

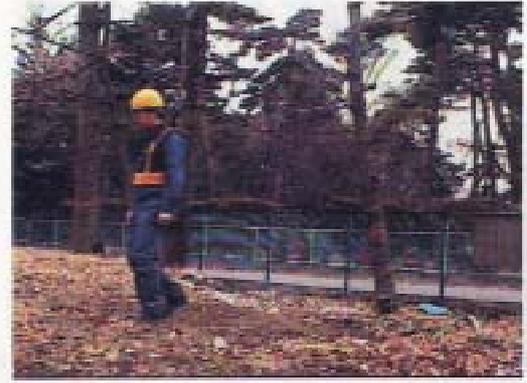
参考文献

- 1) 栗木作公, レーザレーダを用いた環境認識の研究, 第 15 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 201-202 (1997).
- 2) 建設業労働災害防止協会, 最近の建設機械の安全装置をめぐる現状と課題, 建設機械の安全性の確保に関する研修会 (1999).
- 3) D.H. Ballard etc., Computer Vision, Prentice-Hall Inc. (1982).
- 4) 高木幹雄・下田陽久, 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会 (1991).
- 5) 実吉敬二, ステレオ画像を用いた運転支援のための前方状況認識システム, 信学技報 PRMU97-30 (1997).
- 6) 奥富正敏, ステレオ視コンピュータービジョン, 新技術コミュニケーションズ, pp. 123-137 (1998).
- 7) 金出武雄, ビデオレートステレオマシンの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No. 2, pp. 261-267 (1997).
- 8) 呂健, 移動式施工ロボット用ロボットビジョンシステムの開発, 第 9 回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 706-709 (1999).

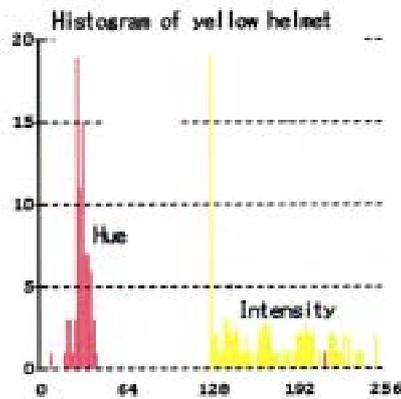
(平成 13 年 2 月 14 日受理)



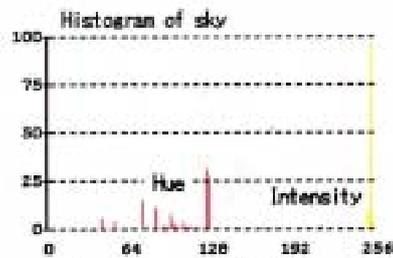
(a) original image
オリジナル画像



(a) input image
入力画像



(b) histogram of yellow helmet
黄色作業帽部分のヒストグラム



(c) histogram of sky
空部分のヒストグラム

Fig. 2 Object extraction using histogram.
ヒストグラムによる目標抽出



(b) result pixels (white pixels)
抽出した画素 (白い画素)

Fig. 4 Extracting pixels on the helmet: group A.
作業帽画素の抽出 — A組



(a) input image
入力画像



(b) result pixels (white pixels)
抽出した画素 (白い画素)

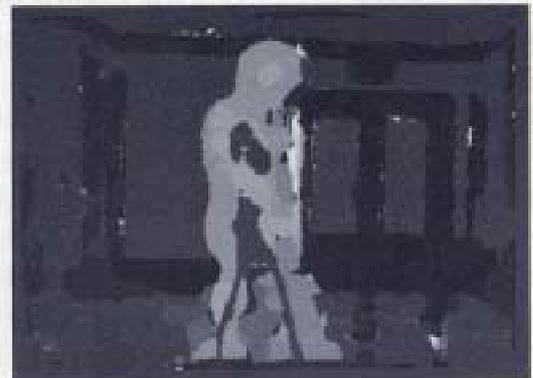
Fig. 5 Extracting pixels on the helmet: group B.
作業帽画素の抽出 — B 組



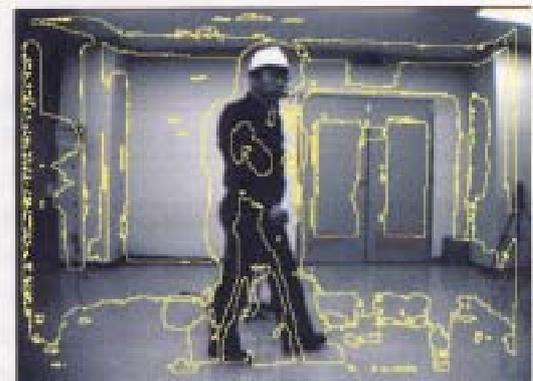
Fig. 6 Example of a white helmet.
白い作業帽の例



(a) scene image
景物画像



(b) disparity image
視差画像



(c) segmentation result of disparity image expressed
on scene image
景物画像上に表示した視差画像の分割結果

Fig. 8 3D measurement by stereo vision.
立体視による 3D 計測