

ステレオカメラを用いた近接者検知システムの構築

A Construction of Nearby Person Detection System using Stereo Camera

○高橋 遥平¹, 関 弘翔², 泉 隆²

*Yohei Takahashi¹, Hiroto Seki², Takashi Izumi²

Abstract: Heavy machinery has many blind spot, and difficult to confirm around safety. Therefore, a contact accident with a heavy machinery may occur. In this report, we studied the construction of nearby person detection system using a stereo camera for the purpose of preventing heavy machinery accidents.

1. まえがき

工事現場などでは多数の重機が使用されているが、重機には後方などに死角が多く、重機との接触事故が発生する可能性があり、周囲の安全確認は重要である。平成 26 年度において国土交通省直轄の工事現場における労働災害は 258 件発生しており、そのうち 35 件が重機事故である^[1]。そこで本研究では、重機事故防止の支援を目的として、ステレオカメラを用いた近接者検知システムを検討する。なお本研究では、重機から 1~5m の範囲にいる人を近接者とする。

本稿では、ステレオカメラを用いた近接者検知システムの構築を行ったため報告する。

2. 近接者検知システムの構成

本研究の近接者検知システムは、ステレオカメラを利用したカメラから人までの距離及び人の高さ推定と、人検出器を用いた人検知から構成する。これらを組み合わせることで、検出した人までの距離に応じた警告を行う、近接者検知システムを構築する。また、カメラを重機に設置する際、カメラの設置角度により人の足元が写らず人検知が行えないことや、カメラ水平時との距離情報の違いが生じるため、カメラの設置高さや設置角度に対する補正を行うシステムとする。

2.1. 人検出器を用いた人検知

人検知には、画像局所特徴量の HOG 特徴量^[2]を機械学習手法の SVM^[3]により学習して構築した、人検出器を用いる。HOG 特徴量は局所領域における輝度の勾配方向に着目した特徴量であり、照明の影響を受けにくく、局所的な幾何学変化に頑健である。SVM はパターン識別用の教師あり機械学習である。線形入力素子を利用し、学習データの中でクラス境界に近い

位置にあるデータ（サポートベクトル）を基準とし、そのマージンが最も大きくなるように 2 クラスの識別境界を設定する。HOG 特徴量と SVM によって構築した人検出器をカメラから撮影された動画像上でスライドさせ、人のみの検知を行う。

2.2. ステレオマッチングを用いた距離、高さ推定

距離及び高さ情報は、ステレオカメラを構成する左右のカメラから撮影された 2 枚 1 組の画像を用いて、ステレオマッチングにより画素のずれの量である視差を算出し、視差を基に三角測量の原理を利用して画素毎に推定する。本研究では、視差算出の手法として、SGBM 法^[4]を用いる。撮影された原画像、及び SGBM によって作成した視差画像を Figure 1 に示す。

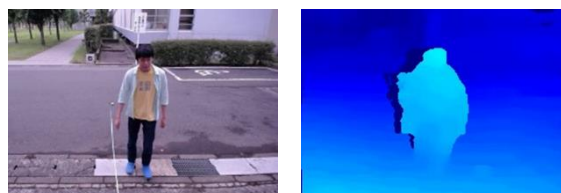


Figure 1. Disparity calculation (Left: Original image Right: Disparity image)

3. 重機に向けた近接者検知システム

3.1. カメラ設置角度に対する補正

重機向けのシステムでは、カメラを重機の運転席付近など、人よりも高い位置から見下ろす様に設置することになる。その場合、設置角度の影響でカメラ座標系とワールド座標系が一致せず、カメラから同距離に位置するものに対する視差が高さ方向でばらつき、人までの距離、及び高さの推定が正しく行えない。そのため、カメラ座標系における距離 Z [m]、高さ Y [m] を用いて、式(1)により設置角度 θ を考慮したワールド座標系における距離 Z' [m] を算出する。

$$Z' = Z \cos \theta + Y \sin \theta \quad (1)$$

1 : 日大理工・院 (前)・情報 2 : 日大理工・教員・情報

3.2. 設置角度を利用した地面部分算出

カメラの高さ、及び設置角度を決定することで、高さ推定より画像内のどの部分が地面かを算出できる。人は地面の上に存在すると仮定できるため、地面部分を基に人の高さを算出する。これを利用して、人検知結果を人の高さで絞り込み誤検知を抑制する。

3.3. パディングによる画像下端部分の補完

重機にカメラを設置する際の設置角度や高さ、用いるカメラの垂直画角等により、人の全身がカメラ画像内に収まらない可能性がある。本研究で用いた人の学習サンプルは、人と背景で構成されている。そのため人検出器により人を検知する際、人の頭や足元が画像内に全て写っていないなければならない。そこで、カメラから撮影された画像の下端部に対して、適当なサイズの画像をつなげ合わせる操作（パディング）を行う。パディングにより、人の頭や足元が画像内に写らない場合にも、パディングで補完した部分を考慮した人検知を行うことができ、人検知精度が向上する。

4. 近接者検知実験

構築した近接者検知システムを用いて近接者検知実験を行う。カメラから 1~5m の距離にいる近接者を検知できるか確認する。実験判定として、人を矩形で囲えた場合を正検知、それ以外の場合を誤検知とする。また正検知時において、人までの距離、及び人の高さ推定を行う。実験の条件を以下に示す。

使用カメラ：Logicool Webcam C930e(2台) 人の高さ：1.75m
 カメラの高さ：2m カメラの設置角度：26度
 画像サイズ：640×360pixel パディング：下方向40pixel
 実験環境：屋外 昼(晴天)

人検知の結果、及び距離、高さ推定結果、平均処理時間を Table 1 に示す。実距離 2m における近接検知結果例を Figure 2 に示す。

Table 1 より、カメラからの実距離が 1m の時における人検知結果は誤検知となった。これはカメラから撮影された近接者の全身がカメラ内に収まっておらず、画像の下端部も近接者の膝部分にあたるため、パディングによる補完でも対応できなかったと考える。実距離が 2m~5m の時における人検知結果は正検知となった。このとき、カメラからの実距離が 2m の時において、近接者の足元がカメラ内に収まっていないが、パディングによる補完を行うことで正検知となった。ま

Table 1. Nearby person detection result

Actual distance[m]	Human detection	Estimated distance [m]	Estimated height[m]
1	False detected	-	-
2	Detected	2.21	1.74
3	Detected	3.31	1.69
4	Detected	4.38	1.69
5	Detected	5.48	1.67
Average processing time [ms]		82.10	

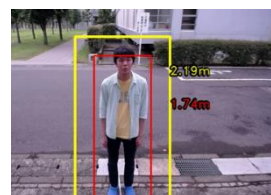


Figure 2. Example of nearby person detection with the distance 2m

た、推定した距離及び高さ情報について見ると、距離が長くなるにつれて実距離との誤差が大きくなり、実距離 5m において誤差 0.48m となった。これは、遠方になるほど、距離の違いが僅かな視差として現れることに起因すると考えられ、遠方の推定精度を高めるためには、より正確な視差算出が求められる。

5. まとめ

本稿では、近接者検知システムの構築を検討した。人検知には HOG 特徴量と SVM を用いた人検出器を、距離、高さ推定には SGBM により算出される視差を用い、それらを組み合わせた近接者検知システムの構築を行った。実験の結果、カメラから 2~5m の距離にいる近接者を検知できた。また、距離推定において距離が長くなるにつれて誤差が大きくなった。

今後の方針として、実距離 1m 付近における人検知、及び人検知精度の向上、また近接者までの距離、及び高さ推定精度の向上についての検討を行う。さらに、人検知後の近接者追跡についての検討も行う。

6. 参考文献

- [1] 国土交通省：「平成 26 年度の直轄工事における事故発生状況」, <https://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou.html>, 2017
- [2] H.Hirschmüller:“Stereo processing by semiglobal matching and mutual information”, IEEE Transactions, Vol.30, No.2, pp. 328-341, 2008
- [3] N.Dalal,B.Triggs:“Histograms of oriented gradients for human detection”, IEEE CVPR05, pp. 886-893, 2005
- [4] V.N.Vapnik:“Statistical Learning Theory”, Wiley-Interscience, 1998