

人と重機の接触災害防止を目的とした AI 搭載カメラシステムの開発

清水建設（株） 正会員 ○奥田 悠太 正会員 藤井 暁也 正会員 大山 巧 岡澤 岳
 （株）LightBlue Technology 園田 亜斗夢 谷口 俊一

1. はじめに

建設現場で発生する災害のうち、重機災害が占める割合は非常に多く、これまでも人と重機の接触災害防止を目的とした人の自動検出システムが活用されてきた。しかし従来のシステムでは、①人の姿勢により検出できない場合がある、②人の向きが判定できない、といった課題があった。

そこで本研究では、骨格推定モデルを併用することにより、人の姿勢や服装に依らずに人が検出でき、さらに人の向きも推定できるシステムを開発した。本稿では、システムの構成および基本性能を検証するための実験について概説する。

2. システムの基本構成と特徴

2.1 システム構成

本システムは、水平角 85°、鉛直角 68°、解像度 1280×720 を有する単眼の USB カメラ、高性能 GPU（GeForce RTX2070 MAX-Q）を搭載し人物検出と骨格推定のためのアルゴリズム（CenterNet）をインストールしたサーバー、モニタから構成される。

カメラは、地面から 2.3m の高さに設置し、奥行き 6.0m、幅 4.5m の範囲が写る画角で設定した。単眼カメラでの距離推定は、重機回転軸からの 5~10m の範囲で行った。サーバーは、重機の動きを勘案し、解析処理時間が 0.5s 以内に収まる性能を選択した。

2.2 足元座標の推定方法

重機からの距離は、重機の回転軸から人の足元までの距離で定義した。人の様々な姿勢を想定して、バウンディングボックスの底辺（図 1）と、骨格推定から得られる足元座標（図 2）のうち、距離が短い方の値を採用した。さらに、荷物等を持ち運ぶことなどで体の一部が隠れている場合は、しゃがんでいる姿勢と誤判定することがあるため、便宜的に頭から腰までの距離を 2 倍して得られる座標（立っている状態を想定した足元座標）（図 3）を採用することにより、安全側の評価を行うものとした。

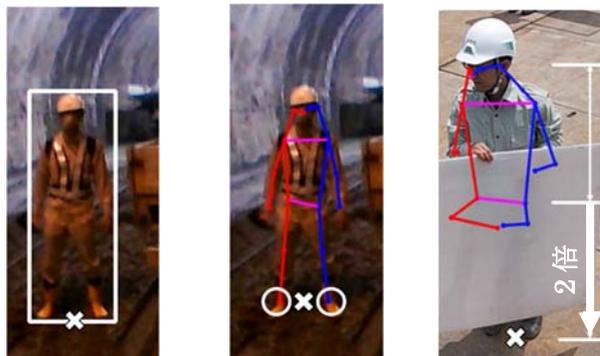


図 1 足元推定① 図 2 足元推定② 図 3 足元推定③

3. 実験概要

実験では①立位の状態を対象とした検出の可否と距離推定精度、②人の姿勢が検出率に与える影響、③被験者の服装や手に持った荷物が検出率に与える影響を調べた。なお、人の向きについては、骨格推定により判断できることを確認しているため、説明は省略する。以下、具体的な方法と実験結果を示す。

3.1 立位での人の検出と距離推定精度

立位での検出の可否については、図 4 に赤丸で示す 8 点で 5 秒間停止し、未検出となる瞬間があるかについて調べた。距離推定では、Center, Right, Left の 3 本の直線上 0.5m 刻みで移動し、実際の距離と誤差があるか、身長 187cm の男性と 160cm の女性でそれぞれ検証した。なお、本実験で表記する距離は、重機の回転軸を基準としているため、重機後端部と被験者との距離はこれよりも 2.9m 短い。

身長 187cm の男性の場合、重機ごく近傍の 3m 地点（重機後端部からの距離 0.1m）ではカメラ映像に頭部しか映らなかったため、検出率は 60% に留まったが、この位置を除けば検知率は 100% であった。

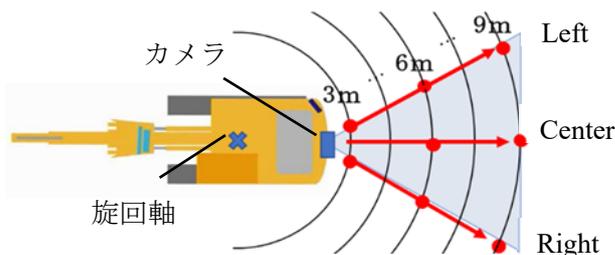


図 4 実験における測定位置

キーワード 重機接触災害防止, AI, 距離推定 単眼カメラ

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 清水建設株式会社土木技術本部 TEL 03-3561-3907

また、身長 160cm の女性の場合には、距離 6m で斜め方向の位置で検知率が 75%であったが、それ以外の位置では検知率が 100%であった。

距離精度は、重機回転軸からの距離 5.0~8.5m の範囲で調べた。実距離との平均二乗誤差 (MSE) を表 1 に示す。最大誤差は 31cm, 平均誤差は 13cm であることから、単眼カメラでも十分な精度で距離が推定できることがわかった。

表 1 距離推定結果

距離	位置	MSE(m)	距離	位置	MSE(m)
5m	Left	0.00	5.5m	Left	0.20
	Center	0.00		Center	0.20
	Right	0.00		Right	0.00
6m	Left	0.19	6.5m	Left	0.08
	Center	0.10		Center	0.11
	Right	0.05		Right	0.07
7m	Left	0.31	7.5m	Left	0.29
	Center	0.18		Center	0.19
	Right	0.20		Right	0.05
8m	Left	0.16	8.5m	Left	0.21
	Center	0.16		Center	0.19
	Right	0.03		Right	0.10

3.2 人の姿勢変化による検知率の影響評価

後向き、横向き、中腰 (写真 1), シャガみ込み (写真 2), 寝転び (写真 3), の 5 つの姿勢について, Center の直線上を 3.5m と 4m から 1m おきの位置でそれぞれ 10 秒間静止し, 各点での検知率を測定した。

後向き立位では全ての地点で検知率 100%であった。横向き立位では距離が 7m, 8m の時に 95%となった。中腰およびシャガみ込みでは距離 3.5m でカメラの画角から外れて検知できなかったが, 4m 以降の検知率は 100%であった。

寝転び姿勢では、頭の位置により検出率がかなり変化した。頭が重機方向を向いている場合は距離 4m で 0%, 5m で 58%, 6m で 12%であり, 足が重機方向を向いている場合は距離 3.5m から 6m の範囲で検知率は 100%, 7m 以降では検知できなかった。

3.3 被検体の服装・障害物による検知率の影響評価

トラチョッキ、プロテクタを着用して、距離 3.5m と 4m から 9m まで 1m おきの位置でそれぞれ 10 秒間静止し, 各点での検知率を測定した。トラチョッキでのみ 3 方向で行った。また, 荷物を持った移動を想定し, 底面が 50cm×50cm, 高さ約 1m の段ボールを持った状態でも実験を行った (写真 4)。



写真1 中腰姿勢



写真2 シャガみ込み姿勢



写真3 寝転び姿勢



写真4 荷物有の状況

トラチョッキを着用した場合, 3.5m での検出率は 52~94%, それ以外の地点では 100%となった。プロテクタを着用した場合でも 3.5m では検知できなかったが, それ以外は検出率 100%であった。段ボールを持った場合, 3.5m 地点では体が完全に隠れてしまうため検出できなかったが, それ以外の地点での検知率は 100%となった。

このように, 重機の回転軸からの距離が 3.5m (重機後端部からの距離 0.6m) で足元が見えない位置を除き, 服装や荷物の有無は検出率に悪影響を与えないことが確認できた。

4. おわりに

本システムにおける立位姿勢での誤差は, 31cm 以下, 平均誤差 13cm であり, 実用上十分な距離精度が得られた。一方, カメラのごく近傍では人の検知率が低下する場合があります, 必要に応じてカメラ設置位置や画角を検討すべきである。

姿勢や服装および手荷物の影響については, 頭を重機に向けた寝転び姿勢を除き, 検出率の低下はほとんどない。寝転び状態の検出率を向上させるためには, モデルの学習で対応できると考えられる。

今回は基本性能を検証するための基礎的実験を行ったが, 今後は, 狭隘かつ粉塵や照度の影響を強く受けるトンネル掘削作業での現場実証を実施し, 実用化に向けたブラッシュアップを行う予定である。