

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23333

研究課題名（和文）動的画像認識による高齢者の見守りシステム

研究課題名（英文）An Elderly Person Protection System Based on Dynamic Image Processing

研究代表者

孔 祥博（Kong, Xiangbo）

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号：20880404

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：一人暮らしの高齢者は、病気などの原因によって転倒し、発見が遅れると、命の危険もある。本研究では、転倒検出に焦点を当て、高齢者の見守りシステムを提案した。従来の可視光画像に基づく見守りシステムでは、プライバシー問題がある。本研究では、ぼやけて見える深度画像による高齢者の転倒検出を行った。深度画像から関節の3D座標を検出し、姿勢を認識するのが一般的である。深度画像に基づく見守りシステムでは、コストが高い。本研究では、可視光画像から深度画像を推定する技術を提案し、見守りシステムのプライバシー問題を一定程度解決した。また、画像処理のアルゴリズムのエッジデバイスへの実装、高速、低消費電力化の研究も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一人暮らしの高齢者は、筋力の低下や、歩行障害、視力の衰え、心疾患、脳血管疾患などの原因によって転倒し、発見が遅れると、命の危険もある。画像処理型の見守りシステムは、ウェアラブルデバイスを着用する必要がない、認識率が高いなどの利点がある。しかし、画像処理には、プライバシー侵害の恐れがある。本研究では、ぼやけて見える深度画像に基づく高齢者の見守りシステムを提案し、従来研究のプライバシー問題を一定程度解決した。また、本研究で提案した深度推定技術は、屋内・屋外の転倒検出だけでなく、他の研究分野でも期待できる。

研究成果の概要（英文）：Falls among the elderly can pose a serious risk to their health and well-being if not promptly detected. To address this issue, we proposed a protection system for elderly people, with a specific focus on fall detection in this study. Traditional approaches rely on depth images to detect joint coordinates in 3D space and recognize posture. However, depth-based systems are costly. Alternatively, color-based monitoring systems raise privacy concerns. To mitigate these challenges, we introduced a technique for estimating depth images from color images, which helps to address privacy concerns in the fall detection system. Additionally, we conducted research on implementing image processing algorithms on edge devices to achieve high speed and low power consumption.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理 高齢者の見守り

### 1. 研究開始当初の背景

近年、世界の高齢者（65歳以上）の割合は年々増加している。例えば、2050年までに米国では20%以上が、欧州連合と中国では30%が高齢者になると言われている。さらに、核家族化が進んでおり、その結果、高齢者の多くは一人で暮らしている。一人暮らしの高齢者における深刻な問題として、転倒事故が挙げられる。一人暮らしの高齢者は、筋力の低下や、歩行障害、視力の衰え、心疾患、脳血管疾患などの原因によって転倒し、発見が遅れると、命の危険もある。従って、転倒などの危険を自動的に検出し、助けを求めるシステムが必要とされている。

現在の高齢者を見守るシステムは、「生活情報型」「レーダー型」「着用型」「画像処理型」に分類される。生活情報型のシステムは、一定の期間にわたり、高齢者の生活情報（例えば、電力やガスの使用状況）を記録し、その情報を親族に転送することで、親族が高齢者の安否を確認できる。しかし、これらの手法では、リアルタイムに高齢者の危険を検出することができない。また、旅行など、高齢者が長期間外出する場合などは、特別な対応が必要である。レーダー型は、家具の後ろの人の転倒を検出できるが、コストが高い。また、部屋に複数の人が存在している場合、対象とする人物を識別することが困難である。着用型は、ウェアラブルデバイス（センサ）を用いて、高齢者の転倒をリアルタイムに検出する。しかし、高齢者がデバイスの充電や着用を忘れた場合に保護されない。上述した生活情報型、レーダー型、着用型と比べると、画像処理型の見守りシステムは、ウェアラブルデバイスを着用する必要がない、認識率が高いなどの利点がある。しかし、画像処理には、プライバシー侵害の恐れがある。

上述の背景を踏まえ、プライバシーを侵害せずに画像処理に基づく見守りシステムを開発するに至った。

### 2. 研究の目的

本研究は、上記の見守りシステムのプライバシー問題を解決するため、ぼやけて見える深度画像による転倒検出アルゴリズムの開発及びエッジデバイスへの実装を目的とする。

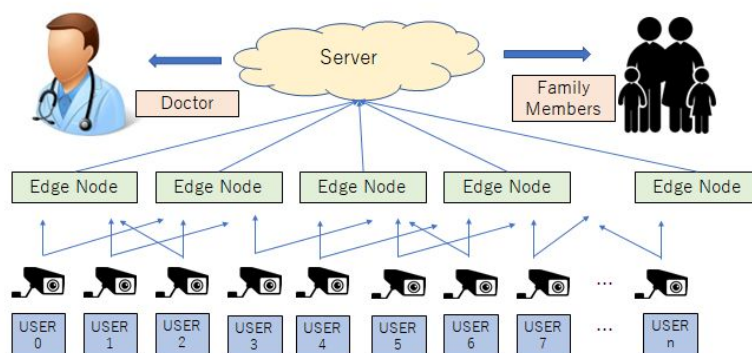


図1 クラウドコンピューティングとエッジコンピューティングに基づく見守りシステム [1]

クラウドコンピューティングとエッジコンピューティング技術により、ユーザは画像データをユーザ側で撮影した後、簡単な前処理をユーザ側で行い、その後、前処理されたデータをクラウド上にアップロードして複雑な処理を行う。Society5.0を実現するためには、クラウドコンピューティングとエッジコンピューティングが重要な技術である。本研究は、深度推定技術をコアに、クラウドコンピューティングとエッジコンピューティングに基づく高齢者の転倒検出システムの構築と想定している。本研究で提案したクラウドコンピューティングとエッジコンピューティングに基づく高齢者の転倒検出システムは、図1に示す。従来研究では、ユーザ側（Edge Node）で可視化画像を撮影し、クラウド（Server）にアップロードし、転倒検出を行う。ただし、クラウド上のデータが漏洩した場合、ユーザのプライバシー写真が漏洩する可能性がある。クラウド側の本研究では、ぼやけて見える深度画像をクラウド（Server）にアップロードし、転倒検出を行う。ユーザ側で深度カメラを使って深度画像を撮影することは方法の一つであるが、深度カメラのコストが高い。本研究では、ユーザ側（Edge Node）で可視光画像を撮影し、深度推定を行い、推定した深度画像をクラウドにアップロードし、転倒検出するアルゴリズムの開発及びエッジデバイスへの実装を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、下記の3つの研究を行った。

## 研究 1 深度画像に基づく高齢者の転倒検出アルゴリズムの改善

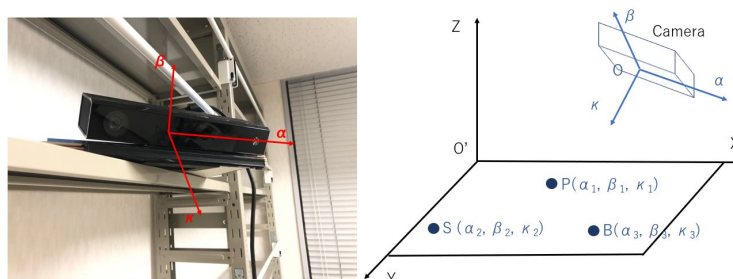


図 2 深度画像に基づく転倒検出の座標系 [ 1 ]

従来の深度画像に基づく転倒検出方法では、深度画像を使用して人体の関節の 3D 座標を計算し、関節から地面までの距離を計算して転倒検出を実現している。図 2 に示すように、カメラ座標系で地面上の 3 つの直線上にない点を選び、これらの点から地面の方程式を求め、次に、関節の 3D 座標と求めた平面の方程式から、重要な関節点（例えば首の関節）から地面までの距離を計算する。人が立っている状態では、この距離は人の身長に近くなるが、人が倒れた場合にはこの距離は短くなる。距離の閾値を設定し、この距離が一定値以下になった場合に転倒が検出される。ただし、上記手法では、対応できないケースが存在する。もし人が地面に寝そべっているだけの場合、上記の手法ではそれを転倒と検出してしまう。本研究では、転倒と横たわるという 2 つのプロセスにおける関節運動の速度の違いという仮定に基き、上記の方法で計算される距離を時間で微分し、しきい値を設定することで、本当の転倒かどうかを判断する。

## 研究 2 深度推定アルゴリズムの開発及び屋外の転倒検出

ユーザ側で深度カメラを使って深度画像を撮影することは方法の一つであるが、深度カメラのコストが高い。本研究では、ユーザ側（Edge Node）で深度推定を行い、可視光画像から深度画像を生成する。生成した深度画像をクラウドにアップロードし、処理の重い関節の 3 次元座標の推定及び転倒検出を行う。深度画像と可視光画像のペアを撮影し、生成モデルをトレーニング。実際の運用では、訓練済みのモデルを使用して深度画像を生成する。

深度推測はもう一つの興味深い展開課題を生み出し、転倒検出の別の問題を解決することができる。現在の画像処理に基づく転倒検出は、カメラの距離や角度の影響を受け、主に屋内での使用に制限されている。人口のまばらな田舎地域では、病気による高齢者の屋外での転倒が即座に発見されない場合、非常に危険で命を失う可能性がある。もし深度推測アルゴリズムをドローンに搭載すれば、深度画像には距離情報が含まれているため、ドローンが自律的に飛行するのに役立つ。また、広範囲の飛行中に撮影された可視光画像から生成された深度画像を使用して、屋外での転倒した高齢者の検出も実現できる。移動中の物体の画像を撮影するため、フレーム間の画像は光流情報ができる。この研究では、光流情報と可視光画像を同時にニューラルネットワークの入力として使用し、高精度な深度推定を目指す。

## 研究 3 画像処理アルゴリズムのエッジデバイスへの実装

一般的な深層学習による画像処理は高負荷であり、高い消費電力を必要とする。開発したアルゴリズムをエッジデバイスへ実装するため、低電力化と高速化の工夫が必要である。本研究では、低負荷な前処理を加えることで、全体における負荷および消費電力量を低減し、さらに高速化する手法を提案した。

## 4 . 研究成果

### 研究 1 深度画像に基づく高齢者の転倒検出アルゴリズムの改善

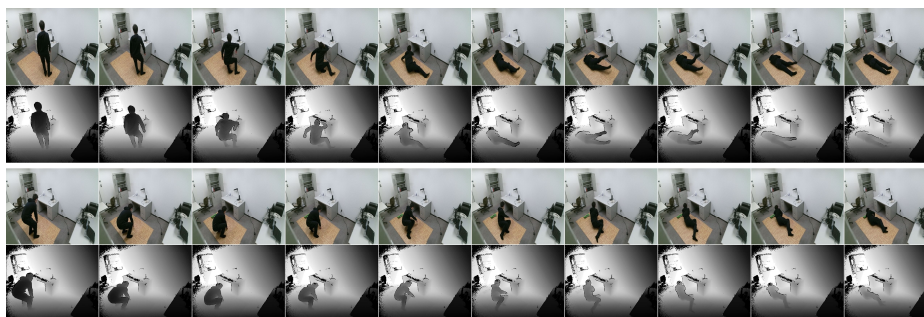


図 3 転倒と横たわるの可視光画像、深度画像 [ 1 ]



図 3 は転倒と地面に横たわる状態を示す。一行目は転倒時の可視光画像であり、二行目は転倒時の深度画像で、三行目は地面に横たわる状態の可視光画像で、四行目は地面に横たわる状態の深度画像である。

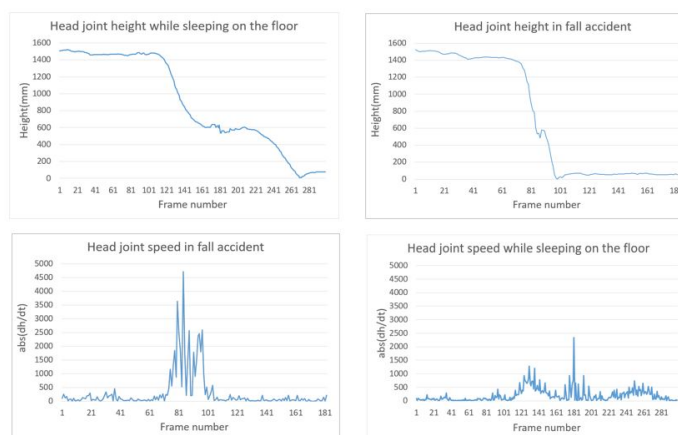


図 4 転倒と横たわるの距離分析、微分分析 [ 1 ]

転倒時と地面に横たわる状態での頭部と地面の距離の分析結果と微分速度の分析結果の例を図 4 に示す。転倒時には、時間に対する距離の微分値が地面に横たわる状態での距離の微分値よりも明らかに大きくなる。これら 2 つの値の中間値を閾値として使用することで、転倒と地面に横たわる状態を分類することを実現した。

## 研究 2 深度推定アルゴリズムの開発及び屋外の転倒検出への応用

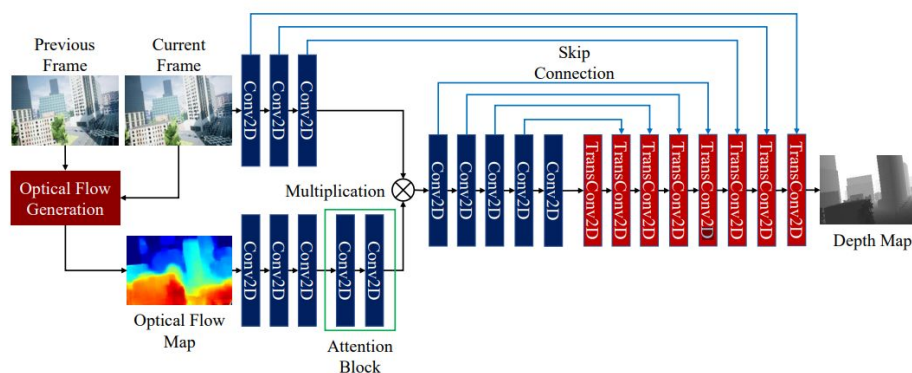


図 5 提案した深度推定手法 [ 2 ]

従来の深度推定手法では、一枚の可視光画像から深度画像を推定する。移動中の物体の画像を撮影するため、フレーム間の画像は光流情報ができる。この研究では、光流情報と可視光画像を同時にニューラルネットワークの入力として使用し、高精度な深度推定を目指す。提案したアーキテクチャは図 5 に示す。二枚のフレームから、光流画像を算出する。Attention Block を導入し、光流画像の重要な部分と可視化画像を合わせて深度推定を行う。過去の研究に比べて、この手法は精度が 34%向上した。本研究で実現した高精度の深度推定に基づく屋外での転倒検出は、今後の本研究の発展課題となる。

## 研究 3 画像処理アルゴリズムのエッジデバイスへの実装

全フレームをすべて処理すると負荷が重くなるため、本研究では画像に移動物体検出を行うプリプロセス手法を提案し、移動物体の存在するフレームのみを後続の処理対象とし、システムの負荷を低減した。同時に、異なる処理をエッジノードの各 CPU コアに分散することで、設計空間を探索も行った。

## 研究成果からの引用

- [ 1 ] [Xiangbo Kong](#), Takeshi Kumaki, Lin Meng, Hiroyuki Tomiyama, "A Skeleton Analysis Based Fall Detection Method Using ToF Camera," *Procedia Computer Science*, Elsevier, vol. 187, pp. 252-257, 2021.

- [ 2 ] Tomoyasu Shimada, Hiroki Nishikawa, Xiangbo Kong, Hiroyuki Tomiyama, "Fast and High-quality Monocular Depth Estimation with Optical Flow for Autonomous Drones," Drones, MDPI, vol. 7, no. 2, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kong Xiangbo, Kumaki Takeshi, Meng Lin, Tomiyama Hiroyuki	4. 巻 187
2. 論文標題 A Skeleton Analysis Based Fall Detection Method Using ToF Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 252 ~ 257
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.procs.2021.04.059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Tomoyasu, Nishikawa Hiroki, Kong Xiangbo, Tomiyama Hiroyuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Pix2Pix-Based Monocular Depth Estimation for Drones with Optical Flow on AirSim	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s22062097	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Tomoyasu, Nishikawa Hiroki, Kong Xiangbo, Tomiyama Hiroyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Fast and High-Quality Monocular Depth Estimation with Optical Flow for Autonomous Drones	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Drones	6. 最初と最後の頁 134 ~ 134
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/drones7020134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 菅原英治, 江頭拓也, 西川広記, 孔祥博, 富山宏之
2. 発表標題 セキュリティカメラシステムの低電力化と高速化
3. 学会等名 回路とシステムワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xiangbo Kong, Takeshi Kumaki, Lin Meng and Hiroyuki Tomiyama
2. 発表標題 A Skeleton Analysis Based Fall Detection Method Using ToF Camera
3. 学会等名 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things (IIKI), Zhuhai, China (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eiji Sugahara, Hiroki Nishikawa, Takuya Egashira, Xiangbo Kong and Hiroyuki Tomiyama
2. 発表標題 A Low-power Security Camera System Using OpenCV and YOLO
3. 学会等名 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eiji Sugahara, Hiroki Nishikawa, Xiangbo Kong, Hiroyuki Tomiyama
2. 発表標題 Energy Consumption Reduction through Resource Allocation Using Docker
3. 学会等名 International Workshop on Advances in Networking and Computing in conjunction with International Symposium on Computing and Networking (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------