

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00776

研究課題名(和文) 環境センサと移動ロボットを連携させた見守りシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a monitoring system based on the combined use of environmental sensors and a mobile robot

研究代表者

佐竹 純二 (SATAKE, Junji)

福岡工業大学・情報工学部・准教授

研究者番号：60392726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境センサと移動ロボットを連携させて人物の状態確認を行う見守りシステムの開発を行った。まず、部屋の上部に設置したカメラから得られる画像を用いて人物を発見・追跡し、姿勢情報をもとに人物の行動や状態を推定した。そして、人物が倒れるなどの異常が発生し、より詳しい状態確認が必要であると判断された場合には、移動ロボットを人物の近くまで移動させた。そして、画像から胸部領域を自動的に抽出し、人物の胸部の動きをもとに呼吸を推定した。また、実際にシステムを構築し、一連の動作を自動的に実行させることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では移動ロボットが人物に近づいて状態確認を行う見守りシステムの開発を行ってきた。ユーザがセンサを装着する方法ではないため、ユーザの負担が小さく、システムに未登録のユーザにも対応できる。また、ロボットが移動することで、従来の監視カメラなどでは計測できない詳細な情報を取得できる。さらに、環境センサと連携することで、移動ロボット単体よりも高度な観測を行える。なお、本研究が対象とする計測技術は、特に福祉・介護の分野で重要な技術であり、見守りシステムが自動化できれば人員不足の問題などを解消できる。また、詳細な状態確認が可能になれば、より安心・安全な社会を実現することができる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a monitoring system based on the combined use of an environmental sensor and a mobile robot. First, the system estimates a person's pose using the surveillance sensor. Upon detecting any abnormality, such as a subject falling down of a person, the monitoring robot moves closer to the person. Subsequently, it automatically extracts the pectoral region from the images and determines the respiration using the measured pectoral movements. In addition, we were able to actually build a system and automatically perform this series of operations.

研究分野：複合領域

キーワード：見守りシステム 状態推定 移動ロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の日本では独居高齢者が増え、その見守りが課題となっている。また、介護施設においても人員の問題から、常に十分な見守りができるとは限らない。そこで、本研究では環境センサと移動ロボットを連携させ、例えば熱中症や脳梗塞などによって人物が倒れるなどの異常を検知して通報を行うための見守りシステムを開発する。

既存の見守りシステムでは、人物の移動経路や機器操作などの日常行動パターンから異常を検知するものや、人物の動きが無くなったことを異常な状態として認識するものなどが提案されている。また、ユーザにセンサを身に付けさせ、呼吸数や血圧などを直接計測したり、それらをもとに人物の行動を認識する研究なども存在するが、これらの手法では人物の詳細な情報を取得するためにユーザにセンサを身に付けさせなければならない。

非装着型の計測方法として、距離画像を用いて呼吸数を推定する手法も提案されているが、センサの真正面に座った状態で完全に静止しなければならないため、ユーザが機器を使って能動的に計測するのとあまり変わらない。また、1m 程度の距離まで近づかなければならないため、監視カメラのような使い方をすることはできない。

通常、心拍数などのバイタルサインを計測する場合、パルスオキシメータなどの機器を用いてユーザが自分で計測したり、リストバンド型の心拍計などをユーザに装着させておく必要がある。また、救護時などに人が直接計測を行う場合でも、相手の体に触れて脈拍を取るなどの方法が一般的であり、監視カメラ映像のみで実現することは難しい。

これに対し、本研究では移動ロボットを用いて人物のバイタルサインを計測する方法について研究する。移動ロボットを制御して人物に近づかせ、適切な位置や角度から観測を行うことで人物の詳細な状態確認を行う方法の開発を行う。そして、環境センサと連携させ、ユーザの異常を検知して自動的に計測や通報などを行う見守りシステムを構築する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、環境センサと移動ロボットが連携して人物の状態確認を行う見守りシステムの開発である。まず、部屋の上部に設置したカメラから得られる画像を用いて人物を発見・追跡し、姿勢情報をもとに人物の行動や状態を推定する。そして、人物が倒れるなどの異常が発生し、より詳しい状態確認が必要であると判断された場合には、移動ロボットが自動的に人物に近づき、意識の有無や呼吸状態、心拍数などのバイタルサインを確認し、状況に応じて通報などを行う。実際にオンラインで自動的に動作する見守りシステムを開発し、介護や福祉などの分野で役立つ技術を実現させる。

3. 研究の方法

(1) 環境センサによる人物の発見・追跡と姿勢推定

天井付近に設置したカメラから得られる画像や距離画像を用いて人物を発見・追跡し、姿勢情報をもとに人物の行動や状態を推定する。そして、人物が倒れるなどの異常が発生した場合には、その位置情報を移動ロボットに伝える。

事前に部屋の地図作成や、カメラキャリブレーションを行っておき、人物の転倒を検知すると、姿勢情報をもとにロボットの移動目標を算出する。特に、呼吸推定を行うためにはロボットを人物の背中側ではなく正面側から近づける必要があるため、人物の前方にロボットの移動目標を設定する(図1)。

また、ロボットが経路計画や自己位置推定を行う際、転倒した人物やソファなどが障害物となるため、距離画像から推定した人物や障害物の高さを考慮して室内環境を認識する。

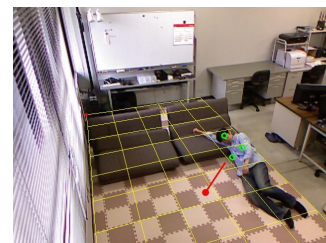


図1 転倒人物の検知

(2) 移動ロボットの制御

見守りロボット(図2)は、人や机などを避けながら、与えられた目標座標へ移動するための経路をオンラインで計画する。また、車輪の回転量から移動量を推定するオドメトリ情報だけでは誤差が蓄積するため、レーザ距離センサにより計測した距離情報をもとに壁などを認識して自己位置を推定する。しかし、本研究で想定している環境では、事前に学習した壁などの地図情報に加え、転倒した人物などが新たな障害物となり、自己位置推定に誤差が生じてしまう。そのため、事前に作成した地図情報には無い障害物を天井カメラで検出し、それを考慮して自己位置推定や経路計画を行う。



図2 見守りロボット

(3) 距離画像を用いた呼吸推定

移動ロボットに Microsoft 社製 Kinect を搭載し、距離画像を用いて呼吸推定を行う。呼吸推定に最適な距離は 700mm 程度であるため、本研究では移動ロボットを用いて人物に近づかせる。

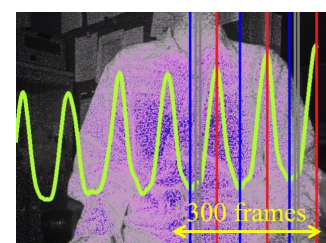


図3 極大・極小の抽出

Kinect SDK では転倒した人物の姿勢は推定できないため、画像から人物の胸部領域を自動的に抽出する必要がある。そこで、画像を格子状に分割し、それぞれの領域における距離変動が呼吸による動きかどうかを判定することによって胸部領域を自動的に抽出する。まず、画像をサイズ 40×40 の 196 個の領域に分割し、それぞれの領域における距離変動の波形から極大と極小を抽出する。図 3 は観測した呼吸波形（緑）から極大（赤）と極小（青）のタイミングを抽出した例である。この時、振幅が 1mm よりも小さいノイズ（灰）は無視している。そして、抽出した極大・極小の差（振幅）が 2~20mm、間隔が 30~80 フレームのものが直近 300 フレーム（10 秒）で 3~9 回観測された場合に呼吸による動きであると判定する。なお、これは 1 周期の半分であり、1 分間の呼吸に換算すると 9~27 回を想定している。一般的な呼吸が 1 分間に 12~20 回程度、頻呼吸が 25 回以上であることを考慮してパラメータを設定した。また、図 4 は実際に胸部領域を抽出した結果の例である。黄色い矩形が呼吸による動きであると判定された領域であり、胸部領域を自動的に抽出できていることが確認できる。

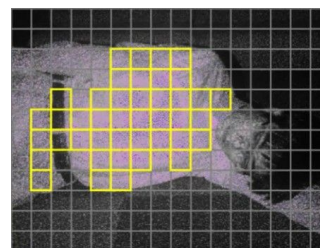


図 4 胸部領域の抽出

4. 研究成果

(1) 環境センサによる人物の発見・追跡と姿勢推定

距離値を用いた人物領域抽出

Kinect では転倒した人物の姿勢を正しく認識することは難しいため、距離値を用いた背景差分により人物領域を抽出する。図 5 のように距離画像にはノイズが多く含まれるため、30 フレーム分の距離値の中央値を用いて綺麗な背景画像を構築する。また、現在の差分画像だけでなく、複数フレームの論理積を取ることで連続して抽出された画素だけを残す。さらに、収縮膨張処理により、細かい点や穴を削除することで人物領域を安定に抽出することができた。

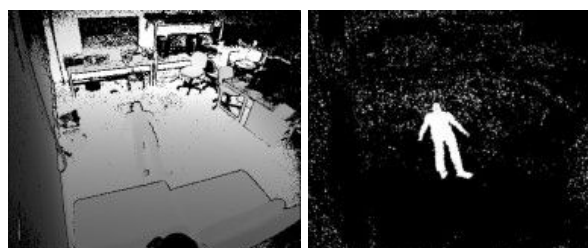


図 5 距離値を用いた人物領域抽出

研究室内の地図作成

天井カメラで室内環境を認識したり、移動ロボットが自己位置推定や経路計画を行うために必要となる研究室内の地図を作成する。図 6 は二次元平面をグリッドに分割し、グリッド毎に障害物の存在確率を保持する確率的地図を作成した結果である。ICP アルゴリズムを用いた ICP-SLAM を用



図 6 二次元地図



図 7 三次元地図

い、レーザ距離センサの観測結果からノイズと考えられる計測値を排除することで、歪みの少ない二次元地図を作成することができた。また、図 7 はレーザ距離センサと Kinect を併用して作成した三次元地図である。レーザ距離センサで二次元位置を推定し、Kinect から得た三次元点群を貼り合わせていくことで研究室内の三次元地図を作成した。

障害物の高さを考慮した室内環境認識

ロボットの自己位置推定や経路計画には地図情報が必要であるが、椅子などの動く物体や倒れた人物など、事前に作成した地図には含まれていない障害物が問題となる。特に、ロボットに設置したレーザ距離センサよりも低い障害物はロボットから観測できないため、それを考慮して自己位置推定や経路計画を行う必要がある。そこで、天井カメラを用いて人物や物体などの障害物を検出し、それらの高さ情報を考慮して室内環境を認識する。図 8 は高さ情報を考慮して実際に障害物領域を抽出した結果である。ロボットが観測できる高さの障害物を赤色、観測できない障害物を水色、転倒した人物を青色で示している。また、右の図のように障害物や人物の領域を二次元地図の正しい位置にマッピングできていることも確認できた。

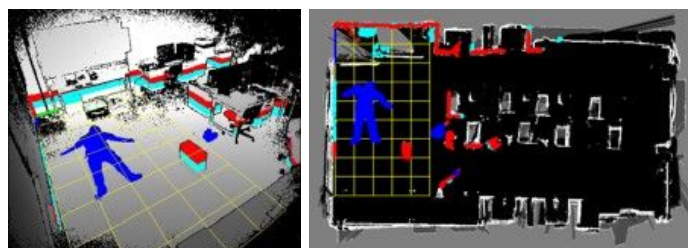


図 8 障害物の高さを考慮した室内環境認識

(2) 移動ロボットの制御

転倒人物領域を考慮した自己位置推定

移動ロボットの自己位置推定には ICP アルゴリズムが広く用いられているが、事前に学習した壁などの情報に加え、前述のように倒れている人物が新たな障害物となるため、位置推定に誤差が生じてしまう。そこで、レーザ距離センサで観測した障害物情報の内、倒れた人物を観測した点を ICP マッチングから除くことで正しく自己位置を推定する。図 9 は転倒人物領域を考慮して自己位置を推定した結果の例である。従来の ICP マッチングでは倒れた人物を観測した点がノイズとなって 1.3m 程度の位置推定誤差が発生していたが、提案手法ではレーザ距離センサの観測点（赤色）と障害物（黒色）を正しくマッチングすることができ、位置推定の誤差を 4cm 程度に抑えられていることが確認できた。

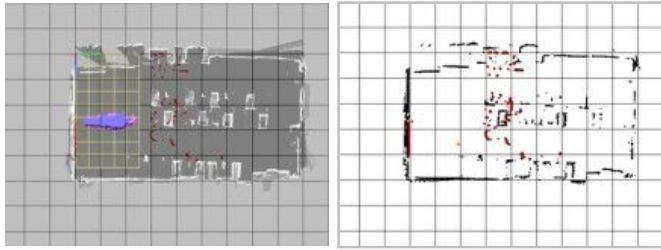


図 9 転倒人物領域を考慮した自己位置推定

従来 ICP マッチングでは倒れた人物を観測した点がノイズとなって 1.3m 程度の位置推定誤差が発生していたが、提案手法ではレーザ距離センサの観測点（赤色）と障害物（黒色）を正しくマッチングすることができ、位置推定の誤差を 4cm 程度に抑えられていることが確認できた。

見守りロボットの経路計画と移動制御

移動ロボットが天井カメラと連携して経路計画を行う方法を実装した。事前に保持している地図情報だけでなく、天井カメラから通知された転倒した人物やその他の障害物を地図に追加し、目標座標への移動経路を探索する。最短経路の探索にはポテンシャル法と A* アルゴリズムを用いた。実際に研究室で被験者に倒れてもらい、目標座標までの移動経路を探索した結果を図 10 に示す。また、図 11 はその経路に沿って実際にロボットを移動させた時の様子である。障害物にぶつかることなく、転倒した人物の近くまで移動させることができることを確認した。

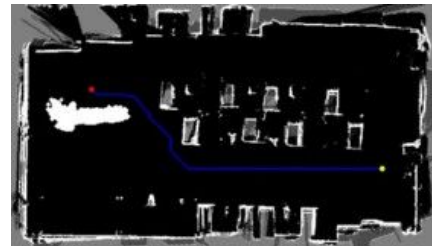


図 10 経路計画



図 11 ロボットの自律移動実験の様子

(3) 移動ロボットによる人物の状態推定

転倒した人物の呼吸推定

Kinect で取得した距離画像から呼吸による動きを判定し、胸部領域（黄色い矩形）を抽出する。そして、その重心（赤色）を求め、その重心が画面端にある場合には中央付近にるようにロボットを旋回させ、向きを微調整を行う。また、重心に最も近い胸部領域の距離変動を、呼吸波形として画面に表示する。実際に移動ロボットを転倒した人物に近づかせ、呼吸推定を行った結果を図 12 に示す。胸部領域を自動的に抽出してロボットの向きを調整し、呼吸波形を取得できていることが確認できた。なお、Kinect からの取得画像は左右反転したものになっている。

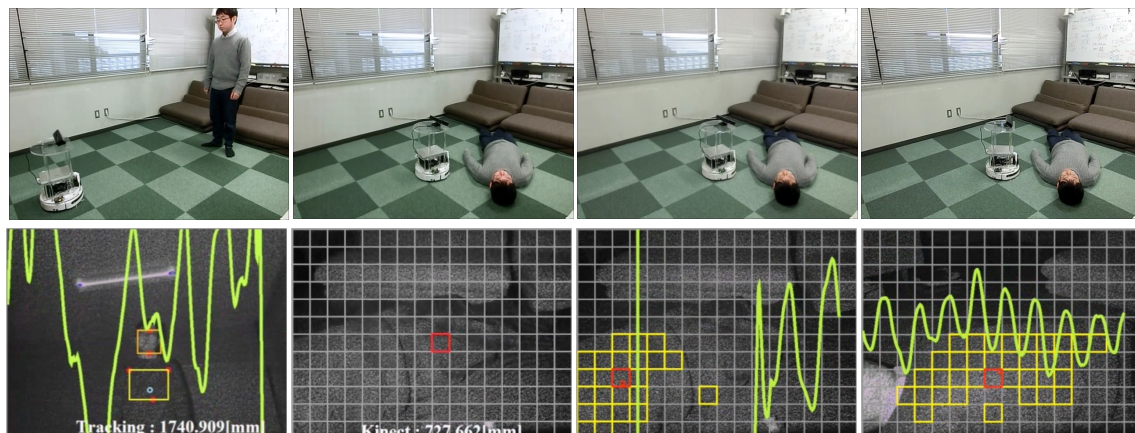


図 12 移動ロボットによる転倒した人物の呼吸推定

色々な姿勢での呼吸推定

色々な姿勢に対して呼吸推定を行った結果を図 13 に示す。図 12 のような仰向けや横向きだけでなく、うつ伏せの状態でも呼吸を推定できることを確認した。これは、うつ伏せの場合には呼吸による胸の動きが背中側にも伝わるためだと考えられる。しかし、横向きの姿勢では背中側から呼吸を観測することはできず、稀にノイズが呼吸による波形と誤判定されることがあった。移動ロボットが倒れた人物に近づく際、人物の正面側に回り込む必要があることを確認した。

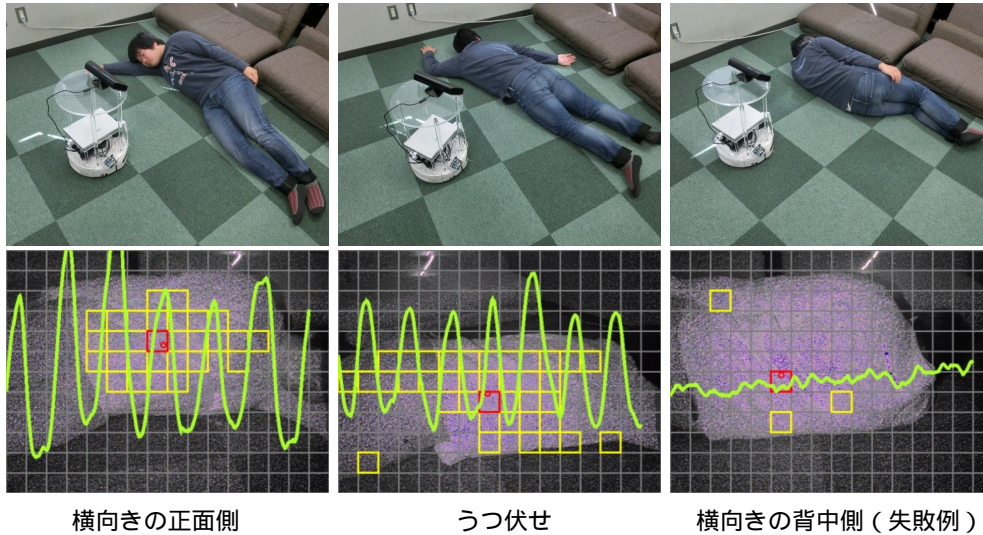


図 13 色々な姿勢での呼吸推定結果

赤外線サーモカメラを用いた体温測定

呼吸以外の情報取得として、赤外線サーモカメラを用いた体温測定方法を研究した。図 14 のような温度画像を取得し、非接触な方法で人物の体温を推定する。実際の見守りシステムでの使用を想定して検証を行い、呼吸推定と同様に距離 0.7m 程度が体温測定にも適した距離であること、額などの表面温度はわき下の温度と比べて 1.0~1.2 度ほど低いことを確認した。また、寒い屋外から入室した直後では取得温度が 34.9 度であったが、30 分後には 36.1 度、60 分後には 36.5 度となり、屋外で肌が冷たくなっている場合には正確な体温を測定することは難しいが、屋内環境での行動時に限定した場合には大きな問題はないことも確認した。

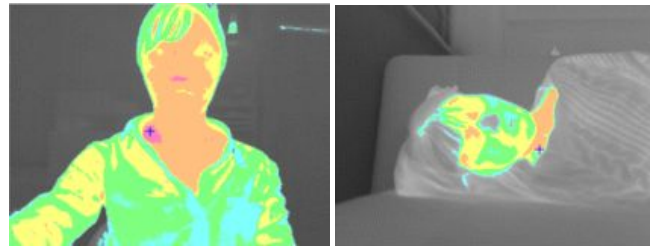


図 14 赤外線サーモカメラを用いた体温測定

(4) 認識結果の通知

見守りシステムの各機器を連携させ、天井カメラを用いて人物の転倒などを検知し、移動ロボットにより人物の状態確認を行った後、その情報を遠隔地の PC やタブレットに通知する仕組みを作成した。図 15 は見守りシステムの構成と認識結果の通知の例であり、実際に TCP/IP 通信を用いて情報をやり取りし、画像の送信やロボットの遠隔操作が可能なシステムを構築した。

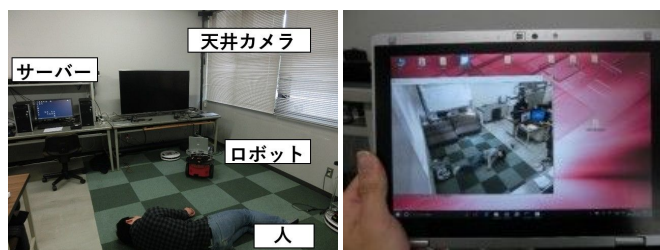


図 15 見守りシステムの構成と認識結果の通知

なお、画像を圧縮して送信しているために少し画像が荒くなってしまうが、人の状態を確認する分には支障はなかった。また、ロボット制御の際、無線環境が不安定になったり、情報の遅延があることが確認され、無線環境の高速化や安定化が必要であり、今後は第 5 世代移動通信システム (5G) などを取り入れていく必要があることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 J. Satake, T. Ushijima, and Y. Kudo	4. 巻 31
2. 論文標題 Development of Respiration Measuring Robot	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 715-718
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2019.p0715	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 森凌、佐竹純二	4. 巻 28
2. 論文標題 見守りシステムのための三次元地図作成方法の検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 福岡工業大学情報科学研究所所報	6. 最初と最後の頁 33～36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 白水敦慧、佐竹純二
2. 発表標題 見守りロボットのための転倒人物領域を考慮した自己位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----