

令和 元年 6 月 24 日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00767

研究課題名(和文) 在宅・高齢者施設における高齢者の移動型見守りロボットに関する研究

研究課題名(英文) An elderly care mobile robot for home and elderly facilities

研究代表者

尾崎 文夫 (Ozaki, Fumio)

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：10712474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者生活支援ロボットとして特に見守りロボットに関する技術の研究を行った。高齢者を見守るには高齢者の認識、高齢者への追従が必要である。また施設などの大部屋での高齢者見守りのため歩容認証(歩き方による人物認識)の研究を行った。追従機能についてはSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いて部屋の地図を作るとともに、人物を認識、人物までの距離を計測する機能を開発した。歩容認証機能についてはRGB-D (色及び深度) センサを用いて人の骨格検出を行い、従来難しかった自由に歩いている人の認識においても認識率を91%とすることが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者を見守る技術として人の認識機能の研究を行った。これにより人との距離を保って追従したり、また人の動きを認識することが可能となった。特に人の動きの認識機能を使って歩容認証機能を開発した。歩容認証は大部屋での入退出管理に使える、入退出した人がケアが必要な人(例えば認知症)であるかどうかを認識し、ケアが必要であれば知らせることが出来る。本研究ではRGB-Dセンサを用い、骨格データを進行方向基準に座標変換することで従来難しかった自由に歩いている人の認識においても認識率を91%とすることが出来た。

研究成果の概要(英文)：We have been researching on elderly care robots, especially for watching over the elderly. The following technologies have been studied: recognizing the elderly to be watched over by image processing, moving a robot to follow the elderly, and recognizing the elderly by gait recognition.

To recognize the elderly by image processing, we have applied mobilenetSSD algorithm and have found that the algorithm could recognize human even at near distance, at which the skeleton based human recognition did not work. To move a robot to follow the elderly, we have used SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) to make the map of a room, and also using the above image processing to recognize human, and to measure the distance between the human and the robot. To recognize the elderly by gait recognition, we have make use of an RGB-D sensor to get the skeleton data of the elderly. We have achieved 91 % accuracy of gaits not only for straight walk but also for free walk, using deep learning.

研究分野：生活支援ロボット

キーワード：ロボット 高齢者生活支援 歩容認証 人物認識 見守り

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会において高齢者のQoL (Quality of Life) を支えるために、人手に加えて日本の技術力を使って高齢者を支援することは避けられない要請である。高齢者の姿勢や動きを認識し、必要であれば介護者に連絡するような適切な見守りを行うことで、介護者の負担を軽減し、高齢者には介護者に対する気遣いを減らし、介護者にはゆとりを与えることが出来る。

超高齢社会に突入した日本において、人間が人間を見守り・補助するのは理想ではあるが、現実的には難しい。人間の代わりをいくらかでも技術により代替する必要がある。本研究は高齢者の見守りをするロボットを研究し、高齢者に安全な生活を提供するとともに介護する側の負担を少しでも軽減できるようなシステムを提供することを目的とする。

日本においては経産省と厚労省がロボット技術による介護現場への貢献や新産業創出のため「ロボット技術の介護利用における重点分野」[1] を策定し、神奈川県ではさがみロボット産業特区[2] が2013年に国からの特区指定を受けた。特区の中で藤沢地区は高齢者生活支援ロボット（見守り、移動支援）の開発を実施することとなっており、湘南工科大学も特区に参加し、見守り・歩行支援などの研究を行っている。

さらに2014年5月6日の安倍総理のOECD閣僚理事会での「ロボットによる産業革命」に関する発言を受け、「ロボット革命実現会議」が開催されている。本会議は、ロボットを少子高齢化の中での人手不足やサービス部門の生産性の向上という日本が抱える課題の解決の切り札にすることを目的として開催された。今後はこの会議を中心に日本の高齢者対応ロボットの戦略が決められていくと思われる。

国外においてもアメリカで有識者を集めてRobotics Virtual Organizationを作り、A Roadmap for U.S. Robotics from Internet to Robotics 2013 Editionというロードマップをまとめている。その中で高齢者支援ロボットの研究について言及している。またヨーロッパでは欧州域内研究フレームワークプログラム (FP) のFP7[3]（2007から7カ年、総額6.5兆円）の中で医療サービスや高齢者の自立した生活支援を目指して、ロボット工学を活用した多くの研究を推進しており、これは、共同研究費総額の5%程度に相当するとのことである。これはその後策定された多国間研究開発・イノベーション促進プログラム Horizon 2020[4] にも引き継がれている。

- [1] 経済産業省・厚生労働省, ”ロボット技術の介護利用における重点分野”, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002p8sl.html>
- [2] 神奈川県, 「さがみロボット産業特区」, <http://sagamirobot.pref.kanagawa.jp/>
- [3] NEDO海外レポート, ”家庭用支援ロボットが高齢者の自立をもたらす”, NO.1063, 2010, <http://www.nedo.go.jp/content/100106020.pdf>
- [4] Peter Wintlev - Jensen, “International Cooperation ICT for Ageing Well”, <http://www.eu-japan.eu/sites/eu-japan.eu/files/seminars/DG-CNECT-Ageing.pdf>

2. 研究の目的

高齢者の安全な生活を支援する見守りロボットを研究する。定置型センサでの監視は本人あるいは家族がプライバシー侵害への不安感・嫌悪感を持つことが多い。そのため監視されているという感覚の出にくい、ロボットでの見守りを提案する。高齢者施設は職員数が入居者数に対して不足[1] しており、作業のいくらかをロボットに任せることが出来るだけでも職員のゆとりを生むことが出来ると考えられる。ロボットは1台で複数の入居者を見守る必要がある。

具体的には高齢者の動きを認識・予測して、高齢者に危険がある場合には介護者に連絡することが出来る移動ロボットの研究を実施する。高齢者に追従し、高齢者の状態を見守れるように人の動きの認識、人との距離の計測、また高齢者が部屋から入退出するときの人物認識などを研究する。これらの機能により、自律的にロボットが高齢者を見守ることが出来、高齢者の安全・プライバシーの確保、介護者のゆとりある高齢者支援を可能とする。

3. 研究の方法

高齢者施設への移動ロボット適用のため、周囲環境を認識し、障害物を回避しながら移動できるロボットにより機能を完成させる。実験用のロボットとしては図 1 に示す Turtlebot2 (<https://www.turtlebot.com/turtlebot2/>) という移動ロボットを用いた。このロボットに RGB-D (色および深度) センサを搭載し、センサ情報を深層学習を用いた認識機能を使って見守りに利用する。

高齢者を見守るためには人を認識し、追従する機能が必須である。人の認識には RGB-D センサの RGB 画像を用いた人認識と深度情報を用いて人の骨格を検出する機能を用いる。これらの認識には RGB-D センサで取ったデータを深層学習を用いたアルゴリズムで処理する。また追従のための距離測定は深度情報を用いて行う。



図 1 移動ロボット Turtlebot

4. 研究成果

a.SLAM による移動制御

移動ロボットが部屋の中で自由に動き回るために、部屋の地図を持っておくことが望ましい。ここでは SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 機能を用いて実験室内の地図を生成させた。

ロボットを実験室内でハンドコントローラを用いて誘導し、実験室の地図を自動で学習させ、学習した地図内の点を指定することにより、実験室内の移動を行わせた。

図 2 に生成した地図を示す。また対応する実験室の様子 (図 2 の右上の青い四角で表したカメラからの写真) を図 3 に示す。図 2 で黄色く囲んだ部分が図 3 で黄色く囲んだホワイトボードに当たる。また赤く囲んだ部分はそれぞれ机が配置されている部分である。図 2 の灰色部分が何もない領域を表し、紫→ピンク→水色と進むに連れて何らかの障害物があることを示している。

図 2 ではロボットは右下の黒丸で表された部分に位置しており、地図上で指定した点へ移動することが出来た。

b.人物認識

人を見守るためには人の認識・人までの距離計測 (追従などに使用) が欠かせない。RGB-D カメラと深層学習を用いて人の認識および人までの距離計測の実験を実施した。

ロボットのように自立して動く機械は一般にデスクトップ PC や WS のように計算機資源をふんだんに使用することが出来ない。そのためエッジコンピューティングと呼ばれるロボット側での処理において認識などの計算機負荷の高い機能を実装する必要がある。本研究では Intel Neural Compute Stick (図 4) というニューラルネットを効率的かつ低消費電力で計算し、USB 接続で使えるデバイスを使用して Turtlebot 上に搭載する。

CPU が Corei7 の超小型 PC にこのデバイスを装着し、MobilenetSSD という物体検出アルゴリズムを用いて人物認識を行った。RGB-D センサによる骨格検出では顔や体の一部が画像上に写っていない場合に人を検出出来ないことが多い。深層学習を使うことでロボットと人の間が 60cm 程度の近距離においても人を認識できることが

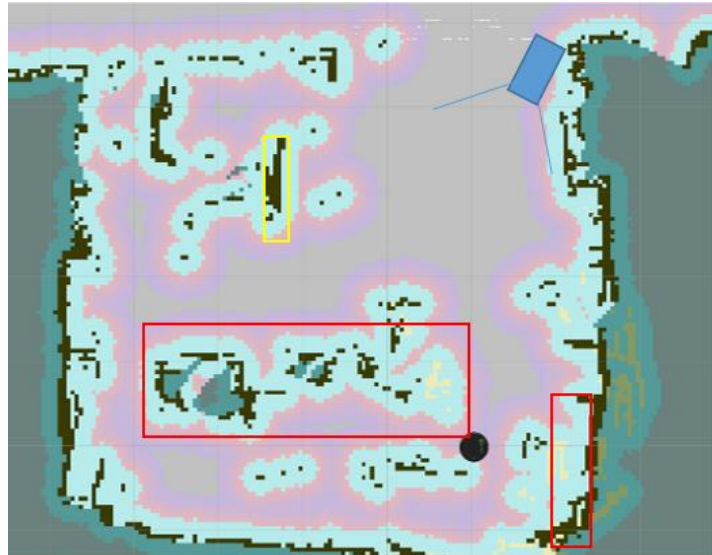


図 2 SLAM で生成した実験室の地図

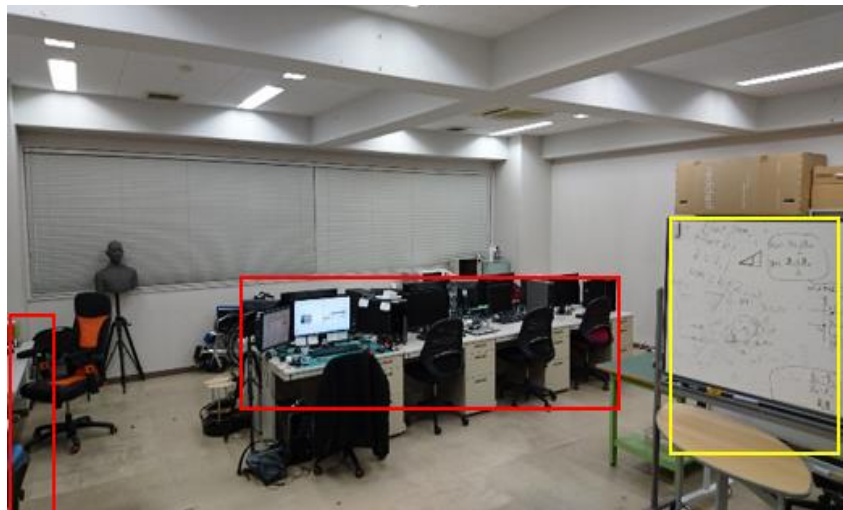


図 3 実験室



図 4 Intel Neural Compute Stick



図 5 人物 (マネキン) 計測実験

分かった。実際のロボットと人との関係において、人の全身像を常にロボットへの入力画像として捉えることは不可能であるため、骨格検出に加えて画像処理による人検出機能を検討し、その有用性を示した。

検出実験には図 5 に示すようなマネキンを使用した。センサには Intel realsenseD435 を使用した。このマネキンをロボットから 0.5m～4.5m までの距離で 10cm～30cm 刻みで距離の計測を行った。図 6 に計測結果を示す。

図に示すように realsense の計測する距離は実際の距離より小さめに出る傾向があるが、このグラフより実際の距離との相関は高いことが分かるので補正が可能で、正確な距離計測を行うことが出来る。

図 7 に近距離 (0.55m) での認識結果を

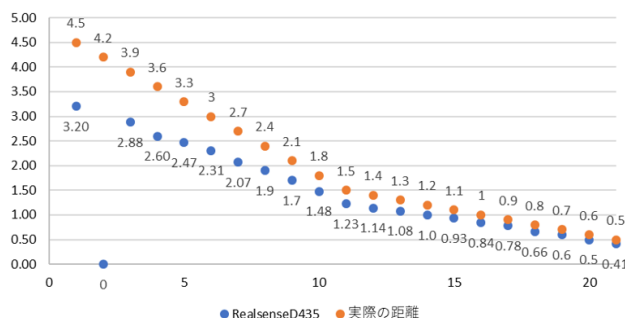


図 6 人物認識の距離精度



図 7 近距離 (0.55m) での人物認識



図 8 左半身のみでの認識画像

示す。0.55m の至近ではあるが正しく人物として認識できている。

図 8 に左半身のみでの認識画像を示す。このように全身が写っていない程度人物を検出することが出来る。Kinect などの深度情報を用いた骨格検出による人物認識ではこのような画像に対しては手や足などが十分に見えていないので Skeleton 検出が出来ないため人物を捉え損なうが、MobilenetSSD を用いた本手法では正しく捉えることが出来、家庭や施設でのロボットと人との関係の中で十分に使用することが出来る。

c.歩容認証

高齢者生活支援ロボットのための認識機能として歩容認証機能の研究を行った。歩容認証機能は歩容 (歩き方) により人を識別する機能で、高齢者施設などの大部屋での入居者の出入りを確認し、出ていった人が認知症を患っているなどケアを必要とする人かどうかを認識するための機能である。夜間は部屋は暗いので、画像処理による顔認識では人物認識がうまくいかない可能性が高い。そのため夜間でも利用できる赤外線カメラにより人体の関節位置を計測し、その関節位置から計算される歩容により人物を特定する技術を検討した。退出者がケアの必要な人であればナースステーションなどに連絡することで見守りを実現できる。

本研究における歩容認証においては通常の高齢者施設での高齢者の歩行を想定し、被験者が直進している場合のみならず、蛇行している場合、進行方向が異なる場合 (入り口から入ってきた場合、出ていく場合、あるいは部屋の中で入り口以

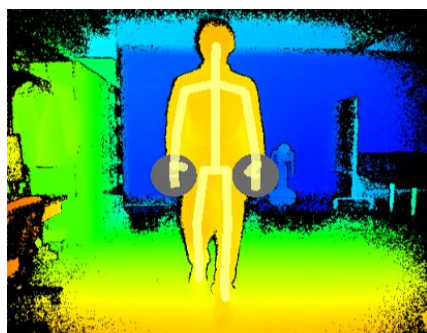


図 9 骨格画像

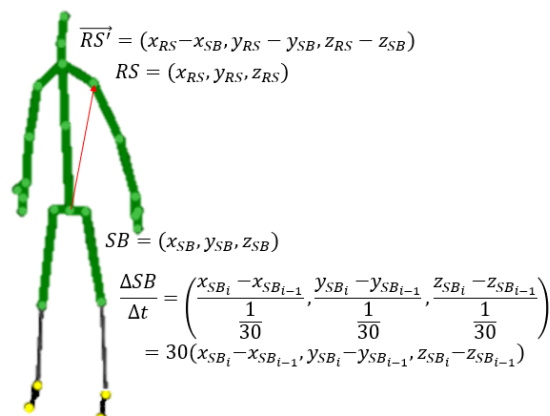


図 10 関節位置データ

外へ移動する場合など)にも対応するようにデータ変換を行った。使用するデータはKinect v2 センサによる骨格データで、図 9 に示すような骨格画像(人物の中のスティック線図)から関節位置を取り出したデータで、センサを原点とする座標系における 3 次元位置データである。図 10 に一例を示す。図で SB (Spine Base) や RS (Right Shoulder) と書いてある右の座標値がセンサ座標系での 3 次元位置を表している。

人が歩く位置はその時々によりセンサからの距離が違ってくる。例えば図 11 を見てみると、A の位置にいる人(図の青丸)と B の位置にいる人ではその位置は大きく異なる。腰の位置で見ると例えば A は(1.0, 0.1, 1.2)であり、B は(-0.9, -0.1, 2.0)のようになる。またそれぞれの人が a, b の方向に歩いたときのデータも位置が違うことで大きく異なったデータとなる。そのため人の歩き方(動き)のみを取り出せるようなデータに変換する必要がある。

図 12 にデータ変換方法を示す。データサイズ(何秒間のデータで歩容認証を行うか。図では t_m 秒としている。今回の報告では $t_m=2$ とした。)を決め、そのサイズでの開始位置 S_s と最後の位置 S_e を結ぶベクトル $\overrightarrow{S_s S_e}$ の方向を z 方向とし、重力の反対方向(紙面手前向き)を y 方向、それらに直交し右手系をなすように x 方向を決めこれを $S_s S_e$ 座標系と呼ぶ。また各関節位置をセンサ座標系の位置から図 10 に示す $\overrightarrow{RS^i}$ のように SB からの相対位置とする。こうすることにより各関節位置はセンサからの距離に寄らない位置となる。さらに、そのように計算した $\overrightarrow{RS^i}$ などの SB からの相対位置を $S_s S_e$ 座標系に射影する。そうすると図のように SB からの相対位置(図では $\overrightarrow{RS^i}$)は $S_s S_e$ 座標系において $P=(P_x, P_y, P_z)$ と表される(但し P_y は $\overrightarrow{RS^i}$ の y 成分)。この $S_s S_e$ 座標系の点 P はセンサからの距離や向きに左右されない、人の歩き方を表すデータとなっている。図 13 に変換した歩容データの例(右足)を示す。x 軸は足の前後動作、y 軸は SB(腰中心)からのマイナス位置、z 軸は体の左右の振れを表している。

データ変換を行った後、深層学習を利用して研究室の学生 8 人の歩容認証を行い、91%の認識率を得た。深層学習としては畳み込みニューラルネット(CNN)を用いた。図 14 に被験者に直進してもらった時のデータを使った学習結果を示す。図 15 にテストデータでのテスト結果を示す。図 14 の横軸はミニバッチ(50 データ分)毎の学習回数を表しており、図 15 はミニバッチで全データ分を 1 回学習し終わるごとにテストをした回数を出している。図 15 に示すように認識率は 98%であった。(ミニバッチとは取得した全データを一度に使用して学習すると時間もかかり、局所解に陥りやすいという欠点を回避し、データを何分割かして少しずつ学習する手法である。)

図 16 に直進ではなく、普通に(自由に)歩いたときのトレーニングデータで学習した結果を、図 17 にテストデータでの確認結果を示す。図 16 の横軸はミニバッチ(50 データ分)毎の学習回数を出しており、図 17 はミニバッチで全データ分を 1 回学習し終わるごとにテストをした回数を出している。図 17 に示すように認識率は 91%となった。

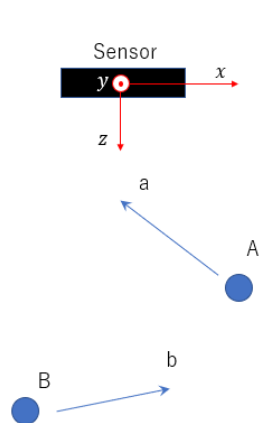


図 11 センサと人の位置関係

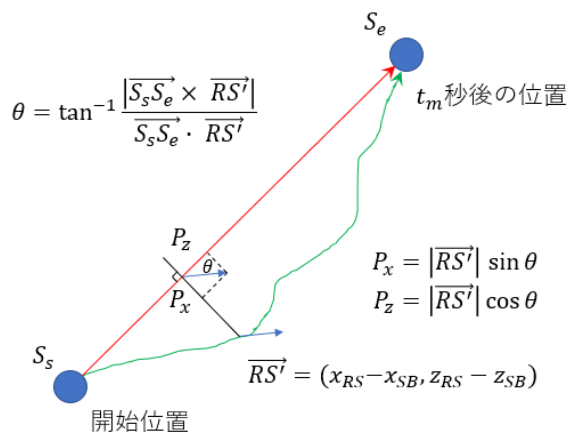


図 12 データ変換

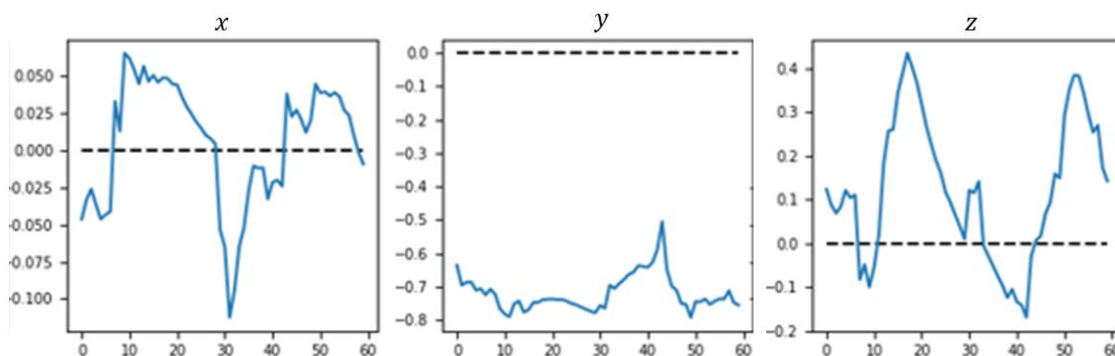


図 13 歩容データ(右足の xyz の値)

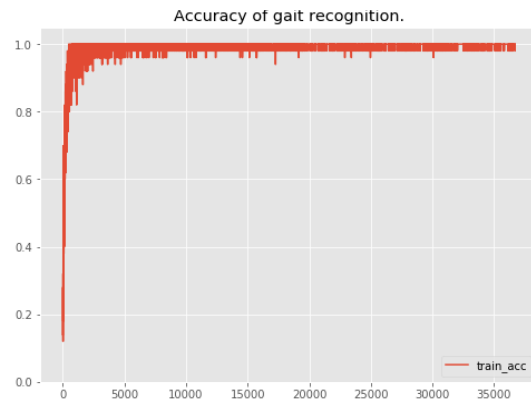


図 14 直進データの学習結果

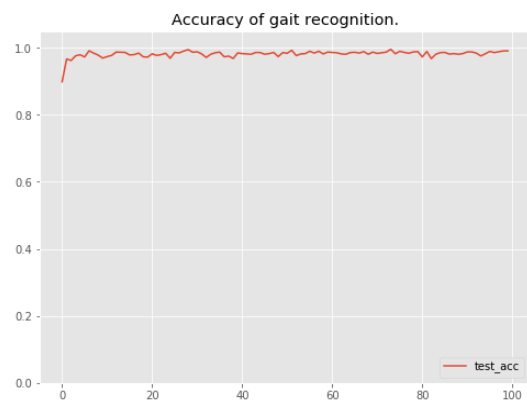


図 15 直進データのテスト結果

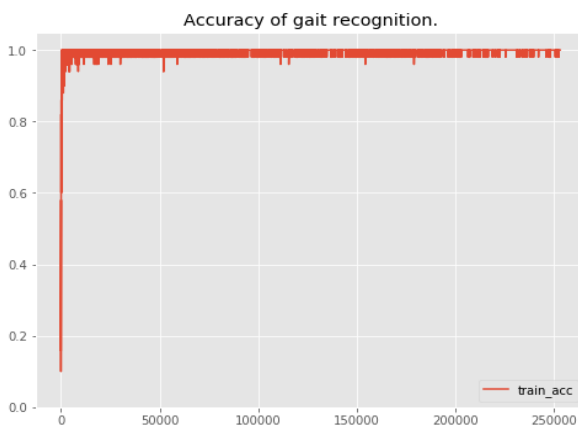


図 16 自由に歩いたデータでの学習結果

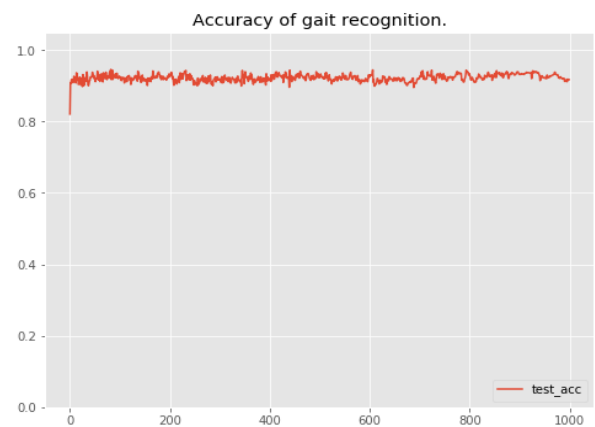


図 17 自由に歩いたデータでのテスト結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- 湘南工科大学紀要 2020 （投稿準備中）
RGB-D（画像・深度）センサを用いた歩容認証の研究

〔学会発表〕（計 1 件）

- 第 37 回日本ロボット学会学術講演会 （申し込み済み）
RGB-D センサを用いた歩容認証の研究

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件） なし

○取得状況（計 件） なし

〔その他〕

ホームページ等

http://www.md.shonan-it.ac.jp/contents/?page_id=2003

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。