

行動認識に基づく自律回診支援ロボットシステムの実現

岩本真司^{†1} 大村廉^{†2}

少子高齢化社会においては、医療サービスを受ける人数が増加する一方、医療サービスを行う医療従事者の数が減少することで、医療従事者の負担の増加が問題となる。そこで、本研究では、行動認識技術と無線通信技術を活用し、回診補助ロボット単体による自律回診業務の実現を目指す。ロボットは、体温や血圧など複数のバイタル測定について個別にタスクフローを持ち、患者の両手首に装着された加速度センサからの行動認識結果に基づいて個別にタスクフローを進行させることで、複数測定の並列実行も考慮に入れながら患者の状況や行動を把握する。

本研究では、まず具体例として回診業務の一つである「血圧測定」をとりあげ、血圧測定について一連の作業を補助する手法を構築し、その後、一般化することで任意のバイタル測定に適用できる手法を検討する。

提案システムの有用性の検証のため、5人の被験者に対して、作成したタスクフローに沿って観測された行動の精度を測る実験を行った。実験の結果、適合率は平均で約80.0%、再現率は約89.2%となった。さらに、タスクフローの進行トリガとなる行動の認識精度からタスクフローの成功率を算出したところ、約95%の確率でタスクフローが正しく遂行されることを確認した。

1. はじめに

少子高齢化による労働人口の減少などへの解決策として、工場などで働く産業用ロボットだけでなく、非産業用ロボットへの期待が高まっている。なかでも、医療は深刻な人手不足が問題となることが予想されており、手術ロボットや、介護作業を支援する介護ロボット[13]などの医療用ロボットの開発が盛んに行われている。このような状況において、我々は病院内で回診や入院患者の世話など業務の補助を行うロボット（以下、回診補助ロボットと呼ぶ）の開発を行っている。本研究では、回診補助ロボットが自律的に回診を行う手法を開発する。より具体的には、バイタル測定業務を対象とし、バイタル測定機具の運搬や、入院患者のバイタル測定作業を、回診補助ロボット単体で行うことで、回診補助ロボット単体による自律回診の実現を目指す。

ここで言うバイタル測定業務とは、入院患者に対して行われる検温や血圧測定などであり、通常は看護師によって行われる。看護師がバイタル測定業務において行う作業は、おおまかに

1. バイタル測定機具の運搬
2. バイタルの測定
3. 測定データの保存

の3つである。このうち、1についてはロボットが有する運搬機能を、3についてはロボットの内部コンピュータを用いることで比較的容易に解決できると考えられる。2については、測定対象が人間であり、環境が極めて動的に変化しうることが問題となる。例えば、測定のやり方に個人差があることや、ユーザがロボットの思惑に対して非協力的である場合など(ロボットを無視したり、あるいはロボットに気づかずどこかに行ってしまうなど)といった状況が想定される。そのため、ロボットはユーザの行動や測定機具の使い方などを把握しながら、測定中に歩き出し

たユーザに警告を発したり、測定のやり方を誤った場合には再測定を指示したりするなど、適切な対応をとることが求められる。さらに、体温や血圧など複数のバイタル測定を行う場合には、ユーザがどのバイタルを測定しているかを把握し、測定対象に応じて適切な方法で測定が行えているかを知る必要がある。すなわち、それぞれの測定内容に対して個別に設定される作業の流れを予め把握し、患者の行動に合わせて柔軟に対応しつつ、作業を完遂させなければならない。

ロボットがユーザの行動を把握する方法として、ロボットに搭載されたカメラで撮った画像情報を用いる方法[1, 10]や、ユーザが使用する物品にセンサを添付する方法[2]がある。

画像情報による方法では、ロボットに搭載されたセンサのみで行動認識が行えるため、不特定の認識対象に適用できる。しかし、人の動きについては沿革からの計測となるため、詳細な行動について認識することが難しい。[1]では、道行く不特定の人物を認識対象とし、ロボットに搭載されたカメラ等のセンサから行動認識を行った。しかし、[1]の手法で認識される行動は「うろうろする」などの、人のおおまかな行動にとどまっており、バイタル測定のやり方などの詳細な行動について認識することが難しいと考えられる。

また、ユーザの使用する日常物にセンサを装着し、その動きからユーザの行動を認識する方法がある。[2]では、日常物に3軸加速度センサを添付し、その使用状況を把握することで、使用している物品に関連したサービスを提供している。しかし、単純に物品にセンサを添付する方法では、ユーザ自身の身体的な行動を把握することができず、ユーザが測定中にどこかに歩き出してしまう場合などに対応できない。

そこで、本研究では、ウェアラブルセンサ、および行動認識技術を用いてユーザの行動を認識することで、バイタル測定の様子を観察し、不適切な行動があった場合には警告を発せられるようにする。さらに、体温や血圧など、そ

^{†1} 豊橋技術科学大学 iwamt@usl.cs.tut.ac.jp

^{†2} 豊橋技術科学大学 ren@tut.jp

それぞれの測定内容について個別にタスクフローを作成し、システム上に混在させられるようにする。行動認識結果に基づいてこれらのタスクフローを適切進行させることで、ロボットは、複数あるバイタル測定タスクに対して「現在のバイタルの測定を行っているか」、「バイタル測定が適切に行えているか」を把握すると同時に、複数存在するタスクフローの混在を許す。これにより、自律的な回診業務を実現する。

以下、本論文では、2章で行動認識手法について述べ、3章で提案手法の設計について述べる。4章では評価実験の結果から提案手法の有用性を評価し、5章で、得られた評価に対する考察を述べる。6章で本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究

前述のように、バイタル測定をロボットにより自動化するにあたり、ロボットがすべきこととして、以下の3点が考えられる。

I. 計測内容の把握

回診業務で取得するバイタルは、血圧や体温、体重など複数あるため、そのうちのどの測定を行っているかを、ロボットが把握する必要がある。

II. 正しい計測方法の把握

基本的には患者自身において測定を行うこととなるため、それぞれの測定内容において、適切な測定方法・姿勢で正しく測定が行えているかどうかを判断することが重要である。ロボットはそれを監視する必要がある。

III. 異常行動の把握

上記I, IIを行うことで、ロボットは患者のバイタル測定を監視できる。しかし、患者がロボットを無視してどこかに行ってしまう場合などの想定外の事態にも対応する必要がある。このためには、「歩いている」などのバイタル測定に関わらない行動も認識できる必要がある。

IV. タスクフローの適切な切り替え

それぞれの測定内容に応じて、上記I, II, IIIの内容を適切に定義したタスクフローを、患者の行動に応じて適切に切り替え、進行させる必要がある。

これらのようなユーザの状況や行動を知るもっともシンプルな方法は、ボタン等を用いてユーザ自身に通知してもらう方法である。この場合、ユーザが作業目的や作業内容を把握し、自己管理することが求められる。しかし、ユーザにとって手間ともなるため、できる限りこのような操作は排除すべきである。また、患者が気付かずに過ちを犯している場合もあるため、ロボットが能動的に患者を観察し、適切な補助を行うことが求められることも多い。

また、物品の動きに着目してユーザの行動を把握する方法がある。この方法では、ユーザの生活環境における日用

品にセンサを添付し、その使用状況を把握することで、ユーザの行動を推測する。[2]では、ユーザの生活環境におけるコップやケトルなど、50の日常物にセンサを添付し、ユーザが使用している物品に関連した情報をWeb検索するシステムを構築した。本研究においても、バイタル測定機器にセンサを添付することで、I.の計測内容の把握や、II.の正しい計測方法の把握は可能になると考えられる。しかし、III.の異常行動の把握を行うためには、「歩いている」のように、物に依存しない基本的な行動も認識する必要がある。

画像情報を用いてユーザの状況を把握する方法がある。見持らの研究では、公共スペースにおける道案内や情報提供サービスを想定し、ロボットの搭載カメラで得た画像情報から行動認識を行い、困っている人を助けるような能動的なロボットサービスのシステムを構築した[1]。しかし、画像情報に基づく認識では、詳細な動作について認識することが難しく、[1]で認識される行動は「うろうろする」などの、人のおおまかな行動にとどまっていた。そして、「うろうろしている」ことから、おそらく「困っている」だろう、といった簡単な状況推測をしていた。しかし、I.の計測内容の把握や、II.の正しい計測方法の把握に求められるような詳細な行動を認識するには、まだ困難が多い。

上記のような問題に対して、本研究では、ウェアラブルセンサを装着することで解決を図る。ウェアラブルセンサを用いることでユーザの身体の動きを直接的に計測でき、I.やII.やIII.に求められるような、人の詳細な動きの把握が可能になる。さらに、それぞれのバイタル測定についてタスクフローを作成し、バイタル測定機具の装着動作や操作などを考慮しつつタスクフローを進行させることで、IV.のようなタスクフローの適切な切り替えも可能であると期待できる。

そこで、本論文では、患者にウェアラブル加速度センサを装着し、行動認識を行う。そして、内部に複数のバイタル測定タスクフローを持つロボットによって、自律的な回診業務を行う方法を提案する。

2.1 実装対象

本論文では、自律回診システムを実装する対象として、図2.1に示す回診補助ロボットTerapio(セラピオ)[14]を想定する。セラピオは、病棟回診時に現在使用されている回診台の搬送機能を、「全方向移動、パワーアシスト、特定人物追従、障害物回避」といった機能を加えた追尾型ロボットとして再構成・置換し、かつ「患者データ記録と表示、コミュニケーション、照明、動画・写真・音声記録」といったインテリジェント機能を組込んだロボットである。ロボット付属の医療支援補助機能として、「照明」「撮影(静止画および動画)」「音声記録機能」、および医療用具・消耗品の格納引き出し等が付属されている。またロボット正面

には操作パネルを兼用するタッチパネル（表示パネル）が実装されており、情報出力が行える。



図 2.1:回診補助ロボット Terapio

3. 提案手法

本研究では、患者が両手首に装着したウェアラブル加速度センサのデータに基づいて患者の詳細な行動を認識する。そして、回診ロボットに複数種類の測定内容（体温、血圧など）のタスクフローを持たせ、患者の行動認識結果をトリガとしてフローを進行させる。測定中は、患者が測定を適切な姿勢で行っているかどうか、監視する。それぞれのバイタル測定タスクフローにおいては、段階ごとに行動認識結果を遷移トリガとし、「適切なタイミングで適切な作業が行われた時」や、「適切な姿勢が一定時間継続する場合」に、正常な遷移が生じるようにする。そして、これ以外の場合にロボットは患者に対して警告を発するなどの対応を行うようにする。これらにより、非明示的に行われる患者の行動を認識して、動的に変化する患者の状況に対応しつつ、回診業務を適切に遂行するロボット回診支援システムを構築する。

3.1 自律回診業務の設計

まず、具体例としてバイタル測定タスクの一つである「血圧測定」を取り上げ、バイタル測定のシステムを説明する。本研究では、まず、血圧測定について一連の作業を補助する手法を構築し、その後、一般化することで、任意のバイタル測定に適用できる手法を検討する。

患者自身が測定行為を行うとき、ロボットが行う血圧測定の補助の流れは以下になると考えられる。

- 1.(ロボット) 患者のもとに到着
- 2.(患者) ロボットから血圧計を受け取る
- 3.(患者) 血圧計を自らに装着する
- 4.(患者) 血圧計測定ボタンを押し、測定開始する
- 5.(ロボット)患者の測定姿勢を監視する
- 6.(ロボット) 測定データを受信する
- 7.(ロボット) 測定中の患者の動きから、正しい測定が行えたかを判断する
- 8.(ロボット) 測定が正しく行えていたら、測定データを保存し、機具を外すように指示する
そうでなければ、再測定を指示 → ステップ 4 へ
- 9.(患者) 血圧計を外し、ロボットに返す

10.(ロボット) 作業終了を確認する

上記の流れから、一般的なバイタル測定タスクにおける作業を次のように定義する。

- ・測定機具を運ぶ
- ・測定機具を適切に装着する
- ・適切に測定を行う
- ・測定が正常に終了したことを確認する
- ・測定結果を保存する
- ・測定機具を取り外す
- ・測定機具を持ち帰る

上記作業のうち、ロボットによって比較的容易に実現可能なことは

- ・測定機具を運ぶ
- ・測定結果を保存する
- ・測定機具を持ち帰る

の3点である。患者への機具の装着や取外し、測定の開始などはロボットには行えないため、患者自身で行ってもらうこととした。以上のことより、タスクを遂行する上で認識すべき行動について検討していく。

3.1.1 測定機具を装着する

機具の装着には適切な方法があり、正しく装着されているかどうか判断することは回診業務における重要事項である。ここで、機具が適切に装着されていないまま測定を開始しようとする、正しい測定結果が得られなくなってしまううえ、「正しい測定データ」であるかどうかを判定する手段がなくなってしまう。よって、「機具を装着する」動作は認識する必要がある。

3.1.2 測定を行う

測定を行う際も適切な姿勢があり、特に、測定中に動いていないことが大事である。回診を行う上で、測定中に安静にしているかどうかを把握する必要があるため、「測定している」姿勢は認識する必要がある。また、測定が正しく行えなかった場合には再測定を行う必要がある。つまり、測定中に「測定している」姿勢が崩れたことを正しく認識し、再測定を指示できる必要がある。

3.1.3 測定が終了したことを確認する

本研究では、測定終了と共に測定結果が無線通信を介して送信されるタイプの血圧計を用いる。そのため、測定が正常に終了したかどうかは、測定データが送られてくることで判断する。また、送られてきた測定データを受け取ることでそのまま測定結果を記録することとする。

3.1.4 測定機具を取り外す

測定機具の取り外しについては、ロボットが「患者が測定を終了しようとしている」ことを認識する合図になるため、認識する必要がある。測定機具の取り外しが認識することで、例えば、患者は測定が終了したと思っても、再測定が必要な場合などにそのことを通知することができ

る。このため、患者からロボットへの「測定終了の合図」として測定機具の取り外しを認識する。そして、患者とロボットの双方が測定終了と判断した場合に回診の終了とすることとする。

以上より、バイタル測定タスクにおいてロボットが認識すべき行動は、患者の「測定機具の装着動作」、「測定姿勢」、「測定機具の取り外し動作」となる。

3.2 複数測定の並列実行

3.1 節より、一般的なバイタル測定タスクフローは、図 3.1 のように定義できる。

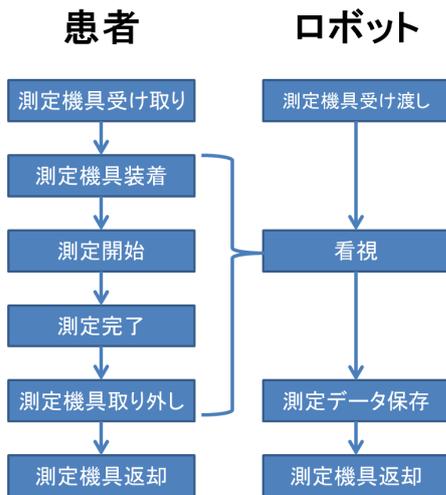


図 3.1:一般的なバイタル測定タスクフロー

複数種類のバイタル測定を扱う上で、「測定機具装着」から「測定機具取り外し」までの間を、並行作業不可の区間とする。つまり、患者がロボットから1度に複数の測定機器を受け取ることは認識するが、1度に複数の測定機具を装着した場合は、最初に装着した測定機具に対応するタスクフローのみを進行させていく。

具体的に、血圧測定タスクフローをシナリオ化し、ロボットと患者が行う行動をまとめた図を、図 3.2 に示す。黒枠白抜きで示されている箇所がシナリオ進行のトリガであり、シナリオは患者行動認識と血圧計との通信をトリガとして進行するようにした。また、黒枠網がけで示されている箇所が、注意喚起の対象となる動作である。「患者がどこかに行ってしまう」、「血圧計を腕に装着しないまま測定を開始する」、「測定姿勢が適切な姿勢でない」、「再測定指示に対して、機具を取り外す」といった患者の行動が観測された場合は、ロボットが注意喚起を行う。

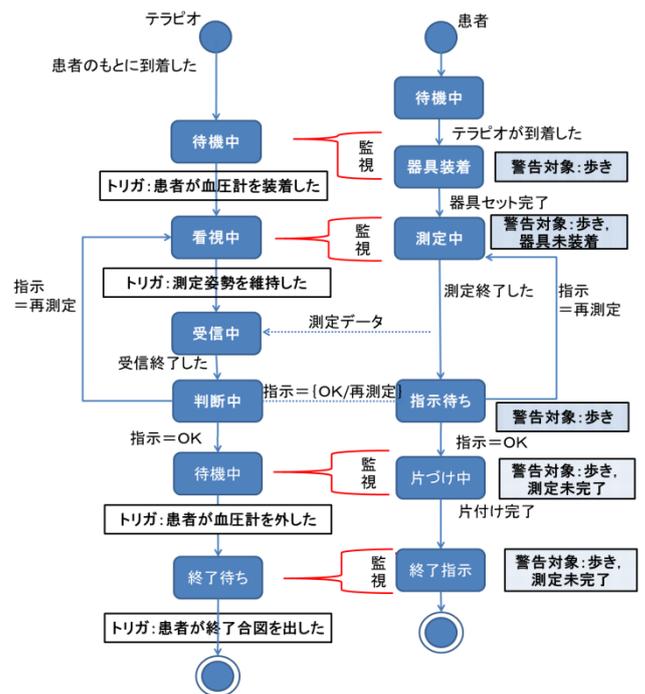


図 3.2:想定する血圧測定のシナリオ

3.3 患者行動認識の設計

図 3.2 のシナリオから、シナリオ進行に必要な行動や、入院患者について想定される行動、血圧測定中の行動について、表 3.1 のようにまとめた。表 3.1 に示される行動を認識することで、ロボットは患者の行動や状況を把握する。血圧測定においては、表 3.1 のうち、「仰向け(寝ている|起きている)姿勢」、「腹の上で指組み(寝ている|起きている)姿勢を、測定に向く安静な姿勢として取り扱う。また、機具の受け取り動作として、「右手で機具を受け取る」動作と「左手で機具を受け取る」動作を認識することとした。

表 3.1:想定する患者の行動

姿勢	動作
仰向け(寝ている 起きている)	左手で機具を受け取る
左向き(寝ている)	右手で機具を受け取る
右向き(寝ている)	機具を着脱する
腹の上で指組み(寝ている 起きている)	右手を振る
頭の下で指組み(寝ている)	左手を振る
腕組み(起きている)	歩く

作業の流れと、認識すべき動作から、ロボットのステートと遷移の条件を定義する。ロボットのステートと、ステートを遷移させるトリガをまとめた表 3.2 を以下に示す。

表 3.2:ロボットのステート

ステート	遷移条件
待機中(機具装着待ち)	患者が機具を装着する
看視中	患者が測定完了 失敗する
受信中	測定データを受信する
判断中	ロボットが測定完了 失敗の指示を出す
待機中(機具片付待ち)	患者が機具を取り外す
終了待ち中	患者が終了合図を送る

3.4 患者行動認識の実装

行動認識では、高精度化のため、患者の行動を動作と姿勢に区別して認識を行うようにした。患者の両手首の 3 軸加速度センサから得た 3 次元加速度ベクトルの大きさを求め、閾値未満の場合は姿勢認識、閾値以上の場合は動作認識を行った。3 軸加速度センサから得られる各軸の加速度を x, y, z とすると、3 次元加速度ベクトルの大きさ A は

$$A = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

により求められる。予備実験の結果から、閾値は 1040 m G とした。

3.4.1 姿勢認識

姿勢認識を行う際の特徴量は、センサ角度とした。各軸の角度 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ は、3 軸加速度センサから得られる各軸の加速度を x, y, z 、3 次元加速度ベクトルの大きさを A とすると、

$$\theta_x = \sin^{-1} \frac{x}{A}, \theta_y = \sin^{-1} \frac{y}{A}, \theta_z = \sin^{-1} \frac{z}{A}$$

として算出される。

3.4.2 動作認識

動作認識を行う際の特徴量は、平均(Mean)、分散(Var)、エネルギー(Power)とした。

また、認識精度を高めるため、図 3.3 に示すように、「左手だけが動いている場合」、「右手だけが動いている場合」、「両手とも動いている場合」について識別器を分けた。

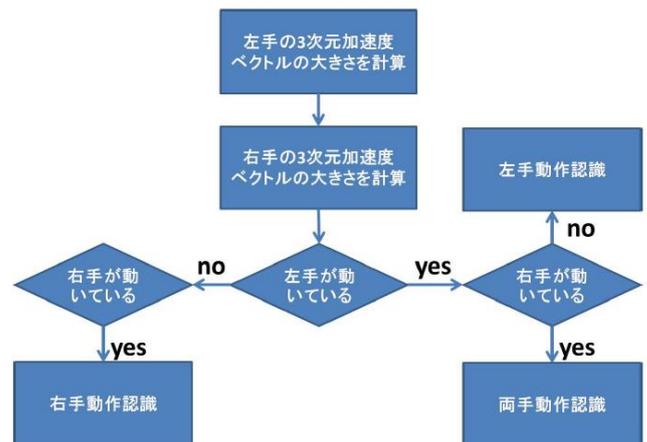


図 3.3:動作認識の区別

各識別機において識別対象となるクラスは、以下のようになる。

- 左手だけが動いている場合
 - ・ 左手で機具を受け取る
 - ・ 左手を振る
- 右手だけが動いている場合
 - ・ 右手で機具を受け取る
 - ・ 右手を振る
- 両手とも動いている場合
 - ・ 機具を着脱する
 - ・ 歩く

また、血圧の測定結果は、医療機器の無線通信で標準的な規格である Continua 規格に準拠した血圧計を用い、自動でロボットに転送されるようにした。

4. 評価実験

提案手法の有用性を確認するために、両手首に加速度センサを装着した 5 人の被験者に対して、図 3.2 のシナリオに沿って観測された行動について精度を測る実験を行った。また、得られた精度から、回診業務の成功率を計算した。精度の評価には、適合率と再現率を用いた。

4.1 実験環境

加速度センサには図 4.1 のワイヤレステクノロジー社の小型無線ハイブリットセンサ WAA-006 を使用した[4]。WAA-006 は、X 軸、Y 軸、Z 軸の加速度センサと、X 軸、Y 軸、Z 軸の角速度センサを搭載している。また、Bluetooth による無線通信機能を搭載しており、WAA-006 で観測した加速度データと角速度データを、PC といった Bluetooth ホストデバイスで、リアルタイムに受信することができる。本研究では、加速度についての X 軸、Y 軸、Z 軸を観測データとして扱った。

加速度センサを装着する位置は、両手首の手の甲側とし、リストバンド型のウェアラブルセンサで実用できるようにした。また、血圧計として、図 4.2 に示す AND 社の Bluet

ooth 内蔵血圧計 UA-767PBT-C を使用した[5]。UA-767PBT-C は Continua 規格に準拠した Bluetooth 機能を内蔵しており、測定した血圧データを PC などへ自動で転送することができる。



図 4.1(左):加速度センサ

図 4.2(右):血圧計

4.2 評価の方法

行動認識の適合率、再現率を求め、想定するシナリオの成功率を計算することで、提案手法の有用性を確認した。

識別対象の行動は表 3.1 に示すとおりである。これら行動クラスは、シナリオ進行のトリガとなる行動セット、注意喚起の対象となる行動セット、その他患者に想定される行動セットに分類される。それぞれ、表 4.2、表 4.3、表 4.4 に示す。

表 4.2:シナリオ進行のトリガとなる行動セット

シナリオ進行のトリガとなる行動セット
機具を着脱する
仰向け(寝ている 起きている) (測定に向く安静な姿勢)
腹の上で指組み(寝ている 起きている) (測定に向く安静な姿勢)
右手を振る
左手を振る

表 4.3:注意喚起の対象となる行動セット

注意喚起の対象となる行動セット
歩く
左向き(寝ている) (測定中のみ注意喚起対象となる)
右向き(寝ている) (測定中のみ注意喚起対象となる)
頭の下で指組み(寝ている) (測定中のみ注意喚起対象となる)
腕組み(起きている) (測定中のみ注意喚起対象となる)

表 4.4:その他患者に想定される行動セット

その他患者に想定される行動セット
左向き(寝ている)
右向き(寝ている)
腹の上で指組み(寝ている 起きている)
頭の下で指組み(寝ている)
腕組み(起きている)

ここで、「シナリオ進行のトリガとなる行動セット」については、誤検出は誤ったシナリオ進行を招いてしまうため、高い適合率が望ましい。シナリオ進行のトリガとなる動作中、一度でもその動作を認識できればシナリオを進行させるものとする。再現率が低くても正しくシナリオを進行できるようにした。また、測定姿勢については、測定している間は持続的に「測定姿勢」であると認識される必要があるため、再現率が高いことが望ましい。「注意喚起の対象となる行動セット」については、適合率が低すぎると誤った警告が多発し、利便性が低下してしまう。しかし、再現率の低下は患者への対応が鈍くなることを招くため、再現率を重視することとした。

4.3 実験結果

表 3.1 に示す行動について認識精度を計算し、想定するシナリオ進行を正しく把握できるかどうかを検証した。実験では、両手首にウェアラブル加速度センサを装着した被験者にリクライニング機能付きのベッドに寝てもらった。図 3.2 で示すシナリオのように、ロボットの代わりに人が血圧計を運び、それを被験者が受け取ったところから開始し、血圧計の装着、血圧測定、血圧計の取り外し、血圧計の返還、終了合図を出す(手を振る)ところまでを行動認識した。ベッドはあらかじめ起こしてある状態から実験開始した。

なお、被験者には予めシナリオの流れを伝えることはせず、何も知らない状態で実験を受けてもらい、ロボット代替りの人物が指示する通りの行動を取ってもらった。実際の回診業務中にも想定されるように、測定機具の装着に手間取るなど、不慣れからくる操作ミスなども容認することとした。

実験で 1 人ずつシナリオを実行した際に得られたデータは、1 人につき約 1 分 20 秒で、5 人分で約 6 分間となった。このデータについて、4 人分のデータを学習データとし、1 人のデータをテストする Leave-one-out 交差検定で認識精度を計算した。認識精度を表 4.5 に示す。

表 4.5:シナリオ中の行動認識精度

行動	適合率	再現率
仰向け(寝ている 起きている)	100.0	100.0
右向き(寝ている)	100.0	100.0
腹の上で指組み(寝ている)	30.0	100.0
腹の上で指組み(起きている)	100.0	100.0
右手で機具を受け取る	10.0	100.0
機具を着脱する	100.0	56.0
右手を振る	100.0	66.7
歩く	100.0	90.7

シナリオ進行のトリガとなる行動「測定している」、「機具を着脱する」、「右手を振る」や、注意喚起の対象となる行動「歩く」に関して、高い適合率が得られた。しかし、トリガとなる行動のうち、「機具を着脱する」、「右手を振る」については再現率が低くなった。また、「腹の上で指組みをして寝ている」や「右手で機具を受け取る」など、適合率が極端に低くなった行動も見られた。

5. 考察

5.1 行動認識の精度

表 4.5 から、「腹の上で指組みをして寝ている」姿勢の認識精度が低いことがわかる。これは、「腹の上で指組みをして起き上がっている」姿勢と似た姿勢であるため、両姿勢が混ざってしまった結果である。しかし、本シナリオにおいては、これら 2 つはともに「測定に向く安静な姿勢」であるため、誤認識によっても判断結果は変わらず、両姿勢が混ざってしまうことに問題はない。

また、「右手で機具を受け取る」動作について誤検出が多かったため適合率が低くなった。これは、機具を着脱する際に右手だけが動いている場合や、右手を振る際の振り始めなどの場合において誤認識が起きたためである。「機具を着脱する」動作は、両手とも動いている場合における学習データにのみ含まれるため、着脱の最中に片手だけが動いているような状況では検出されない。片手だけが動いている場合には、「右手で機具を受け取る」動作か、「左手で機具を受け取る」動作と誤認識される。しかし、これは「機具を着脱する」動作の適合率を上げることに貢献する。

上記の「右手で機具を受け取る」動作により、「機具を着脱する」動作の再現率が低下しているが、適合率が高い値が得られた。今回の設計では適合率を高くすることで誤検出を防ぎ、誤ったシナリオ進行をさせないようにすることが目的であったため、狙い通りの成果であるといえる。「右手を振る」動作についても、「機具を着脱する」動作と同様に、高い適合率が得られた。

5.2 シナリオ全体の精度

今回の設計では、各ステートにおいてシナリオの進行トリガが一度でも検出されたらシナリオを進行させるように

している。そのため、一度の誤検出によって誤った遷移が招かれてしまうが、動作の適合率を高くすることでそれを防ごうと考えた。表 4.5 のとおり、進行トリガの適合率は全て 100 %として得られたため、誤検出による誤ったシナリオ進行は生じないものと期待できる。また、再現率が低いことについても、トリガとなる動作中、一度でもトリガ動作を検出できればシナリオを進行させることができるため、シナリオ進行に影響を与えないと考えられる。

これまでに得られた結果をもとに、シナリオの成功率について計算を行う。ここで、シナリオが成功するとは、「シナリオ中、進行トリガとなる動作や姿勢について一度も誤検出および検出漏れがなく、患者とロボットの間で最後までシナリオ進行が一致する」こととする。進行トリガについて誤検出が起きる確率(P_{fp})は、行動の適合率(Precision)とシナリオ中の平均動作時間($T_{scenario}$)から、以下の式で計算できる。

$$P_{fp} = (1 - Precision) * T_{scenario}$$

測定姿勢の崩れに対して誤検出が起きる確率($P_{fp,m}$)も同様に、測定姿勢の再現率と平均測定所要ウィンドウ数($T_{measure}$)から、以下の式で計算できる。

$$P_{fp,m} = (1 - Recall) * T_{measure}$$

また、進行トリガについて検出漏れが起きる確率(P_{fn})は、動作の再現率(recall)と動作の平均所要ウィンドウ数(T_{action})から、以下の式で計算できる。

$$P_{fn} = (1 - Recall)^{T_{action}}$$

ここで、シナリオの進行トリガとなる行動「機具を着脱する」、「右手を振る」、「測定している」については、適合率はすべて 100 %であった。よって、誤検出はないものと期待できる。また、「測定している」については再現率も 100 %であり、姿勢崩れの誤検出もないものと期待できる。検出漏れが起きる確率を計算するために、「機具を着脱する」動作と「右手を振る」動作について平均動作時間を計ったところ、「機具を着脱する動作」の平均動作時間は約 7.8 ウィンドウ、「右手を振る」の平均動作時間は約 2.8 ウィンドウであった。以上より、「機具を着脱する」、「右手を振る」動作の検出漏れが起きる確率は、それぞれ 0.00166, 0.0461 となる。よって、各進行トリガについての検出成功率をまとめると、表 5.0 のようになる。

表 5.0:進行トリガの検出成功率

行動	成功率(%)
仰向け(寝ている 起きている)	100.0
機具を着脱する	99.8
右手を振る	95.4

シナリオ進行の流れは

- ・ 「機具を着脱する」動作の検出
- ・ 「仰向け(寝ている|起きている)」姿勢の継続
- ・ 「機具を着脱する」動作の検出
- ・ 「右手を振る」動作の検出

であるため、シナリオの成功率($P_{success}$)は、各進行トリガの検出成功率をかけあわせ、

$$P_{success} = 1.0 * 0.998 * 0.954 * 0.998 = 0.950$$

となる。シナリオの成功率は約 95 %であることがわかった。

逆に考えれば、約 5 %の確率で進行トリガの誤検出あるいは検出漏れが起き、患者とロボットの間でシナリオ進行の不一致が生じる可能性がある。しかし、その後の行動認識によって、ロボットは進行の不一致を把握することができるため、患者へシナリオ修正を促すことで正常なシナリオへの復帰を行うことが期待できる。例えば、ロボットが機具の装着動作を見逃してしまった場合、ロボットのステータスは進行しないまま患者が測定を開始してしまう。この場合、ロボットは患者の「測定している」姿勢を検出することでシナリオ進行の不一致に気づき、「機具を装着してください」といった旨の指示を出すことができる。そして、患者が機具を着け直すことで患者とロボットの進行を修正することができる。このため、今回想定したシナリオはほぼ確実に遂行されることが期待できる。

6. おわりに

本論文は、医療従事者の負担を軽減するために、患者行動認識に基づくロボット制御によって、回診支援ロボットによる自律回診業務を行うシステムを実現した。

具体的には、回診支援業務のひとつである「血圧計測」を対象とし、回診支援ロボット Terapio 上に患者自身が血圧測定を行うことを補助するシステムを実現した。

一連のシナリオについてロボットのステータスを定義し、患者の両手首に装着した加速度センサから行動認識した患者の姿勢や動作を、想定するシナリオを進行させるためのトリガとした。シナリオ進行のトリガとなる行動クラスの認識精度からシナリオの成功率を算出し、約 95 %の確率で正しく測定を補助可能であることを確認した。

参考文献

- [1] 見持 圭一, 古結 義浩, 宅原 雅人.: ネットワークロボットによる人物行動と状況の認識-アンコンシャスロボットとビジュアルロボットとの連携-, 信学技報, NR-TG-2-09, pp.9-14
- [2] 前川 卓也, 柳沢 豊, 櫻井 保志, 岸野 泰恵, 亀井 剛次, 岡留 剛.: 日常物の利用情報を用いたコンテキストサーチ, 情報処理学会論文誌, Vol52, No12, pp3504-3514(2011)
- [3] 神田 崇行, 石黒 浩, 小野 哲雄, 今井 倫太, 前田 武志, 中津 良平.: 研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット"Robovie"の開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-I

No.4, pp.380-389

[4] ATR-Promotions: 小型ハイブリッドセンサ WAA-006, <http://www.wireless-t.jp/support.html>. Accesed date: May 4 2014

[5] AND: Bluetooth 内蔵血圧計 UA-767-PBT-C, <http://www.aandd.co.jp/adhome/products/me/ua767pbt-c.html>. Accesed date: May 4 2014

[6] T. Stiefmeier, G. Ogris, H. Junker, P. Lukowicz, and G. Troster: Combin-ing Motion Sensors and Ultrasonic Hands Tracking for Continuous Activity Recognition in a Maintenance Scenario, Proc. of the 10th IEEE International Conference on Wearable Computers (ISWC 2006), pp. 97{104 (2006)

[7] K. Ouchi, T. Suzuki, and M. Doi: LifeMinder: A Wearable Healthcare Support System Using User's Context, Proc. of the 2nd International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC 2002), pp.791{792 (2002)

[8] 寺田 努.: ウェアラブルセンシングの課題・応用, <http://ubi.eedep.kobe-u.ac.jp/research/special/wearablerecognition1.html>. Accesed date May 4 2014

[9] 木村 浩, 池内 克史.: 視覚による動作認識に基づく人とロボットの協調, ロボティクス・シンポジウム, pp.120-126, (1997-8)

[10] 大和 淳司, 大谷 淳, 石井 健一郎.: 隠れマルコフモデルを用いた動画像からの人物の行動認識, 電子情報通信学会論文誌, pp.2556-2563(1993)

[11] 田中 穂積.: 言語理解とロボットの行動制御: 音声認識から音声理解へ, 情報処理学会研究報告, pp.37-42(2000)

[12] 田窪 朋仁, 荒井 裕彦, 谷江 和雄, 林原 靖男.: 人とロボットによる長尺物の協調運搬, 日本機械学会論文集(C 編), 第 66 巻 648 号, pp.207-214(2000-8)

[13] 佐藤 侑, 郭 士傑, 稲田 誠生, 向井 利春.: 介護支援ロボット RIBA-II の動作設計と評価実験, 日本機械学会論文集(C 編), 第 78 巻 789 号, pp.595-608(2012-5)

[14] 寺嶋一彦, 竹之下誠一, 三浦純, 田崎良佑, 北崎充晃, 三枝亮, 三好孝典, 内山直樹, 佐野滋則, 佐竹純二, 大村廉, 福島俊彦, 柿原清章, 河村博年, 高橋幹朗, Medical Round Robot -Terapio-, Journal of Robotics and Mechatronics, Rb26-1-6302, Vol.26, No.1, February, 2014