

認知症患者の日常生活動作を支援する コンテキストウェア案内システムの設計と実装

金勝進 司化 川西直 森川博之

東京大学大学院

あらまし 認知症患者は、「髭を剃る」、「お茶を入れる」などの日常生活動作を遂行する際に、次の手順でどの行動をするべきか忘れやすいため、専門介護者による介護を必要とする。だが、高齢化の進展に伴う認知症患者の急増に対し、専門介護者や介護施設のような介護資源の比較的な不足のため、認知症介護の介護負担が社会的な問題になりつつある。このような状況を背景とし、認知症介護を支援するコンテキストウェアコンピューティング技術の応用が注目されている。我々は、認知症患者の日常生活動作を支援するシステム CoReDA (Context-aware Reminding System for Daily Activities) を提案する。被介護者の日常生活動作を支援するため、CoReDA はまず、無線センサノードを用いて被介護者の日常生活動作における道具使用情報を取得する。取得した情報に基づき、CoReDA は TD(λ)Q-Learning を用いて、被介護者の習慣や嗜好を考慮した、必要最小限の指示を計画・提供する。

Design and Implementation of a Context-aware Guidance System to Support Dementia Patients' Activities of Daily Living

Seung Jin Kim Hua Si Nao Kawanishi Hiroyuki Morikawa

The University of Tokyo

Abstract Older people with dementia often decline in short-term memory and forget what to do next to complete their activities of daily living (ADLs), such as shaving and tea-making. Therefore, they need caregivers to remind them what to do to complete these activities. However, the steady growth of aging population makes the (relatively) shortage of traditional care resources more and more serious. In this paper, we propose a prototype called CoReDA (Context-aware Reminding System for Daily Activities) to help older people with dementia complete different ADLs instead of caregivers. By using the wireless sensor node - PAVENET Module, CoReDA can obtain care recipient's information of tool usage in different ADLs. Based on this information, CoReDA exploits TD(λ)Q-Learning technique to provide care recipient their personalized and minimal guidance to complete their ADLs.

1 はじめに

現在日本では、65歳以上の高齢者の人口が約2千6万人であり、全人口の20.6%の割合を示す [1]。この割合は増加しつつあり、それに伴った認知症患者の介護が社会的な問題になっている。認知症患者は、2015年には高齢者人口の7.6%である約250万人に、2025年には9.3%の約323万人に至ると予想される [2]。このような認知症患者数の増加に対して専門認知症介護者の数は比較的小ないため、認知症介護分野への支援が必要である。

本稿で取り上げている「認知症」に対して、世界保健機構 (WHO) では次のように定義した。

脳疾患による症候群であり、通常は慢性あるいは進行性で、記憶、思考、見当識、理解、計算、学習能力、言語、判断を含む多数の高次皮質機能障害を示す。意識の混濁はない。認知障害は、通常、情動の統制、社会行動あるいは動機づけの低下を伴うが、

場合によってはそれらが先行することもある [3]。

この定義のように、認知症患者は短期記憶力と行動判断力の悪化により、自力で日常生活動作^{*1}を完遂できなくなってしまう、介護者による補助が必要となる。例えば、認知症の被介護者が「歯磨き」動作を遂行するとき、歯磨き粉を歯ブラシにつける行動を忘れる場合がある。介護者はこの状況を把握し、「歯磨き粉を歯ブラシにつけてください」という指示を出すことで、被介護者が「歯磨き」動作を完遂できるように補助する。だが、上述の介護のために、介護者は被介護者の状況を常に観察する必要があり、また、認知症の悪化に伴い、被介護者が日常生活動作の補助を必要とする頻度や程度も増加するので、介護者の負担は無視できないくらい大きくなってしまふ。介護者の介護負担を軽減し、認知症患者の日常生活動

^{*1} 日常生活動作とは、ADL (Activities of Daily Living) とも呼ばれ、食事、排泄、着脱衣、入浴、移動、寝起きなど、日常の生活を送るために必要な基本動作すべてを指す [4]。

作を補助するため、コンテキストウェアコンピューティング技術の応用が考えられる。コンテキストウェアコンピューティング技術とは、ユーザの取り巻く環境、またはユーザ本人に対する状況に応じて、システムが自動的に適切なサービスを提供する技術である。時々刻々変化するユーザの状況に応じたサービス提供が必要なため、センサを用いてユーザの状況情報を取得することが重要視される。認知症患者の日常生活動作補助においても、被介護者の状況に応じた介護が重要であり、コンテキストウェアコンピューティング技術による介護支援が期待できる。

我々は認知症患者の特徴と日常生活動作案内介護に必要なとする介護ポリシーを検討し、それに基づいて、被介護者の日常生活動作を支援するコンテキストウェア案内システム CoReDA(Context-aware Reminding System for Daily Activities)を構築した。CoReDAは無線センサノードを用いて被介護者の状況をモニタリングし、被介護者の必要に応じて適切な指示を計画・提供する。このような介護サービスにより、介護者に集中した介護負担の軽減を図っている。

本稿では、まず第2章で関連研究を述べる。第3章では日常生活動作案内システムに要求される項目を挙げ、第4章でCoReDAの介護シナリオを述べる。第5章ではCoReDAのシステム構造を示し、第6章でCoReDAの評価を行った後、最後に第7章でまとめる。

2 関連研究

これまで、ユーザの記憶力を補助し、日常生活動作を案内する研究が多くなされてきた。Bourgeoisら[5]はユーザが思い出したい仕事や人に関する写真を財布に表示することで必要な情報を思い出させる研究をした。Levinsonら[6]は決定性アルゴリズムを用いて最適な仕事遂行の計画を立てた後、ディスプレイとスピーカにより仕事の各ステップを提示し、ユーザの仕事遂行を支援した。Pollackら[7]はダイナミックベイジアンネットワークを用いて、ユーザが計画された仕事を遂行したかモニタリングした。Pineauら[8]は高齢者の日常生活動作を補助するために、強化学習技術の1つであるPOMDPsを用い、画像処理と音声認識技術によりユーザの状況に応じたリマインダを提供した。

これらの研究はユーザの記憶力を補助するための研究であるが、ユーザの状況を把握するために特定のボタンを押してもらうなど、ユーザからの明示的なフィードバックを必要とする。そのため、ユーザがフィードバックを忘れた場合にはサービス提供ができない欠点を持つ。

Bogerら[9]は認知症患者の日常生活動作を案内するために、マルコフ決定過程を用い、ユーザが次の手順で行うべき行動を決定・提示した。ユーザの状況を把握するためにはカメラ画像による画像認識技術を用いた。だが、画像認識技術を用いてユーザの状況を把握するため、補助する日常生活動作を拡張したい場合にはカメラ設置の追加設置や画像認識技術の工夫などが必要であり、対応サービスの拡張性に欠けている。そして、カメラの設

置により、認知症患者に「監視されている」という印象を与えてしまう。また、研究者が設定した通りに被介護者の日常生活動作を案内するので、被介護者の習慣や嗜好を考慮した案内ができない。

3 システムへの要求

コンテキストウェアコンピューティング技術を用いて認知症患者の日常生活動作を案内するためには、まず介護現場における被介護者と介護者の要求を正確に把握する必要がある。そのため、我々は認知症介護施設(NPO法人サポートハウス年輪)に協力してもらい、専門介護者にインタビューを行い、また介護する現場を観察した。その結果、認知症患者の日常生活動作を案内する際に注意すべき項目をまとめた。

- 1) 必要最小限の補助で認知症患者の日常生活動作を案内すること
- 2) 認知症患者ごとの必要とされる介護レベルを十分に把握した上で案内すること
- 3) 認知症患者の嗜好や習慣を考慮して案内すること
- 4) 認知症患者には介護補助端末をなるべく所持させないこと
- 5) 日常生活動作を案内するときにはまず認知症患者の注意を引くこと
- 6) 認知症患者は音による情報解釈が衰えるので、スピーカやベルのように音による案内をできるだけ控えること
- 7) 認知症患者は自分が慣れていない技術の使用を学ぶことが困難である。

まず、1)は認知症患者を介護する際にもっとも重要な方針である。もし介護者が必要以上に補助する場合、介護者に対する認知症患者の依存度はさらに深刻になり、認知症の悪化を招く。2)は、認知症患者ごとの症状は様々であるため、各認知症患者における必要最小限の補助のレベルを考慮することが重要である。3)は、例えば認知症患者の中では洗顔をする際、石鹸を塗りつけた後水で洗う人とその逆順で洗顔する人もいるので、そのような手順、使用道具などに関する嗜好や習慣を考慮して案内することが重要である。4)は、短期記憶の悪化により、認知症患者は介護補助端末を所持した理由を忘れてしまい、放置してしまう。そのため、もし端末を所持させたい場合には、認知症患者が普段所持する物に端末を装着することが望まれる。5)は、認知症患者の注意力は低下するので、案内の前に認知症患者と目を合わせるなど、注意を引いた後に案内することが必要である。6)は、もしスピーカにより多くの案内をする場合、認知症患者は案内の内容を理解する前に新しい案内が提供されるため、混乱してしまう。7)は認知症患者の特徴を示す。例えば携帯やコンピュータのように新しい技術を使用した経験があまりない認知症患者の場合、それらの技術の使用を学ぶことが困難である。だが、前からこのような技術を使用した経験がある認知症患者にはそのような問題がない。そのため、認知症患者が慣れていない技術を考慮して案内

手段を選択する必要がある。

以上での述べた項目は日常生活動作案内システム CoReDA の設計において重要な基準となる。1) から 3) は、日常生活動作案内するため CoReDA が提示する指示内容の決定に関する基準である。また、5) から 7) は、CoReDA の指示提供手段に関する基準である。4) は CoReDA における全般的な基準である。

CoReDA の設計において、上述の基準以外にも、第 2 章の関連研究で述べた既存研究の問題点を解決するために、以下の項目を考慮する必要がある。

- 8) 認知症患者の日常生活動作における異常を検出できること
- 9) 認知症患者や介護者による明示的なフィードバックなしで案内できること
- 10) 介護する日常生活動作の新しい項目も簡単に追加できること

8) から 10) は、CoReDA におけるユーザ状況のセンシング性能に関した基準である。

我々は上述の条件を考慮して CoReDA を設計・実装した。その詳細を 5 で示す。次章では、まず CoReDA の全体的なイメージを表すため、CoReDA による介護シナリオを説明する。

4 CoReDA による介護シナリオ

CoReDA は認知症患者が日常生活動作で使用する道具に無線センサノードを装着し、道具使用情報を取得する。その取得情報に基づいて、日常生活動作で使用する道具の項目とその使用手順を学習し、その後、学習結果を用いて認知症患者の日常生活動作を案内する。以下、「被介護者」は「認知症患者」を意味する。

図 1 に CoReDA による日常生活動作案内の介護シナリオを示す。シナリオの中で、認知症被介護者である「野島さん」が「髭を剃る」日常生活動作をするとき、いつも次の 4 つの手順で行う。

- (1) 電気髭剃りで髭を剃る
- (2) 洗顔フォームで洗顔する
- (3) タオルで顔を拭く
- (4) アフターシェーバーローションを塗る

CoReDA は導入されたとき、最初に被介護者の「髭を剃る」動作の手順を学習する。その後、認知症の悪化により野島さんが (1) 電気髭剃りで髭を剃った後、洗顔フォームを使用することを忘れ、水洗顔した場合、被介護者が (2) 洗顔フォームを使用して洗顔できるように、CoReDA は図 1 に示した 4 つの指示を選択的に提供する。CoReDA の指示によって被介護者が正しい行動に進行できた場合には「すばらしいです!」とディスプレイに表示することで褒美を与える。その後、野島さんが (3) タオルで顔を拭いた後に、アフターシェーバーローションを塗ることを忘れたまま 30 秒が経った場合、CoReDA は図 1 で示す 3 つの指示を選択的に提供する。CoReDA は他の日常

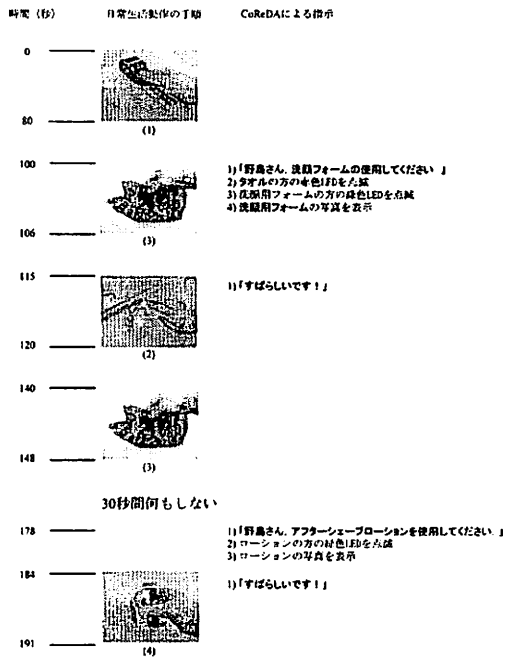


図 1 CoReDA による介護シナリオ

生活動作に対しても同じプロセスで被介護者を案内する。

5 CoReDA のシステム構造

4 で示した介護シナリオを実現するために、CoReDA は大きく 3 つの機能を保持することが求められる。

- (1) 被介護者の日常生活動作の進行状況を取得する機能 (センシング機能)
- (2) 被介護者の日常生活動作手順を学習し、適切な指示内容や指示手段を計画する機能 (プランニング機能)
- (3) 実際に被介護者へ指示を提供する機能 (リマインディング機能)

CoReDA は、上述の 3 つの機能を担当する 3 つのサブシステム ((1) センシングサブシステム, (2) プランニングサブシステム, (3) リマインディングサブシステム) によって構成される。図 2 に CoReDA のシステム構造を示す。以下では各サブシステムに関して説明する。

5.1 センシングサブシステム

センシングサブシステムは無線センサノードにより収集した道具使用情報に基づいて、被介護者の日常生活動作の進行状況をモニタリングする。そして、モニタリングした情報をプランニングサブシステムに渡す。

5.1.1 センサの選択

道具使用情報を検出するために、以下の 3 つの手法が考えられる。

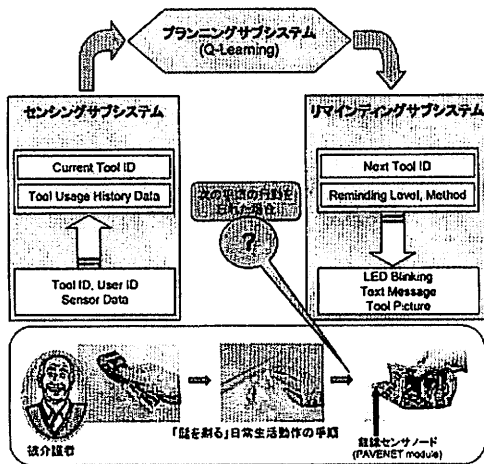


図2 CoReDA のシステム構造

- 1) 電波強度を用いて、ユーザの手と道具の近接情報を取得
- 2) 接触センサを用いて、ユーザの手と道具の接触情報を取得
- 3) 加速度センサを用いて道具の動き情報を取得

1) の場合、電波強度は環境の影響を受けやすいため、正確な近接情報を取得することが難しい。電波強度を用いて近接情報を取得する際、数 m 単位の精度は得られるのでユーザ間の近接情報取得に用いられるが、手と道具の近接情報取得に必要な数十 cm 単位の精度を得ることが困難である。RFID 技術を用いてユーザの手と道具の近接情報を取得する試みもあるが [10]、環境の影響により精度よく道具使用情報を取得することが困難であると示している。その以外にも、ユーザが持つべき端末はユーザの「手」という限られた場所に装着しないとけない欠点を持っている。

2) の場合、道具を使用するためにユーザが接触する部分に、圧力センサなどの接触センサを貼ることで、道具使用情報を取得できる。この場合、道具使用情報を正確に取得できるが、道具のインタフェースにセンサが貼られているため、道具使用に不便を感じさせる。

3) の場合、比較的正確に道具使用情報を取得でき、また 2) ように道具使用に不便を感じさせることはない。だが道具の中には「電気ポット」のように、使用される際に動きを伴わない道具には利用できない。

以上の 3 つの手法を検討した結果、CoReDA では上述の 3 つの手法に対して、3)→2)→1) 優先順位を付け、できるだけ優先順位の高い手法を利用する。表 1 に 3 つの日常生活動作の手順と使用道具に装着したセンサの例を示す。

5.1.2 加速度センサ

3 軸加速度センサを道具に装着することで道具使用情報を取得する。使用した加速度センサは、ST マイクロエ

レクトロニクス社製の LIS3L02DQ であり、測定可能な範囲 $\pm 2g$ 、分解能が 12bit である。

動きの方向は考慮せず単に「道具が動いた」というイベントを検出するので、時間 t における動きの程度 r_t は x, y, z 軸の加速度 a_x, a_y, a_z を用いて式 1 により求められる。

$$r_t = (a_{x,t} - a_{x,t-1})^2 + (a_{y,t} - a_{y,t-1})^2 + (a_{z,t} - a_{z,t-1})^2 \quad (1)$$

r_t を閾値と比較することによって道具使用情報を取得できる。実験により適切な閾値を設けることで、道具使用状況を検出できる。だが、「道具を使用している場合」と「道具を使用しないために机に置いたが、机に他の物を置くことで衝撃を受ける場合」の r_t の最高値はほとんど同じ値を示すため、区別し難い。それで我々は前者の場合、 r_t が閾値を超える回数が後者の方より多いことを利用し、 r_t が閾値を越えた回数が設定回数以上になった場合に、道具が使用されたと判断した。無線センサノードによるサンプリングレートは 10Hz であり、1 秒間のサンプリングデータ 10 個を上述のとおり処理した後、道具使用情報を検出したらその情報を発信する。

5.1.3 圧力センサ

電気ポットのように使用される際に動きを伴わない道具には給湯ボタンのようにユーザが使用のため触るところに圧力センサを装着することで道具使用情報を取得する。圧力センサとしてニッタ株式会社製の Flexi-Force A201-100 を用いた。FlexiForce は幅 14mm、長さ 205mm、厚さ 0.208mm のフィルム状のセンサであり、有効センシングエリアはセンサの先端にある直径の 9.5mm の円である。最大測定荷重は 440N、立ち上がり時間は $20\mu\text{sec}$ 以下であり、測定可能な環境温度は $24\sim 70^\circ\text{C}$ である。極めて薄いフィルム状のセンサであり、ユーザが普段のとおり道具を使用するのにあまり不便を感じないぐらいの厚さである。

サンプリングレートや道具使用情報を検出する仕組みは加速度センサの場合と同様である。

5.1.4 PAVENET Module

センサデータの処理・送受信と、また、ユーザの手と道具の間の近接情報取得のため、我々は無線センサノード

表 1 日常生活動作の手順と使用道具への装着センサ

日常生活動作	各手順の行動	使用道具 (装着センサ)
髭を剃る	電気髭剃りで髭を剃る	電気髭剃り (加速度)
	洗顔フォームで洗顔する	洗顔フォーム (圧力)
	タオルで拭く	タオル (加速度)
	ローションを塗る	ローション (加速度)
歯を磨く	歯磨き粉を付ける	歯磨き粉 (加速度), 歯ブラシ (加速度)
	歯を磨く	歯ブラシ (加速度)
	うがいをする	うがい用コップ (加速度)
	タオルで拭く	タオル (加速度)
お茶を入れる	茶葉を急須に入れる	茶箱 (加速度), 急須 (加速度)
	お湯を急須に入れる	ポット (圧力), 急須 (加速度)
	お茶を茶碗に注ぐ	急須 (加速度), 茶碗 (加速度)
	お茶を飲む	茶碗 (加速度)

PAVENET Module[11] を用いた、PAVENET Module (以下 PAVENET) は、MICROCHIP 社製のマイクロコントローラ PIC18 シリーズを搭載し、C 言語でプログラムを記述することにより、センサやアクチュエータを連係動作させることが可能である。データの送受信には 315MHz の微弱無線電波を用いる。また、電波強度の調節・検出が可能であるため、電波強度により近接情報を取得できる。

5.1.5 道具使用情報の送受信プロセス

複数の人が生活している介護環境を想定した場合、道具を使用する主体と使用道具の情報を取得する必要がある。そのため、我々は被介護者が通常所持する物（財布、腕時計、携帯など）に PAVENET (ユーザ PAVENET) を装着することで道具を使用する主体を識別した。

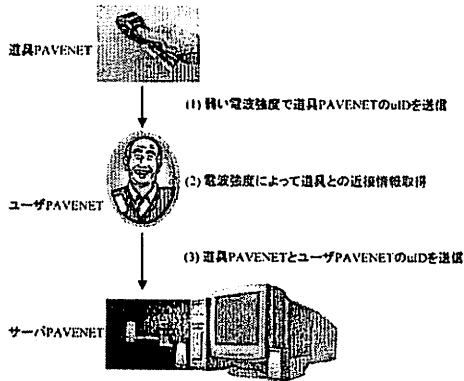


図3 道具使用情報取得プロセス

図3に示すように、被介護者が特定の道具を使用すると、(1) 道具に装着した PAVENET (道具 PAVENET) は、約 1m 程度の距離まで送信可能な弱い電波強度で uID を発信する。(2) このデータを受信したユーザ PAVENET は電波強度によって道具との近接情報取得し、近接だと判断した場合に、(3) 受信した uID と自分 (ユーザ PAVENET) の uID を CoReDA のサーバに送信する。

図3において、道具 PAVENET は道具使用情報を複数のユーザ PAVENET にマルチキャストする必要がある。そのため我々は、各 PAVENET に 2 つの ID を設定し、データの送受信に用いる。uID は各 PAVENET が所持する固有の ID であり、その PAVENET が装着されている道具またはユーザの識別に用いる。tID は各 PAVENET が装着されているオブジェクト (道具、ユーザ、サーバ) の識別子であり、複数ユーザへのマルチキャストに用いる。

5.1.6 道具使用情報と各手順の行動とのマッピング手法

表1で示すように、CoReDA は被介護者の使用道具情報を用い、日常生活動作における各手順の行動をモニタリングする。そのため、「髭を剃る」動作のように、各手順の行動において使用する道具が 1 つで限られる場合、各手順の行動情報と道具使用情報を 1 対 1 でマッピング

できる。だが「お茶を入れる」動作のように各手順の行動において使用道具が複数になる場合、そのようなマッピングが困難である。図4にその状況を示す。

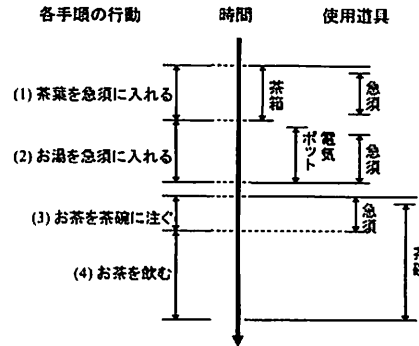


図4 「お茶を入れる」日常生活動作における各手順の行動情報と使用道具情報

CoReDA ではこの問題を解決するため、各手順の行動をもっとも密接な関係を持つ道具に高い優先順位を与える。その後、同時に 2 つ以上の道具が使用された場合、優先順位の高い道具情報を 1 つ選択し、各手順の行動の ID である (StepID) として定義する。たとえば、図4で示しているように、(1) 茶葉を急須に入れるの行動において茶箱と急須の 2 つの道具を使用する場合、茶箱に高い優先順位を与えることで、茶箱を (StepID) としてみなす。

センシングサブシステムは取得した各手順の行動情報とユーザ情報 (StepID, User ID) をプランニングサブシステムに渡す。

5.2 プランニングサブシステム

プランニングサブシステムでは被介護者の日常生活動作の手順を学習し、被介護者の状況に応じて適切な指示計画した後、その計画結果をリマインディングサブシステムに提供する。

CoReDA ではセンシングサブシステムから渡してもらった StepID を用い、学習の入力情報として (StepID_{i-1}, StepID_i) を作成する (i は各行動の順番を意味する)。その後、Q-Learning アルゴリズム [12] を用いて被介護者の日常生活動作の手順、すなわち「政策」を学習する。この政策は各ユーザごとに生成され、学習される。プランニングサブシステムでは最初にランダムな政策から学習を開始し、入力情報による学習を繰り返すことによって最適な政策を探索する。十分な回数を経て最適な政策へ更新することで、プランニングサブシステムに被介護者の日常生活動作の手順を取り組むことができる。その結果、プランニングサブシステムは政策と被介護者の現在の手順の行動情報に基づき、被介護者が次の段階で行うべき行動を予測できるので、被介護者の日常生活動作における異常を検出できる。もし、次の手順で行うべき行動を行わなかったり、または間違った行動を行うなどの異常を検出した場合、プランニングサブシステムは被介護者

が行うべき道具の StepID と指示の詳細レベルの情報をリマインディングサブシステムに渡す。

我々は Reinforcement Learning Toolbox 2.0[13] で提供する TD(λ)Q-Learning アルゴリズムを用いてプランニングサブシステムを実装した。強化学習では以下の3つの項目によってモデル化される。

- 状態の集合 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$
- 行動の集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_l\}$
- 報酬の集合 $R : S \times A \rightarrow R$

システムは状態 $s_i \in S$ を取得し、行動 $a_i \in A$ を出力する。行動 a_i により状態は遷移確率 $P(s_i, a_i, s_{i+1})$ にしたがって s_{i+1} に遷移し、報酬 $R(s_i, a_i, s_{i+1})$ を取得する。CoReDA でのモデル設定は次のようになる。

- 状態 $s_i = \langle \text{StepID}_{i-1}, \text{StepID}_i \rangle$: 以前の手順の StepID と現在の StepID
- 行動 $a_i = \langle \text{ToolID}_{i+1}, \text{Level}_{i+1}, \text{Method}_{i+1} \rangle$: 次の手順で被介護者が使用するべき道具の ID, 指示の詳細レベル (詳しい指示, 簡単な指示), 指示手段 (PAVENET の LED を用いた案内, 文章による案内, 道具の写真による案内)。リマインディングサブシステムではこのデータに基づいて被介護者に指示を出す。

この設定に基づいた学習過程を図5に示す。

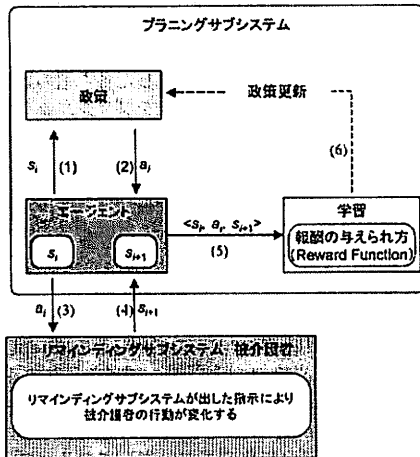


図5 CoReDAの学習過程

図5に従ってプランニングサブシステムの学習過程を説明する。(1) システムの状態 $s_i = \langle \text{StepID}_{i-1}, \text{StepID}_i \rangle$ である場合、(2) 政策 (Policy) にしたがって行動 $a_i = \langle \text{ToolID}_{i+1}, \text{Level}_{i+1}, \text{Method}_{i+1} \rangle$ を出力する。(3) 出力された行動 a_i によってリマインディングサブシステムは被介護者に指示を出す。(4) 指示により被介護者の行動は変化され、状態は $s_{i+1} = \langle \text{StepID}_i, \text{StepID}_{i+1} \rangle$ に遷移する。(5) (s_i, a_i, s_{i+1}) 情報に基づいて報酬 $r_i = R(s_i, a_i, s_{i+1})$ を計算する。(6) 最後に、報

酬 r_i によって政策の更新を行う。システムは学習の初期段階ではランダムな行動出力の政策を持つが、(1)~(6)の過程を繰り返すことによって最適な政策を探索できる。

Q-Learning の学習目標は報酬の累積値を最大にする政策、すなわち最適な政策の探索である。そのため、報酬の与えられ方を設定することは学習を計画する際に重要であり、それにより我々は被介護者の日常生活動作の手順と必要とされる最小限の指示を学習できる。CoReDA では次のように報酬の与えられ方を設定した。まず、日常生活動作の完遂を促すために、もし被介護者が日常生活動作の最後手順の行動を遂行できたら、最大の報酬 1000 を与える。そのほかの手順における行動を被介護者が正しく遂行した場合は CoReDA が提供した指示の詳細レベルにより報酬が違い、「詳しい指示」を出した場合には報酬として 50 を、「簡単な指示」を出した場合には 100 を与える。この設定により指示の詳細レベルをできるだけ下げられ、被介護者の介護者 (介護システム) への依存性をなるべく低くできる。また、被介護者に適した指示手段が選ばれた際に被介護者は正しく行動遂行ができるので、大きい報酬を得ることができる。その結果適切な指示手段の学習が可能である。

5.3 リマインディングサブシステム

リマインディングサブシステムではプランニングサブシステムで決定した指示の情報に基づいて被介護者に指示を出す。渡される指示の情報は $(\text{ToolID}, \text{Level}, \text{Method})$ 、つまり次の手順で被介護者が使用するべき道具の ID と指示の詳細レベル (詳しい指示, 簡単な指示)、そして指示手段である。

指示手段を考慮する際、認知症被介護者の特徴を踏まえ、なるべく被介護者に端末などを持たせないことが望ましい。そのため、以下のような指示手段を採用する。

各道具に装着した PAVENET の LED の点滅

PAVENET に装着されている緑色 LED と赤色 LED を用いて、被介護者がいま使うべき道具または使わないべき道具を指示する。緑色 LED が点滅によりその PAVENET が装着されている道具を使用するように指示し、もし被介護者が指示を無視して間違った道具を使用する場合にはその道具に装着されている PAVENET の赤色 LED を点滅することで注意する。

ディスプレイで表示する案内文章と使うべき道具の写真各道具に装着した PAVENET の LED による指示は非明示的な指示であり、被介護者によっては指示の意味を忘れる場合がある。そのため、浴室、台所のように日常生活動作が主に行われる環境にディスプレイを設置し、案内指示を文章として表示することで被介護者の日常生活動作を明示的に案内する。また、案内指示として使うべき道具の写真を表示することで、直感的に次の手順の行動を指示することが可能である。

これらの指示手段はプランニングサブシステムから渡された (Method) 情報によって全部利用する場合もある

し、または選択的に利用する場合もある。現在ではこれらの指示手段が実装されているが、今後他の指示手段も実装することにより、被介護者が利用できる指示手段の選択範囲を広げる必要がある。

我々の介護シナリオでは、被介護者が指示を必要とする状況を大きく2つに区別する。

- 1) 被介護者が次の手順で行うべき行動を遂行しない場合： この場合には指示の文章と使うべき道具の写真がディスプレイに表示され、その道具に装着された PAVENET の緑色 LED が点滅する。もし指示の詳細レベルが「簡単な指示」の場合には、例えば「茶碗を使ってください。」のように指示の文章を短くして、LED の点滅回数を減らす。指示の詳細レベルが「詳しい指示」の場合には、「野島さん、あなたの前にある茶碗を使ってください。」のように長い文章を表示し、LED の点滅回数も長くする。
- 2) 被介護者が次の手順で間違った行動を遂行する場合： 最初の場合と同じく指示文章、使うべき道具の写真、道具のほうの緑色 LED 点滅による指示を提供する。また、被介護者が間違って使用している道具の方の赤色 LED を点滅し、注意する。

6 評価

CoReDA の有用性を確かめるために、「お茶を入れる」、「歯を磨く」の2つの日常生活動作を実行した後、以下の3つの評価を行った。

- 1) センサデータによる道具使用情報取得の精度
- 2) TD(λ)Q-Learning の学習曲線
- 3) 次の手順の行動の推定確率

6.1 道具使用情報取得の精度

2つの各日常生活動作を表1で示した手順で道具を用い、実行した。その結果、320個のサンプリングデータが得られた。各道具使用のサンプリングデータは平均40個ずつある。サンプリングデータは、〈センシングサブシステムにより取得した各手順の行動情報〉、人間の観察による情報)の対として構成される。両方の比較によってセンサデータによる道具使用情報の取得精度を評価し、その結果を表2に示す。表2では、「タオルで拭く」、「急須にお湯を入れる」行動のように、行動にかかる時間が比較的短いのはその取得精度が低かった。

6.2 学習曲線

我々は TD(λ)Q-Learning の学習曲線を評価するために、日常生活動作のトレーニング・サンプリングデータ120個を収集した。サンプリングデータは各日常生活動作の各手順における行動情報によって構成される。例えば「お茶を入れる」日常生活動作のサンプリングデータは、((1)茶箱から茶葉を出して急須に入れる、(2)お湯を急須に入れる、(3)急須からお茶を茶碗に注ぐ、(4)お茶を飲む)のように日常生活動作を実行する手順に従った4つの行動によって構成される。学習を行うプランニ

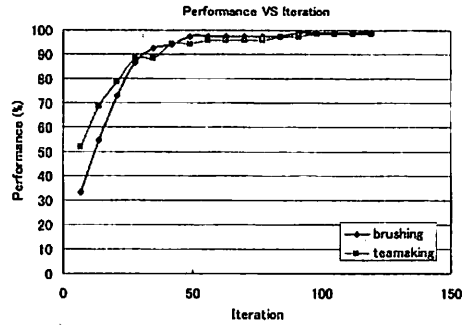


図6 学習曲線

ングサブシステムの実装用コンピュータの仕様は、IBM ThinkPad X32, CPUはPentium(R) M 1.8GHz, RAMメモリは1.5GHzである。実験結果を図6に示す。

各日常生活動作の TD(λ)Q-Learning の学習曲線において、収束能力が95%にいたるのに必要な学習回数は、「歯を磨く」動作の場合49回であり、「お茶を入れる」動作の場合には56回であった。プランニングサブシステムでは収束能力の安定的な閾値として98%に設定したので、「歯を磨く」動作の場合91回であり、「お茶を入れる」動作の場合には98回の学習回数が必要である。

6.3 推定確率

被介護者の日常生活動作の手順を学習した後、CoReDAが被介護者に指示を出す状況を正確に推定できるか、評価する必要がある。介護者が指示を必要とする状況は、1)被介護者が次の手順で行うべき行動を遂行しない場合、2)被介護者が次の手順で間違った行動を遂行する場合である。我々はこれらの2つの状況を、「歯を磨く」、「お茶を入れる」の2つの日常生活動作に対してシミュレーションし、適切なタイミングで指示が出されるかを確認した結果、100%の精度で問題なく推定できた。

現在のCoReDAでは、被介護者のある日常生活動作に関して1通りの手順しか学習することができず、複数通

表2 道具使用情報の取得精度

日常生活動作	各手順の行動	取得精度
歯を磨く	歯磨き粉を歯ブラシにつける	90 (%)
	歯ブラシで歯を磨く	100 (%)
	うがいをする	100 (%)
	タオルで拭く	85 (%)
お茶を入れる	急須に茶葉を入れる	100 (%)
	急須にお湯を入れる	80 (%)
	お茶を茶碗に注ぐ	100 (%)
	お茶を飲む	90 (%)

りの手順を持つ場合には対応することができない。また、たとえば「お茶を入れる」動作と「お湯を入れる」動作のように、同じ道具を使う日常生活動作を区別して対応することもできない。より多くの被介護者の特徴を考慮し、またより多くの日常生活動作を支援するためには、この点を改善する必要がある。

7 おわりに

本稿では認知症患者の日常生活動作を案内するシステム CoReDA の設計と実装に関して述べた。CoReDA は無線センサノード PAVENET を用いて道具使用情報を取得し、被介護者の日常生活動作状況をモニタリングする。モニタリング結果得られた情報に基づき、TD(λ)Q-Learning アルゴリズムを用いて被介護者の習慣を考慮した最小限の指示を出すことで、被介護者が日常生活動作を完遂できるように支援する。

本稿では2つの日常生活動作に関して評価を行ったが、今後は、「手を洗う」、「トイレに行く」など本稿で述べていない日常生活動作への対応や、複数の手順を持つ日常生活動作、同じ道具を利用する異なる日常生活動作などへの対応を進めるとともに、認知症患者を対象とした実証実験を通じて、ユーザインタフェースも含めた総合的な評価を進める予定である。

参考文献

- [1] 総務省統計局(平成18年8月統計値). <http://www.stat.go.jp/>.
- [2] 高齢者介護研究会(2003). 2015年の高齢者介護—高齢者の尊厳を支えるケアの確立に向けて—厚生労働省.
- [3] World Health Organization(1992). The ICD-10 Classification of Mental and Behavioral Disorders: Clinical descriptions and diagnostic guidelines.
- [4] 健康用語辞典. <http://www2.health.ne.jp/word/>.
- [5] M. Bourgeois: "Enhancing conversation skills in patients with Alzheimer's disease using a prosthetic memory aid," J. Appl. Behav. Anal., vol. 23, no. 1, pp. 29-42, 1990.
- [6] R. Levinson: "The planning and execution assistant and training system," J. Head Trauma Rehabil., vol. 12, no. 2, pp. 769-775, 1997.
- [7] M. Pollack, L. Brown, D. Colbry, C. McCarthy, C. Orosz, B. Peintner, S. Ramakrishnan and I. Tsamardinos: "Autominder: An intelligent cognitive orthotic system for people with memory impairment," Robot Auton. Syst., vol. 44, pp. 273-282, 2003.
- [8] J. Pineau, M. Montemerlo, M. Pollack, N. Roy and S. Thrun: "Towards robotic assistants in nursing homes: Challenges and results," Robot Auton. Syst., vol. 42, pp. 271-281, 2003.
- [9] J. Boger, J. Hoey, P. Poupart, C. Boutilier, G. Fernie and A. Mihailidis: "A Planning System Based on Markov Decision Processes to Guide People with De-

mentia Through Activities of Daily Living," Transactions on Information Technology in Biomedicine, 10(2):323-333, 2006.

- [10] M. Philipose, K. P. Fishkin, M. Perkowitz, D. J. Patterson, D. Hahnel, D. Fox, and H. Kautz: "Inferring Activities from Interactions with Objects," IEEE Pervasive Computing, pp. 50-57, October 2004.
- [11] S. Saruwatari, T. Kashima, M. Minami, H. Morikawa and T. Aoyama: "Pavenet: A Hardware and Software Framework for Wireless Sensor Networks," Transaction of the Society of Instrument and Control Engineers, vol. E-3, 2005.
- [12] R. Sutton and A. Barto: Reinforcement Learning. MIT Press, 1998.
- [13] RL toolbox 2.0. <http://www.igi.tugraz.at/ril-toolbox/>.