

認知症患者向け服薬アドヒアランス・モニタリング・システムの開発*

橋 本 浩 二**

小 柳 昌 輝**

平 山 富省之**

高 濱 明 久**

モシニヤガ ワシリー**

Development of Medication Adherence Monitoring System for People with Dementia

Koji HASHIMOTO**, Masaki KOYANAGI**, Fumiyuki HIRAYAMA**, Akihisa TAKAHAMA**,
and Vasily MOSHNYAGA**

Due to forgetfulness, people with dementia need assistive technologies for managing medications. In this paper we present a Kinect-based smart system for unobtrusive medication adherence monitoring of people with memory-degrading conditions. Unlike existing pill dispensers, our system not only reminds a patient on time of medicine intake and provides the corresponding medication dose, but also vocally guides the patient through the steps of medication intake, controlling correctness and completeness of his actions and alerting the caregiver if problems occur. The experimental evaluation of prototype system shows that it effectively monitors medication adherence and is very easy to use.

Key Words : Medication adherence, Assistive technologies, Activity recognition, Smart system, Sensors, Kinect

1. はじめに

認知症は、老化による物忘れとは異なり、脳の神経細胞の破壊されることにより記憶力・判断力が低下していき、日常生活に支障をきたす症候群である。WHOによると、2015年に47.5百万人が認知症の症状を有しており、さらに毎年770万人増加している。認知症患者の大多数は、高血圧、関節炎、糖尿病、尿路感染症、心臓病などの他の病気も患っているため、多くの医薬品（特に内服薬）が同時に処方されることが多い。しかし、記憶力が低下している認知症患者にとって、医薬品の管理は容易ではなく、様々なトラブルが生じる危険性が高い。特に、医師から指示されたタイミングで服薬することを忘れていたり、病状が進行すると服薬したこと自体を記憶できないこともある。このような認知症による

記憶障害は、投薬に基づく治療計画の進行の妨げになるばかりではなく、過量・過少服用によって深刻な合併症を招く場合がある。したがって今日、服薬を忘れないよう援助するための技術がますます重要である。

そこで、これまで長年にわたり、患者の服薬アドヒアランス（患者が医療機関の指導に基づいて、適切に服薬を遵守すること）を支援するための様々な技術が提案されてきた。一例として、携帯電話や情報端末上で動作し、いつ・どの種類の薬を服薬するかを注意喚起させるためのソフトウェア・アプリケーションとして UbiMeds[3]、MyMeds、RxmindMe[4] 等がある。また Wireless smart-pill bottles[5] は患者または介護者に対して、服薬の時刻になると薬ケースが点灯し、またビーブ音でもって通知する。電動式ピル・ディスペンサー [6-11] は家庭または医療機関において、処方薬を厳重に管理したうえで、所定の用量・所定の時刻に与薬するためのシステムである。初期のピル・ディスペンサー [6] はスタンドアロー

* 平成30年11月受付

** 電子情報工学科

ンのデバイスであったが、近年、無線センサ [7-10] または RFID 技術 [11] によって患者の活動に関するデータを収集し、医療スタッフによる分析のためにサーバへ送信するものがある。

だが既存のピル・ディスペンサーには実装の違いにもかかわらず、共通して1つの欠点がある。それは、患者が実際にディスペンサーから取り出された薬を服用したのか、単に取り出して廃棄してしまったのかを判断することはできないという点である。すなわち、患者が正しく服薬し終えるまで適切にガイドするための技術が求められている。

服薬行動の検出という課題は、日常生活の活動 (ADL) の自動認識に関連して、研究コミュニティで注目されている。一般的な手法としては、周囲から収集される一連のデータが人間によって行われた服薬行動の痕跡として解釈され得るかどうかを識別するよう定式化される。既存手法として、カメラベースのシステム [12-16]、無線センサネットワーク [17,18]、RFID ベースのシステム [19,20]、ウェアラブル・デバイス (いずれかの慣性デバイス [21]、加速度センサ [22]、圧電素子センサ [23] を用いたもの)、そして様々な技術を組み合わせた枠組みによるもの [24,25] が挙げられる。しかしこれらの方策は依然として使用者に対して高い負担をもたらしたり (例えばリストバンド型、ネックレス型のデバイス、あるいはスマートフォンの装着を強いるなど)、あるいは相当に複雑であったり、あるいは服薬アドヒアランスを過剰に評価するなどの問題を抱えている。

そこで我々は、記憶障害を抱える患者の服薬アドヒアランス確保を支援するための新たなシステムを提案する。既存のスマート・ピル・ディスペンサーとは異なり、本システムは患者に処方された薬の服用量をあらかじめ定められた時刻に与薬するのみならず、システムに組み込んだセンサ・デバイスおよび Kinect によって患者の服薬アドヒアランスを非接触に監視・ガイドし、もし問題 (例えば、服薬行動が確認されない) が生じた場合に介護者に対して警告を発する。本システムは、Kinect で実現される骨格情報の追跡処理により、対象人物の体幹角度 (顔の向き) 左右 90 度の範囲内で、服薬行動の高精度かつリアルタイムの認識を実現する。

次章では本提案システムを概説する。第3章では実際に開発したプロトタイプ・システムの評価実験結果を示す。終章では結論および今後の課題等を示す。

2. 提案システム

2.1. 概要

本提案システムは図1に示すように、2つのメインユニット: 与薬ユニットと PC から構成される。与薬ユニットには介護者の手によって、処方薬があらかじめセットされている。PC には下記の機能を実現するようプログ

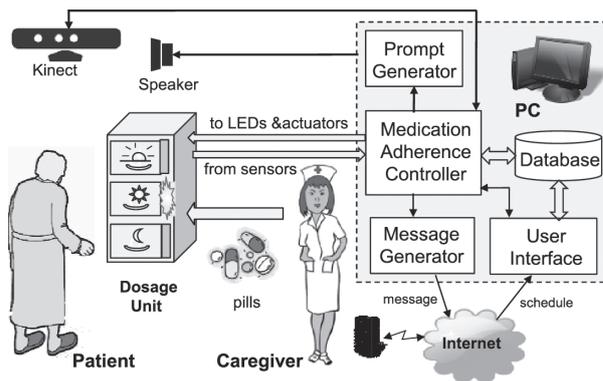


図1 システム・アーキテクチャの概要

ラミングされている。

- ・ 介護者による処方薬の用量・服薬スケジュール設定を支援する。
- ・ 患者に対して服薬の時刻を思い出させる。
- ・ 患者が処方薬を誤って服用するのを防ぐ。服薬の時刻になると、適切な用量が与薬され、それ以外の用量はロックされる。
- ・ 人工音声により、患者の服薬行動手順をガイドする。
- ・ 患者の服薬行動手順の正確性を評価する。
- ・ データベースに、服薬行動手順の完全性/不完全性、およびその他の問題など、モニタリング結果を記録する。
- ・ モニタリングの結果について介護者にテキストメッセージを送る。
- ・ 一定期間、患者の服薬アドヒアランスの履歴を表示する。

患者の服薬行動を評価・モニタリングするため、本システムでは、視覚センサ (Kinect)、スピーカー、シンプルなリード・スイッチ・センサ、マイクロ・アクチュエータ、および LED を用いる。PC には Kinect とスピーカーが接続され、与薬ユニット内にはリード・スイッチ・センサ、アクチュエータ、LED が組み込まれる。患者の服薬アドヒアランス・モニタリング結果は、システム内部のデータベースに記録され、その PC または介護者の個人情報端末 (スマートフォン等) からオンラインで参照することができる。

システムは以下のように動作する。システム・インタフェースを使用して介護者は与薬ユニットをロック解除し、処方薬を与薬ユニットのキャビネット・コンパートメントに充填し、服薬スケジュールを設定する。スケジュールはデータベースに保存され、全コンパートメントは自動的にロックされる。服薬の時刻が到来すると、服薬アドヒアランス・コントローラは適切な用量が収納されているコンパートメントのロックを解除する。また、プロンプト・ジェネレータを介して、音声でもって服薬するよう促し、同時に Kinect によって患者の服薬行動

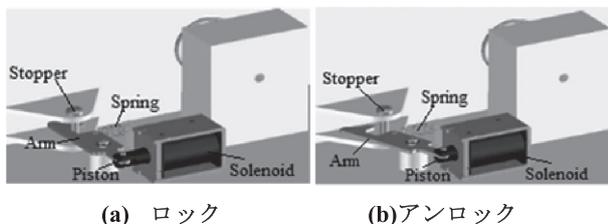


図2 ソレノイドを用いたコンパートメントの制御

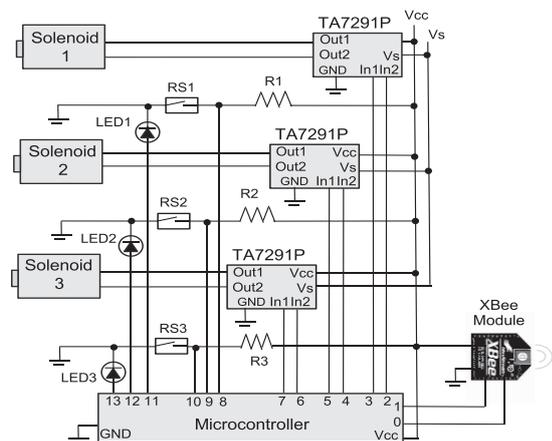


図3 与薬ユニット コンパートメント制御回路

の監視を始める。患者に対して与薬対象のコンパートメントを明示するために、アンロックされたコンパートメントのLEDのみが点滅する(図1)。他のすべてのコンパートメントはロックされたまま(LEDは消灯)である。

アンロックされたコンパートメントを患者が開けると、システムは、服薬行動の正しいステップについて音声で促す。Kinectによって患者が服薬行動をうまく完了したことを認識した場合、介護者へ情報メッセージを送る。そうでなければ、患者に未完了のアクションを繰り返すよう促す(例えば、服薬行動、服薬後コンパートメントの閉じ方など)。複数のリマインダーの後に行動に問題が認められる場合、システムは介護者に状況を報告する。

本システムについてさらに、以下に詳説する。

2.2. 与薬ユニット

与薬ユニットは、いくつかのコンパートメント(収納棚)で構成される薬剤収納箱のような外形である。簡略化のために、ここでは説明を3つのコンパートメントに限定しているが、本システムは1週間、1日4回の投薬に対応するため28コンパートメントまで対応する。各コンパートメントは、同じ服薬タイミングに処方される内服薬が収納される。コンパートメントには、朝、正午、就寝時間に対応するマークが付けられている。誤った服薬を防ぐために、各コンパートメントには正しい服薬時刻に正しいコンパートメントにのみアクセスできるよ

う、ロック機能が設けられている。コンパートメントのロック/ロック解除は、各コンパートメントの背面に取り付けられたマイクロコントローラによって起動されるソレノイド・ベースのマイクロ・アクチュエータによって実現される。図2にその動作を示す。通常状態では、ソレノイドのピストンはバネによって外側に保持され、アーム(図2、a参照)をストップに引っ掛けた状態を保持する。ストップはコンパートメントの後壁に固定されていて、コンパートメントはロック状態となる。ソレノイドが作動すると、コイル内の磁界がピストンを内側に引っ張り、図2(b)のようにアームをストップから外し、コンパートメントが開いた(アンロック)状態となる。

開いているコンパートメントを視覚的に示すためにLEDを用いる。該当のコンパートメントの箇所LEDのみ点灯し(図1)、他のLEDは消灯する。コンパートメントに実際にアクセスされたかどうかを検出するために、コンパートメントの背面にシンプルなリード・スイッチ・センサ(RS)が配置される。ソレノイド、LED、センサの制御は、安価なマイクロコントローラ(Arduino Uno)および図3に示す簡単な回路によって実現される。バイポーラ・リニア・ブリッジ・ドライバ(TA7291P)によってソレノイドの出力電圧を制御する。ソレノイドの駆動電圧(V_s)は12Vで、マイクロコントローラの電源電圧は5.0Vである。マイクロコントローラのシリアル通信線にXBeeモジュール(ピン0: レシーバ側、ピン1: トランスミッタ側)を接続することで、PCとの無線通信を実現する。よってPC側にも、XBeeモジュールがシリアル通信ポートを介してUSBケーブルで接続される。

2.3. 服薬アドヒアランス・コントローラ

服薬アドヒアランス・コントローラは、PC上のソフトウェアとして実装される。データベースからの投薬スケジュール情報、および与薬ユニットのセンサとKinectからデータを取得し、それらをもとに患者の行動を評価する。また、必要とされる与薬ユニットのコンパートメントを開くための制御信号の生成・送信、プロンプト・ジェネレータおよびメッセージ・ジェネレータへ送信するプロンプトおよびメッセージ・コードを決定する。また、服薬アドヒアランスのモニタリング結果をデータベースに格納する。

図4は、コントローラの動作の概要を状態遷移図で示したものである。図中の円は状態を、角括弧内のテキストは状態で生成されるプロンプト(Pj)コードとメッセージコード(Mi)を定義したものである。KおよびK'はそれぞれKinectセンサの動作開始および動作停止指示を示す。服薬アドヒアランス・コントローラは初期状態(S0)から始まり、システム・ユーザ(すなわち介護者)

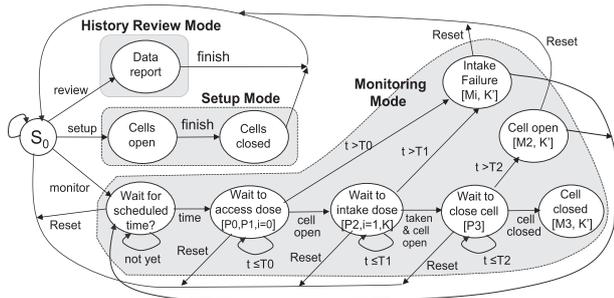


図4 コントローラ 状態遷移図

が「履歴レビュー」、「セットアップ」または「モニタリング」のシステム・モードの1つを選択するのを待つ。

「履歴レビュー」モードでは、システム・インタフェース上で、ユーザー（システム管理者）がデータベースに格納された結果を閲覧できる（詳細は2.5節を参照）。「セットアップ」モードでは、コントローラはArduinoに与薬ユニットの全コンパートメントを開くよう指示し、また、ユーザーが服用量と服薬スケジュールを設定する。セットアップが完了すると、コントローラはすべてのコンパートメントを閉じて、服薬スケジュールをデータベースに格納する。「モニタリング」モードでは、コントローラはデータベースからスケジュールを取得し服薬予定時刻まで待機する。服薬時刻になるとプロンプト・ジェネレータを起動し、患者に服薬を促し、また、服薬の適切な手順に沿うようガイドする。同時に患者の身体の動きを評価し、その結果をデータベースに記録し、服薬アドヒアランスについて介護者へ通知するためにメッセージ・ジェネレータを動かす。

服薬行動の評価といっても、様々なバリエーションがあり容易ではない。そこで、1回の服薬タイミングに服用する処方薬（形状は錠剤、カプセルなど）はまとめて、開封しやすい紙パッケージに封入された形として医療機関から与えられ、介護者によってコンパートメントにセットされると仮定する。なお、国内の薬局が認知症患者に処方する場合、このような紙パッケージが採用されていることが多い。患者がコンパートメントを開けたら、パッケージを片手で取り出し、開封し、服薬するものと仮定する。

以上の仮定のもと、服薬の一連の行動を区分けし、以下のように分類・要素化した動作を定義する。

- ・ A1：コンパートメントを開け、紙パッケージを取り出す
- ・ A2：コンパートメントを閉じる
- ・ A3：錠剤（またはカプセル）をまとめて口に含む
- ・ A4：口腔内の錠剤を飲み込むために、水を口に含む

適切な服薬行動全体は、上記の通り要素化された動作定義を用いて、動作順序記述として定義できる。すなわち {A1, A2 → A3, A4}、{A1 → A3, A4, A2}、{A1 → A3, A2, A4} のいずれかである。コンパートメントを開けて



図5 Kinectによる服薬行動の検出

パッケージを取り出し {A1}、次に、錠剤を口に含ませるために手を口に持っていき {A3}、さらに錠剤を飲み込むための水を口に含むのに再度、手を口に持っていく {A4} という動作の流れになる。コンパートメントを閉じる {A2} は、A1, A3, A4 のいずれかの後となる。

動作 A1, A3, A4 は服薬行動の中での順序性があり、コントローラはまず動作 A1 を識別する。我々の提案するシステムでは、与薬ユニットのコンパートメントに埋め込まれたリード・スイッチ・センサの読み取り値から A1 および A2 が検出され、A3 および A4 は Kinect によって検出される。Kinect は通常のカメラとは異なり、IRカメラ、ステレオカメラ、高性能 DSP で構成されたパッケージ・モジュールであり、深度画像、および体の関節の位置と向きを得ることができる。これにより、画像のセグメンテーション、背景差分処理、骨格情報の追跡処理を簡素化できる。

服薬行動の評価は、予定された時刻に Kinect を動作状態にして開始される。もしコントローラが、予め指定された時間間隔 (T1) 内にアクション A1 を検出しない場合、その間、プロンプト・ジェネレータが患者に対して、コンパートメントを開けて服薬するよう音声で指示する。またメッセージ・ジェネレータを起動させ、服薬アドヒアランスに問題が生じた旨、介護者に警告を与える。それ以外の場合は、ある時間間隔 (T2) 内に2回、手を口に運ぶ動作：A3 と A4（それぞれ別々の手で行われるものとする）の検出を試みる。

服薬行動評価のアルゴリズムは、Kinect の骨格情報追跡によって得られる関節位置座標に基づいた、シンプルなものである。Kinect により患者の頭、手などの各関節部位（図5中の小黑点）を追跡し、動画フレーム内の座標をリアルタイムで取得できる。患者の両手の位置座標が頭部領域の座標と重なる場合、動作 {A3, A4} が認識されると仮定する。Kinect から与えられる頭部中心座標 (X, Y) に対して頭部領域の座標は (X±α および Y±α) として定義される。ここで α はあらかじめ定義された定数である。図5 (b) において頭部に位置する円形領域（灰色）は、手を口へ持っていく動作が自動検出されたことを示している。

ある一定時間間隔 (T2) 内に、手を口に持っていく動作が2度検出されなかった場合、コントローラは、患

者が服薬しなかったということを介護者に警告するため、メッセージ・ジェネレータを動作させる。正常に検出された場合、コントローラは与薬ユニットからの読み取り値をチェックし、コンパートメントがまだ開いていることを示していた場合、コンパートメントを閉じさせるための音声プロンプトの生成を開始する。もし時間(T3)を過ぎてもコンパートメントがまだ開いている場合、対応する警告メッセージが介護者に送信される。そうでなければコントローラは、服薬が成功したという通知メッセージを介護者へ送信する (M3)。その後 Kinect の動作を停止させ、服薬アドヒアランス・モニタリング結果を (生成されたメッセージとともに) データベースに書き込み、スケジュールされた次の服薬時刻まで待機状態をとる。

2.4. プロンプト・ジェネレータ

プロンプト・ジェネレータは、服薬アドヒアランス・コントローラによって生成されるプロンプト・コードを、患者に対してスピーカーから出力される音声プロンプトへ変換するためのルックアップ・テーブルとして機能する。表1はプロンプト・コード、プロンプトが生成される条件、患者へ出力される音声プロンプトの対応表である。各音声コマンドは、プロンプト・コードで識別されるオーディオ・ファイルとして記録されている。患者が音声コマンドに従わないとコントローラが認識する場合、あらかじめ定義された期間 (T1,T2,T3) の間、20秒ごとに音声コマンド生成を繰り返す。

表1 プロンプト・ジェネレータの動作

コード	条件	音声プロンプト
P0	服薬スケジュール時刻になった	「お薬を飲む時間です」
P1	P0 の後、アンロックされたコンパートメントが開かれないまま	「光っている棚を開けて、お薬の袋を取り出してください」
P2	コンパートメントが開かれた後、服薬の行動が検出されないまま	「袋を開けて、お薬を飲んでください」
P3	コンパートメントが開いたまま	「棚を閉めてください」

表2 メッセージ・ジェネレータの動作

コード	条件	メッセージ文面
M0	時間猶予 T1 の間にコンパートメントが開かれなかった	「予定時刻になりましたが、棚が開かれないままです。問題が発生しています。」
M1	コンパートメントは開かれたが、時間猶予 T2 の間に服薬行動が検出されなかった	「棚から薬を取り出しましたが、服薬行動は検出されませんでした。問題が発生しています。」
M2	服薬行動は検出されたが、時間猶予 T3 を過ぎてコンパートメントが開いたまま	「服薬行動は正しく検出されましたが、棚が閉じられていません。」
M3	服薬行動全体が問題なく完了	「成功：服薬行動は問題なく実施されました。」

2.5. メッセージ・ジェネレータ

プロンプト・ジェネレータと同様、メッセージ・ジェネレータは服薬アドヒアランス・コントローラによって生成されたメッセージ・コードを、介護者へ送信されるEメール・メッセージへ変換するためのルックアップ・テーブルとして機能する。表2は、メッセージ・コード、メッセージが生成される条件、介護者へ送信されるEメール・メッセージの対応表である。

2.6. システム・インタフェース

本システムは介護者に対して、患者への処方量および服薬時刻の設定機能、一定期間内の服薬履歴を閲覧機能のためのシンプルなインタフェースを提供する。本システムのユーザ・インタフェースは下記の2つの階層で構成されている。

患者インタフェース層：患者はシステムからモニタリングされる側であり、開いているコンパートメントから服用する薬を取り出す、コンパートメントを閉める、そして取り出した薬を服薬するという点でのみ、与薬ユニットと関係性を有する。患者に対するPCのインタフェースは受動的なもの、すなわちセンシング技術を介

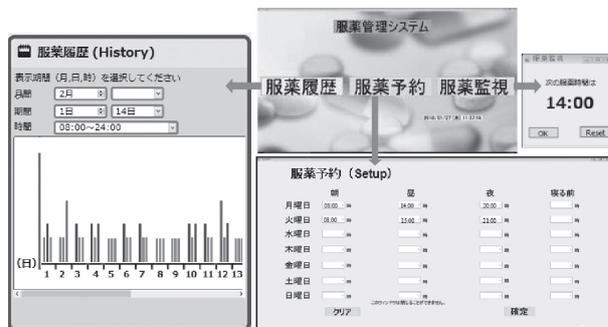


図6 PC上のシステム・インタフェース画面

するもののみである。

介護者インタフェース層：介護者は、薬パッケージおよび服薬時刻スケジュールを設定し、また随時、患者の服薬行動に関する情報を受け取り、あわせて、患者の服薬アドヒアランスおよび振る舞いの変化を評価・比較するために患者の服薬行動履歴を参照する。与薬ユニットとPCの直接的な操作、あるいは電子メール、インターネットを介した、介護者と本システムとのインタラクションは密なものとなる。

図6は、介護者インタフェース層の画面表示である。

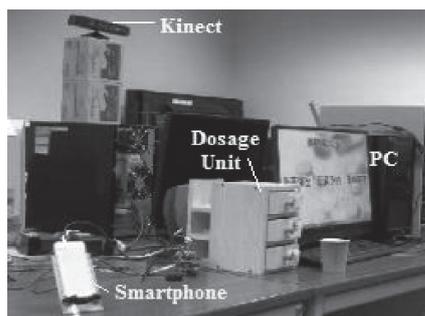


図7 プロトタイプ・システム全体



(a) (b)

図8 プロトタイプ・システムの評価実験

表3 Kinect に対する被験者の顔の回転角による認識率の変化

回転角 [°]	-90	-60	-30	0	+30	+60	+90
認識率[%]	93	95	99	100	98	96	92

中央上部に、操作モード（「服薬履歴」、「服薬予約」、および「服薬監視」）に対応する3つのボタンを備えたメイン・メニューを示している。「服薬履歴」モードでは、任意の設定可能な期間の服薬アドヒアランスを表形式あるいはグラフ形式で閲覧でき、服薬設定時刻、動作、生成されたメッセージ等も検索条件として設定できる。また、特定の動作を選択して、その頻度を表すこともできる（例えばコンパートメントを閉じる動作、服薬行動の検出、など）。図6（左）は、2週間（2月1日～2月14日）の08時から24時までの患者の服薬状況の表示ウィンドウである。図中の短いバーは服薬行動で問題が検出されず成功したことを、中程度のバーは動作の一部に問題があった（患者がコンパートメントを閉めなかった）とき、および長いバーは服薬行動を失敗したことを示している。図6の右下の「服薬予約」モードでは介護者が1週間分、1日4回の服用量（朝、昼、夕、就寝前）を設定できる。一例として、ウィンドウには月曜日と火曜日に、毎日3回の服薬を設定している。「服薬監視」モードを選択するとシステムは直近の服薬予定時刻になるまで待機状態に入り、予定時刻になると自動的に監視処理が開始される。また、確認のため、図6右上のようなダイアログが表示されるが「リセット」をクリックすると待機状態から抜けて、初期状態に遷移する。

3. 評価実験

我々は、3つのコンパートメントを備える自作の与薬ユニット、デスクトップPC（2.6GHz Intel Core i5-750 CPU, 4GB RAM, MS Windows 8.1 Pro OS）および Kinect で構成されるスマート・キャビネット・システムのプロトタイプ（図7を参照）を開発し、評価実験を行った。

Kinect を用いた服薬行動の認識処理ソフトウェアの開発環境は Kinect for Windows SDK 1.5 および Visual Studio Pro 2013 であり、使用言語は VB.NET および C# である。ユーザ・インタフェース部は JavaScript で実装した。

システムの実効性を評価するために、我々は20人の被験者（20歳から60歳の間の健康な教員および学生）を対象として実験を行った。なお、被験者の身長・体形にはかなりのばらつきがあった。Kinect は与薬ユニットの後方1.7mの距離に設置した。これは Kinect 内部のセンサカメラの仕様上の理由に基づくものである。

最初の実験では、各被験者は Kinect に対して顔・体を正面に向け、下記の行動をとった。

1. 問題のない適切な服薬行動①
（{A1, A2 → A3, A4} が検出された場合）
2. 問題のない適切な服薬行動②
（{A1 → A3, A4, A2} が検出された場合）
3. 問題のない適切な服薬行動③
（{A1 → A3, A2, A4} が検出された場合）
4. 一部に問題があるが服薬行動（A1 → A3, A4 は検出されたが A2 が検出されない）
5. 服薬行動の失敗（A1, A2, A4 は個別に検出されたが A3 が検出されない）

以上の行動をランダムな順番でそれぞれ計2回行い、合計200パターンの評価実験を行った。結果、全ての1. 2. 3. の行動について、正常な服薬行動として認識することができ、またすべての4. と5. についても認識することができた。システムから介護者へのE-メール送信についても、携帯電話網に接続されたスマートフォンへのメール着信まで平均2秒以下の遅延に収まり、全体として問題なくリアルタイムに処理されていることが確認できた。

次に、患者の体の向き（回転角）が結果に及ぼす影響を調査するため、全被験者において、顔および胴体を Kinect に対して30度、60度、90度ずつ左右に向け、それぞれ上記1.の行動をとったときの評価実験（合計120パターン）を行った。図8に Kinect の正面を向いたとき（a）、Kinect から90°の角度のとき（b）の実験風景を示している。実験結果として、回転角に対する認識率の変化を表3にまとめている。ここで、負の角度は Kinect から被験者を見たときに左方向の回転を、正の角度は右方向の回転を示す。結果、角度90°でも認識率

表4 既存の非接触・遠隔型服薬行動識別手法との比較

システム	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	本提案手法
認識率	75	90	98	98	75	92-100
動作可能な回転角度範囲	正面	正面	正面	正面	正面	±90度
認識手法	画像処理	画像処理	画像処理	画像処理	画像処理	骨格
使用するセンサ・デバイス	カラーカメラ	ウェブカメラ	CCDカラーカメラ	モノクロカメラ	ステレオカメラ	Kinect

は92%を超えていることがわかった。なお、服薬行動中に被験者の頭部が上向いたり、または被験者が薬を飲み込む前に顔に触れたりしたときに誤認識が発生していた。

本評価実験結果より、服薬アドヒアランスおよび介護者への通知機能の実現のために提案された本システムのプロトタイプの高い有効性を示すことができた。本提案システムは、患者の肌の色、顔の形、顔のオクルージョン（別の物体との重なり合い）に依存しないばかりか、カメラの解像度、カメラのキャリブレーション、テーブルや眼鏡の有無・色といった制約もない[12-16]。さらに、動画像カメラを用いる既存の行動認識手法は、被験者がカメラの正面に向けた場合にしか対応できない。表4は患者への接触型デバイスの装着を必要としない、既存の非接触・遠隔型の服薬行動識別手法との比較を表したものである。比較項目は認識率、動作可能な回転角度（所定の認識率が得られる顔・胴体の回転角度）範囲、認識手法、使用する主要センサ・デバイスである。表から本提案手法に基づいて開発したプロトタイプ・システムは、顔・胴体の回転に非常に強いことがわかる。

しかし、本提案システムは、依然としてカメラ・ベースの服薬認識システムに共通する問題を抱えていることを認識しなければならない。それは、例えば、実際に口に薬・水を含んだか、あるいは単に唇・鼻に触れただけなのかを区別できないという点である。また特にKinectの場合、カメラ解像度の理由で、錠剤を飲み込んだかどうかを検出することは困難である。既存の提案手法[12-16]と同様、その点では患者にゆだねるほかないという課題が残ったままである。

4. まとめ

我々は認知症患者向けの服薬アドヒアランスを向上するための新システムを提案し、またプロトタイプを構築した。評価実験の結果、本提案システムは処方薬の管理および服薬行動モニタリングに有効であることが示された。このシステムを使用することにより、介護者は服薬時に常に患者のそばで服薬アドヒアランスを監督する必要はなくなり、また、誤服用の防止、服薬時刻での服薬の喚起および適切な服薬行動指導を実現できる。

現時点で、我々は一人の患者にのみの認識に限定している。実際のところ、高齢者の多くは独身で居住しているものの、複数人の世帯のケースを考慮する必要がある。

今後、複数人の世帯または介護者来訪時にも対応できるよう、研究を拡張する予定である。

また、システムの存在をできるだけ意識させず、服薬行動のアセスメントの質を改善する手法について、検討をすすめている。1つのアプローチは、Kinectによって提供される深度画像の分析による認識を強化する方法である。別のアプローチは、患者が使用するコップの底に取り付けられた加速度または慣性センサから得られるデータにもとづく意思決定アルゴリズムを導入するという方法である。

この論文で提示された評価実験結果は、実際には認知症ではない健康な被験者による、実験室環境下でのシステム評価に基づく。本システムはまだ完成には遠いプロトタイプであるが、今後作業を進め、本提案手法に関するさらなる実験を、将来的には認知症の人々の実際の居住環境で行うことを検討している。

参考文献

- [1] Dementia, Fact sheet No.362, March 2015, World Health Organization, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs362/en/>
- [2] R. L. Ownby, "Medication adherence and cognition: medical, personal and economic factors influence level of adherence in older adults", *Geriatrics*, vol. 61, no. 2, pp.30-35, 2006.
- [3] J. M. Silva, A. Mouttham, A. El Saddik, "UbiMeds: a mobile application to improve accessibility and support medication adherence", 1st ACM Int. Workshop on Media Studies and Implementations that help improving Access to Disabled Users, pp.71-78, 2009.
- [4] L. Dayer, S. Heldenbrand, P. Anderson, P. O. Gubbins, B. C. Marrtin, "Smartphone medication adherence apps: potential benefits to patients and providers", *J. of the American Pharmacists Association*, vol.53, no.3, 2013.
- [5] A. Cobert, B. Rutter, "Smart Pill Bottle Provides Easy Way to Monitor Daily Medicine Intake", Feb.11, 2016, Available from internet: <http://www.mdtmag.com/article/2015/11/smart-pill-bottle-provides-easy-way-monitor-daily-medicine-intake>

- [6] P. O'Donnell, S. Crowell, G. Huffman, N. Jones, "Automated medication dispenser system", Tech. Report of Mississippi State Univ., 2002.
- [7] V. F. S. Fook, A. A. P. Wai, M. Jayachandran, B. Jit, P. H. Lee, P. Y. L. Kiat, "Smart mote-based wireless medication management system for persons with dementia", *Assistive Robotics and Mechatronics*, vol. 9, no. 1, pp. 27-35, 2008.
- [8] I. Sachpazidis and G. Sakas, "Medication intake assessment", *Proc. of the 1st Int. Conf. on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '08)*, pp. 14:1-14:4, July 2008.
- [9] W. W. Changa, T. J. Sungb, H. W. Huangaetal., "A smart medication system using wireless sensor network technologies", *Sensors and Actuators A*, vol. 172, no. 1, pp.315-321, 2011.
- [10] J. G. Pak and K. H. Park, "Construction of a smart medication dispenser with high degree of scalability and remote manageability", *J. of Biomedicine and Biotechnology*, Article #381493, pp.1-10, June 2012.
- [11] E. Becker, V. Metsis, R. Arora, J. Vinjumur, Y. Xu, and F. Makedon, "Smartdrawer: RFID-based smart medicine drawer for assistive environments", *Proc. the 2nd Int. Conf. on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '09)*, pp.1-8, 2009.
- [12] D. Batz, M. Batz, N. D. V. Lobo, M. Shah, "A computer vision system for monitoring medication intake", in *Proc. of the Canadian Conf. on Computer and Robot Vision (CRV '05)*, pp.362-369, 2005.
- [13] M. Valin, J. Meunier, A. St-Arnaud, J. Rosseau, "Video surveillance for medication intake", *28th Annual Conf. Engineering in Medicine and Biology*, pp.6396-6399, Aug. 2006.
- [14] H. H. Huynh, J. Sequeira, D. M. Meunier, "Real time detection, tracking and recognition of medication intake", *WACET Int. J. of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, vol.3, No.12, pp.2801-2808, 2009.
- [15] H. H. Huynh, J. Sequeira, D. M. Meunier, "Enhancing the recognition of medical intake using a stereo camera", *3rd Int. Conf. on Communications and Electronics (ICCE)*, pp.175-179, Aug. 2010.
- [16] G. A. Bilodeau, S. Ammouri, "Monitoring of medication intake using a camera system", *J. Med. Syst.*, vol.35, no.3, pp.377-389, June 2011.
- [17] X. Hong, C. D. Nugent, "Partitioning time series sensor data for activity recognition", *9th Int. Conf. on Inf. Technology and Applications in Biomedicine*, pp.1-4, Nov. 2009.
- [18] X. Zhang, X. Chen, Y. Li, V. Lantz, K. Wang, J. Yang, "A framework for hand gesture recognition based on accelerometer and EMG sensors", *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Human*, 2011.
- [19] P. Rashidi, D. J. Cook, "Keeping the resident in the loop: adapting the smart home to the user", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 2009.
- [20] F. M. Hasanuzzaman, X. Yang, Y. L. Tian, Q. Liu, E. Capezuti, "Monitoring activity of taking medicine by incorporating RFID and video analysis", *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, vol.2, no.2, pp.61-70, 2013.
- [21] C. Chen, N. Kehtarnavaz, and R. Jafari, "A Medication Adherence Monitoring System for Pill Bottles Based on a Wearable Inertial Sensor", *IEEE Conf. Eng. Med. Biol. Soc.*, pp.4983-4986, 2014.
- [22] T. Putthaprasat, D. Thanapatay, J. Chinrungrueng, N. Sugino, "Medicine intake detection using a wearable wrist device accelerometer", *4th Int. Conf. on Computer Engineering and Technology, IPSIT vol.40*, pp.1-5, 2012.
- [23] H. Kalantarian, N. Alshurafa, T. Le, M. Sarrafzadeh, "Non-invasive detection of medication adherence using a digital smart necklace", *IEEE PerCom: Smart Environments Workshop*, pp.348-353, March, 2015.
- [24] H. Kalantarian, N. Alshurafa, E. Nemati, T. Le, M. Sarrafzadeh, "A smartwatch-based medication adherence system", *IEEE 12th Int. Conf. on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, pp.1-6, 2015.
- [25] K. Serdaroglu, G. Uslu, S. Bayerdere, "Medication intake adherence with real time activity recognition on IoT", *Int. Conf. on e-Health Pervasive Wireless Applications and Services*, pp.238-245, 2015.