

高齢者の服薬管理支援を目的とした 用法確認方法の提案

鈴木拓央 中内靖†

近年、日本では高齢化が急速に進んでおり、それに伴い高齢の服薬者が増加している。高齢の服薬者は認知能力の低下により、医師の処方どおりに服薬できないことがある。特に飲み忘れや飲み重ねなど、用法（服薬時期）の間違いによる誤服薬が多発している。そのため、介護者は服薬者の家を訪問し、服薬時期を確認しなければならない。本研究では服薬者の家にセンサを埋め込むことで服薬者の居場所や物品の使用状況を計測し、それらのデータを用いて服薬者の生活状態を推定することで服薬時期を確認する方法を提案する。提案手法を用いることで服薬時期に関する誤服薬を自動で検知し、電子メールを用いて介護者へ直ちに通知することや、スピーカーを用いて服薬者に対して警告することができる。生活状態の推定にはファジィ推論を用い、誤服薬を検知するためのルールを作成した。そして、評価用シミュレーターを作成し、提案方法の妥当性を確認した。

Timing Confirmation Method For Assisting Elderly Person Who Takes Medicines

Takuo Suzuki and Yasushi Nakauchi†

In Japan, the number of elderly recipients who take medicines regularly has been increasing due to population aging. Since they sometimes induce serious accidents caused by incorrect dosing such as forgetting to dose, we propose a confirmation method for evaluating the adequacy of dosing timing. By implementing the method into medication support system, it can detect signs of incorrect dosing about timings. Then, it can also warn a recipient against risks of incorrect dosing and send emergency e-mail to caretakers. The method estimates the present living state of the recipient corresponding to dosing timings by Fuzzy inference. We think the information necessary for living state estimation will be collected by sensing house, and developed a simulator as virtual house to evaluate the method. We confirmed that the method was able to estimate the present living state with satisfactory accuracy by experiments.

1. 緒言

近年、日本などの先進国では高齢化により、高齢の服薬者が増加している。高齢の服薬者は認知能力の低下により飲み忘れや飲み重ねといった誤服薬を生じることがある。誤服薬は医師の指示した用法・用量を守らなかった服薬のことであり、薬の効能を減少するだけでなく、重大な事故を引き起こすことがある。そのため、介護者は服薬者の家を訪問し服薬時期を確認しなければならないが、多大な時間と労力が必要となる。そのため、服薬者に対して誤服薬を通知するシステムや介護者の服薬確認を支援するシステムなどが開発されている。

例えば、Greenberg らによって開発された Context-Aware Pill Bottle and Medication Monitor (文献 1) というシステムがある。このシステムは IC リーダーの内蔵された薬ボトルの台が IC タグの貼り付けられた薬ボトルの取得状況を認識することにより、取得された薬の種類を確認することができる。また、指定時間内に薬ボトルが取得されたかどうかを確認することもできる。システムは間違った薬ボトルを取得した場合などを誤服薬として検知し、薬ボトルの台に内蔵された LED を点灯することで服薬者に対して警告したり、介護者の家に置かれたモニター上の LED を点灯することで介護者に通知したりすることができる。我々はカメラを用いて薬の取得状況を認識する薬箱 iMec を作成し、ディスプレイを用いて服薬者に警告を行ったり、介護者がウェブブラウザを通して服薬確認できるようにした。

介護者は用法（服薬時期や服薬方法）と用量（薬の種類や量）を確認しなければならない。従来のシステムでは取得された薬の種類を確認することはできるが、間違いの発生頻度の最も高い服薬時期を確認することはできない。なぜなら、多くの薬は表 1 に示すように朝食後や就寝前など服薬者の生活行動（食事や睡眠）に合わせて服用されるべきであり、従来システムでは服薬者の生活行動を推定できないからである。

そこで本論文では薬が iMec から取得されたときに、服薬者の家に埋め込まれたセンサのデータを用いて服薬者の生活状態を推定することで服薬時期を確認する方法を提案する。提案方法を iMec に実装することにより、服薬時期に関する誤服薬を自動的に検知し、介護者へ通知したり服薬者へ警告したりすることができる。本研究の有用性は上述のとおりであり、本研究の新規性はこれまでにまったく提案されていない服薬時期を確認する手法を提案することである。

† 情報処理学会
Information Processing Society of Japan

表 1 一般的な服薬時期とそれらに対応する服薬者の生活状態

服薬時期	説明	生活状態
起床後	睡眠終了 ～ 睡眠終了 30 分後	睡眠後
朝食前	朝食開始 30 分前 ～ 朝食開始	食事前（朝食）
朝食中	朝食開始 ～ 朝食終了	食事中（朝食）
朝食後	朝食終了 ～ 朝食終了 30 分後	食事後（朝食）
昼食前	昼食開始 30 分前 ～ 昼食開始	食事前（昼食）
昼食中	昼食開始 ～ 昼食終了	食事中（昼食）
昼食後	昼食終了 ～ 昼食終了 30 分後	食事後（昼食）
夕食前	夕食開始 30 分前 ～ 夕食開始	食事前（夕食）
夕食中	夕食開始 ～ 夕食終了	食事中（夕食）
夕食後	夕食終了 ～ 夕食終了 30 分後	食事後（夕食）
就寝前	睡眠開始 30 分前 ～ 睡眠開始	睡眠前

2. 設計

介護者は服薬確認のために薬箱を用いる場合がある。一般的な薬箱は薬を保管するための 28 個のスペース（1 日 4 回，1 週間分）を有しており，それぞれのスペースには月曜・朝食後，火曜・就寝前などと服薬時期が指定されている。我々の開発した iMec はそれぞれのスペースに対して正しい服薬時期を設定するためのタッチパネルを持ち，それぞれのスペース内の薬の補充状況を認識するためのカメラを内蔵している。また，iMec は服薬者に対して警告するためのディスプレイとスピーカーも内蔵している。

我々は iMec で認識された情報を蓄積するための iMec サーバーも構築した。介護者はウェブブラウザを通して iMec サーバーへアクセスすることにより服薬確認を簡単に行うことができる。iMec サーバーはメールサーバーとしての機能も有しており，誤服薬を検知した場合に電子メールを直ちに送信することができる。

我々は iMec に内蔵されたセンサーのみでは服薬者の生活状態を推定するためのデータを十分に取得できないと考え，ユビキタスセンサーを用いて推定に必要な情報を収集することにした。ユビキタスセンサーは服薬者から見えないように設置可能な安価なワイヤレスセンサーデバイスのことである。ここで，iMec，iMec サーバー，ユビキタスセンサーをまとめて iMec システムと呼ぶこととする。

図 1 に iMec システムの構成を示す。初期設定として介護者は iMec のそれぞれのスペースに対して正しい服薬時期を設定し，定期的に正しい種類・正しい量の薬を補充する。ユビキタスセンサーは生活状態推定に必要なデータを常に計測しており，そのデータを iMec へ送信する。服薬者は 1 日に数回，iMec から薬を取得する。iMec は薬が取得されるごとに，服薬者の生活状態を推定し，正しい服薬時期と比較することで服薬時期の適切さを評価する。もし服薬時期の適切さが不適切であったならば，iMec は iMec サーバーを通して介護者へ直ちに通知する。それと同時に服薬者に対してディスプレイを点滅させたり音声を再生させたりすることで誤服薬の危険を通知する。服薬時期の適切さは服薬履歴として iMec サーバーに蓄積され，医師や薬剤師の診断に利用される。

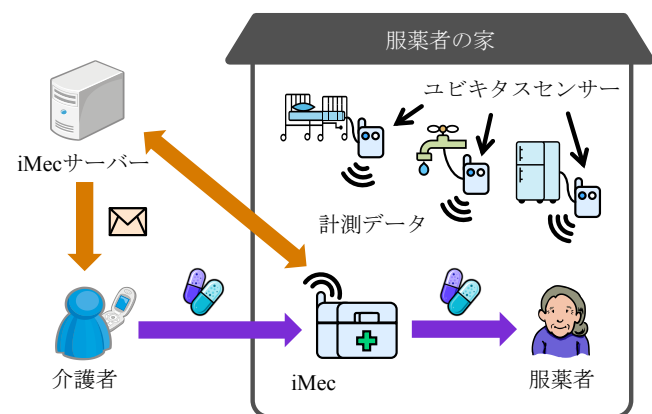


図 1 iMec システムの構成

iMec は介護者によって設定された正しい服薬時期とユビキタスセンサーを用いて推定した服薬者の生活状態を比較することで服薬時期に関する誤服薬を検知することができる。例えば，朝食前に服用すべき薬が食事後の生活状態のときに取得された場合，飲み忘れがあったと判断することができる。我々は食事に関する行動には朝食・昼食・夕食で差があまりなく，一般的な服薬時期に対応する 11 種類の生活状態を直接推定すると推定精度が悪化すると考えた。そこで，まず 7 種類の基本生活状態（食事前，食事中，食事後，睡眠前，睡眠中，睡眠後，その他）を推定し，食事前・食事中・食事後と推定された場合にはさらに朝食・昼食・夕食へ分類することにした。なお，その他は食事とも睡眠とも関係のない生活状態のことである。

人間は服薬者が現在キッチンにいて、数分前に電子レンジを使用したならば食事前の生活状態にある、つまり、30分以内に食事を取る可能性が高いと予測することができる。そこで、我々はユビキタスセンサーを用いて服薬者の居場所や物品の使用状況を計測し、それらのデータを推論ルールへ入力することで生活状態の可能性を計算する方法を考えた。つまり、7種類の基本生活状態の可能性をそれぞれ算出し、その中で最も可能性が高い基本生活状態を現在の生活状態とすることとした。

また、人間は計測データをそのままルールの入力とせず、特徴量に変換していると考えた。本研究では、存在・不在、または、使用・不使用の度合いを特徴量として用いることにした。人間は、『ある時間以上センサに反応があった場合、服薬者がその場所に存在した』と判断し、『ある時間以下ならば存在しなかった』と感じる。つまり、図2のように存在度や不在度のファジィ集合を作成することにより服薬者の居場所を、使用度や不使用度のファジィ集合を作成することにより物品の使用状況を、計測データから感覚的に算出できると考えた。

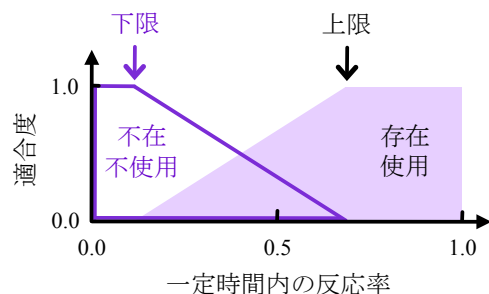


図2 特徴量計算用ファジィ集合

ルールの出力はそれぞれ、そのルールの条件が満足されたあと、ある特定の基本生活状態になりやすいこと（なりにくいこと）を表現している。例えば、ある物品が使用されたならば、服薬者は数分後に食事前の生活状態になりやすいなどのルールを考えることができる。つまり、学習データ（計測データと正しい生活状態）を用いて生活状態の起こりやすさ（信頼度：式1）を計算することで、それぞれのルールのもつ潜在的な可能性の大きさを求めることができる。ただし、その可能性の大きさはルールの適合度（存在度・不在度、使用度・不使用度）によって変化すると考えた。

ある生活状態に関するルールによって出力されるすべての出力を足し合わせ、それらの平均を計算することにより、ある生活状態である総合的な可能性を求めることができる。ある生活状態の可能性を求める手順を図3にまとめる。以上の手順をすべての生活状態について行うことで、7種類の基本生活状態のうち最大の可能性を持つ生活状態を求めることができる。

なお、推定精度を向上するため、すべての推論ルールのうちリフト値が強いルールのみを採用することとした。リフト値（式2）は結論となる生活状態の発生がルールに由来しているかどうかを評価するための指標であり、大きい値を持つほどその推論ルールに意味があることを示す。

朝食中・昼食中・夕食中の生活状態の発生は図4に示すような確率分布となり、それらの分布は互いにほとんど重ならないと考えた。そこで、我々は時刻を基準として食事に関する生活状態を朝食・昼食・夕食のカテゴリーに分類することにした。しかし、それらの分布のひろがりには大きな違いがあるため、各カテゴリー間の単純な平均時刻を判別時刻とするのではなく、マハラノビス距離の中心時刻を判別時刻とする。カテゴリーAとカテゴリーB間のマハラノビス距離の中心時刻 t_{AB} は式3を用いて求めることができ、全部で3つの判別時刻（朝食と昼食間： t_{BL} 、昼食と夕食間： t_{LD} 、夕食と朝食間： t_{DB} ）を求める必要がある。ここで、 μ はカテゴリーの発生時刻の平均であり、 σ はカテゴリーの発生時刻の分散である。もし t_{BL} から t_{LD} の間で食事中と推定されたならば、昼食のカテゴリーに分類される。

$$\text{式1} \quad \text{信頼度} = \frac{\text{ルールを満足するデータの出現数}}{\text{前提を満足するデータの出現数}}$$

$$\text{式2} \quad \text{リフト} = \frac{\text{信頼度}}{\text{結論を満足するデータの出現率}}$$

$$\text{式3} \quad \frac{(t_{AB} - \mu_A)^2}{\sigma_A} = \frac{(t_{AB} - \mu_B)^2}{\sigma_B}$$

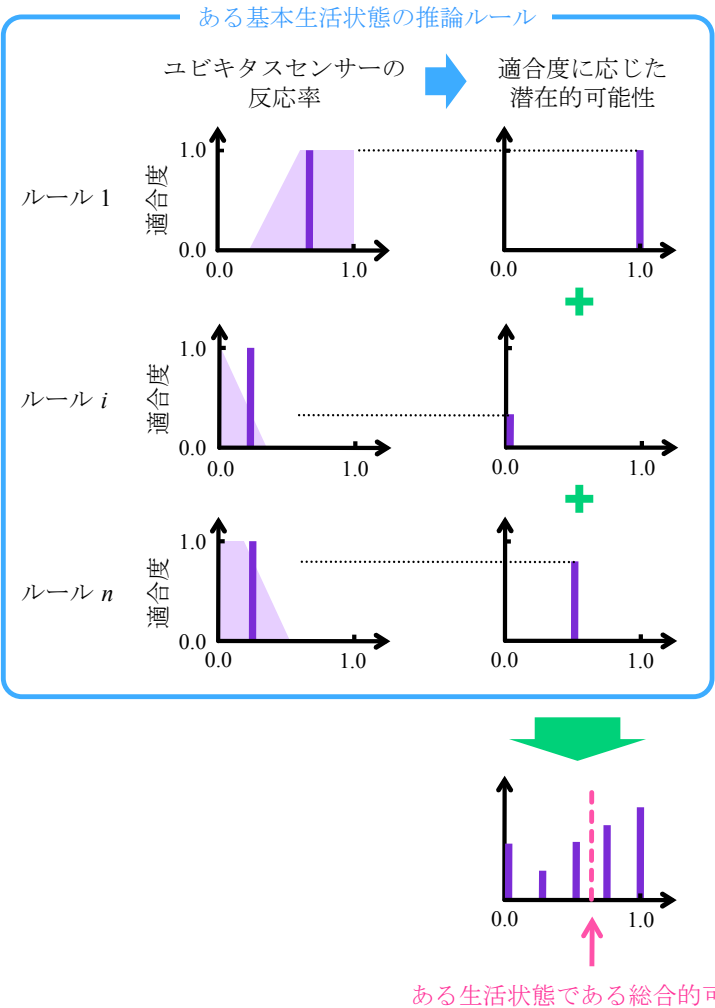


図 3 基本生活状態の可能性計算手順（ファジィ推論）

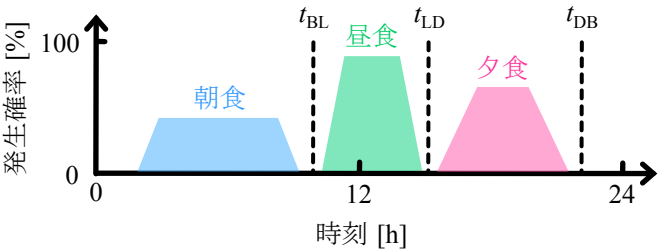


図 4 食事中（朝食・昼食・夕食）の発生確率分布

上述の通り、iMec は薬の正しい服薬時期、薬の補充状況、服薬者の基本生活状態、および、食事のカテゴリーの情報を収集することができる。iMec はこれらの情報を用いて、表 2 のとおり服薬時期に関する誤服薬を検出する。例えば、服薬者が食事前（朝食）の生活状態にあるとき朝食前に服用すべき薬が取得されたならば服薬時期は適切であると判断でき、服薬者が食事中（朝食）の生活状態にいるとき朝食前に服用すべき薬が取得されていなければ服薬時期は不適切（飲み忘れ）と判断できる。

表 2 誤服薬検知のためのルール

正しい服薬時期	iMec 内の保管状態	推定された生活状態	判別されたカテゴリー	服薬時期の適切さ
朝食前	薬なし	その他	なし	不適切
	薬なし	食事前	朝食	適切
	薬なし	食事中	朝食	適切
	薬あり	食事中	朝食	不適切

3. 実装

提案する生活状態推定方法を評価するため、計測データを簡単に作成できるシミュレーターを開発した。シミュレーターは C# で記述し、計測データは CSV 形式で保存した。シミュレーター上では服薬者の居場所や物品の使用状況をマウスを用いて変更することができる。また、正しい生活状態はマウスもしくはキーボードを用いて変更することができる。

シミュレーター上の服薬者の家には 6 種類 33 個のセンサーを配置した。服薬者の居場所を計測するセンサーとしては赤外線式人感センサーと抵抗式着座センサーを想定し、ベッドやトイレに配置した。これらのセンサーの計測データは存在度と不在度に変換した。一方、物品の使用状況を計測するセンサーとしては、磁気式開閉センサーや抵抗式プッシュセンサーなどを想定し、冷蔵庫やポットに配置した。これらのセンサーの計測データは使用度と不使用度に変換した。

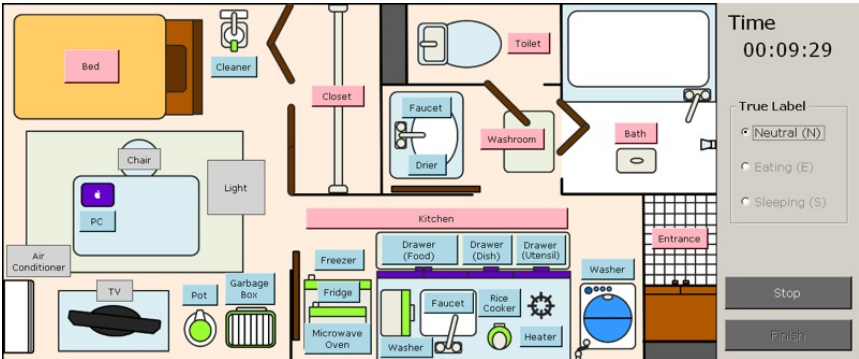


図 5 計測データ作成用シミュレーター

その他、計測データから推論ルールを生成するためのソフトウェア、および、計測データと推論ルールを入力することで推定精度を計算するソフトウェアも C#を用いて作成した。なお、リフト値の下限は 1.0 とすることでできる限り多くの推論ルールを生成し、それぞれのルールの信頼度とルールの持つ潜在的な可能性の大きさは表 3 に示すとおり決定した。

表 3 ルールの信頼度とある生活状態である潜在的な可能性の対応

ルールの信頼度	潜在的な可能性の大きさ
0.9 ～ 1.0	1.00
0.8 ～ 0.9	0.75
0.2 ～ 0.8	0.50
0.1 ～ 0.2	0.25
0.0 ～ 0.1	0.00

4. 実験

提案した生活状態推定手法により服薬時期を確認できるかどうかを評価するため、シミュレーターを用いた実験を行った。実験には 5 名の被験者を用い、シミュレーター上の家の中でそれぞれ 8 日間ずつ生活してもらった。推定精度は被験者ごとに交差検定を行い、それらの平均値で評価した。交差検定は 7 日分の計測データから推論ルールと判別時刻を求め、残り 1 日分のデータを用いて推定精度を算出した。

表 4 に算出されたカテゴリー間の判別時刻を示す。結果として、夕食と朝食間の判別時刻には被験者ごとに大きな差が生じた。これは朝食中の発生確率分布に大きな差があったためであると考ええる。この結果を用いることで、被験者 A の場合、1 時 44 分から 10 時 10 分までに認識された食事前と食事中はそれぞれ食事前（朝食）と食事中（朝食）として認識される。

表 4 マハラノビス距離に基づくカテゴリー間判別時刻

判別時刻	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D	被験者 E
朝食／昼食	10:10	09:55	09:26	10:03	09:50
昼食／夕食	14:34	15:05	15:11	14:20	15:37
夕食／朝食	01:44	00:13	03:30	00:53	01:21

被験者 A の実験結果の一部を図 6 に示す。iMec は 7 時までその他の生活状態として推定しており、7 時過ぎに服薬者が食事の準備を始めると食事前の生活状態の可能性が上昇し、食事前の生活状態として推定した。その後、7 時 30 分頃に服薬者が食事を始めると食事中の生活状態の可能性が上昇し、食事中の生活状態として推定された。

総合的な推定精度を図 7 に示す。ほとんどの生活状態の推定精度が 70%以上となったため、提案方法を用いることで服薬時期を精度よく確認できることを証明できた。しかし、食事後の推定精度は 60%程度と他の生活状態に比べて低かった。この原因は食事後の行動が平日と休日によって大きく異なり、平日と休日を区別せずに作成した推論ルールでは全日にわたって適切に推定できなかったためである。そのため、平日と休日、さらには、通院日など、服薬者の生活パターンに合わせていくつかの推論ルールセットを作成するなどの工夫が必要になると考える。また、ユビキタスセンサーの配置する場所を追加したり変更したりすることも検討しなければならない。

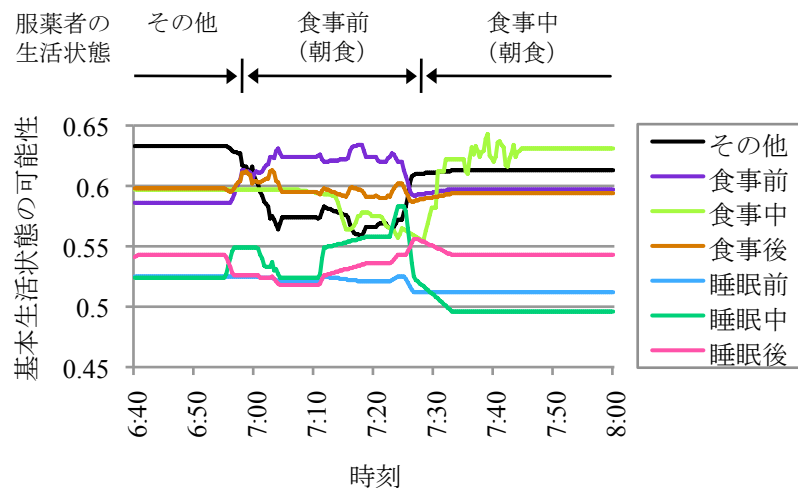


図6 算出された各基本生活状態の可能性の推移

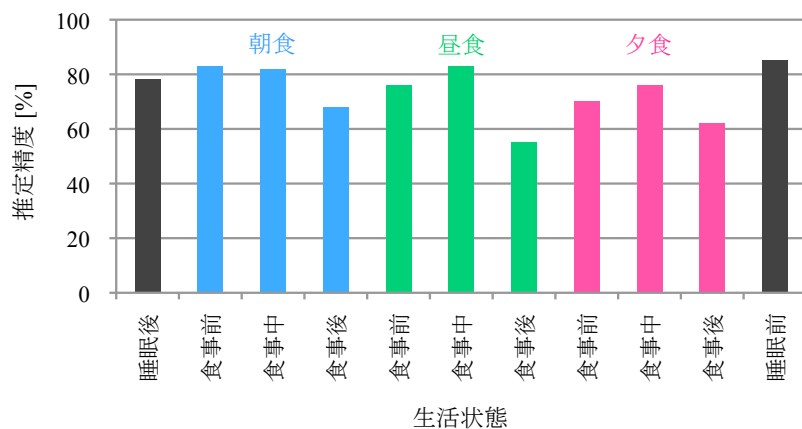


図7 生活状態推定結果

5. 結言

本論文では服薬者に対して誤服薬を警告したり、介護者に対して誤服薬を通知するための服薬時期確認方法を提案した。具体的には、服薬時期を確認するために服薬者の生活状態を推定することを提案し、ファジィ推論やマハラノビス距離計算などにより生活状態の可能性を計算した。我々は提案方法の妥当性を確認するため、計測データ作成用シミュレーターや推論ルール作成用アプリケーションを開発した。そして、それらを用いた被験者実験を行い、精度よく服薬者の生活状態を推定できることを確認した。しかし、平日と休日などでは生活パターンが異なるため、全日にわたって適切に推定可能な推論ルールは作成できなかった。

今後の課題として、食事前や食事後の推定精度を向上するため、生活パターンごとに推論ルールを抽出し、適宜切り替える方法を提案する。また、最適なユビキタスセンサーの数や配置位置についても検討する。そして、実際に高齢の服薬者の家にユビキタスセンサーを導入し、提案方法の実用性を検証する。

謝辞

筑波大学葛岡英明教授ならびに鈴木健嗣講師からは、丁寧かつ有益なご指導を賜りましたので、ここに感謝の意を表します。本研究は文部科学省グローバル COE プログラム「サイバニクス」および東京都福祉保険局の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) A. Agarawala, S. Greenberg, G. Ho, "The Context-Aware Pill Bottle and Medication Monitor", ACM Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UBICOMP2004), video, 2004.
- 2) T. Suzuki, Y. Nakauchi, "Dosing Monitoring System Using iMec and Ubiquitous Sensors", IEEE Proceedings of the 31th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2009), pp.6163-6166, 2009.
- 3) L. Atallah, B. Lo, R. Ali, R. King, G. Yang, "Real-Time Activity Classification Using Ambient and Wearable Sensors", IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol.13, No.6, pp.1031-1039, 2009.
- 4) Y. Yuan, Z. Maio, S. Hu, "Real-Time Human Behavior Recognition in Intelligent Environment", IEEE Proceedings of the 8th International Conference on Signal Processing (ICSP2006), Vol.3, pp.16-10, 2006.