

ユーザ作業支援のためのタスク駆動型 機器連携システムの開発と評価

宇式一雅[†] 角田忠信[†] 川勝良章[†]
長谷川尚己[†] 藤野信次[†]

本稿では、ユーザの作業支援を目的として、ユーザが行うべき作業（タスク）が先にあり、タスクの実行に必要な機器をユーザ端末が周辺で検索・発見したときに、ユーザ端末がそれらの機器と連携しながらタスクを実行する、タスク駆動型機器連携システムを提案する。タスクには優先度が付与され、優先度に基づくタスクの割込/再開制御を可能にすることで、ユーザが実行すべきタスクの的確な選択と中断されたタスクのし忘れを防止する。例として家電量販店の店員の作業支援を想定したシステムを試作し、そのユーザビリティを評価するために定量評価を行った。その結果、タスク制御負荷が高い状況でのタスク制御、および機器連携を円滑に行うことができ、十分実用的であることを確認した。

Development and Evaluation of Task Driven Device Orchestration System for User Task Support

KAZUMASA USHIKI[†] TADANOBU TSUNODA[†]
YOSHIAKI KAWAKATSU[†] NAOKI HASEGAWA[†]
NOBUTSUGU FUJINO[†]

In this paper, we propose task driven device orchestration system which enables user task support by carrying out pre-defined user tasks by orchestrating user terminal and its surrounding devices. Before starting a task, user terminal searches devices which are required for task execution and the task is started when they are discovered. Each task has its own priority, and the proposed system support users' task selection and resumption by controlling user tasks based on their priorities. We developed prototype system for supporting electronics retail store staff as an example, and evaluated its usability. We confirmed that it was practicable since the task control under a heavy load condition and the device orchestration were smoothly executed.

1. はじめに

近年、携帯端末に搭載されたセンサなどによって、ユーザの位置や活動といった状況（コンテキスト）の把握が可能になってきている。これに伴い、把握されたユーザの状況に応じてユーザの行動や作業（タスク）を支援する技術に関する研究開発が行われている。

病院や店舗などの作業の現場では、定型的な内容の作業を行いつつ、その場の状況に応じて、行うべき作業を的確に選択・実行する必要がある。例えば、文献1)によれば、病院の看護師は、複数の患者を同時に受け持ちながら、割り込み作業が発生した場合において、作業の優先度を考えつつ、限られた時間の中で多重の業務に対応することが求められている。しかしながら、ユーザは作業の割り込みなどによって状況が変化すると、その状況で優先して行うべき作業の選択を誤ったり、割り込み作業によって中断した作業をし忘れていたりすることが少なくない。

また、作業支援を行うにあたっては、ユーザは持ち運びが容易で作業の妨げにならない小型の端末を使用することが前提となるが、端末の機能や能力の制限を受けることなく、多様な作業を支援できなければならない。

本稿では、時間やユーザの場所といったコンテキストが与えられることを前提にして、与えられたコンテキストで優先的に実行すべきタスクを定義し、必要な周辺の機器と連携しながらタスクの実行を支援するタスク駆動型機器連携システムを提案する。また、例として家電量販店の店員の作業支援を想定したシステムを試作し、本試作システムのユーザビリティに関する定量評価を行った結果について示す。

以下、2章で関連研究と本研究のねらい、3章では提案するタスク駆動型機器連携システムの考え方と今回試作したシステムについて述べる。4章で試作システムのユーザビリティ評価を行った結果、本試作システムが十分実用的であることを述べ、5章でまとめを行う。

2. 関連研究

コンテキストに応じたユーザの行動支援に関する研究は多く、例えば、文献2)は、ユーザの行う作業（タスク）をサービスの集合体ととらえ、ユーザの周辺にあるサービスを動的に組み合わせることで、その場で実行可能なタスクを提案し、ユーザがやりたいタスクと実行可能なサービスができることのギャップを埋める技術を提案している。

文献3)は、実際の病院における業務支援を目的として、スタッフにBluetooth通信ユニットを持たせ、病院スタッフの位置や手術室の使用状況の把握、およびインスタン

[†](株)富士通研究所
Fujitsu Laboratories Ltd.

トメッセージ対応携帯電話によりコンテキストの共有を容易にし、急患手術への迅速な対応を可能にしている。

文献4)では、看護師の業務支援を目的として、看護業務の自動記録、業務履歴の詳細な分析を行うために、看護師の腕、腰、胸ポケットにBluetooth通信機能を持つ加速度センサおよび録音ユニット、頭部に装着する赤外線センサといったウェアラブル・センサを用いることで、看護師の細かい状況を把握することを試みている。

文献5)は、ユーザの予定を実行するために実行すべきタスク・モデルを階層的に定義しておき、ユーザのスケジュールに登録された予定に基づいて、実行すべきタスクを提示する。タスクにはユーザのプロファイルや過去の行動パターンに基づいて優先度が付与され、優先度順に提示される。

文献6)は、コンテキストに応じたアプリケーションを提案することを目的として、ユーザが教師信号として入力したコンテキストを示すキーワードと携帯端末のセンサから得たコンテキスト情報の対応関係を機械学習させ、学習後はセンサ情報から自動的にコンテキストにマッチしたアプリケーションを提案する手法を提案している。

これらの研究における支援は、コンテキスト情報の収集からタスク提案までの過程に焦点が当てられており、タスクの実行を開始した後の支援については考慮されていない。これに対し我々は、ユーザの実行中に他のタスクの割り込みが発生するような環境を想定し、ユーザが実行すべきタスクの選択に関わる部分の支援を可能にすることをねらいとする。また、端末の能力に制限されない多様なタスク支援の実現のために文献2)に示されるサービス連携技術は有効であるが、そこで実現されているのは、その場で発見した周辺サービスの組み合わせから実行可能なタスクをユーザに選択させるものである。しかしながら通常の多くの場合において、文献5)が想定するスケジュールのように、ユーザが行うべきタスクは先にあり、このときシステムはそのタスクに必要な周辺の機器・サービスを検索して実行するといった動作をすべきであることから、本論文ではこの実現をねらっている。さらに、上記の文献ではユーザの操作感に影響を与えるシステムの処理時間に関する性能評価は少なく、本論文ではシステムを試作し、この観点からの性能評価を行うこともねらいとする。

3. タスク駆動型機器連携システム

2章に示した本研究のねらいを実現するための考え方、およびそれに基づいて今回試作したシステムについて示す。

3.1 基本的な考え方

以下にタスク駆動型機器連携システムの基本的な考え方を示す(図1)。ユーザが実行すべきタスクの多く、特に定型的なタスクについては、ユーザ自身または作業現場の管理者などが事前に把握できるため、スケジュールなど同様にクラウド上のサ

ーバへの事前登録が可能であると考えられる。このとき、各タスクに優先度を付与し、登録しておく。この優先度に基づいて、ユーザがあるタスクAの実行中に、より優先度の高いタスクBの実行が可能となった場合、ユーザにタスクAを中断させた後にタスクBを実行させると共に、タスクBの完了後にタスクAを再開させる。このようなタスク制御により、的確なタスクの実行と、割り込みタスクによって中断されたタスクのし忘れの防止が期待できる。

また、実行すべきタスクが事前に定義できる場合、各タスクを実行する際に必要となる機器および機器の持つサービス(機能と同じ粒度のもの)についても事前に定義することが可能であるため、それらも併せてタスク定義として登録しておく。そして、タスクが実行可能なコンテキストになったとき、タスクを実行すべきユーザの端末に対して、必要な機器やサービスを検索させ、その検索結果と必要なサービスのマッチングを取り、すべてのサービスが発見されたときに、タスクを実行させる。なお、タスク実行時における周辺機器サービスの存在は必須ではなく、ユーザ端末単体でのタスク実行も可能である。

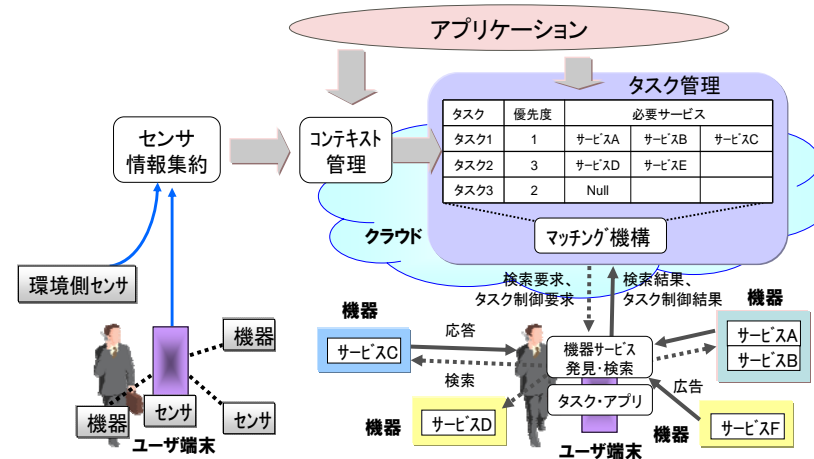


図1 タスク駆動型機器連携システムの機能構成

Figure 1 The configuration of task driven device orchestration system.

また、ユーザによる個々のタスクの実行を支援するために、ユーザ端末上で動作するタスク支援アプリケーション(タスク・アプリ)を定義し、ユーザはタスク・アプリを操作しながらタスクを実行する。このとき、ユーザ端末におけるタスクの割り込み

制御は、タスク・アプリの割り込み制御によって実現される。タスク・アプリは、ユーザ端末に事前に格納しておくか、タスク実行時サーバからダウンロードする。上記のように、本稿では、ユーザの行うべきタスクが先に存在し、そのタスクを実行する目的でユーザ端末と周辺の機器との連携を行うことをねらいとしており、この仕組みをタスク駆動型機器連携と呼んでいる(図1)。

図1はユーザ端末や環境側のセンサから収集された情報から導出されたコンテキストと連動したタスク駆動型機器連携システムの構成を示している。コンテキスト管理やタスク管理の上位にあるアプリケーションは、アプリケーションに固有なコンテキストの設定や、コンテキストに応じてタスクを実行するユーザを動的に決定することができる。なお、本稿ではコンテキストが与えられることを前提として、タスク管理および機器連携に焦点を当てている。

3.2 試作システム

前記の考え方に基づいて、試作したシステムについて示す(図2)。試作は、例として家電量販店における店員の作業支援を想定して行った。なお、実装は、周辺機器についてはC++、それ以外はJavaで行った。

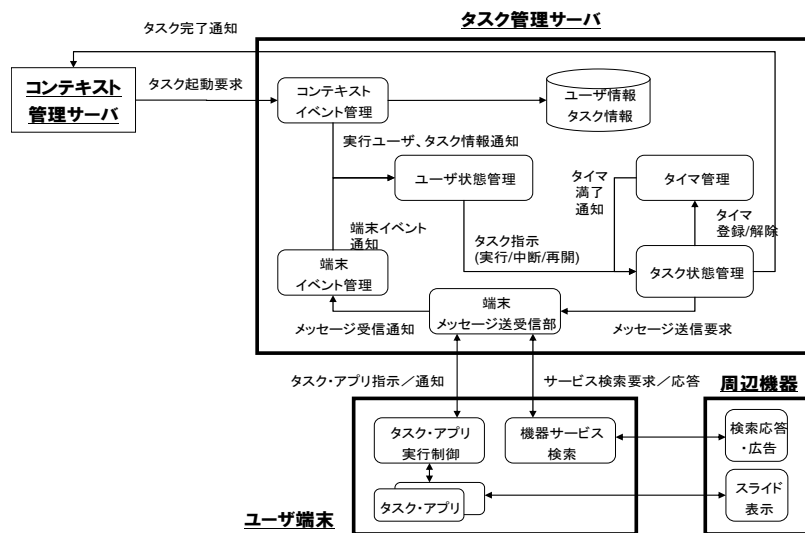


図2 試作システムの機能構成

Figure 2 The functional configuration of prototype system.

また本試作システムで用いた装置の仕様を表1に示す。

表1 試作システムの装置仕様
Table 1 The hardware specification of prototype system.

装置名	仕様
コンテキスト管理サーバ	CPU: Xeon 2.4GHz×2, メモリ: 1GB, OS: Fedra
タスク管理サーバ	CPU: Xeon 3.06GHz, メモリ: 1GB, OS: Windows Server 2003
ユーザ端末	Android 携帯端末, OS: Android 2.1
周辺機器 (ノート PC)	CPU: Celeron 1.2GHz, メモリ: 2GB, OS: Windows XP Professional. SP3

3.2.1 タスク管理サーバ

タスク管理サーバの各機能を以下に示す。

(1) コンテキストイベント管理

コンテキスト管理サーバからのイベントを待ち受ける。イベント受信時には、ユーザ情報やタスク情報を元にイベントに対応するユーザ、タスクを判断し、ユーザ状態管理に実行タスク、およびユーザの情報を通知する。

(2) ユーザ状態管理

ユーザ毎のタスク実行状態、実行中および実行待ちタスクを管理し、各イベント管理からの通知にしたがって、タスクの実行/中断/再開をタスク状態管理へ指示する。中断されたタスクのキューイング、高優先タスクのための割り込み制御を行う。

(3) タスク状態管理

ユーザ状態管理からの指示を受けて、ユーザ端末に対して、サービス検索、タスク・アプリの実行/中断/再開を要求する。

(4) 端末イベント管理

ユーザ端末からのイベントを待ち受け、イベントを受信したら、それをユーザ状態管理へ通知する。

(5) 端末メッセージ送受信部

ユーザ端末との接続を管理し、端末とメッセージの送受信を行う。

(6) タイマ管理

タスク状態管理から送信される各種要求を再送する際のタイマを管理する。

3.2.2 ユーザ端末

ユーザ端末の各機能を以下に示す。なお、周辺機器との連携プロトコルには、多様な機器との接続性を考慮して、UPnP (Universal Plug and Play) [7]で実現した。

(1) タスク・アプリ実行制御

ユーザ状態管理からのイベントを待ち受ける。イベント受信時には、タスク・アプリの起動／中断／再開制御を行い、その結果を応答する。

(2) **機器・サービス検索**

タスク管理サーバから指定された機器・サービスを M-SEARCH により検索し、その結果を応答する。

(3) **タスク・アプリ**

タスク・アプリはタスクの実行を支援するアプリケーションであり、今回は例として家電量販店の作業支援を想定して、表 2 に示すタスク・アプリを開発した。

表 2 試作タスク・アプリ

Table 2 Task applications of prototype system.

アプリ名	機器連携の有無	概要
商品補充	なし	店舗での商品の補充を支援。商品の補充数を表示し、補充完了を確認。
顧客対応	なし	来店顧客への接客を指示。接客前に顧客の購入履歴や興味のある商品に関する情報の確認が可能。
商品説明	あり	ユーザ端末に格納された商品説明スライド (PPT, PDF 形式) を近くの PC 画面に表示し、端末のボタン操作によりスライドのページめくりが可能。

表 2 のタスク・アプリは、以下のような作業支援の流れを想定している。

- 店員 A は、商品補充タスク・アプリにより、商品補充作業を行っている (初期状態)。
- 顧客 (お客様カードなどにより個々の顧客が特定できるものと想定) が来店すると、商品補充作業中の店員 A に対し、顧客対応タスク・アプリが割り込み実行される。店員 A は、当該タスク・アプリを操作して顧客情報を参照し、顧客の居場所へ移動。
- 顧客のそばへ移動し、商品説明に使用可能な PC がある場合は商品説明タスク・アプリが割り込み実行される。店員 A は当該タスク・アプリを操作して、PC に商品紹介スライドを表示し、ページをめくりながら商品を説明。

図 3 は店員の端末で実行されるタスク・アプリの表示画面である。商品補充作業中の店員に対して、来店顧客への接客作業、および商品説明作業が順次割り込み実行され、各作業終了後に中断された作業が順次再開される様子を示している。

3.2.3 周辺機器

周辺機器として PC を想定し、ユーザ端末から受信した商品説明スライドを画面上に

表示すると共に、ユーザ端末からの指示にしたがいページめくりを行うスライド表示サービス機能を実装した。また、ユーザ端末からの機器検索要求に応答する機能および周期的に自身の存在を広告する機能も実装した。

3.2.4 コンテキスト管理サーバ

コンテキスト管理サーバは本来、ユーザ端末や環境側のセンサから収集した情報に基づいてユーザのコンテキストを生成・管理するものであるが、今回の試作ではタスク管理サーバとの間でタスクの起動要求／完了通知イベントをやり取りする機能のみ実装した。



図 3 店員の端末画面

Figure 3 The display image of user terminal.

4. 評価

前記試作システムのユーザビリティを評価するために、ユーザ端末とタスク管理サーバの性能評価を行った結果を示す。後に示すように、タスク管理サーバの負荷条件を変えた評価を行うにあたっては、コンテキスト管理サーバとユーザ端末を、それぞれの動作を疑似するサーバに置き換えた。疑似コンテキスト管理サーバは、タスク管理サーバに送信するタスク実行要求イベントの量を変えることで、タスク管理サーバの負荷を制御可能とした。また、ユーザ端末疑似サーバではユーザによる端末操作に関わる時間を疑似するために、1 秒の待ち時間を発生させた。

4.1 機器連携実行時間

Android携帯端末で動作するタスク・アプリの操作感を評価するために、ユーザが商品説明タスク・アプリのスライド表示サービス制御ボタンを操作してから、それが機器連携の相手となるノートPCで実行されるまでの経過時間を評価した。表 3 は各操作について試行を 5 回行ったときの平均時間を示している。スライドの表示開始にはPC側の Adobe Readerの起動時間が含まれるため他の操作よりも時間が長くなっているが、

いずれの操作も短時間で実行され、今回試作した機器連携機構はユーザにストレスを与えることなく実現できていることが確認できた。

表 3 機器連携の経過時間

Table 3 The elapsed time for device orchestration.

操作	経過時間 (秒)
スライドの表示開始	2.0
スライドのページめくり	0.3
スライドの表示終了	0.4

4.2 タスク管理サーバのタスクイベント処理時間

タスクが実行可能となるようなコンテキストの変化、およびユーザ端末操作に対するタスク管理サーバの反応速度を評価するために、タスク管理サーバが受信したタスク関連イベントの処理時間を、タスク管理サーバの負荷を徐々に増加させながら評価した。評価の対象は以下の時間とした。

- ① 疑似コンテキストサーバから商品補充タスクの起動要求を受信してから、タスクの割り込み制御は行われずに、ユーザ端末に商品補充タスクの実行を要求するまでの時間
- ② 疑似コンテキストサーバから顧客対応タスクの起動要求を受信してから、商品補充タスクに対する割り込み制御（中断処理）を行った後、ユーザ端末に顧客対応タスクの実行を要求するまでの時間
- ③ ユーザ端末から顧客対応タスクが終了した旨の通知を受信してから、当該タスクの終了を疑似コンテキストサーバに通知し、ユーザ端末に商品補充タスクの再開を要求するまでの時間

図 4は試行を 30 回行ったときの各処理時間の平均値を示している。いずれの時間も負荷の増加に伴い若干増加している傾向が見られるが、最も長い場合でも 130 ミリ秒程度で処理を終えていることから、タスク実行処理および端末操作がリアルタイムに行えていることが確認できた。なお、各処理時間の違いは、それぞれで行うべき処理が異なっていることから生じたものである。

タスクの実行に先立って機器・サービス検索が行われる場合には、①または②の処理時間に当該検索に関わる時間が追加される。UPnP の仕様では M-SEARCH の検索待ち時間（MX ヘッダ）は 1 秒以上を必須、5 秒以内を推奨とされており、この検索待ち時間が①および②の処理時間よりも非常に大きく、支配要因となることが分かった。

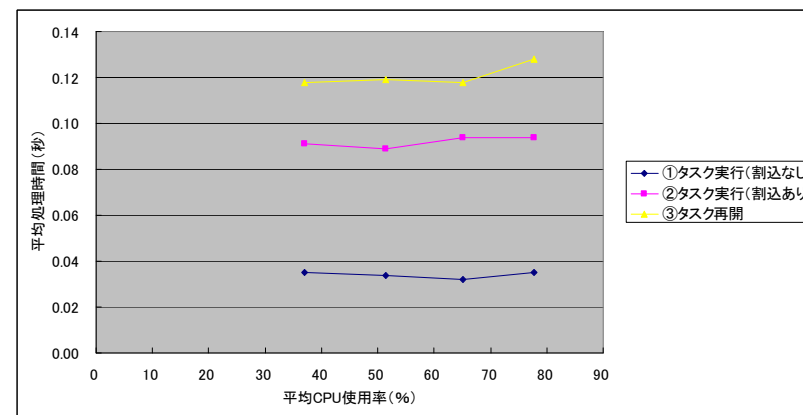


図 4 タスクイベント処理時間

Figure 4 The task event processing time of prototype system.

4.3 タスク管理サーバの収容ユーザ数

タスク管理サーバのスケラビリティを評価するために、収容可能なユーザ数を評価した。今回の試作では、ユーザが登録されるたびに当該ユーザに関するタスク制御を行うスレッド 1 つをユーザに固定的に割り付けることとした。このため、本システムにおける収容ユーザ数は、システムで同時に生成可能なスレッド数に等しくなり、その値は 12,000 であった。

4.4 タスク管理サーバのタスク処理能力

タスク管理サーバのタスク処理能力を評価するために、タスク管理サーバが 1 時間当たりで処理可能なタスク数を評価した。本評価はタスク管理サーバの負荷を徐々に増加させてゆき、CPU 使用率が 80% になったときの処理能力を最大処理能力とした。なお評価は、表 2 に示す商品補充タスクのみを実行させる最も単純なシナリオ（1 タスクシナリオ）と、図 3 に示したように 3 つのタスクが順次割り込み実行される複雑なシナリオ（3 タスクシナリオ）の 2 つの場合で行った。

1 時間で処理可能な平均タスク数は、1 タスクシナリオで約 76 万、3 タスクシナリオでは約 67 万となった。3 タスクシナリオの処理タスク数が少ないのは、機器サービス検索時のマッチング処理、タスクの割込/中断/再開処理がオーバーヘッドとなっているためであると考えられる。

なお、このタスク処理能力を収容ユーザとの関係で考えてみると、本試作システムは 1 ユーザ当たりの平均で 1 分に約 1 個のタスクの実行が要求されるような繁忙な作業環境に対応可能であることを意味する。しかしながら、これは今回の実装における収

容ユーザ数が少ないことの裏返しとも言え、収容ユーザ数の増加が必要である。

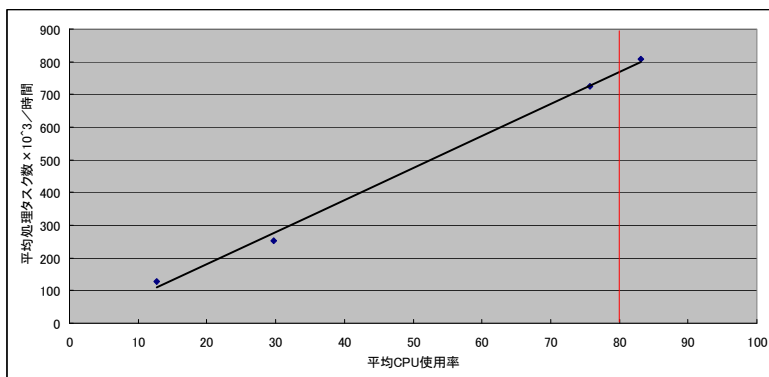


図 5 タスク処理能力 (1 タスクシナリオ)

Figure 5 The task processing capability of prototype system (1-task scenario).

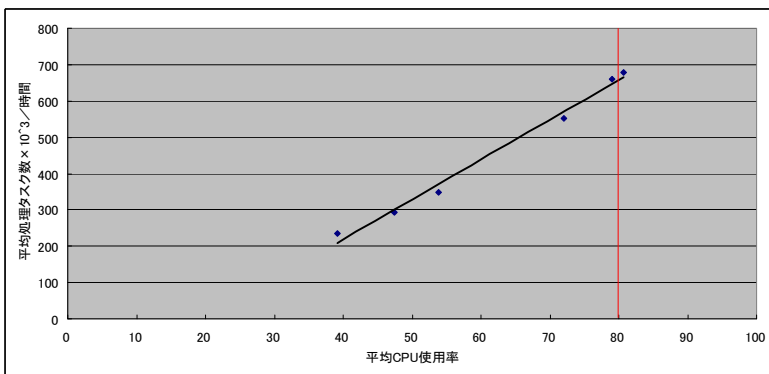


図 6 タスク処理能力 (3 タスクシナリオ)

Figure 6 The task processing capability of prototype system (3-task scenario).

5. まとめ

本稿では、コンテキストが与えられる前提で、ユーザが行うべき作業が先にあり、

タスクの実行に必要な機器・サービスを周辺で検索・発見したときに、タスクの優先度に基づいてタスクを実行するタスク駆動型機器連携システムを提案した。また、本システムを試作し、システムのユーザビリティ評価のために定量評価を行い、ユーザ端末による機器連携は 0.3~2 秒といった短時間で実行できることが分かった。また、タスクを制御するサーバは 1 時間当たり約 70 万のタスクを制御可能であり、高負荷時でも個々のタスク制御を 130 ミリ秒以下の処理時間で実行でき、システム全体として十分実用的であることが分かった。

今後の課題として、1) 収容ユーザ数の増加、2) 非 UPnP 機器との連携、3) 現場に近い環境での効果の評価がある。1) については、今回はユーザに固定的にスレッドを割り付けたため、同時生成可能なスレッド数によって収容ユーザ数が制限されたが、必要に応じてスレッドを動的に生成することでこの制限をなくす。2) については、今回は周辺機器が UPnP をサポートしていることを前提としたが、それ以外の機器と連携させることで、より多様なタスク支援を可能にする。3) については、今回は試作システムの性能面の評価に留まったが、本システムによる現場作業の改善効果、ユーザの使用感といった効果面での評価も行っていきたい。

参考文献

- 1) 寺田麻子, 松谷美和子, 高屋尚子, 西野理英, 飯田正子, 佐藤エキ子, 平林優子, 松崎直子, 村上好恵, 桃井雅子, 佐居由美, 井部俊子: 新人看護師への移行演習プログラムの試行と評価(3) - 多重課題シナリオによる演習 -, 聖路加看護学会誌, Vol. 12, No. 2, pp. 58-64 (2008).
- 2) Matsuoka, R., Parsia, B. and Labrou, Y.: Task Computing - The Semantic Web meets Pervasive Computing -, The Second International Semantic Web Conference (ISWC 2003), pp. 866-881 (2003).
- 3) Hansen, T. R., Bardram, J. E., Soegaard M.: Moving Out of the Lab: Deploying Pervasive Technologies in a Hospital, Pervasive Computing, IEEE, Vol-5, No. 3, pp. 24-31 (2006).
- 4) 大村廉, 納谷太, 野間春生, 小暮潔: 看護業務支援のためのセンサネットワーク・アーキテクチャ, 情報処理学会研究報告, Vol. 2009-UBI-23, No. 8, pp. 1-7, 2009.
- 5) 黒宮寧, 内田渉, 町田基宏, 大野友義: スケジュールを基点とした行動支援型レコメンドシステムの検証, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2009) シンポジウム, pp. 1336-1343 (2009).
- 6) 矢野幹樹, 白木敦夫, 梶克彦, 松原茂樹, 河口信夫: ユーザ生成情報を用いた携帯端末上での状況依存型サービス推薦, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2010) シンポジウム, pp. 221-228 (2010).
- 7) UPnP Forum, <http://www.upnp.org/>.