

リビングから始める ユビキタス —情報家電インタフェース—

橋本政朋 泉田大宗 森 彰

産業技術総合研究所

ユビキタスコンピュータとは、存在を意識することなく能力を引き出すことができるコンピュータである。近年、情報家電と呼ばれるコンピュータ化された家電機器が一般家庭にも普及しつつある。この情報家電を用いてユビキタスコンピュータを体現するためには、個別の家電機器を意識させないユーザインタフェースを構築する必要がある。我々はそのようなユーザインタフェースの開発を促進するため、リビングを中心とした情報家電の利用というタスクを指向した情報家電ミドルウェアである UBLink の開発を行っている。本稿では UBLink と、その上に構築した情報家電インタフェースシステム Speech/UBLink について解説する。

（ ユビキタスコンピュータと情報家電 ）

ユビキタスコンピュータ¹⁾とはコンピュータの1つの進化形であり、我々の日常生活に溶けこみ「消えて」しまうコンピュータを意味する。ここで「消える」とは、我々の意識から消えるということであり、存在を意識することなく能力を引き出すことができるといえる。この概念が提唱され15年、文字どおり「遍在する (ubiquitous)」コンピュータの実現という意味においては、現在の技術は高い水準に達しているといっても過言ではないであろう。特に携帯電話の進歩普及には目を見張るものがある。しかしながら、「消える」という意味においては、理想と現実との少なからぬギャップを認めざるを得ない。

近年、家電機器はネットワーク技術などの情報処理技術を取り入れることで飛躍的にその機能を高め、もはや立派なコンピュータと化している。そのような家電は**情報家電**と呼ばれる。しかし残念ながら、情報家電の秘められた機能を容易に引き出すためのユーザインタフェースが用意されていることは稀である。特にデジタルテレビやパーソナルビデオレコーダなどのAV機器に顕著であるが、安易にリモコンのボタンやメニュー階層を増やすことで高機能化に対応し、操作性が著しく損なわれてしまっている例が少なからず見受けられる。

この身近になりつつある情報家電を用いてユビキタスコンピュータを体現しようとするならば、個別の家電機器を意識させないようなユーザインタフェースを構築する必要がある。現状では、たとえば「ちょっとニュースでも見ようか」と思いそれを実現するだけでも、テレビをつけ、番組表を調べ、ニュース番組を放送中のチャンネルがあればそれを選択する、なければ録画した番組から最新のニュースを再生しテレビに出力する、などと、テレビやビデオレコーダの操作に煩わされることとなるであろう。

我々は、個別家電を意識しないユーザインタフェースを実現するためには、ユーザの意図そのものを汲み取ることができる、ということが重要であると考えている。テレビの操作やビデオレコーダの操作という機器側の「言葉」で意図を伝えるのではなく、人間の「言葉」で意図を伝えたい。

また一方で、個別の家電機器を超えたユーザインタフェースの実現のためには機器間の相互連携が不可欠となる。ところがそのような基本的なことさえ、メーカーや仕様、規格などの多様性の壁に阻まれ容易なことではない。ホームネットワークにおける機器間の相互接続のための規格だけでも、ざっと ECHONET^{☆1}、KNX^{☆2}、

☆1 <http://www.echonet.gr.jp>

☆2 <http://www.konnex.org>

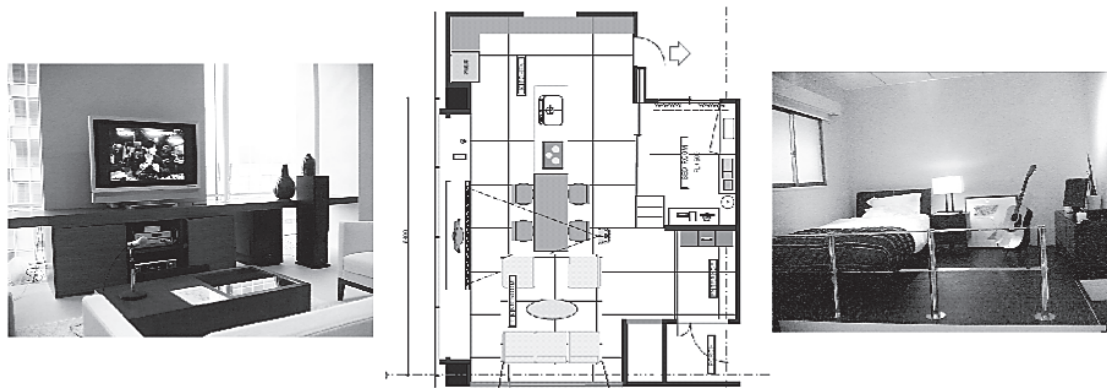


図-1 UBRoom

CEBus^{☆3}, HAVi^{☆4}, UPnP^{☆5}などが挙げられる。これらの規格は家電間でやりとりされるメッセージのフォーマットやプラグアンドプレイなど、比較的低レベルに位置する機能に焦点を絞っている。いずれかの規格が市場を独占してしまうという可能性は低いいため、我々は複数規格の混在環境を念頭に置かなくてはならない。つまり、適宜低レベルのプロトコル変換が必要となるということである。

我々はリビングを中心とした情報家電の利用というシナリオにおいて、ユーザの意図を反映していると考えられる「言葉」に近いデータ構造を共通語とし、ユーザと情報家電システム、さらには家電機器間の「対話」を支援するための情報家電ミドルウェア、UBLinkの開発を行っている。

以降、UBLinkを用いて構築された情報家電インタフェースシステムを装備するUBRoomと呼ばれる-demo施設を紹介し、我々のアプローチを概観する。システムに関するより詳細な説明の後、最後に関連研究と今後の展望について触れる。

UBRoom

我々は、情報家電インタフェースシステムのデモンストレーションのため、UBRoomと呼ばれる施設をオフィスフロアの一部に設営している。この施設は住居を模したものとなっており、広さは約17坪程、エントランス、リビング、キッチン、ベッドルームからなる(図-1)。UBRoomにはUBLinkに音声インタフェースを加えて構築されたSpeech/UBLinkシステムがインストールされている。機器に関しては、AV機器やビデオチャットシステムなど情報家電や、玄関オートロックや電動ブラインドなど住設機器も充実しており、焦電センサ、着座

センサ、開閉センサやRFIDリーダなど、多くのセンサも埋め込まれている。これらはUBLinkを用いて統合的に管理される。UBRoomの利用例をいくつか挙げる。

【機器操作】 ユーザの「テレビつけて」、「××放送にして」、「電気つけて」などの機器操作に関する指示をシステムが音声認識により聞き取り実行する。ある程度の言い換えにも対応している。たとえば、「テレビつけて」は「テレビの電源を入れて」といってもよい。少し複雑な例としては「ニュースが見たい」に対し、現在放送中の番組を検索しチャンネル変更を行う。該当がなければ録画コンテンツから最新のニュースを検索し表示する。「天気はどう?」や「電車はどう?」と尋ねれば天気予報や電車の運行情報を合成音声で知らせる。

【コンテンツ検索】 画像や音楽、動画などの巨大なアーカイブから所望のコンテンツを取り出し閲覧する。「ジャズかけて」や「～のニュースが見たい」などの指示に対応する。ニュース検索は大容量マルチチューナレコーダにより日々録画される大量のニュース番組のアーカイブを検索対象としている。「～のニュースが見たい」の音声入力を実現するためには、動的に音声認識に必要な辞書データを生成する必要がある。インターネット経由で取得した番組情報から自動抽出したキーワードを元に自動生成することができる。

【ホームオートメーション】 ユーザはミドルウェアの機能を活用した一種の「プログラム」をシステムに登録することができる。たとえば、ベッドルームの窓が開くと、そこに設置された監視カメラの画像をリビングのテレビに出力する、といったイベント処理を登録したり、ユーザの就寝を感知した際に発せられるイベントに対し、利用しない機器の電源を切り施錠するといった処理を登録することができる。

このように、Speech/UBLinkはユーザの言葉を受け、さまざまな処理をこなしてゆくわけであるが、単にリモコンのボタンに記された単語を音声認識しているだけのシステムではない。我々のシステムでは音声認識にせよ

☆3 <http://www.cebus.org>

☆4 <http://www.havi.org>

☆5 <http://www.upnp.org>

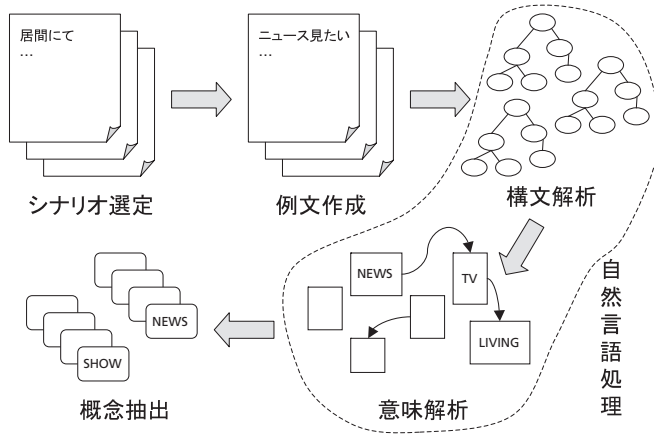


図-2 概念の抽出

その他の手段にせよ、それらによって得られたユーザーの言葉からある種の「意味」を抽出し、これを基に動作する。何を以て意味とするかにはさまざまな考え方があがるが、我々は、言葉に関連付けられた「概念」からなる構造を意味として捉えている。

（「概念」に基づく情報家電インタフェース）

我々は、情報家電の利用という文脈において、人間の思考に近い入力動作で動作するユーザインタフェースを構築するため、自然言語処理技術の応用を試みた。情報家電システムに対してユーザが発する言葉そのものの構造から自然言語処理を経て、関連する「概念」を抽出し（図-2）、それらからなるデータ構造を入力とするのである。

ここでは我々のアプローチを概観するため、現在UBRoomにインストールされているシステムの元となった情報家電インタフェースシステムを例に説明する。このシステムは、経済産業省 e-Life イニシアチブ^{☆6}の関連事業として三洋電機、情報処理相互運用技術協会と共同で行った実証評価プロジェクト²⁾において実際に使用されたものである。

システムはエントランス、リビング、ベッドルームからなる数坪程度の広さのデモブースに作り込まれ、デジタルテレビやエアコンなどの情報家電、睡眠センサや人感センサなどが設置された。情報家電機器は三洋電機により開発された PRORIX³⁾ と呼ばれるホームネットワークシステム、あるいは我々が開発を行っているホームネットワークシステムのいずれかに接続されており、ホームネットワーク端末、あるいは音声インタフェースにより操作される。

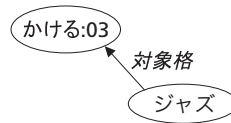


図-3 係り受け構造の例

まず必要なのはシナリオ選定である。実証評価では、起床から就寝まで、デモブースに設置された機器を利用したいくつかのシナリオを用意した。次に、例文の作成を行う。選定したシナリオの範囲でユーザが口にするであろう例文を考え得る限り列挙する。例文はそれぞれ構文解析され、係り受け関係などを反映した木構造へと変換される。たとえば、「ジャズをかけて」という入力に対して図-3のような木構造が生成される。このとき、多義語の解決、係り受け関係の同定、同義語の正規化などが行われる。図中「かける」に付けられた番号は、「かける」という単語に結び付けられたさまざまな概念を区別するため便宜的に付けられたものである。多義語の解決では、述語の表す概念が一意に定められる。たとえば、「ジャズをかけて」という文中と「鍵をかけて」という文中とでは「かける」という単語が表す概念が異なるが、それを区別するために「かける」に対し、どのような語がどのような格で係っているかを調べる必要がある。この例の場合、「かける」という述語に対し、「ジャズ」が対象格 (objective) で係っている。述語概念に対して、どのような単語がどのような格で係ることができるか、という情報は辞書として与えられるため、述語概念を定めることができる。

日本語として正しいすべての文を網羅する汎用辞書を用意することは事実上不可能であるが、適当な範囲のシナリオの範囲内であれば、概念体系を整理し十分実用的な辞書を用意することはできる。一般的な会話において交わされる文やその関連概念と比較して、情報家電操作に関連する文や概念は限られている。

構文解析された例文は、意味解析（補間や正規化を行う。詳細は後述。）を経て表面上の違いが吸収された意味構造と呼ばれるデータ構造へと変換される。この意味構造に現れる述語概念 (TURN_ON など) と名詞概念 (TV など) とをそれぞれ 30 語程度に整理した。

このようにして慎重に選ばれた概念語からなる文構造は汎用的かつ人間にも理解可能であるため、多様性を持つ情報家電環境における共通抽象コマンドとして利用できる。たとえば、TURN_ON [objective AIR_CONDITIONER] や LOWER [objective VOLUME [modifier(of) STEREO]] などである。

抽象コマンドは情報家電に共通の概念を抽出して得ら

^{☆6} <http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0003917/>

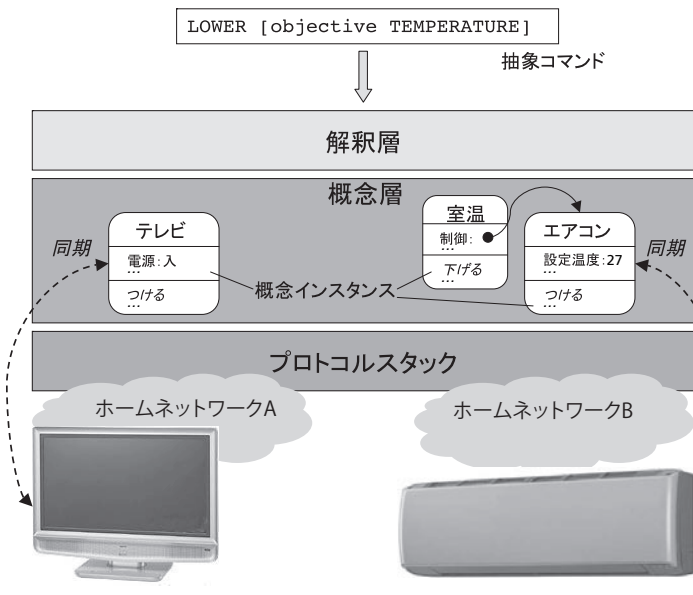


図-4 UBLinkの構成

れたものである。機器間の相互運用性の確保は容易となる。また、ユーザインタフェースの観点からも、ほぼユーザの意図(言葉)に近い形の入力ができるため、今まで個別機器の操作を習得しなければならず、機器側の都合を押しつけられていた現状からも開放される。

情報家電ミドルウェア UBLink

UBLinkの主な役割は、抽象コマンドを解釈し適切な家電機器を実際に動作させることである。UBLinkは概念層 (concept layer) を中心に解釈層 (interpretation layer)、プロトコルスタックを加えた3層から構成される(図-4)。

概念層

概念層では情報家電の制御に関するあらゆる概念(家電機器、音量、チャンネル、等)は、**概念インスタンス**として表現される。概念インスタンスに対応する概念は、基本的に述語の対象格となる名詞として現れるものである。概念インスタンスにはそれぞれ状態と対応述語が関連付けられている。たとえば、〈リビングのテレビ〉という概念インスタンスには、チャンネル、音量、電源などの**インスタンス状態**と、つける、消す、といった述語が関連付けられている。概念インスタンスに対しては、インスタンス状態の取得や場合によってその変更、述語の実行を依頼することができる。概念インスタンスは、実際の機器や状況に対するプロキシとして振る舞い、インスタンス状態と実際の機器や状況とを同期させる。たとえば、〈リビングのテレビ〉、〈電源〉を〈入〉にセットすると、最終的にそのテレビが属するホームネットワークの

プロトコルにおいて電源を投入するコマンドが発行される。〈明日の天気〉や〈運行情報〉など、状態の更新が不可能な概念インスタンスもある。これらについては状態の取得のみ可能である。たとえば、〈明日の天気〉に対し〈教える〉述語を実行すると、Webサービスなどを利用して天気予報を取得し、その結果を音声合成を通じて伝える。

述語の実行例として〈リビングの室温〉に対して〈下げる〉を発行する場合を考える。〈リビングの室温〉にはインスタンス状態として「コントローラ」という項目があり、〈リビングのエアコン〉を指している。〈リビングの室温〉は〈下げる〉を実行するために、〈リビングのエアコン〉に対して、必要であれば〈つける〉を発行し、〈リビングのエアコン〉、〈設定温度〉を〈リビングの室温〉、〈温度〉-1に設定する。述語の内容はカスタマイズすることも可能である。たとえば〈ホームシアター〉の〈上映する〉という述語は、カーテンを閉める、照明を消す、スクリーンを下げる、プロジェクタの電源を入れる、DVDプレーヤでコンテンツを再生する、という一連の動作と等価であるということ定義することができる。

その他の概念層の重要な機能として、概念インスタンス検索がある。状態などをキーとして検索が可能となる。これにより、電源が入っているすべての機器の電源を切る、すべての〈音量〉にミュートを発行する、などといった処理が容易となる。

解釈層

解釈層は抽象コマンドを解釈し、適切な概念インスタンスに対し適切な述語の起動命令を発行する。ユーザによる明示的な命令文の入力のほかに、イベントを扱うこともできる。センサによるユーザの帰宅の検知や、タイマ、あるいはユーザの「暑い」という命令文ではない入力などである。イベントハンドラはイベントを抽象コマンドに変換し解釈層へ渡す。イベントハンドラにはあらかじめイベントとアクションを登録しておく必要がある。たとえば、「暑い」というユーザ入力をイベントとして定義し、LOWER [(objective) (TEMPERATURE)] をアクションとして登録する。

プロトコルスタック

連携を容易とするために、情報家電ミドルウェアと接続を行うホームネットワークは、次のような機能を備えていることが望ましい。

- プラグアンドプレイ機構を有すること。特に、機器の接続・切断の通知とサービス発見機構。

- 各機器に対し永続的かつユニークな ID が割り当てられていること
- 各機器の状態を取得できること。

システムが家電機器の接続を検知すると、対応する概念インスタンスが生成されるが、これには機器 ID とサービス発見により得られる機器情報とが必要となる。概念インスタンスは、想定したシナリオから導き出される必要機能を基に、ホームネットワークごとにあらかじめいくつかの雛型が用意されており、機器 ID をキーに雛型を検索する。

概念インスタンスは対応する機器の状態を反映しなくてはならないが、このために各機器の状態を取得できなくてはならない。また、機器がホームネットワークから切断されると、対応する概念インスタンスは自動的に消去されなくてはならない。

現在のところ、UBLink は三洋電機製の PRORIX と独自開発ホームネットワークとに対応している。PRORIX はサーバ・クライアントアーキテクチャを採用し、HCSP (Home Control Service Protocol) と呼ばれる IP (Internet Protocol) 利用を前提とした XML に基づくメッセージングプロトコルを採用している。PRORIX クライアント機器がホームネットワークに参加するには独自のプラグアンドプレイ機構を通じて PRORIX サーバへ接続する。機器への操作命令送出や状態変化の通知は全てサーバを経由して行われる。

一方、我々の独自ホームネットワークでは Apple 社 Bonjour 技術に基づくピアツーピアプロトコルを基本として採用している。操作命令や状態取得などのリクエストは、直接対象機器間でやりとりされる。プラグアンドプレイ機構は Bonjour 技術に含まれるマルチキャスト DNS と DNS-SD (Service Discovery) という軽量なプロトコルにより実現されている。

両プロトコル共、プラグアンドプレイとユニーク ID をサポートしているが、現状では機器の設置場所の設定等、事前設定が必要なため、インタフェースシステム全体としてはプラグアンドプレイが実現されているわけではない。

(Speech/UBLink)

UBRoom には UBLink 上に音声インタフェースを付加した Speech/UBLink がインストールされている。Speech/UBLink は図-5 に示す通り、音声認識エンジン、形態素解析器、構文解析器、意味解析器、音声合成エンジン、そして UBLink で構成される。特に重要な意味解析について説明する。

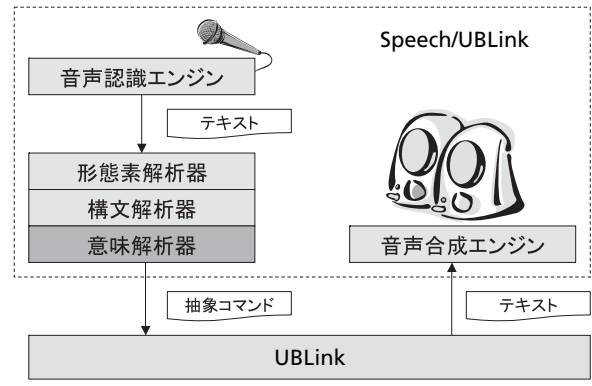


図-5 音声インタフェースの構成

意味解析

意味解析は、構文解析により得られた入力文の係り受け構造から**意味表現**を生成する。抽象コマンドはこの意味表現の簡易表現形となっている。意味表現とは、属性と属性値との組からなるレコードのリンク構造である。属性値は文字列や数値などのほか、別のレコードを指すこともある。係り受け構造から意味構造への変換では主に次の処理を行う。

【係り受け構造の補間】 必須項目を欠いた入力となされることが少なくないため、その補間を行う。たとえば、ユーザの入力が「消して」という文であった場合、対応する抽象コマンドは、

TURN_OFF [(objective) (null)]

となる。(null) とは何もないという意味であるので、対象格を欠いている。これではどの概念インスタンスに対し命令を発行するかをミドルウェアが特定することができない。このような場合、状況から可能な限り対象格の推定を試みる。電源が入っている機器が1つしかなければその機器で補間する。候補が複数の場合はたとえば、ユーザに対し「何を消しますか?」と質問し、ユーザから得られた入力で補間を行う。このような状況の取得にはミドルウェアの機能を利用する必要がある。

【換言の正規化】 適宜係り受け構造の補間を交えて正規化を行う。たとえば、「ジャズを聴きたい」、「ジャズ、お願い」、「ジャズかけて」などはすべて、

PLAY [(objective) JAZZ] (1)

へと解決される。

情報家電操作にかかわるすべての背景知識もまた意味表現として蓄えられている。たとえば、ジャズを聴かせることができるのはオーディオプレイヤーである、という情報は図-6のように表現される。この知識を利用して(1)を解釈すると、JAZZ に対して PLAY が発行され、player リンクから演奏可能な機器に対応する概念

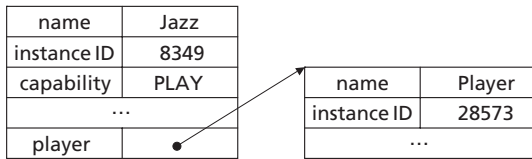


図-6 意味表現の例

Player が検索され、最終的に play(Jazz) が XML などの形式で接続されたホームネットワークを通じて Player に対応する機器に届けられる。

(関連研究と今後の展望)

ユビキタスコンピューティングのためのインタフェースやミドルウェアという文脈で国内外で数多くの研究がなされている。自然言語を用いたインタフェースに関連して、日常言語コンピューティング⁴⁾というパラダイムが提案されている。日常的な言語を用いてあらゆる情報処理を行うことを目指しており、秘書的インタフェースや、言葉による操作が可能な一般のアプリケーション(ワープロなど)、それらを繋ぐ言語プロトコルなどを含んでいる。Ranganathan ら⁵⁾はセマンティック Web 的なオントロジ(Web ページの意味を扱う枠組み)を用いて異種エージェント間で用語を統一するためのミドルウェアを提案した。これらに対して、我々のシステムはリビングを中心とした情報家電の利用というタスクに特化して、軽量のシステムを構築しているといえる。

住居におけるコンテキストウェア(状況依存)コンピューティングに関する研究として、ユビキタスホーム⁶⁾が挙げられる。2LDK のマンションを模しており、家電機器やほぼ全フロアをカバーする感圧センサなど相当数のセンサとが装備されている。独自のミドルウェアが開発されており、機器の枠を越えて仮想的にさまざまな「機能」を構成するような枠組となっている。また、情報家電の連携に関しては、いくつかの規格が産業界において提案されている。DLNA^{☆7)}は UPnP/AV と呼ばれる、AV 機器連携に関する規格に基づいており、主にメディアコンテンツを扱うデジタル家電間の相互運用を目指している。一方、ECHONET は PLC (power line communications: 電灯線通信) や TCP/IP などを利用して白物家電や住宅設備の連携を目指している。いずれも、ユーザインタフェースの領域に踏み込むものではなく、UBLink のプロトコルスタックに加えるべきものである。

現在も UBRoom は継続的に機能拡張を行っているが、

☆7 <http://www.dlna.org>

特に注力しているのは、ユーザによる明示的指示がなくとも、状況やユーザの行動などから適切なアクションを起動するコンテキストウェアなユーザインタフェースの開発である。これには、大量のセンサデータの時系列からの状況抽出技術がキーとなる。このほか、VPN 技術を応用したりリモートサイトとの連携や対応プロトコルの拡大などを計画している。

謝辞 自然言語解析に関して技術協力をいただいた CSK 高木朗氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Weiser, M. : The Computer for the 21st Century, Scientific American (1991).
- 2) 生活情報家電における進化するインタフェースの実証評価:平成 16 年度先導的分野戦略的情報化推進事業, 情報処理相互運用技術協会 (2005).
- 3) 沈 浩明, 畑山佳紀, 竹村浩司, 小川和也:「進化するシステム」を実現するホームネットワーク基盤技術「PRORIX」, SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol.37, No.2, pp.4-13 (2006).
- 4) 岩爪道昭, 小林一郎, 杉本 徹, 岩下志乃, 高橋祐介, 伊藤紀子, 菅野道夫: 日常言語コンピューティング(第 2 報) 一日常言語に基づく計算機資源の管理・実行環境を目指して一, 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.1, pp. 45-56 (2003).
- 5) Ranganathan, A. and Campbell, R. H. : A Middleware for Context-Aware Agents in Ubiquitous Computing Environments, Middleware, pp.143-161 (2003).
- 6) Yamazaki, T. : Ubiquitous Home : Real-Life Testbed for Home Context-Aware Service, TRIDENTCOM, pp.54-59 (2005).

(平成 18 年 11 月 24 日受付)

橋本 政朋

m.hashimoto@aist.go.jp

博士(理学) 京都大学(1998 年)。東京工業大学大学院情報理工学研究科リサーチアソシエイトを経て 2001 年産業技術総合研究所入所。科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業研究者(2001~2005)。実世界ユーザインタフェース、情報家電、プログラミング言語デザイン等に興味を持つ。日本ソフトウェア科学会会員。

泉田 大宗

tomonori.izumida@aist.go.jp

2006 年京都大学理学研究科数学数理解析専攻博士後期課程単位認定退学。2002 年より産業技術総合研究所において、ソフトウェアセキュリティ、ユビキタスコンピューティング、情報家電に関する研究開発に従事。日本ソフトウェア科学会会員。

森 彰(正会員)

a-mori@aist.go.jp

工学博士(情報工学) 京都大学(1995 年)。Oxford Univ. Computing Lab. Visiting Scholar, UC San Diego, Dept. of Computing Science and Engineering, PostdocFellow, 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手を経て 2001 年産業技術総合研究所入所。北陸先端科学技術大学院大学客員助教授。専門はソフトウェア工学の基礎、分散協調支援、ユビキタスコンピューティング基礎、ソフトウェアセキュリティ、実世界ユーザインタフェース、情報家電。日本ソフトウェア科学会会員。