

ユビキタスコンピューティング環境構築のための オープンプラットフォーム UBKit

森 彰† 橋本 政 朋†
泉 田 大 宗† 渡 邊 充 隆††

本稿では、ユビキタスコンピューティング環境を構築するためのソフトウェア/ハードウェア部品の体系である「UBKit (Ubiquity Building toolKit)」について紹介する。開発の動機は、「LEGO」ブロックの組み合わせにより様々なものが形作られるように、UBKit コンポーネントを組み合わせることで、簡便な実世界指向のプログラミング環境を提供することである。UBKit は、相互運用性やスケラビリティに重点を置いて設計されており、様々な組み込みデバイスを無線ネットワーク上で連動させるための軽量ミドルウェアを中心に構成されている。UBKit を用いたシステム構築の例として、情報家電統合制御システムの開発について説明を行う。

UBKit: An Open-Platform for Building Ubiquitous Computing Environment

AKIRA MORI,† MASATOMO HASHIMOTO,† TOMONORI IZUMIDA†
and MITSUTAKA WATANABE††

The UBKit (Ubiquity Building toolKit) is a set of software/hardware components we are developing as modular building blocks for ubiquitous computing in the same spirit as "LEGO" blocks. It aims at "off the shelf" development of embedded wireless computer networks and also at a handy platform for programming with the real world using lightweight middleware and sensor network gateways. The UBKit has been carefully assembled addressing scalability, inter-operability and ease of deployment so that a large number of heterogeneous devices and services can work together. As a system example utilizing UBKit, we overview an ongoing project to build an integrated remote control system for various network home appliances.

1. はじめに

日常生活のあらゆるものにネットワーク接続されたコンピュータが組み込まれ、どこにいても利用者の状況に応じた情報支援が受けられるユビキタスコンピューティング技術に関しては、次世代の情報技術の核としての期待の高まりとともに、国内外のさまざまな機関において研究開発が進められている。しかしながら、用いられるソフトウェア、ハードウェアの両面において共通仕様というものが存在しないため、システムごとに互換性のない技術が個別に開発される傾向があり、日常生活空間すべてをカバーするような規模の大きなシステムを構築するまで至っていないのが現状であ

る。このような問題に対処する方法としては、ソフトウェア、ハードウェアの仕様が公開されたシステム基盤技術、いわゆるオープンプラットフォームを、特定の企業あるいは団体による独占・先導を排除しながら、すでに広く受け入れられている技術をもとに共同作業を通じた技術仕様の公開を行っていく、いわゆるオープンソースの取り組みが有望であると考えられる。

本稿では、このような意識のもとにユビキタスコンピューティング環境を構築するために必要なソフトウェアおよびハードウェアの部品群として開発されている UBKit (Ubiquity Building toolKit)¹⁾ について説明し、その応用例として情報家電統合制御システムを紹介する。UBKit の当初の目的は、ユビキタスコンピューティング環境を支える組み込みネットワークシステム構築のための技術の確立であった。当初より、基本部品を組み合わせることで、組み込みコンピュータやセンサモジュールから成る無線ネットワークを構築し、実世界を指向したプログラミングが可能にな

† 独立行政法人 産業技術総合研究所サイバースト研究センター
Cyber Assist Research Center, National Institute of
Advanced Industrial Science and Technology

†† 日本ユニシス株式会社
Nihon Unisys, Ltd.

るよう構成されていたが、現在では、組み込みネットワーク構築ツール以外に、ユーザインタフェースやプライバシー/セキュリティのためのソフトウェア、状況依存ユーザ支援のための分散協調アーキテクチャを実現するためのミドルウェア機能なども部品として含むようになってきている。

2. UBKit (Ubiquity Building Toolkit)

図1に現在のUBKitの構成を示す。部品の構成にあたっては、多種多様なデバイスやサービスが出入りを繰り返すような環境であっても、それらが互いによく関係できるよう、スケーラビリティ、相互運用性、設置の容易性などに最大限に留意して設計されている。UBKitには様々な部品が含まれるが、通信プロトコル関連については特にIETF (Internet Engineering Task Force) 等の標準化プロセスに乗っている技術や、それ以外の場合でも組み込みプラットフォーム上での実行に適した技術や、オープンソースのソフトウェアが利用しやすい環境にある技術を選択するようにしている。実装においても、既存のオープンソースソフトウェアを活用するとともに、新規に開発されるソフトウェア/ハードウェアに関しても、その成果をオープンソースで公開することを方針としている。

このことから、全ての計算ノードについてそのOSにLinuxを採用することとし、UBKitの機能を実現するために特化されたLinuxプログラム群をUBLix (Ubiquity Building Linux) としてパッケージ化している。

以下にUBKitの部品それぞれについて説明を行う。**マイクロサーバ (Microserver)** マイクロサーバとは、超小型、高性能、低消費電力の組み込みコンピュータのことである。文字通りユビキタスな情報サービスのためのサーバとして機能する。設置場所に固有な局所コンテンツを配信したり、様々なデバイスをネットワーク化し遠隔操作するために組み込むことを想定している。現在は、三菱電機株式会社との共同研究により、M32Rと呼ばれる32bit RISC マイクロプロセッサ⁵⁾を搭載し、Linuxが動作するプロトタイプが利用されている。現在のプロトタイプは、SDRAM 32MBとFlash ROM 8MBを持ったCFカード大のCPU基板から成っており、外部とのインタフェースとして、CFスロット(主にネットワークデバイスとして)、シリアルポート、赤外線ポートを外部基板経由で接続可能になっている。将来的にはSDスロット(主にストレージとして)のほかに、USBポート

や、DSP (Digital Sound Processor) などが計画されている。

ユーザ端末 (User Agent Device) ユーザ端末は、ユーザとユビキタスコンピューティング環境との間を取り持つ計算ノードとしてマイクロサーバと同様に扱われる。ペン型やカード型など様々な形態が考えられるが、シャープ株式会社との共同研究により、同社製のLinux搭載PDAであるZaurusの基板をベースに様々な端末の設計を行っている。

無線ネットワーク 相互運用性を考慮し、現在は無線ネットワークに802.11b規格を採用している。ただし、アプリケーションによって必要な到達距離やバンド幅は異なるため、802.11a, 802.11gやBluetoothなども使い分けることも可能である。ユビキタスコンピューティング環境においては、ルータが存在しないアドホックネットワークを構成する必要があることも考慮し、AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) と呼ばれるマルチホップルーティングアルゴリズムを採用している。Uppsala大学で開発されたAODVの実装²⁾にMaryland大学で開発されたマルチキャストパッチを適用したもの⁷⁾(MAODVと呼ぶ)と、米国NIST (National Institute of Standards and Technology) で開発されたAODVの実装⁴⁾を修正、移植して用いている。ちなみに、両者とも後述のミドルウェア機能において必要なマルチキャストパケットの処理を行うことが可能である。

位置情報インフラ 実世界指向プログラミングにおいては、ユーザやデバイスの位置情報を把握することが重要である。位置を測定するインフラとして室内では、超音波測位システム(誤差数センチ)、RFIDによる通信範囲に基づくシステム(誤差数メートル)、無線LANの電波強度や到着時間を用いたシステム(誤差2~3メートル)を利用することが可能である。いずれの場合でも、計測対象となるデバイスのIDを入力として、場所ごとに決められた局所的な場所情報(位置座標であることもあり得る)を返すサーバによって位置情報が管理され、この位置情報の問い合わせは後述のミドルウェア機能を用いて実現されている。室外においてはGPSを利用することも可能であるが、現在のところ位置情報を自律測位する方法については実装されておらず、その利用方法も含めて今後の課題となっている。

センサネットワークとセンサゲートウェイ

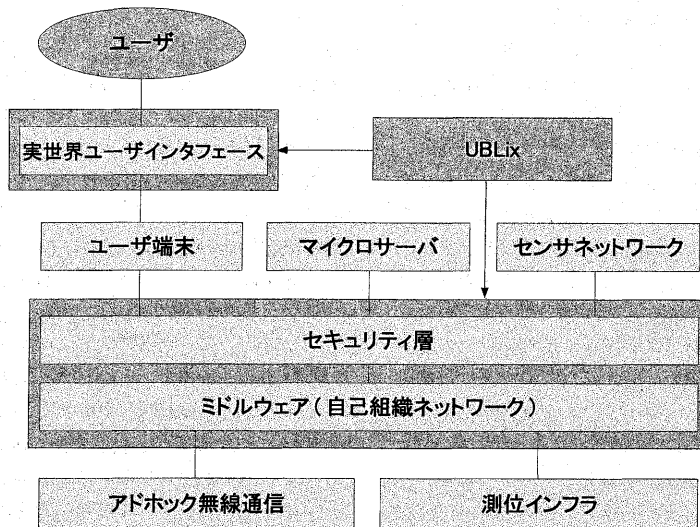


図1 UBKit 構成

位置情報以外の実世界におけるデータを取得するためには、センサネットワークを用いることが必要となる。現在、UBKit では MICA Mote と呼ばれるセンサネットワークシステムが利用可能となっている。MICA Mote は、UC Berkeley の Smart Dust Project⁸⁾ で開発されたものであり、センサノードは2枚の基板で構成され、メイン基板には8bit マイクロプロセッサとRF通信チップ、センサ基板には光、温度、地磁気、加速度、音、などの各種センサが搭載されている。センサネットワークの本来の目的は、物理データの定常的な監視であることから、センサデータの伝達には特別な小電力無線通信が利用されることが多い。このためセンサデータをマイクロサーバやユーザ端末上で処理するためには、センサネットワークと通常のIPネットワークとの間を結ぶゲートウェイが必要となる。センサゲートウェイの主な役割は、センサネットワークからのデータ入力を監視して、特定のイベント検出の際に予め登録されたハンドラ処理を起動することである。

ミドルウェア 組み込みネットワーク上で様々なアプリケーションを連携して動作させるためには、どの計算ユニット上でどのようなサービスが利用可能かを発見する方法と、サービス発見を行ってからそのサービスを遠隔起動する機構が必要である。UBKit ではサービス検索機構として、マルチキャスト DNS (Domain Name Service)⁹⁾(mDNS と

記す)を用いたサービス発見機構³⁾(mDNS-SD と記す)を利用している。UPnP⁹⁾(Universal Plug and Play)のようなHTTPベースのプロトコルを用いずにDNSベースのプロトコルを用いたのは、組み込みシステムにおける処理性能と実行環境を勘案してのことである。遠隔手続き呼び出しについては、単純なサーバ側での実行であればCGIを利用し、本格的な分散処理に関してはSOAP(Simple Object Access Protocol)を利用することができる。

実世界指向ユーザインタフェース ユビキタスコンピューティング環境においては、「違和感の少ない」インタラクションの手段をユーザに対して提供することが非常に重要である。このためには、コンピュータ画面上で閉じたGUIだけでは不足であり、日常の語彙や動作を活用したインタフェース機能が求められる。UBKit では現在のところ、1) 赤外線通信を用いて物理的に「指す」ことにより操作対象を指示する方法、2) RFID通信の近接性を用いて特定のもの同士が近付くことで特定のイベントが発生する機構、3) 音声認識により音声を用いて操作対象を指定する方法、の3通りのインタラクション方法が実現されている。これらを組み合わせることにより、例えば赤外線指示したテレビを音声で操作するといったことが可能になる。音声認識は単純な孤立単語認識はユーザ端末上で可能であるものの、音声対話インターフェー

スのような連続音声認識を必要とする場合には、ユーザ端末上でサンプリングした音声データを音声認識サーバに送り、サーバで認識した結果を利用するという形をとる。mDNSやmDNS-SDには任意の文字列を使用することができるため、ここに実世界の語彙を用い、音声インタフェースを通じて参照することでシステム全体を通じて一貫したインタフェース機能を提供することが可能である。これらのユーザインタフェース機能はアプリケーションから独立して利用できるようになっており、上記の通信ミドルウェアと連携した様々なUBKitアプリケーションの中核となり、たとえば、分散協調アーキテクチャを実装するのに用いることができる。

セキュリティ層 どのようなコンピュータシステムにおいても、セキュリティやプライバシーといった安全性の問題は重要な問題である。しかしユビキタスコンピューティングにおいては、どのようなデバイスでも随時参加できるオープンなネットワークが基本となるため、利便性を損なわずに通信の安全性を確保するのは至難の技である。サーバの存在を仮定できなかつたり、組み込みコンピュータが必ずしも暗号計算を行うための十分な計算資源をもたないことや、ネットワークのトポロジが頻繁に変化しうることなどが問題を困難にしている。このような状況を考慮して、UBKitではプライバシー保護の一端として個人IDを公開することなく特定のサービスを受けるための認証を重視している。現在、ユーザ(端末)の位置や、マイクロサーバおよびセンサネットワークとのインタラクション履歴を利用してユーザを認証する機能を実装中である。これらの情報は局所的に刻々と変化するため詐称が困難であるため、特定の場所や移動を行ったユーザの認証に用いることができると期待される。

3. 応用例：情報家電統合制御システム

UBKitを用いたシステム開発の例として、情報家電のユーザインタフェースに関する実証実験が進行中である。家電にマイクロサーバを組み込みネットワーク接続することで、ユーザ端末からの赤外線通信を通じて遠隔操作を行ったり、音声対話によりテレビやエアコンを操作したりといったことが可能になっている。また、ユーザ(端末)の位置やユーザ端末に収集されたセンサデータを利用してユーザを認証し、状況に応じたインタフェース機能を提供する機能の実装も行わ

れている。図2にユーザインタフェース機能を実装するための基礎となる情報家電統合制御システムの概要を示す。制御対象となる家電としてはテレビ、ハードディスクレコーダー、エアコン、調光機能付き照明、電動カーテン、掃除ロボットなどが想定されている。

以下に、UBKitの基本要素以外の部分について説明を行う。

情報家電統合制御端末 赤外線ポートと無線LAN機能を備えたユーザ端末の一種である。赤外線ポートは操作対象の機器(に内蔵・付加されたマイクロサーバ、下記参照)のIPアドレス(厳密にはURL)を取得するために用いられる。このアドレスには当該機器を制御するために必要なインタフェース情報が定義されたWebページが割り当てられており、アドレスが取得された時点で、無線LAN経由でこの操作画面を呼び出し、端末上のWebブラウザ上に表示することが可能になる。ユーザはこのブラウザ画面を通して対象機器の遠隔操作を行う。表示される操作画面は対象となる機器そのものが保持しており、これを操作する端末に依存しないため、操作したい機器を指し示すだけでその機器のリモコンになるいわゆる万能リモコンとしての動作が可能になっている。赤外線ビームによる指示以外にも、音声認識を用いた簡単な対話インタフェースも開発されている。端末上のマイクから音声をサンプリングしこれを音声認識サーバに転送して処理することで、操作したい機器や機能の名前を呼ぶだけで操作することが可能である。ただし、個人認証については端末上でログイン認証を行う、あるいはユーザごとに個別の端末を用いるなどの方法により対処することとどめている。

マイクロサーバ 家電製品をネットワーク対応にするためのコンポネントとしてマイクロサーバを用いている。ネットワーク経由で、遠隔操作を受け付け機器本体へ伝える機能や、外部から機器の内部状態を獲得可能にする機能を持つ。また、赤外線送受信ポートを備えることで、従来型の家電製品についても、赤外線ポートからリモコン信号を機器に向けて送信することによりネットワーク越しの制御を可能にしたり、実世界インタフェースにおける直接指示の対象となることが可能である。このことは、既存技術を併用した情報家電の普及や異なるプロトコル間の相互運用性を保証する上で重要である。前述の通り、情報家電統合制御端末とマイクロサーバの間の通信(赤外線あるいは

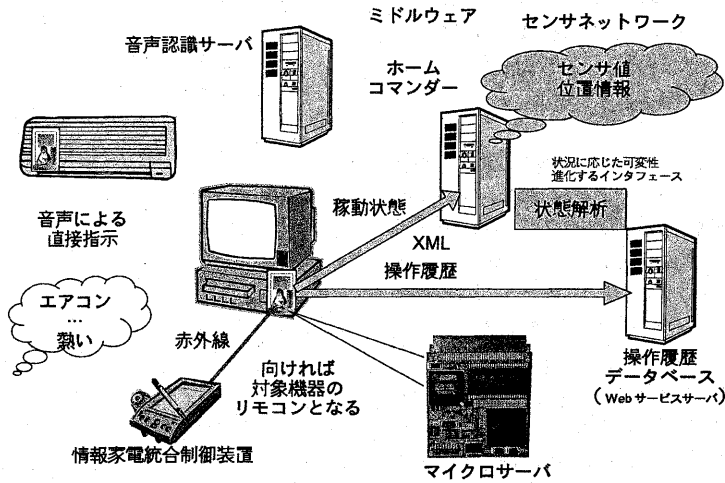


図 2 情報家電統合制御システム

無線 LAN) は機器に依存しないため、ユーザは機器ごとに異なるリモコン端末を操作する必要がなく、単一の端末と統一インタフェースを通じて家電を操作することが可能になるという利点がある。このように、マイクロサーバはユーザと家電の間を仲介することで遠隔操作を可能にし、機器の稼動状態の管理を行うものである。この際、マイクロサーバ上で認識されたユーザ操作は、後述の操作履歴データベースに記録され、ユーザ適応インタフェースの実現などに活用される。

ホームコマンダー センサ等によって計測される物理情報(気温や明るさ、時刻や各種機器との位置関係等、機器の稼動状況など)や、年齢、性別や嗜好といったユーザ情報を管理しながら、「部屋が熱いのにエアコンが動作していない」、あるいは「好みの番組が選局されていない」といったユーザの置かれた状況を判断して、ユーザが求める操作を迅速に提示・実行する機能を持ったセンサゲートウェイである。物理情報については微弱無線センサネットワークから得られるセンサ値、無線 LAN の電波強度から推定される位置情報、およびマイクロサーバ上で管理される機器情報が利用され、ユーザ情報についてはあらかじめ入力される個人データが利用される。

現在は、事前に定められた「～ならば～」形式の規則からなるルールベースにしたがって、定期的に物理情報、ユーザ情報を参照しながら該当する

規則に応じた操作を行うようになっている。さらに、ユーザ状況と操作履歴を関連付けて蓄積、解析していくことで、規則そのものを動的に追加、修正し、進化する適応インタフェース機能を実現することも可能であると考えられるが、規則間の衝突などを考慮して安定した振る舞いを実現するのが困難であるため、現時点では将来の課題として検討しているのみである。ただし、情報家電を買い替えたような場合に、録画の予約や好みの番組ジャンルといった情報を切れ目なく再利用するための継承機能については、規則の動的な追加という形で実現される。

操作履歴データベース 物理情報やユーザ情報が、リアルタイムに参照されるスナップショットデータとしてホームコマンダー上で管理されるのに対し、マイクロサーバ上で収集されるユーザ操作履歴は、操作履歴データベース上に蓄積され機器間で相互参照されるようになっている。いずれの情報についても、アプリケーション間で相互運用できるように XML 形式でデータを管理することが必要であるため、将来の標準化を見据えた作業が必要である。操作履歴データベースは、情報家電の操作履歴の保存・検索を行うための XML データベースシステムとして実装されており、クライアント間との相互接続性を考慮し、SOAP プロトコルを使った Web サービスのインタフェースが採用されている。さらに保存した情報の検索効率を

考慮し、実データは内部でリレーショナルデータベース (RDB) に格納される。進化する適応インタフェースの実現は、この RDB レベルでのデータマイニングを通じて行うことが検討されている。

4. おわりに

ユビキタスコンピューティング環境を構築するためのオープンプラットフォームである UBKit とその応用例である情報家電統合制御システムについて説明を行った。モジュール化された部品をソフトウェア、ハードウェアの両面で整備していくことにより、進化する適応インタフェースのような高度な機能であっても、迅速かつ柔軟にプロトタイプできることが確認できた。今後は、ミドルウェアの普及を目指した API の整備を進めつつ、典型的な応用分野として情報家電を対象とした高度インターフェースの実現に関する研究開発を行っていく予定である。また、今回は詳しく触れなかったものの、位置や環境とのインタラクション履歴を利用したユーザ認証機能についての実装も継続して行っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) Hideyuki Nakashima, Akira Mori and Masatomo Hashimoto. UBKit for Cyberassist. In *Proc. of the 2nd International Conference on Active Media Technology*, pp.46-56, Chongqing, P R China, 2003.
- 2) AODV-UU. Uppsala University. <http://user.it.uu.se/~henrik1/aodv/>.
- 3) DNS Service Discovery. <http://www.dns-sd.org/>.
- 4) KERNEL-AODV. NIST. http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv_kernel/.
- 5) M32R ファミリ. ルネサステクノロジ. <http://www.renesas.com/jpn/products/mpumcu/32bit/m32r/>.
- 6) Multicast DNS. <http://www.multicastdns.org/>.
- 7) *Multicast Extensions of AODV (MAODV)*. Maryland University. <http://www.isr.umd.edu/CSHCN/research/maodv/MAODV-UMD.html>.
- 8) SMART DUST. UC Berkeley. <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
- 9) UPnP Forum. <http://www.upnp.org/>.