

cogma : ユビキタス情報環境を構築する基盤ソフトウェア

cogma : A Universal Middleware for Ubiquitous Information Environment

河川 信夫
Nobuo Kawaguchi

名古屋大学情報連携基盤センター / 名古屋大学情報科学研究科
Information Technology Center/ Graduate School of Information Science, Nagoya University
<http://www.cogma.org/>

1. はじめに

いつでもどこでも多様な情報サービスを簡単に利用できる環境「ユビキタス情報環境」が現実のものとなりつつある。近年の情報技術やデバイス技術の発展により、様々な機器が情報ネットワークに接続され、多様なサービスが急速に普及している。このような様々なネットワーク情報機器やサービスを統合して利用するためには、ユビキタス情報環境を構築する基盤ソフトウェアがあることが望ましい。本稿では、ユビキタス情報基盤を構築するための基盤ソフトウェアについて、その要件と設計、およびこれまでに実装したプロトタイプシステムについて述べる。

一般にユビキタスシステムといえは、2つの意味を含むことが多い。一つはどこでもネットワークに接続可能という意味での、「ユビキタス・ネットワーク」であり、もう一つは、周囲の環境にコンピュータが埋め込まれて、様々なユーザ支援を行う「ユビキタス・コンピューティング」である。本稿では、「ユビキタス情報環境」として、ユビキタス・ネットワークと、ユビキタス・コンピューティングを実現するスマートスペースの双方の面について、その利用を支える基盤ソフトウェアについて述べる。また、我々が現在構築中のスマートスペースにおいて、環境負荷を低減させることを目的とした検討について述べる。

2. ユビキタス情報環境の特徴

本稿で述べる「ユビキタス情報環境」は、多様な機器や情報ネットワークがいたるところに存在し、いつでも、特別な意識をしなくても、それらの機器やネットワーク上の情報サービスを利用できる環境のことを言う。近年、盛んに構築されているホットスポット（公衆無線LANサービス）も、このような環境の基本的

な基礎となる。本節ではユビキタス情報環境を構築するための基盤ソフトウェアに求められる要件を検討するため、ユビキタス環境の持つ基本的な特徴について述べる。

1. 多種多様なネットワーク情報機器が存在する。
 - (ア) 環境の情報を取得するセンサ機器
 - (イ) 外部からの指示によって制御される被制御機器
 - (ウ) 多様な情報を管理・処理する情報処理機器
2. 情報機器はいたるところに多数存在する。
3. 複数の機器が連携してサービスを実現する。
 - (エ) 位置依存サービス
 - (オ) ユーザ環境・状況依存サービス
 - (カ) その他情報サービス
4. ユーザはいつでもどこでもサービスを利用可能。
5. サービス利用の意識が不要なほど、簡単に利用。

上記に示す特徴により、ユビキタス情報環境は、従来の情報システムでは考える必要のなかった以下の要件を考慮する必要がある。以下は、今後のユビキタス情報環境の段階的な発展を支え、社会に利用されていくためには非常に重要であると考えている。

1. 環境で利用される機器の変更・追加への対応
新たなネットワーク情報機器の購入や、機器の更新・削除により、ユビキタス情報環境が変更になっても、機器間の連携利用が容易に実現できる。
2. 事前に想定されていない機器との連携利用
すでに設置されている機器を、後から設置された機器に合わせて適応・変更する仕組みが必要となる。この場合、既存の機器は事前に利用を想定されていない機器との接続にも対応する必要があ

る。特に長期にわたって社会基盤として利用されるユビキタス情報環境においては、あたらしい機器や機能ができたからといって、あらたにすべてを再設置することは困難である。

3. 異種機器・異種ネットワーク環境の統合

すべての機器のネットワークが統一されているとは仮定しない。また、複数のネットワークにも対応する。CPU/OS 等も自由に選択可能であることが必要である。

4. ユーザによる指示や操作の最小化

多数の制御機器やセンサを簡単に組み合わせたサービスを実現する際に、指示・操作は、可能な限り、シンプルで、簡単なものであることが望ましい。学習や推論によって、ユーザによる操作の最小化が求められる。

5. 多数の情報機器による環境負荷の削減

情報機器には、利便性だけでなく、経済性も高いことが求められる。多数の情報機器が設置されるユビキタス社会では、すべての機器が常に動作する必要性はない。センサや電源制御の機能を連携して利用することにより理想的な電力管理を行う。

上記の要件を満たすことが、ユビキタス情報環境を支える基盤ソフトウェアには求められる。以下では、ユビキタス情報環境の研究に関する現状と、その問題を述べた後、我々が開発している基盤ソフトウェア、およびその利用について述べる。

3. ユビキタス情報環境の現状

ユビキタス・ネットワークは、無線 LAN を中心に構築され、急速に普及している[1,2]。一方、ユビキタス・コンピューティング環境は、どのように構築することが可能であろうか。実社会への適用を進めるため、ここ数年で複数の研究機関においてテストベッドの開発が進んでいる。Microsoft 社は 1999 年～2001 年にかけて Easy Living[3]と呼ばれる環境を構築し、PC やプロジェクトを快適に共有利用する仕組みを実現している。また、Stanford 大の Winograd らは iRoom[4]と呼ばれる環境で複数のディスプレイが存在するユビキタス環境を実現している。また、日本においても東大の STONE Room[5]、慶應大の SSLab[6]などのテストベッド環境が構築されている。さらに、最近では、Enhanced Room(電通大)、PAO Room(東大)、United Spaces(立命館大)、などでも構築されている。これら

のユビキタス・コンピューティング環境は、一般にスマートルーム/スペースと呼ばれ、利用技術の獲得や実証実験などに使われる。ユビキタス情報環境では、実際にシステムを構築することにより、実社会への適応可能性をはじめ確認することができる。これらのスマートルームでは、例えばノート PC 上の音楽を部屋のステレオで聞く、ノート PC の画面を壁面のディスプレイに表示、部屋の機器(電灯など)のリモート制御、などのデモシステムが構築されている。これらのシステムの目的は、最終的にはユビキタス情報環境によって実現される社会の可能性を示し、その魅力を示すことであるといえよう。しかしながら、これまでのところ、これらのスマートスペースにおいて、ユビキタス・コンピューティングにおけるキラーアプリケーションが発明された、という状況には至っていない。また、2節で述べた要件を明確に挙げ、それらを解決しているミドルウェアの利用も存在しない。

我々は、ユビキタス情報環境によるキラーアプリケーションは、上記の要件の4と5、すなわち、指示の最小化と環境負荷の低減が重要ではないかと考えている。もちろん、従来から言われており、上記のスマートスペースが実現しているような「リッチアプリケーション」も重要であるが、本質的には、ある程度のリモコン制御や人手による操作によって実現できる範囲の機構と考えられる。

ユビキタス情報環境による指示の最小化は、人間では複雑すぎる、もしくは煩雑すぎて指示できないような複雑な指示を行うことに意味があると考えている。近年では、デジタル・デバイドと呼ばれる、「使える人」と「使えない人」の差も認識されつつある。現状でさえ、ビデオ録画や、留守番電話設定、PC 操作などに対するニガテ感を持つ人が多数ある中、将来の情報機器の氾濫が予測される状況では、これらのニガテ感を解消することが、ユビキタス情報環境が本格的な社会基盤としての成立には欠かせないであろう。

4. ユビキタス情報環境を支える基盤ソフトウェア

2節のユビキタス情報環境を実現するためのソフトウェアに求められる要件を検討し、我々は基盤ソフトウェアシステム cogma[8](Cooperative Gadget for Mobile Appliances)を構築している。cogma は以下の特徴を持つ。

- A) 軽量ミドルウェア
Personal Java/ J2ME による省メモリで軽い

実装

- B) ソフトウェアの動的な移送に対応
動作状況を保持したまま、ソフトウェアがネットワーク上の端末間を移動可能
- C) 複数の異種ネットワークの同時利用が可能
TCP/IP, シリアル, 等の複数の通信デバイスを同時に利用可能
- D) 他ノードの自律的な発見機構
Hello Packet 等の利用により、同一ネットワークに存在する他のノードを自律的に発見、管理ができる。
- E) 移動ソフトウェアの管理・通信機構
移動ソフトウェアのレプリケーション（複製）に基づく通信モデルにより、シンプルな通信機構を実現しており、プログラミングも容易である。

これらの特徴によって、cogma は2節の要件の1～3を直接的に満たすことが可能である。まず、機器の更新・追加・削除については、他ノード発見機能（D）によって自動的に変化を認識し、移動ソフトウェアの管理機構（E）によって、現在の各ノードやソフトウェアの状況管理を行い、実現している。また、事前に想定されていない機器との連携に対しては、ソフトウェアの動的移動の機能（B）を用いて、既存の動作環境に対し、機器間の連携を実現する新たなソフトウェアを導入することにより実現できる。また、異種機器・異種ネットワークの統合についても、Java による軽量な実装（A）や、異種ネットワークへの対応（C）によって実現している。さらに cogma では VPcogma と呼ばれる組込み機器に特化した実装[10]を持つ。この実装では、Java ではなく、intent と呼ばれる仮想マシンを用いて、異なるCPU上でもバイナリポータブル性を実現している。

要件4、および5についても、上記の特徴を利用したソフトウェアによって実現することができる。その方法論と、プロトタイプシステムについては次節以降で述べる。我々の研究室では、具体的に、ユーザの指示の最小化を実現・実証するために、cogma room と呼ぶスマートスペースの構築を進めている(5節)。このスマートスペースでは、多数のセンサ、被制御機器、情報処理機器が設置され、互いに自律的に動作している。これらを用いた操作の最小化の実現を検討している[11]。また、スマートスペースでの電力消費を抑えることを目的とした検討を進めている(6節)。特に、移動ソフトウェアを用いた待機電力カットの方法などを検討している（7節）。

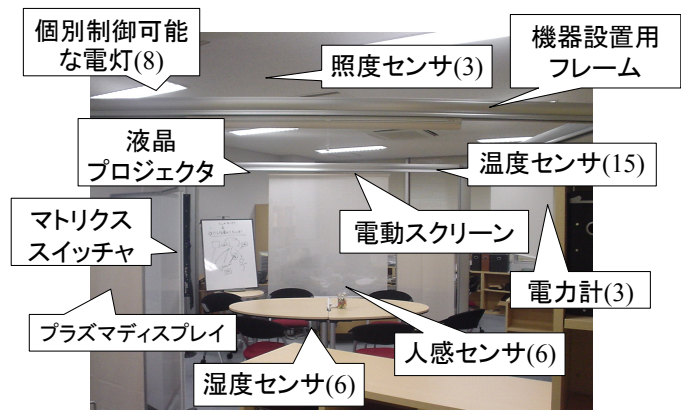


図1：構築中のスマートスペース cogma room

5. スマートスペースの構築と利用

我々は、これまで実現してきたソフトウェアシステム[7,8]に基づき、cogma room と呼ばれるスマートスペースを構築している（図1）。cogma room では、温度、湿度、焦電（人感）、照度、電力、などの多数のセンサを導入している。特に温度センサは15カ所に設置され、50平米の部屋内の温度分布を獲得することが可能である。また cogma room は日常的に人が研究活動を行う Live Office であることを前提に設計されており、実世界での利用に重点をおいたスマートスペースである。また、被制御機器としては、調光可能な電灯、電動スクリーン、液晶プロジェクタ、PDP、マトリクススイッチャなどが設置されている。これらの機器はすべて、cogma によって分散管理されており、cogma をインストールしたノートPCをこの部屋に持ち込むだけで、特別な設定なしに、部屋の機器の遠隔利用が可能である。

また、このスマートスペースでは、LonWorks（エシユロン）、フル2線式リモコン（松下電器）、MicroLAN（MAXIM）といった異種ネットワークを統合してセンサネットワークや被制御機器をコントロールしている。具体的には、各ネットワークに対し、cogma に対応した情報処理機器を接続し、ネットワーク内の情報と cogma 上の情報を交換する機構を実現している。

さらに、cogma room 内には、プラズマディスプレイ、液晶プロジェクタに加えて21型液晶ディスプレイが4機設置されており、マトリクススイッチャを用いて、部屋内の任意の計算機の画面を任意のディスプレイに提示することが可能になっている（図2）。これは将来のユビキタス環境では、情報提示装置が多数存在することになることを想定しているためであり、その利用手法についての検討も進めている[9]。

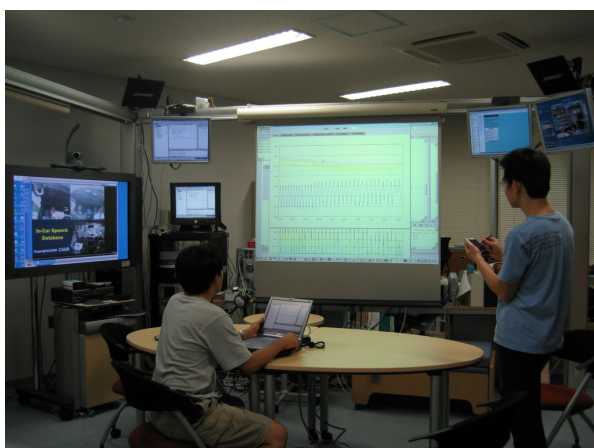


図 2 : cogma room におけるマルチディスプレイの利用

このように、多数のディスプレイやセンサ、被制御機器、情報処理機器が設置された環境を利用することは、利用者にとって非常に負荷が高い。そこで、我々はいくつかのプロトタイプシステムによって、複数の機器を連携させて利用し、全体としての利便性が向上することを確認している。例えば[8]で構築したスマート会議室システムを用いれば、個人の端末からプレゼンファイルの設定を行うだけで、自動的にプロジェクタの電源が入り、電動スクリーンが降り、電灯の照度が調節され、プレゼン用の PC にファイルが転送されて、プレゼンソフトが実行されることになる。また、個人の端末からは、プレゼンの制御がワイヤレスで可能になる。もちろん、部屋の中に持ち込まれた機器はすべて、自律的にネットワークに参加するため、特別な設定は必要ない。また、機器の増設や変更についても、サーバは設置されていないため、各機器の再設定は必要ない。

さらに、ユーザが個々の機器やソフトウェアを利用した履歴情報を用いて自動的に連携方法を獲得する手法についての検討を行っている[11]。これによって、ユーザや部屋に特有のマクロ的な操作を自動実行可能になることが期待される。

6. 電力使用量を削減するエコ・ユビキタス情報環境

ユビキタス情報環境の利用が進むにつれ、社会には情報機器やネットワークが多数設置されることになる。機器やネットワークは基本的に電源が必要なため、ユビキタス情報環境の構築は、環境に対する負荷が大きいと言わざるを得ない。たとえば、家庭内の様々な場所に 1000 個のセンサが入ることを考えてみよう。各センサがそれぞれ 10mA しか消費しなかったとしても、

1000 個で 10A の利用となり、電力消費としては 1kW の機器（たとえばエアコン）と同等の環境負荷を常時与えていることになる。もちろんセンサだけではなく、それを支える情報処理装置も必要であるため、環境に対する負荷はより大きくなる。

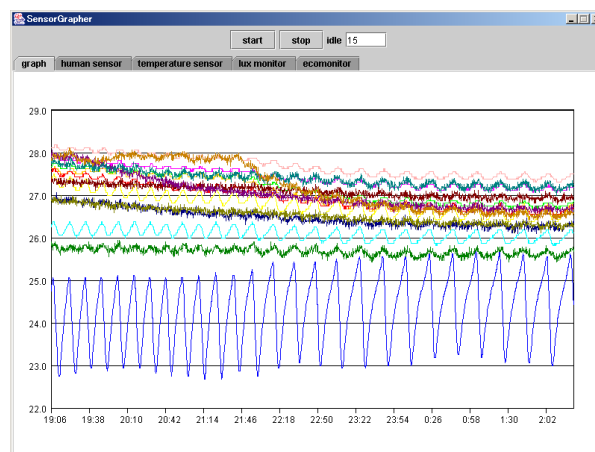


図 3 : cogma room 内の温度変化の様子 (6 時間)

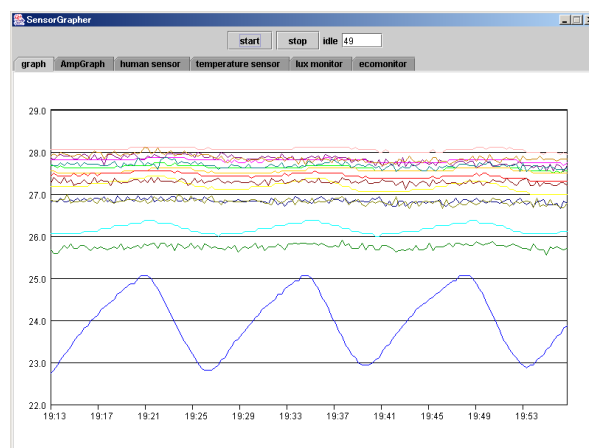


図 4 : 温度変化の詳細 (1 時間)

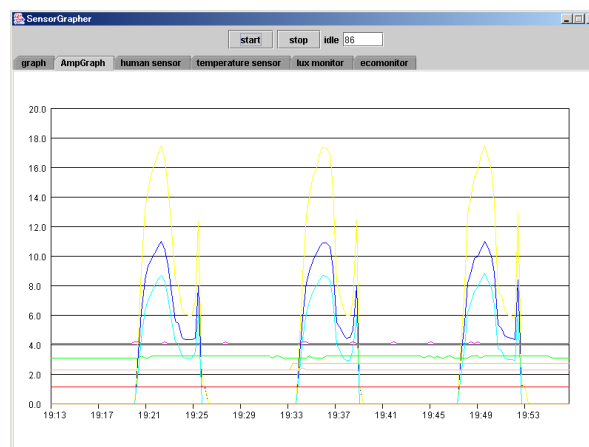


図 5 : 同時刻の消費電力の変化 (1 時間)

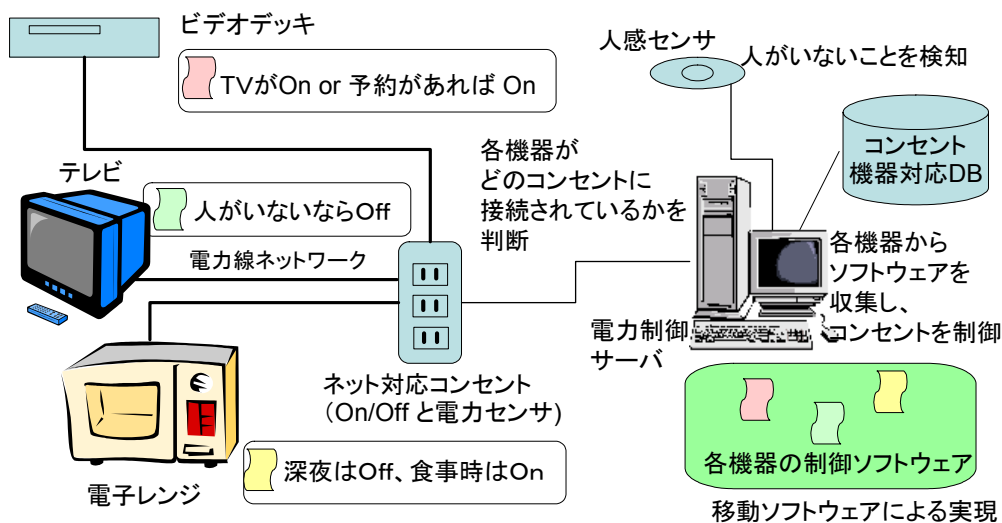


図6 移動ソフトウェアとネットワーク対応コンセントによる待機電力カット

我々は、センサや状況情報を活用することによってユビキタス情報環境を構築しても、なお、全体としての電力消費を抑えることが可能な、エコ・ユビキタス環境の検討を進めている。電力消費量の削減手法としては、例えば、電力計と照度センサや温度センサを組み合わせて、十分な照度や快適な気温を実現しつつ消費電力を抑える手法などが挙げられる。cogma room ではすべての電気機器に対し、電力計を設置しており、常に電力消費の状態を監視できるように設計されている。また、すべてのセンサ情報をデータベースに蓄積し、その情報の分析を可能にしている。

センサを用いて快適な環境を保ちつつ、電力消費を最小に抑えることにより、環境負荷の低減の実現が可能になる。実際にセンサによって取得されたデータを図3～5に示す。図3は、約6時間にわたる cogma room 内の15カ所の温度センサの計測結果を示している。エアコンの動作によって周期的に温度が変化することがわかる。また、時間の経過とともに室温変化の傾向が変わることも確認できる。図4は、約1時間の温度変化、図5は同じ時刻での消費電力の変化を示している。温度が下降する区間でエアコンによる電力消費が生じていることが確認できる。多数の温度センサの利用と、きめ細かなエアコン制御や電灯の照度制御によって、システム全体としての消費電力の削減が期待できる。

さらに、ユーザの状況や環境によって制御方法を変えることも可能である。例えば、シンポジウム等の講演会場では、一般に強力なエアコンが存在し、冷えすぎて寒い状況がある。ところが、ユーザが会場に到着した当初は、同じ温度であっても快適であると感じる。これは、ユーザが会場へ到着した当初は、移動によっ

て体が温まった状態であり、気温が本来快適な温度よりも若干低いほうが快適であるためである。これに対し、しばらく会場で座っていると、体が冷えて、寒くなっていく。このような状況に対し、エコ・ユビキタス情報環境では、会議のプログラムに合わせたエアコンの制御や、ユーザの行動履歴を参照した制御を行うことにより、快適さを向上させるとともに、電力消費量を削減することが可能になる。ユーザの状況や環境などのコンテキスト情報を用いることによって、より高度で、低環境負荷なエコ・ユビキタス情報環境が実現できる。

7. 移動ソフトウェアを用いた環境負荷の低減手法

ユビキタス情報環境では、多数の情報機器が利用されることになるが、実際にサービスを提供する機器は、その一部であることが多い。すなわち、すべてのセンサや被制御機器、情報処理機器が常時サービスを提供する必要がない場合が存在する。具体的には、部屋に誰もいないことが明らかなる場合には、セキュリティ等の面を除けば人感センサを動かす必要はない。またその場合、人感センサを使って部屋の照明を制御する情報処理機器も動作している必要はない。

我々は移動ソフトウェアを用いて、機器の待機電力をカットする手法を提案する(図6)。まず、ネットワークから制御可能な電力計付きコンセントを用いて、各情報機器がどのコンセントに接続されているかを自動的に判断し、データベースを作成する。この図では、コンセントは1箇所だけだが、ネットワーク対応のマルチタップの利用によって、コンセント制御も段階的に行うことも可能である。また、コンセントの先に接

続された情報機器は、自身の制御や、再起動時に必要な継続のための情報を移動ソフトウェアとして保持し、電力制御サーバに移送する。これによって各機器に応じた電力制御が実現できる。図6の場合、人感センサを用いて、人がいない場合には、TVの電源をコンセントレベルから落とすことが可能になる。人が近づいてきた場合は、コンセントの電源を入れ、事前に退避してあった移動ソフトウェアによって必要な時刻設定等を自動的に行う。ビデオデッキや電子レンジも同様に、各機器に対応した移動ソフトウェアを保持しており、そのプログラムに応じてコンセントを制御する。これによって、多数の情報機器の待機電力を削減し、エコ・ユビキタス情報環境が実現できる。

8. ユビキタス情報環境におけるプライバシー

ユビキタス情報環境では、多様なセンサを用いることによって、ユーザに対する利便性の向上を図ることが一つの目的である。しかし、ユーザの利便性を追及することは同時に、ユーザの個人情報やプライバシー情報をシステムに管理してもらうことに他ならない。これは、近年高まりつつある個人情報保護の観点からは、無視できない状況である。cogma roomにおいても、各机には人感センサが設置され、複数のカメラで遠隔地から室内を見ることが可能になっている。これまでの運用経験では、センサよりもカメラに対する抵抗感が高い。センサについても、機器がセンシングしているだけなら良いが、遠隔地から在席確認や履歴情報等が行われることに対する嫌悪感が高い。ユビキタス情報環境においては、固定式のセンサに加え、RFIDやアクティブタグといったより個人性の高い機器も環境の中に存在することとなる。これらに対するセキュリティ面での対応が重要である。

9. おわりに

本稿では、ユビキタス情報環境を構築する基盤ソフトウェアの満たすべき要件をあげるとともに、具体的な実現として cogma を示した。また、cogma を用いたスマートルームの構築とともに、人による機器への指示の最小化と、環境負荷の低減に注目し、エコ・ユビキタス情報環境を実現する手法を示した。我々は、cogma を公開[12]し、多数の方々に利用されることによって、より利便性の高いユビキタス情報環境の基盤ソフトウェアの実現を目指している。多数のシステム利用によって、様々な問題の発見や、コメント、要望の獲得を期待している。ぜひともご利用いただきたい。

参考文献

- [1] 河口信夫：名古屋大学無線ネットワーク実証実験，名古屋大学情報連携基盤センターニュース，Vol2. No. 2, pp.117--120 (2003).
- [2] Ladd, A. M., Bekris, K. E., Rudys, A., Marceau, G., Kavraki, L. E., and Wallach, D. S.. Robotics-Based Location Sensing using Wireless Ethernet. MOBICOM 2002, (2002).
- [3] Brumitt, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A., and Shafer, S., "EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments", Handheld and Ubiquitous Computing (HUC), (2000).
- [4] Brad Johanson, Armando Fox, and Terry Winograd, The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms, IEEE Pervasive Computing 1:2, pp.67-75. (2002).
- [5] 森川博之，南正輝，青山友紀：STONE：環境適応型ネットワークサービスアーキテクチャ，信学技報，IN2001-12, (2001).
- [6] Okoshi, T., Et al.: Smart Space Laboratory Project: Toward the Next Generation Computing Environment, IEEE Third Workshop on Networked Appliances (IWNA 2001), (2001).
- [7] Nobuo Kawaguchi, Katsuhiko Toyama, and Yasuyoshi Inagaki, MAGNET: Ad-Hoc Network System based on Mobile Agents, Special Issue for Mobile Agents for Telecommunication Applications, Comp. Comm., Vol. 23, pp. 761--768 (2000).
- [8] 河口信夫，稲垣康善：cogma:動的ネットワーク環境における組み込み機器間の連携用ミドルウェア，情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム，pp. 1--8, Nov. (2001).
- [9] 齊藤功治，河口信夫，稲垣康善：動的に連携可能な情報提示型サービス機器とその利用手法の提案，DICO2003, pp. 689--692, Jun. (2003).
- [10] 河口信夫，金岡弘記，木曾陽一，細川勲：VPcogma：組み込み機器を対象としたバイナリポータブルなユビキタス環境構築ミドルウェア，情報処理学会研究報告 2003-UBI-2, No. 115, 97-98, (2003).
- [11] 河口信夫，宮崎俊和，稲垣康善：ユビキタス情報環境における履歴を用いた機器操作支援手法，映像情報メディア学会技術報告，Apr. (2004).
- [12] cogma プロジェクトホームページ：
<http://www.cogma.org/>