

## ユビキタスネットと情報家電ネットワーク技術

山 上 俊 彦†

携帯電話、ゲーム機、カーナビ、などインターネットへの情報家電のアクセスは高度化しつつある。また、第3世代携帯電話、デジタル放送、ブロードバンド、無線 LAN などにより、家庭や地域のネットは劇的に高度化しようとしている。「いつでもどこでも」ネットにアクセスでき、ネットワークが環境を理解して動作する「ユビキタスネットワーク環境」においては多様な情報家電のネット化が必須である。情報家電向けネットワークソフトのアーキテクチャを中心に、情報家電のネットワーク技術について解説し、それらが実現するユビキタス社会の要求条件、セキュリティ、ビジネスモデルの展開について述べる。

### Ubiquitous Network and Information Appliance Network Technologies

TOSHIHIKO YAMAKAMI†

The information appliances increase their Internet access capabilities in mobile handsets, game consoles, and automotive systems. The home and area network environment is under drastic upgrade with IMT-2000, digital broadcast, broadband networks, wireless LAN and other emerging technologies. Anytime anywhere computing environments with ubiquitous network capabilities and environment-aware capabilities needs networked information appliances. The author discusses network software architecture for information appliances and network technologies in information appliances. In addition, the requirements for ubiquitous network societies, security issues, and business model development issues are presented.

#### 1. はじめに

1990年代のインターネットの爆発的普及に続いて、2000年代にはさまざまな機器の中にネットワーク機能が埋め込まれようとしている<sup>2)</sup>。その先陣をきったのは携帯電話であり、日本における携帯電話インターネットの普及は、PCによるインターネットアクセスを凌ぐまでの勢いである。近年、携帯電話インターネットは国際標準化も著しく、インターネットアクセスの基本的手段としての位置を確立した<sup>1)6)7)</sup>。携帯電話は非常に厳しいCPUやメモリや電源の制約があり、その中でネットワーク機能の実装技術の進展は、さまざまな情報機器へのネット機能の搭載を可能にしている。

従来は、ビジネスやオフィスにおけるネットワーク技術の進展により、オフィスの生産性は大きく拡大した。それに比して、家庭内ネットワーク環境の進展は遅れていたが、ワイヤレス技術の進展、カメラ付き携帯電話などリッチメディアのネットワーク化要求の高度化に伴い、いよいよ家庭内ネットワーク環境、地域

ネットワーク環境は大きく変貌しようとしている。このような実装技術の進歩は、ますます拡大する半導体実装技術の進歩による計算機パワーの潤沢な供給とあいまって、必然的に新しいコンピューティングパラダイムを生もうとしている。それがユビキタスネットワーク、環境を理解するコンピューティングネットワークである。本稿では、情報家電ネットワーク技術の視点からユビキタスネットワークについて展望し、さらに派生する社会的問題、セキュリティ、ビジネスモデルについて論ずる。

#### 2. ユビキタスコンピューティングに向けて

ユビキタスは「どこにでも遍在する」という意味であり、初めて1990年代前半に提起された時には、計算機資源の位置付けを決定的に逆転し、従来高価であった計算機資源がありとあらゆるものに組み込まれて人間に奉仕する、という革新的なコンセプトであった<sup>8)</sup>。ユビキタスという言葉の難解さ、荘厳さが研究者に大きなインパクトを与えるとともに、あまりにも非日常的であるということで「どこでもコンピュータ」というような言い換えもよく行われる。ユビキタスコンピューティングとユビキタスネットワークは本

† ACCESS, 東京都千代田区猿蓑町 2-8-16,  
e-mail:yam@access.co.jp

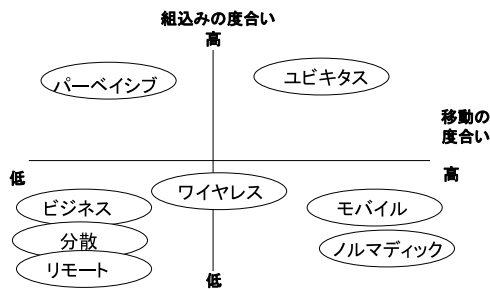


図1 ユビキタスコンピューティングの2つの次元

来は1990年代に別々に提起された概念であるであるが、サービスがユビキタスに提供されている環境を意味するとして、本稿では厳密な区別を行わないことをご了解いただきたい。

ユビキタスコンピューティングは環境を理解するコンピューティングパラダイムである。図1にユビキタスコンピューティングの2つの次元を示す<sup>(5)</sup>に追記)。オリジナルはモバイル、パーベイシブ、ユビキタス、通常のビジネスコンピューティングを、移動と組込み度によって分類したものである。図1ではワイヤレスを中央に配置したが、これは位置というよりも、無線であるかどうかは移動度とは独立な次元であるとして中立的な、という意味で配置した。無線であることは移動を助けるひとつの要素であるが、必ずしも移動しなければならぬということではない。無論、モバイルがワイヤレスを意味することは多い。

コンピューティングパワーとネットワーク技術の進展による環境コンピューティングの展開を図2に示す。過去30年における計算機の進展は、大型計算機のハードから始まって、ネットワーク化、サービス化へと段階的に展開してきている。その中でもあまねく利用できるサービスが何を「環境」としてとらえるかによってサービスの目的や形態からそもそものデザイン手法、実現手法も異なってくる。環境の例としては、通信環境、生活環境、物流環境などの対象が考えられ、それぞれによってサービスの目的や実装方法や普及施策は大きく異なってくる。

### 3. 情報家電ネットワーク技術

#### 3.1 情報家電ネットワークの課題

携帯電話、デジタルTV、カーナビ、ゲーム機などさまざまな機器へのネットワーク技術の搭載、TCP/IP、HTTP、Javaなどが進展している。情報家電はしばしば図3に示すようなさまざまな制約を受け、制約に対してどのように対応するかが重要なエン

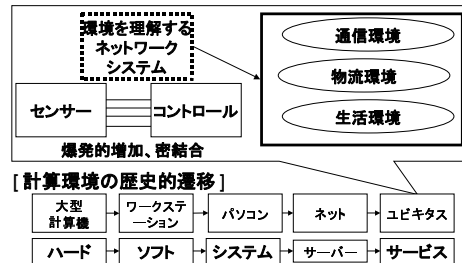


図2 環境コンピューティングへの展開

ジニアリング的課題となっている。携帯電話などだと最も厳しい制約は電池である。たとえ、電力供給が確保されているような機器であっても、稠密に実装された環境空間を支援するような場合、放熱に関する考察も必要になる。

携帯電話の場合、セキュリティを確保するためにやむなくSSLなどの高度な処理を行う場合には、高いクロック数のCPUを実装する場合もあるが、その場合でも、必要最小限の計算以外ではクロック数を下げて電力消費を最小限にするような実装が行われている。IrDAなどの無線ローカルインターフェースについても常時起動すると電力消費が大きくなるので稼働時間を小さくするような工夫が行われている。これらはネットワークソフトをコンパクトに実装するとともに、支援するためのハードウェアやプラットフォーム技術を意識して節電機能を活用するような実装技術が必要になる。計算リソースとしては、CPUとともにメモリが、コストあるいは実装するための空間容量などの制約によって制限されている。また利用するネットワークによってはネットワークの信頼性、およびコストが課題となる。ネットワーク機能がユーザインタフェースを持つ場合には、入力機能の制限や画面サイズや画面能力の制限が課題となる。また、統一的なサービスを実現する上では、情報家電のもつネットワーク特性、表示特性などの多様性に対する対応が課題となる。

さらに図4に示すようにその稼働形態に応じてネットワークのアーキテクチャについてもさまざまな考察が必要になる。情報家電においては常駐なのかどうか、どのような契機でon/offが行われるか、がアドレスや名前の管理、通信形態のコンフィギュレーションなどにかかわる課題となる。これらの設定は電力供給やログバックアップや信頼性確保手段などとも関わる課題である。

#### 3.2 情報家電ネットワークソフトアーキテクチャ

情報家電におけるいわゆる組込みソフトウェア技術の歴史は意外に古く1980年代にはすでにTCP/IPな

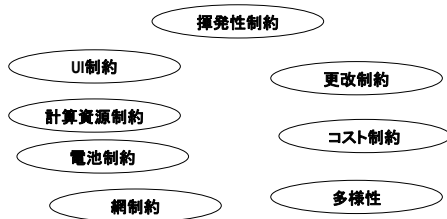


図 3 情報家電ネットワークの課題

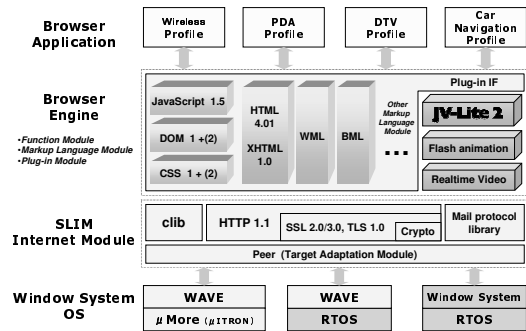


図 5 情報家電ネットワークのソフトアーキテクチャ

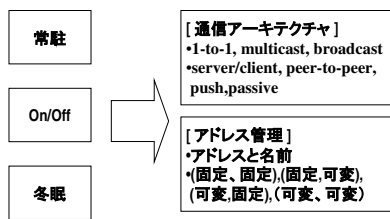


図 4 情報家電通信構成の多様性

どの組込みが行われていた。この時代はあくまでも組込みであり、上位レイヤーのサービスの多様性も想定されていなかったため、まさに組込みの名の通り、個別プラットフォームに組み込んだ形で実現されていた。商用ベースでの出荷台数も少なかったため、汎用的なアーキテクチャが登場するだけのマーケット規模になるまでは時間を要した。

ネットワーク化が爆発的に進んで、さまざまなコンテンツやサービスがネットワーク上に実装され、集積するとともに、それらのサービスに対して、さまざまな情報機器からアクセスするニーズは拡大した。現在、情報家電ネットワークソフトウェア技術には 1980 年代のソフトウェア工学初期に起源をもつものも少なくない。理由はふたつあり、ひとつは、情報家電の利用できるリソースが限定的であり、PC においては以前のプラットフォームに対応するものであることが多いことである。もうひとつは、ネットワークソフトが広く情報家電に搭載されて、ソフトウェア工学的な手法が利用されるようになってから日が浅いため、かつての技法が活用できる範囲が広いことである。今後、情報家電へのネットワークソフトウェアの搭載は加速度

的に進むと考えられるが、利用できるリソースの制限と、搭載台数の拡大による新しい工学技術の適用のトレードオフがどうなるかは予断を許さない。とにかく小さな資源で動作することが至上命題だった時代を過ぎ、ネットワーク時代の到来とともに、情報家電ネットワークソフトウェアにも拡張性と移植性そして安定性の要求が大きくなってきている。

情報家電ネットワークソフトのアーキテクチャの一例を図 5 に示す。情報家電の場合には、OS やウィンドウシステムに関する仮定ができないので、さまざまな OS の上に簡単に移植できる、ということが重要になる。このため、いかに環境を仮想化しつつ、さまざまな機能をコンパクトに実装するか、が重要になる。情報家電の場合には、ライブラリに依存できない場合も多く、必要なライブラリを実装して独自に解決することも必要になる。また、仮想化と性能やコンパクトさはトレードオフの関係にあるので、どのように仮想化するかは実装ノウハウである。

### 3.3 情報家電ネットワークのソフトウェア技法

コンパクトに作るということは多くの情報家電ネットワークに対しての要求条件である。コンパクトなプログラムはより小さなバイナリを生成することができ、より小さなバイナリはより小さなメモリに搭載することができ、実行時にもダイナミックステップを小さくすることにより電力消費を小さくすることが可能になる。コードサイズが小さければキャッシュメモリを小さくしたりすることができる。また、ワークエリアを小さく実装することによって、動作時に要求されるメモリを小さくすることができる。多くの場合、このような実装は、あらかじめ、想定されるメモリ要求の中でスクラッチから小さく作成することが必要である。あらかじめ大きなメモリを想定して作られたソフトウェアを小さくすることは非常に困難である。長年にわたって、メモリはどんどん安くなるものである、という前提が、ソフトウェア工学の上にマインドセットとして

- サイズ**
  - ・最初から小さく作る目標設定
  - ・コンパクトなプログラム、作業領域
- アーキテクチャ**
  - ・モジュール化とのトレードオフ
  - ・ライブラリのチューンアップ
  - ・プロセス数の最小化、プロセス管理の工夫
- 環境**
  - ・節電機能アウェアネス
- 処理方法**
  - ・エラー処理の工夫
  - ・プログレッシブ処理・部分的処理の工夫

図 6 情報家電ネットワークのソフトウェア技法

非常に大きな影響をあたえているからである。

最初から小さく作るつもりがなければ、さまざまなトレース機能、デバッグ機能などを最終実装に影響を与えないように適切に組みみつ、コードサイズ、作業領域サイズを小さくすることは困難である。また、ネットワークソフトである以上、ネットワーク試験に対応し、ネットワーク上での異常をトレースする機能が少なくとも開発環境においては強く要求される。このため、開発バージョンと最終実装バージョンとのバージョン管理、バグ報告管理も必要になる。

情報家電ネットワークソフトは特に電源の制約に対応するために、図 6 に示すようなソフトウェア技法が必要になる。これらのソフトウェア技法は、電力制約、ネットワーク制約などに対応して、適用する必要がある。組み込みソフトウェアの場合、実装環境に依存して作ることが多いため、ネットワークの段階的進化に適切に対応することが難しいことが多い。個別環境への最適なチューニングと高い移植性、進展性は常にトレードオフであり、メモリなどの制約が大きい組み込みソフトウェア技術においてはさらに大きなチャレンジとなる。同時に、組み込みソフトウェアは多くの環境において、組み込み後の更新が難しいため、最終段階での品質管理技術は非常に重要になる。

#### 4. ユビキタスネットワークへの展開シナリオ

ユビキタスネットワークへの展開として、情報家電からのシナリオは大まかにわけて 3 つある。

- ホームサーバからの展開
- 電話インフラからの展開
- 携帯電話からの展開

ホームサーバからの展開は図 7 である。AV やパソコンの他、電力設備系、警備設備系などからの展開が考えられる。

電話系インフラからの展開を図 8 である。従来は、家庭で 24 時間電源をいれている装置という FAX 類

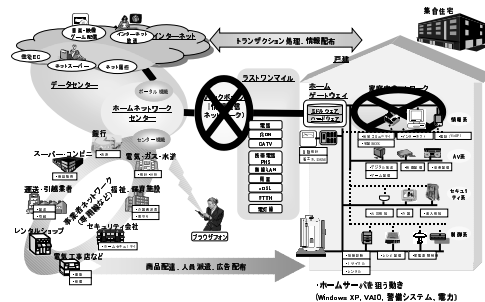


図 7 ユビキタスネットワークの展開シナリオ [1]

シナリオ① → I モード電話 + FAX が進化して、ホームネットワーク連携  
シナリオ② → ブロードバンドによる IP 電話 + ホームネットワーク連携

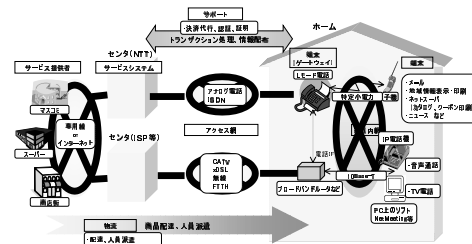


図 8 ユビキタスネットワークの展開シナリオ [2]

らいであったが、たとえば、ブロードバンド利用もいよいよ 1000 万人に到達している。この多くは ADSL であり、利用者は家庭に ADSL モデムをすえつけて利用している。家庭において常時給電されて動作している ADSL モデムは中身はコンピュータであり、ホームハブとして機能する可能性がある。このようなホームハブにおいてさまざまなユーザ要求と環境制御の接点を展開していく可能性がある。ホームネットワークにおいては信頼できるオペレーションの起点をどのように確保し、その信頼性を維持するか、ということは、利用者にとって信頼できると認知され、受け入れられる上での課題である。

携帯電話のパーソナルデバイス化の進展と、携帯電話のデータ通信インフラとしての高度化により、図 9 のように携帯電話の高度化によるシナリオも考えられる。汎用リモコンとしての機能強化などとともに、携帯電話がチップとしてさまざまなユビキタス対応デバイスに埋め込まれていく展開も考えられる。

これ以外にも交通システムやインテリジェントビルシステムや物流システムなどの領域毎の適用も考えられるが、本稿の情報家電ネットワーク技術という観点

シナリオ… 携帯電話をハブとして、様々な家庭内の機器が連携。

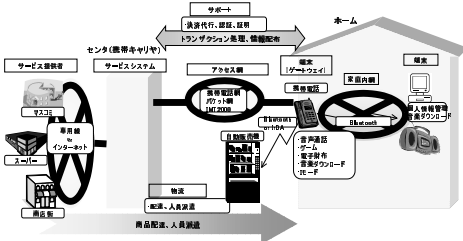


図 9 ユビキタスネットワークの展開シナリオ [3]

からは筆者の能力に余るので、詳述しない。いわゆるホームネットワークとは別に個別ビジネス領域のユビキタスネットワークとして展開することが期待される。

## 5. ユビキタスネットワークへの課題

### 5.1 社会的課題

ユビキタスネットワークを囲む課題は、実装技術以上に社会デザイン的な課題も多い。遍在するコンピューティング要素とその提供するサービスを社会的要素として包含して社会デザインをすることができるかどうかは非常に挑戦がいのある課題である。1990年代前後においてさまざまな協調行動支援システムが社会とどのように整合するかに取り組んだ。Grudin は社会コンピューティングの課題を述べている<sup>3)</sup>が、ソフト的にはユビキタスネットワークが提供するサービスも同じような課題を乗り越えなければならないと考えられる。

- プライベート環境への提供の社会的信頼性
- 給電あるいは冷却機能の提供
- 既存社会インフラとの代替、重複の関係整理
- 社会的実体との対応関係の社会的認知
- 社会コンピューティングの課題

単に事物を追跡するだけの単純な要求からさまざまな高度な要求へと展開するにつれて、要求の記述方法、要求の矛盾解決方法、要求処理の処理結果説明能力、要求の陳腐化への対応、など、環境を人間がどう捕らえるかという課題が、環境を理解するコンピューティングに求められてくる。

同時にこのようなサービスが一日にしてなるわけもなく、どのように段階的に普及させ、どのように利用技術を教育定着させ、サービスに対するユーザの安心感を獲得していくかはすぐれて高度にソフトウェア的あるいは社会的な課題である。

### 5.2 セキュリティの課題

ユビキタスネットワークを考える上で、社会的な意

味を支えるうえで、秘匿、認証、偽造防止、プライバシー保護、否認防止、信頼性、ウイルスやネットワーク攻撃の防止などのセキュリティ課題も重要である。

- プライバシーの保護
- ネット攻撃からの保護
- 社会的実体との対応
- オペレーション信頼性の確保
- 信頼規範の経年的認識
- 信頼できるネットワーク上の客体の確保

24時間365日動作するとともに、どの指令で動作しているのか、どのように動作が要求された結果そうなったかの説明能力などが社会的に密接にかかわる環境、人間に直接影響を与える環境におけるサービスにおいては求められてくる。社会の課題は最後は利益の比較衡量であるから、法的な証拠能力、製造物責任能力、人権の保護、災害時の特別な対応などに関する機能も求められてくる。コンパクトな実装の中でこのような社会的要求にどのように対応するかは大きなチャレンジであり、段階的に社会要求に対応するような社会要求と技術実装を対応付けるアーキテクチャが必要になってくる。

### 5.3 ビジネスモデル的課題

ネットワーク実装技術の進展と、家庭における携帯電話、家庭内無線インターフェース、デジタルTVなどの技術進展はめざましい。このため、ユビキタスネットワークを実現する上での重要なボトルネックはビジネスモデル構築へと移ってくと予想される。考えられる課題は幅広いが次のような課題が考えられる。

- オペレーション費用の回収
- ネットワーク費用の回収
- 環境工事費用の回収
- エンドユーザ保護サービス費用の回収

物流ネットワークへの適用など従来のビジネスモデルとの置換によって費用対効果が正当化される場合は普及が進む可能性は大きい。一方、ビジネスインフラではなく、コンシューマへのライフスタイル提案、あるいは社会インフラ提案として普及を進める場合、環境を改造する機能の普及は相当のビジネスモデル的革新、あるいは社会的コンセンサスが必要であり、ビジネスモデル工学あるいは社会工学的な展開が求められる。特に、高度に信頼性の高いオペレーションは本質的に高価なサービスである。このような高価なサービスがどのようにその対価をエンドユーザに求められるかがホームネットワークにおいても地域ネットワークにおいてもビジネスモデル工学的な課題となる。従来のビジネスモデルはプレイヤー間における収支均衡が可能であるか、という観点からモデル化が検討されている。収支均衡が重要であるとともに、最近の情報通信の国際標準化の動向を見ると、その通信技術が実現するプラットフォームが公平で、さまざまな新規サービス提供者にとって使いやすくビジネス的な項目の可視性が

高いかどうか、ということが問題になっている。すなわち、オープンなプラットフォームにおいては、現時点における収支均衡とともに未来に対する展望、可視性が重要になってきている。ユビキタスネットワークにおいてはこのような観点もますます重要性をもってくる。具体的には次のような項目が課題となる。

- 利用の公平性、オープン性
- 規格及びその更新のオープン性
- 将来にわたるビジネス条件の可視性
- 初期リスクの軽減
- 特定プレイヤーの恣意性の排除

プラットフォームの選択は実際には数年に一度あるいはもっと稀にしか起こらない事象であり、そのような事象を判断するのはすぐれて認知的な項目によらざるを得ない。このような観点からのビジネスモデル工学は事象に関する情報がそもそも不確定であり、単なるゲーム理論の範疇に収まらないと考えられる。このような観点による通信の国際標準化におけるビジネスモデルの議論は近年ますます盛んになっており、さらなる知見が求められている。

## 6. 結 論

ホームネットワーク環境、あるいは交通システムや携帯電話システムなどの高度化により、オフィスだけでなく、個人環境の高度ネットワーク化は近年大幅に進んでいる。このような環境において、センサーとコントローラが緊密に連絡し、環境を理解してサービスをするネットワーク環境の実現が期待されている。特にワイヤレス技術の進展は、従来、このような技術の普及の障害になっていた所謂ラストワンマイルの問題を解決すると期待されている。現在でも IC カード定期券、プリペイドカード、携帯電話の位置情報などさまざまな情報機器に刻々とさまざまなトランザクションが記憶されネットワークから利用できるような環境情報技術はめざましく進展している。G.E. Moore が半導体の性能が倍々ゲームで増加するということを発見したのは 1965 年であり、今から 30 年以上前である。Moore 自体は Moore の法則がずっと続くわけではない、ということ述べていた時期もあった。本人の予想に反して、この経験則はおおまかには成立し続けている。Moore 自身今後 20 年間は成立し続けるとインテルのホームページの中で述べるに至っている。このような急速な計算機パワーの低価格化は必然的に従来、計算機が適用されなかった領域への計算機サービスの浸透を多くの人に予想させる。

情報家電のネットワーク化は携帯電話を先頭に急速に進んでおり、それに触発されたさまざまなローカルワイヤレス技術が従来は困難であったさまざまな機器の相互接続をますます容易にしている。これらの機器が相互接続され、それらに蓄積されたさまざまな環境

データやトランザクションデータがどのように統合利用されるかは、すぐれて社会デザインとネットワークデザインが協調して解決されるべき課題である。情報家電ネットワーク技術におけるさまざまなソフトウェア技術について述べ、さらにユビキタスネットワーク展開の 3 つのシナリオを提示した。さらに、これらの技術的展開が必然的に対応することを要請される社会コンピューティング的課題について述べた。

ユビキタスネットワークは電子的社会基盤として、コンパクトで耐久性のある機器実装技術、高度なオペレーション技術、セキュリティ技術、優れた社会デザイン技術、サービスアイデアとビジネスモデル工学、長期的で段階的普及技術など、マイクロからマクロまで、技術的から社会的なさまざまな技術をトータルに展開することが必要とされる応用領域である。アジアのインターネットはさまざまな国の文化と新しく展開するインターネット自体の状況に依存した多様性に直面する。ネットワークにせよ、社会デザインにせよ、高度な知識集約とノウハウ獲得が必要なこの分野に対して、日本の情報処理技術のますますの貢献を願ってやまない。

## 参 考 文 献

- 1) Baker, M., Ishikawa, M., Matsui, S., Stark, P., Wugofsky, and T., Yamakami, T.: XHTML<sup>TM</sup> Basic, W3C Recommendation 19 December 2000, (Dec. 2000). ( available at <http://www.w3.org/TR/xhtml-basic> )
- 2) Cerf, V.: Beyond the Post-PC Internet, CACM, Vol. 44, No. 9, pp. 34-37 (Sep. 2001)
- 3) Grudin, J.: Groupware and social dynamics: eight challenges for developers, CACM, Vol. 37, No. 1, pp. 92-105 (Jan. 1994)
- 4) Grudin, J.: Group Dynamics and Ubiquitous Computing, CACM, Vol. 45, No. 12, pp. 74-pp. 78 (Dec. 2002)
- 5) Lyytinen, K. and Yoo, Y.: Issues and Challenges in Ubiquitous Computing, CACM, Vol. 45, No. 12, pp. 63-pp. 65 (Dec. 2002)
- 6) Kamada, T.: Compact HTML for Small Information Appliances, W3C Submission, W3C Note, (Feb. 1998) ( available at <http://www.w3.org/TR/1998/NOTE-compactHTML-19980209> )
- 7) WAP Forum<sup>TM</sup>: XHTML<sup>TM</sup> Mobile Profile, WAP-277-XHTMLMP-20011029-a.pdf, ( available at <http://www.wapforum.org/> ), (Nov. 2001).
- 8) Weiser, M.: Some computer science issues in ubiquitous computing, CACM Vol. 36, No. 7, pp. 75-pp. 84, (Jul. 1993).