

ユビキタス・ネットワーク実現に向けた サービスゲートウェイの実装と評価

吉原 貴仁[†] 茂木 信二[†] 堀内 浩規[†]

ホームネットワークや SOHO (Small Office Home Office) ネットワークといった新しいネットワークへの技術基盤が固まりつつある。さらに、これらネットワークを発展させ、あらゆる機器を相互に接続することで、いつでも、どこでも機器を操作、あるいは機器どうしを協調動作させて生活を支援するユビキタス・ネットワークへの期待が高まっている。今後、ユビキタス・ネットワークが生活基盤として普及するためには、様々な通信プロトコルの仕様の違いを吸収、統合し、さらに、ホームネットワークや SOHO ネットワークとインターネットをはじめとするワイドエリアネットワークとを相互に接続することで、付加価値の高い新たなサービスを迅速に提供することが重要な課題の 1 つとなる。本課題解決のための有望な手段の 1 つとして OSGi (Open Services Gateway Initiative) が提唱、標準化を進めるサービスゲートウェイがある。そこで本論文では、OSGi に基づき、誰もが手軽に利用する携帯電話などの端末を用いて、いつでも、どこでも機器を容易に操作可能とする、ユビキタス・ネットワーク実現に向けたサービスゲートウェイを新たに設計、実装する。また、一般に入手可能なネットワーク家電などの機器やサービスゲートウェイからなるホームネットワークテストベッドとワイドエリアネットワークとを相互に接続し、機器の操作に要する処理時間などの観点から評価を行った。結果、実装したサービスゲートウェイのオーバーヘッドはほとんどなく、有効であることを実証した。

Implementation and Evaluation of Service Gateway towards Ubiquitous Networking

KIYOHITO YOSHIHARA,[†] SHINJI MOTEGI[†] and HIROKI HORIUCHI[†]

A variety of technologies has consolidated the foundation of in home networking. This will in turn accelerate the potential for ubiquitous networking, which will support our real-life by connecting everything together, allowing to access them at anytime and anyplace, and making them behave in a coordinated manner. Towards wide acceptance of the ubiquitous networking as our infrastructure in the not-so-distant future, it would be one of the significant challenges to have rapid deployment of high value-added services, by integrating diverse communication protocols and providing an access to Internet “always on”. OSGi (Open Services Gateway Initiative) has put forward and standardized service gateway architecture, which would be one of the most promising solutions to the challenge. In this paper, we design and implement a service gateway towards the ubiquitous networking based on OSGi. The service gateway will enable everyone to access everything at anytime and anyplace, by the use of thin and handy terminals including mobile phones. We developed a test bed emulating a home network connecting appliances widely available, which was in turn connected with Internet. We made evaluations including end-to-end operation time, and showed it was practically useful with little overhead.

1. はじめに

xDSL (x Digital Subscriber Line) や FTTH (Fiber To The Home) など通信基盤整備によるアクセス回線の広帯域化、ダイヤルアップから常時接続への利用形態の変化、ネットワーク家電をはじめとす

る機器や携帯端末の高機能化、Bluetooth¹⁾ や電灯線通信²⁾ などの様々な通信プロトコルの開発、標準化などを背景に、ホームネットワークや SOHO (Small Office Home Office) ネットワークといった新しいネットワークへの技術基盤が固まりつつある³⁾。さらに、これらネットワークを発展させ、あらゆる機器を相互に接続することで、いつでも、どこでも機器を操作、あるいは機器どうしを協調動作させて生活を支援するユビキタス・ネットワークへの期待が高まっている。今

[†] 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

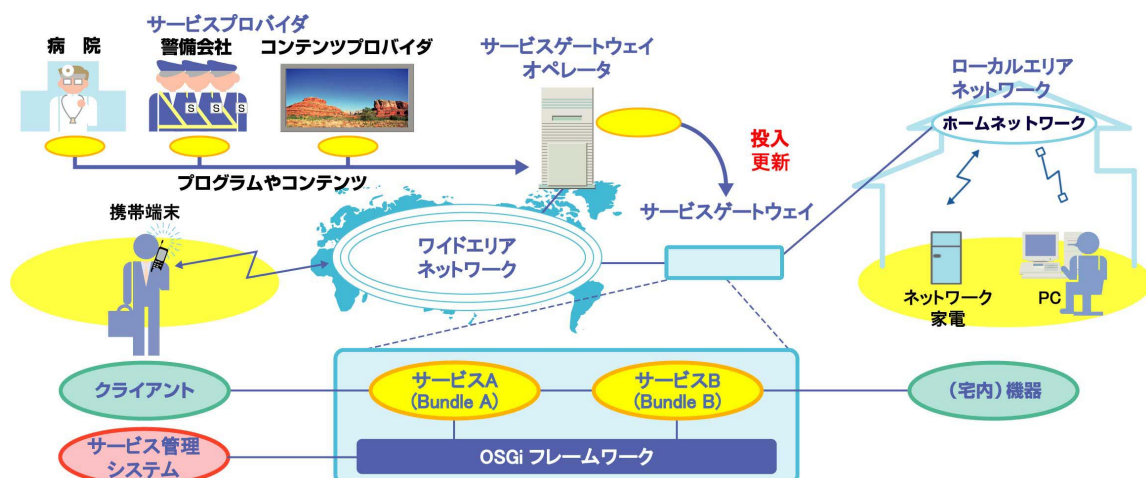


図 1 サービスゲートウェイと OSGi フレームワークの概要

Fig. 1 Overview of service gateway and OSGi framework.

後、コビキタス・ネットワークが生活基盤として普及するためには、様々な通信プロトコルの仕様の違いを吸収、統合し、さらに、ホームネットワークや SOHO ネットワークとインターネットをはじめとするワイドエリアネットワークとを相互に接続することで、付加価値の高い新たなサービスを迅速に提供することが重要な課題の 1 つとなる。

上記課題解決のための有望な手段の 1 つとして OSGi (Open Services Gateway Initiative)^{4),5)} が提唱、標準化を進めるサービスゲートウェイがある。本ゲートウェイに対し、アプリケーションとして実装されるサービスを投入、更新することで迅速な提供を実現する。OSGi では、たとえば、アプリケーションなどが後述のミドルウェアに自身を登録、あるいは他と通信を行うために必要な HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) 機能やサービスの利用履歴を記録保存するログ機能など、アプリケーションが共通に利用する基本プログラムの仕様とその API (Application Programming Interface)、基本およびアプリケーションの実行状態を管理するミドルウェア（以下、OSGi フレームワークと呼ぶ）、ならびにサービスゲートウェイを遠隔管理するための管理インタフェースを主な開発、標準化の対象としている。基本プログラムやミドルウェアを活用した付加価値の高い新たなサービスを誰でも自由に（オープンに）提供できる。

そこで本論文では、OSGi に基づき、誰もが手軽に利用する携帯電話などの端末を用いて、いつでも、どこでも機器を容易に操作可能とする、コビキタス・ネットワーク実現に向けたサービスゲートウェイを設計、実装する。具体的には、コビキタス・ネットワーク実

現に向けた最初の段階として、一般に入手可能なネットワーク家電や従来の家電などからなるホームネットワークの機器を対象に、これら機器を携帯端末で操作する環境の提供を目標とする。先述のように、OSGi ではアプリケーションが共通に利用する基本プログラムや OSGi フレームワークなどを標準化するだけであり、アプリケーションの設計や実装はサービスの提供者に任されている。このため、設計の際には、コビキタス・ネットワークの実現に向け（1）複数通信プロトコルへの対応（2）マルチベンダ環境での操作性の向上（3）機器や端末の設定の手間を最小限に抑制して、手軽に利用可能とする機能の実現を主たる課題として抽出し、課題解決のための対処や新たな方法を提案する。さらに、設計に基づくサービスゲートウェイを実装し、家電や実装したサービスゲートウェイからなるホームネットワークテストベッドとワイドエリアネットワークとを相互接続して、操作に要する処理時間などの観点から実環境評価を行う。

以下、2 章でサービスゲートウェイと OSGi フレームワークの概要を述べる。3 章でコビキタス・ネットワーク実現に向けたサービスゲートウェイの設計を行い、4 章で設計に基づく実装を述べる。5 章で実環境評価を通じて、実装したサービスゲートウェイの有効性を示し、6 章で関連研究について述べる。

2. サービスゲートウェイと OSGi フレームワークの概要

図 1 に示すように、サービスゲートウェイはインターネットやキャリアネットワークをはじめとするワイドエリアネットワークと、ホームネットワークや SOHO

ネットワークなどのローカルエリアネットワークとの間に配置される．サービスゲートウェイ上の OSGi フレームワーク（図 1 中央下）は JVM（Java Virtual Machine）上で動作するミドルウェアである．たとえば、ヘルスケアやホームセキュリティなどのサービス、あるいはコンテンツは Bundle と呼ばれるアプリケーション（以下、応用 Bundle と呼ぶ）として JAR（Java ARchive）ファイル形式でサービスプロバイダ（図 1 左上）から提供され、サービスゲートウェイオペレータ（図 1 中央上）が管理する．

サービスゲートウェイオペレータはサービス管理システム（図 1 左下）などを用いてサービスゲートウェイを遠隔管理するとともに、新たな Bundle をサービスゲートウェイに投入あるいは既存の Bundle を更新する．投入や更新を契機に、OSGi フレームワークは Bundle のインストール、実行開始、実行停止、ならびにアンインストールなど、Bundle のライフサイクル管理を行う．またこの際、OSGi フレームワークは必要に応じて Bundle 間の依存関係の解決を図る．クライアント（図 1 左）となるユーザは携帯電話や PHS（Personal Handyphone System）などの携帯端末、あるいは PC などを用いて Bundle が他の Bundle や（宅内）機器と協調しながら提供するサービスを利用する．

3. ユビキタス・ネットワーク実現に向けたサービスゲートウェイの設計

3.1 設計における課題

ユビキタス・ネットワークの実現、具体的には、ホームネットワークの機器を対象に、これら機器を携帯端末で操作する環境の提供を目標とするサービスゲートウェイの設計に際して以下の課題を設ける．

（1）複数の通信プロトコルに対応すること

ホームネットワークで利用が想定される通信プロトコルには有線や無線、あるいは、上位から下位レイヤまで様々なものがある³⁾．各通信プロトコルはそれぞれ適用領域を想定して開発、標準化されており、様々な用途や通信要件を持つ機器が相互に接続されるホームネットワークでは複数の通信プロトコルが混在すると考えられる．あらゆる機器を相互に接続することが必要となるユビキタス・ネットワークの実現のため、サービスゲートウェイには複数の通信プロトコルに対応する機能が必要となる．

（2）マルチベンダ環境で操作性を損わないこと

宅内にある機器がすでにマルチベンダ環境であることから、ホームネットワークなどに接続される機器もマルチベンダ環境になると想定される．差別化などを

目的に、出荷した機器を携帯端末などから操作するサイトをベンダが提供することも可能である．しかしながら、個々のベンダがサイトを独立に提供すると、最悪の場合、異なる機器を操作するたびに異なるサイトへアクセスしなければならず、結果として操作性の低下を招いてしまう．マルチベンダ環境な機器群に対しても操作性を損うことなく、宅内ごとにカスタマイズした操作画面を提供する機能が必要となる．

（3）手軽に利用できること（Zero Administration）

ホームネットワークをはじめとする環境では、ネットワークや機器の設定、利用、ならびに管理の知識や経験を持つ利用者を必ずしも期待できない．機器を操作する際に別途専用端末が必要な場合もあり、操作対象の機器に加え、操作に用いる端末自身の設定に手間どってしまうことがある．このため、機器の操作に用いるサービスゲートウェイや携帯端末などの設定の手間を最小限に抑制し、手軽に利用可能とする機能（以下、Zero Administration 機能と呼ぶ）が必要となる．

上記課題（1）ならびに（2）への対処を 3.2 節および 3.3 節でそれぞれ述べる．課題（3）の Zero Administration 機能についてはサービスゲートウェイのための自動設定方式として 3.4 節で新たに提案する．

3.2 宅内に配置する端末型サービスゲートウェイの導入

6 章で述べるように、サービスゲートウェイの機能をサービスゲートウェイオペレータ側に配置することも可能である．しかしながら、サービスゲートウェイオペレータとホームネットワーク上の機器との間で複数の通信プロトコルを扱う際、伝送距離などの制約から通信プロトコルや環境によっては、たとえば Bluetooth のように、そのままでは対応できないものがある．このため、宅内に配置される端末としてサービスゲートウェイを提供する．端末には複数の PCMCIA（Personal Computer Memory Card International Association）カードスロットを設けるなどにより拡張性を高め、Bluetooth、HAVi（Home Audio/Video Interoperability⁶⁾）ならびに電灯線など、複数の通信プロトコルに対応可能とする．また、ワイドエリアネットワークとローカルエリアネットワークとの相互接続を目的に Ethernet インタフェースを提供し、電子メール、Web ブラウザ、ならびに VoD（Video on Demand）などの応用ソフトウェアを搭載することでインターネット上などで提供されるサービスを利用可能とする．

OSGi では様々な通信プロトコル、とくに、ユビキタス・ネットワーク実現の要素技術の 1 つである、機

器の自動発見機能を提供する Jini⁷⁾ や UPnP⁸⁾ などを中心に、複数の通信プロトコルを統合する技術の開発、標準化^{9),10)}を進めている。本標準化の成果などを活用することで、複数の通信プロトコルに迅速に対応する。

3.3 サービスゲートウェイによる機器操作の仲介と操作画面の提供

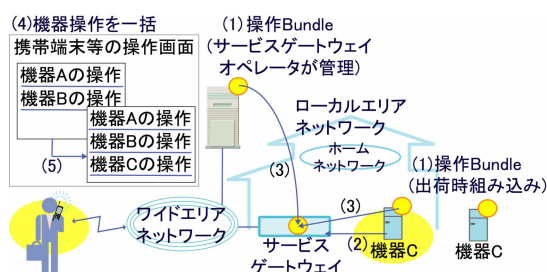
操作を要求する端末と操作の対象となる機器の仲介をサービスゲートウェイが一括することで複数の異なるサイトへのアクセスを抑制する。さらに、携帯端末や PC など機器操作に用いる端末の表示能力を考慮し、マルチベンダな機器群の操作画面を集約してこれら端末上に同時に表示する画面をサービスゲートウェイが提供することで、マルチベンダ環境での操作性の向上を図る。以下、3.3.1 項にサービスゲートウェイによる機器の仲介を、3.3.2 項にサービスゲートウェイによる操作画面の提供について述べる。

3.3.1 サービスゲートウェイによる機器の仲介

機器出荷元のベンダ、あるいは、操作仕様分かる場合にはサードパーティが機器を操作するためのプログラムを応用 Bundle (以下、操作 Bundle と呼ぶ) として機器ごとにあらかじめ提供し、サービスゲートウェイオペレータが管理、あるいは、ベンダが出荷時に機器に組み込む (図 2 (1))。手動であるいは Jini や UPnP などが提供する自動発見機能により自動で機器がサービスゲートウェイに登録される (図 2 (2)) と、登録を契機に、該当する操作 Bundle をサービスゲートウェイオペレータ、あるいは、機器からサービスゲートウェイに新規投入する (図 2 (3))。その後、投入された操作 Bundle を含め、これまでにインストールされた操作 Bundle を単一のサービスゲートウェイ上で一括実行可能とすることで、複数の異なるサイトへのアクセスを抑制し、操作性の向上を図る。

上記手順では、機器の登録情報をもとに該当する操作 Bundle を特定する機能が必要となる。本機能はサービスゲートウェイに手動で登録される情報をキーに特定、あるいは、自動発見機能を提供する通信プロトコルに準じて特定する。

また、操作対象となる機器の仲介をサービスゲートウェイが一括するため、ワイドエリアネットワーク上でサービスゲートウェイを一意に特定する必要があり、インターネットの場合、グローバル IP アドレスをサービスゲートウェイに付与する必要がある。このため、従来の IPv4 (Internet Protocol version 4) のみならず、グローバル IP アドレス空間が IPv4 に比べて膨大な IPv6 (Internet Protocol version 6) にも対応す



(注) 機器Cが登録される場合(機器AとBは省略)

図 2 サービスゲートウェイによる機器操作の仲介と操作画面の提供
Fig. 2 Mediated operation and user interface generation by service gateway.

るデュアルスタック構成とし、導入機会の増大を図る。

3.3.2 サービスゲートウェイによる操作画面の提供

ほとんどすべての携帯端末や PC に Web ブラウザが搭載されていることを背景に、マルチベンダな機器群の操作画面を集約してこれら端末上に同時に表示する画面を HTML (Hyper Text Markup Language) ファイルとして提供する。このファイルは、操作 Bundle の参照先、具体的には 4.2 節や 4.3 節に後述するように、機器の操作画面への HTML リンクから構成される (図 2 (4))。3.3.1 項に先述したように、ここでは、操作 Bundle の追加や削除、つまり操作対象の機器の追加や削除に応じて動的に画面を集約、構成して提供する機能が必要であり、本機能を応用 Bundle (以下、画面構成 Bundle と呼ぶ) として新たに提供し、サービスゲートウェイにあらかじめ組み込む。たとえば、図 2 で機器 C が追加される場合、図左上に示す携帯端末などの操作画面に機器 C の操作画面への HTML リンク“機器 C の操作”が動的に追加される (図 2 (5))。

3.4 サービスゲートウェイのための自動設定方式

IP アドレスなどの構成情報を自動的に設定する DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)^{11),12)} や IPv6 Stateless Address Autoconfiguration¹³⁾ など、自動設定のためのプロトコルや方式¹⁴⁾ が従来ある。しかしながらここでは、Bundle を投入、実行するために必要なサービスゲートウェイオペレータの URI (Uniform Resource Identifiers)¹⁵⁾ や、電子メールや Web ブラウザなどの応用ソフトウェアの利用に必要な SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) サーバやプロキシサーバの IP アドレスやポート番号などの構成情報をサービスゲートウェイに初期設定する必要がある。従来プロトコルや従来方式だけでは十分でない。また、初期設定後も、上記サーバなどの構成情報が変更される場合には設定変更が必要とな

る．このため，3.3.1 項に先述したように，ここではグローバル IP アドレスをサービスゲートウェイに付与することを前提に，IP アドレスなどの構成情報のみならず，機器操作や応用ソフトウェアの利用に必要な構成情報をユーザに代わってサービスゲートウェイオペレータがサービスゲートウェイに自動設定する方式を提案する．以下，ユーザにサービスゲートウェイを提供してから初めて電源投入する際に必要となる設定を初期設定，初期設定完了以降，サービスゲートウェイオペレータの URI，Mail サーバやプロキシサーバの IP アドレスやポート番号の変更，サービスゲートウェイの IP アドレスなど自身の構成情報の変更，さらに操作対象機器の追加などにともなってサービスゲートウェイに必要となる設定を設定変更とする．

3.4.1 基本方針

- (1) 初期設定と設定変更に対応する方式とする．
- (2) 自動設定するための応用 Bundle (以下，自動設定 Bundle と呼ぶ)，ならびに自動設定 Bundle をサービスゲートウェイに提供する自動設定サーバを新たに導入する．
- (3) 機器操作に必要な構成情報や各応用ソフトウェアの構成情報に対し，現在有効な構成情報の名前と値の組と，今後有効とする構成情報の名前と値の組を記述する 2 つのファイル (以下，それぞれカレントファイルとターゲットファイルと呼ぶ) を提供する．
- (4) 自動設定 Bundle は設定対象の構成情報の名前と値の組をターゲットファイルに書き込み初期設定や設定変更を行う．またこの際，必要に応じて応用ソフトウェアを再起動して書き込んだ設定を有効にする．
- (5) 自動設定 Bundle を自動設定サーバから投入，実行するため，サービスゲートウェイの識別子と自動設定サーバの IP アドレスまたは URI をユーザ提供前にあらかじめサービスゲートウェイに設定する．
- (6) IP アドレスなどの構成情報の自動設定には DHCP や IPv6 Stateless Address Autoconfiguration を利用する．

3.4.2 処理概要

(1) 初期設定の場合

電源投入後，サービスゲートウェイは DHCP や IPv6 Stateless Address Autoconfiguration を利用して IP アドレスを決定する (図 3 (1))．上記アドレスの取得を契機に，サービスゲートウェイは自動設定サーバに対して自動設定 Bundle の提供を要求する (図 3 (2))．自

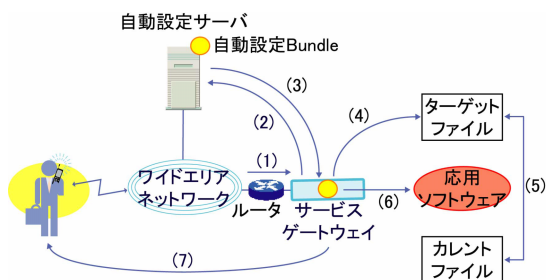


図 3 提案方式の処理概要 (初期設定の場合)

Fig. 3 Overview of proposed method (initialization phase).

動設定サーバは要求元の IP アドレスと 3.4.1 項 (5) の識別子の組を登録するとともに，応答として，自動設定 Bundle をサービスゲートウェイに提供する (図 3 (3))．その後，サービスゲートウェイは自動設定 Bundle を実行する．自動設定 Bundle は初期設定対象の構成情報の名前と値の組をターゲットファイルに書き込む (図 3 (4))．次いで，ターゲットファイルとカレントファイルの内容を置換 (図 3 (5)) した後，必要に応じて応用ソフトウェアなどを再起動して設定を有効にする (図 3 (6))．さらに，携帯端末や PC など，機器操作に用いる端末の電子メールアドレスが自動設定サーバによって管理，あるいはサービスゲートウェイオペレータなど他から自動設定サーバが入手できる場合には，上記自動設定方式を用いて電子メールアドレスをサービスゲートウェイに設定した後，サービスゲートウェイから電子メールを端末に送信し，サービスゲートウェイの URI を設定する (図 3 (7))．

(2) 設定変更の場合

実行中の自動設定 Bundle に対して設定変更対象の構成情報の名前と値の組を自動設定サーバから提供し，その後，初期設定の場合と同様の処理を行う．なお，サービスゲートウェイの再起動などにより IP アドレスの変更が生じる場合，サービスゲートウェイは識別子とともに自動設定サーバにその旨を通知し，再登録を要求するとともに，必要に応じて携帯端末に自身の URI の設定変更を行う．また，操作 Bundle の投入や更新がともなう操作対象機器の追加や変更は OSGi フレームワークが正常動作する上記 (1) 初期設定完了後の設定変更として行う．初期設定が一度完了すれば，機器の追加や変更のたびに初期設定を行う必要はない．機器を追加，変更する具体的な手順は 3.3.1 項に従う．



図 4 サービスゲートウェイの外観
Fig. 4 Service gateway exterior.

4. コビキタス・ネットワーク実現に向けたサービスゲートウェイの実装

4.1 実装方針

3 章の設計に基づくサービスゲートウェイを実証するため、以下の方針に従ってシステムの実装を行う。

- (1) 専用筐体 (205 mm (W) × 165 mm (D) × 50 mm (H)) として実装する (図 4)。
- (2) 外部インタフェースとして RJ45, USB, Serial, NTSC TV-OUT, ならびに S-VIDEO を、さらに PCMCIA カードスロットを備える。
- (3) OS は組み込み Linux (カーネル 2.4.19), IPv4 と IPv6 (USAGI パッチをカスタマイズ) のデュアルスタック構成とし, DHCPv6¹²⁾ や BIND 9¹⁶⁾ に対応する。JVM は Java2 Standard Edition 1.4.1 を用いる。
- (4) 応用ソフトウェアとして電子メール, Web ブラウザ, ならびに VoD クライアントソフトを搭載し, 標準出力として TV を, 操作はワイヤレスキーボードとリモコンで行う。
- (5) 操作対象の機器は一般に入手可能なネットワーク家電 (冷蔵庫), ライトスタンド (以下, ライトと呼ぶ), エアコンからなるマルチベンダ環境とし, 改造をいっさい行わない。
- (6) Bluetooth を通信プロトコルに用いるネットワーク家電 (冷蔵庫) には IPv4 アドレスを割り当て, サービスゲートウェイと同一ローカルエリアネットワーク上にアクセスポイントを提供し, 本アクセスポイント経由で操作する。ライトはサービスゲートウェイ本体の USB インタフェースからアダプタを介して電灯線通信で操作する。エアコンはサービスゲートウェイ本体の Serial インタフェースに接続した独自実装のリモコンから赤外線を送信して操作する。
- (7) ネットワーク家電 (冷蔵庫), ライト, ならびにエアコンの操作を行う操作 Bundle を機器ごと

に実装する。

- (8) 3.3.2 項に述べた画面構成 Bundle, ならびに 3.4 節に述べた自動設定 Bundle を実装する。
- (9) 操作 Bundle と画面構成 Bundle は TV と携帯電話から実行する Bundle をそれぞれ 2 種類実装する。自動設定 Bundle は 1 種類とする。
- (10) 機器どうしを協調動作させる簡易な応用例として, ホームネットワークの様子を Web カメラで撮影し, あらかじめ指定された携帯電話に画像を送信する Bundle (以下, 画像 Bundle と呼ぶ) を実装する。
- (11) サービスゲートウェイオペレータは汎用 PC 上に実装する。
- (12) 一般に入手可能なものを操作対象とするため, 操作 Bundle はサービスゲートウェイオペレータが管理する。また, 操作対象となる機器の登録はサービスゲートウェイに対して手動で行う。
- (13) 各種 Bundle を介した機器操作を行う際, サービスゲートウェイに対してアカウントとパスワードを用いたユーザ認証を最初に一度行う。

4.2 TV での機器操作

図 5 および図 6 に本サービスゲートウェイのポータル画面と TV 用のサービス利用画面をそれぞれ示す。図 6 のサービス利用画面は図 5 のポータル画面上の “サービスログイン” を選択すると表示される。サービス利用画面は 3.3.2 項に述べた画面構成 Bundle が管理する。HTML リンクとして提供される各行が単一の Bundle に対応し, 利用可能な Bundle の数に応じて行数が変化する。図 6 は利用可能なすべての Bundle がすでにインストール, 実行されている状況を表示している。新たな Bundle がサービスゲートウェイオペレータに管理された後に初めて本画面を表示すると, 投入, 実行を勧める記号が表示される。たとえば, エアコンをサービスゲートウェイに登録し, 該当する操作 Bundle を追加すると, この操作 Bundle の参照先, 具体的には, リンク文字列 “リモコンモード” が画面上 (図 6 の上から 3 行目と 6 行目) に提供される。このリンク文字列を選択実行すると, エアコンを操作する画面に遷移する。

4.3 携帯電話での機器操作

図 7 に携帯電話用のサービス利用画面を示す。本画面は図 6 の画面と同期しており, サービスゲートウェイ上ですでに実行中の Bundleの中から携帯電話用のものを抽出し, 4.2 節と同様に, 操作 Bundle の参照先を HTML リンクとして提供する。本画面上のリンク文字列 “リモコンモード” を選択実行するとエアコ

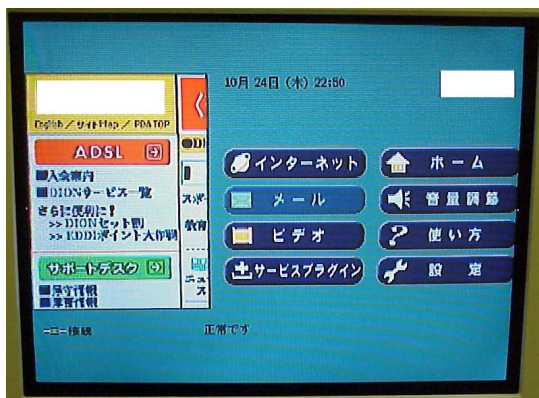


図5 ポータル画面(TV)

Fig. 5 Portal on TV.

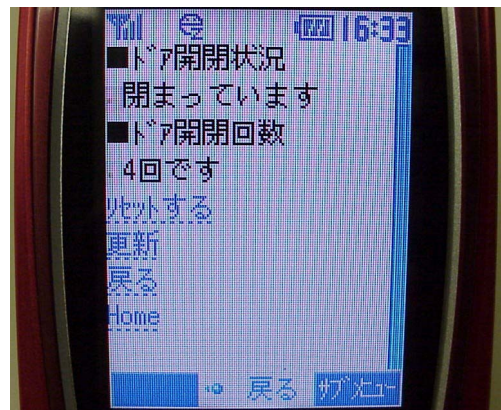


図8 ネットワーク家電(冷蔵庫)操作画面

Fig. 8 Internet appliance (refrigerator) operation window.

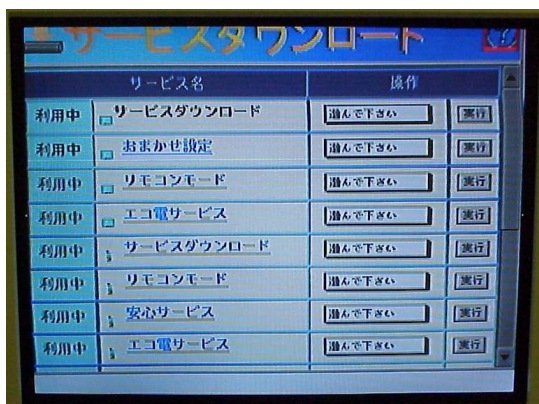


図6 サービス利用画面(TV)

Fig. 6 Service subscription window on TV.

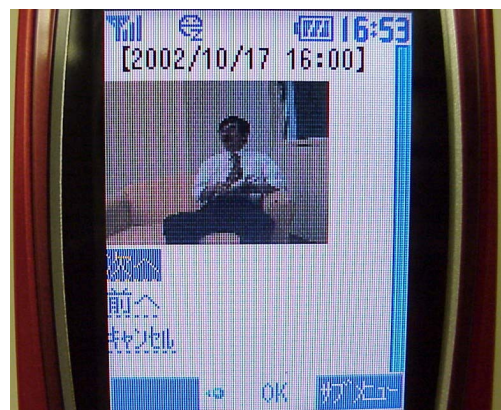


図9 ホームネットワークからの画像確認

Fig. 9 Image from home network on mobile.

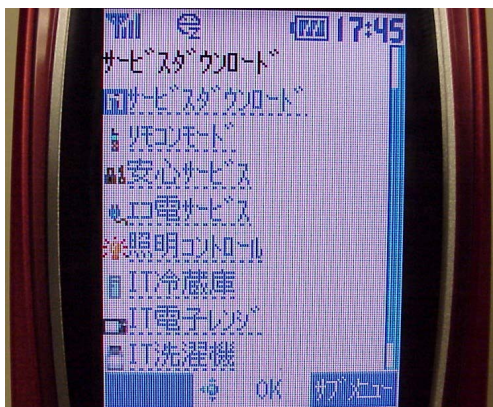


図7 サービス利用画面(携帯電話)

Fig. 7 Service subscription window on mobile.

を, “照明コントロール”を選択実行するとライトを, さらに “IT 冷蔵庫”を選択実行するとネットワーク家電(冷蔵庫)を操作する画面に遷移する. このように, 実装したサービスゲートウェイではそれぞれ異

なる通信プロトコルに対応したマルチベンダな機器の操作性向上を図る.

図8にネットワーク家電(冷蔵庫)の操作画面, 具体的には, ドアの開閉状況や最後のリセット以降これまでの開閉回数の確認を行う画面をそれぞれ示す. これらは高齢者の間接安否確認などへの応用が考えられる. 図8の画面に加え, ネットワーク家電(冷蔵庫)にはペットボトルの本数確認や特殊調理を行う画面がある. ライトに対しては電源のon/off, エアコンに対しては, 電源on/off, 冷暖房切替え, ならびに温度調節などを行う画面がある. これらは外出先からの宅内確認や, 帰宅前の宅内コントロールとしての応用が想定される.

4.4 ホームネットワークからの画像確認

図9に画像 Bundle の実行結果の例を示す. Webカメラに依存するが, 本実装ではカメラの動き検出機能を利活用し, 監視範囲内にある物体の動きが閾値を超えると, そのときの画像をサービスゲートウェイに

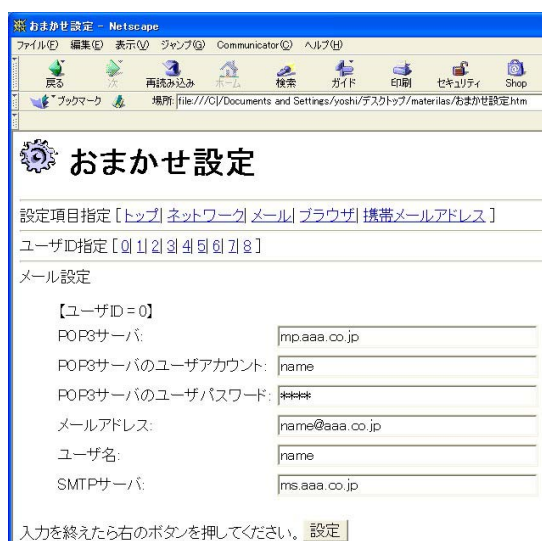


図 10 自動設定 Bundle の画面 (サービスゲートウェイオペレータ側)

Fig. 10 Autoconfiguration bundle window (service gateway operator side).

転送し、サービスゲートウェイはあらかじめ設定された携帯電話宛てに電子メールで送信する。図 9 は監視範囲内で人が座ったことを契機に送信された画像である。転送される画像サイズは携帯電話の画面サイズよりも大きいので、画像 Bundle を用いてサイズを小さくしてから電子メール送信する。

4.5 自動設定方式の実装

サービスゲートウェイオペレータがユーザに代わってサービスゲートウェイの初期設定あるいは設定変更を行うための画面を図 10 示す。3.4 節に述べたように、IP アドレスに加え、本画面を通じて Mail サーバ、Web ブラウザのデフォルトホームページ、ならびに携帯電話の電子メールアドレスなど、機器操作や応用ソフトウェアの利用に必要な構成情報を自動設定する。

5. 評価

実装したサービスゲートウェイの実環境評価を 5.1 節と 5.2 節で、実装や評価を通じて得られた知見を 5.3 節で述べる。

5.1 操作時間の評価

実装したサービスゲートウェイの機器操作仲介によるオーバーヘッドを評価するため、携帯端末や PC などの端末を用いて機器の操作要求から応答までの時間を測定する。まず 5.1.1 項では、サービスゲートウェイ単体としてのオーバーヘッドを、次いで 5.1.2 項では、サービスゲートウェイをワイドエリアネットワークと

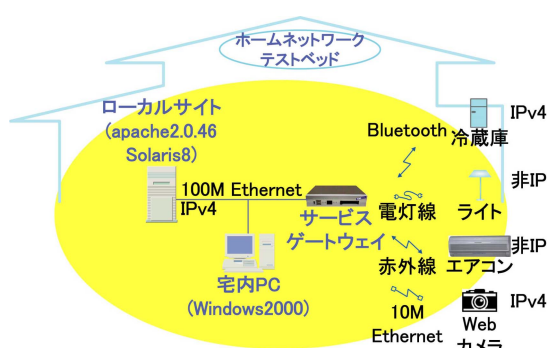


図 11 宅内 PC を用いたローカルの操作時間測定環境

Fig. 11 Evaluation configuration for local operation via PC.

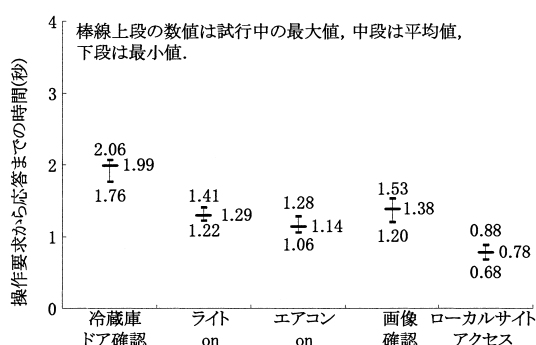


図 12 宅内 PC を用いた操作要求から応答までの時間

Fig. 12 Local operation time via PC.

接続し、携帯電話を用いて機器を操作する、システム全体としてのオーバーヘッドを評価する。

5.1.1 宅内 PC を用いた操作時間

サービスゲートウェイ単体としてのオーバーヘッドを評価するため、サービスゲートウェイと同一ローカルエリアネットワークにある PC (以下、宅内 PC と呼ぶ) を用いて機器の操作要求から応答までの時間を測定した。図 11 に測定環境を、図 12 に宅内 PC を用いた操作要求から応答までの時間 (認証の時間を除く) を示す。各操作は 12 回試行し、その平均値とした。なお、本評価では 5.3 節に後述する操作結果の画像送信は行わない。また比較評価のため、本ローカルエリアネットワークにローカルサイトを設け、宅内 PC からローカルサイトへのアクセス要求から応答までの時間をあわせて測定した。表 1 に評価に用いたローカルサイトの表示コンテンツを示す。5.1.2 項の比較評価に用いる携帯電話向け公衆サイトが提供するコンテンツに相当し、本文と 2 つの図から構成されるサイズの合計は約 2.6 Kbyte である。

ライトとエアコンの操作、画像確認のいずれもほぼ同程度の時間となっている。ネットワーク家電 (冷蔵庫

表 1 評価に用いたローカルサイトと公衆サイトの表示コンテンツ

Table 1 Content of public portal site in evaluation.

コンテンツ	形式	サイズ (byte)
本文	ASCII ^{(*)1}	1,011
図 1	BMP ^{(*)2}	362
図 2	PNG ^{(*)3}	1,243
合計		2,616

(*)1 American Standard Code for Information Inter-change

(*)2 BitMaP

(*)3 Portable Network Graphics

庫)の操作時間はライトやエアコンに比べて長くなっているが、これは 4.1 節 (6) に先述したように、アクセスポイントを経由していることが原因と考えられる。ローカルサイトへのアクセスに比べ、応答までの時間が最大約 2.6 倍 (= 1.99 秒 (冷蔵庫ドア確認の時間の平均値) / 0.78 秒 (ローカルサイトアクセスの時間の平均値)) となっている。しかしながら、いずれも約 2 秒以内で応答できており、サービスゲートウェイ単体として実用的な性能要件¹⁷⁾ を満足しているといえる。

5.1.2 携帯電話を用いた操作時間

システム全体としてのオーバヘッドを評価するため、サービスゲートウェイを ISP (Internet Service Provider) が提供するワイドエリアネットワークと接続し、携帯電話を用いて機器の操作要求から応答までの時間を測定した。図 13 に測定環境を、図 14 に携帯電話を用いた操作要求から応答までの時間 (認証の時間を除く) を示す。各操作は 12 回試行し、その平均値とした。なお、5.1.1 項での評価と同様に、本評価でも 5.3 節に後述する操作結果の画像送信は行わない。また比較のため、同一環境で単一の携帯電話向け公衆サイトへのアクセス要求から応答までの時間をあわせて測定した。公衆サイトの表示コンテンツは、表 1 に示したとおり、5.1.1 項でのローカルサイトのコンテンツと同じである。

ワイドエリアネットワークの影響を受けるため、宅内 PC を用いた 5.1.1 項の評価に比べて応答までの時間のばらつきが大きくなるものの、ネットワーク家電 (冷蔵庫), ライト, エアコンのいずれもほぼ同程度の時間で操作できる。また、これら操作は公衆サイトへのアクセスに比べて短い。これは、サービスゲートウェイへのアクセス数が単一であるのに対し、公衆サイトへのアクセス数は常時多数であることなどが起因すると考えられる。サービスゲートウェイは宅内への配置が想定されており、実際の利用場面においてもアクセス数が本評価とそれほど変わらないと考えられ

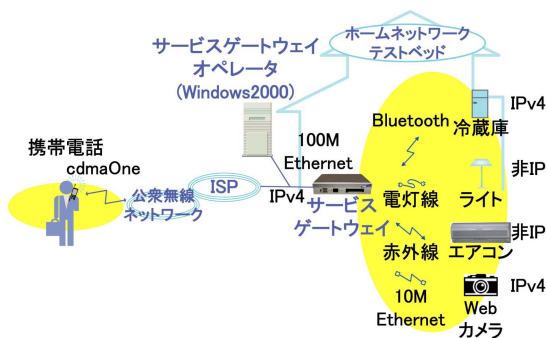


図 13 携帯電話を用いたエンド・ツー・エンドの操作時間測定環境
Fig. 13 Evaluation configuration for end-to-end operation via mobile.

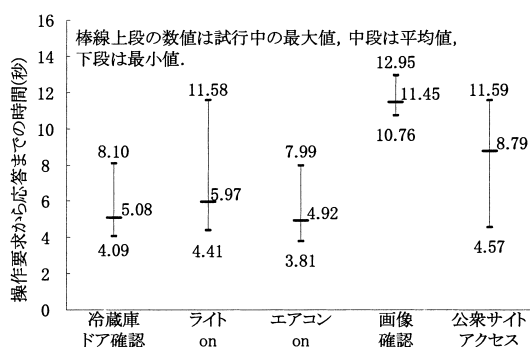


図 14 携帯電話を用いた操作要求から応答までの時間

Fig. 14 End-to-End operation time via mobile.

る。このため、操作時間も本結果と大差はないと思われる。

6 Kbyte 程度の画像送信にともなう通信量増大のため、画像確認は公衆サイトへのアクセスに比べて長く、約 1.3 倍 (= 11.45 秒 (画像確認の時間の平均値) / 8.79 秒 (公衆サイトアクセスの時間の平均値)) となる。一般に提供される画像とは異なり、ここで提供される画像は個人的なものである。このような個人的な画像にユーザが付加価値を認めれば、実用上許容できる時間かもしれないが、技術的には、処理の最適化などによる確認時間の短縮が今後必要である。

以上、携帯電話向け公衆サイトへのアクセス要求から応答までの時間よりも短時間で操作できる本システムは有効である。サービスゲートウェイを含むシステム全体としてのオーバヘッドはほとんどなく実用的な処理時間を達成している。

5.2 Bundle サイズの評価

表 2 に示すように、いずれの Bundle サイズも携帯電話向けの応用プログラムと同程度のサイズであり小さい。TV 用 Bundle のサイズが携帯電話用 Bundle に比べてサイズが大きい。これは、携帯電話用 Bundle

表 2 Bundle サイズ
Table 2 Size of bundles (Kbyte).

	冷蔵庫	ライト	エアコン	画像
TV 用	112	125	84	N.A.
携帯電話用	95	17	64	49

	画面構成	自動設定
TV 用	48	28
携帯電話用	37	N.A.

に比べて、TV 用 Bundle に GIF (Graphics Interchange Format) ファイルをはじめとする表示用資源が多数含まれるからである。表示用資源のサイズに対して制約が課されるのは帯域の狭い無線区間を利用する携帯電話用 Bundle である。表示用資源の多用を抑えることなどが実装の観点から賢明である。

5.3 実装や評価を通じて得られた知見

ユビキタス・ネットワークが真に我々の生活を支援するものなるためには、技術のみならず導入や普及の側面からの検討も必要である。ここでは、実装や評価を通じて得られた知見とともに、ユビキタス・ネットワークへの円滑な導入に向けたシナリオを考える。

一般に、生活に密着した家電などの機器がネットワーク機能などを持つ高機能なものへ一度に置き換えられる可能性は小さい。著者らは実装や評価の手段として当初 PC を用いて高機能な機器を擬似的に実現することがあった。しかしながら、PC やネットワーク技術になじみの薄いユーザには実感が薄く、理解を求める際に苦勞を強いられた。一方、たとえば 4 章に先述したように、高機能なもののみならず従来の家電をはじめとする機器を操作対象に含めるなど、現在の生活環境の一部を適用範囲に含めることで、上記のようなユーザにも直感的な理解を与えることができた。

このような経験から、ユビキタス・ネットワークの円滑な導入のためには、現在の生活環境の一部を適用範囲に含め、早期の段階からユビキタス・ネットワークの具体的な応用をユーザに提供し、機器の高機能化の度合いや高機能な機器の普及にともなって適用範囲を拡大することが重要であることが分かった。

一方、たとえば、赤外線で操作する従来のエアコンの場合には応答がないため操作の信頼性が低く、信頼性を補うことが必要となる。本実装では、操作 Bundle と画像 Bundle とを協調動作させ、操作を契機に操作結果の画像をあらかじめ指定された携帯電話に送信することで間接的に信頼性を補っている。操作結果の画像送信は、これまでの日常生活で多くのユーザが経験しているように、操作結果を目視で確認可能とする。このため、図 8 に示すように機器から文字による応答

がある場合であっても、実際に操作できたか否か不安になるユーザから不安感を取り除ける点で有効な手段の 1 つであることが明らかになった。

6. 関連研究

まずサービスゲートウェイの高度化に関するものとして、これまでに、メモリ使用量や起動時間の短縮を図った実装¹⁸⁾、サービス管理システムの負荷分散を目的に、UDP (User Datagram Protocol) に対して受信応答、再送、ならびに暗号化などの機能拡張を図った管理インタフェースを持つサービスゲートウェイの実装¹⁹⁾、サービスゲートウェイの機能をサービスゲートウェイオペレータ側に配置した実装²⁰⁾などの研究報告がある。第 3 の実装では、サービスゲートウェイオペレータが管理するサーバの資源を用いて各ホームネットワークに仮想的なサービスゲートウェイを提供し、サーバ上でホームネットワーク数に相当する複数の OSGi フレームワークを実行する。これらの研究報告では、サービスゲートウェイの軽量化、スケーラブルな管理や機能配置が検討の中心である。本論文で対象とした機器の操作も応用例の 1 つとしてあげられているが、検討が枠組みの範囲にとどまっており、実現のための課題や具体的な方法を示す本研究とは異なる。これら研究報告の結果を今回実装したサービスゲートウェイに取り入れることで軽量化やスケーラブルな展開が今後期待できる。

次いでサービスゲートウェイの応用に関するものとして、車両をインターネットに接続し、コンテンツ配信など様々な応用を Bundle として投入、実行可能とする車載サーバ²¹⁾や、糖尿病患者などを対象とする在宅医療への適用²²⁾に関する研究報告がある。具体的な方式の提案は今後に期待されているが、後者では、3.1 節で抽出した課題 (3) 手軽に利用できること (Zero Administration 技術) が本研究と同様に技術課題としてあげられている。また、ユビキタス・ネットワークに関する文献 (23) , (24) でも機器やサービスを手軽に利用できることはユビキタス・ネットワーク実現のための重要な技術課題とされている。このような背景の下、本研究では、上記車載サーバの自動設定にも応用が可能な、サービスゲートウェイのための自動設定方式の提案を通じて、ユビキタス・ネットワーク実現のための重要技術課題に対する 1 つの解を与えている。

7. おわりに

本論文では、身近にある様々な機器をホームネット

ワークなどを介して相互に接続し、いつでも、どこでも機器を操作、あるいは機器どうしを協調動作させることで生活を支援するユビキタス・ネットワーク実現に向けたサービスゲートウェイを設計、実装、ならびに評価した。具体的には、ユビキタス・ネットワーク実現の最初の段階として、一般に入手可能なネットワーク家電や従来の家電などからなるホームネットワークの機器を対象に、これら機器を携帯端末などで操作する環境の提供を目標とした。

設計の際には、ホームネットワークの将来像を想定しつつ、1) 複数通信プロトコルへの対応、2) マルチベンダ環境での操作性の向上、ならびに 3) 機器や端末の設定の手間を最小限に抑制する Zero Administration 機能の実現を主たる課題として抽出し、OSGi に基づくことをはじめ、課題解決のための対処や新たな方法を提案した。設計に基づくサービスゲートウェイの実証を目的にこれを専用筐体として実装した。さらに、家電や実装したサービスゲートウェイからなるホームネットワークテストベッドと ISP が提供するワイドエリアネットワークとを接続し、機器への操作要求から応答までの処理時間などの観点から実環境評価を行った。その結果、サービスゲートウェイの仲介によるオーバーヘッドはほとんどなく、実際の利用場面とほぼ同じ環境で実用的な処理時間を達成しており、その有効性を示した。

ユビキタス・ネットワークに関して、現時点では様々な理解や解釈があるが、真に我々の生活を支援するものとなるためには、技術のみならず導入や普及の側面からの検討も今後必要である。今回実装したゲートウェイに関しては、操作対象機器の増大による応用範囲の拡大や宅内ルータとの機能統合が今後の技術課題である。また、導入や普及に向けた検討の一環として、IPv4/IPv6 デュアルスタックネットワーク環境とともに、本サービスゲートウェイを一般ユーザに試行提供し、ユーザからの声を求める予定である。

謝辞 日頃ご指導いただく(株)KDDI 研究所浅見所長、松島副所長、ならびに水池取締役に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Bluetooth SIG: *Specification of the Bluetooth System* (2003). <http://www.bluetooth.com/>
- 2) エコーネットコンソーシアム: *ECHONET 規格書* (2002). <http://www.echonet.gr.jp/>
- 3) Teger, S. and Waks, D.: End-User Perspectives on Home Networking, *IEEE Comm. Mag.*, Vol.40, No.4 (2002).
- 4) Open Services Gateway Initiatives: *OSGi Service Gateway Specification Release 3.0* (2003). <http://www.osgi.org/>
- 5) Marples, D. and Kriens, P.: The Open Services Gateway Initiative: An Introductory Overview, *IEEE Comm. Mag.*, Vol.39, No.12 (2001).
- 6) Home Audio/Video Interoperability: *HAVi Version 1.1 Specification* (2001). <http://www.havi.org/>
- 7) SUN Microsystems: *JiniTM Architecture Specification Version 1.2* (2001). <http://www.sun.com/software/jini/>
- 8) UPnP Forum: *Universal Plug and Play Device Architecture* (2000). <http://www.upnp.org/>
- 9) Open Services Gateway Initiatives: *Device Access Specification* (2003). <http://www.osgi.org/>
- 10) Dobrev, P., Famolari, D., Kurzke, C. and Miller, B.: Device and Service Discovery in Home Networks with OSGi, *IEEE Comm. Mag.*, Vol.40, No.8 (2002).
- 11) Droms, R.: *Dynamic Host Configuration Protocol*, IETF, RFC 2131 (1997).
- 12) Droms, R., Bound, J., Volz, B., Lemon, T., Perkins, C. and Carney, M.: *Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)*, IETF INTERNET-DRAFT draft-ietf-dhc-dhcpv6-28.txt (2002).
- 13) Thomson, S. and Narten, T.: *IPv6 Stateless Address Autoconfiguration*, IETF, RFC 2462 (1998).
- 14) Misra, A., Das, S. and McAuley, A.: Autoconfiguration, Registration, and Mobility Management for Pervasive Computing, *IEEE Personal Communications*, Vol.8, No.4, pp.24-31 (2001).
- 15) Berners-Lee, T., Fielding, R. and Masinter, L.: *Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax*, IETF, RFC 2396 (1998).
- 16) Internet Software Consortium: *BIND (Berkeley Internet Name Domain)* (2002). <http://www.isc.org/products/BIND/bind9.html>
- 17) Martin, J. and Leben, J.(Eds.): *Principles of Data Communication*, Prentice Hall (1988).
- 18) 山口智久, 峯村治実, 大野次彦, 下間芳樹: レジデンシャルゲートウェイサーバ TSUBASA の概要と評価, 情報処理学会マルチメディアと分散処理研究報告, Vol.102, No.10, pp.55-60 (2001).
- 19) Valtchev, D. and Frankov, I.: Service Gateway Architecture for a Smart Home, *IEEE Comm. Mag.*, Vol.40, No.4 (2002).
- 20) Horowitz, B., Magnusson, N. and Klack, N.: Telia's Service Delivery Solution for the Home, *IEEE Comm. Mag.*, Vol.40, No.4 (2002).
- 21) 植原啓介, 寺岡文男: インターネットと自動車, 情報処理学会誌, Vol.43, No.4, pp.348-391 (2002).

- 22) Lindo, L., Sundvall, E. and Ahlfeldt, H.: Experience from Development of Home Health Care Application based on Emerging Java Technology, *Proc. MEDINFO 2001* (2001).
- 23) ユビキタスネットワーキングフォーラム(編): ユビキタスネットワーク戦略, クリエイト・クルーズ (2002).
- 24) 青山友紀ほか: ユビキタスコンピューティング世界を実現する革新的ネットワーク技術, 情報処理学会誌, Vol.43, No.6, pp.611-652 (2002).

(平成 15 年 4 月 10 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



吉原 貴仁(正会員)

昭和 45 年生. 平成 5 年東京工業大学工学部情報工学科卒業. 平成 7 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了. 同年, 国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社. 現在, KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループ所属. この間, ネットワーク管理, ネットワークアルゴリズム, 分散処理の研究開発に従事. 情報処理学会平成 9 年度全国大会優秀賞, 電子情報通信学会平成 13 年度学術奨励賞を各受賞. 電子情報通信学会会員.



茂木 信二(正会員)

昭和 49 年生. 平成 9 年筑波大学第三学群基礎工学類卒業. 平成 11 年筑波大学大学院工学研究科修了. 同年, KDD(株)(現 KDDI(株))入社. 現在, ユビキタスネットワークグループ所属. この間, アドホックネットワーク, モバイルネットワーク, 分散処理に関する研究開発に従事. 電子情報通信学会会員.



堀内 浩規(正会員)

昭和 35 年生. 昭和 58 年名古屋大学工学部電気工学科卒業. 昭和 60 年名古屋大学大学院情報工学専攻修士課程修了. 同年, 国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社. 現在, KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループリーダー. 工学博士. この間, ネットワークアーキテクチャ, 通信プロトコルの形式記述, ネットワーク管理, 分散処理の研究開発に従事. 電子情報通信学会平成 4 年度学術奨励賞, 情報処理学会平成 8 年度ならびに平成 12 年度全国大会優秀賞を各受賞. 電子情報通信学会会員.