

センシングとコントロールを実現する ユビキタスノード“kubit”の設計と実装

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的な基礎が固まりつつある。さらに、これらネットワークを基に、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、あるいは機器同士を協調動作させたり、実空間情報をネットワークに収集、加工してユーザに提供したりすることで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、ホームネットワークやSOHOネットワークなど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接続することで、付加価値の高い新たなサービスを提供することが重要な課題の一つとなる。そこで本稿では、上記課題解決の一環として、いつでも、どこでも機器を操作(コントロール)可能とするとともに、温度や人の動きなどを感知(センシング)、収集し、これらをユーザに提供することで生活を支援する、ユビキタスノード“kubit”(KDDI Ubiquitous Bit)を設計、実装する。また実装したノードの基本評価を通じて今後の課題を明確にする。

Design and Implementation of Ubiquitous Node “kubit” for Sensing and Control

KIYOHITO YOSHIHARA †, SHINJI MOTEGI † and HIROKI HORIUCHI †

The variety of technologies has taken hold the foundations of in-home networking. This will in turn accelerate the potential for the ubiquitous networking, which will support us by connecting everything together to allow for access to them at anytime and anyplace, and making them behave in a coordinated form, as well as by offering sensed real-world context. Towards the wide acceptance of the ubiquitous networking as our infrastructure in the near future, it would be one of key challenges to have rapid deployment of high value-added services by access to Internet “always on”. In this paper, we design and implement a ubiquitous node, “kubit” (KDDI Ubiquitous Bit), towards the ubiquitous networking. The kubit will enable everyone to access everything at anytime and anyplace and to act depending on the sensed real-world context, by the use of thin and handy clients including mobile phones. We elicit future research issues through a basic evaluation.

1. はじめに

xDSL(x Digital Subscriber Line) や FTTH(Fiber To The Home) など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、携帯端末やネットワーク家電をはじめとする機器の高機能化、Bluetooth や小電力無線等の様々な通信プロトコルの開発標準化など、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基礎が固まりつつある¹⁾。これらネットワークを基に、また、ネットワークセンサ(以下、センサと呼ぶ)やRFID(Radio Frequency Identification

System) タグなど小型機器の登場などを背景に、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、あるいは機器同士を協調動作させたり、実空間情報をネットワークに収集、加工してユーザに提供したりすることで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。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、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接続することで、付加価値の高い新たなサービスを提供することが重要な課題の一つとなる。

上記課題解決の一環として、著者等はすでに、誰もが手軽に利用する携帯電話等の端末を用いて、いつでも、どこでもネットワーク家電や従来の家電を操作可

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

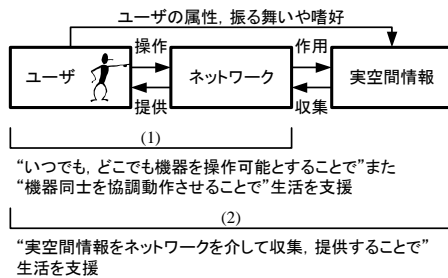


図 1 ユビキタス・ネットワーキングによる生活支援。
Fig. 1 Real-life support by ubiquitous networking.

能とする, ユビキタス・ネットワーキング実現に向けたサービスゲートウェイ²⁾を実装し, 一般ユーザに試行提供している。今後は, いつでも, どこでも操作できることに加え, 実空間情報をネットワークに収集, 加工してユーザに提供することで生活を支援することが重要となる。

そこで本稿では, いつでも, どこでも家電を操作(コントロール)可能とするとともに, 温度, 湿度, 照度(明るさ), ならびに人の動きなどの実空間情報を感知(センシング), 収集し, これらをユーザに提供することで生活を支援する, ユビキタスノード“kubit”(KDDI Ubiquitous Bit)を設計, 実装する。さらに, 実装したノードの基本評価を通じ, 今後の課題を明確にする。以下, 2章で関連研究を, 3章でユビキタスノード“kubit”の設計を行う。4章では設計に基づく実装概要を述べ, 5章では実装や評価を通じて得られた知見や今後の課題を明確にする。

2. 関連研究

ユビキタス・ネットワーキングに関して, 現時点では様々な解釈や理解があり, 要素技術から応用まで幅広く研究開発が進められている³⁾。情報家電, センサ, RFID タグ等の登場により, ネットワークと実空間情報との結び付きが次第に密になっている。このような背景の下, 著者等は, ユーザ, ネットワーク, ならびに実空間情報から構成され, ユーザを基点とするフィードバック(図 1)により生活を支援するものとしてユビキタス・ネットワーキングを捉えている。例えば, ユーザが携帯端末を用いて外出先から照明を操作し, 操作を契機に Web カメラで撮影した宅内画像を提供することで生活を支援(図 1(1)), また, エアコンや照明の操作が温度や明るさの実空間情報に作用し, これがセンサに収集され, 他機器の操作契機に利用, あるいはユーザに提供することで生活を支援(図 1(2))することが期待される。ユーザ自身も実空間情報の一部

であり, 年齢, 性別, 存在位置などの属性, 振る舞い, および嗜好などがネットワークに収集され, ユーザごとにカスタマイズされたネットワークサービスの提供が期待できる。

図 1(1)の実現の一環として, 著者等はすでに, 誰もが手軽に利用する携帯電話等の端末を用いて, いつでも, どこでもネットワーク家電や従来の家電を操作可能とする, ユビキタス・ネットワーキング実現に向けたサービスゲートウェイ²⁾を実装し, 一般ユーザに試行提供している。図 1(2)の実現に関しては, センサ・ネットワーキング技術として, センサの位置測定や電源管理, センサ間ルーティングや情報集約など, 効率的な情報収集を目的とする研究開発⁴⁾がこれまでに数多くある。また, センサモジュール試作^{5), 6)}の報告もあり, 一部⁵⁾は開発用として一般に入手できる。

一方, ユビキタス・ネットワーキング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, 早期の段階から実的な応用をユーザに提供し, 導入の段階に応じて適用範囲を次第に拡大することが重要である。しかしながら, センサ・ネットワーキング技術に関するこれまでの研究開発は, シミュレーションを基本とする理論的なものや, モジュールの汎用性や柔軟性の追求が主で, 実的なシステムとしての応用を他や後に譲ってしまっているものが多い。そこで本稿では, 実的なシステムとしての提供を第一に, センシング(図 1(2))とコントロール(図 1(1))を実現する, ユビキタスノード“kubit”を設計, 実装する。

3. ユビキタスノード“kubit”の設計

3.1 提供する応用と適用環境

3.1.1 提供する応用

- (1) 携帯端末簡易リモコンシステム
コントロール(図 1(1))の応用として, 携帯電話等の端末を用いて, いつでも, どこでも, エアコンや照明など, 従来の家電を操作可能とする, 携帯端末簡易リモコンシステムを提供する。
- (2) 簡易セキュリティシステム
センシング(図 1(2))の応用として, 人感センサや照度センサの感知を契機にその時の様子を Web カメラなどで撮影し, 指定された PC や携帯電話等の端末に画像を送信する, 簡易セキュリティシステムを提供する。

センサの感知を契機に照明を点灯することで間接的な警告を与え, また, 周囲を明るくした上で様子を撮影するなど, 実際には, センシング(図 1(2))とコントロール(図 1(1))の組み合わせがより実的なものである。

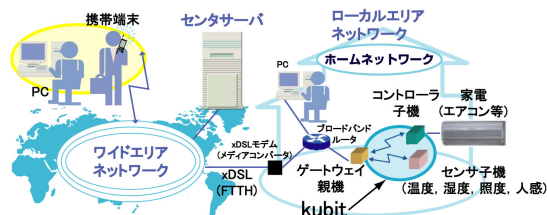


図 2 ユビキタスノード“kubit”の想定適用環境。

Fig. 2 Deployment scenario of ubiquitous nodes “kubit”.

3.1.2 適用環境

3.1.1 節に先述した応用を提供するため、ユビキタスノード“kubit”は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常時接続するホームネットワークなどのローカルエリアネットワークに收容される(図 2 中央より右)。具体的には、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) モデムやメディアコンバータを経てブロードバンドルータ配下に收容される。利用の際には、ユーザ認証をはじめ、ワイドエリアネットワークに設置されるセンタサーバを介して行う。

3.2 構成要素と階層アーキテクチャ

3.2.1 構成要素

ワイドエリアネットワークとの応用ゲートウェイとして機能するゲートウェイ親機、家電を操作するためのコントローラ子機、および温度、湿度、照度、人感センサ機能を提供するセンサ子機を提供する(図 2)。宅内での導入を容易にするため、親機と子機は微弱無線で通信する(子機同士は通信しない)。微弱無線通信は安価である一方、電波到達距離が短く、また、画像送受信に十分な帯域の確保が難しい。このため、リレー親機を提供する。ゲートウェイ親機とリレー親機、リレー親機同士は IEEE802.11b などの無線媒体上で IPv4 を用いて通信し、壁や什器などで入り組んだ宅内やオフィスであっても円滑な導入を可能とする。また、多くの異なる場所から実空間情報を収集できれば効果的である。このため、いずれの親機にも温度、湿度、照度、人感センサを具備する。

3.2.2 階層アーキテクチャ

3.2.1 節に先述した各親機と子機を導入すると、図 3 に示すように、1) 単一親機と複数子機から構成するネットワークに、2) 複数親機から構成するネットワークがオーバーレイする階層アーキテクチャとなる。例えば、ブロードバンドルータが置かれる居間(一階)にゲートウェイ親機を設置する。ブロードバンドルータからの有線敷設が困難な、あるいは、無線 LAN 機能付きブロードバンドルータであっても電波の到達が難しい、書斎(二階)や子供部屋(二階)など、リレー

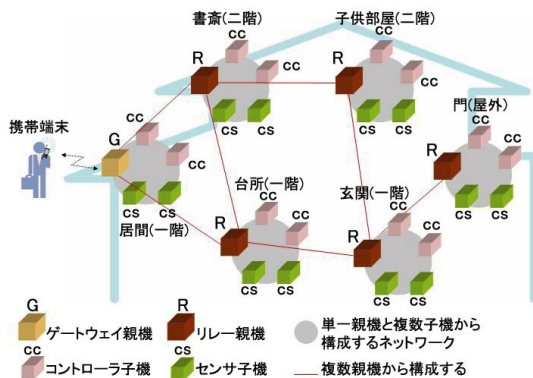


図 3 ユビキタスノード“kubit”の階層アーキテクチャ。

Fig. 3 Hierarchical network architecture of ubiquitous nodes “kubit”.

親機が各部屋に、また、電波の到達を可能にするため各部屋に至る廊下などに配置され、複数親機から構成するネットワークとなる。各部屋に複数のコントローラ子機あるいはセンサ子機が配置、親機に收容され、単一親機と複数子機から構成するネットワークとなる。

親機ならびにセンサ子機が収集、感知する実空間情報はゲートウェイ親機に一度集められ、最終的にはセンタサーバに保存、管理される。

3.3 ネットワーク自動構成

3.1.2 節に先述した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に関する知識や経験をもつユーザを必ずしも期待できない。そこで、3.2.2 節の 2 つのネットワークに対し、ネットワーク構成に必要な設定の手間を最小限に抑制して手軽に利用可能とする、ネットワーク自動構成手順を以下に提案する。

3.3.1 単一親機と複数子機からなるネットワーク自動構成

親機と子機との通信手順を独自に定義し、子機の自動発見手順を本定義に包括して実現する(図 4)。

親機が起動すると、親機はまず自身の周辺の存在する子機を発見、子機の識別子を取得するため、“discover_req”パケットを送信する。本パケットを受信する子機は“discover_resp”パケットの応答により自身の識別子を親機に通知する。次いで、“register_req”と“register_resp”パケットの送受信により、親機は発見された子機に対して自身の識別子を登録する。最後に、“getInfo_req”と“getInfo_resp”パケットの送受信により、親機は発見された子機の機能(コントローラ子機あるいはセンサ子機)を取得する。

子機が新たに追加起動する場合、子機は親機識別子

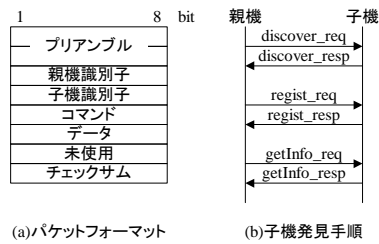


図 4 親機と子機との通信手順に用いるパケットフォーマットと自動発見手順

Fig. 4 Packet format of base and child nodes communication protocol and their auto-discovery flow.

を指定しない“discover_resp”パケットを送信する。本パケットを受信する親機が存在する場合、上述した“register_req”と“register_resp”パケット、ならびに“getInfo_req”と“getInfo_resp”パケットの送受信が行われる。親機が再起動する場合、親機が起動する場合の上述した手順を再度行う。

3.3.2 複数親機からなるネットワーク自動構成

各親機に自身とゲートウェイ親機の IP アドレスを自動設定する。無線 LAN の利用に必要な ESSID(Extended Service Set Identifier) と WEP(Wired Equivalent Privacy) キーは、同一のネットワークで動作する限りは再起動や設置場所が変わっても同じ値を利用できるため、出荷時にあらかじめ設定する。以下では、ゲートウェイ親機を最初に設定し、また、複数親機を同時に起動しないものとする。

各親機自身の IP アドレスの設定には比較的単純な Perkins 等の手順⁷⁾ を基本とする。具体的には、IETF(Internet Engineering Task Force)にて予約済みの IP アドレス空間 169.254/16 のうち、前半を設定に必要な一時的なアドレスのための空間に、後半を実際に設定するアドレスのための空間とする。(再) 起動後 IP アドレスの取得を要求する親機は、前半と後半のアドレス空間からそれぞれ IP アドレス 1 つずつ選択し、前半の空間から選択したアドレスを IP パケットの送信元アドレスに、後半の空間から選択したアドレスをペイロードに設定して同報する。同一の IP アドレスを利用する親機がすでに存在する場合、重複利用を避けるため、設定を試みる親機に対して重複の旨を応答する。親機は重複応答が無くなるまで上述した手順を繰り返す。

3.2.2 節に先述したように、親機またはセンサ子機が収集、感知した実空間情報をゲートウェイ親機に集めるため、ゲートウェイ親機の IP アドレスを各親機に設定する必要がある。このためここでは、上述の同報を受信したゲートウェイ親機が自身の IP アドレス



図 5 ユビキタスノードの外観 (中央がゲートウェイ親機、左がコントローラ子機)。

Fig. 5 Exterior of ubiquitous node (Gateway base node in the middle and controller child node in the left).

を応答する拡張を図る。

上記自動設定の後、AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)⁸⁾などのルーティング手順を動作させる。上記手順の想定とは異なり、親機はほとんど移動しないことから、ハローパケット送信周期を長くして制御トラフィックを抑制する等の最適化を行う。

3.4 携帯端末リモコンシステムの実現

3.1.1 節の携帯端末リモコンシステムの実現には、ワイドエリアネットワーク上でゲートウェイ親機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 アドレスの付与が必要となる。一方、3.1.2 節の環境では、必ずしもグローバル IP アドレスが付与されるとは限らない。このため次の 2 つのモードを設けいずれの場合にも対応可能とする。

(1) P2P(Peer to Peer) モード

グローバル IP アドレスが付与される場合、ゲートウェイ親機は操作要求を直接受信し処理する。

(2) C&S(Client and Server) モード

グローバル IP アドレスが付与されない場合、操作要求をセンタサーバが一度受け付ける。ゲートウェイ親機はセンタサーバへ要求の有無を周期的に確認し、要求がある場合のみ処理する。

4. ユビキタスノード“kubit”の実装

4.1 実装方針

3 節に先述した設計に基づき、ゲートウェイ親機とコントローラ子機を以下のように実装する(図 5)。

4.1.1 ゲートウェイ親機

- (1) 専用筐体 (130mm(W)×100mm(D)×100mm(H)) として実装する。
- (2) 外部インタフェースとして RJ45, RJ12 (シリアル), USB, PCMCIA カードスロット, FM

帯域微弱無線送受信機, TFT 液晶パネル, タッチパネル, スピーカを備える。

- (3) 温度, 湿度, 照度, 人感 (赤外線) センサを備える。A/D コンバータを介してシステムバスとシリアル接続する。
- (4) OS は組み込み Linux(kernel 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する。
- (5) E-mail の送受信, 家電操作, センサ情報表示, 画像表示を行うアプリケーションソフトウェアを実装する。画像表示では USB カメラを接続し, 定期的またはセンサ感知を契機に撮影した画像を表示する。
- (6) ユーザ登録, ゲートウェイとしてのネットワーク設定, センタサーバ登録, センサ情報の収集やセンタサーバへの保存周期設定などを行う Web 管理インタフェースを設ける。

4.1.2 コントローラ子機

- (1) 専用筐体 (50mm(W)×25mm(D)×90mm(H)) として実装する。
- (2) 外部インタフェースとして AC100V プラグ, AC100V コンセント, JEMA (日本電機工業会) 準拠 HA(Home Automation) コンセント, FM 帯域微弱無線送受信機を備える。
- (3) AC100V プラグを宅内コンセントに挿入して電力供給する。
- (4) AC100V コンセントに家電のプラグを挿入して照明などの操作を, HA コンセントに規格のケーブルを挿入してエアコンなどの操作を実現する。
- (5) ハードスイッチを 2 つ備え, 1 つは子機識別子を, もう 1 つは有効とする (AC100V あるいは HA) コンセントを設定する。
- (6) PIC16F628 を搭載し, 親機と子機との通信処理や家電のコントロールを行う。

4.1.3 親機と子機との通信手順

- (1) 3.3.1 節に先述した通信手順とする。
- (2) 搬送波周波数 315MHz の微弱無線波を利用する。
- (3) OOK(ON/OFF Keying) 通信方式を利用する。

4.2 タッチパネルでの操作

図 6 にゲートウェイ親機のタッチパネル操作例を示す。左のトップ画面上に“Ez コントロール”や“Ez センサ”など 4 つのボタンが表示される。また, 本トップ画面の下半分には家電操作や人感知などの履歴が表示される。“Ez コントロール”ボタンに触れると右上の“Ez コントロール”画面に遷移する。ユーザがゲートウェイ親機の近くにいる場合には, 本画面から家電を操作できる。“Ez センサ”ボタンに触れると右

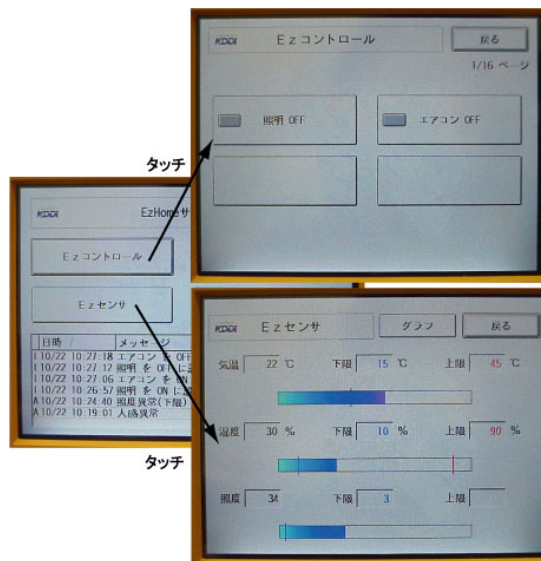


図 6 タッチパネルでの操作。
Fig.6 Operation on touchscreen.

下の“Ez センサ”画面に遷移する。本画面では温度, 湿度, 照度を実時間で表示する。画面上の“下限”や“上限”はしきい値である。しきい値を違反する場合には, 設定に応じて, 指定されたアドレスへの E-mail 送信, ブザー鳴動, およびトップ画面への表示を行う。E-mail 送信の際には, しきい値違反時に撮影した画像の添付もできる。

4.3 携帯電話での操作

図 7 に携帯電話での操作例を示す。すべての操作に先立ち最初に一度センタサーバでの認証が必要である。図 7(a) は図 6 の“Ez コントロール”に対応しており, 簡易リモコンとしての機能を携帯電話に提供する。図 7(b) はゲートウェイ親機の温度センサの値の変化をグラフ表示する画面である。エアコンが動作する 9 時ごろから停止する 23 時 30 分までの間, 気温がおよそ摂氏 22 度に保たれていることが分かる。図 7(c) は人感知回数を 6 時間単位で表示するヒストグラムである。図 7(d) は (c) の各人感知を契機に USB カメラで撮影した画像添付付きの人感知通知 E-mail である。このように, “いつ誰がいたか”を特定するユビキタスノード“kubit”は簡易セキュリティシステムとして機能を提供する。

5. 基本評価

実装したユビキタスノード“kubit”の実環境基本評価を 5.1 節に, 実装を通じて得られた知見を 5.2 節にそれぞれ述べる。

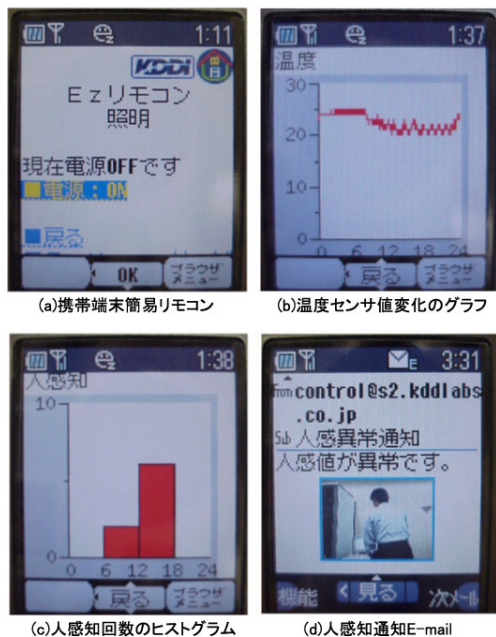


図 7 携帯端末での操作.
Fig. 7 Operation on mobile.

5.1 単一親機と複数子機からなるネットワーク自動構成の評価

3.3.1 節で導入した自動発見手順で、子機の台数が 1, 2, 3, および 4 の場合の発見時間を計測した。10 回試行した平均は 8.0, 11.2, 12.5, 16.8 秒であった。発見終了後、子機の識別子や機能をセンタサーバに登録する必要があり、本登録を含めると 4 台の場合、完了までに平均 33.6 秒要する。図 4(b) の手順の最適化による処理時間の短縮が今後の課題である。

5.2 実装を通じて得られた知見

人感知やセンサ情報のしきい値違反の際に、画像撮影、E-mail 送信、ブザー鳴動、ならびにトップ画面への表示など、ゲートウェイ親機の処理が短時間に集中する。従来研究ではセンサ情報の集中によるシンク（本稿の場合、ゲートウェイ親機）周辺の輻輳を指摘するものが多い。具体的な応用として実現する場合、輻輳の抑制とともに、シンクにおける効率的な実時間処理も今後重要な技術課題となることがわかった。

6. おわりに

本稿では、いつでも、どこでも家電を操作（コントロール）可能とするとともに、温度、湿度、照度、および人の動きなどの実空間情報を感知（センシング）、収集し、これらをユーザに提供することで生活を支援する、ユビキタスノード“kubit”（KDDI Ubiquitous

Bit) を設計、実装した。設計に際しては、簡易セキュリティシステムなど実際的な応用システムとしての実現を第一に、親機と子機との通信手順や、これらから構成するネットワークを手軽に導入、利用するためのネットワーク自動構成手順などを提案した。また、親機と子機を実装し、実装を通じて得られた知見や、親機と子機からなるネットワークの自動構成に要する時間の評価を通じて今後の課題を明確にした。

ユビキタス・ネットワーキング実現のためには、技術から導入や普及に至る様々な側面からの検討が今後必要である。ユビキタスノード“kubit”に関しては、現在、リレー親機とセンサ子機の実装を進めている。親機と子機との通信手順の改良、ESSID や WEP キーの設定を含む複数親機からなるネットワークの自動構成手順の検討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、本ノードを一般ユーザに試行提供し、ユーザからの意見や評価を今後の研究開発に活かす予定である。

謝辞 日頃ご指導頂く（株）KDDI 研究所 浅見所長、ならびに和田執行役員に感謝する。なお本研究の一部は、総務省からの委託研究の成果である。

参考文献

- 1) Teger, S., Waks, D.: End-User Perspectives on Home Networking, *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 40, No. 4 (2002).
- 2) 吉原貴仁ほか: ユビキタス・ネットワーキング実現に向けたサービスゲートウェイの実装と評価, 情報処理, Vol. 2002-IAC, No. 4 (2002).
- 3) 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, 情報処理学会学会誌, Vol. 43, No. 6, pp. 611–652 (2002).
- 4) 戸辺義人: センサネットワーク研究の動向 (2003). <http://www.unl.im.dendai.ac.jp/tobe/ssr.pdf>.
- 5) Hill, J. and Culler, D.: A wireless embedded sensor architecture for system-level optimization (2002). http://www.cs.berkeley.edu/~jhill/MICA_ARCH.pdf.
- 6) 永原崇範ほか: ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U³ (U-cube) の設計と実装, 信学技報, Vol. IN2002, No. 243 (2003).
- 7) Perkins, C., et al.: *IP Address Autoconfiguration for Ad Hoc Networks*, IETF INTERNET-DRAFT draft-ietf-manet-autoconf-01.txt (2001).
- 8) Perkins, C., Belding-Royer, E. and Das, S.: *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, IETF, RFC 3561 (2003).