

UPnP/DLNA パケットフィルタリングによる 無線 LAN デバイス省電力化に関する検討

三宅 基治 竹下 敦

株式会社 NTT ドコモ 総合研究所

〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5

E-mail: {miyake, takeshita}@nttdocomo.co.jp

あらまし ホームネットワークに接続されるデバイスの増加は、多様なサービスの提供を可能にする反面、マルチキャスト、ブロードキャストパケットの急激な増加を招くため、モバイルデバイスの電力消費の増加が懸念される。本稿では、UPnP/DLNA を対象アプリケーションとするモバイルデバイスにとって不要なマルチキャスト・ブロードキャストパケットの受信を回避するために、無線 LAN デバイスドライバとネットワークセグメントレベルでの 2 つのフィルタリング方式を提案する。さらに、後者については実装と評価実験を行ったので、その結果について報告する。

キーワード UPnP/DLNA、無線 LAN、省電力、パケットフィルタリング、代理応答ゲートウェイ

A Study for Wireless LAN Device Power-saving by UPnP/DLNA Packet Filtering Methods

Motoharu MIYAKE Atsushi TAKESHITA

Research Laboratories, NTT DoCoMo, Inc.

3-5 Hikarinooka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: {miyake, takeshita}@nttdocomo.co.jp

Abstract Although increasing the number of devices in a home network enables various services, the devices generate a lot of multicast and broadcast packets for UPnP/DLNA. Reception of such packets provides a problem, i.e. it increases power consumption of mobile devices and results in short battery life. This paper proposes two approaches to the problem: wireless LAN device driver and network segment solutions that prevent mobile nodes from receiving redundant multi/broadcast packets. We prototyped the latter solution and the experimental results are shown.

Keyword UPnP/DLNA, Wireless LAN, Power Save, Packet Filter, Proxy node.

1. はじめに

ネットワークインタフェースを備えた情報家電の登場により、パソコンを含めたホームネットワークデバイス（以下、HND: Home Network Device）での映像・音楽・写真といったデジタルコンテンツの共有が普及する中、携帯電話や PDA といったモバイル/ハンドヘルドデバイス（以下、MHD: Mobile Handheld Device）もその一翼を担うことが期待されている。

DLNA (Digital Living Network Alliance) [1]では、これから 2 つのカテゴリに属するデバイスを意識することなく、コンテンツ共有を可能とするため、UPnP フォーラム[2]で規定された UPnP Device Architecture（以下、UPnP DA）[3]、UPnP AV[4]などを参照した DLNA ガイドライン[5]を策定している。現在では、2004 年 10

月に策定された DLNA ガイドライン v1.0 に対応した製品を中心に販売されており、DLNA ガイドライン v1.5(2005 年 10 月策定)の対応製品も徐々に増えつつある。UPnP DA では、ホームネットワーク（以下、ホーム NW）内のデバイスは Advertisement, Discovery のために SSDP (Simple Service Discovery Protocol) の NOTIFY、M-SEARCH を UDP によってマルチキャストして自身の存在通知やデバイスの発見を行う。NOTIFY、M-SEARCH はパケットロス耐性の強化のために複数回の再送が規定されており、一回当たり 10 から 30 個程度のパケットが送受信される。このため、ホーム NW 内のデバイスの増加によってマルチキャストや ARP (Address Resolution Protocol) 実施によるブルードキャストといったパケットが線形的に増加す

る。バッテリーを電源とする MHD にとってこれらのパケット受信に電力を消費してしまうため、必要最小限に抑えることが望ましい。

本稿では、まずホーム NW における MHD の課題について概観した後、ホーム NW に属する MHD にとって不要なマルチキャスト・ブロードキャストパケットをフィルタリングして消費電力の増加を抑えるために、無線 LAN デバイスドライバと、ネットワークセグメントレベルでの 2 つの方法について提案する。無線 LAN デバイスドライバレベルでの方法としては、無線 LAN 基地局(以下、AP)の配下に属する MHD を IEEE 802.11[6]の規定内で変更し、マルチキャスト・ブロードキャストパケットの非受信を実現する。一方、ネットワークセグメントレベルでの方法としては、HND と MHD を 2 つのセグメントに分け、MHD への不要なパケット到着を回避する。いずれの方式においても、代理応答デバイスによって MHD が本来受信すべきパケットについては通知を行い、応答や通知が可能なパケットについては代理通知・応答を行うものとした。

最後に、ネットワークレベルの取り組み方式について実装を行い、その評価を行った。この結果、提案方式を利用した MHD は、待ち受け状態を約 2% 延長できることを確認した。今後は、携帯電話における各モジュールにおける消費電力のモデル化を行い、定性的な評価を行うことに加えて、無線 LAN デバイスドライバレベルでの実装、評価も行い、性能改善について評価をする予定である。

2. ホーム NW における課題

DLNA ガイドライン v1.5 の策定が完了し、このガイドラインに準拠した MHD の販売が開始され、ホーム NW の HND と MHD の間でシームレスなコンテンツ共有がより現実的なものとなりつつある。多種多様なデバイスが相互接続することにより、単体では実現しなかったユースケースが可能となる。これらのデバイスの相互接続を実現するため、多くのデバイスで採用されているのが UPnP DA である。

UPnP DA では、自身の存在通知(Advertisement)と目的のデバイスの発見(Discovery)を行うために SSDP の NOTIFY と M-SEARCH をそれぞれマルチキャストする。また、パソコンはもとより、ネットワークインタフェースを有する情報家電機器 (TV、ハードディスク・レコーダなど) とブロードバンドルータに代表される IGD (Internet Gateway Device) との間でも SSDP による通信がなされる。マルチキャストパケットは、UDP であるため、通信路におけるパケットロス耐性強化のために複数回の再送が規定されている。この結果、あるデバイスが存在通知のために送信するパケットは、

一回当たり 30 個程度にも上る場合がある。

このようなデバイスの増加によるトラヒックへの影響に比べ、より深刻な問題と考えられるのは UPnP DA で規定された仕様からの逸脱である。SSDP は送達確認がなされない UDP によって構成されるため、通信路上のパケットロスを懸念して 1 回以上の送信を”MUST”として規定し、3 回以上の送信を行なわないことを”SHOULD NOT”として規定されている。更に、NOTIFY パケット送信間隔は、1800 秒以上とするように”SHOULD”として規定している。しかし、”SHOULD”規定についてはベンダの解釈に左右されるため、より短い送信間隔とした場合にはパケットの急激な増加を招く恐れがある。一例としては、ホーム NW 用の BBR として普及している製品であっても IGD 機能通知が 25 秒間隔に設定され、UPnP の規定よりも 72 倍ものパケットを送信するといった事象も起きている。

また、新たな取り組みとして ZigBee[7]/IEEE802.15.4 無線インタフェースを備えたセンサデバイスや、DLNA 対応デバイスで構成されるホーム NW 間を相互接続する試みが進められている[8-10]。しかし、これら新規デバイスや複数のホーム NW を接続することは、従来 UPnP 対応デバイスを収容するホーム NW で想定していた SSDP や ARP のマルチキャスト・ブロードキャストのパケット数の線形的な増加に比べて、メッシュ接続がなされた場合にはより急激な増加を招く可能性があり、ホーム NW に属する MHD の電力消費への影響も懸念される。

3. 提案する電力消費削減方式

本章では、電力消費削減のための 2 つの方法を提案する。電力消費削減は、MHD にとって不要なマルチキャスト・ブロードキャストパケットを受信しないようにし、応答が必要なパケットに対しては代理応答サーバが応答することにより実現できる。MHD で不要パケットを受信しないためには、不要パケットが来たときに MHD がそれを受け取らない状態にするか、あるいはその不要パケットが MHD に届かないようにする必要がある。前者の方法を無線 LAN デバイスドライバ対応方式、後者の方法をネットワークセグメント対応方式と呼び、本章ではこれらについて説明する。

3.1. 無線 LAN デバイスドライバ対応方式

IEEE802.11[6]では、デバイスのバッテリー消費を抑制するためにパワー・マネジメント機能が定義され、アクティブ・モードと省電力 (PS: Power Save) モードが規定されている。省電力モードでは、送受信回路に完全に電力が供給されている Awake 状態と、必要最小限の電力で動作する Doze モードがあり、パケットの送受信のタイミングでのみ Awake 状態となる。マルチ

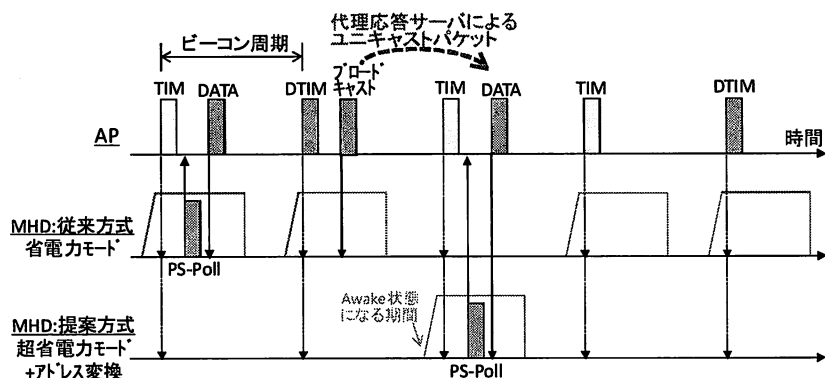


図2 無線LANデバイスドライバ対応方式によるAwake動作およびデータ取得

キャスト、ブロードキャストパケットが到着した場合、DTIM (Delivery Traffic Indication Message) 情報要素を含むビーコンを AP は通知した後に、当該パケットを送信する。一方、ユニキャストパケットが到着した場合には、TIM 情報要素を含むビーコンを通知し、AID (Association ID) が該当するデバイスからの PS-Poll と呼ばれる制御フレームを受信した後に、当該パケットを送信する。また、省電力モードでの動作は、ListenInterval (ビーコンを受信する周期を規定するパラメータ) と ReceiveDTIM (DTIM 情報要素を含むビーコンをすべて受信するか否かの設定パラメータ) という 2 つのパラメータに基づき、定期的にビーコンを受信する。

本稿で提案する無線 LAN デバイスレベルでの電力消費削減方式では、MHD にとって不要なマルチキャスト、ブロードキャストパケット受信を回避するため、上記設定パラメータの ReceiveDTIM を変更して、DTIM 情報要素を含むビーコンが通知されるタイミングで MHD が Awake しない超省電力(Extreme Low Power)モードに変更する。これにより、すべてのマルチキャスト、ブロードキャストが未受信となる。その上で、必要なパケットのみをユニキャストパケットにより受け取るために、MHD は同一サブネット内に設置する代理応答サーバからのパケットを一旦受信し、マルチキャストまたは、ブロードキャストパケットとしてアドレス変換を行うことによって上位アプリケーションに対しては、無線 LAN デバイスドライバレベルでの修正を意識させない作りとする(図 1)。この結果、MHD では代理応答サーバと連携して、マルチキャストに応じたポート番号の予約を行う必要があるものの、必要なパケットのみ受信することが可能となる。

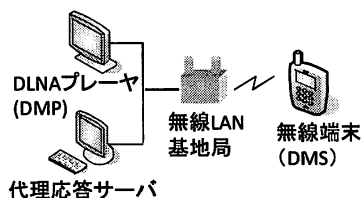


図 1 無線 LAN デバイスドライバ対応方式の構成例

表 1 変換テーブル例

	送信元 IP アドレス 送信元ポート番号	あて先 IP アドレス あて先ポート番号
変換前	192.168.1.2 30000	192.168.1.3 10000
変換後	192.168.1.2 30000	239.255.255.250 1900

表 1 は代理応答サーバ(192.168.1.4) から MHD (192.168.1.3) へのユニキャストパケット到着を契機として、マルチキャストパケットへ再変換を行うためのテーブルを示す。HND(192.168.1.2)からのマルチキャストパケットを受けた代理応答サーバでは、送信元 IP アドレスとポート番号を再利用することで送信元 IP アドレスを付加情報として加える必要がない。また、ユニキャストパケットに変換することにより TIM 情報要素を含むビーコンで通知されるため、MHD では PS-Poll によって取得が行われる (図 2)。

提案方式を導入した、MHD では、複数の MHD (PDA やスマートフォンなど) が混在するネットワーク環境において、不要なマルチキャスト・ブロードキャストパケットの回避が可能となる反面、無線 LAN デバイスドライバの修正ならびに必要なパケットをユニキャストパケットで通知する代理応答サーバが必要となるといった課題もある。

表2 MHD管理情報例

端末IPアドレス	メッセージ	処理内容	設定
192.168.1.249 (DMS)	NOTIFY (MediaServer)	転送不要	
	NOTIFY (InternetGatewayDevice)	転送	30分後毎
	M-Search	代理応答	以下のメッセージを送信する Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.1 200 OK\r\n Response Code: 200 CACHE-CONTROL: max-age = 1800\r\n EXT:\r\n LOCATION: http://192.168.11.10:30000/\r\n SERVER: OS UPnP/1.0 X-SERVER UPnP/1.0\r\n ST: urn:schemas-upnp-org:device:MediaServer:1\r\n USN: uuid:00000000-aaaa-bbbb-cccc-dddeeee0000:: urn:schemas-upnp-org:device:MediaServer:1\r\n \r\n
	NOTIFY (MediaServer)	代理通知	
	アドレス解決要求	代理応答	MACアドレスとして"11:22:33:aa:bb:cc"を返信する
192.168.1.250 (DMP)	NOTIFY (MediaServer)	転送	30分後毎
	NOTIFY (InternetGatewayDevice)	転送	30分後毎
	M-Search	応答不要	
	NOTIFY (MediaServer)	通知不要	
	アドレス解決要求	代理応答	MACアドレスとして"11:22:33:aa:bb:cc"を返信する
...	...	...	...

3.2. ネットワークセグメント対応方式

ネットワーク内の複数の MHD が一様にマルチキャスト・ブロードキャスト packets 受信を回避する場合、HND と MHD を 2 つのセグメントに分け、ゲートウェイによって MHD への不要な packets 到着を回避する方法が考えられる。一例として、図 3 に示すように 192.168.1.0 のクラス C で構成されるプライベートネットワーク内に、192.168.1.248/28 のセグメントを新たに設け、ここに MHD を収容することにする。ただし、図 3 のままでは MHD にとって必要な packets も破棄してしまうため、提案方式では代理応答ゲートウェイに以下の 4 つの機能も実装する。

- (1) 代理通知機能：SSDP NOTIFY(Alive)通知
- (2) 代理応答機能：SSDP M-SEARCH へのレスポンス
- (3) 代理 ARP 機能：MAC アドレス通知
- (4) 転送機能：SSDP NOTIFY(Alive)通知

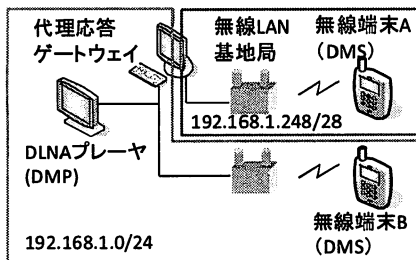


図 3 セグメント分割方式の例

具体的には、DLNA の DMS または DMP 機能を有する MHD は、ホーム NW 内のゲートウェイに対して、サービス開始要求を通知する。サービス開始要求には、自身の IP アドレスならびに、MAC アドレス、代理処理の内容について通知する。サービス開始要求を受けたゲートウェイでは、自身が管理する MHD 宛の SSDP M-SEARCH や ARP packets に対して代理応答の処理、必要な packets の転送処理、おひび定期的な SSDP NOTIFY による代理通知 (DMS の場合のみ) を行う。

表 2 にゲートウェイで管理する、端末 IP アドレス毎の処理内容の一例を示す。ここでは、192.168.1.249 の MHS を DMS、192.168.1.250 の MHS を DMP として代理応答ゲートウェイに登録を行っているものとする。DMS では、他のデバイスからの SSDP NOTIFY は不要であるため転送不要としている。一方、IGD に関する情報については、UPnP DA の仕様に従い 30 分ごとに通知されれば十分であり、仕様からの逸脱により過剰な packets 受信が起こらないように 30 分後毎としている。また、DLNA サーバ機能を発見するための SSDP M-SEARCH への応答が必要な場合、代理応答ゲートウェイによって予め指示されたメッセージを応答し、定期的な通知については代理通知により SSDP NOTIFY を送信するように設定している。DMP では、MediaServer、IGD に関する SSDP NOTIFY 情報は必要であるため転送を、SSDP MSEARCH へのレスポンスならびに SSDP NOTIFY は不要であるため応答・通知不要と設定している。

図 4 には提案方式による DMP への代理応答を示す。DMP からの SSDP(M-SEARCH)に対して無線端末 B では DTIM 情報要素を含むビーコンのタイミングで Awake するとともにパケットの受信と SSDP(REPLY)による応答が行われる。一方、無線端末 A は代理応答ゲートウェイにより異なるセグメントとなっており DTIM で通信すべき情報がないため、パケット受信を回避できるとともに、その応答は生成せず、代理応答ゲートウェイが代理応答を行う。このため、無線端末 B に比べてパケット受信および、送信において省電力化が可能であることが分かる。

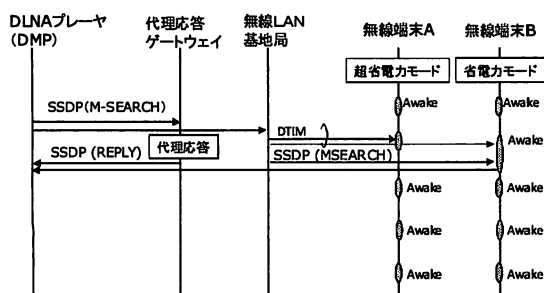


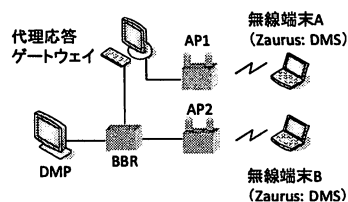
図 4 SSDP(M-SEARCH)への応答例

3.3. 提案方式の比較

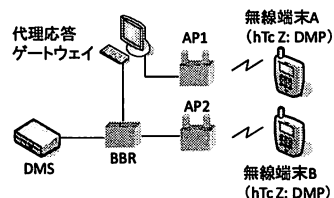
本稿で提案する無線 LAN デバイスドライバレベルと、ネットワークセグメントレベルの 2つの方法について表 3 にまとめる。表 3 より提案する 2つの手法はネットワーク構成への変更を必要としない点を重視した場合には前者が、MHD への実装を必要としない点を重視した場合には後者が有効な方式であると考えられる。また、電力消費削減の観点では、DTIM 情報要素を含むビーコン受信の Awake を廃止する無線 LAN デバイスドライバレベルでの対応がより効果があることがわかる。しかしながら、MHD として携帯電話を想定すると、実装を変更することは非常に困難である。そこで、本稿では、ネットワークセグメント対応方式について実装を行った。

表 3 提案方式の比較

	無線 LAN 対応方式	ネットワークセグメント対応方式
MHD 実装	×(修正必要)	○
代理応答 GW	×(必要)	×(必要)
セグメント分割	○	×(必要)
GW 連携	△(ユニキャスト変換・送信必要)	△(該当パケットの応答・転送必要)
対象アプリ	△(一部限定)	△(一部限定)
電力消費削減効果	○	△(Awake するがパケットは未受信)

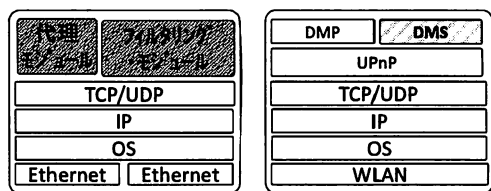


(a)Zaurus 評価環境



(b) hTc Z 評価環境

図 5 試験環境



(a)代理応答ゲートウェイ

(b) MHD

図 6 機能追加・修正部分 (斜線)

4. 実装評価

本章では、ネットワークセグメント対応方式の実装について述べた後に、その評価結果を示す。評価にあたっては、図 5 に示す DLNA デバイスと IGD がそれぞれ一台からなる試験環境を構築し、複数台で構成するホーム NW 環境評価に向けた基礎データの取得を行った。代理応答ゲートウェイは Linux をインストールしたデスクトップ PC を、MHD は SHARP Zaurus SL-C1000、NTT ドコモ hTc Z の 2 種類を用い、それぞれのバッテリーの残量の評価を行った。

実装に当たっては、図 6 にそれぞれ示す代理応答ゲートウェイおよび、MHD の各レイヤ部分に対して機能追加・修正を行った。図 6(a)の代理応答ゲートウェイにおける代理モジュールでは、SSDP M-SEARCH、ARP に対する応答を、フィルタリング・モジュールでは SSDP NOTIFY に対する転送または破棄がなされるように機能追加を行った。また、図 6(b)の MHD では DMS に対して SSDP NOTIFY を通信開始時のみ行い、それ以降はサーバのアプリケーション終了または、任意の時間まで代理応答ゲートウェイに代理通知を依頼するように修正を行った。通常、DMS は 30 分毎にホーム

NW 内の DMP に対する SSDP NOTIFY(Alive)により自身の存在を通知する。このため、代理応答ゲートウェイでも、無線端末 A からの要求を契機として 30 分毎に SSDP NOTIFY の代理通知を行うように設定した。

評価にあたっては、無線 LAN 環境の干渉が少なくなるチャンネルを選択するとともに、802.11b を用いた Zaurus では 5 回の平均値を静止状態(DMS のみ起動)と、802.11g を用いた hTc Z では 4 回の平均値を静止状態(DMP のみ起動)とした。また、DTIM、TIM ビーコン間隔は、BBR のデフォルト値である 5, 100ms とした。

図 7 は、Zaurus を用いた場合のバッテリー状態の変化を示す。無線端末 A、B とともに 5 時間を過ぎたところからバッテリーの残量の急激な減少がみられた。最終的なバッテリーの持ち時間は、平均 5 時間 30 分と 5 時間 36 分となり、提案方式の導入により約 2% の改善が見られた。また、図 8 は hTc Z を用いた場合のバッテリー状態の変化を示す。Zaurus 同様に無線端末 A、B の間でのバッテリー状態に大きな変化はなく、最終的なバッテリーの持ち時間は、平均 15 時間 58 分と 15 時間 43 分となり、提案方式の導入により約 2% の改善が見られた。なお、本試験環境は DLNA デバイスと IGD を各 1 台接続した基本構成であるため、複数台の DLNA デバイス (TV、HDR、NAS など) や、Windows PC がホーム NW に接続した場合には、その効果は最低でも 2 倍程度になることに加え、UPnP の仕様からの逸脱度合により更なる増加も予想される。また、複数のホーム NW 同士を相互接続する場合には接続数分の効果が得られると考えられる。

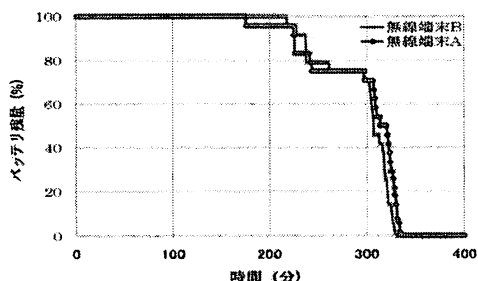


図 7 Zaurus 利用時のバッテリー状態

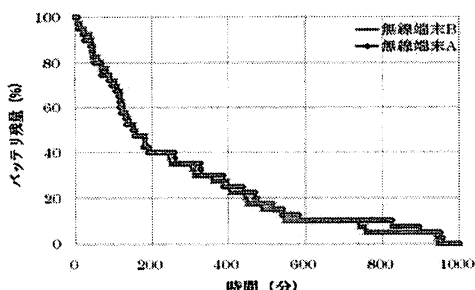


図 8 hTc Z 利用時のバッテリー状態

5. まとめ

本稿では、UPnP/DLNA を対象アプリケーションとする MHD にとって不要なマルチキャスト・ブロードキャストパケットをフィルタリングするための無線 LAN デバイスドライバレベルと、ネットワークセグメントレベルの 2 つの取り組みについて提案し、後者について実装・評価を行った。今回の試験環境では、DLNA デバイスと IGD を各 1 台接続した基本構成に対して Zaurus SL-C1000、hTc Z とともに約 2% の改善効果となった。より一般的には複数台の DLNA デバイス、Windows PC がホーム NW に接続されており、更なる改善効果も期待される。

今後は、複数台の DLNA デバイス (TV、HDR、NAS など) に加え、Windows PC を加えた環境における定量的な効果測定を行うとともに、MHD を構成する各モジュールの消費電力をモデル化した定性的な解析も行う予定である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、有益なコメントをいただいた山田暁氏に感謝する。

文 献

- [1] <http://www.dlna.org/>
- [2] <http://www.upnp.org/>
- [3] UPnP Forum, "UPnP Device Architecture 1.0", Ver.1.0.1, (2003).
- [4] UPnP Forum, "UPnP AV 1.0", Ver. 1.0.1, 2003.
- [5] DLNA, "DLNA Networked Device Interoperability Guidelines v1.5," Ver. 1.5, 2006.
- [6] ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition (R2003) Information technology Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [7] <http://www.zigbee.org/>
- [8] 茂木信二, 田坂和之, テープウィロージャナボンニワット, 堀内浩規, "情報家電の広域 DLNA 通信方式の提案," 信学技報, Vol.107, No.6, NS2007-13, pp. 71-76, 2007.
- [9] 湯浅光平, 川本良太, 古畑和憲, 江守拓実, 阪田史郎, "情報家電ネットワークを構成する DSNA/UPnP-ZigBee ゲートウェイにおけるセンサデータ収集制御方式," 信学技報, Vol.106, No.358, IN2006-110, pp.127-132, 2006.
- [10] 江守拓実, 川本良太, 古畑和憲, 湯浅光平, 阪田史郎, "DLNA, UPnP 情報家電ネットワークと ZigBee センサネットワーク間の相互運用を可能にするゲートウェイの検討", 信学技報, SN2006, 2006.