

ネットワーク家電の待機消費電力低減システム

会津 宏幸 寺本 圭一

(株) 東芝 研究開発センター 通信プラットホームラボラトリー

家庭におけるホームネットワークの普及によって、ネットワーク対応家電の普及が進んでいる。近年、家電機器設計における省電力化技術の向上によって、家電機器の待機時の消費電力は減少傾向にあったが、ネットワーク対応家電の登場によって待機時の消費電力が増加する傾向が見られるようになってきている。これは従来より、ネットワークシステムは常時稼働し、定期的に通信することを前提にしていることに加え、ユーザにとっての利便性を維持するために、ネットワーク処理部を休止状態にできないことに起因する。本論文では、これら常時稼働が前提でつくられた IP ネットワークシステムを見直すことで、利便性を維持しつつネットワーク家電の待機消費電力を低減することのできるネットワークシステムを検討、提案する。

The power consumption reduction system for network appliance

Hiroyuki Aizu Keiichi Teramoto

Corporate Research & Development Center, TOSHIBA Corporation

Network appliances have come into wide use recently. The power consumption of electric appliances is decreasing with advanced design and technology. But appearance of network appliances tends to increase power consumption. This reason is the IP network system has been designed on the assumption that network devices could always be powered on and work at any time. In this paper, we propose the power consumption reduction system for network appliances.

1 はじめに

家庭におけるホームネットワークの普及に伴い、ハードディスクレコーダをはじめとしたデジタルAV家電や、冷蔵庫、洗濯機やエアコンなどの白物家電、セキュリティ機器などがネットワーク対応し、一般家庭へと広がりを見せている。ネットワーク対応家電は従来の家電と違い、ユーザがいつでも好きな時にネットワークを介して情報を得たり、機器に対して命令を送りコントロールすることができる利便性を生み出している。また、ユーザによる明示的な操作だけでなく、機器同士がネットワーク通信によって情報を送り合うことで連携動作するという、新しい動作形態も生み出した。ネットワーク家電はユーザや他の機器からのリクエストに常時答えることが求められるようになってきており、こうした要求に対応するため、ネットワーク処理部に常時通電しておく必要性が高まっている。

近年、家電機器設計における省電力化設計の努力によって、家電機器の待機時の消費電力は減少傾向にあったが、こうしたネットワーク対応機器の登場によって、従来からの傾向に反して、待機時の消費電力が増加する傾向が見られるようになった。ネットワーク機能の追加による消費電力の増加は、今後問題になることが予想される。中でも洗濯機や電子レンジなどの、いわゆる白物家電においては、機器の未使用時に

待機消費電力を0（ゼロ）とすることが白物家電業界において製品化の必要条件となってきたこと、このことがネットワーク機能の常時稼働を実現する際のひとつの障壁となっている。

また、ネットワーク家電を稼働させる場合、家電単体のみではネットワークを構築することはできず、ネットワークを構成するルータ、ネットワークスイッチやハブなどのネットワーク機器が必要である。現在は、それらの機器も常時稼働させることが前提となっており、その消費電力も軽視できない。

AV系家電ではリモコン機能やタイマー機能のために、常時通電が行なわれている。しかし、電気代節約のためにTVなどの機器をメインスイッチによって電源を切ったり、コンセントを抜くなどして、電力供給を完全に止めてしまう人も存在する。リモコンによって電源投入が行うことができず利便性は悪くなるが、少し体を動かしたり、手を伸ばすなどすれば補うことができる。このように、従来の家電の利用形態は、基本的に人が手を伸ばせば手の届くような、目の前の物を操作するというものであった。それに対してネットワーク家電の利用形態の特徴の一つは、離れた場所にある家電を利用できるという点である。離れているが故に、もし家電が電力節約のために完全に電源を断っていた場合、電源投入のためにその離れた場所まで移動する大変な手間となる。電力節約と利便性のバランスが崩れて利便性のために電力節約はあきらめること

につながっている。

本論文では、常時稼働が前提でつくられた IP ネットワークシステムを見直すことで、利便性を維持しつつネットワーク家電の待機消費電力を低減することのできるネットワークシステムを検討、提案する。

2 従来システムの問題点

2.1 ネットワーク起動コントロール

従来からネットワーク・インターフェースを有する計算機などの待機時の消費電力を抑える代表的な技術として、WoL(Wakeup on LAN)が存在する。IP で用いられている通信メディアの主力である EthernetTM、つまりレイヤ 2 上の技術であり、待機状態にある機器をネットワーク越しに稼働状態に復帰させることが可能である。WoL 対応の機器は、イーサネットコントローラのみ通電され、CPU をはじめとして他の機能は電力供給を止めるなどして省電力状態で待機する。イーサネットコントローラは Magic PacketTM [1] と呼ばれる Ethernet パケットのペイロードに自 Ethernet インタフェースに付与されている Ethernet アドレスを 6 個以上含んだパケットの着信を待つ。図 1 に Magic Packet の Ethernet パケットの例を示す。

```
DESTINATION SOURCE MISC. FF FF FF FF FF FF
11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66
11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66
11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66
11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66
11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66
11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66 11 22 33 44 55 66
11 22 33 44 55 66 MISC. CRC.
```

図 1 Wakeup on LAN packet

待機状態の機器を復帰させたい場合、ネットワーク上に k の Magic Packet を送信する。この時、Ethernet パケットとして、宛先 (DESTINATION) に格納する Ethernet アドレスは Ethernet ユニキャスト/ブロードキャスト/マルチキャストいずれでもよい。

パケットのペイロードに、起したい機器の Ethernet アドレスを格納しなければならないため、事前に機器の Ethernet アドレスを知っていることが必要となる。現在、Wakeup on LAN が用いられる場合は、アプリケーションが明示的に Magic Packet を発行するしか方法がない。機器の Ethernet アドレス情報の設定方法は以下の 3 通りが考えられる。

- 人手によって手動でアプリケーションに入力
- 機器と通信した際 IP アドレスから ARP テーブルを参照して Ethernet アドレスを取得
- 機器間で通信プロトコルを用意し、Ethernet アドレス情報を交換

人手によって手動で管理するのは、オフィスネットワークなどにおけるパソコンの集中管理システムのように、ある程度の知識を持った管理者の存在を前提としたシステムであれば実現可能である。しかし、ホームネットワークにおいては初期設定作業をユーザに強いることは困難であり、人手によって手動で Ethernet アドレス情報を収集する方式をとることはできない。

2.2 ネットワークアドレッシング

現在のネットワーク家電で用いられているネットワーク技術である IP(Internet Protocol) は基本的に機器が常時稼働して、常に通信可能状態にあることを前提に設計されている。IP 自身や IP を用いた上位プロトコル、アプリケーションもまた常時通信可能、常時応答可能であることを前提に作られている。

ARP(Address Resolution Protocol) は、Ethernet アドレスと IP アドレスを対応づけるのに使われるプロトコルである。同一サブネット内の IP ホストに対してデータを送信する場合、IP パケットを Ethernet パケットにのせてを送ることになる。その際、Ethernet ヘッダの宛先アドレスには、宛先の IP ホストの Ethernet アドレスを指定する。初期状態では、送信元 IP ホストにとって相手の Ethernet アドレスは不明である。そこで相手の IP アドレスを指定した ARP リクエストパケットを Broadcast する。このパケットは全ホストに配送されるが、受信側で指定された IP アドレスが自ホストの IP アドレスであった場合にのみ返答を返す。これによって、送信元ホストは相手ホストの Ethernet アドレスを知ることができ、以後の通信が可能となる。ホストが待機状態になり、ネットワークパケット処理ができない状態になると、ARP リクエストに対して返答することができず、送信元は Ethernet アドレスを知ることができずにタイムアウトによって通信をあきらめることになる。

DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) はホストが利用する IP アドレスやルータアドレスなどの必要な情報を自動的に付与するためのプロトコルである。現在、ホームネットワークにおいて、機器が用いる IP アドレスはこの DHCP によって自動設定する形態で使うことが主流である。ユーザによる IP アドレスの設定作業をなくし、初期設定を簡便にできることや、アドレスの設定ミスによる動作不良を避けることができるためである。DHCP において、DHCP クライアントは、DHCP サーバに IP アドレスを要求し、DHCP サーバから付与された IP アドレスを使用する。この際、与えられた IP アドレスには有効期限が設定され、その期間だけ使用できる。有効期間が切れる前に、期間延長を DHCP サーバに要求することとなっている。ネットワークインタフェースが一旦、待機状態となり、通信を止めた状態になると、DHCP クライアントとして有効期限の延長更新を行うことができなくなる。よって、再度自発的に外部と通信を行うためには、IP アドレスの取得からやり直す必要があり、通信再開までにタイムラグが生じる。このことがネットワーク家電が稼働時に、ネットワーク機能を利用していない状態であっても、ネットワークインタフェースを停止させることができない理由の一つとなっている。

3 拡張ホームルータによる宅内機器のウェイクアップ制御

今回、宅内にあるハードディスクレコーダに対して宅外から PC、PDA や携帯電話を用い、HTTP によってアクセスして録画予約を行うシステムへの応用を想定し、待機電力の低減を実現するためのシステムについて提案する。本システムにより、ハードディスクレコーダは録画や再生動作を行っていない場合に、録画機能部およびネットワーク部を待機状態とし、消費電力を抑えることができ、ユーザの直接操作もしくは、ネットワークを通じた通信要求に応じて、通常状態に復帰することが可能となる。

3.1 アプローチ

待機状態にある時に、ネットワークを通じた通信要求に応じて復帰するための手段として、Wake up on LAN を用いることとする。これは既存のテクノロジーであり、新たなハードウェアを開発しなくて済むのと、ネットワークインフラに対する変更も必要がないという利点がある。また、宅外からは携帯電話などの端末を用いてコントロールするために、端末に対する変更を加えなくて済むようにする。

3.2 基本システム構成

図 2 に基本システム構成を示す。

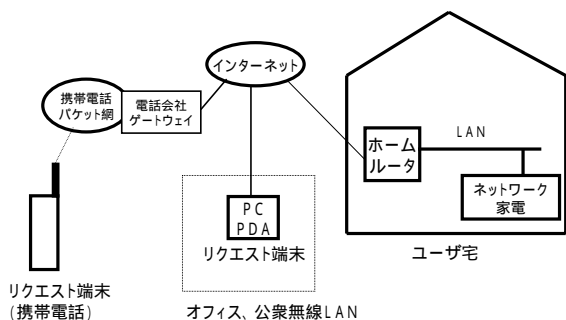


図 2 Home Network

ユーザ宅の宅内 LAN はホームルータを介してインターネットに接続されている。宅内 LAN はプライベートアドレスを用いている。ホームルータは IP forwarding 機能を持っており、外部からのアクセスに対しては、port forwarding 設定に従って、そのパケットを宅内機器に転送することができる。宅外からは、PC や PDA を用い、オフィスネットワークや公衆無線 LAN 経由でインターネットを介してユーザ宅にアクセス可能とする。また、携帯電話端末からも携帯電話パケット網およびゲートウェイを介してインターネットを通し、ユーザ宅にアクセス可能とする。

3.3 システム動作手順

図 3 を用い、システムの動作手順を説明する。最初にネットワーク家電は起動すると UPnPTM

(Universal Plug and Play)[6] を用い、ホームルータに対して、ある TCP port 番号に対するアクセスパケットをネットワーク家電に転送するように、port forwarding の設定を行う。ホームルータは port forwarding 管理テーブルに記録する。ここまでは、一般のホームルータと同じ動作である。図 4 にその port forward 設定テーブルの例を示す。提案システムでは、この時にハードディスクレコーダの Ethernet アドレスを調べ、port forwarding 管理テーブルに記録する。Ethernet アドレスは、IP アドレスから ARP テーブルを引いて調べることができる。また、ホームルータが DHCP サーバを担っていれば、DHCP 管理テーブルから調べることができる。

ホームルータに対して宅外から携帯電話や PC によるアクセスがあると、ホームルータはアクセス要求の TCP port 番号から port forwarding 管理テーブルを参照して、管理テーブルに記載の IP アドレスに対してパケットを転送する。ハードディスクレコーダが待機状態であった場合、管理テーブルには IP アドレスが記載されていなかったり、記載されている IP アドレスに対する Ethernet アドレスが ARP テーブルに存在しない可能性があり、その場合にはパケットを転送することができない。この時、別途作成しておいた対応テーブルに記載されている Ethernet アドレスに対して、Wake up on LAN パケットを送出し、機器に対して起動要求を行う。機器は起動したら DHCP アドレス要求を Broadcast で出すので、これを検知し起動を検知する。

ホームルータは DHCP サーバを行っていたらアドレスを付与する。起動を確認したら、その IP アドレスに対してパケットを転送する。以後の動作は通常のホームルータの動作と同じである。ネットワーク家電は、転送されたパケットの内容に応じて動作を行うが、通常は、ユーザ認証などのセキュリティ手順を行った後、実際の操作コマンドの受付・処理へと進んでいく。

3.4 提案方式の特徴

この方式の利点は、PC や携帯電話側に特に対応のための改変は必要なく、既存の TCP/IP ソフトウェア

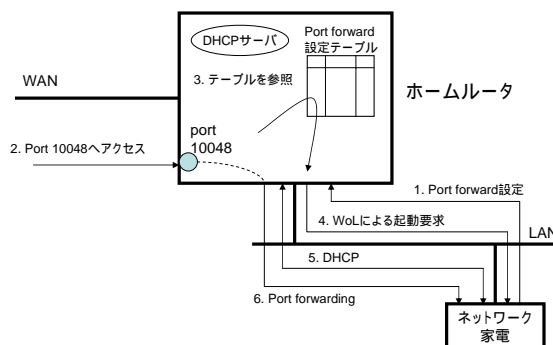


図 3 拡張ホームルータの動作例

| Port番号 | TCP/UDP種別 | Forward先:IPアドレス | MACアドレス |
|--------|-----------|-----------------|-------------------|
| 80 | TCP | 192.168.0.50 | 00:11:22:33:44:55 |
| 8080 | TCP | 192.168.0.51 | 99:88:77:66:55:44 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

図4 port forward 設定テーブル

そのまま、待機中のハードディスクレコーダを起動した上でアクセス可能となる。特に携帯電話には新しく機能を追加し普及させることが難しいため、この方式は有効であると考えられる。

欠点としては、悪意のある者によるポートスキャンによって、待機中の機器が起動してしまう可能性が存在する。ネットワーク家電側で、そのアクセスが受け付け不可能なリクエストであったら、すぐに待機状態に戻るようにすることで、消費電力は十分抑えられる。また、ホームルータ側でポートスキャンを検知したらそのアクセスを遮断する機能を持たせることで、不正アクセスによる起動を回避することも可能である。

4 関連研究

通信機器において、ネットワークインタフェースを待機時に停止することで待機時の消費電力を低減することに関連する研究について紹介する。

4.1 The Green TCP/IP Project

The Green TCP/IP Project[2] では、TCP/IP 通信における消費電力の削減について研究を行っている。

論文 [3] において、TCP の状態に SLEEP 状態を設け、待機状態に入る前に SLEEP 状態を通信相手に通知する。これにより復帰するまで通信相手はパケットを送ることをしなくなるため、タイムアウトが発生することを回避することができる。すなわち、待機状態に入る前後で TCP のコネクションを維持することが可能となる。

論文 [4] においては、Ethernet コントローラにパケット処理機能を設け、待機中に届いたパケットを処理し、可能なら代わりに返事を行うことを検討している。ARP 処理や DHCP のアドレス維持が可能になる。

このプロジェクトで行なわれているような TCP/IP の拡張といった既存プロトコルの変更は普及に時間がかかる。しかし、常時通信可能を前提としている TCP/IP を見直し解決していくアプローチは重要である。Ethernet コントローラの機能追加によって単純な

処理を代行させ、メイン CPU を止めるアプローチも有用であると考えられる。

4.2 Wake on Wireless

Wake on Wireless[5] では、無線 LAN における Wakeup on LAN 機能について研究を行なっている。802.11 の無線 LAN は、TCP/IP として通信を行わない待機状態であっても、無線部の消費電力が大きく、無線機器など電池で駆動する電力が限られた機器において長時間の駆動が難しい。IP 電話システムを実現するとしても、待ち受け時間が限られてしまう。そこで、通信速度は低いが消費電力の小さい無線デバイスを用い、待機時は 802.11 の無線部を停止し、消費電力のより小さい無線デバイスをシグナリングに用いる方式によって、待ち受け時間を延ばすことを実現している。

待機状態における通信は、それほど帯域や通信速度は要求されない。従って、低速であっても消費電力の少ない通信メディアをシグナリングに用いるアプローチもまた有効であると考えられる。

5 おわりに

本稿では、待機状態にある宅内機器に対して宅外からシームレスに電源の投入および、その後の通信を可能とするシステムについて提案を行なった。起動コントロールを行う部分については既存テクノロジーである Wakeup on LAN を用い、宅外機器に対して特に機能追加を必要としないシステムとするため、ホームルータに拡張を加えることとした。今後、宅内機器同士の通信における、待機状態からの復帰を可能とするシステムについても検討していく。また、ルータ、ネットワークスイッチやハブなど、通信区間の中間に存在するネットワークインフラ機器の消費電力低減も含めた検討を行なっていきたい。

参考文献

- [1] AMD, "Magic Packet Technology", White paper, http://www.amd.com/us-en/assets/content_type/white_papers_and_tech_docs/20213.pdf
- [2] The Green TCP/IP Project, <http://www.csee.usf.edu/~christen/greentcp/main.html>
- [3] L. Irish and K. Christensen, "A 'Green TCP/IP' to Reduce Electricity Consumed by Computers," Proceedings of IEEE Southeastcon, pp. 302-305, April 1998.
- [4] K. Christensen, "The Next Frontier for Communications Networks: Power Management," Proceedings of SPIE - Performance and Control of Next-Generation Communications Networks, Vol. 5244, pp. 1-4, September 2003.
- [5] E. Shih, P. Bahl, and M. Sinclair, "Wake on Wireless: An Event Driven Energy Saving Strategy for Battery Operated Devices", Proceedings of the Eighth Annual ACM Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 160-171, September 2002.
- [6] Universal Plug and Play, UPnP FORUM, <http://www.upnp.org/>