

家庭における電力センシングネットワークによる エネルギーマネジメント

山崎達也[†] Jaewook Jung^{†,‡} Youngjae Kim[‡] Minsoo Hahn[‡] 豊村鉄男[†] Rui Teng[†]

丹 康雄^{†,¶} 松山隆司^{†,§}

[†] 情報通信研究機構 〒619-0289 京都府相楽郡精華町光台 3-5

[‡] Digital Media Laboratory, Information and Communications University, Korea

[¶] 北陸先端科学技術大学院大学 〒923-1292 石川県能美市旭台 1 丁目 1 番地

[§] 京都大学 〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町

E-mail: yamazaki@nict.go.jp

あらまし 家庭内の情報ネットワークと電力ネットワークの統合を目指し、4フェーズの開発プロセスより構成される新たな電力センシングネットワークを提案する。第1のフェーズでは、家庭内のあらゆる電気機器に取り付けられる電力センシングモジュールにより、各機器の電力使用状況をリアルタイムに計測・分析し、生活者の行動パターンのモニタリングなどを行う。第2のフェーズにおいては、電力消費平準化によるエコ生活支援などを行うため、各機器のモジュールに電力制御機能を付加し、各電気機器の制御をネットワーク経由で行う。さらに第3フェーズでは、家庭内の発電および蓄電装置もネットワークに接続することで、家庭内のトータルな電力マネジメントシステムを構築し、最終第4フェーズでは、地域内の家庭同士をネットワークで結び、相互に電力のやり取りを可能にする地域エネルギーマネジメントシステムへの発展を目指す。

キーワード ホームエネルギーマネジメント、電力センシング、電力制御、行動パターン推定

Energy Management in Home Environment Using a Power Sensor Network

Tatsuya YAMAZAKI[†] Jaewook JUNG^{†,‡} Youngjae KIM[‡] Minsoo HAHN[‡] Tetsuo
TOYOMURA[†] Rui TENG[†] Yasuo TAN^{†,¶} and Takashi MATSUYAMA^{†,§}

[†] National Institute of Information and Communications Technology

3-5 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0289 Japan

[‡] Digital Media Laboratory, Information and Communications University, Korea

[¶] Japan Advanced Institute of Science and Technology 1-1 Asahidai, Nomi, Ishikawa 923-1292 Japan

[§] Kyoto University Yoshida-Nihonmatsu-cho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan

E-mail: yamazaki@nict.go.jp

Abstract Targeting at integrating an information network with a power network in home environment, we propose a novel power sensor network consisting of four development phases. In the first phase, a sensor networking module is attached to each electrical appliance and power consumption data are collected via the module. By analyzing the collected data, we extract behavior patterns of residents that can be utilized for user consultation of the realization of safe, economical, and comfortable life. In the second phase, the appliance control function is added to the sensor networking module in order to control electricity consumption of the appliances via network. Consequently, it makes life economical by averaging power consumption. The third phase aims at a total power management system by connecting networked appliances including power generators and batteries through home network. Finally, in the forth phase, a regional community power management system that enables us to trade power reciprocally will be deployed by connecting each power management system in home. As the result, a efficient and disaster-resistant social infrastructure will be realized on the basis of super distributed power network.

Keyword Home Energy Management, Power Sensing, Power Control, Behavior Pattern Estimation

1. はじめに

2005年2月16日に、我が国の二酸化炭素排出量を1990年比で2008年から2012年の間に6%削減することを約した京都議定書が発効され、二酸化炭素排出量削減は国民全体の社会的問題として認識されている。このような背景の下、ICT（情報通信技術）による二酸化炭素排出量の削減にも大きな期待が寄せられている[1]。

我が国の最終エネルギー消費を、産業部門・民生部門（家庭・事務所）・運輸部門別に見てみると、近年は産業部門におけるエネルギー消費は省エネルギーの取り組みが進展のお陰で一定の水準で推移しているが、その一方で民生部門や運輸部門ではライフスタイルの変化に伴いエネルギー消費が増加してきている。京都議定書で約された削減目標を達成するためには、民生部門あるいは運輸部門でのさらなる努力が必要であると考えられる[2]。

民生部門においてICTを用いた省エネルギー対策として、HEMS (Home Energy Management System) や BEMS (Building Energy Management System) の研究開発が行われてきた[2],[3]。これらのシステムは、家庭やオフィスに設置されたセンサやコントローラを用いて、生活者や作業者が意識せずに省エネルギー制御を自動的に行おうとするものである。例えば、テレビに人感センサを設置し人の不在検出を行い、誰もテレビを見ていない時には自動的にテレビの電源を切るというシステムの開発が行われてきた[2]。実際の住宅における省エネルギー効果の検証も行われ、そこでは人の在・不在に従って機器を直接制御することによる省エネルギー効果は0.6~3.3%という結果が得られており、その効果は期待されたほど高くはなかった。その一方で、エネルギー使用量を表示することにより居住者に省エネルギー意識を喚起させる間接的な省エネルギー効果が5~15%と大きかったことがわかっている[3]。

直接制御により省エネルギー効果をより向上するためには、電力ネットワークと情報ネットワークの統合により、実世界の人間の行動パターンに応じてプロアクティブ (proactive) にエネルギーを制御し、管理していくことが必要となる。すなわち環境側からより多くの情報を収集し、可能な機器には連続的な電力制御を行うようなシステムを提案するものである。ここで連続的電力制御とは、電気機器に供給する電力を決められた割合でカットできるようにし、機器を使用する際の過度な電力消費を削減するように、システム側から制御することである。さらに提案システムでは、ホームネットワークにつながる発電機器や蓄電機器もマネジメントの対象とし、発電量や電力消費量の変化をリアルタイムで監視・制御することにより、家庭に

おけるトータルマネジメントを実現した上で、将来的には地域内の家庭間のシステムが協調し、地域全体のエネルギーの需給バランスを保持するという、コミュニティレベルのエネルギーマネジメントへの対応も想定している。

本稿ではこのような機能を持つシステムをプロアクティブ HEMS と呼び、新たな家庭内電力センシングネットワークとして位置づけ、4段階で構成されるプロアクティブ HEMS の開発フェーズを提案する。第一フェーズと第二フェーズの開発を進めており、実際に開発したセンシングモジュールについて述べ、さらに複数機器の電力消費をモニタリングすることにより得られる、生活者の人数による電力消費パターンの相違について述べる。

2. プロアクティブ HEMS の開発フェーズ

ここでは、プロアクティブ HEMS の開発を4フェーズのプロセスとして考え、各フェーズの考え方について述べる。

2.1. 第1フェーズ

第1のフェーズでは、家庭内の各電気機器の電力使用状況をリアルタイムに計測・分析し、生活者の行動パターンのモニタリングなどを実現する新たな家庭内の電力センシングネットワークの開発を行う。

これまで電力使用状況のモニタリングに関しては、電力消費情報の分電盤付近での収集や、給電線入付近での総負荷電流の高周波成分の測定により、家庭内の電気機器の動作を推定する方法が提案されてきた[4],[5]。このようなある箇所で集中的に電力消費情報を収集する場合は、複数の機器の電力消費が重ね合わされて観測される場合が通常であり、観測データより個々の電気機器の動作を推定する方法が提案されている[5]。

一方、各機器のコンセントレベルで電力消費情報を収集すれば、個々の動作状態が明快にモニタリングすることができ、従来の HEMS やマサチューセッツ工科大学で開発が行われているユビキタスセンサネットワーク“Plug”[6]のように、個々の機器レベルで他のセンサ情報を組み合わせて取得することも可能になる。また、機器の種類や機能の情報（これらを機器情報と呼ぶ）や設置位置の情報も同時に用いることができれば、家庭内のどこでどのような機器が動作しているかが、より生活者の生活パターンに密着した形で取得することが可能になる。機器情報や位置情報をどのように取得するかは今後取り組むべき課題であるが、伊藤ら[7]は学習データが存在するとの前提の下、家電機器の消費電力から特徴量を算出し、機器の機種、動作状態、

接続位置を検出する方法を提案している。従って、今後は各機器のコンセントのレベルに電力消費センシングモジュールを設置して情報を取得する方が、より詳細な分析が行えると考えられ、我々もこのような分散型のセンシングネットワークを提案するものである。

2.2. 第2フェーズ

プロアクティブ HEMS の第2フェーズでは、前述の電力消費センシングモジュールに電力制御機能を付加し、各電気機器の電力制御をネットワーク経由で行うための開発を行う。電力制御は単なる電源の ON/OFF 制御ではなく、連続的電力制御も取り入れる必要がある。

高度なネットワーク制御が可能なデジタル家電であれば、規格化された制御コマンドにより設定をある程度連続的に変えることができるが、まだそのようなデジタル家電の普及率は極めて低い。現在家庭にある、いわゆるレガシーな家電に対して、連続的電力制御をどのように実現していくかが開発の一つのターゲットであると考えられる。

旧来よりある抵抗型の電気機器、例えば発熱電球を用いた照明機器などは、既存の位相制御により連続的電力制御が可能である。モーター駆動系の電気機器に対して位相制御を用いることは、高周波ノイズの発生などの問題があるため、ゼロクロス点を検出することにより波形制御を行うことで負荷に供給する電力を制御することが可能である場合もあるかもしれない。電気機器の種別に応じて適用できる連続的電力制御方式を明らかにしていくこと、あるいは新たな連続的な制御方式を開発していくことが必要である。

2.3. 第3フェーズ

現在、最も身近な家庭用の発電機器は太陽光発電システムであるが[8]、天然ガスコージェネレーションシステムの実用化も進み、さらには家庭用燃料電池の研究開発も精力的に行われており、今後は各家庭における分散型発電が普及していくと考えられる。同時に小型のリチウム二次電池の開発[9],[10]も日々進められており、家庭用蓄電池としての利用も近い将来実現するであろう。さらには電気自動車の実用化が目前に迫っており、家庭のネットワークと電気自動車がつながることにより、電気自動車は移動型の蓄電池の役割を果たすことになる[11]。

プロアクティブ HEMS の第3フェーズでは、これらの家庭内の発電および蓄電装置もネットワークに接続し、家庭内の発電、蓄電の状況をリアルタイムに把握し、電力消費との需給バランスをとることで、家庭内のトータルな電力マネジメントを行うためのシステム

開発を行うものである。

第3フェーズの実現により、全国平均で約5%にもなっている発電所から需要家までの送配電損失をかなり減らすことができ、二酸化炭素排出量の削減にも資することができる。

2.4. 第4フェーズ

第4フェーズでは、第3フェーズの家庭レベルのトータルなエネルギーマネジメントを、地域のコミュニティレベルに拡張するための開発を目指す。このフェーズでは、コミュニティ内の家庭同士がネットワークで結ばれ、相互に電力のやり取りを行うことにより、電力の需給バランスをより効率化させる。そのためには、各需要家の配電系統と基幹系統の間のバランスをとることが必要であり、そのためにコミュニティレベルでの蓄電施設の設置・管理・制御などを考える必要がある。また、料金のことを考えると、どの需要家からどの需要家に電力が供給されたのかを的確に把握する方式の開発も重要な開発ファクタとなってくる。

第4フェーズの開発には克服すべき課題が多数あるが、このようなシステムを実現は二酸化炭素排出量削減による環境への貢献だけでなく、災害により発電施設より分断されたコミュニティが自律的にエネルギーマネジメントを行い、電力インフラが復旧するまで互助できる社会基盤の構築へもつながるものである。

3. 開発システム

我々は現在、プロアクティブ HEMS の第1フェーズと第2フェーズの開発に着手しており、電力消費センシングモジュールを試作し、家庭内の様々な電力機器の電力消費状況のモニタリングと制御の実験を行っている。電力センシングの方法は2種類試みており、一つ目の試作した電力消費センシングモジュールの回路を図1に示す。

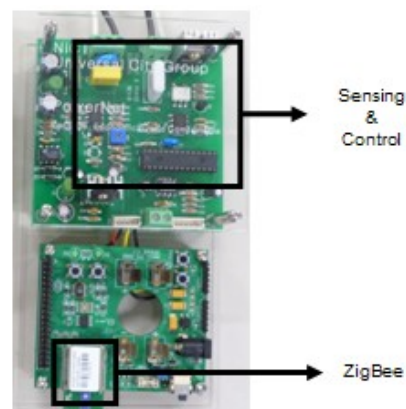


図1 シャント抵抗を用いた電力消費センシングモジュール

図1の回路は主としてセンシングおよび制御を行う部分と通信を行う部分から構成されている。前者の部分では PIC16LF73 を用い、8bits の A/D 変換を行い、シャント抵抗を用いた電力消費モニタリングを行っている。電力制御の方法としては、位相制御とゼロクロス点を検出することによる波形制御の2種類の連続的電力制御方式を実装している。

家庭内の各機器に一つの電力消費センシングモジュールが接続され、モニタリングされた電力消費情報は複数のモジュールを一括して管理するホームサーバへ通信される。今回開発したモジュールでは通信方式として ZigBee™ (ZigBee は Koninklijke Philips Electronics N.V.の登録商標)を用いたが、他の通信方式で代替することは可能であり、電力線搬送通信(PLC)を用いることも検討している。

2つ目の電力センシングの方法としては変流器(CT)を用いるものを試作しており、こちらの方がシャント抵抗を用いるよりも、回路と負荷を電気的に絶縁できる点では好ましいと言える。図2に CT を用いた試作回路を示す。



図2 CTを用いた電力消費センシング回路

図2の回路の中には電力消費センシングモジュールが4つ収納されており、複数の家電機器の電力消費モニタリングを同時に行うことができる。モニタリングされた電力消費情報はシリアル通信を用いて外部のホームネットワークに接続された PC へ送られ、最終的にホームサーバにモニタリング情報を集約することができる。

4. 電力消費モニタリング実験

複数の電気機器の電力消費をモニタリングすることにより、生活者の行動パターンの違いがどのように顕在するかを、試作した電力センシングモジュールを用いて実験した。実験は家を模擬したテストベッドで行い、テストベッドに設置した5種類の家電の操作パターンを電力消費モニタリングにより取得した。

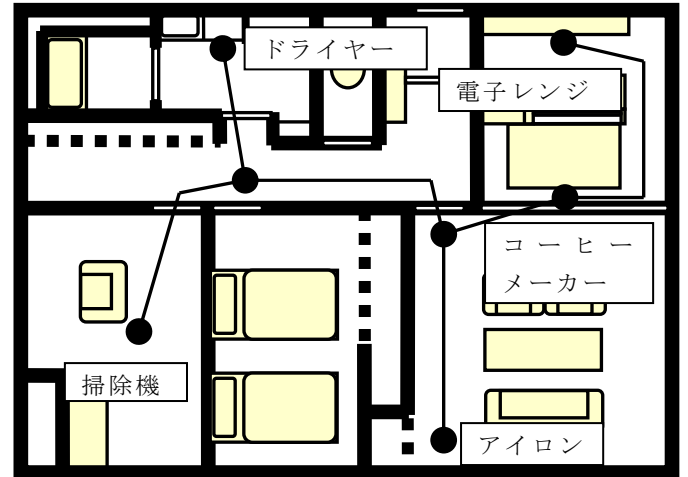


図3 実験を実施したテストベッドの間取りと仕様機器の配置

4.1. 実験手順

図3に実験を行ったテストベッドの間取りと使用した電気機器の配置を示す。テストベッドは2LDKの構成になっており、洗面所にドライヤー、キッチンに電子レンジ、ダイニングにコーヒーメーカー、書斎に掃除機、リビングにアイロンを配置した。それぞれの機器には図2に示す電力消費センシング回路が接続され、機器の消費電力を各回路に接続された PC において記録した。PC は NTP サーバによって時刻同期を行っており、複数機器の稼働状況を時系列で分析できるようになっている。電力消費センシング回路に接続されている家電の種類、および各家電のおおよその位置の情報は既知であるとの想定で実験を行った。

上記のような実験環境で、一人で電気機器を操作する場合(パターンA)と二人で電気機器を操作する場合(パターンB)の比較を行った。パターンAの場合、操作者は

- (1) 電子レンジでカップ1杯の水を温める
- (2) ドライヤーで物を乾かす
- (3) 掃除機で掃除をする
- (4) コーヒーメーカーでカップ1杯分のコーヒーを作る(水のみを用いる)
- (5) Tシャツにアイロンがけをする

という5種類の家電機器操作を行った。また、パターンBでは同様の手順を二人で分担して行った。具体的には操作者1は

- (1') コーヒーメーカーでカップ1杯分のコーヒーを作る(水のみを用いる)
- (2') ドライヤーで物を乾かす

の二つの家電操作を順に行い、操作者 2 は

- (1'') 電子レンジでカップ 1 杯の水を温める
- (2'') 掃除機で掃除をする
- (3'') T シャツにアイロンがけをする

の三つの家電操作を順に同時並行で行った。

4.2. 実験結果

パターン A とパターン B の代表的な実験結果を、それぞれ図 4 と図 5 に示す。両図ともに横軸は時刻を示しており、各電気機器の電力消費があった時間帯を水平のダイアグラム状で表している。電力消費値は表記せず、家電機器に通電のあった時間帯を示している図となっている。

図 4 より、操作者はまずドライヤーを用いてから掃除機を使用し、その後コーヒーマーカー、電子レンジをセットしてから、アイロンを使用したことがわかる。これだけの情報からでは操作者が一人であったか、複数であったか、判定することはできないが、最も通電開始が接近しているコーヒーマーカーと電子レンジの開始時刻の時間差は約 4 秒であり、両電気機器の距離が約 50 cm しか離れていないことを考慮すると、一人の操作とみなすことも十分自然であることがわかる。

一方、図 5 からは電子レンジの操作が行われた後にコーヒーマーカーが使われ、その後ほぼ同時にドライヤーとアイロンが使用されている（図中に重複部分と円で示した部分）。ドライヤーとアイロンの通電の開始時刻の時間差は約 1.5 秒であり、両電気機器の距離が約 10 m 離れていることより、この家庭には複数の人がおり、別々に電気機器を操作していると推測することができる。

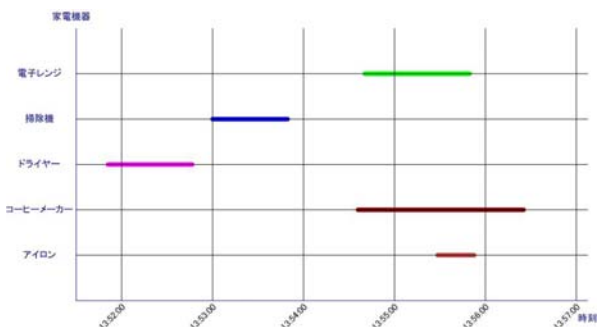


図 4 パターン A における典型的な電気機器操作の例

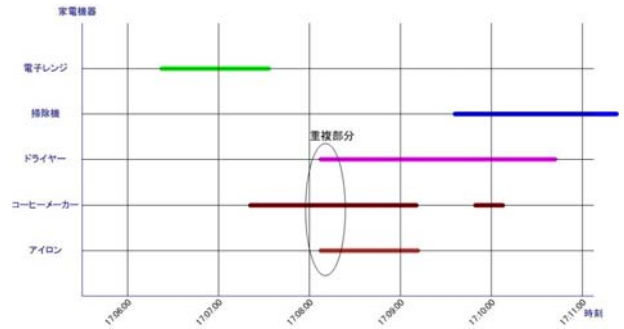


図 5 パターン B における典型的な電気機器操作の例

5. おわりに

家庭やオフィスにおいて、情報ネットワークと電力ネットワークを統合することにより、新たな生活支援ネットワーク基盤を構築することを提案した。特に家庭におけるトータルなエネルギーマネジメントを行うシステムをプロアクティブ HEMS と呼び、これを構築するための 4 フェーズより構成される開発プロセスについて述べた。

開発プロセスの第 1 のフェーズと第 2 のフェーズに着手し、開発した電力消費センシングモジュールを用いて複数の電気機器の消費電力をモニタリングする実験について述べた。その結果、電気機器の種類や位置関係などの実世界における情報と、ネットワークを用いて収集される電力消費情報を組み合わせることで、生活者の行動パターン的一端を推測できることを示した。

いかにして電気機器の実世界における情報を取得するかが今後の課題としてあげられる。詳細なスペックなどの電気機器情報を取得できることが望ましいと考えられるが、保温機能や充電機能がついている電気機器なのか、あるいは抵抗系かモーター駆動系なのか、というレベルでクラス分けされた情報が得られるだけでも、生活者の行動パターン推定に有用であると考えられる。

今後は上記の課題の研究開発を進めつつ、第 3 フェーズ、第 4 フェーズの実証を行っていく予定である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、常に適切な助言ならびに激励を賜りました、情報通信研究機構知識創成コミュニケーション研究センターの若菜弘充副研究センター長に深謝致します。

文 献

- [1] 青木忠一, “IT によるエネルギー消費の動向と IT 利用によるエネルギー削減,” 信学誌, vol.90, no.3,

pp.170-175, March 2007.

- [2] 工藤博之, “省エネルギーへの IT の応用 – 省エネは創エネ –, ”信学誌, vol.90, no.3, pp.183-190, March 2007.
- [3] 石田建一, 伊藤善朗, “IT 時代の計測・制御技術の動向 (4) HEMS による家電連動制御, ”空気調和・衛生工学, vol.80, no.5, pp. 53-61, May 2006.
- [4] N. Kushiro, S. Suzuki, M. Nakata, H. Takahara, and M. Inoue, Integrated Residential Gateway Controller for Home Energy Management System, IEEE Trans. Consumer Electronics, vo.49, no.3, pp.629-636, Aug. 2003.
- [5] 村田博士, 小野田崇, 由本勝久, 中野幸夫, 近藤修平, “建物の外から電気機器の使用実態を把握するモニタリングシステム-実家庭への適用実験-, ”電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), vol.124 (2004), no.9, pp.1874-1880, Sep.2004.
- [6] J. Lifton, M. Feldmeier, Y. Ono, C. Lewis, and J.A. Paradiso, "A Platform for Ubiquitous Sensor Deployment in Occupational and Domestic Environments," Proceedings of IPSN'07, pp.119-127, 2007.
- [7] 伊藤雅仁, 大亦寿之, 井上智史, 重野寛, 岡田謙一, 松下温, “消費電力波形の特徴を利用した家電機器検出手法と制御システム, ”情処論, vol.44, no.1, pp.95-105, Jan.2003.
- [8] 西俊輔, “太陽光発電におけるパワーマネジメント, ”パワーマネジメント研究会予稿, pp.1-5, Dec. 2007.
- [9] 米津育郎, 藤谷伸, 吉村精司, “IT・通信機器用小形二次電池の開発動向, ”信学誌, vol.90, no.3, pp.201-270, March 2007.
- [10] 橋崎克雄, “リチウム二次電池を用いたパワーマネジメント, ”パワーマネジメント研究会予稿, pp.28-33, Dec. 2007.
- [11] 松山隆司, “電力ネットワークと情報通信ネットワークの統合, ”R&D News Kansai, no434, p.1, Sep. 2006.