

ホームネットワークにおける環境への副作用を考慮した 省エネ機器操作推奨手法

岡村 雄敬[†] 井垣 宏^{††} 中村 匡秀^{††}

^{††} 神戸大学 〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: [†]okamura@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ^{††}{igaki,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 我々は、ホームネットワークシステム (HNS) を用いて宅内の様々な機器を連携し、省エネを実現する手法について研究を続けている。先行研究では、各家電機器が単一の環境プロパティに与える影響度を”環境相互作用”と定義し、より消費電力の低い機器操作をユーザに推薦する手法を提案している。しかし従来手法では、以下の2つの制限があった：(1) 機器が環境に与える副作用を考慮していない、(2) どの操作が最適かまでは評価しない。これらを解決するために、本稿ではまず、ゴール指向要求言語 GRL を用い、機器操作の複数の環境プロパティに対する寄与度を分析する。次に、機器操作を省エネ操作として選択するか否かを 0,1 のベクトル X であらわし、各環境プロパティを寄与度を係数とする多項式 $f(X)$ で性質付ける。その後、合計の消費電力を最小化する省エネ操作 X_0 を求める数理計画問題に帰着する。提案手法を実際の HNS に適用し有効性の確認を行う。

キーワード ホームネットワークシステム, 省エネ, 環境相互作用, 最適化問題

Identifying Energy-Saving Appliance Operations in Home Network System with Side Effects to Environment

Takenori OKAMURA[†], Hiroshi IGAKI^{††}, and Masahide NAKAMURA^{††}

^{††} Kobe University Rokkoudaityou 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

E-mail: [†]okamura@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ^{††}{igaki,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

Abstract We have been studying energy-saving schemes using the Home Network System (HNS), integrating multiple appliances and sensors at home. In our previous research, we defined an "environment effect", with which a set of lower-energy operations were explored. However, this method did not consider the side-effects to multiple environment properties, nor optimization of the operations. To cope with the restrictions, this paper presents a method that analyzes the contribution of each operation to the environment properties, using the Goal-Oriented Requirement Language. We then represent the selection of energy-saving operations by a boolean vector X , and characterize each property by a polynomial $f(X)$ with the coefficients of the contribution. Finally, the problem is reduced to a mathematical programming, finding an optimal solution X_0 that minimizes the power consumption.

Key words home network system, energy-saving, environment effects, mathematical programming, optimization

1. はじめに

宅内の家電機器やセンサーをネットワークに接続し、より便利で快適なサービスをユーザに提供するホームネットワークシステム (HNS) の研究が盛んである。TV や DVD プレーヤー、エアコン、ライト、扇風機などの家電機器をネットワークに接続することで、宅内外からの監視や遠隔制御 [5]、温度計・照度計などのセンサーや複数の機器を組み合わせた家電連携サービス [10] などが実際に HNS 上のアプリケーションとして開発さ

れている。

その一方家庭における電力消費は増加の一途を辿っており、エネルギーの節約・省エネが課題の一つとなっている。現在市場に様々な省エネ製品が登場しているが、単独の機器に閉じた形の省エネに過ぎない。次世代技術である HNS を用いて複数の機器を連携させることで、より一層省エネ効率を高めることが期待できる。

先行研究 [11] において我々は、HNS におけるユーザの家電操作に対し、より省電力な機器操作を発見、推薦する手法を提

案している．具体的には，家電機器が環境の属性（環境プロパティと呼ぶ）に対して直接または間接的に与える影響を環境相互作用として定義する．HNS は，ユーザが要求した操作と同様の環境相互作用を持ち，かつ消費電力の少ない操作を発見，推薦する．例えば，ユーザが「冷房オン」を実行しようとした時，HNS は「冷房オン」が「室温を下げる」環境相互作用を持つことを検知する．次に「室温を下げる」他の機器操作を検索し，次のような省エネとなる操作を推薦する：(a)「冷房オン」の代わりに「窓を開ける」，または，(b)「冷房オン」と「扇風機オン」を併用する．

しかしながら，従来手法には2つの制約が存在する．

制約 C1:環境相互作用はただ一つの環境プロパティに影響を与えるものと限定している．実際には複数の環境プロパティに影響を与える機器も存在する．例えばエアコンの冷房機能は室温を下げるだけでなく湿度も下げる副作用を持っている．そのため，省エネと思ってユーザが選択した操作が予期せぬ結果につながることもある．

制約 C2: 従来手法は省エネ操作をリストにしてユーザに提示するだけで，どの操作が最適であるかまでは考慮しない．そのため，ユーザが結局どのサービスを実行すれば良いかの判断基準が少なく，候補の中から最適なサービスを選ぶことが困難になっている．

これらの問題を解決するため，本稿では HNS における新たな省エネ操作発見手法を提案する．具体的には，まず制約 C 1 を解決するために，機器操作と複数の環境プロパティの相互作用を，GRL(Goal-oriented Requirement Language) [9] を用いて分析する手法を提案する．HNS における各環境プロパティをゴール（目的）とし，それらに作用する機器操作を（タスク）として表し，作用の方向，寄与度を分析する．

次に，制約 C2 を解消するために，数理計画法を用いて最適な機器操作の組み合わせを求める手法を提案する．具体的には，各機器操作 (o_1, o_2, \dots, o_n) を省エネ操作として選ぶかどうかを，0,1 の変数とする 2 値ベクトル $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ であらわす．次に，上記 GRL の分析結果に基づいて，各環境プロパティを寄与度を係数とする多項式 $f(X)$ で表現する．その後，消費電力合計を目的関数とし，ユーザ要求や環境を制約条件とした最適化問題に帰着することで，最適な省エネ操作の組み合わせ $X_o = (x_{o1}, x_{o1}, \dots, x_{on})$ が一意に定まる．提案手法を，我々が以前に開発している実際の HNS(CS27-HNS) に適用し，有効性の確認を行う．

2. 準備

2.1 ホームネットワークシステム (HNS)

近年，TV や DVD・エアコン・扇風機・ライトなどの家電（ネットワーク家電と呼ばれる）や，温度計・照度計などのセンサーをネットワークに接続し，宅内外から遠隔制御・監視したり，連携制御するといったサービスが普及しつつある．例えば，携帯電話のインターフェースを通じて，消し忘れたテレビやエアコンの電源を OFF にしたり [5]，モーションセンサーとライトを連携して人が帰ってくると自動でライトを ON にする [4]

などの操作が可能になっている．

このような各種サービスを提供するための枠組みは「ホームネットワークシステム (HNS)」と呼ばれ，さまざまな企業や研究機関で開発が進められている．我々の研究室では，様々な家電やセンサを用いて実際の HNS(CS27-HNS) を構築している．CS27-HNS では家電機器を操作するための API を Web サービスとして公開している．本稿では，家電機器とそのメソッドを”.”で接続して表現するものとする．例えば「ライトの電源を ON にする」という機器操作は「Light.on()」，「カーテンを開ける」ならば「Curtain.open()」と表される．

2.2 家庭の省エネに対する取り組み

生活が便利になるにつれて，家庭でのエネルギー消費は増加の一途を辿っている．近年特にエネルギーの節約（省エネ）が叫ばれており，国や企業でも様々な対策が考えられている．多くの企業では，省エネを意識した様々な商品の開発が進められている（例：[4] [8]）．国では，かねてより制定されていたエネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネルギー法）が 2008 年に改正されるなど省エネへの意識がより強まってきている [6]．

その他の省エネ実現の試みとして，既存の家電機器の効率の良い使い方や省エネを意識した家電の使い方に関するガイドラインが様々な機関により公開されている．経済産業省の資源エネルギー庁所管の財団法人・省エネルギーセンターでは，家庭内で行える家電の省エネ手法を公開していて，各家庭に推奨している [2]．ガイドラインの中には「外が明るいときはライトはつけない」や「テレビは見ないときは消す」など一般的に知られているような内容から「冷房は 28℃・暖房は 20℃ 推奨（冷暖房は設定温度の変化が大きいほど電力を消費するため）」のようにルールとして具体的な数値や強度が固定されているものまで，多岐に渡っている．こういったガイドラインは国や企業だけではなく，個人が”生活の知恵”や”節約術”として一般に公開していることも多い [1] [3]．

2.3 HNS における省エネ機器操作発見問題

このようなガイドラインに従った家電機器の省エネ使用は，これまでのように家電単体ごとに対策するだけではなく，複数の機器を HNS を通して連携し，さらなる省エネを達成することが期待されている．

図 1 は，HNS における機器操作の選択を表した図である．各

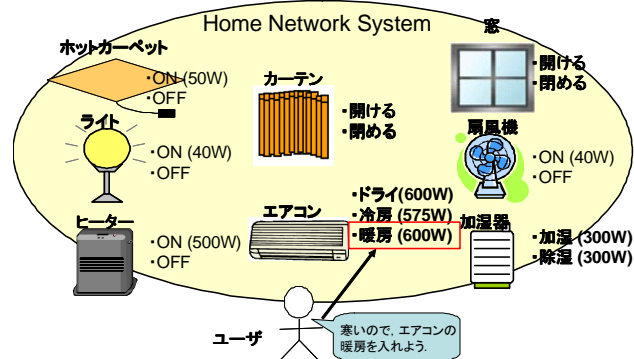


図 1 HNS における機器選択

家電機器は機器メソッドごとに消費電力や機能が決まっている。例えばユーザが「暖房をつけたい」という要求をした場合、単にエアコンの暖房機能を実行することでユーザの要求を満たすことが可能だが、「暖房の代わりに消費電力の小さいカーペットをつける」という代替操作を実行したり「暖房と同時に扇風機をつけて部屋の空気をかき混ぜる」といった機器併用操作を実行することで、より効率のよい機器操作が可能となる。結果としてより環境にやさしい機器操作を実現することができる。

しかし、HNS 環境で提供される多様な家電制御サービス全てについて機能や消費電力を把握し、サービス実行のたびに省エネ機器操作を発見することは容易ではなく、ユーザにとって自明でないことが多い。そこで我々は、先行研究で家電制御サービス等の機器操作に対して省エネを考慮した代替機器・併用機器操作を動的に発見し、ユーザに推薦する省エネサービス構築手法を提案した。次章では、その従来手法について説明する。

3. 従来手法

3.1 HNS による環境相互作用

HNS 内において複数家電機器による省エネを実現するためには「省エネ度の高い代替機器」または「併用することで効率を上げる補助機器」を使用する必要がある。HNS 内の異なる機器はそれぞれ固有の機器メソッドを持っており、機器同士の共通性は少ない。結果として、サービス毎に代替機器や補助機器を見つけることは必ずしも容易では無い。そこで HNS 内の各機器メソッドを、温度・照度・湿度などの環境状態を特徴付ける属性（環境プロパティ）に対してどういった影響を及ぼすのかという点で抽象化する。これにより全ての機器メソッドを機器の種類や機能によらず一元的に扱うことができる。ここでは各機器メソッドの環境プロパティへ及ぼす影響の度合いを環境相互作用と呼ぶことにする。ここで環境相互作用は直接作用・間接作用・強度・適用条件の 4 つの組で構成される。

3.2 直接作用

「エアコンの冷房をつける」や「ライトをつける」といった機器操作は温度や照度などの環境プロパティに直接影響を与えるものである。こういった機器メソッドが持つ環境状態への直接的な影響の大きさと方向を直接作用として定義する。直接作用は「温度-」「照度+」のように、「環境プロパティ±」の形で表現する。

3.3 間接作用

機器メソッドによっては、その機器を実行するだけでは環境状態に影響は与えないが、環境状態の変化効率に対して何らかの影響を与えるものが存在する。例えば、「扇風機をつける」という機器操作は、部屋の空気をかき混ぜる効果があるので、暖房器具や冷房器具と併用することで、単独で冷暖房をつけるよりも部屋の温度変化率は大きくなる。こういった、環境プロパティの変化率を上げる（または下げる）機器メソッドが持つ環境状態への影響を間接作用として定義する。間接作用は変化率の増加・減少を表すので、 Δ 記号を用いて「環境プロパティ Δ ±」の形で表現する。

表 1 機器メソッド別環境相互作用・消費電力表

機器メソッド名	環境相互作用			消費電力(W)
	直接作用	間接作用	強度	
Airconditioner.heating()	温度+		大	575
Window.open()	温度+		小	外気温>内気温
Carpet.on()	温度+		小	50
Heater.on()	温度+		大	500
Airconditioner.cooler()	温度-		大	625
Window.open()	温度-		小	外気温<内気温
Light.on()	照度+		大	40
Curtain.open()	照度+		小	外照度>内照度
Fan.on()		温度 Δ +	大	40
Window.close()		温度 Δ +	小	0
Curtain.close()		温度 Δ +	小	0

3.4 強度

同じ環境相互作用を持つ機器メソッドでも、環境に与える影響の大きさは機器によって違う。例えば、「冷房をつける」と「窓を開ける（外気温<室温という条件が成立時）」は同じ「室温を下げる」という環境相互作用を持つが、温度変化の大きさは明らかに冷房の方が高いといえる。この影響度の大きさ、各機器メソッドが環境状態に与える強度という形で表現する。

表 1 に代表的な HNS 機器メソッドごとの環境相互作用と消費電力の一覧表を示す。

3.5 省エネサービス発見・推薦アルゴリズム

各サービスに与えられた環境相互作用から、決められたサービスの要求を抽象化する。例えば「暖房をつけたい」という要求があった場合、このサービスの直接作用「温度+」から、サービスの要求を「室温を上げたい」という風に変更して抽象化を行う。HNS 内の機器の中で、環境相互作用が与えられている機器を抽出し、その中で現在要求されている環境相互作用（この場合なら「温度+」）と同じ直接作用を持つ機器を抽出する。ここで抽出された機器メソッドは、要求されたサービスに対する代替機器サービスとなり、これを提示することでユーザは代替可能な機器を簡単に選択することができる。各機器メソッドには環境相互作用だけでなく、強度と消費電力、機器によっては適用条件を持っているため、これらを同時に提示することで、ユーザの代替機器選択の際に幅を与え、省エネ機器使用を実現することができる。

機器メソッドによっては、直接作用では無く間接作用を持つ場合も考えられる。環境相互作用から代替サービスを抽出する際、要求されている環境相互作用の変化率を上昇させる間接作用が見つかった場合、そのサービスを代替サービスではなく、「併用サービス」としてユーザに提示する。例えば要求された環境相互作用にける直接作用が「温度+」だった場合、「温度 Δ +」という間接作用を持つ「扇風機をつける」「窓を閉める」といった機器メソッドが併用サービスとしてユーザに提示されることになる。

3.6 従来手法の限界・問題点

従来手法では、各機器メソッドは単一の環境プロパティにのみ影響を与えるものとして定義していたが、例えばエアコンの冷房機能は温度だけでなく湿度にも影響を与えるなど、実際の家電機器には複数の環境プロパティに対して影響を与えるものが存在する。このことを考慮していないと、サービスを実行し

た際にユーザの希望と異なった環境の変化が生じてしまう可能性がある。

また従来手法では、代替機器・併用機器サービスの候補が一覧としてユーザに提示される仕様になっている。これはユーザごとに省エネや満足度に対する要求がまちまちな為、一様に実行するサービスを決定することが不可能な為である。しかし提示されたサービスが複数存在する場合、最も効率よく要求を満たすサービスをユーザが発見することは容易ではない。よって、ユーザごとの要求に応じた形でサービス候補の中から最適となるサービスの組み合わせをユーザに提示する枠組みを提供することで、より精度の高い省エネサービスの推薦が可能となる。

4. 提案手法

4.1 キーアイデア

上記問題を対処するために、提案手法は以下の2つのキーアイデアに基づいている。

- 1:GRL による副作用を考慮した相互作用分析
- 2:数理計画法を用いた最適な省エネ機器操作の発見

まず機器メソッドごとの環境相互作用に副作用を考慮するため、機器-環境プロパティ間の相互作用分析を行い、その結果をGRLにより記述する。その結果から、各機器メソッドごとの環境相互作用の方向・寄与度の定式化を行う。完成した式を数理計画法による最適化問題に帰着させ、最適解となるサービスの組み合わせをユーザに提示する。以下、順に説明する。

4.2 副作用を考慮した相互作用分析

4.2.1 GRLの導入

各機器メソッドの環境相互作用において副作用を考慮する場合、一つの機器が複数の環境プロパティに影響を持つことになるので環境プロパティと機器メソッド間の関係が複雑になる可能性がある。この関係をわかりやすく記述するために、GRL(Goal-oriented Requirement Language) [9]を用いて記述を行う。GRLは、目的指向によるサービス設計をサポートする要求記述・分析言語である。

GRLでは最終的な目標をゴールと呼び、角の丸い四画であらわす。また、ゴールを達成するために働く様々な要素をタスクと呼び、六角形であらわす。あるタスク t があるゴール g を達成するためにプラス働く場合、正の寄与と呼び、 t から g へ+をラベル付けした矢印であらわす。逆に t が g の達成を阻害する場合を負の寄与と呼び、-をラベル付けした矢印であらわす。

4.2.2 環境相互作用のGRL表現

提案手法では、各HNS機器メソッドをタスクとし、それぞれのタスクが実行された時に影響の及ぶ、室内の各環境プロパティ(温度、湿度、照度など)をゴール(目的)として、GRLで表現する。また、各タスクが実行された時に、どの環境プロパティに寄与するのか、寄与の方向(正負)、および、その度合いをタスクごとに分析する。

寄与の方向には、その環境プロパティの大きさを増加させるように働くものと、逆に減少させるように働くものが存在する。環境の状態によらず、必ず方向が決まっている操作については、矢印に対して"+""-"のラベルをつける。一方、「窓を開ける」

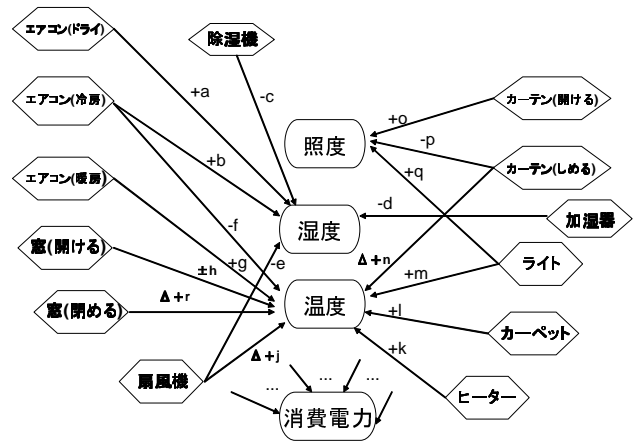


図2 GRLによる環境相互作用分析図

のように周囲の環境状態(この場合外の気温)によって寄与度の方向が変化するものには"±"を付けて表現する。

また、同じ環境プロパティに作用する機器メソッドでも、与える寄与の大きさは様々である。この各機器メソッドが環境プロパティへ与える影響の大きさを寄与度という形で表現し、その大きさを係数として寄与の矢印に付与する。具体的な寄与度の大きさは、基本的には機器のカatalogなどから環境性能を調べ、複数の機器間で環境に対する影響の大きさを相対的に評価して、値を決定するものとする。また、寄与度は機器単体の性能だけでなく、家庭内の機器配置や環境状態など様々な要因にも依存するため、厳密な値を決めることは難しい。本稿では、寄与度の値はHNSのサービス事業者が環境専門家を交えて分析・決定するものと仮定し、事前に与えられるものと仮定する。

間接作用(3.3参照)を持つ操作は、環境プロパティの変化に直接寄与するのではなく、その変化効率(傾き)に対して影響を与える働きをもつため、寄与度に Δ をつけて表現する。

4.2.3 分析例

図2に、代表的なHNS内の各家電機器メソッドと環境プロパティの関係を、GRLで表現した例を示す。今回は簡単のためにゴールとなる環境プロパティを温度、照度、湿度、消費電力の4つに限定し、エアコン・扇風機・カーペットなどいくつかの代表的なHNS機器メソッドをタスクとして相互作用分析を行った。ここでは寄与度の大きさを仮に a, b, c, \dots とアルファベットを用いた未知定数で表現している。副作用を考慮した環境相互作用の構造が表現できていることがわかる。また、消費電力に対して影響を与える機器矢印で表現すると、図が非常に見づらくなるため、消費電力には全ての機器から矢印が伸びるものとして記述は省略した。

4.3 省エネ機器操作の発見

4.3.1 数理計画法を用いた最適化問題への帰着

HNSにおいて最も効率よくユーザの要求を満たす機器操作は、単独の機器によるものだけとは限らず、消費電力の小さい機器や間接作用を持つ機器などをうまく併用する場合も考えられる。HNSが発展し機器数が増えていくと、効率の良い操作

を手で静的に決定しておくことが困難になる。

そこで数理計画法を用いて、ユーザーの要求を満たし、かつ、省エネとなるような最適な機器操作の組み合わせを動的に計算する方法を提案する。数理計画法では、求めたい変数を X とし、 X のとり得る範囲を定めた不等式 (制約条件) と、目的となる関数 $f(X)$ (目的関数) を定める。 X の値を制約条件を満たす範囲で様々に変化させながら、 $f(X)$ を最大化 (最小化) する X_0 (最適解と呼ぶ) を求める。

いま HNS における n 個の機器操作が $O = (o_1, o_2, \dots, o_n)$ で与えられたとき、2 値ベクトル $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ を定義する。ここで、 x_i は、機器操作 o_i を実行するか (=1) しないか (=0) の情報を保持する変数であるとする。このとき、 X を O の操作実行ベクトルと呼ぶ。このとき、各環境プロパティおよびユーザーの省エネ要求を X 上の関数で性質付けることが出来れば、省エネ機器操作選択問題は、最適解 X_0 を求める最適化問題 (0-1 整数計画問題) に帰着できる。つまり X_0 で示される機器操作の組み合わせが最適な省エネ機器操作ということになる。以下では、各環境プロパティを環境相互作用を用いてどのように定式化するのか、具体的な方法を説明する。

4.3.2 直接作用による定式化

すべての環境プロパティの集合を $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ 、機器操作の集合を $O = \{o_1, \dots, o_n\}$ とする。4.2 では、各機器操作 $o_i \in O$ がどの環境プロパティ $e_j \in E$ に対して、どの方向に、どれだけ寄与するかを GRL を用いて分析した。いま、 o_i から e_j への直接作用による寄与度を d_{ij} とすると、すべての操作 $o_i (1 \leq i \leq n)$ の実行有無によって、 e_j にどれだけ寄与があるかを、 O の操作実行ベクトル X を用いた次の関数で表現する。

$$D_{e_j}(X) = d_{1j} * x_1 + d_{2j} * x_2 + \dots + d_{nj} * x_n$$

例えば、 e_j が温度という環境プロパティの場合、 x_p や x_q は「エアコン (暖房)」や「カーペットつける」といった温度に影響を与える機器操作の 2 値変数である。また、 d_{pj} や d_{qj} はそれぞれの操作の寄与度であり、温度は各機器操作の温度に対する寄与度の重み付け和で性質づけられることになる。

なお「エアコン (冷房)」や「窓開ける」のように温度にマイナスの影響を与える機器操作は、寄与度の係数をマイナスにすることで表現できる。

4.3.3 間接作用の定式化

一方、間接作用を持つ機器操作は、それ単独では環境プロパティの値に影響をしないが、機器操作の直接作用の効き具合 (傾き) を高める。この点に着目し、間接作用を直接作用に掛け合わせる形で、環境プロパティを表現する。

いま、機器操作 o_i から環境プロパティ e_j への間接作用による寄与度を g_{ij} とすると、すべての操作 $o_i (1 \leq i \leq n)$ の実行有無による e_j に対する間接作用の大きさを次の関数で表現する。

$$G_{e_j}(X) = 1 + g_{1j} * x_1 + g_{2j} * x_2 + \dots + g_{nj} * x_n$$

g_{ij} が全て 0 のとき、 $G_{e_j}(X)$ が 1 になることに注意されたい。

4.3.4 合計寄与度

各環境プロパティ e_j に対し、直接作用の大きさに間接作用の

大きさを掛け合わせたものを合計寄与度と呼び、 e_j を性質付ける要素とする。

$$C_{e_j}(X) = D_{e_j}(X) * G_{e_j}(X)$$

間接作用による寄与が全く無かった場合、合計寄与度は $D_{e_j}(X)$ になり、間接作用が増えるにつれ直接作用の勾配が増えるモデルとなっている。

合計寄与度 $C_{e_j}(X)$ を用いることで、各環境プロパティ e_j における直接・間接作用を単一の式で表すことが可能となる。ユーザーの要求や環境の制約は、 $C_{e_j}(X)$ 上の条件として定義する。

4.3.5 求解法

各環境プロパティを X 上の合計寄与度関数 $C_{e_j}(X)$ で表現したら、後は以下のように最適化問題を定式化する。

MAXIMIZE (or MINIMIZE) $C_{e_k}(X)$ SUBJECT TO $[C_{e_{j1}}(X) \text{ cmp } a_1]$ AND ... AND $[C_{e_{js}}(X) \text{ cmp } a_s]$
--

ここで $C_{e_k}(X)$ は目的関数、 cmp は比較演算、SUBJECT TO は s 個の制約条件の論理和を表している。

上記の定式化においては、省エネ要求にしたがって、目的関数を決める必要がある。「温度や湿度をある程度に保って、とにかく省エネをしたい」という要求であれば、温度、湿度の合計寄与度を用いて制約条件とし、消費電力の合計寄与度を目的関数とすることができる。

また制約条件に対する値 a_i を定める必要がある。例えば同じ「温度を上げたい」という要求だとしても、どの程度まで上げれば満足な結果が得られるかはユーザーごとに異なるため、制約値はユーザーごと・サービスの使用ごとに変更できるようにする。また「湿度にかかわらず温度を下げたい」など、特定の環境プロパティを求解に用いないときは、その環境プロパティに関する多項式には制約値を与えず、問題には組み込まない。

問題定式化後は、数値解析アプリケーション、ソルバ等を用いて最適解 X_0 を求める。

4.4 ケーススタディ

提案手法の有効性を示すため、我々が以前に開発している実際の HNS (CS27-HNS) を参考に、ケーススタディを行う。

4.4.1 寄与度の決定

まず、CS27-HNS 内にある機器の中から環境プロパティに影響を与える機器メソッドを抽出し、環境相互作用の分析を行った。CS27-HNS の環境特性および機器の仕様に基づいて、図 2 において未知数だった寄与度の具体的な値を、表 2 のように決定した。表の各列は機器操作を表し操作変数 x_1 から x_{14} を割り当てている。表の各行は、各環境プロパティに対する機器操作の直接作用 (または間接作用) の寄与度の値を表す。その結果、各環境プロパティの合計寄与度は、図 3(a) に示す式で定式化される。

ケーススタディにおいては、次の 2 つの要求を考える。

要求 A: 部屋をなるべく少ないエネルギー (消費電力) で、少し暖めたい (温度、湿度を共に少し上昇させたい)。

要求 B: 消費電力の合計が 620W で最大限部屋を暖めたい。

どちらの要求も「部屋を暖める」という観点では同じであるが、

表 2 機器別寄与度係数の例

	操作変数	エアコン			加湿器		照明	カーテン		窓		扇風機	ヒーター	カーペット	
		暖房	冷房	ドライ	加湿	除湿	天井	フロア	開ける	閉める	開ける	閉める	オン	オフ	ホ
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14
直接作用	温度	10	-10	0	3	0	1	1.5	0	0	-3	3	0	6	4
	湿度	3	-4	-6	7	-7	0	0	0	0	-2	0	0	0	0
	照度	0	0	0	0	0	7	6	0	-5	0	0	0	0	0
	消費電力	575	625	650	300	300	50	40	0	0	0	0	60	500	50
間接作用	Δ温度	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.2	0.4	0	0
	Δ湿度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ照度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ消費電力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

厳密には異なる要求であり異なる機器操作が必要となることが予想される。以下では、要求 A,B それぞれを解くことを、問題 A,B とし、提案法を用いて最適な機器操作を求める。

4.4.2 問題 A

まず、ユーザの要求を環境プロパティの合計寄与度で具体的に表現する。ここでは仮に「温度の合計寄与度が 15 以上」、「湿度の合計寄与度が 5 以上」にするという条件で表現できたと仮定する。これらを最適化問題における制約条件として与える。なお、照度に関してはユーザの要求に関係のないため、制約条件は与えない。この制約条件のもと、「消費電力を最小化する」を目的関数として与えると、問題 A は図 3(b) のように定式化できる。この問題を数理計画法を用いて解くと、最適解 $X_0 = [0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1]$ が得られる。 X_0 では、加湿機、天井ライト、フロアライト、扇風機、カーペットの操作変数が 1、すなわちこれらの機器を併用して使うことでユーザの要求を満たす最も省エネな機器操作が可能となる。

4.4.3 問題 B

この問題におけるユーザの要求は、そのまま「消費電力の合計値が 620W 以下」にするという条件で表現できる。これを最適化問題における制約条件として与える。

この制約条件のもと、「温度の合計寄与度を最大化する」を目的関数として与えると、問題 B は図 3(c) のように定式化できる。この問題を数理計画法を用いて解くと、最適解 $X_0 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1]$ が得られる。 X_0 では、カーテン閉める、窓閉める、扇風機、ヒーター、カーペットの操作変数が 1、すなわちこれらの機器を併用して使うことで消費電力 620W 未満で最大の暖房効果を得ることができる。

5. まとめ

本稿では、副作用を考慮し数理計画法を用いることで省エネサービスの最適な組み合わせの発見・推薦を行う手法を提案した。この手法を実際の HNS に適用していくためには、各 HNS ごとに寄与度の大きさを定量化していく必要があるが、機器の性能だけでなくその場の環境状態や機器配置などによっても変化していくため、容易には決められないことが予想される。また、この提案手法の有効性の検証も現時点では不十分であるため、そのあたりをどう考慮していくかが今後の課題となる。今後はライフログと連携することで寄与度を動的に形成するなど、より精度の高い機器操作の推薦を行えるような枠組みを考えていきたい。

$$\begin{aligned}
 C_{temp}(x) &= (10x_1 - 10x_2 + 3x_4 + 1x_6 + 1.5x_7 - 3x_{10} + 3x_{11} + 6x_{13} + 4x_{14}) * (1 + 0.1x_9 + 0.2x_{11} + 0.4x_{12}) \\
 C_{humid}(x) &= (3x_1 - 4x_2 - 6x_3 + 7x_4 - 7x_5 - 2x_{10}) * (1) \\
 C_{bright}(x) &= (7x_6 + 6x_7 + 5x_8 - 5x_9) * (1) \\
 C_{power}(x) &= (575x_1 + 625x_2 + 650x_3 + 300x_4 + 300x_5 + 50x_6 + 40x_7 + 60x_{12} + 500x_{13} + 50x_{14}) * (1)
 \end{aligned}$$

(a) 環境プロパティごとの合計寄与度

<p>要求: 部屋をなるべく少ないエネルギーで少し暖めたい</p> <p>MINIMIZE: $C_{power}(x)$</p> <p>SUBJECT TO: $C_{temp}(x) \geq 15$ $C_{humid}(x) \geq 5$</p> <p>SOLUTION $X_0 = [0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1]$ $C_{power}(X_0) = 500$</p> <p>加湿器, 天井照明, フロア照明, 扇風機, カーペットを利用すると最適な省エネ!</p>	<p>要求: 消費電力620W以下で最大限部屋を暖めたい</p> <p>MAXIMIZE: $C_{temp}(x)$</p> <p>SUBJECT TO: $C_{power}(x) \leq 620$</p> <p>SOLUTION $X_0 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1]$ $C_{temp}(X_0) = 17$</p> <p>カーテン閉, 窓閉, 扇風機, ヒーター, カーペットを利用すると620W未満で暖房効果最大!</p>
--	---

(b) 問題A

(c) 問題B

図 3 ケーススタディ

謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費(若手研究 B 20700027, 21700077), および、パナソニック電工株式会社の助成を受けて行われている

文献

- [1] 誰でも出来る環境対策一覧
<http://www.cwo.zaq.ne.jp/rupisu/kan/kan600.html>
- [2] ECCJ 省エネルギーセンター, "家庭の省エネ大辞典",
<http://www.eccj.or.jp/dict/index.html>
- [3] ミヤア先生の生活マニュアル, "電気代の節約術",
<http://setuyakumanyuaru.com/kantansetuyaku/denki.html>
- [4] 丸善電機, "あんしんリモコン 人感センサー",
<http://www.maruzen-denki.co.jp/pickup01/feature/02.html>
- [5] 東芝, "フェミニティが実現する安心・便利な生活",
<http://www3.toshiba.co.jp/femininity/dekiru/index.html>
- [6] 経済産業省資源エネルギー庁, "平成 20 年度省エネ法改正の概要",
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/080801/080801.htm>
- [7] ZOJIRUSHI, "みまもりほっとライン i-PoT",
<http://www.mimamori.net/>
- [8] SONY, "液晶テレビ BRAVIA(ブラビア)",
<http://www.ecat.sony.co.jp/bravia/lineup/series.cfm?series=v5>
- [9] University of Toronto, "GRL: Goal Requirement Language",
<http://www.cs.toronto.edu/kml/GRL/>
- [10] M. Nakamura, H. Igaki, H. Tamada, and K. Matsumoto, "Implementing Services of Networked HomeApplication Using Service Oriented Architecture", "Proc. 2nd International Conference on Service Oriented Computing(ICSOC2004), pp.269-278, NY, USA, Nov.2004
- [11] 岡村 雄敬, 井垣 宏, 中村 匡秀"ホームネットワークシステムにおける環境相互作用を利用した省エネ機器連携サービスの構築手法", "IEICE Technical Report, OIS2008-77, pp.13-18, 2009/3/5・6