

家電がもつ環境要因に対する作用力に基づいた環境の再現方法の研究

近藤 隆史[†] 片山 喜章[†] 高橋 直久[†] 山本 大介[†]

[†] 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

E-mail: [†]kondo@moss.elcom.nitech.ac.jp, ^{††}{katayama, naohisa, yamamoto.daisuke}@nitech.ac.jp

あらまし 我々は、家電の状態や現在の温度、照度など利用者を取り巻く環境を記録し、記録した環境を目的の場所で再現することが可能な家電制御システムについて研究・開発している [14]。提案システムでは、環境再現の手段として目的の場所に設置された家電を適切な状態に制御することで目的の環境を実現する。適切な家電およびその状態を決定するために、我々は各家電の各状態に対してその家電の状態が環境に影響を与える「環境要因」、およびその影響度を表す「作用力」を定義し、これらを利用する。本稿では、文献 [14] の提案システムを概観するとともに、より適切な家電状態を求めるための作用力の決定手法を提案および検証する。

キーワード ユビキタス・コンピューティング、家電制御システム、環境要因、環境再現、作用力

A Study on Environment Reproducing Method based on Action Power for Environmental Factor in Home Appliance

Takashi KONDO[†], Yoshiaki KATAYAMA[†], Naohisa TAKAHASHI[†], and Daisuke YAMAMOTO[†]

[†] Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 466-8555 Japan

E-mail: [†]kondo@moss.elcom.nitech.ac.jp, ^{††}{katayama, naohisa, yamamoto.daisuke}@nitech.ac.jp

Abstract We propose a home-appliances control system which can memorize and reproduce user's surrounded environment such as state of home-appliances, temperature, humidity and so on [14]. The proposed system reproduces an objective memorized environment by deciding state of home-appliances which exist in the objective place and controlling state of them. In order to compute appropriate state of home-appliances, we introduce "Environmental Factor" to each home-appliance and "Action Power" to each of home-appliances state. "Environmental Factor" represents the environmental influence of the home-appliance and "Action Power" represents the influence degree of their state to the environment. In this paper, the proposed system is introduced and a methodology to get Action Power for computing more appropriate status of home-appliances is proposed and verified.

Key words Ubiquitous Computing, Home-Appliances Control System, Environmental Factor, Reproducing Environment, Action Power

1. はじめに

現在、様々な種類の家電製品が普及している。多くの家電製品は、我々の生活環境（温度、湿度、照度等）をより快適にさせるための働きをもっている。また、家電の多機能化によって、ユーザが家電の制御をより詳細に設定できるようになり、より快適な生活環境をつくりあげることができるようになった。

また、近年では家電やセンサをネットワークにつなぐことによって、利用者にとってより便利で快適な生活を提供できる新しいサービスや、そのサービスを実現するための技術が研究・開発されている [1] ~ [5]。家電をネットワークに接続する技術として、Jini (Sun Microsystems) [1], UPnP (Microsoft) [2], Havi [3] などが開発されている。これらの技術は、複雑な設定

をすることなく家電をネットワークに接続可能とし、接続された家電の機能を連携制御させるための目的で開発された技術である。この技術により、利用者の家電操作の手間を軽減することができる。UPnP を利用した例として DLNA [6] がある。DLNA のガイドラインに沿った AV 機器であれば記録した動画、画像、音楽等のコンテンツを家庭内で共有することが可能となる。

家電制御システムに関する既存研究については、容易に家電を制御するためのインタフェース [7], [8], ユーザに利便性を与える連携制御の手法等 [9] ~ [12] が挙げられる。

制御インタフェースの例として、ユーザの言葉を認識し、その言葉を自然言語処理をすることにより、言葉の意味に応じた制御可能なインタフェース [7] や、複数の家電を配置した Google Maps を用いた地図により、Web 上から家電の遠隔操作が可能

となるインタフェース [8] が研究されている．これらのインタフェースにより，家電を遠隔から制御することが可能となる．

次に家電の連携制御に関する既存研究について述べる．家電の連携制御とは，ユーザの目的を満たすように自動的に複数の家電を連携させて制御させる仕組みである．連携制御に必要な要素を以下に挙げる．

- (1) ユーザのコンテキストを認識する
- (2) 制御対象家電を決定する
- (3) 対象家電の状態を決定する
- (4) 対象家電を制御する

コンテキストとは，ある人間，場所，人間と関わる対象物に関する状況を示す情報と定義される [13]．ある状況でのユーザのコンテキストをシステムがどのように認識するか，そのコンテキストに応じた環境を実現するためにどのような家電を選択しその家電をどんな状態に決定すればよいかを考える必要がある．

既存研究の家電の連携制御手法に関して例を 2 つ挙げ，動作を簡単に説明する．

Synapse [9] でのコンテキストの意味は，ある環境での人々の行動としている．ある環境におけるユーザの行動パターンを認識するための手法として，隠れマルコフモデルを用いて，ある空間で発生したイベントとそのときのユーザが欲したサービス(家電制御等)との関係をモデル化して学習する．これにより，システムはある環境における行動パターンを認識することができ，そのコンテキストに応じたサービスを，家電を連携制御させることでユーザに対して提供することができる．

一方，Home Service Hermony [10] は，ホームネットワーク上に存在する機器とその機器がもつ機能を組み合わせることで，利用者がおかれる状況に応じたサービスを提供することができるシステムである．このシステムでは，ユーザに関する情報，環境に関する情報，機器に関する情報をコンテキストとし，ある状況におけるコンテキストの変化に対して，ユーザが行ったサービスに対する操作を蓄積することでユーザの行動パターンを学習する．また，ベイズ推定法を用いて，あるコンテキストにおいてユーザが要求する操作を推定し，家電の自動制御により適したサービスを提供することができる．

これら 2 つのシステムでは，ある場所における家電利用環境を仮定し，その場所におけるユーザの行動を学習することでコンテキストからユーザの欲求するサービスを推測する．この方式では，家電利用環境が異なる，あるいは変化した場合，システムはユーザの行動履歴の学習結果を利用した連携制御をすることができない．このことから，既存研究には以下の問題点があると考えられる．

問題点 家電利用環境の変化に対応した家電の連携制御に必要な家電と状態の決定が困難

我々は，上記の問題点から特にユーザのコンテキストと家電及びその状態の決定手法について着目し，ユーザがコンテキスト(目的の環境)をシステムに明示的に与えることで，家電が存在する任意の場所で目的の環境を再現するための家電とその状態を決定することが可能なシステムを提案した [14]．提案システムでは，目的の場所で目的の環境を再現するために，その場所に存在する家電を利用する．つまり，環境再現のためにその場に存在する家電とその状態を決定する．これを可能にするために，各家電が影響を与える「環境要因」およびその影響の程度を表す「作用力」を定義し，これらを利用して環境再現に必要な家電およびその状態を適切に設定する．

しかし，文献 [14] で提案したシステムで用いた作用力には以下の問題がある．

(1) 各家電に対する作用力が，現在の環境値(環境要因の外部センサの値)からの相対値と絶対値を表すものが混在し，

扱いが煩雑

(2) 環境要因の絶対値を作用力として持つ家電の状態は，実環境で目的の環境を再現できない場合がある(例：エアコンの設定温度が 20 度でも，利用者の周りが 20 度とは限らない)

そこで本稿では，文献 [14] の提案システムを紹介するとともに，目的の環境を再現するためのより適切な家電の状態を決定するための作用力の定義を新たに提案する．さらに，提案する作用力定義の実環境での妥当性を検証する．

以下では，2 章で提案システムの概要を説明し，3 章で提案システムに用いる作用力の定義について説明する．4 章で提案システムの実現法について，5 章で作成したプロトタイプシステムについて説明する．6 章で，実環境における作用力による家電とその状態の決定方法の妥当性の検証と考察について述べる．7 章ではまとめと今後の課題について述べる．

2. 提案システムの概要

2.1 提案システムの設計方針

提案システムは，ユーザが任意の場所で環境を記録し，記録した環境をユーザが指定した場所で再現可能なシステムである．環境とは，映像(映像の有無)，音(dB)，温度(°C)，湿度(%)，照度(lux)，風速(m/s)の 6 つの環境要因で定義される．提案システムでは，各部屋に音量，温度，湿度，照度，風速センサ(以下外部センサ)がひとつずつあると仮定している．外部センサから取得可能な各環境要因に対するセンサ値を環境値と呼ぶ．「環境を再現する」とは，再現する場所における現在の環境値を目的の環境値にすることを意味する．提案システムは環境を再現するための手段として，再現する場所に存在する家電を利用する．提案システムは以下の特徴をもつ．

特徴 1 環境を記録する機能を有し，ユーザのコンテキストとして環境をシステムに与える機能を有する

特徴 2 異なる家電利用環境(場所や家電)においても，ユーザのコンテキストに応じて，制御対象家電とその状態を決定する機能を有する

このシステムの実現上の問題点を以下に挙げる．

実現上の問題点 再現する目的環境を記録した場所の家電利用環境と異なる場所で，目的環境を再現する場合の制御対象家電とその状態の決定方法

従来の家電制御システムでは，ある家電利用環境における家電の状態を記録し，記録した状態を同じ場所で実現することは比較的容易である．一方，家電そのものの状態の再現ではなく，記録した環境を再現するためには，現在の環境と目的の環境との差分を埋めるように家電を制御する必要がある．しかし，その際に差分を埋めることが可能な家電の状態を決定することは容易でない．異なる家電利用環境になると，制御対象家電の選択も必要になりさらに困難となる．

そこで我々は，各家電の各機能の状態が，各環境要因に与える影響力に着目し，それらを「作用力」として定義することで上記問題を解決した．作用力の詳細については 3 章で述べるが，直感的には「異なる種類の家電間で，ある環境要因に対する影響を測る尺度」と捉えることができる．これにより，システムはどの家電を使い，どの状態にすれば環境値をどの程度変化させることが可能であるかを認識できる．提案システムは以下の機能をもつ．

機能 1 環境記録機能

機能 2 家電の状態変化による環境への影響度を認識する機能

機能 3 環境再現機能

機能 1 の環境記録機能は，ユーザの周囲の環境を記録する機能である．提案システムでは記録した環境をコンテキストとして扱う．機能 2 は，システムが各家電の状態による環境に対す

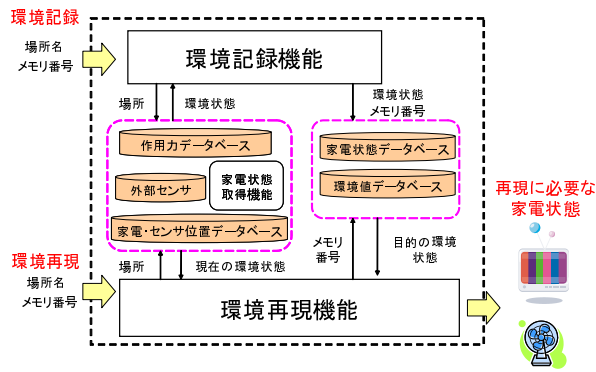


図 1 提案システムの構成図．

表 1 環境値データベース．

メモリ番号	環境要因	種類	センサ名	値
1	温度	Sensor	TempSensor1	20

表 2 家電状態データベース．

メモリ番号	環境要因	種類	家電名	機能名	状態
1	映像	TV	Sanyo1	電源	ON

表 3 家電・センサ位置データベース．

場所	名前	種類
リビング	Sanyo1	TV

る影響度を認識する機能である．現在の環境に対して，各家電の状態が及ぼす影響の度合いを作用力として計算し，それぞれに付与する．機能 3 の環境再現機能では，機能 1 な家電とその状態を決定する．

機能 1 で記録した環境を実現するために機能 2 によって認識された作用力を用いて，再現に必要な提案システムでは，ユーザが記録したい環境（温度，湿度等）を明示的に指定することによって記録し，その環境を好きな時，好きな場所で再現することを目的とする．もし，適切な家電が利用できる場合には，環境を再現するための家電とその状態が得られる．各機能については，4 章で詳しく説明する．

2.2 提案システムの構成と必要なデータ

提案システムの構成図を図 1 に示す．

以下に，提案システムで用いる用語とデータ構造について説明する．

(A) 家電状態 家電の状態とその状態が影響を与える環境要因を家電状態と定義する．家電状態は（環境要因，種類，家電名，機能，状態）の項目をもつ．提案システムでは，家電の状態（種類，家電名，機能，状態）を取得可能な機能（家電状態取得機能と呼ぶ）の存在を仮定する．

(B) 家電状況 ある場所に存在するすべての家電状態の集合を家電状況と定義する．

(C) 環境値リスト 外部センサから取得する各環境要因の環境値を保持するリストを環境値リストと定義する．環境値リストは（環境要因，種類，センサ名，環境値）の項目を持つ．環境値リストの環境要因は，センサ名に対して環境要因が決定される．

(D) 環境状態 任意の場所での環境値リストと家電状況の 2 つをまとめて環境状態と定義する．

(E) 環境値データベース 各環境要因の値を格納したデータベースである（表 1）．環境値データベースは，（メモリ番号，環境要因，種類，センサ名，値）で定義される．例えば，表 1 は，「温度」の環境要因の値を示す温度センサ TempSensor1 の値が

20 であることをメモリ番号 1 に保持してあることを意味する．

(F) 家電状態データベース 各家電状態を表すデータベースである（表 2）．家電状態データベースは，（メモリ番号，環境要因，種類，家電名，機能，状態）と定義される．例えば，表 2 は，メモリ番号 1 には，Sanyo1 という TV の電源機能の状態は ON であり，「映像」に影響を与えていることを意味する．

(G) 家電・センサ位置データベース 各家電及びセンサが存在する位置を表すデータベースである（表 3）．家電・センサ位置データベースは，（場所，名前，種類）で構成される．例として表 3 は，リビングに TV の Sanyo1 が存在することを意味する．

3. 家電状態の作用力

3.1 作用力の必要性

提案システムは，記録した環境（目的環境）を再現するために必要な家電とその状態を決定する．これには，いわゆる適応制御によって各家電が自律的に動作し，目的環境を再現する方法が考えられる．しかし，各家電は複数の環境要因に対して影響を及ぼすため，これらすべてを考慮した適応制御は一般に困難である．そこで我々は，各家電が環境要因に及ぼす影響をあらかじめ数値化し，これを用いて決定的に家電の状態を求めるシステムを提案する．提案システムでは，各家電における各状態が環境に与える影響度を「作用力」として求めておき，これを用いて現在環境と目的環境との差を埋めるために必要な家電とその状態を選択する．影響度を作用力として数値化することにより，以下の効果が得られる．

効果 1 家電の持つ各状態の環境への影響度を具体的に認識可能

通常の家電利用環境では，家電が環境に与える影響度は「より強く」などのように曖昧に扱われる．これを数値化することで，家電の状態が環境に与える影響度を厳密に扱うことが可能となる．

効果 2 異種家電間の環境への影響度を統一的に扱うことが可能

同一の環境要因に対して影響を及ぼすが種類の異なる家電（例：TV とドライヤは共に音量に対して影響）の影響度を統一的に扱うことが可能になる．また，同一の家電に対しても複数の環境要因への影響を表現可能になる．

以上の効果より，目的環境を再現するために必要な家電とその状態の組合せを決定することが可能となる．

3.2 作用力の定義

文献 [14] で用いられている作用力の問題点を示す．

問題点 1 作用力の扱いが煩雑

問題点 2 実環境で目的の環境を再現できない場合有り

問題点 1 は，現在の環境力からの相対値として定義した場合と絶対値として定義した場合があり，作用力の扱いが煩雑になる．問題点 2 は，環境要因の絶対値としての作用力を持つ家電の状態は，実環境において環境を再現できない場合がある．例として，環境要因の温度を 17 から 20 にする場合を考える．もし環境の再現前にエアコンの設定温度 20 であった場合，エアコンを使って適切な状態を選択できない．これは，作用力を絶対値として与えたために生じた問題と考える．

これらをふまえて本稿では，作用力を現在の家電の状態から他の状態へ変化した時に期待される現在の環境値からの変化量と定義する．つまり，文献 [14] では作用力を静的に定義していたのに対し，今回提案する作用力は，現在の環境値によって動的に決定される．作用力計算法の詳細は後述するが，基本的には家電の各状態に対して家電の能力と現在の環境値から計算される．ここで家電の各状態の能力は，あらかじめ決定されており（表 4），システムはこの値と環境を再現しようとする場所

表 4 作用力データベース (一部) .

要因	種類	家電名	機能	状態	機能2	状態2	能力	作用力
映像	TV	Sanyo1	電源	ON			1	
		Sanyo1		OFF			0	
		Onkyo1		OFF			0	
音量	Audio	Onkyo1	音量	STOP	電源	ON	0	
		Onkyo1		0	Disc	Play	(+)5	
		Onkyo1		...	Disc	Play	...	
		Onkyo1		30	Disc	Play	(+)79	
		Onkyo1		...	Disc	Play	...	
温度	エアコン	Daikin1	電源	OFF			0	
		Daikin1		18	電源	ON	(+)18	
		Daikin1		...	電源	ON	...	
		Daikin1		30	電源	ON	(+)30	
湿度	...	...	...	...	...	...	...	
照度	ライト	National1	電源	OFF			0	
		National1		Dark	電源	ON	(+)100	
		National1		Bright	電源	ON	(+)300	
		National1		...	電源	ON	...	
風速	扇風機	Fan1	電源	OFF			0	
		Fan1		Low	電源	OFF	(+)0.5	
		Fan1		Middle	電源	OFF	(+)1	
		Fan1		High	電源	OFF	(+)2	

においてその時点でセンサから得られた環境値を用いて作用力を求める。

3.3 家電状態の持つ能力

我々は、各家電の状態に対し家電の持つ絶対的な影響力を付与する。これを家電状態の「能力」と定義する。能力とは直観的には、家電の電源が OFF の状態からある状態に変化させた時に、その状態で期待される環境値の変化量である。以下では、各環境要因に関する家電状態の能力の決定方法について述べる。映像に関する家電状態の能力

環境要因の「映像」は、映像の有無の 2 値で表す。そのため、家電状態が「映像有り」の状態である場合、その家電状態の能力は映像に対して「1」の能力を持つとする。また、家電状態が「映像無し」の状態である場合、その家電状態の能力は映像に対して「0」の能力を持つとする。

音に関する家電状態の能力

環境要因の「音」は、無音室 (環境値が 0 の状態) で家電の状態を電源 OFF から能力を求める状態へ変化させた時に期待される環境値の変化量をその家電状態の能力の値とする。

温度に関する家電状態の能力

環境要因の「温度」の能力の決定方法は 2 種類ある。エアコン等の設定温度機能の場合は、設定温度機能の設定値がそのまま能力の値となる。また、ヒーター等の強弱で指定する機能の場合は、家電の状態を電源 OFF から能力を求める状態へ変化させて、恒温状態になった時の温度をその家電状態の能力の値とする。

湿度に関する家電状態の能力

環境要因の「湿度」の能力の決定方法は 2 種類ある。設定湿度機能の場合は、設定湿度の設定値がそのまま能力の値となる。また、強弱で指定する機能の場合は、家電の状態を電源 OFF から能力を求める状態へ変化させて、湿度が一定状態になった時の湿度の変化量をその家電状態の能力の値とする。

照度に関する家電状態の能力

環境要因の「照度」は、光源がない場所 (環境値が 0) で家電の状態を電源 OFF から能力を求める状態へ変化させた時に期待される環境値の変化量をその家電状態の能力の値とする。

風速に関する家電状態の能力

環境要因の「風速」は、無風である場所 (環境値が 0 の状態) で家電の状態を電源 OFF から能力を求める状態へ変化させた時に期待される環境値の変化量をその家電状態の能力の値とする。

3.4 作用力データベース

表 4 は、各家電の各状態の能力と作用力を格納するデータベースである。表 4 の作用力の値は空欄であるが、後に現在の環境値とその状態に変化した後の環境値を使って計算すること

で求められる。現在の作用力データベースは、(要因, 種類, 家電名, 機能, 状態, 能力, 作用力) の項目で定義される。

3.5 作用力の計算方法

各環境要因の作用力の計算方法について以下より説明する。作用力は現在の環境値 $CurrEnv$ と家電状態を変化させた後の環境値 $EnvValue$ を式 (1) に代入して求められる。各環境要因に応じて、家電状態を変化させた後の環境値を求めて作用力 AP を計算する。以下から、各環境要因の作用力の計算方法について説明する。

$$AP = EnvValue - CurrEnv \quad (1)$$

映像に関する作用力の計算

「映像」は、「映像無し」を環境値 0 とし、「映像有り」を環境値 1 とする。つまり、環境値を 1 にすることができる作用力は映像を「有」にし、環境値を 0 にすることができる作用力は映像を「無」にする。これより作用力 AP は、現在の環境値 $CurrEnv$ と家電状態を変化させた時の環境値 $EnvValue$ との変化量で決まる。変化後の環境値 $EnvValue$ は、変化後の家電状態の能力 P と同じである。よって、これらの値を式 (1) に代入することで、変化後の家電状態の作用力を計算できる。

音に関する作用力

「音」の作用力は、現在の環境値 $CurrEnv$ 、現在の家電状態の能力 $CurrP$ 、変化後の家電状態の能力 P で求める。音量は、周囲の雑音 $Noise$ と家電の各状態の能力 (表 4) の合成値としている。そのため、周囲の雑音は、現在の家電状態の能力と現在の環境値を式 (2) に代入することで求められる。家電状態の変化後の環境値は、変化後の家電状態の能力と周囲の雑音との合成値で求められる。そのため、変化後の家電状態の能力と周囲の雑音を式 (3) に代入して変化後の環境値 $EnvValue$ を求める。変化後の環境値を式 (1) に代入して、変化後の家電状態の作用力 AP を求める。

$$Noise = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{CurrEnv}{10}} - 10^{\frac{CurrP}{10}} \right) \quad (2)$$

$$EnvValue = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{Noise}{10}} + 10^{\frac{P}{10}} \right) \quad (3)$$

温度、湿度に関する作用力

「温度、湿度」の作用力は、現在と変化後の家電状態の能力の差分だけ現在の環境値に対して影響を与えることができる。このことから、家電状態を変化させた後の環境値 $EnvValue$ は、現在の環境値 $CurrEnv$ 、現在の家電状態の能力 $CurrP$ 、変化後の家電状態の能力 P を式 (4) に代入して求められる。従って、変化後の環境値と現在の環境値を式 (1) に代入することで、変化後の家電状態の作用力 AP を求めることができる。

$$EnvValue = (P - CurrP) + CurrEnv \quad (4)$$

照度に関する作用力

「照度」の作用力は、現在の家電状態の能力 $CurrP$ と変化後の家電状態の能力 P で決定することができる。

$$AP = P - CurrP \quad (5)$$

つまり、現在の状態の能力と次状態の能力の差がそのまま作用力となり、照度に影響を与える各家電状態の作用力は現在の環境値によらず作用力を求めることが可能である。そのため、変化後の家電状態の作用力を式 (5) で計算する。

風速に関する作用力

「風速」は、複数の発生源がある場合、その最大風速が環境値になる。つまり、現在の環境値 $CurrEnv$ 、変化後の家電状態の能力を P とすると、変化後の環境値 $EnvValue$ は式 (6) で計算される。従ってこの時の作用力 AP は式 (1) で求められる。

$$EnvValue = \max(P, CurrEnv) \quad (6)$$

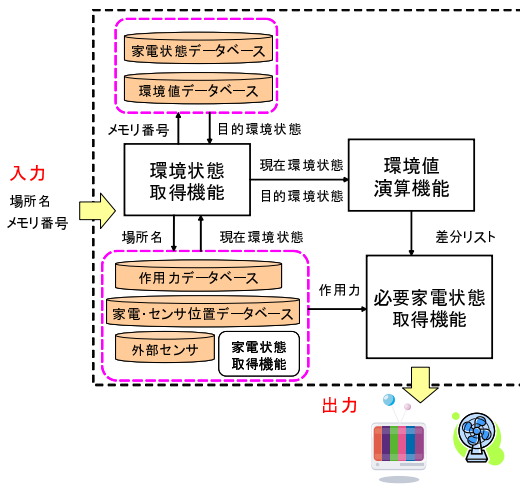


図2 環境再現機能の構成図。

4. 提案システムの実現法

4.1 環境記録機能

本節では、環境記録機能の実現法について述べる。環境記録機能は、環境を記録する場所名とメモリ番号を入力として、その場所における環境値リストと家電状況をそれぞれ、環境値データベース、家電状態データベースに格納する。提案システムでは記録した環境を一意に定めるために、ユーザが記録した環境にユニークなメモリ番号を付与する。次項で環境記録機能に必要な機能について述べる。

4.1.1 環境記録機能の実現

環境記録機能を実現するために、以下の処理を行う。

Step1 「場所名」をキーとして、家電・センサ位置データベースから家電名およびセンサ名と、その種類を取得する
Step2 Step1で取得した家電名およびセンサ名とその種類を入力として環境状態を取得
Step3 環境状態とメモリ番号を入力として、環境状態の家電状況を家電状態データベースに、環境値リストを環境値データベースに格納
Step2では、家電状態取得機能から「家電名」と「種類」をキーとして家電の状態を取得し、作用力データベースから家電の状態に対応する環境要因を求める。これらから家電状態を構成し家電状況を求める。また、入力の「センサ名」に対応する外部センサから環境値を取得し、環境値リストを作成する。

4.2 環境再現機能

本節では環境再現機能について述べる。システムは環境を再現する場所名と再現したい環境（のメモリ番号）を入力として受けとり、再現するために必要な家電とその状態を出力する。ここで、ユーザが再現したい環境状態を「目的環境」、再現前の環境状態を「現在環境」、出力される各家電状態を「必要家電状態」と呼ぶ。また、必要家電状態の集合を「必要家電状態リスト」と呼ぶ。必要家電状態リストは以下の条件を満たす。
条件1 ユーザが指定した場所に存在する家電を利用
条件2 目的の環境値へ近づけることが可能な家電状態
環境再現機能は図2で示す機能とデータベースで構成される。次項で環境再現機能に必要な機能について述べる。

4.2.1 環境再現機能の実現

環境状態取得機能

環境状態取得機能は、入力として場所名、メモリ番号を受け取り、その場所での現在環境と目的環境を出力する。

現在環境を取得する場合は、再現する場所の家電状況と環境

値リストを取得する。取得した家電状況と環境値リストから現在環境を生成する。

目的環境を取得する場合は、「メモリ番号」をキーとして、環境値データベース、家電状態データベースからそれぞれ環境値リストと家電状況を取得する。

取得した現在環境と目的環境を環境値演算機能へ渡す。

環境値演算機能

現在環境に含まれる環境値と目的環境に含まれる環境値を受け取り、それらの差分を演算し、各環境要因の環境値の差分を差分リストとして出力する機能である。差分リストは（環境要因、環境値の差分）で定義される。環境値の差分を $EnvDiff$ 、現在環境の環境値を $CurrValue$ 、目的環境の環境値を $TarValue$ とし、演算方法を式(7)に示す。

$$EnvDiff = TarValue - CurrValue \quad (7)$$

必要家電状態取得機能

環境値演算機能で計算した各環境要因の差分を埋めることが可能な家電状態を取得する機能である。再現する場所名、差分リストを入力として以下のステップで必要家電状態を求める。

Step1 候補の必要家電状態を求める

Step2 候補の必要家電状態の作用力を求める

Step3 候補の必要家電状態の中から必要家電状態を絞り込む以下より、各ステップの詳細について述べる。

Step1: 候補の必要家電状態の決定方法

複数の家電の中から、再現する場所に存在する家電を絞り込む。その家電がもつすべての状態を候補の必要家電状態とする。処理ステップを以下に示す。

Step1-1 「場所名」をキーとして、家電・センサ位置データベースから家電名とその種類を取得

Step1-2 Step1-1で取得した「種類」、「家電名」をキーとして、作用力データベースから候補の必要家電状態とその能力を取得

Step1-3 候補の必要家電状態リストとその作用力を Step2へ渡す

Step2: 候補の必要家電状態の作用力の計算

現在環境に含まれる現在の家電状況、候補の必要家電状態リストを受け取る。現在の家電状況から各家電状態の作用力を計算し、作用力データベースに保持する。候補の必要家電状態リストの各家電状態に対応する作用力を作用力データベースから取得し、候補の必要家電状態リストと対応する作用力を Step3へ渡す。作用力の計算方法については3.3節を参照。

Step3: 必要家電状態絞り込み機能

環境値演算機能で求めた差分リスト、候補の必要家電状態リストとそれぞれに対応する作用力を受け取り、各環境要因の環境値の差分を埋める、もしくは差分を最小にできる家電状態を決定し、必要家電状態リストに追加する。この必要家電状態リストが出力となる。処理ステップを以下に示す。

Step3-1 環境値の差分のある環境要因を求める

Step3-2 候補の必要家電状態の中から、該当する環境要因で必要家電状態を絞り込む

Step3-3 現在と目的の環境値との差分を最も小さくできる作用力をもつ家電状態をひとつ選択

Step3-4 環境値の差分を更新し、選択した家電状態を必要家電状態リストに追加

Step3-5 必要家電状態リストを出力

Step3-3で、候補の必要家電状態リストの中に、環境値の差分を最も小さくできる家電状態が複数あった場合、システムは任意に家電状態をひとつ選択する。

Step3-4では、式(8)を用いて環境値の差分を更新する。更新

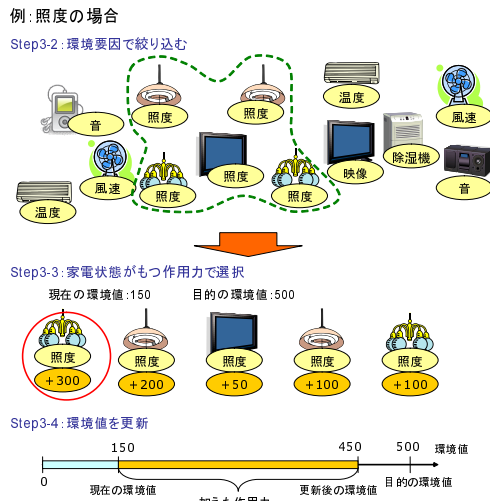


図 3 必要家電状態の選択手順．

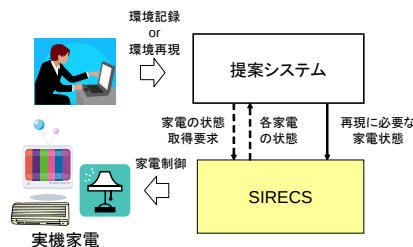


図 4 プロトタイプシステムの構成図．

後の環境値の差分を $UpdateEnvDiff$ とする．

$$UpdateEnvDiff = EnvDiff - AP \quad (8)$$

各環境要因に対して、環境値の差分をこれ以上小さくすることができない、もしくは候補の必要家電状態リストがなくなるまで Step3-2～Step3-4 を繰り返す (図 3)．

必要家電状態リストがこの機能の出力である．すなわち、環境の再現に必要な家電とその状態である．

5. プロトタイプシステムの実装

提案システムのプロトタイプシステムを実装した．提案システムはユーザが指定した場所に存在する家電とその状態を認識することが必要である．そのために、我々は状況認識型家電制御システム SIRECS [15] を用いた．SIRECS はシステム内に実際の家電と同じ状態遷移を行う仮想的な家電 (仮想家電) を持つ．プロトタイプシステムでは、「家電状態取得機能」として SIRECS を用いる．プロトタイプシステムの構成を図 4 に示す．

プロトタイプシステムで扱う家電は、TV、オーディオコンボ、エアコン、除湿機、加湿器、ライト、扇風機の 7 種類で、各家電の仮想家電をシステムに実装した．

6. 検証実験

提案システムでは、作用力を「現在の家電の状態から作用力を求めたい状態へ変化させた時に期待される環境値の変化量」と定義し、作用力によって環境値の差分を埋めることで、環境の再現に必要な家電状態を選択する．そこで、実環境において作用力に基づいた家電状態の決定方法が妥当であるかどうかを目的として検証した．

6.1 検証方法

家電を使用して家電の各状態における環境値を測定した．今回測定した環境値の要因は音、照度、温度、風速の 3 つとした．実験を行った部屋の大きさは縦 7.6m × 横 3.6m × 高さ 2.5m で

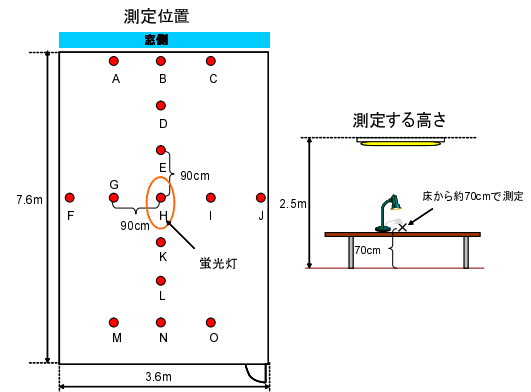


図 5 照度の測定方法と測定地点．

ある．それぞれの実験環境について説明する．

照度の実験環境

使用した家電 天井の蛍光灯 (メーカー: 日立, 型番: FLR40S・EX-N/M/36-A, 電力: 36W) × 2 本, (メーカー: 日立, 型番: FLR40SW/M-B, 電力: 40W) × 1 本, 電気スタンド (メーカー: インターコンプ, 型番: BIS2000), 電気スタンドの蛍光灯 (メーカー: 日立, 型番: FPL27EX-N, 電力: 27W)

測定器具 マルチ環境計測器 LM-8000 (メーカー: FUSO)

測定方法は「電気スタンド 1 つ」、「蛍光灯 0～3 本」、「電気スタンド 1 つ + 蛍光灯 3 本」の 6 つの場合において照度を測定した．測定時間は昼と夜で行った．測定地点は図 5 の A～O の地点で測定を行った．各地点で照度を測定する場合の測定値は、測定器具で測定値が一定になったところの値をとった．測定結果から光源を変化させた場合、照度の測定値の変化量と作用力との関係について検証した．

音量の実験環境

使用した家電 TV (メーカー: SANYO, 型番: C-24WS5), Audio プレーヤ (メーカー: SONY, 型番: NW-A607), スピーカ (メーカー: ELECOM, 型番: MS-105USV)

測定器具 デジタル騒音計 AR-834 (メーカー: 松電舎)

家電 (音源) の正面から 1m, 2m, 3m, 4m の地点で音量を測定した．Audio プレーヤを使用して音量を測定する時、Audio プレーヤをスピーカに接続し、スピーカから音を出力させた．使用したスピーカの音量は最大に固定し、Audio プレーヤの音量の状態を調節して測定を行った．音源データとして、それぞれの機器から白色雑音を出力させた．

Audio プレーヤのみで各状態の音量を測定、TV のみで各状態の音量を測定、TV と Audio プレーヤを 2 つ同時に使用し、Audio プレーヤの音量を一定にして、TV の状態を変化させたときの音量の合成値を測定した．音量を測定する場合の測定値は、測定器具で得られた最小値と最大値の平均値とした．これらの測定結果を基に、実環境での家電状態を変化させたときの測定値の変化量と作用力との関係を検証した．

温度の実験環境

使用した家電 エアコン (メーカー: DAIKIN, 型番: 室内ユニット機種名=FHP50A9, 室外ユニット機種名=RZYP50AV)

測定器具 マルチ環境計測器 LM-8000 (メーカー: FUSO)

温度の測定方法は、エアコンの設定温度で部屋内の温度をある状態にし、さらにエアコンの設定温度を変えて移動させたときの部屋内の温度を測定した．測定地点は、エアコンからそれぞれ 1m, 5m 離れた地点とした．温度を測定するタイミングは、エアコンの設定温度を変えて移動させてから、30 分後、1 時間後とした．温度を測定する場合は、測定器具から得られた

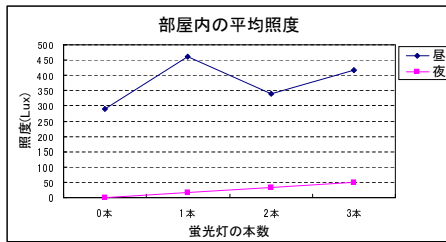


図 6 蛍光灯 0 本から 3 本の場合の部屋内の平均照度。

表 5 夜間において蛍光灯と電気スタンドを使用した時の部屋内の照度。

使用した光源	測定地点			
	B地点	D地点	E地点	H地点
電気スタンド + 蛍光灯3本	63Lux	146Lux	375Lux	931Lux
蛍光灯3本	63Lux	145Lux	336Lux	498Lux
電気スタンド	0Lux	3Lux	46Lux	583Lux

値が一定になったところの値とした。測定結果から、エアコンで設定した温度の差分だけ温度を変化させることができているかを検証する。

風速の実験環境

使用した家電 扇風機 1(メーカー:SANYO, 型番:EF-30CM6), 扇風機 2(メーカー:MORITA, 型番:MF-313NE)

測定器具 マルチ環境計測器 LM-8000 (メーカー:FUSO)

2 台の扇風機 (扇風機 1, 扇風機 2) を使用して, 1 台の扇風機の風量モードを固定した時に, もう一方の扇風機の風量モードを変化させた時の風速を測定し, その時の風速の測定値の変化量と作用力との関係を検証した。扇風機を直列に配置した場合, 並列に配置した場合の 2 パターンで行った。測定地点は扇風機の正面から 1m, 2m, 3m の位置とした。扇風機を直列に配置する場合は, 扇風機 2 を扇風機 1 から 40cm 後方の位置に設置した。風速を測定する場合の測定値は, 測定器具から得られた最大値と最小値の平均値とした。

6.2 検証結果と考察

各環境要因の検証結果と考察について述べる。

照度の測定結果と考察

図 6 は, 蛍光灯を 0 本~3 本使った場合で, A, C, M, O 地点の平均照度 (部屋全体の平均照度) を照度示したグラフである。表 5 は, 蛍光灯と電気スタンドを用いた場合の B, D, E, H 地点での照度の測定値を示す。図 6 より, 照度は日差しの影響を受ける状況においては, 家電の作用力を用いて環境を再現することが困難であることが分かる。これは, 窓から入る外光による影響が大きく, 室内の蛍光灯による影響が隠蔽されてしまっているものと考えられる。しかし, 夜間においては, 蛍光灯を 2 本, 3 本と増加させると照度は蛍光灯の本数に比例して平均照度も増加することが分かる。表 5 より, 電気スタンドと蛍光灯 3 本を使用した時の照度は, 電気スタンド 1 つの照度と蛍光灯 3 本の照度を足し合わせた照度に近くなるといえる。このことから, 外部に強い光源がない場合 (夜間等) は, 各光源のもつ能力の和で計算できるといえる。つまり, 照度の作用力は現在の状態と変化後の状態の能力の差分で求められるといえる。従って, 各地点ごとにおいて実環境での作用力を用いた家電状態の決定方法は正しいといえる。

表 5 より, 各測定地点ごとに照度の測定値は異なる。これより, より正確に部屋全体の環境を再現するには, 部屋内の光源の位置と光源からの距離を考慮して家電状態の能力を決定し作用力を求める必要がある。

音量の測定結果と考察

表 6 は, Audio プレーヤの状態を Vol.27 で一定にし, TV の

表 6 Audio プレーヤの状態を一定 (Vol.27) で, TV の状態を変えた時の測定値と理論値の変化量。(音源から 1m)

状態変化前			状態変化後			変化量	
TVの状態	測定値	理論値	TVの状態	測定値	理論値	測定値	理論値
Vol.15	52dB	52.5dB	Vol.20	53.9dB	53.9dB	1.9dB	1.4dB
Vol.15	52dB	52.5dB	Vol.25	56.3dB	57.2dB	4.3dB	4.7dB
Vol.15	52dB	52.5dB	Vol.30	60.1dB	60.0dB	8.1dB	7.5dB

表 7 Audio プレーヤの状態を一定 (Vol.27) で, TV の状態を変えた時の測定値と理論値の変化量。(音源から 1m と 4m)

状態変化前			状態変化後			変化量	
TVの状態	1m	4m	TVの状態	1m	4m	1m	4m
Vol.15	52dB	49.8dB	Vol.20	53.9dB	51.8dB	1.9dB	2.0dB
Vol.15	52dB	49.8dB	Vol.25	56.3dB	55.2dB	4.3dB	5.4dB
Vol.15	52dB	49.8dB	Vol.30	60.1dB	58.6dB	8.1dB	8.8dB

表 8 設定温度 22 (冷房モード) から設定温度 27 (暖房モード) に変化させた場合の測定結果。

	測定地点		測定前との変化量	
	1m	5m	1m	5m
測定前	19.6℃	19.7℃		
30分後	25.4℃	25.4℃	5.8℃	5.7℃
1時間後	25.9℃	25.9℃	6.3℃	6.2℃

表 9 設定温度 29 (暖房モード) から設定温度 24 (冷房モード) に変化させた場合の測定結果。

	測定地点		測定前との変化量	
	1m	5m	1m	5m
測定前	27.4℃	27.2℃		
30分後	21.8℃	22℃	-5.6℃	-5.2℃
1時間後	20.4℃	20.5℃	-7℃	-6.7℃

状態をそれぞれ Vol.15, Vol.20, Vol.25, Vol.30 にしたときの測定値の変化量と理論値の変化量を示す。理論値の変化量は, 提案システムで定義する作用力を意味する。ここで, 理論値は, Audio プレーヤの音量を雑音 $noise[dB]$ として考え, その雑音と TV 単独での音量 $tv-vol[dB]$ を使用して式 (9) で計算した合成値である。表 7 は, 表 6 と同様の条件で, 音源から 1m と 4m の地点での音量の測定値を示す。

表 6 より, 提案システムで定義した作用力と測定値の変化量との誤差は 0.4dB ~ 0.6dB であり, ほぼ同じ値を示す。例えば, 表 6 の条件で環境値を 58.0dB にする場合, 実環境 (音源から 1m の地点) における最適な家電状態と提案システムが選択する家電状態はともに「TV の音量 Vol.25」となる。また, 表 7 より, 音源から 4m 離れた地点での実環境における最適な家電状態も一致する。このことから, 音源から 1~4m 以内であれば, 作用力を用いた家電状態の決定方法は正しいといえる。しかし, 音源からの距離によって測定値は変化する。そのため, 音源を部屋中にランダムに配置した場合, 音源からの距離を考慮して家電状態の能力を決定し作用力を求める必要がある。

$$Volume = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{noise}{10}} + 10^{\frac{tv-vol}{10}} \right) \quad (9)$$

温度の測定結果と考察

エアコンの状態をある設定温度で 1 時間稼働させた後, 設定温度を変えてから 30 分後と 1 時間後の部屋内の温度を測定した。表 8, 9 に, それぞれ設定温度を変化させた場合の部屋内の温度とその変化量を示す。

これらの結果より, エアコンの設定温度を変えてから 1 時間経過後にはほぼ設定温度で指定した差分 ± 1 程度温度を変化させている。また, エアコンから 1m, 5m 離れた位置での測定値はどの場合も同じであった。従って, 実環境での温度の変化量は, エアコンからの距離に関わらず家電状態を変化させてから 1 時間後くらいで提案した作用力の値に近づくことがいえる。以上より, 実環境においても提案した作用力を用いた家電状態の決定方法は正しいといえる。

表 10 直列に配置した時の各扇風機の各状態の測定値．

家電	状態	扇風機1からの距離		
		1m	2m	3m
扇風機1	弱	0.3m/s	0.1m/s	0.1m/s
	中	0.8m/s	0.4m/s	0.2m/s
	強	1.8m/s	0.7m/s	0.3m/s
扇風機2	弱	0.1m/s	0m/s	0m/s
	中	0.2m/s	0.1m/s	0m/s
	強	0.3m/s	0.2m/s	0m/s

表 11 並列に配置した時の各扇風機の各状態の測定値．

家電	状態	扇風機1からの距離		
		1m	2m	3m
扇風機1	弱	0.3m/s	0.1m/s	0.1m/s
	中	0.8m/s	0.4m/s	0.2m/s
	強	1.8m/s	0.7m/s	0.3m/s
扇風機2	弱	0.6m/s	0.4m/s	0.1m/s
	中	1.4m/s	0.8m/s	0.4m/s
	強	2.1m/s	0.9m/s	0.5m/s

表 12 扇風機 1 から 1m 離れた地点での測定値の変化量と作用力．(直列に配置)

状態変化前			状態変化後			測定値の 変化量	作用力
扇風機1	扇風機2	測定値	扇風機1	扇風機2	測定値		
弱	弱	0.3m/s	中	弱	1.0m/s	0.7m/s	0.5m/s
弱	弱	0.3m/s	強	弱	2.1m/s	1.8m/s	1.5m/s
中	弱	1.0m/s	強	弱	2.1m/s	1.1m/s	0.8m/s

表 13 扇風機 1 から 3m 離れた地点での測定値の変化量と作用力．(直列に配置)

状態変化前			状態変化後			測定値の 変化量	作用力
扇風機1	扇風機2	測定値	扇風機1	扇風機2	測定値		
弱	弱	0.1m/s	中	弱	0.2m/s	0.1m/s	0.1m/s
弱	弱	0.1m/s	強	弱	0.3m/s	0.2m/s	0.2m/s
中	弱	0.2m/s	強	弱	0.3m/s	0.1m/s	0.1m/s

表 14 扇風機 1 から 1m 離れた地点での測定値の変化量と作用力．(並列に配置)

状態変化前			状態変化後			測定値の 変化量	作用力
扇風機1	扇風機2	測定値	扇風機1	扇風機2	測定値		
弱	弱	1.0m/s	中	弱	1.4m/s	0.4m/s	0.4m/s
弱	弱	1.0m/s	強	弱	2.1m/s	1.1m/s	1.1m/s
中	弱	1.4m/s	強	弱	2.1m/s	0.7m/s	0.7m/s

風速の測定結果と考察

扇風機 1, 2 の各風量モードでの実環境における測定値 (能力) を表 10, 11 に示す．表 12, 13 は、直列に扇風機を設置した場合で、扇風機 2 の風量を固定し扇風機 1 の風量を変化させた場合の測定値の変化量と各扇風機の各状態の能力に基づいて求めた作用力の値を示す．表 14 は、並列に扇風機を設置した場合で、扇風機 1 の風量を固定し、扇風機 2 の風量を変化させた場合の測定値の変化量と各扇風機の各状態の能力に基づいて求めた作用力の値を示す．表 12, 13, 14 より、家電の状態の変化前と変化後の測定値の変化量と作用力は誤差が 0.1m/s ~ 0.3m/s 程度でありほぼ同じ値を示す．また、扇風機の設置方法に関わらず、測定値の変化量と作用力の値はほぼ同じ値を示す．提案した作用力は実環境においても適用できるため、作用力を用いて再現に必要な家電状態を正しく選択できるといえる．しかし、扇風機からの距離が遠くなると風速に与える能力は 0m/s に近づく．以上より、作用力を用いた家電状態の決定方法は、家電から正面に 1 ~ 3m 以内の地点において正しいといえる．

7. まとめと今後の課題

本稿では、家電が影響を及ぼす「環境要因」とその度合を表す「作用力」を定義することで、目的の場所で目的の環境を再現するための家電状態を決定するシステムを提案した．また文献 [14] の作用力定義に対し新たな定義手法を提案し、その有効性および問題点を明らかにした．特に、文献 [14] で絶対値として作用力が定義されていたものに対し、現在の環境からの相対値で定義し直すことで、より正確な環境再現が可能になったと

考える．また、提案システムは既存研究に比べ、目的の場所によらずその場に存在する家電を連携制御させて利用者の望む環境を再現できる点で特徴的である．

提案する作用力定義の有効性を検証する実験によって、現在の作用力定義では対応できない点が明らかになった．各家電状態の環境要因に対する影響力は、利用者と家電の位置関係によって変化する場合がある．つまり、作用力をより正確に求めるためには、家電と利用者の位置を把握し、その距離をもパラメータとして利用する必要があると考える．

今後の課題は、複数の環境要因を目的の環境に再現するための最適な家電状態の決定手法が挙げられる．家電には複数の環境要因に対して影響を与える場合がある．この家電を利用する場合、ある環境要因は目的の環境に再現でき、一方で他の環境要因が再現できないことが起こる．例えば、映像を再現するために TV の電源を ON にした結果、照度が上がり、音量が大きくなってしまう場合である．これに関しては、複数の環境要因を考慮した最適な家電状態を決定するアルゴリズムの提案、環境要因の優先度を決定する妥当性のあるパラメータの提案等の解決方法が考えられる．

本研究では目的の環境値に近づくことを「環境を再現する」としている．この定義では、人間は環境要因によっては必ずしも環境を再現したと感じない場合があると考えられる．例えば音、映像の環境要因を再現する場合は、環境値を揃えることよりも、その内容を考慮した方が人間にとって重要である場合がある．つまり、目的の環境値に揃えるだけでは人間の感覚まで満足させる環境といえない．そのため、音の種類や映像の内容等の人間の感覚も考慮した環境の再現手法についても考える必要がある．

文 献

- [1] Sun Microsystems, Jini, <http://jp.sun.com/jini/>
- [2] UPnP Forum, UPnP, <http://www.upnp.org/>
- [3] HAVi, <http://www.havi.org/>
- [4] 東芝, FEMINITY, <http://www3.toshiba.co.jp/femininity/>
- [5] パナソニック電工, Lifinity, <http://denko.panasonic.biz/Ebox/kahs/>
- [6] DLNA, <http://www.dlna.org/jp/consumer/home>
- [7] 橋本政朋, 泉田大宗, 森 彰: リビングから始めるユビキタス - 情報家電インタフェース -, 情報処理, Vol.48 号, No.1, pp.53-58, (2007) .
- [8] 植田健太, 子板隆浩, 佐藤健哉: Google Maps を用いた統合型家電機器操作システムの構築, 2007-DPS-130-(68), pp.399-404(2007) .
- [9] 川原圭博, 司 化, 猪鹿倉知広, 登内敏夫, 森川博之: 行動履歴と制約条件を考慮した情報家電制御機構, 情報処理学会研究報告, UBI-10-6, pp.55-60(2006) .
- [10] 小林英嗣, 依田育生: ホームネットワークにおけるコンテキストとユーザ操作履歴を用いたサービス制御方式の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.2, pp.507-520(2006) .
- [11] 平尾郁美, 飯島正, 山口高平: 情報家電エージェント協調のためのオントロジーサービスの実現, 第 21 回人工知能学会全国大会 (2007) .
- [12] 藤山麻衣, 青山幹雄: SOA に基づく情報家電サービス連携の自動生成, 2006-SE-152-(7), pp.49-56(2006) .
- [13] Mari Korkea-aho: Context-Aware Applications Survey, 2000 .
- [14] 近藤隆史, 片山喜章, 高橋直久, 山本大介: 環境の記録・再現機能を有する家電制御システムについて, 情報処理学会研究報告, 2008-UBI-20, pp.23-30(2008) .
- [15] 疋田和久, 片山喜章, 高橋直久: 既存家電も含めた状況認識型家電制御システムの提案と実現, 情報処理学会研究報告, 2003-UBI-2, pp.189-194(2003) .