

修士論文

2005年度(平成17年度)

環境情報スナップショットの組み合わせによる
環境再現機構の構築

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

氏名：丸山 大佑

修士論文要旨 2005年度(平成17年度)

環境情報スナップショットの組み合わせによる 環境再現機構の構築

論文要旨

ユーザが、新しい環境で機器を利用する場合、以前に利用していた環境と同様の設定を実現したい場合がある。この場合、以前利用していた機器の設定を、新しい環境に適用できれば、ユーザの負担は軽減する。これを設定の再現と呼ぶ。また、個別の機器設定だけでなく、その環境の状況そのものを再現したい場合もある。例えば、部屋の温度を同じにしたい場合などが考えられる。これを、周辺状況の再現と呼ぶ。

近年のコンピュータやセンサの高性能化、ネットワークインフラの普及により、既存のコンピュータだけでなく、人々が日常的に利用する家電や家具などのアクチュエーション機能や、小型センサのセンシング機能がネットワークを介して利用可能となった。このようなユビキタス環境では、ユーザの周辺に存在する機器の数は膨大になり、設定や周辺状況を再現するためには、それらを個々に設定する必要がある。

このような環境では、機器設定の一覧を用意し、再現することにより、一度の操作により空間全体を設定可能であるため、ユーザの負担を軽減できる。本研究では再現の目標となる環境の記述を目標セットと呼ぶ。しかし、ユーザはさまざまな目的で空間を利用するため、目的に応じた目標セットを作成する作業がユーザの負担となっていた。本研究では、環境情報スナップショットの組み合わせを用いることで、ユーザの目標セットの作成コストを軽減することのできる、環境再現機構の構築を行った。

本研究では、あらかじめ取得した環境情報のスナップショットを用いて、ユーザが設定したい目標セットを作成することにより、ユーザの負担を軽減する。写真撮影のメタファで環境情報のスナップショットを行う u-Photo システムを採用し、カメラのスコープとシャッタのタイミングにより環境情報を取得する。機器が撮影されているどうかによって、ユーザの意図する再現対象が機器の設定なのか周辺状況なのかを判断する。また、u-Photo を組み合わせることにより、再現を行うための必要十分な目標セットを作成可能となる。本論分では、u-Photo による目標セット作成機構および、目標セットを元に環境再現を行うシステム SERS を実装した。SERS は、センサデータと機器の操作履歴の相関を学習し、Bayesian Network を構築することにより、目標セットをもとにユーザの意図する機器と周辺状況の再現を実現する。最後に、他の手法により環境再現を行った場合と比較し、ユーザの意図を考慮した上で、再現する環境をの定義を用意に行える点で本システムが有効であることを示した。

キーワード：

1 ユビキタスコンピューティング環境 2 環境再現 3 環境情報スナップショット 4 機器の連携動作

慶應義塾大学 政策・メディア研究科
丸山 大佑

Master's Thesis Academic Year 2005

An Environment Reproduction System using Combination of Environmental Snapshots

Abstract

In this research, I have built an environment reproduction system using a snapshot of environmental information.

These days, for the spread of network infrastructure and development of computers and sensors, computers are not only a device which can be controlled through network. Now we can activate furniture and appliances we use in every day life. Or we can also get values from small sensors from remote place through network. In such environment, by listing up settings of all the devices, it is possible to reproduce the environment. This enables setting up the environment by one action and reduces the work which user has to take compared to the work which we have to take in existing computing environment.

In this research, I call a target of environmental reproduction a “ Target Set ”. But user uses the environment for variety of purpose. It was a burden to make a target set for each purpose.

By making Target Set for each snapshot of environmental information, this research contributes reducing users ' burden. Adopting u-Photo system, which snapshots environmental information with metaphor of photo shoot, this system takes environmental information by using a scope of camera and timing of shutter. This system judges whether the reproduction target which user intends is setting of device or local atmosphere by checking if there is device in the picture. Also combination with u-Photo enables the system to make enough Target Set to reproduce the environment.

In this paper, I implemented a system “ SERS ”. This is a system which makes Target Set and also reproduces the environment based on the Target Set. By learning relation between sensor data and operation histories of devices and establishing Bayesian Network, SERS can reproduce device settings and local atmosphere the way user intends. At the end of this paper, considering user 's intention, I prove validness of this system in defining environment to reproduce easily by comparing the results when SERS is used to reproduce the environment and the result when another system is used to do it.

Keywords:

1 Ubiquitous computing environment 2 Environment reproduction 3 Environmental snapshot 4 Appliances cooperation

Graduate School of Media and Governance, Keio University
DAISUKE MARUYAMA

目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	2
1.2 本研究の目的	3
1.3 本論文の構成	3
第2章 環境の再現	4
2.1 環境の再現	5
2.1.1 環境再現の必要性	5
2.1.2 本研究が再現の対象とする環境	6
2.2 再現手法の比較	7
2.3 u-Photo による環境情報スナップショット	8
2.3.1 既存の u-Photo の特徴	9
2.3.2 u-Photo システムの構成	9
2.3.3 既存の u-Photo の問題点	11
2.4 本研究のアプローチ	11
2.5 本章のまとめ	11
第3章 環境情報スナップショットと環境再現	12
3.1 u-Photo を用いた環境情報スナップショット	13
3.2 目標セットを取得・再現するための要件	13
3.2.1 機器，周辺状況の選択に関する要件	13
3.2.2 環境に対する要件	14
3.3 問題点	14
3.3.1 u-Photo の問題点	15
3.3.2 環境の問題点	15
3.4 既存研究によって解決可能な問題	16
3.4.1 アクチュエーション機能の抽象化	16
3.4.2 センサの抽象化	17
3.5 本研究のアプローチ	18
3.5.1 写真の撮影方法によるユーザの意図抽出	18
3.5.2 u-Photo の組み合わせによる目標セットの作成	18

3.5.3	複数機器の連携	19
3.6	本章のまとめ	19
第4章	SERS の設計と実装	20
4.1	SERS 設計概要	21
4.2	ハードウェア構成	21
4.3	u-Photo Tools の構成	21
4.3.1	u-Photo クリエータ	23
4.3.2	u-Photo ビューワ	23
4.4	SERS 構成	24
4.4.1	センサデータ管理機構	24
4.4.2	機器操作履歴管理機構	24
4.4.3	アクチュエータ センサ相関学習機構	25
4.4.4	目標セット再現機構	25
4.4.5	必須機器発見機構	25
4.5	動作概要	25
4.5.1	目標セットの作成	26
4.5.2	機器設定とセンサデータの相関関係の学習	26
4.5.3	目標セットの再現	27
4.6	u-Photo カメラおよび u-Photo クリエータの実装	28
4.7	u-Photo ビューワの実装	31
4.8	SERS の実装	31
4.8.1	センサデータ管理機構	32
4.8.2	機器操作履歴管理機構	32
4.8.3	目標セット再現機構	32
4.8.4	アクチュエータ センサ相関学習機構	32
4.9	本章のまとめ	32
第5章	関連研究との比較	35
5.1	基本性能	36
5.1.1	目標セット作成に要する時間	36
5.1.2	機器設定の推測に要する時間	36
5.2	関連研究	38
5.2.1	スナップショットを用いる手法	38
5.2.2	エージェントを用いる手法	38
5.2.3	コンテキストを用いる手法	39
5.3	関連研究との比較	39
5.3.1	関連研究との比較	40
5.3.2	比較	41
5.4	本章のまとめ	41

第6章 結論	43
6.1 本論分のまとめ	44
6.2 今後の課題と展望	44
6.2.1 機器設定候補の複数提示	44
6.2.2 機器の位置関係を考慮した再現	44
参考文献	46

目 次

1.1	既存のコンピューティング環境とユビキタスコンピューティング環境における機器の利用形態	2
2.1	ユビキタスコンピューティング環境における機器とアプリケーションの関係	7
2.2	u-Photo の生成と u-Photo メディア	10
2.3	u-Photo システム構成図	10
4.1	システム概要図	22
4.2	u-Photo XML の合成	24
4.3	目標セット作成時のシーケンス図	26
4.4	散布図の例	28
4.5	環境再現時のシーケンス図	29
4.6	u-Photo カメラプロトタイプ実装の概観	30
4.7	u-Photo ビューワ GUI	31
4.8	JENGA フレームワークを用いて構築した Bayesian Network のモデル例	33
4.9	Bayesian Network による事後確率の算出	34
5.1	基本性能評価に利用した Bayesian Network モデル	37

表 目 次

4.1	Vaio typeU 仕様	30
4.2	USB カメラ仕様	31
4.3	サンプルデータの確率分布	33
4.4	想定目標セット	33
5.1	基本性能：目標セットの作成	36
5.2	基本性能：機器設定の推測	36
5.3	関連研究との比較	42

第 1 章

序論

本章では，本研究の意義および本論文の内容構成について述べる．

1.1 本研究の背景

既存のコンピューティング環境では、照明やテレビなどの機器を操作、設定するために、機器に組み込まれているスイッチやボタンによる直接操作や、専用の赤外線リモコンによる近接操作をユーザが行ってきた。しかし、近年のコンピュータの小型化や処理能力の向上、通信技術の進歩により、既存のコンピュータだけでなく、人々が日常的に利用する家電や家具 [1]、部屋自体 [2, 3] などに計算処理能力やネットワーク接続性を持たせ、遠隔地からの操作や機器同士を連携させた操作、機器や機器上で動作するサービスの状態取得が可能となった。また、センサも小型化、低価格化し、計算処理能力やネットワーク接続性を持った小型センサ [4, 5] が登場した。これらのセンサを用いて、温度や照度などの状況や位置、生体情報などを取得するセンサネットワークの研究 [6, 7] も行われ、センサデータを基に、自律的な機器の設定変更やソフトウェアの動作を変えることなどが実現されている。このようにさまざまな機器に計算処理能力やネットワーク接続性を持たせ、ユーザがそれらを適宜利用できる環境は、ユビキタスコンピューティング環境と呼ばれ、Mark Weiser によって提唱された [8]。本研究では、ユビキタスコンピューティング環境を想定する。

日常生活において、リビングで家族が団らんする、会議室でプレゼンテーションを行う、教室でミーティングを行うというように何度も同じ目的で空間を利用する場合が数多く考えられる。図 1.1 の a のように、既存のコンピューティング環境では、空間の利用を行う際に、その空間ごとにユーザが照明や空調を初め、複数の機器を個別に設定していた。一方、ユビキタスコンピューティング環境では、ネットワークを介して機器の設定が可能であるため、図 1.1 の b のように、あらかじめ機器の設定の一覧を用意し再現することにより、一度の操作により空間全体を設定可能である。このように、ユビキタスコンピューティング環境では、環境の再現を容易に行うことが可能である。

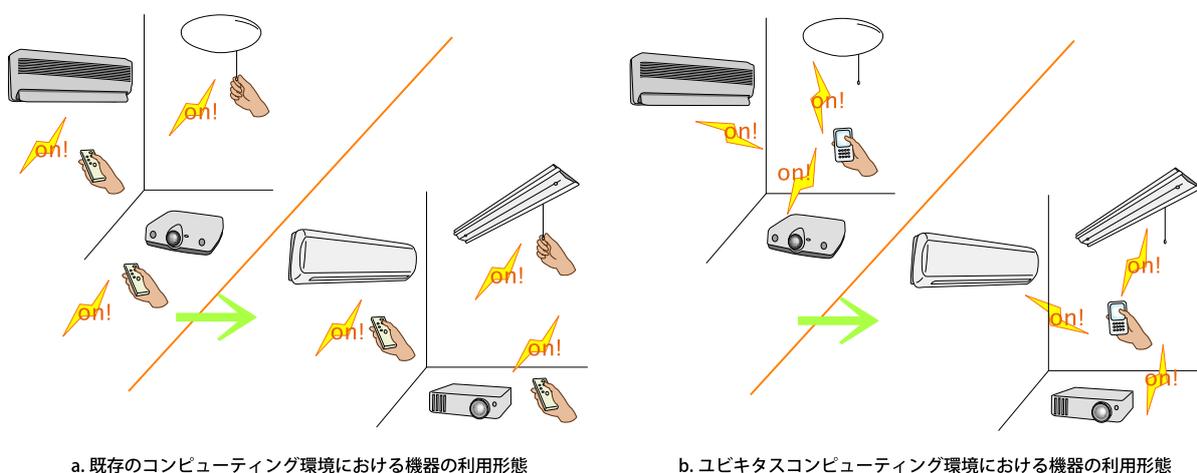


図 1.1: 既存のコンピューティング環境とユビキタスコンピューティング環境における機器の利用形態

1.2 本研究の目的

既存の CUI やディスプレイ上の GUI では、多数の目的ごとに設定一覧を用意する作業が非常に大きなユーザの負担となっていた。本研究の目的は、環境の再現を行うための設定一覧を容易に作成することである。任意のタイミングにおける機器の設定状況と、センサで取得した周辺状況の組み合わせを、環境情報のスナップショットと呼ぶ。本研究では、環境情報のスナップショットを取得し、別の時間、空間に同じ環境を再現することにより、ユーザが空間を利用する際の機器設定の煩わしさを軽減するシステム、SERS (Snapshot-based Environment Reproduction System) を構築する。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は、次の通りである。まず第 2 章で、本研究が対象とする環境とその再現について述べ、実現手法として環境情報のスナップショットを用いることを説明する。第 3 章では、環境情報スナップショットを用いて環境の再現を行う際の問題点を示し、その解決手法について述べる。第 4 章で、環境再現機構の設計と実装について述べ、第 5 章で評価について述べる。最後に、第 6 章で結論を述べる。

第 2 章

環境の再現

本章では、まず、本研究の再現の対象とする環境とその再現について定義する。次に、再現手法の検討を行い、環境情報のスナップショットを利用した再現手法について考察する。

2.1 環境の再現

本節では、本研究で実現する環境の再現の必要性を述べ、再現の対象とする環境について定義する。

2.1.1 環境再現の必要性

ユビキタスコンピューティング環境では、既存のコンピュータだけではなく、さまざまな機器が計算処理能力とネットワーク接続性を持つことが可能となった。また、ADSL や光通信などのブロードバンドネットワーク、無線 LAN や携帯電話、PHS などの無線技術の普及により、自宅のような私的空間だけでなく、大学のキャンパスやホテル、インターネットカフェなど、公共空間でもインターネットに接続可能な場所が増えてきた。

このような公共空間では、不特定のユーザが、個々の用途に応じて空間を一時的に占有することが想定される。例えば、ある教室を月曜日の朝は授業のために利用するが、火曜日の夜はサークルの懇親会で利用することが想定される。また、ホテルの部屋は宿泊に利用されるが、来客をもてなすために利用されるということも考えられる。逆に、あるユーザが異なる空間を同じ用途で利用することも想定される。例えば、補講のために異なる教室で授業を行うという場合が考えられる。

既存のコンピューティング環境では、授業のためにプロジェクタの電源を入れ、教室の照明をすべて点灯させ、エアコンを涼しめに設定する、懇親会のために照明を暗くし、エアコンを暖かく設定し、静かな音楽を流すという設定作業をそれぞれの空間を利用する際にその都度行っていた。しかし、同一の用途のために異なる空間を利用する際は、場所や時間が異なっても同様の設定で利用するため、その都度すべての機器をそれぞれ設定しなおすことは非常に煩わしい作業となる。

公共空間を利用する際には、自宅や会社の自席とは異なり、上述の補講を行う例のように、使い慣れない空間や初めて訪れる空間を利用することが考えられる。このような場合、各機器の操作インタフェースの位置や、操作方法が即座にわからない場合がある。

一方、私的な空間の場合は、空間の所有者が一つの空間を異なる用途で利用することが多い。例えば、リビングルームは食事やDVD鑑賞、団らんなど、さまざまな用途で利用される。各用途ごとに使用する機器やその設定が決まっているが、既存のコンピューティング環境では、空間の用途が変わるたびに個々の機器設定を変更する必要がある。私的空間の場合は、それぞれの機器の設定や配置に慣れているが、模様替えや引越しを行った際に、再び空間の利用に慣れるまでは機器の設定に戸惑うことが考えられる。また、用途に応じて機器の設定を変更する作業は、ユーザの負担となる。

ユビキタスコンピューティング環境では、空間に設置されている機器をネットワークを介して設定できる。あらかじめ、用途ごとに使用する機器の設定を記述しておき、その設定状態を再現できれば、ユーザは用途別の設定を選択するだけで空間の利用を開始できる。

以上のように，ユビキタスコンピューティング環境において，ある空間の環境を異なる空間で再現したり，同一の空間内で以前利用した環境を用途に応じて再現することで，ユーザの負担を軽減することができる．本研究では，このような環境の再現を実現する．

2.1.2 本研究が再現の対象とする環境

ユビキタスコンピューティング環境では，コンピュータだけでなく，家電機器や家具，センサなどが計算処理能力とネットワーク接続性を持つ．既存のコンピューティング環境では，個々の用途に応じて機器が独立して動作していた．それに対し，ユビキタスコンピューティング環境では各機器がネットワーク接続性を持つため，複数の機器が連携して動作することが可能となる．

本研究が目的とする環境の再現において，既存のコンピューティング環境では，各機器の設定を同一にすることにより実現していた．例えば，他の空間の温度を再現したい場合，エアコンの設定温度を同一にする．一方，ユビキタスコンピューティング環境において上記の温度の再現を実現する場合，温度はその日の天気や室内にいるユーザの人数などの周辺状況に応じて変化するため，エアコンのみではなく、ブラインドや窓の開閉システムと連携して実現すべきである．

このような周辺状況を考慮した複数機器の連携による環境の再現を行う際，環境内の温度や明るさなどの状況取得や，機器の構成などの情報が必要となる．以下に環境の再現を行う際にハードウェアとして必要となる機器と，ソフトウェアとして必要となるアプリケーションについて述べる．

- 機器

本論文において，機器は計算処理能力とネットワーク接続性を持つものとする．パーソナルコンピュータやワークステーションなどの計算処理を目的とする機器だけではなく，家電機器や家具など実世界に作用する機器や，小型センサも本研究の対象とする機器に含む．機器は，計算処理能力とネットワーク接続性以外に，センシング機能とアクチュエーション機能の両方かどちらか一方を持つ．これにより，これまでは一つの機器上でしか利用できなかったセンシングやアクチュエーション，計算処理という機能がネットワークを介して利用できるようになった．また，ネットワークを介して現在の状態を取得することや，動作命令，設定変更を行うことができる．センシング機能とアクチュエーション機能について以下に述べる．

- センシング機能

センシングは実世界の状況を取得する機能である．既存のコンピューティング環境では，センサは家電機器や測定器などの内蔵されている機器からのみ利用できた．ユビキタスコンピューティング環境では，機器のセンシング機能を用いて取得した実世界の状況を，仮想世界の情報としてネットワークを介して他の機器から利用できる．現在，Berkley 大学が開発している Mote

[4] や, Karlsruhe 大学が開発している Smart-Its [5], 東京大学が開発している U^3 [9] など, 計算処理能力とネットワーク接続性を備えた小型センサが提案されている。

– アクチュエーション機能

アクチュエーションは実世界に作用する機能である。ユビキタスコンピューティング環境では, 機器のアクチュエーションを分離し, 一つ一つの機能としてネットワークを介して利用できる。例えば, 予定表アプリケーションが, 寝室のテレビのスピーカを使ってユーザに予定を通知することが挙げられる。また, アクチュエーション機能の現在の設定をネットワークを介して取得できる。情報家電の多様性を隠蔽する情報家電ミドルウェアの研究が行われ, 複数の機器のアクチュエーション機能をネットワークを介して利用可能となっている。

● アプリケーション

アプリケーションは, 機器の機能を組み合わせてユーザを支援するソフトウェアである。既存のコンピューティング環境では, メールやWebブラウザなどの計算機上のアプリケーションが, ネットワークを介して他の計算機の機能を利用し, ネットワーク接続性を持たないディスプレイやスピーカなどのユーザインタフェースによってユーザにサービスを提供してきた。ユビキタスコンピューティング環境では, 計算処理機能だけでなく, 機器のセンシング機能やアクチュエーション機能を組み合わせたアプリケーションが実現可能である。例えば, 室内の温度センサが取得した温度情報とユーザの位置情報をもとに, 空調を管理するアプリケーションなどが想定される。図 2.1 に機器とアプリケーションの関係を示す。

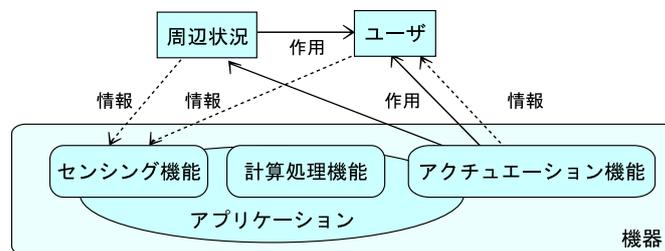


図 2.1: ユビキタスコンピューティング環境における機器とアプリケーションの関係

2.2 再現手法の比較

環境の再現を行うために, いくつかの手法が考えられる。以下に, それぞれの手法について述べる。

- 環境情報スナップショット
再現したい瞬間の機器設定や周辺状況を収集し記録しておき，その記録をもとに再現を行う手法が環境情報スナップショットによる環境の再現である．環境情報スナップショットは，ユーザが明示的にスナップショットを取得する瞬間を指定する必要がある．ユーザの指定をトリガに，機器や機器上のアプリケーションの状態，センサの値などを各機器間い合わせ，スナップショットの生成を行う．
- エージェント
環境情報スナップショットでは，ユーザからの指定を基に，機器やセンサに問い合わせを行うのに対し，移動エージェントを用いて動的に機器やセンサ情報を取得する手法も行われている．本手法は本来，機器横断的なアプリケーションの構築を目的とし，移動エージェントと呼ばれるソフトウェアが機器に応じたアプリケーションの実行を実現する．その際，機器の情報を収集するため，本手法を応用することにより，環境の再現が実現可能である．
- コンテキスト
センサデータや，ユーザの行った機器の操作を基にユーザのコンテキストを抽出し，コンテキストに応じた設定を再現する手法が存在する．センサデータや機器の操作履歴を機械学習した後，学習データを基にコンテキストを抽出する研究 [10] や，ユーザの操作履歴を学習し，機器の操作を再現する研究が行われている．

エージェントを用いた手法の場合，本来機器横断的なアプリケーションの実行を目的としているため，センサ情報の収集が考慮されていない点が問題である．また，コンテキストを用いた手法の場合，ユーザの意図しないタイミングで再現が行われることや例外的な状況の検知が困難であることが問題点として挙げられる．それに対し，環境情報スナップショットを用いた手法の場合，ユーザがスナップショットを生成するタイミングを指定するため，必要な情報をユーザに選択させることが可能である．また，機器やセンサに直接問い合わせを行うため，それぞれから容易に情報収集が可能である．このようにユーザが再現したい環境を簡単に指定できるという点で環境情報スナップショットを利用した環境の再現は有用である．しかし，環境情報スナップショットを作成するタイミングや，どの情報を収集するかはユーザが明示的に指定するため，これらを容易に行うことが可能なシステムが不可欠である．

2.3 u-Photo による環境情報スナップショット

環境情報をスナップショットする研究の一つに，徳田研究室で研究，開発を行っている u-Photo [11, 12] がある．本節では，既存の u-Photo の説明を行い，その特徴を述べ，その後，既存の u-Photo の問題点を述べる．

2.3.1 既存の u-Photo の特徴

u-Photo は、機器の操作情報や設定状態、センサで取得した周辺状況などの環境情報を記録した、写真メディアである。ユーザが写真を撮影するという行為を行うことで、u-Photo システムは写真内の機器の操作情報や設定状態、センサで取得可能な周辺状況を取得する。これらの環境情報は、写真画像に関連付けられて取得するため、ユーザに対し画像上で直感的に提示可能である。また、u-Photo は一般的な JPEG 形式の画像ファイルなので、環境情報の保存や管理、共有が容易に実現できる。u-Photo には以下のような特徴がある。

- 機器情報の発見および閲覧
デジタルカメラと写真撮影を用いることにより、簡単に機器情報を発見し、スコープとタイミングを決めて記録できる。また、u-Photo に写っている機器情報を写真とともに閲覧できる。
- 機器へのアクセス
u-Photo に記録されている機器の操作情報を利用することにより、IP アドレスやデバイスドライバの情報を知らなくても、簡単に機器を利用できる。また、機器の操作情報だけでなく、設定状態も記録しているため、後から機器の設定を再現できる。
- u-Photo の共有と配布
u-Photo メディアは既存の画像圧縮フォーマットのひとつである JPEG[13] の拡張であるため、容易に共有、配布できる。u-Photo を共有することにより、一つの環境情報スナップショットを基に複数のユーザが同じ環境を再現できる。

以上のように、u-Photo は環境の再現に必要である機器の操作情報や設定状態、環境の周辺状況が記録され、ユーザはスナップショットを容易に生成できる。また、写真を用いることにより、複数の環境情報スナップショットの中から、目的とする環境情報スナップショットを発見し易いという実験結果も得られている。以上の理由により、u-Photo は環境情報取得のために非常に有効である。図 2.2 に u-Photo の生成と、生成された画像内に保存される機器やセンサ情報の概要を示す。

2.3.2 u-Photo システムの構成

図 2.3 に既存の u-Photo システムの構成を示す。

u-Photo システムでは、設定状況を取得する機器に対して、画像解析により認識可能な ID タグを添付する。u-Photo クリエータはシャッターボタンが押されると、撮影された画像中の ID タグを検知し、ID 検索サーバに問い合わせる。ID 検索サーバでは、ID をもとに機器の操作情報や設定状況の問い合わせ手法を検索し、u-Photo クリエータに提供する。次に、u-Photo クリエータは画像中の機器に対して現在の設定状況を問い合わせる。また、u-Photo クリエータは、画像上で検知された ID をもとに機器周辺のセンサデータを問い合わせ、同時に、機器の設置されている空間全体のセンサデータを問い

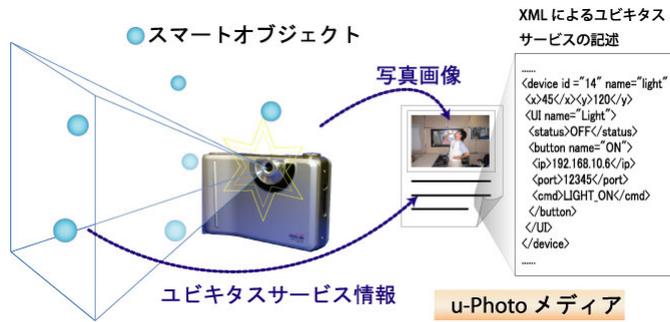


図 2.2: u-Photo の生成と u-Photo メディア

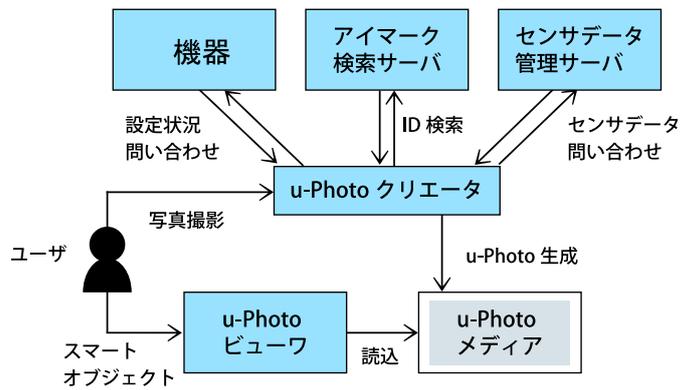


図 2.3: u-Photo システム構成図

合わせる．最後に，収集した機器の操作情報，設定状況，センサデータをXML形式で記述し，JPEG画像のコメント領域に記録する．コメント領域に機器情報をXMLにより記述したJPEG画像をu-Photoメディアと呼び，XMLによる記述をu-Photo XMLと呼ぶ．

u-Photoビューワでは，保存されたu-Photoメディアから，u-Photo XMLを読み込み，写真画像の機器上にアイコンを表示する．ユーザは，アイコンをクリックすることにより，写真を用いて機器の操作が可能となる．

2.3.3 既存のu-Photoの問題点

u-Photoは写真撮影という手法を用いることにより，スコープとタイミングを指定して環境情報を取得できる．これは，記録する環境情報を選択するためのu-Photoの利点の一つであると言える．しかし一方で，カメラのスコープには必ず死角が生まれるため，部屋全体という環境情報スナップショットの生成や，パーティションや棚などの遮蔽物のある空間での利用する際には，撮影に工夫が必要である．

また，現在のu-Photoでは，撮影した機器を遠隔操作することや，設定，アプリケーションの状態を再現することは可能である．しかし，TVとDVDプレイヤーという二つの機器を用いてDVD再生アプリを実行したり，外出の際に部屋の空調，照明などをすべてOFFにするといった複数の機器を同時に操作することは考えられていない．

2.4 本研究のアプローチ

本章で述べたように，ユーザが同一または異なる空間で環境を再現したいという要求が考えられ，それを実現するために，環境情報をスナップショットし，それをもとに再現する手法が有効である．また，環境情報をスナップショットする手法としては，我々が研究，開発しているu-Photoが有効である．しかし，既存のu-Photoでは，ユーザが再現したい空間全体を一度にスナップショットできるとは限らない点，スナップショットされた複数の環境情報をもとに，機器を連携して再現点などが考慮されていないため問題である．そこで本研究では，複数のu-Photoを組み合わせることで，再現したい環境を定義し，アクチュエータが周辺状況に与える影響を機械学習することにより，学習データをもとに機器の設定を変更し，環境の再現を行う．

2.5 本章のまとめ

本章では，本研究における環境の再現を定義し，環境情報スナップショットを利用した手法の利点を述べた．また，環境情報スナップショットの実現例として我々の研究，開発しているu-Photoを紹介した．

次章では，環境再現を実現するための要件について述べ，本研究で行う具体的な解決手法について説明する．

第 3 章

環境情報スナップショットと環境再現

本章では、環境情報スナップショットを利用した環境再現機構を構築する際の問題点について述べ、その解決手法を検討する。

3.1 u-Photo を用いた環境情報スナップショット

前章において、再現を行いたい環境の構成要素について述べた。本研究では、環境の構成要素のうち、スナップショットを用いて記録し、再現の目標となる環境の記述を目標セットと呼ぶ。目標セットとは、機器設定と周辺状況の組み合わせである。

機器としては、プレゼンテーションの時に使用するプロジェクタや、DVD鑑賞の時に使用するTVとDVDプレイヤーなどが挙げられる。このような使用する目的が空間の用途に直結する機器のことを本研究では必須機器と呼ぶ。プロジェクタを使用すると周辺の照度が上がったり、TVを使用すると音量が変化したりするなど、必須機器を使用すると周辺状況を変化させることが考えられるが、必須機器の使用は空間の利用目的を達成するために欠かせないため、設定を再現する必要がある。

周辺状況とは、温度や照度のようなセンサで取得可能な情報である。授業のときは部屋を明るくし、プレゼンテーションのときは暗くするというように、空間の用途によって、再現したい周辺状況は異なる。周辺状況は、エアコンやストーブ、照明のように周辺状況を変化させるための機器によって変化する場合と、必須機器の設定を変更した結果周辺状況が変化する場合がある。また、ブラインドや窓の開閉のように照度、温度、音量など、設定を変更することにより複数の周辺状況が変化する機器も存在する。さらに、機器の設定だけでなく、自然環境やユーザの状態の変化によっても周辺状況が変わるため、空間内のすべての機器設定をそのまま再現したのではもとの環境を再現することはできない。

u-Photoは、機器の操作情報、設定状態および、周辺状況を取得し、記録しているため、必須機器の設定状態と周辺状況の組み合わせによる目標セットを作成可能である。

3.2 目標セットを取得・再現するための要件

本節では、目標セットを取得、再現するためにu-Photoおよび環境に求められる要件について述べる。

3.2.1 機器，周辺状況の選択に関する要件

本研究では、u-Photo環境情報をスナップショットすることにより、目標セットを作成する。よって、u-Photoに対して以下のような要件が満たされる必要がある。

- 再現する必須機器の指定と設定の記録

u-Photoは、カメラのスコープおよびシャッタのタイミングによって、空間に多数設置された機器の中から、情報を記録する機器を限定できる。既存のu-Photoを利用した場合、エアコンを認識し、20度に設定するということができるが、エアコンは周辺状況を変化させることを目的としているため必須機器として環境の再現を行うことは少ないと考えられる。目標セットを作成するためには、写っている機器が必須機器なのかそうでないのかを判別する必要がある。また、再現したい必須機器がすべて記録されている必要がある。

- 再現する周辺状況の指定と状態の記録
既存の u-Photo では、温度や照度など、複数のセンサで取得した周辺状況を記録している。しかし、照度は再現して欲しいが温度は再現して欲しくないということも考えられるため、どの周辺状況を再現するのかを指定できる必要がある。

3.2.2 環境に対する要件

目標セット取得時、再現時においてそれぞれ、以下の要件を満たす必要がある。

目標セット取得時の要件

- アクチュエーション機能の設定状態の取得
必須機器の設定状態を u-Photo に記録するため、機器からネットワークを介して現在の設定状態を取得できる必要がある。
- センサシステム
周辺状況を u-Photo に記録するため、空間内に分散配置されたセンサからセンサデータを取得するシステムが必要である。センサデータは再現したい環境の周辺状況の代表値として取得できる必要がある。また、現在、Mote などの小型センサや、機器に内蔵されたセンサからもセンサデータを取得することも考えられるため、それらのセンサから取得したデータを透過的に扱える必要がある。

目標セット再現時の要件

- 異なる空間での再現
ユーザは異なる教室や会議室、引っ越しや模様替えの前後というように、機器の構成が完全に同一ではない空間の間で環境を再現することが考えられる。目標セットをもとに環境を再現する際は、目標セットに記録されている再現元環境と、再現先の環境が異なることが考慮されていなければならない。
- 複数機器連携による周辺状況の再現
設定温度が 25 度で現在 20 度だから温風を出すというように、既存のコンピューティング環境では単一の機器内で周辺状況に応じたアクチュエーションを行っていた。しかし、実際には同一空間内に同じ周辺状況を変化させる機器が複数存在することや、照明の明るさのように、これまでセンサを使わずユーザの感覚で調整していた機器が、小型センサの実現により周辺状況をもとに調節可能となったことから、空間全体のセンサで取得した周辺状況をもとに、空間全体の機器を連携させることが求められる。

3.3 問題点

前節の要件を u-Photo を利用して実現する場合、以下の問題がある。

3.3.1 u-Photo の問題点

- 必須機器の指定
u-Photo は写真撮影のメタファを利用して環境情報を取得する。カメラのスコープの死角や、遮蔽物により、空間全体を収めることは不可能である。カメラの性能の問題として、ピンボケや手ブレによってスコープに収まった機器すべてを認識できないことも考えられる。また、一瞬のタイミングをスナップショットするため、機器の設定は再現したい状態だったが、温度は高すぎたので再現したくないという場合や、周辺状況や大部分の機器の設定は再現したいが、一部の機器の設定はよくなかったという場合など、再現する際の理想的な一枚を撮影するのが困難である。
- 周辺状況の指定
既存の u-Photo はセンサシステムから取得可能なすべての種類のセンサデータを取得している。しかし、すべての周辺状況を再現したいとは限らないため、既存の u-Photo は選択的に周辺状況を取得できないことが問題となる。

3.3.2 環境の問題点

- アクチュエーション機能の抽象化
異なる空間の間で環境を再現する場合、例えば部屋 A では 社のプロジェクタが設置され、部屋 B では 社のプロジェクタが設置されているという状況が発生する。また、プロジェクタはないがプラズマディスプレイがあるというように、類似の機器によって代替が可能な場合も考えられる。このため、個々のアクチュエーション機能が抽象化されていなければ環境を再現できない。
- センサの多様性
現在、Mote や Smart-Its を初め、多くの小型センサが開発されている。社内やキャンパス内での環境の再現であれば、同じ種類のセンサで得られたセンサデータを目標セットとして扱えるが、異なるホテルの部屋や他社の会議室というように、異なる種類のセンサで周辺状況を取得することが考えられる。この際、センサの識別しやすさや検出頻度、データフォーマットなどの多様性により、異なる空間での環境の再現が困難となっている。
- 連携
単一の機器内でセンシングおよびアクチュエーションを行う場合は、内蔵されたセンサの値をにんじたアクチュエーションを行えばよかった。しかし、センシング機能とアクチュエーション機能が分離したことにより、アクチュエーション機能を持つ機器がどのセンサの値をもとにアクチュエーションを行うかが不明である。

3.4 既存研究によって解決可能な問題

環境に対する要求は既存のシステムや研究によって解決できる．本節では，環境の再現を行う際の環境の問題点を解決している研究やシステムについて述べる．

3.4.1 アクチュエーション機能の抽象化

アクチュエーション機能の抽象化を行い様々な機器を透過的に扱うことを実現している研究が行われている．

Hive

Hive[14]は移動エージェントの枠組みを利用して様々な機器の組み合わせを実現している．各機器上には，Shadow と呼ばれるエージェント基盤ソフトウェアが動作しており，これによりハードウェア機能の抽象化を行なっている．エージェントが機器で実行することで機器の動作，制御を行う，また，複数のエージェント同士が，メッセージ交換によってお互いに協調して動作することで機器の組み合わせを実現している．この際，各エージェントは集中制御されるのではなく，自律分散協調することによって，機器間の協調動作を行う．この分散制御によって，スケーラビリティと耐故障性を向上させている．具体的な実現アプリケーション例として，RF-ID リーダを制御する Shadow 上の Hive エージェントが，MP3 プレーヤ上で動作するジュークボックスエージェントに対して Hive イベントを送信し，RF-ID に応じた曲を再生するといった機器連携を実現している．

DLNA

DLNA(Digital Living Network Alliance)[15]は，情報家電機器の組み合わせを実現するための標準仕様である．複数の家電メーカーからなる Digital Media Server(DMS) と呼ばれるメディアコンテンツを送信するサーバと，それを再生するクライアントである，Digital Media Player(DMP) からなる．主に，DMS は，PC などが用いられ，DMP は家電機器として実現されることが想定されている．録画機器の DMP で取得したメディアデータを DMS に保存し，他の DMP によって再生するといった機器連携が可能となる．

Document Based Approach

Ninja Project[16][17]では，PDA などの小型のクライアントから GUI を通じて複数の機器を協調動作させることを目標としている．機器の情報を XML で記述した静的なドキュメントとして取得し，これを用いて GUI の生成を行う．複数の機器情報から一つの GUI を生成することによって，機器操作方法を統合することが可能となる．また，機器情報の記述には，機器を操作するためのコマンドや決められた操作要求が記述されており，これにより機器の制御を実現している．この研究では，機器を利用するためのインタフェースの統一化が容易であり，また機器機能の組合せも，ドキュメ

ントの記述を適宜参照し，ユーザやアプリケーションが必要とする機器を検索することで行う．具体的なアプリケーション例として，電灯のような家電製品の電源投入や，リモコン操作のような作業を想定している．しかし操作自体が，簡単なコマンドの送信によって実現することを想定としているため，メディアデータやコンテンツの取り扱いや，アプリケーションに依存するようなプロトコルによるデータの交換などを用いた機器連携は困難となる．

3.4.2 センサの抽象化

小型センサの開発とともに，環境に設置されたセンサやセンサネットワークからセンサデータを取得するシステムの研究が行われている．それぞれのシステム内でセンサの抽象化を行うことにより，センサデータ利用アプリケーションからセンサの多様性を隠蔽している．

MARS

MARS [18] は，筆者が開発したセンサ情報取得システムである．MARS は，多様なセンサからセンサのメタ情報を利用してセンサデータを取得するミドルウェアである．MARS では，アプリケーションからセンシングの対象物を指定した要求を受け付け，対象物に付随するセンサや，対象物周囲の空間に設置されているセンサで取得したセンサデータを提供する．これにより，アプリケーションは個々のセンサを意識することなく，必要な範囲のセンサ情報を取得できる．

TinyDB

TinyDB[19] は，Berkeley 大学で行われている，センサネットワークからデータを抽出する研究である．SQL と類似する宣言型クエリを記述することにより，センサネットワークからセンサデータを抽出するシステム TAG[19] が Mote および TinyOS[20] 上で実装されている．センサデータ利用アプリケーションは TinyDB のゲートウェイに対してクエリを送信する．SQL と類似するクエリによるセンサデータの問い合わせを実現することによりセンサを抽象化し，アプリケーション側からはセンサのプラットフォームやサンプリングレートなどのセンサの多様性を隠蔽している．

Cougar Approach

Cougar Approach[21] とは Cornell University で行われている，センサネットワークからセンサデータを抽出する研究である．センサネットワークをデータベースとして扱い，宣言型クエリを用いてセンサデータを抽出する．センサ上で使用するリソースが少なく済むようにユーザのクエリを最適化しセンサデータを抽出している．また，Cougar Approach においても，センサデータ利用アプリケーションが宣言型クエリによる要求が可能であるため，センサの多様性を気にすることなくセンサデータを利用可能である．

3.5 本研究のアプローチ

以上で述べた環境情報スナップショットによる環境再現を実現する際の問題点のうち，u-Photo に対する問題点を解決するために，本研究では写真の撮り方によるユーザの意図抽出と複数の u-Photo を組み合わせることによる目標セットの作成を行う．

3.5.1 写真の撮影方法によるユーザの意図抽出

既に述べたように，目標セットを作成するために，u-Photo は再現するすべての必須機器の状態を記録し，再現する周辺状況を記録する必要がある．そこで，本研究では，既存のカメラで使われるユーザインタフェースを応用して必須機器と周辺状況の指定を行う．u-Photo カメラは，非熟練ユーザに利用されることを想定しているため，操作が簡便であるコンパクトタイプのデジタルスチルカメラをモチーフとして作成されている．現在，一般的なコンパクトタイプのデジタルスチルカメラには接写モード，オートフォーカス，ズーム，記録画素数の切り替え，シャッタースピードの切り替え，セルフタイマ，シーンモードなどの機能が組み込まれている．このうち，接写撮影の要領で，カメラのスコープによって被写体を限定することにより，必須機器を指定し，必須機器の写っていない u-Photo で周辺状況を指定する．また，シーンモードの要領で，トグルスイッチによって取得する周辺情報を選択する．

3.5.2 u-Photo の組み合わせによる目標セットの作成

本研究では、写真の撮影方法の違いにより，必須機器と周辺状況を区別して記録した u-Photo を組み合わせることにより，目標セットを作成する．その際，以下の点に注意する．

- 組み合わせた際の写真間の矛盾の回避
複数の u-Photo を組み合わせることにより，組み合わせでできた目標セット内でユーザが意図せずに矛盾が生まれることが考えられる．同一の機器が異なる設定で含まれている，別の部屋の機器が混在する，必須機器の設定に対して周辺状況が不可能な状態であるといった場合である．本システムは u-Photo を組み合わせる際に矛盾が生じることを防ぐために，u-Photo を選択するごとに，組み合わせの候補を矛盾のない u-Photo に限定する．
- 目標セット選択操作の直感性の確保
既存の u-Photo の利点として，画像とともに環境情報が記録されているため，取得した情報の管理，再利用がしやすいという点がある．複数の u-Photo を組み合わせることで目標セットを作成した後，組み合わせとして管理されることにより，再利用可能となる．その際，目標セットに名前をつける，下の u-Photo の画像を組み合わせた一枚の画像を作成する，元の u-Photo の画像を並べて管理するなどの複数の管理手法を比較し，既存の u-Photo の利点を損なわないようにする．

3.5.3 複数機器の連携

環境の問題点で挙げたように，目標セットの内，周辺状況を再現する際に機器を連携する必要がある．しかし，どの機器がどの周辺状況に作用するかが不明であることが問題である．そこで，本研究では，機器の設定とセンサデータの相関を求めることにより，Bayesian Network を構築し，構築した Bayesian Network を構成するノードの内，再現する必須機器の設定と周辺状況を確定することにより，必須機器以外の機器の設定を求める．

3.6 本章のまとめ

本章では，u-Photo を用いた環境再現の有効性について述べ，再現の目標となる環境の記述を目標セットと定義した．次に，u-Photo を用いて目標セットを作成する際の問題点を挙げ，本研究における解決アプローチについて述べた．次章では，目標セットの組み合わせによる環境再現機構 SERS の設計と実装について説明する．

第 4 章

SERS の設計と実装

本章では環境情報再現機構 SERS の設計と実装について説明する。

4.1 SERS 設計概要

本研究では、目標セットをもとに、環境を再現するシステム Snapshot-based Environment Reproduction System (SERS) を構築する。図 4.1 に SERS の概要図を示す。SERS は各環境ごとに設置されたサーバ上に配置され、ユーザ端末上で動作する u-Photo ビューアから受け取る目標セット、および環境に分散配置されたセンサから受け取るセンサデータ、機器の設定状況を入力として動作する。これらの入力をもとに、センサデータ管理機構、機器操作履歴管理機構、アクチュエータ センサ相関学習機構、目標セット再現機構、必須機器発見機構の 5 つの機構によって目標セットの再現するために必要となる機器を選定し、設定変更命令を機器に対して送信する。

4.2 ハードウェア構成

本システムは、センシング機能を持つ機器、アクチュエーション機能を持つ機器、SERS サーバマシン、ユーザ端末で構成する。

- センサ
再現を行う空間に分散配置された小型センサ上のセンサを想定する。ネットワークを介して、センサデータを定期的にセンサデータ管理システムに提供する。
- アクチュエーション機器
機器上のアクチュエーション機能は、ネットワークを介して現在の設定を取得できるものとする。また、本研究で想定する機器は、設定が変更されるたびに、変更を通知する機能を有するものとする。
- SERS サーバ
環境の再現を行うために、環境に設置される計算処理を行う機器である。再現対象となる空間に一台の SERS サーバを設置する。ネットワークを介して、センサやアクチュエーション機能を持つ機器、u-Photo ビューアと通信する。
- ユーザ端末
ユーザ端末上では u-Photo の生成を行う u-Photo クリエータと u-Photo の閲覧、操作を行う u-Photo ビューアが動作する。ただし、u-Photo クリエータと u-Photo ビューアは同一端末上で動作する必要はない。他の端末上で作成した u-Photo を共有し、別の端末上で閲覧、操作することも可能である。

4.3 u-Photo Tools の構成

u-Photo Tools は、ユーザ端末上で動作し、u-Photo の生成や閲覧、操作を行うシステムである。u-Photo Tools は u-Photo クリエータと u-Photo ビューアで構成される。以下に SERS 実現のための、u-Photo クリエータと u-Photo ビューアを説明する。

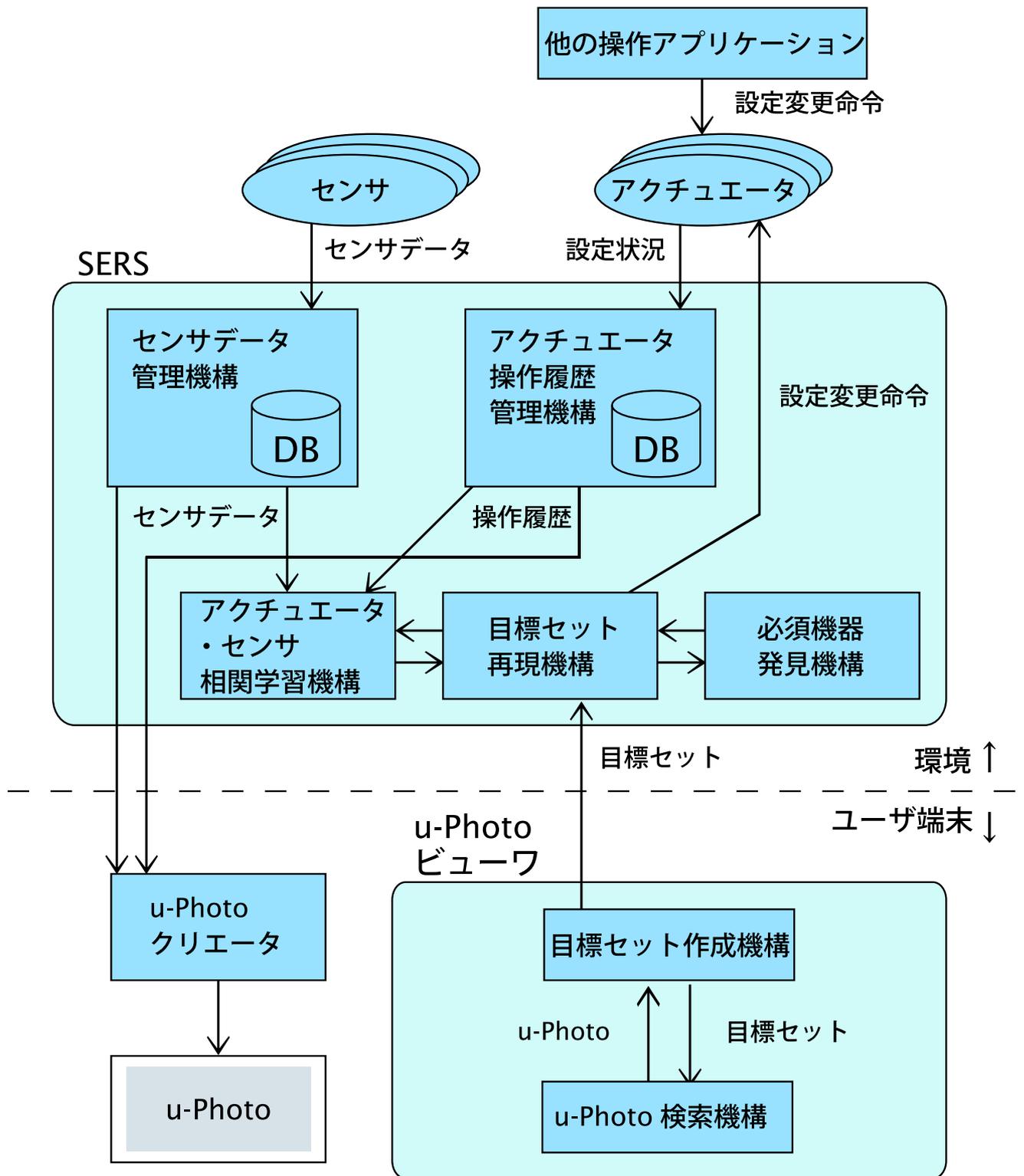


図 4.1: システム概要図

4.3.1 u-Photo クリエータ

u-Photo クリエータは、カメラモジュールを持つユーザ端末上で動作するソフトウェアで、写真撮影のイベントによって u-Photo を生成する。本研究では、既存の u-Photo クリエータに選択的に周辺状況を取得する機能を追加する。

4.3.2 u-Photo ビューワ

u-Photo ビューワは、ユーザ端末上で動作し、u-Photo を読み込むことで、写真を通して機器の操作を実現するソフトウェアである。本研究では、既存の u-Photo ビューワに目標セット作成機構を新たに追加する。以下に、目標セット作成機構、および目標セットのデータ形式について述べる。

目標セット作成機構

選択された u-Photo の間で矛盾が起きないように目標セットを作成する。目標セット作成機構では、u-Photo リストから u-Photo を選択することに目標セットを作成する。目標セットを作成すると同時に、目標セットと u-Photo リスト内の u-Photo を比較し、目標セットに対して矛盾が発生しない u-Photo のみをリストに残すことにより、矛盾のない目標セット作成を行う。

目標セット

目標セットは、JPEG 形式の画像ファイルである u-Photo メディアのコメント領域に XML 形式で記述されている機器の情報を合成して記述する。以下で、各タグの記述内容を説明する。

<u_photo>…u-Photo 全体を表すタグ。子要素として timestamp, location, smart_objects, sensors タグを持つ。

<width>, <height> … u-Photo の画像ファイルのサイズを表すタグ。

<timestamp> … u-Photo の撮影時刻を表すタグ。

<location> … u-Photo が撮影された場所を表すタグ。位置情報取得システムや GPS モジュールから得られた位置情報が記述される。

<smart_objects> … 子要素として 0 個以上の smart_object を持つ。

<smart_object>…機器を表すタグ。子要素として操作情報と設定状態および coordinate, sensors タグが記述される。操作情報と設定状態は機器独自の記述を行える。

<coordinate> … u-Photo の画像における機器の位置を表すタグである。

<sensors> … 撮影時のセンサデータおよび後からセンサデータを取得するためのセンサデータ取得システムへのポインタを記述するタグ。

u-Photo XML において、smart_object タグおよび、その子要素である coordinate, sensors タグ以外は各 u-Photo メディアに対して 1 つである。SERS では、smart_object

タグのないものを周辺状況が記録されている u-Photo とし，smart_object タグのあるものが必須機器が記録されている u-Photo とする．2 枚以上の u-Photo を組み合わせる際，図 4.2 のように，必須機器の smart_object タグ以下を周辺機器が記録されている u-Photo の smart_objects タグの子要素に追加することにより，他の u-Photo と互換性を持った u-Photo の XML による目標セットの作成を実現する．

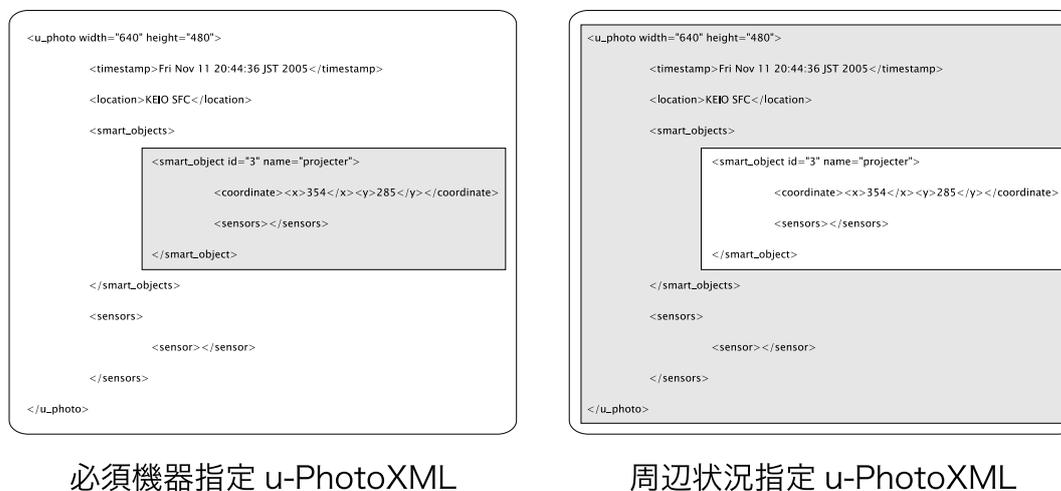


図 4.2: u-Photo XML の合成

4.4 SERS 構成

SERS はセンサデータ管理機構，機器操作履歴管理機構，アクチュエータ センサ相関学習機構，目標セット再現機構，必須機器発見機構の 5 つの機構で構成される．以下に各機構の説明を行う．

4.4.1 センサデータ管理機構

SERS では u-Photo の作成および，センサデータと機器設定の相関関係を求めるために，センサデータを利用する．異なる空間で環境を再現するために，センサの違いによるセンサデータの相違がないよう，統一の基準を持つセンサデータ管理機構を想定する．センサデータ管理機構は，u-Photo クリエータ，アクチュエータ センサ相関学習機構からのクエリに対してセンサデータの提供を行う．

4.4.2 機器操作履歴管理機構

既存の u-Photo システムでは，撮影した画像中に収められた機器の設定情報は，以下の手順で取得した．

1. u-Photo クリエータ内の ID タグ検知機構によって画像中の機器の ID を取得
2. 機器の ID に基づき，ディレクトリサービスより該当する機器のネットワーク情報を取得
3. 機器と直接通信して設定状態を取得

既存の u-Photo システムでは，写真撮影のタイミングで機器に対して設定状態の問い合わせを行っていたため，機器の設定状態は u-Photo 撮影時にのみ記録された．しかし，SERS では，機器の設定状態とセンサデータの相関を求めるため，機器の設定変更履歴が必要となる．各アプリケーションにより機器の設定が変更されたとき，設定状態を機器操作履歴管理機構に通知することにより，機器操作履歴管理機構はその時刻と機器の ID，設定をデータベースに登録する．u-Photo クリエータは，機器操作履歴管理機構に問い合わせ，最新の設定履歴を取得することにより，既存の u-Photo 同様，撮影時の機器の設定状態を取得できる．

4.4.3 アクチュエータ センサ相関学習機構

空間に設置されたアクチュエータの設定状態とセンサデータの相関関係を学習し，Bayesian Network [22, 23] を構築する．Bayesian Network とは，グラフ構造を持った結合確率分布の簡潔な表現モデルである．Bayesian Network は，複数の確率変数とそれらを結ぶ有向リンクによって構成される．アクチュエータの設定状態とセンサデータを確率変数として Bayesian Network を構築することにより，必須機器の設定が決定した時にそれ以外の機器をどう設定すれば周辺状況を再現できるかを推測できる．

4.4.4 目標セット再現機構

目標セット再現機構は，u-Photo ビューワから受け取った目標セットをもとに再現先の機器に対して設定命令を発行する．必須機器発見機構により必須機器を発見し，必須機器となる機器の設定を決定する．次に，必須機器の設定と，再現する周辺状況をもとに，アクチュエータ センサ相関学習機構に必須機器以外の機器の設定を問い合わせる．最後に，設定が決定した機器に対して設定命令を発行する．

4.4.5 必須機器発見機構

必須機器発見機構は，目標セット中の必須機器と同種もしくは代替となる機器を発見する．

4.5 動作概要

本節では，目標セット作成段階，アクチュエータ センサ相関学習段階，目標セットの再現段階における各機構の動作を示す

4.5.1 目標セットの作成

あらかじめ作成された u-Photo の一覧から，再現したい u-Photo を u-Photo ビューワ上で選択することにより目標セットを作成する．目標セットに u-Photo を追加する際の u-Photo ビューワの動作手順を示す．また，シーケンス図を図 4.3 に示す．

1. u-Photo リストから u-Photo を選択し，目標セット作成機構に受け渡す．
2. 目標セット作成機構は，受け取った u-Photo が必須機器を含む場合 smart_object タグを，含まない場合 sensors タグを目標セットに追記する．
3. 目標セット作成機構は，目標セットを u-Photo リストに対して返す．
4. u-Photo リストは，目標セットと矛盾しない u-Photo をリストに残す．

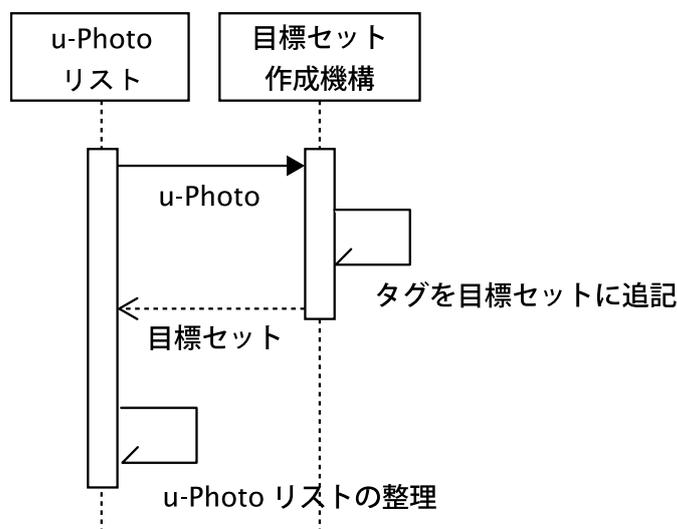


図 4.3: 目標セット作成時のシーケンス図

4.5.2 機器設定とセンサデータの相関関係の学習

アクチュエータ センサ相関学習機構における Bayesian Network 構築の際の動作手順を説明する．本研究では，センサ間，アクチュエータ間の相関は考慮しないものとする．

1. 相関係数の算出

各機器の操作履歴と各センサで取得したセンサデータの分布をもとに相関係数を求める．機器の設定が変更されたときの設定 $\{x_i | i = 1, \dots, n\}$ とその 5 分後のセンサデータの変化 $\{y_i | i = 1, \dots, n\}$ の相関係数 r は次の式で求められる．

$$r = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

2. 閾値の決定

相関係数を α ($-1 < \alpha < 1$) とするとき，一般に相関係数に対する相関度は以下のように表される．

$0 < r < 0.2$	無相関
$0.2 < r < 0.4$	やや相関あり
$0.4 < r < 0.7$	かなりの相関あり
$0.7 < r < 1.0$	強い相関

SERS において相関の有無の閾値を $0.6 < |r|$ とし，閾値を超えたノード間に Bayesian Network のリンクを張る．

3. 影響度の算出

相関係数が閾値を超える場合，その影響度を算出する．例えば，4 段階に調節可能なライトと照度変化に相関があった場合，図 4.4 のように，ライトの調節段階と離散化した照度変化の間の散布図が得られる．

4. 事後確率の算出

構築した Bayesian Network を構成するノードのうち，必須機器の設定と再現する周辺状況を確定することにより，必須機器以外の機器をどう設定すればよいかの事後確率が得られる．

4.5.3 目標セットの再現

環境再現の際，目標セットの入力に対し，機器に設定変更命令を発行するまで各機構の動作手順を示す．また，シーケンス図を図 4.5 に示す．

1. u-Photo ビューワは，目標セット再現機構に対して再現命令を発行し，目標セットを受け渡す．
2. 目標セット再現機構は，必須機器発見機構に対して，空間内に設置された必須機器を問い合わせる．

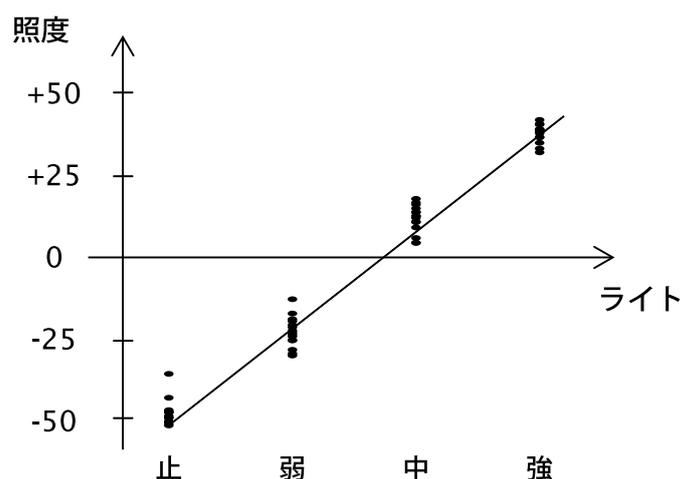


図 4.4: 散布図の例

3. 目標セット再現機構は必須機器に対して操作命令を発行する。
4. 目標セット再現機構は、必須機器の設定と周辺状況の値の組み合わせをもとに、
 相関学習機構に対して、必須機器以外の機器の設定を問い合わせる。
5. 相関学習機構は、操作履歴管理機構に操作履歴を問い合わせ、センサデータ管理
 機構にセンサデータを問い合わせる。
6. 操作履歴管理機構は、操作履歴 DB から操作履歴を取得し、相関学習機構に対し
 て返す。
7. センサデータ管理機構は、センサデータ DB からセンサデータを取得し、相関学
 習機構に対して返す。
8. 相関学習機構は、操作履歴およびセンサデータをもとに学習を行い、必須機器以
 外の操作設定を決定し、目標セット再現機構に返す。
9. 目標セット再現機構は、必須機器以外の機器に対して操作命令を発行する。

4.6 u-Photo カメラおよび u-Photo クリエータの実装

本研究における u-Photo クリエータ, u-Photo ビューワの動作する携帯プラットフォームとして, u-Photo カメラを作成した。u-Photo カメラは, SONY の小型ラップトップ PC である Vaio typeU および USB カメラモジュール, ボタンなどのユーザインタフェースを内蔵する。ユーザインタフェースとしては, シャッターボタン, ロータリエンコーダ, プッシュスイッチ, フルカラー LED を備える。u-Photo カメラに内蔵された Vaio

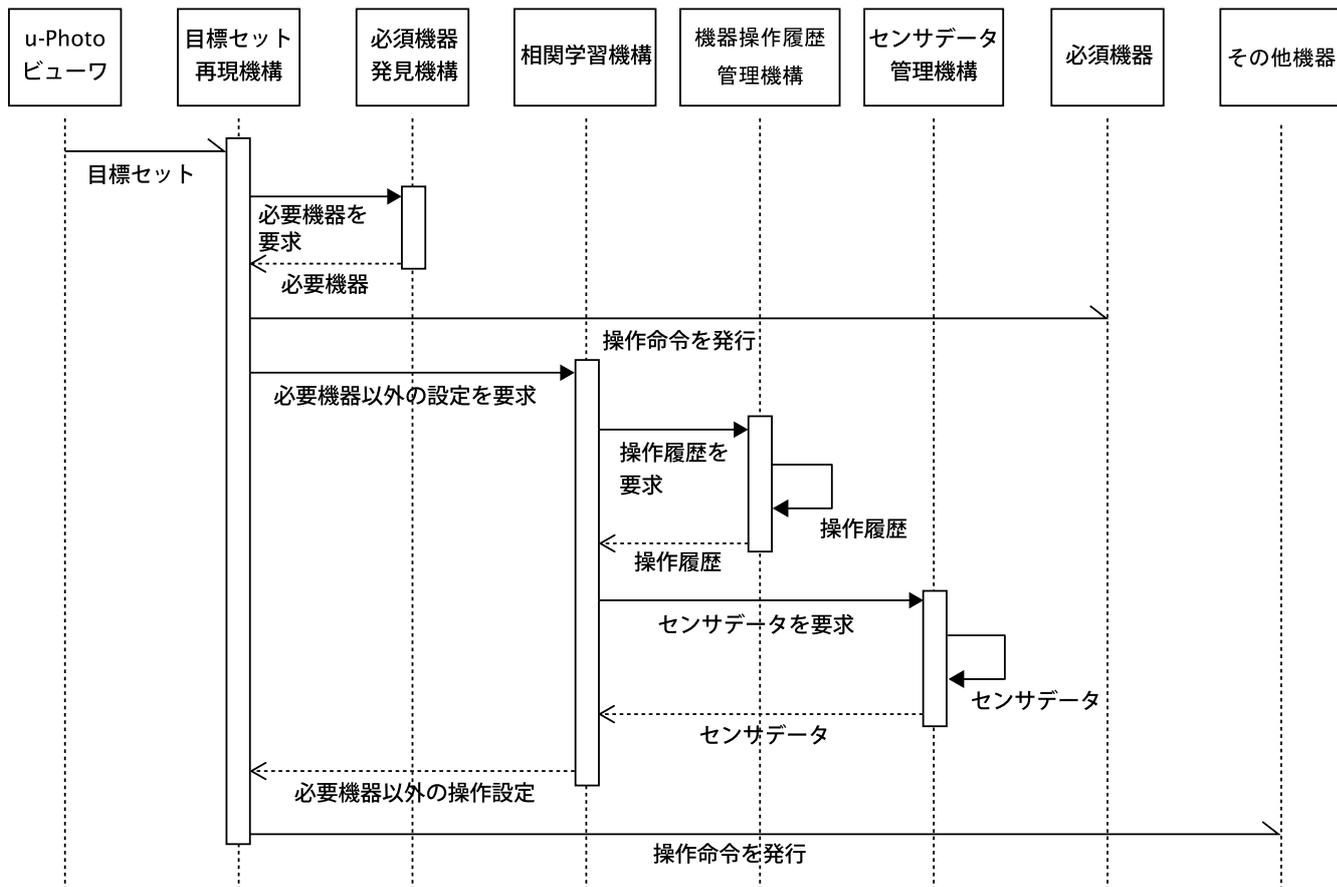


図 4.5: 環境再現時のシーケンス図

typeU と USB カメラの仕様を表 4.1 および表 4.2 で示す．本研究では，u-Photo を撮影する際の接写による必須機器の指定，シーンモードによる周辺状況の選択を行う．

- 必須機器の指定

u-Photo を撮影する際に，必須機器のみがスコープに含まれるように接写することで必須機器を指定する．接写はソフトウェア，ハードウェアの機能として実装するのではなく，ユーザが実際に必須機器に近づいて撮影することで実現する．

- 周辺状況の選択

一般的なコンパクトタイプのデジタルスチルカメラでは，ダイヤルによってシーンモードの選択を行う．これと同様に，u-Photo カメラのロータリエンコーダによって周辺状況の種類を選択し，撮影を行う．



図 4.6: u-Photo カメラプロトタイプ実装の概観

表 4.1: Vaio typeU 仕様

Model	Vaio typeU (VGN-U70P)
CPU	Intel Pentium M 1GHz
主記憶	DDR SDRAM512MB
通信機能	IEEE 802.11b/g 準拠 2.4GHz ワイヤレス LAN (内臓)
ディスプレイ	5 型 SVGA クリアブラック液晶
重量	約 550g (バッテリー装着時)
サイズ (幅×高さ×奥行)	約 167 × 108 × 26.4 mm (バッテリー装着時)
オペレーティングシステム	Microsoft Windows XP Professional
JAVA	J2SE 1.5.0

表 4.2: USB カメラ仕様

Model	PCGA-UVC11
撮像素子	1/5.5 型 37 万画素 CMOS イメージセンサ (有効 31 万画素)
表示フレーム数	最大 30 フレーム/秒
外形寸法	約 幅 60 × 高さ 34 × 奥行 33mm
質量	約 42g (本体のみ)
インタフェース	USB

4.7 u-Photo ビューワの実装

目標セットを作成し、目標セット再現機構に受け渡す機能を持つ u-Photo ビューワを実装した。u-Photo ビューワの GUI を図 4.7 に示す。GUI 下部の u-Photo リストより左上部の目標セット作成パレットに u-Photo をドラッグすることにより、目標セットを作成する。メニューより、目標セットの再現を選択すると、目標セット再現機構に目標セットを送信する。

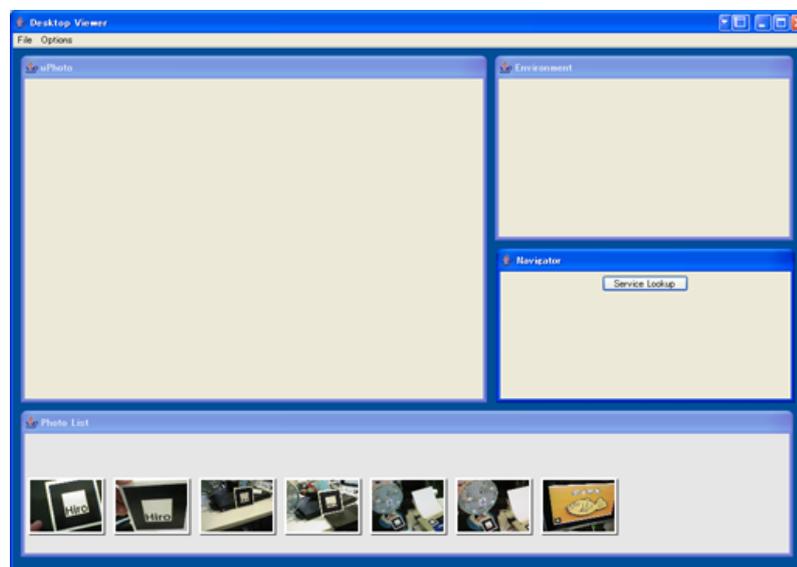


図 4.7: u-Photo ビューワ GUI

4.8 SERS の実装

本節では、目標セットをもとに環境の再現を行う SERS の実装について説明する。

4.8.1 センサデータ管理機構

センサデータ管理機構として，徳田研究室で開発が行われている，MARS [18] を利用した．画像中に認識された機器の ID を含むクエリを MARS サーバ宛に発行することにより，対象となる機器の周辺状況が取得できる．また，MARS の設置された空間全体の周辺状況も取得可能である．

4.8.2 機器操作履歴管理機構

機器からの設定変更通知をデータベースに記録し，ID を含むクエリに対応する機器の操作履歴を提供する機器操作履歴管理機構を実装した．

4.8.3 目標セット再現機構

非同期に u-Photo ビューワから目標セットを受信する．目標セットは u-Photo ビューワで作成され，u-Photo XML として記述される．

4.8.4 アクチュエータ センサ相関学習機構

センサデータ管理機構と機器操作履歴管理機構から，センサデータおよび機器の操作履歴を取得し，相関係数を求めるアクチュエータ センサ相関学習機構を実装した．アクチュエータ センサ相関学習機構は，機器操作とセンサデータの相関を求めた後，徳田研究室で開発が行われている JENGA フレームワーク [24] を用いて Bayesian Network を構築した．図 4.8 にサンプルデータをもとに，JENGA フレームワークを用いて構築した Bayesian Network のモデルを示す．サンプルデータでは，off, weak, middle, strong の設定が可能な照明，true, false の設定が可能なプロジェクタ，up と down の設定が可能なブラインドがそれぞれ，五段階に離散化した照度変化と表 4.3 のような確率分布を持つ．

サンプルデータによる Bayesian Network モデルにおいて，表 4.4 の目標セットを想定して事後確率を求めた．図 4.9 のように，照明の設定を off にする確率が 70.1%，ブラインドの設定を down にする確率が 94.1% という結果が得られた．

4.9 本章のまとめ

本章では，SERS の設計を行い，実装について説明した．次章では，環境情報スナップショットを用いた環境再現を行う SERS と他の手法を用いたシステムの比較を行う．

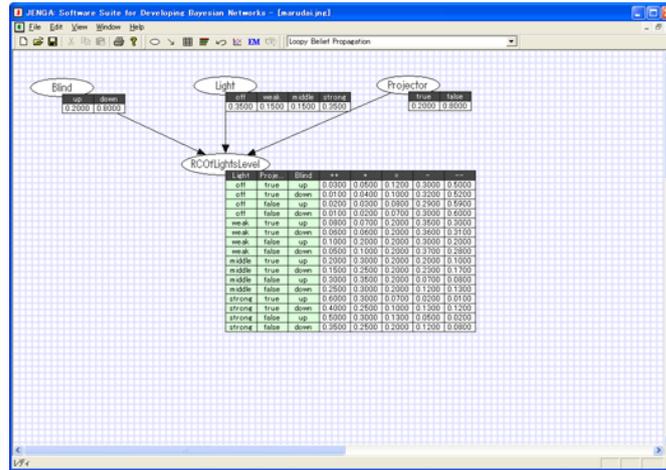


図 4.8: JENGA フレームワークを用いて構築した Bayesian Network のモデル例

表 4.3: サンプルデータの確率分布

Light	Projector	Blind	++	+	=	-	-
off	true	up	0.03	0.05	0.12	0.3	0.5
off	true	down	0.01	0.04	0.1	0.32	0.52
off	false	up	0.02	0.03	0.08	0.29	0.59
off	false	down	0.01	0.02	0.07	0.3	0.6
weak	true	up	0.08	0.07	0.2	0.35	0.3
weak	true	down	0.06	0.06	0.2	0.36	0.31
weak	false	up	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2
weak	false	down	0.05	0.1	0.2	0.37	0.28
middle	true	up	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1
middle	true	down	0.15	0.25	0.2	0.23	0.17
middle	false	up	0.3	0.35	0.2	0.07	0.08
middle	false	down	0.25	0.3	0.2	0.12	0.13
strong	true	up	0.6	0.3	0.07	0.02	0.01
strong	true	down	0.4	0.25	0.1	0.13	0.12
strong	false	up	0.5	0.3	0.13	0.05	0.02
strong	false	down	0.35	0.25	0.2	0.12	0.08

表 4.4: 想定目標セット

目標セット	プロジェクト	false
周辺状況	照度変化	- -

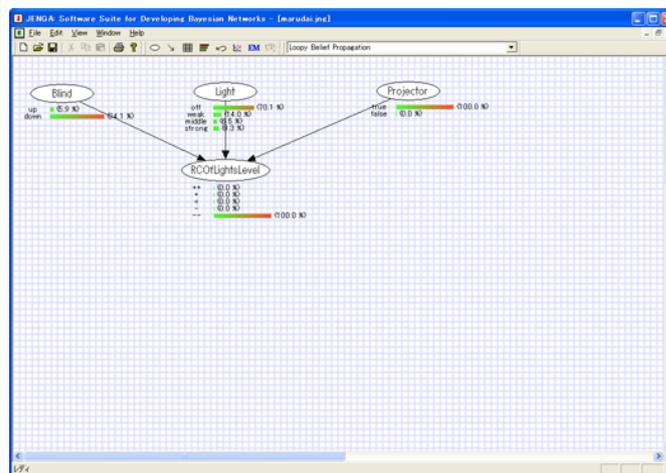


図 4.9: Bayesian Network による事後確率の算出

第 5 章

関連研究との比較

本章では，本研究で作成した SERS の基本性能を示す．次に，環境の再現手法ごとに関連研究を挙げ，前章で実装した環境情報スナップショットの組み合わせによる環境情報の再現手法と他の再現手法を比較する．

5.1 基本性能

本研究で作成した SERS について目標セット作成に要する時間および，機器設定の推測に要する時間を計測した．

5.1.1 目標セット作成に要する時間

本論文で実装した目標セット作成機構では，u-Photo のリストの中から u-Photo をドラッグアンドドロップすることにより，u-Photo に記録されている機器の設定またはセンサデータを現在の目標セットに追加する．基本性能として，ユーザが u-Photo をドラッグアンドドロップしてから，目標セットを再構築するまでの時間を 100 回計測した．表 5.2 に，その最大値と最小値，平均値を示す．平均所要時間として，1.2 秒は

最大値	最小値	平均値
7.2(s)	0.02(s)	1.2(s)

表 5.1: 基本性能：目標セットの作成

十分に実用可能な時間であると考えられる．しかし，最大所要時間が 7.2 秒と長時間かかってしまっている点は改善の余地がある．

5.1.2 機器設定の推測に要する時間

u-Photo ビューワで作成した目標セットを環境再現機構に入力してから機器設定を推定するまでの所要時間を測定した．測定の際，Bayesian Network のノードとして，センサを示すノードを 2 ノード，機器を示すノードを 6 ノードの合計 8 ノードを利用した．また，サンプルデータとして各ノードごとに 2000 個のデータを用いた．測定に利用した環境を示す Bayesian Network のモデルを図 5.1 に示す．

表??に，測定結果の最大値と最小値，平均値を示す．

最大値	最小値	平均値
501(ms)	20(ms)	53.4(ms)

表 5.2: 基本性能：機器設定の推測

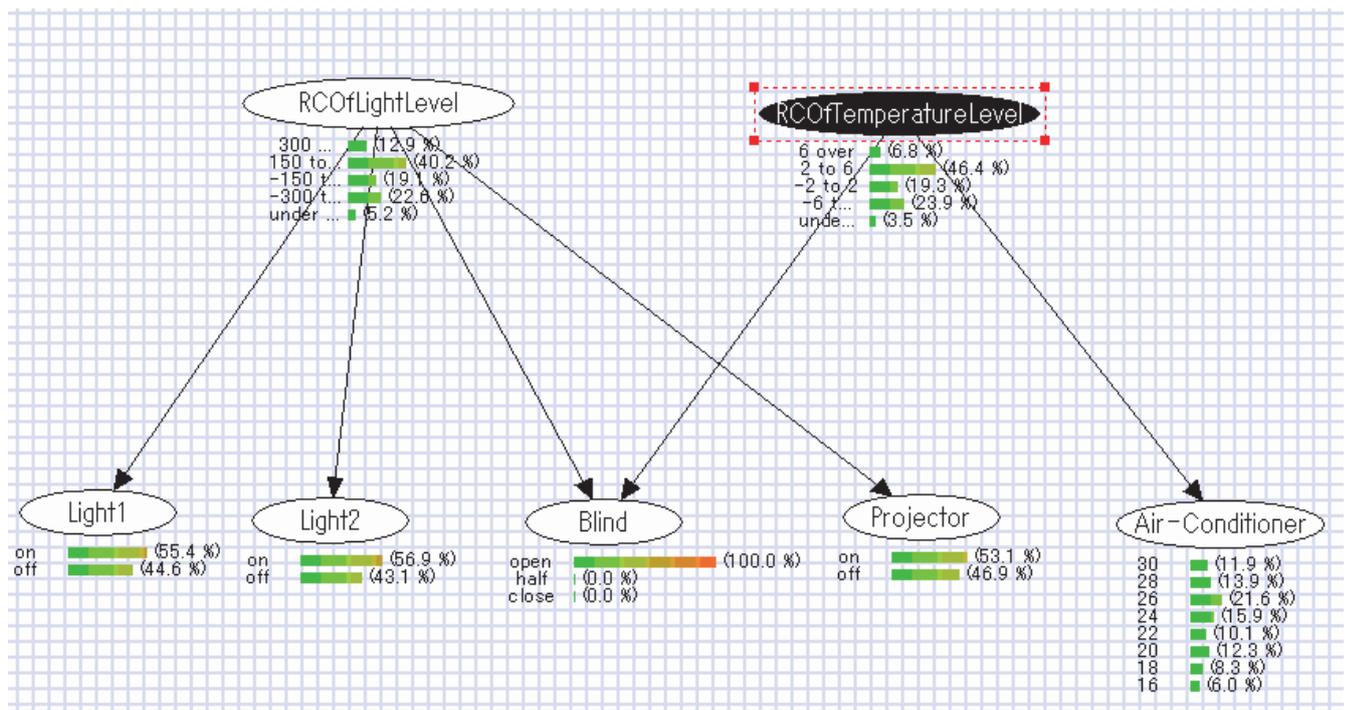


図 5.1: 基本性能評価に利用した Bayesian Network モデル

5.2 関連研究

本研究の関連研究として，環境の再現手法に基づいてスナップショットを用いる手法，エージェントを用いる手法，コンテキストを用いる手法を挙げる．

5.2.1 スナップショットを用いる手法

再現したい瞬間の機器の設定や周辺状況を収集し記録しておき，その記録をもとに再現を行う手法を以下に挙げる．

A . u-Photo

u-Photo [11] は，デジタル写真に撮影された，機器情報のスナップショットを取得するシステムである．u-Photo カメラと呼ばれる機器でユーザの周辺環境を撮影すると，その撮影範囲内に収められた機器や，環境中のセンサから得られた情報を取得することができる．この撮影された機器の情報を，環境情報スナップショットと呼ぶ．環境情報スナップショットを写真データ中に記録することが可能なため，写真データのみを保持することで，撮影された環境の作業状態を持ち歩くことが可能である．これにより，異なる2つの環境間をまたがって作業状態の再現を行うことができる．具体的には，u-Photo で撮影された機器と同等の機能をもつ機器を周辺環境から探索し，その写真上の機器の状態を，環境中の機器に適用することで，作業状態の再現を可能としている．

5.2.2 エージェントを用いる手法

移動エージェントを用いて動的に機器やセンサの情報を取得する手法に対する関連研究を以下にあげる．

B . Wapplet

Wapplet [25] は，移動エージェントを用いて機器の組合せを実現するアプリケーションフレームワークである．移動エージェントである Wapplet モジュールが，サービスプロバイダと呼ばれる機器上の基盤ソフトウェアである上で動作することにより機器操作を行う．アプリケーションは複数の Wapplet モジュールによって構成され，各モジュールが機器の一つの機能を操作する．Wapplet モジュール間は，メッセージ交換による連携動作を行うことが可能である．また，Wapplet モジュールがサービスプロバイダ間を移動することで，アプリケーションが利用する機器の切り替えを行うことができる．

Wapplet では，u-Snap と呼ぶ機構によって，各モジュールのその時点の作業状態を取得することができる．また，作業状態から新に Wapplet モジュールを作成，起動することが可能である．この u-Snap によって，アプリケーションの作業状態の取得・復元を実現している．具体的には，タイムコードやコンテンツのソース URL などの，メ

ディアデータの再生状態などを取得し、別の環境でそれを復元することで、作業環境の再現を実現することができる。

5.2.3 コンテキストを用いる手法

コンテキストとして利用できるデータの種類として、作業履歴を用いるものと、センサ情報を用いるものの2種類が挙げられる。それぞれに対する関連研究を以下に挙げる。

C. Cogma

Cogma [26][27] では、ユーザの行う一連の作業の履歴を用いることで、次にユーザが行うと考えらえる作業の予測を行い、ユーザに提示することを可能としている。Cogmaでは、操作履歴とともに、その操作が実行された場所や時間といった状況を一緒にXML形式でデータベースに保存する。これにより、予測を指示した状況と似た状況における操作履歴を検索し、予測結果として提示する。しかし、この方法だけでは、ユーザの期待と異なる予測結果を提示する可能性があるため、結果を一つに絞らずに、複数の予測結果を提示し、決定はユーザが行う手法を採っている。

このシステムでは、操作履歴を保存するデータベースは環境側に用意されるものと、ユーザが保持する個人情報端末で動作するものの2つが想定されている。個人が持つデータベースと、ユーザが行った先のデータベースを組み合わせることで、環境が変化した場合でも、その環境に存在する機器を用いた作業予測を行うことを可能としている。

D. Synapse

Synapse[10] は、センサノードから取得されるデータから、コンテキストの取得を行い、ユーザに対して適当な推薦サービスのリストを提供するシステムである。Synapseでは、環境の状態を隠れマルコフモデルで表現し、この状態をセンサから得られるセンサイベントで観測する。また、状態が切替わる際に、サービスが発生するというモデルに基いている。おおまかに、Synapse コア、ユーザインタフェース、センサイベント収集部、サービス起動部から成り、Synapse コアが、蓄積されたセンサイベントから、イベントとサービスの関連についての学習や、推薦サービスの決定を行う。

具体的には、U³[9] と呼ばれる無線センサノード、RF-ID センサ、接点検出センサ、接点検出センサなどから、センサイベントを取得し、照明のオン、オフ、テレビのチャンネル、メディアプレイヤーの操作などを実現している。

5.3 関連研究との比較

本研究で提案した環境再現を、他の手法を用いて実現した場合と比較し、定性的な評価を行う。

5.3.1 関連研究との比較

以下に、五つの評価項目を挙げ、それぞれ関連研究と比較する。

1. 再現環境の指定にかかるユーザの負担

再現元環境の指定が容易に行われなければ、多数の目的ごとに設定を用意することがユーザの負担となる。

Wapplet では、機能ごとにアプリケーションの作業状態を取得、再現可能であるが、どの機能の状態を取得するか指定が困難である。Cogma は、マクロボタンと呼ばれるボタンを押すことにより、直前の操作履歴が提示される。操作履歴の組み合わせを数パターン提示することにより、ユーザの意図する組み合わせによる再現元環境の指定を容易にしている。Synapse の場合、再現元となる環境は機械学習によって自動的に定義されるため、再現環境の指定を意識する必要がない。SERS では、u-Photo を用いて再現環境を指定するため、再現対象となる機器の指定が容易である。また、複数の機器をスコープに収めることにより、一度に再現対象を指定することも可能である。

2. センサデータを基にした再現機能

機器の設定変更のみで環境の再現を行った場合、その日の天候や室内にいる人の数などの操作不可能な要素や機器構成の相違により、同じ設定でも実際の周辺状況が異なる場合が考えられる。このため、環境の再現を行う際に、センサデータを基にした自律的な機器の設定は重要な機能である。

Wapplet では、Wapplet モジュールの作業状態を記録することにより、アプリケーションの作業状態の復元を実現するが、アプリケーションの作業状態のみを記録しているため、センサデータを基にした周辺状況の再現は行わない。Cogma は、機器の操作履歴を元にユーザの次の作業を予測しており、センサデータを基にした周辺状況の再現は行わない。Synapse では、無線センサノードなどのセンサイベントを基に照明の設定を変更するなど、センサデータによって機器の設定変更を行う。SERS では、u-Photo を利用した目標セットを作成することにより、再現元環境の周辺状況を記録し、それを基に再現を行う。また、センサデータと機器設定との相関関係を学習することにより、環境を再現するために、どの機器の設定を変更すればよいのかを自律的に判断可能である。

3. 機器の関連性を考慮した柔軟な設定

異なる空間では、設置されている機器の構成が異なることが想定されるが、その際、一種類の周辺状況に対して影響を与える機器の数が異なる場合が考えられる。例えば再現元では温度調節が可能な機器はエアコンしかなかったが、再現先ではエアコンとストーブが利用可能であるという場合である。

Wapplet や Cogma のような機器の設定のみを再現するシステムでは、同一空間内に設置されている機器間の関連性を考慮していない。このため、同様の機器構成の空間でしか再現を行えない、もしくは、すべての機器の設定を決定しなけれ

ば環境の再現が行われないということが考えられる。しかし、Synapse や SERS では、センサデータと機器設定の関係が機器間の関連性の指標となるため、を連携させて周辺状況を再現可能である。

4. ユーザの意図の反映能力

環境再現のためのアプリケーションや機器の動作をシステムが完全に自動的に制御してしまうと、ユーザの意図しない動作が行われる可能性が生じる。例えば、電子メールの送信や資料の表示によって不用意に情報を曝してしまったり、ユーザの知らない間にアイロンが操作されるなど直接ユーザに危害が及び、非常に危険である。このため、どの機器をどのタイミングで再現するかはユーザが決定すべきである。

Synapse のように機械学習によってコンテキストを推測し、自律的に機器を制御するシステムでは、学習の状態によって危険な状況や例外的な状況に対応できない。Wapplet では、ユーザが指示したタイミングで再現が行われ、Cogma では、ユーザが支持したタイミングで再現の候補がシステムから提示されることにより、機器の動作は最終的にユーザによって決定される。SERS では、目標セットを作成し、再現を実行するため、再現のタイミングと動作する機器をユーザが決定することが可能である。

5. 再現元環境実現の必要性

機器の設定は再現したいが、周辺状況は別の状態を再現したいというように、再現元環境においてすべての環境が再現に適した状態であるとは限らない。機器の設定は、その場で設定を変更すればよい場合もあるが、温度のように即座に変化が生じない周辺状況もあるため、再現元環境が実現が困難な場合がある。

Wapplet は機器ごとに状態取得を行えるため、再現元環境が完全に実現する必要はない。Cogma は履歴によるマクロ作成を行う直前の操作履歴を元に再現元環境を定義するため、直前に再現元環境が実現されていなければならない。Synapse は機械学習により再現元環境をコンテキストとして定義するため、ユーザが意図的に再現元環境として環境の設定を行う必要がない。SERS は u-Photo を組み合わせることで目標セットを作成するため、個々の u-Photo を撮影する瞬間に再現元環境が完全に実現されていなくても、以前の u-Photo の再利用や、後で対象となる要素だけ撮影しなおすことにより、不完全な環境を補完可能である。

5.3.2 比較

以上のように関連研究を比較項目ごとに比較した結果を、表 5.3 にまとめる。

5.4 本章のまとめ

本章では、本論分で実装した環境情報スナップショットの組み合わせを用いた場合の環境再現と他の手法を用いた場合の環境再現を比較した。

	SERS	Wapplet	Cogma	Synapse
1		×		
2		×	×	
3		×	×	
4				×
5			×	

表 5.3: 関連研究との比較

第 6 章

結論

本章では，本論文をまとめる．また，今後の展望と課題を述べる．

6.1 本論分のまとめ

本論分では、環境再現の必要性を示し、再現手法を検討した。環境の再現を行う際に、ユーザが再現の目標とする目標セットを作成するが、ユーザはさまざまな目的で空間を利用するため、目的語と目標セットを作成する必要が生じ、ユーザの負担となっていた。

本研究では、環境情報をスナップショットを用いて目標セットを作成するシステムを構築した。また、写真撮影のメタファで環境情報のスナップショットを行う u-Photo システムを採用し、カメラのスコープとシャッタのタイミングにより環境情報の取得を行った。機器が撮影されているかどうかによって、ユーザの意図する再現対象が機器の設定なのか周辺状況なのかを判断し、また、u-Photo を組み合わせることにより、再現を行うための必要十分な目標セットを作成可能となる。本論分では、u-Photo による目標セット作成機構および、目標セットを元に環境再現を行うシステム SERS を実装した。SERS は、センサデータと機器の操作履歴の相関を学習し、Bayesian Network を構築することにより、目標セットをもとにユーザの意図する機器と周辺状況の再現を実現する。最後に、他の手法により環境再現を行った場合と比較し、ユーザの意図を考慮した上で、再現する環境をの定義を用意に行える点で本システムが有効であることを示した。

6.2 今後の課題と展望

SERS の今後の課題として以下の点が挙げられる。

6.2.1 機器設定候補の複数提示

SERS では Bayesian Network を用いて最適な機器の設定を推測し、ユーザに提示している。現在は、一つの候補を提示し、その設定を反映するかどうかをユーザが承認している。しかし、照明でもブラインドでも照度が調整可能な状況で、ユーザが照明よりもブラインドで照度を調整したいと考える場合もあれば、逆の場合も考えられる。このため、推定の結果複数の候補が考えられる場合は、ユーザに複数提示し、選択させるための、候補の選定手法を検討する必要がある。

6.2.2 機器の位置関係を考慮した再現

現在の SERS では、機器の位置を考慮した環境の再現が不可能である。しかし、プレゼンテーションを行う際に、部屋の前の方を暗くしたいという場合や、室内で自席周辺の温度のみ調節したいという再現要求も考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり，御指導を頂きました，慶應義塾大学政策・メディア研究科委員長徳田英幸博士に深く感謝致します．また，本論文の副査として貴重な御助言を頂いた慶應義塾大学環境情報学部助教授高汐一紀博士，慶應義塾大学政策・メディア研究科委員武藤佳恭博士に感謝致します．

慶應義塾大学徳田研究室の先生方，先輩方には研究の議論のために多くの時間を割いて頂き，貴重な御助言を頂きました．特に，岩本健嗣博士，青木俊氏，門田昌哉氏には，本論文執筆にあたって励ましと御指導を頂きました．また，慶應義塾大学徳田研究室 HORN グループの方々に大変お世話になりました．特に川添瑞木氏には，多大な協力を頂きました．ここに深い感謝の意を表します．

最後に，研究の日々を共に過ごした，幸田拓耶氏，出内将夫氏，その他多くの友人に深く感謝し，謝辞と致します．

平成17年1月12日
丸山 大佑

参考文献

- [1] 青木崇行, 村瀬正名, 松宮健太, 中澤仁, 西尾信彦, 高汐一紀, 徳田英幸: Smart Furniture: Improvising Ubiquitous Hot-spot Environment (2002).
- [2] 慶應義塾大学徳田研究室: Smart Space Laboratory Project. <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/sslab/>.
- [3] 東京大学青山森川研究室: STONE Room. <http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/research/ubiquitous/stone.j.php>.
- [4] Hill, J. and Culler, D.: A wireless embedded sensor architecture for system-level optimization, *In UC Berkeley Technical Report* (2002).
- [5] L.E. Holmquist, F. Mattern, B. S. P. A. M. B. and Gellersen, H.: Smart-Its Friends: A Technique for Users to Easily Establish Connections between Smart Artefacts, *Proc. of UBICOMP 2001* (2001).
- [6] Samuel R. Madden, Mehul A. Shah, J. M. H. and Raman, V.: Continuously Adaptive Continuous Queries over Streams (2002).
- [7] Intanagonwiwat, C., Govindan, R. and Estrin, D.: Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 56–67 (2000).
- [8] Weiser, M.: The Computer for the Twenty-First Century, *Scientific American*, pp. 94–10 (1991).
- [9] 猿渡 俊介 川原 圭博 南 正輝 森川 博之 青山 友紀 永原 崇範, 篠田庄司: ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U3 (U-cube) の設計と実装, Vol. 3 (2003).
- [10] 川原圭博, 司化, 森川博之, 青山友紀: コンテキストウェアサービスプラットフォーム Synapse の設計と実装 (2005).
- [11] Suzuki, G., Aoki, S., Iwamoto, T., Maruyama, D., Koda, T., Kohtake, N., Takashio, K. and Tokuda, H.: u-Photo: Interacting with Pervasive Services using

- Digital Still Images, *Proceedings of The 3rd International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*, Vol. 3468, No. ??, pp. 190–207 (2005).
- [12] 鈴木源太: 環境情報スナップショットを用いたユビキタスサービスの研究, 慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士論文 (2004).
- [13] <http://www.jpeg.org/>: JPEG Homepage.
- [14] Minar, N., Gray, M., Roup, O., Krikorian, R. and Maes, P.: Hive: Distributed Agents for Networking Things, *Proceedings of ASA/MA'99, the First International Symposium on Agent Systems and Applications and Third International Symposium on Mobile Agents* (1999).
- [15] Alliance, D. L. N.: Digital Living Network Alliance Guidelines. <http://www.dlna.org/guidelines/>.
- [16] Chandrasekaran, S., Madden, S. and Ionescu, M.: Ninja Paths: An Architecture for Composing Services over Wide Area Networks.
- [17] Hodes, T. D., Katz, R. H. et al.: Composable Ad-hoc Mobile Service for Universal Interaction, *proceedings The Third Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 1–12 (1997).
- [18] 丸山大佑, 青木俊, 高汐一紀, 徳田英幸: センサのメタ情報を利用したセンサデータ取得ミドルウェアの構築, 情報処理学会第4回ユビキタスコンピューティングシステム研究会論文集, Vol. 2004, No. 39, pp. 11–16 (2004).
- [19] Samuel Maddern, Michael J. Franklin, J. M. H. and Hong, W.: TAG: a Tiny AGgregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks, *Operating Systems Design and Implementation* (2002).
- [20] J. Hill, R. Szewczyk, A. W. S. H. and Pister, D. C. K.: System architecture directions for networked sensors, *ASPLOS 2000*, pp. 93–104 (2000).
- [21] Philippe Bonnet, J. E. G. and Seshadri, P.: Querying the Physical World, *IEEE Personal Communications*, Vol. 7, pp. 10–15 (2000). Special Issue on Smart Spaces and Environments.
- [22] Russel, S. and Norvig, P.: *Artificial Intelligence Modern Approach Second Edition*, Prentice Hall (2002).
- [23] Neapolitan, R. E.: *Learning Bayesian Networks*, Prentice Hall (2003).
- [24] 門田昌哉: 確率を用いた適応的なコンテキスト解釈系に関する研究, 慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士論文 (2004).

- [25] Iwamoto, T., Nishio, N. and Tokuda, H.: Wapplet: A Media Access Framework for Wearable Applications, *Proceedings of The 16th International Conference on Information Networking (ICOIN-16)*, Cheju Island, Korea (2002).
- [26] Kawaguchi, N.: Cogma: A Middleware for Cooperative Smart Appliances for Ad hoc Environment, *Proc. 1st International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*, Yokosuka, Japan (2004).
- [27] 河口信夫, 宮崎俊和, 稲垣康善: ユビキタス情報環境における履歴を用いた機器操作支援手法, 情報処理学会ユビキタスコンピューティング研究会, 映像情報メディア学会技術報告, pp. 57–62 (2004).