

3D 仮想空間を用いた 情報家電のためのリモコンフレームワーク

清 川 皓 太^{†1} 山 本 眞 也^{†2,†4} 柴 田 直 樹^{†3,†4}
安 本 慶 一^{†1,†4} 伊 藤 実^{†1}

本論文では、ネットワーク接続された多数の情報家電を一元的かつ直観的な操作により遠隔地からの制御を可能にする情報家電リモコンのフレームワーク UbiREMOTE を提案する。UbiREMOTE は、ホームネットワークが敷設された空間の間取りとそこに設置された多数の情報家電を模した 3D 仮想空間を構築し、対象となる空間と情報家電の動作状況を 3D グラフィックスでリモコン端末に表示する機能、および、一般的な赤外線リモコンを用いて操作する手順に似せたインタフェースによる直観的に家電を操作する GUI を提供する。提案フレームワークを実現するため、処理能力の低い携帯端末上において軽快な動作を可能にする軽量 3D グラフィックス表示機構、仮想空間へ対象空間の情報を自動反映する機構を提案する。UbiREMOTE の有用性を確かめるため、本フレームワークに基づいたリモコンのプロトタイプをタブレット PC へ実装し、提案する 3D グラフィックス表示機構におけるフレームレートの測定およびユーザビリティについてのアンケート評価を行った。その結果、3D グラフィックスの表示速度は提案する軽量 3D 描画機構を使わない場合と比べて約 100 倍向上し、ユーザビリティについてはテキストベースのもの比べ、家電の見つけやすさ、設置場所の認識のしやすさ、操作性、動作状況の確認のしやすさにおいてより優れていることを確認した。

Remote Controller Framework for Information Appliances with 3D Virtual Space

KOHTA KIYOKAWA,^{†1} SHINYA YAMAMOTO,^{†2,†4}
NAOKI SHIBATA,^{†3,†4} KEIICHI YASUMOTO^{†1,†4}
and MINORU ITO^{†1}

In this paper, we propose a framework named “UbiREMOTE” for controlling information appliances connected to a home network with a unified and intuitive user interface from a remote place. UbiREMOTE provides users with a

way to control appliances in a home through a virtual space drawn on a mobile terminal screen which reflects the latest conditions of the real appliances and the rooms in the home. In addition, UbiREMOTE provides users with an intuitive and familiar way of controlling appliances by using a control window imitating the real remote controller for each appliance. To realize UbiREMOTE, we propose a lightweight 3D rendering mechanism that improves the drawing speed of 3D virtual space on mobile terminals and a mechanism that automatically reflects condition changes of the real space in the virtual space. We implemented a UbiREMOTE prototype on a tablet PC and conducted evaluation experiments. As a result, compared with the method that draws all objects, the rendering speed was improved about 100 times in the proposed method. Moreover, the usability of UbiREMOTE terminal outperformed the text-based terminal in finding the target appliance, recognizing its relative position in the space, and operating it.

1. はじめに

近年、ネットワークに接続可能な家電や情報機器（以下、情報家電と呼ぶ）が普及している。また、様々な情報家電をネットワーク経由で制御する枠組みとして UPnP¹⁾ や DLNA²⁾, OSGi³⁾, ECHONET⁴⁾ などが整備されつつある。これら情報家電ネットワーク技術において、情報家電をネットワーク接続する主要な目的の 1 つは遠隔操作である。また、Apple 社製 iPhone 4 や Google 社製 Android プラットフォームに基づいたソニー・エリクソン社製 Xperia など、高解像度・高性能なスマートフォンが広く普及してきている。他にも、Apple 社製 iPad など、携帯電話網・無線ネットワーク通信をサポートしたタブレット端末も普及しつつある。これらにより、今後、遠隔操作の需要はより高まっていくと考えることができる。遠隔操作により、帰宅前の自宅の空調管理、外出先での録画操作などの利便性の向上、留守宅の遠隔監視・照明の自動操作などによる防犯対策、家電利用状況の確認による離れて暮らす高齢者の見守りなどを実現でき、すでに提供されているサービスもある⁵⁾。

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 山口東京理科大学

Tokyo University of Science, Yamaguchi

^{†3} 滋賀大学

Shiga University

^{†4} 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

Japan Science and Technology Agency, CREST

Sánchez らは携帯端末からオーディオを遠隔操作するメディアプレイヤー⁶⁾を、Nichols らは携帯端末上で動作する独自のプロトコルを用いた家電リモコン⁷⁾を提案している。しかし、テレビやエアコンをはじめとして、一家庭に同一の種類の家電が複数台あることも珍しくない現在において、すべての家電を操作可能にした場合、数十におよぶ家電が登録されることになる。前述した研究を含む既存の遠隔操作サービスの多くは、テキストベースのインタフェースを用いているため、ネットワークに接続している情報家電が多くなるに従って、同種のデバイス名の判別やデバイス名からの家電の推定がしにくくなるため、制御・監視したい対象の選択や操作に混乱が生じやすい。また、文献 8) のような俯瞰視点による 2D グラフィックスのインタフェースにおいても、立体的に配置された家電（一般的には、テレビ、ビデオレコーダ、オーディオシステムなどのマルチメディア機器、または電子レンジ、冷蔵庫、換気扇などの調理機器があげられる）が重なってしまい、操作に支障をきたすことが考えられる。

本論文では、ネットワーク接続された多数の情報家電を、一元的かつ直観的な操作により制御可能にする情報家電リモコンのフレームワーク UbiREMOTE を提案する。UbiREMOTE は、主に、(i) 情報家電の一元的・直観的な制御機能、(ii) 操作対象の家電を容易に発見・選択し、遠隔操作できる機能、(iii) 現実空間のモニタリング機能、(iv) 携帯電話などの処理性能の低い携帯端末でも 3D 描画処理を軽快に動作させる機能の 4 つの機能を持つ。

上記 (i)、(ii) に関して、従来のテキストベースによる家電操作のユーザビリティの低さを解決するため、UbiREMOTE では、制御対象のホームネットワークが敷設された空間（自宅など）の間取り、および、情報家電の実際の配置を模した 3D 仮想空間をリモコン端末画面に表示し、ユーザはこの 3D 仮想空間内を自宅内で目的の家電を探し操作を行うという現実空間での行動に倣ったウォークスルー型の直観的なインタフェースを採用する。これにより、一元的かつ直観的な家電の制御を支援する。

上記機能 (iii) に関して、実空間の家電の位置を推定し仮想空間に効率良く反映する手法は、著者らの知る限り存在しないため、UbiREMOTE では、既存の位置推測手法⁹⁾を利用することで、この機能を実現する。具体的には、各家電に加速度センサ、電子コンパス、ZigBee で通信可能なセンサノードを取り付け、加速度センサにより家電の移動を検知する。そして、移動を検知した家電に対し、室内の数力所に取り付けられた ZigBee で通信可能なセンサノードを用いて、文献 9) などで提案されている ZigBee による位置推定を行い、移動後の家電の位置を推定する手法を採用する。実空間の物理量（温度や湿度など）の変化に関しては、センサにより取得した情報を実時間で仮想空間に反映する手法を提案する。

上記機能 (iv) として、3D 仮想空間上の視点を背景画像を貼り付けた立方体（以後、キューブと呼ぶ）によって取り囲む 3D 描画処理軽量化手法を提案する。この手法では、キューブ外のオブジェクトは背景として描画し、キューブ内のオブジェクトのみ 3D で描画を行い、ユーザの視点がある程度移動した際に、キューブに貼り付ける背景画像を更新する。これにより、ユーザにはわずかな違和感しか与えず、軽量の描画と短い応答時間を実現する。

評価実験として、UbiREMOTE に基づいたリモコンのプロトタイプをタブレット PC に実装し、3 - 5 個の情報家電を設置した部屋を想定した環境で、家電操作における応答時間、リモコン画面の描画時間間隔を調べる実験を行った。また、ユーザビリティに関するアンケートにより、テキストベース、2D ベースのインタフェースとの比較を行った。

実験の結果、UbiREMOTE に基づいたリモコン端末による家電操作の応答時間は遠隔操作時においても 3 秒程度と家電を直接制御するリモコンと比べて遜色ないことが分かった。3D 描画処理の軽量化手法について、提案手法を用いない場合での描画速度と比較した結果、フレームレートが約 90 - 120 倍の高速化が達成されることを確認した。ユーザビリティに関するアンケートでは、テキストベースのインタフェースよりも、家電の見つけやすさ、操作のしやすさなどの点で優れているとの回答を得た。また、間取り図による 2D ベースとの比較でも、4 段階評価では同等、コメントでは、より好意的な回答を得た。

以降、2 章で UbiREMOTE の概要と実装上の課題、3 章で 3D 描画処理の軽量化手法について述べる。4 章で実空間での変化の 3D 仮想空間への自動反映手法の提案を行い、5 章で評価実験、6 章で関連研究を述べる。最後に 7 章でまとめを述べる。

2. UbiREMOTE の概要

本章では、提案するフレームワークの対象環境・目的を述べた後、目的達成のための要件・基本方針を述べ、その後、本フレームワークの構成について説明する。

2.1 対象環境と目的

UbiREMOTE では、ユーザが自宅内の情報家電を遠隔地から操作するサービス（以下、家電遠隔操作サービス）を扱う。家電遠隔操作サービスは、一般に知られているものとして、ビデオレコーダの予約、空調の調整、風呂の追い炊き、ペットの餌やりなどがあげられる。ただし、電子レンジのように、家電による制御の対象が手元にユーザの手元にあるようなものは、遠隔操作をする必要性がないため、サービスの対象とならない。また、そのほかにも、ボットの使用頻度を遠隔地から調査することによる一人暮らしの老人の見守りなども注目されている。UbiREMOTE では、上記にあげた一般的に遠隔操作が求められる家

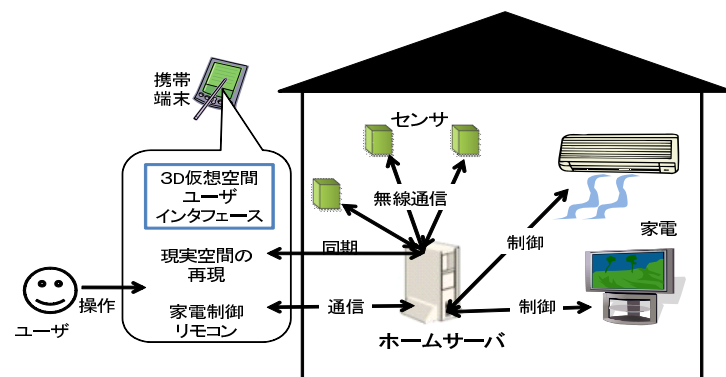


図1 UbiREMOTE の内部構造
Fig. 1 Internal architecture of UbiREMOTE.

電の操作，家電の動作情報の取得だけでなく，それらのサービスを組み合わせることによって有用となるサービス（たとえば，ヒータの消し忘れ対策など）の実現を目的とした汎用的な遠隔操作リモコンのフレームワークを目指す。UbiREMOTE の動作環境を図1に示す。本論文で取り扱う環境では，自宅内の操作対象となる情報家電はすべてホームネットワークに接続されており，インターネットから接続可能なホームサーバがホームネットワークに接続されているものとする。UbiREMOTE の目的は，上記の環境において，いつでも，どこからでも，多数の情報家電を一元的かつ直観的な操作で制御するためのユーザインタフェースを備えたりモコン端末のアーキテクチャを提供することである。

UbiREMOTE では，情報家電遠隔操作サービスの提供にあたり，以下の4つの要件を満たすことを目指す。

- (1) 誰もが直観的に操作できること
- (2) 遠隔からネットワークを介して操作できること
- (3) 情報家電の動作状況がモニタリングできること
- (4) 室内の状況がモニタリングできること

上記(1)に関して，従来のテキストベースによる家電操作のユーザビリティの低さを解決するため，UbiREMOTE では，情報家電によるホームネットワークが構築された空間（以後，実空間と呼ぶ）を3D仮想空間として構築し，リモコン端末に表示する。ユーザは，この3D仮想空間とのインタラクションを介して，対象空間内の情報家電の操作および動作状

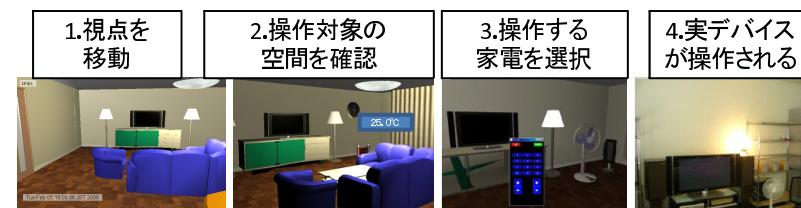


図2 UbiREMOTE での操作（照明のスイッチを入れる）
Fig. 2 Operation on UbiREMOTE (Turning on a light).

況の監視を行う。具体的には，以下の手順で情報家電を操作する。

- (i) 手元の端末から UbiREMOTE を起動する。起動時には，家を模した3D空間における，初期位置の玄関前もしくは最後に操作した場所の画面が表示される。このとき，現在の家電の状況が反映されている。
- (ii) 操作したい家電の前まで視点を動かす。操作方法はタッチパネルの上側を押し続けることで一定のスピードでウォークスルーする。このとき，画面は暗に4分割されており，上側で前進，下側で後進，左右は旋回となっているものとする。
- (iii) 図2のように操作したい家電の前まで移動した後，家電をタッチすると，その家電に付属されたリモコンと同様のリモコンインタフェースがポップアップされる。リモコンインタフェースは現実のものを模しているため，家電ごとに違う。
- (iv) 家電の操作は，新たに表示されたリモコンインタフェースを実世界で使っているリモコンと同じように，タッチすることで行う。このとき，リモコンインタフェースはその枠外をタッチすることで画面上から消去することができる。
- (v) リモコンインタフェースを操作すると，操作命令がネットワークを介して家電に伝えられ，家電の応答結果がグラフィックスとして UbiREMOTE に反映される。
- (vi) ユーザは，UbiREMOTE 内の家電の動作状況を目視しながら，自分の好みに合うまで家電の操作を繰り返す。

このように，UbiREMOTE では，ユーザに現実の情報家電を操作するような直観的な制御手段を提供する。この際の情報家電やリモコンの3Dオブジェクトデータ・画像データは，最終的にベンダから提供されるという想定をしている。存在しない場合には，公開されている汎用的なモデルを用いるものとする。UbiREMOTE では，Wavefront 社の OBJ 形式などの中間ファイルフォーマットをサポートしており，ユーザが一般的な3Dモデリングツールによって作成することも可能である。また，3D仮想空間における家のデータに関しては，

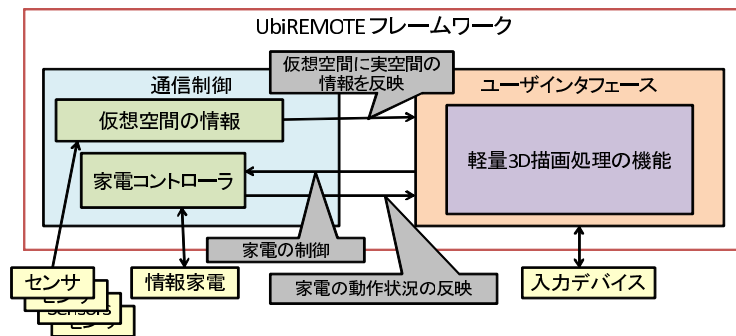


図3 UbiREMOTEの構成
Fig. 3 Structure of UbiREMOTE framework.

ドラッグアンドドロップによる単純なタスクでデータを作成できるような構築支援ツールを提供する予定である。

上記(2)について、UbiREMOTEでは、UPnPをサポートしたホームネットワークおよび情報家電を対象に、遠隔からUPnPに基づいたプロトコルで各情報家電を制御するメカニズムを提供する。

上記(3)について、UbiREMOTEでは、任意の時間、場所から、情報家電を操作するユーザが、操作の応答を確認できるようにするため、情報家電の動作状況を即時にリモコン端末内の仮想空間に反映し、モニタリングできる機能を提供する。

上記(4)について、UbiREMOTEでは、情報家電の位置や室内の温度・湿度などを計測し、リモコン端末に最新の計測結果を表示し、遠隔操作時の対象となる情報家電の位置、動作状況、室温などをユーザに提示することで、現実空間の状況の把握を可能にする機能を提供する。この機能により、外出先から帰宅する前にエアコンを適切な温度に設定をしたり、外出後にヒータの電源を切ったかを確認したりする操作を直観的に行うことが可能となる。

2.2 UbiREMOTEの構成

図1に示すように、リモコン端末は遠隔地からホームサーバを経由して情報家電と通信することで、情報家電を制御する。また、家の中に設置されたセンサは室内の温度や湿度、また情報家電の位置などの実空間のデータを定期的に収集し、サーバに送信する。そのデータは、サーバとリモコン端末が同期処理を行うことで仮想空間に反映される。

UbiREMOTEを、図3のように、大きく分けて、ユーザインタフェース部、通信制御部

実空間



(a) OFF

(b) ON

リモコン画面

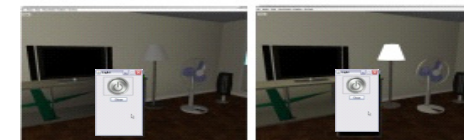


図4 フロアランプのコントロール
Fig. 4 Operation for turning on/off lamp.

からなる2つのモジュールで構成する。

2.2.1 ユーザインタフェース部

本モジュールは、(1) 3D空間の表示、(2) 仮想空間内でのユーザの視点の移動と情報家電の選択、(3) 選択した情報家電の操作または稼働状況の監視の3つの機能を持つ。

上記(1)に関しては、対象空間とそこに置かれた情報家電(ライト、テレビ、エアコンなど)の配置や稼働状況を、3Dグラフィックスによりリモコン端末に表示する。この機能では、実在の家屋内を歩いて見回るように視点の位置や向きを変えることが可能である。また、図4のように、通信制御部と連携して各情報家電の稼働状況(たとえば、電源のオン・オフ、エアコンの設定温度・湿度、テレビのチャンネル・音量など)やセンサの値を取得することで、仮想空間内にそれらの情報を反映する機能を提供する。

UbiREMOTEは、遠隔地から家電を操作するために、iPhoneなどのタッチパネル機能を持つ携帯端末を使用することを想定している。しかし、仮想空間を表示する際には、3Dグラフィックスを高速に処理できる性能が必要なため、処理能力の低い携帯端末では軽快に動作させることが難しい。そこで、携帯電話のような処理能力の低い端末でも、軽快な3D描画を可能にするための軽量3D描画機能を実現する。これについては3章で詳しく述べる。

上記(2)に関しては、タッチパネルやポインティングデバイスなどを用いて、空間内の適切な場所をタッチすることにより、視点を進行方向に進めたり旋回させたりする機能や、仮想空間内の情報家電のオブジェクトにタッチすることで、操作対象として選択する機能を実現する。

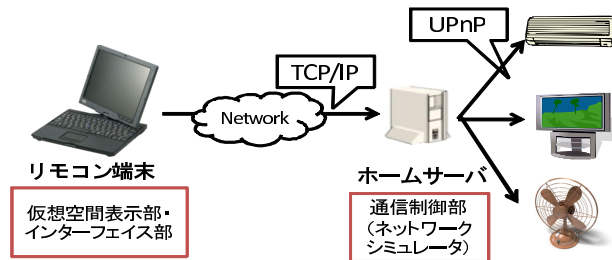


図 5 通信アーキテクチャ

Fig. 5 Communication architecture.

上記 (3) に関しては、選択した情報家電に応じて、専用のリモコンを模したユーザインタフェースをリモコン端末画面にポップアップし、それを用いることで、情報家電を操作したり、動作状況を監視したりできる機能を実現する。専用リモコンインタフェースがポップアップされた状況を図 4 に示す。

2.2.2 通信制御部

本モジュールは、(i) 実空間のホームネットワークおよび接続された情報家電と通信を行い、ユーザが指定したとおりに情報家電を制御する機能、(ii) 情報家電の稼働状況やセンサが示す値を取得する機能、(iii) 操作対象の空間の温度や情報家電の位置などを室内に設置した複数のセンサから取得し、データをリモコン端末に送信する機能の 3 つの機能を持つ。

上記 (i)、(ii) に関して、情報家電およびセンサとの通信には UPnP に基づいたプロトコルを利用する。ユーザが遠隔操作を行う際には、リモコン端末は、情報家電（もしくはセンサ）の ID と、それに対する操作コマンドの UPnP のメソッドを呼び出す。しかし、UPnP の仕様上、インターネットを介した通信はできない。そこで、UbiREMOTE では、リモコン端末とホームサーバの間で TCP/IP を使って UPnP をトンネリングする。これにより、直接 UPnP のプロトコルを伝播できないインターネットを介した遠隔制御を可能とする。この通信アーキテクチャを図 5 に示す。

上記 (iii) についての詳細は 4 章で詳しく述べる。

3. 3D 描画処理の軽量化手法の提案

本章では、リモコン端末における 3D 描画処理の軽量化に必要な要件を述べ、処理の軽量化のアイデアを示した後、提案手法の詳細を述べる。

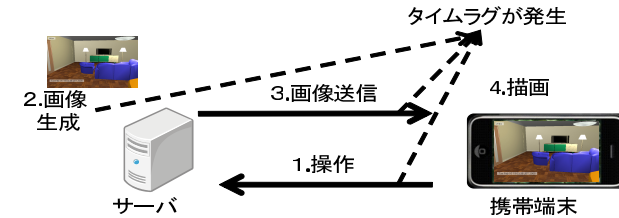


図 6 サーバ・クライアント型の描画処理手法

Fig. 6 Server-client based 3D graphics processing.

3.1 要件

3D 描画処理軽量化の要件を以下のように設定した。

- (R1) 一般的な携帯端末で軽快に動作するようにすること
- (R2) 軽量化による表示品質の劣化をユーザビリティに影響を及ぼさない範囲に抑えること
- (R3) 情報家電を操作する際に、動作状況がリモコン画面に反映されるまでの応答時間が十分に短いこと

以下、これらの要件を満たすためのアイデアと提案する手法の詳細について述べる。

3.2 3D 描画処理の軽量化のアイデア

まず、リモコン端末のかわりに 3D 描画を行うサーバを用意する。このサーバは、クライアントとなるリモコン端末が 3D 仮想空間上のユーザの視点の位置情報と方向情報を送信すると、それらの情報を基に 3D 仮想空間を描画し、それを 2D 画像としてキャプチャし、クライアントに返信する。本論文では、このサーバ機能はホームサーバが兼任する。このサーバを用いることで、リモコン端末は 3D 描画をすることなく、一般的な画像の表示処理を行うだけで 3D 仮想空間を表現することができる。しかし、この手法では、図 6 のように、クライアントが位置・方向情報を送信した後、サーバがキャプチャ画像を生成し、クライアントに返信するという手順を踏むため、タイムラグが発生する。このタイムラグは、ユーザが視点を変更するたびに、また、3D 仮想空間の様子が変化するたびに発生するため、UbiREMOTE のようなウォークスルー型のアプリケーションにおいては、ユーザに大きな違和感を与えるという問題が考えられる。

そこで、上記をふまえ、要件 (R1) への対応策として、サーバが描画した 3D 仮想空間をキャプチャする際に、ユーザが送信した位置・方向情報に基づいて、360 度取り囲むように、キャプチャ画像を複数枚作成する方法を採用する。クライアントは、サーバから送られてきた複数枚の画像を用いて図 7 のようなキューブを作成する。これにより、ユーザはキューブ

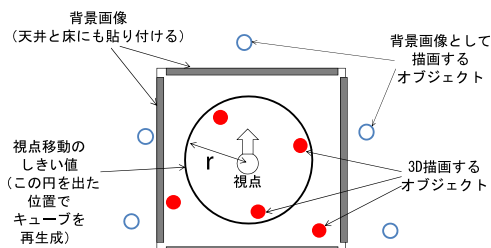


図7 キューブ型疑似3D仮想空間
Fig.7 Cubic virtual space.

内から、キューブの各面に貼り付けられた2D背景画像を通して3D仮想空間を認識する。

要件(R2)、(R3)への対応策として、仮想空間上のユーザの視点位置に近い情報家電のみクライアントで3D描画する手法を採用する。一般的に、ユーザは操作したい家電の近くに移動し、操作する。これはUbiREMOTEにおいても同様である。このとき、仮想空間上のユーザ視点の周辺に存在するはずの3Dオブジェクトを2D画像を用いて疑似表示すると、視点移動の際に、2D画像を斜めから見る状態になり、オブジェクトの形状が歪んでしまう。そこで、仮想空間上のユーザの視点位置に近い情報家電のみクライアントで3D描画することでこの問題を解決する。また、3Dオブジェクトを用いることで、情報家電の動作状況の変化に対し、描画サーバを用いずにクライアントのみで即座に対応できるため、ユーザの操作に対する情報家電の応答をいち早く描画することができるという利点もある。

上記の対応策を組み合わせた3D描画処理軽量化のアイデアとして、少数の3Dオブジェクトと2D画像を重ね合わせる手法を採用する。

以下の節では、この疑似的な3D仮想空間（以降、疑似3D仮想空間と記す）の詳細について示す。

3.3 疑似3D仮想空間生成手法

提案手法では、図7に示すように、3D仮想空間中の視点の現在位置を任意の大きさのキューブで取り囲む。このとき、キューブの内側にあるオブジェクトは3D描画し、外側の部分を6枚の背景画像としてサーバから取得し、それぞれの面に貼り付ける。キューブの大きさは、リモコン端末の処理性能（いくつかのオブジェクトを軽快に3D描画できるか）を考慮して決める。キューブ内に含まれる情報家電の数が多すぎる場合には、キューブを小さくすることで、キューブに含まれる情報家電の数を削減する必要がある。

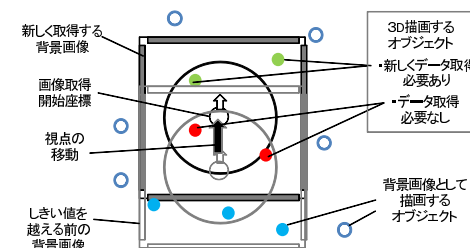


図8 視点を移動させた場合の新しいキューブ型疑似仮想空間の生成
Fig.8 Updating pseudo virtual space according to viewpoint movement.

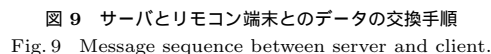
3.4 疑似3D仮想空間の更新手法

疑似3D仮想空間の表示品質を保つため、仮想空間上のユーザの視点が一固定距離以上移動するたびに、キューブの位置を更新し、リモコン端末で描画する3Dオブジェクトを選び分け、キューブの壁面に貼り付けるキャプチャ画像を更新する。図8に示すように、キューブの中心から半径 r の円を閾値と定義し、視点が円内にある間はキューブを更新しないものとする。このとき、半径 r は、デフォルト値では 2m^{*1} としているが、リモコン端末の3D描画能力、画像を更新する際のクライアントとサーバの間の遅延、操作感などを考慮したうえで、ユーザが事前に任意の値に変更することが可能である。仮想空間上のユーザの視点の位置が円の範囲を越えたとき、その位置を中心に新しい背景画像を生成する。

サーバとリモコン端末のデータ交換手順を図9に示す。視点の位置が円の範囲を越えると、クライアントであるリモコン端末は更新の要求として、新しい視点の位置と方向をサーバに送信する。サーバはその要求を受け取ると、背景画像と新しくキューブ内に入る3Dオブジェクトのデータを送信する。最後に、リモコン端末は受信した背景画像と3Dオブジェクトを描画し、新しい疑似3D仮想空間を表示する。以上により、疑似3D仮想空間は視点がキューブの面に接近することなく、スムーズにリモコン端末画面に描画される。

この手法では、ユーザが情報家電を操作したとき、リモコン端末で3Dオブジェクトの描画を行っているため、操作結果が即座にリモコン端末の画面に反映される。キューブの外にある情報家電は、キューブの画像が更新されない限り動作状況が反映されないが、一般的に、ユーザは操作対象となる情報家電が見える範囲に近づいて操作を行うため、現実の環境を模したウォークスルー型のUbiREMOTEでは、この方法で十分であると考えられる。

*1 約本間1畳分にあたり、6畳部屋において、およそ中心から端までの距離となる。



4. 実空間情報の仮想空間への反映手法

本章では、実空間において発生した変化の仮想空間への反映手法における要件を述べた後、提案する実空間の状況（温度・湿度）と家電位置の仮想空間への反映手法について述べる。

4.1 要件

実空間では、家電の位置や動作状況などが変化する可能性がある。遠隔操作を行う際にリモコン端末の仮想空間内に表示される情報が実空間の情報と異なると、ユーザが情報家電を操作した際に、意図しない動作を起こす場合がある。たとえば、外出先で TV の電源の切り忘れに気づき、遠隔操作で電源を OFF にしようとしたとき、すでに同居人がその TV の電源を切っていたなら、ユーザが行おうとしている遠隔リモコン操作はユーザの意図とは逆の結果になってしまう。

また、実空間上の情報家電の位置が仮想空間内に反映されていない場合、ユーザの予期していない結果を招く可能性がある。たとえば、遠隔地からヒータの電源を入れる際、実空間上ではカーテンなど火事の原因となる可燃物の側に設置されているにもかかわらず、リモコン端末の仮想空間上では周囲に何も無い安全な場所に配置されたとしたら、それは大変危険なミスリードとなる。

以上をふまえ、本論文では、実空間の状況を表し、仮想空間に反映する情報として、温度・湿度などの部屋の状態、家電の位置、家電の動作状況を考慮する。

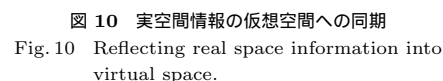


図 10 実空間情報の仮想空間への同期
Fig.10 Reflecting real space information into virtual space.

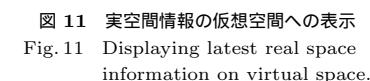


図 11 実空間情報の仮想空間への表示
Fig. 11 Displaying latest real space information on virtual space.

以下の節では、図 10 に示すように、上記の実空間情報をリモコン端末上の仮想空間に表示する手法を提案する。

4.2 温度・湿度の反映

いくつかのセンサノードを実空間に配置し，それらを用いて温度，湿度，照度などを測定するとともに，ZigBee¹⁰⁾を用いてホームサーバと通信する方法を提案する．

センサノードは、温度や湿度・照度・加速度などの計測、複数の端末間で近距離のセンサネットワークを形成することによる低消費電力なデータ交換、様々なネットワークポロジの構築、ノードの追加・削除をサポートする SunSPOT¹¹⁾ や Iris mote¹²⁾ などを用いる。

ZigBee の通信距離は 10 ~ 75 m であるため、1 部屋に 1 つずつセンサを設置することで、各部屋の温度や湿度を計測したデータを任意のセンサノード間で通信し、交換することが可能である。これをふまえ、本論文では、ホームサーバは ZigBee 通信機能を持ち、センサノードと通信可能であると想定する。各センサノードは、最新の計測値と過去の計測値との差が、ユーザが設定した任意の閾値を超えた場合、最新の計測値と自身の ID をホームサーバに送信する。これにより、図 11 に示すように仮想空間内の対象の位置に計測したデータを表示することが可能となる。

4.3 家具・家電位置情報の検出と反映

仮想空間内の家電の位置は、過去に与えられた初期位置が基になっているとする。このとき、それぞれの家電（TV、扇風機、ヒータなど）には、加速度センサ、電子コンパス、ZigBee 通信機能を備えたセンサノードをつける。これにより、動作を検知し、位置、方向を推定することができる。すなわち、加速度の変化が一定時間発生したならば、家電は新し

い場所に移動されたと考えることができる。本論文では、位置推定の手法には、文献 9) など提案されている既存の ZigBee センサノードを対象とした位置推定方法を用いる。この手法で必要とするアンカノードは、家具の移動などに影響されない壁や天井などに設置する。この位置推定法では、家電の動きを検知した際に、それぞれのアンカノードは家電に取り付けられたセンサノードに向けてビーコン・パケットを送信する。センサノードは各アンカノードから送られたパケットから RSSI (電波受信強度) を計測し、電子コンパスによる方向情報とともにホームサーバに送信する。サーバはこれらの RSSI 情報を用いて家電の新しい位置を推定し、仮想空間内の家電の推定位置、電子コンパスによる最新の方向に更新する。また、位置、方向の一意性を保つために、位置情報を表現する際の座標系には、GPS のような緯度経度を用いることとする。

5. 評価実験

本章では、UbiREMOTE フレームワークに基づいて実装したリモコン端末を用いて行った実験について述べる。まず、リモコン端末から家電を制御するまでにかかる応答時間を評価した。また、3D 描画処理の軽量化手法を用いた UbiREMOTE での描画速度の評価した。さらに、疑似 3D グラフィックスによる体感品質の低下度合いと、情報家電を操作する際のユーザビリティをアンケートによって評価した。

5.1 実験環境

リモコン端末には、5.2 – 5.4 節の実験ではタブレット PC である ThinkPad X61 (CPU : Intel(R) Core2Duo L7500 1.60 GHz, メモリ : 2 GB, GPU : Mobile Intel(R) 965 Express Chipset Family), OS : WindowsXP TabletEdition, ディスプレイの表示サイズ : 1024 × 768 (32 bit) を用いた。5.5 節の実験ではタブレット PC である Fujitsu FMV-Biblo LOOX P70R (CPU : Intel Pentium M 1.20 GHz, メモリ : 512 MB, GPU : Mobile Intel(R) 915 Express Chipset Family), OS : WindowsXP TabletEdition 2005, ディスプレイの表示サイズ : 1024 × 600 (32 bit) を用いた。

ホームサーバには、CPU : Intel(R) Core2Quad 2.4 GHz, メモリ : 3 GB, GPU : Geforce 8800GT, OS : WindowsXP SP2 を用いた。UbiREMOTE の実装には、Java Runtime Environment 1.6.5 および OpenGL 2.1 (JOGL) を用いた。

通信機能は、2.2.2 項のアーキテクチャ (図 5) に従って実装した。UPnP を TCP/IP でトンネリングする手法に関しては、著者らが提案している UbiREAL シミュレータ¹³⁾ の機能の一部であるネットワークシミュレータを用いて実現した。

軽量 3D 描画機構におけるキャプチャ画像は、想定する携帯端末の画面サイズを考慮し、疑似 3D 仮想空間を構成するキューブの側面画像は縦 220 ピクセル、横 320 ピクセルとし、天井・床画像は縦横 128 ピクセルとした。キューブの更新に使用する円の半径は仮想空間上のスケールで 1.5 m とした。

UPnP をサポートした情報家電は、現在一般に流通しているものが少ないため、今回の実験では、一般に普及している赤外線で作動できる家電、それを操作するための USB 接続の赤外線出力を持つ学習リモコン、および、学習リモコンを UPnP で操作するためのデバイスソフトウェアを、情報家電の代替として用いた。ホームサーバでは、学習リモコンを各情報家電に見せかけるデバイスソフトウェアおよびネットワークシミュレータが動作している。

実験に用いたプログラムの画面は、解像度 656 × 470 のウィンドウ表示とした。実験に使用した PC で表示したとき、実際の大きさとしては、およそ対角 6 inch 程度になり、現在普及しているスマートフォンの画面サイズが 3 – 4 inch 程度、タブレット端末では 8 – 10 inch 程度なので、およそスマートフォンとタブレット端末の中間サイズとなる。

5.2 応答時間

提案したフレームワークに基づいて実装したリモコンの実用性を評価するため、リモコン端末から家電を制御するまでにかかる応答時間を計測した。本実験では、端末での処理、ネットワークを経由した通信、サーバでの処理を含む UbiREMOTE において、従来の赤外線での操作と目視による動作状況の確認に比べ、処理や通信の往復 (すなわち、UbiREMOTE から家電に命令を送り、ネットワークを経由し、サーバから命令を送り、サーバが動作状況の情報を家電に問い合わせることで取得し、それをネットワークで UbiREMOTE に返信し、UbiREMOTE がその動作状況の情報に沿った描画を行う、という一連の動作) によって、どの程度の遅延が発生するかを評価する。

ホームサーバと接続する環境として、(a) 自宅内から操作する場合、(b) 自宅外から操作する場合で評価する。(a) に関してはクライアント端末を無線 LAN (IEEE802.11) でホームネットワークと接続する。(b) に関してはモバイル 3G ネットワーク (b-mobile 3G) を利用してインターネットに接続した。どちらの場合においても、ホームサーバは有線 LAN でホームネットワークに接続されている。

本実験では、リモコン端末から各家電の電源の ON/OFF を操作し、家電が応答するまでの時間を調べる。また比較対象として、家電に付属していた赤外線リモコンによる操作時間についても調査した。

10 試行の平均の実験結果を表 1 に示す。実験結果より、UbiREMOTE は家電を (a) 無

表 1 UbiREMOTE による家電制御での遅延
Table 1 Delay in controlling by UbiREMOTE.

家電		赤外線リモコンによる制御での遅延	UbiREMOTE による制御での遅延	
			(a) 無線 LAN	(b) 3G
扇風機	ON	0.540 sec	0.94 sec	3.22 sec
	OFF	0.550 sec	0.92 sec	3.04 sec
ライト	ON	0.133 sec	0.73 sec	2.98 sec
	OFF	0.204 sec	0.61 sec	3.13 sec
ヒータ	ON	0.413 sec	0.93 sec	3.18 sec
	OFF	0.440 sec	0.84 sec	3.30 sec
平均		0.380 sec	0.828 sec	3.141 sec

線 LAN 環境では 0.83 秒, (b) モバイル環境では平均 3.14 秒程度で操作できたことが分かる。しかし, 今回の実験では, UbiREMOTE でも赤外線を経由しているため, 赤外線による遅延も追加された結果となっている。よって, 直接リモコンで操作した場合の遅延を差し引いた (a) 0.45 秒, (b) 2.76 秒程度の遅延が, UbiREMOTE での処理遅延である。遠隔操作では, インターネットを経由することによる遅延を含むが, それを考慮したうえでも, 十分に短い時間で操作できることが分かる。

5.3 表示速度

5.3.1 データサイズ

まず, 仮想空間内で画像をキャプチャし, データサイズを測定した。擬似 3D 仮想空間を構成するキューブ側面の画像サイズは, 縦 220 ピクセル横 320 ピクセルとし, 天井・床画像は縦横 128 ピクセルである。いずれも JPEG で圧縮保存し, 背景画像 6 枚の総計データサイズは, 80 KB 以下となった。

5.3.2 画像ダウンロード時間

携帯電話網でのダウンロード時間の実測を行った。ダウンロード対象としてウェブ上にアップロードした 300 KB の複数の画像を用いた。使用した機種は Softbank の携帯電話, 930SH であり, HSDPA に対応したパケット通信が行える。受信感度が良好な環境で 10 回のダウンロードを行った結果, 平均のダウンロード速度は 779.2 kbps となった。前項のデータサイズより, 受信感度が良好な環境での画像のダウンロード時間は約 0.62 秒となり, キャプチャしてから画像を完全に取得するまでにかかるタイムラグはおおよそ実環境での使用に耐えうるものと考えられる。

5.3.3 描画速度

キューブ型仮想空間の描画フレームレートを測定した。なお, この測定では前章で述べた

表 2 描画フレームレート
Table 2 Frame rate.

	家電オブジェクトの数 (キューブ内のオブジェクト数)	ポリゴン数	フレームレート (fps)
全オブジェクト描画	20	200,000	1
提案手法	20(0)	108	120
提案手法	20(1)	2,100	100
提案手法	20(2)	4,208	90

ホームサーバとの通信は行わず, グラフィックス表示機構の画像の切替え速度だけを測定している。タブレット PC を用いて, すべてのオブジェクトを端末側で 3D 描画した際と, 提案手法でキューブ型仮想空間に 0-2 個の家電オブジェクトを設置して描画した際のフレームレートを調査した結果を表 2 に示す。

提案手法を用いない場合に比べ, 提案手法を用いた場合に劇的に描画速度が向上していることが分かる。ポリゴン数 2,000 で構成される 3D オブジェクトを 2 個追加した場合でもフレームレートの値は高く維持されている。

5.4 外観

仮想空間をキューブ型の内部に画像として貼り付けた際の違和感の調査を行った。評価対象として, 大学院生 5 名 (22-24 歳) に対してキューブ型仮想空間の内部を動き回る操作を行ってもらった後, (1) 違和感があるか, (2) 快適に操作できるか, (3) 家電の識別は可能か, の 3 つの項目について質問した。

(1) 違和感があるか

全員が仮想空間の中心付近に視点を置いた場合の違和感はないと回答した。また, 図 12 に示すような, キューブ内に配置した 3D オブジェクトとの親和性についても全員が違和感はなく見やすいと回答した。しかし, 図 13 に示すように, 角に移動した場合や壁に接近した場合に違和感があると回答した。

(2) 快適に操作できるか

全員が問題ないと回答した。

(3) 家電の識別は可能か

全員が基本的な識別は可能であると回答した。しかし, 1 人は遠い場所にある情報家電が識別しにくいと回答した。

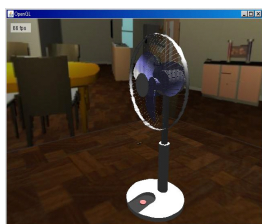


図 12 キューブ型仮想空間内の家電オブジェクト

Fig. 12 Inside-cube object in pseudo virtual space.

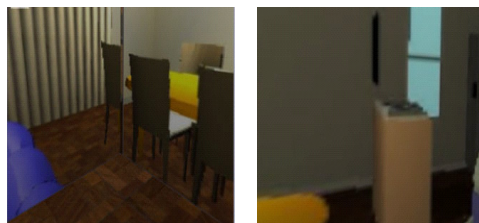


図 13 キューブ型仮想空間の角（左）と壁に接近した状態（右）

Fig. 13 Appearance of pseudo virtual space from near corner of cube (left) and from position near wall (right).

5.5 ユーザビリティ

テキストベースのインタフェース，間取り図による 2D インタフェース，UbiREMOTE のインタフェースについて，ユーザビリティの比較実験を行った．テキストベースのインタフェース，間取り図による 2D インタフェース，UbiREMOTE のインタフェースで実装されたリモコンソフトウェアを使い，被験者 6 名に複数の家電の遠隔操作，動作確認を行ってもらった後，アンケート調査を行った．公平性のため，クジによって操作するリモコンソフトウェアの順番を決め，その順番に従って実験を行った．この実験に用いた操作対象の住宅の間取りと情報家電の配置を図 14 に示す．

情報家電リモコンソフトウェアについては，ソースコードが公開されているものがなかったため，比較対象となる図 15，図 16 のようなリモコンソフトウェアを自作した．テキストベースリモコンソフトウェアでは，デバイスを部屋ごとに分類したツリーに配置し，部屋を選択することで，その部屋に配置されているデバイスの名前が確認できる．操作するには，家電の名前をクリックして操作可能なパラメータを表示させ，パラメータ名をクリックして値を編集する．動作状況の確認もパラメータ名をクリックして行うことができる．また，間取り図による 2D ベースリモコンソフトウェアは，UbiREMOTE を 2 次元化したものであり，間取り図に合わせ，実際の家電と同じ位置に，家電を模したアイコンを配置している．操作するには，家電アイコンをクリックすることでその家電のリモコンインタフェースが新たにポップアップされるので，そのリモコンを操作する．動作状況はアイコンが変化するのでそれを確認する．これらのリモコンソフトウェアも提案手法と同じく，UPnP を TCP/IP でトンネリングする方法を用いており，家電操作の際の応答速度はほぼ

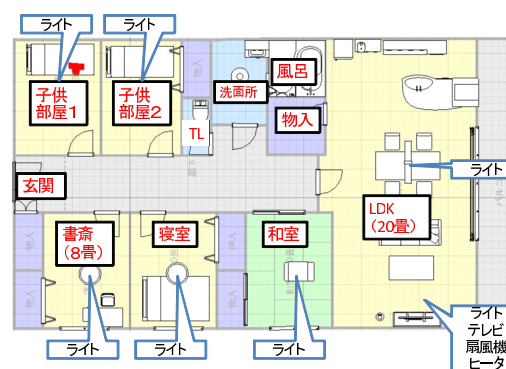


図 14 操作対象の住宅の間取りと家電の配置

Fig. 14 The layout of house and the placement of appliance.

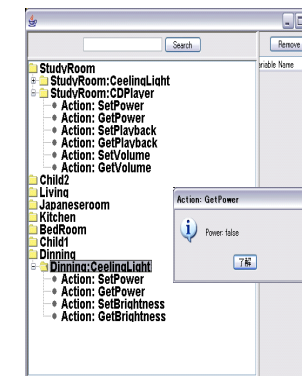


図 15 比較対象として用いたテキストベースのリモコンソフトウェア

Fig. 15 Text-based remote controller software in experiment.

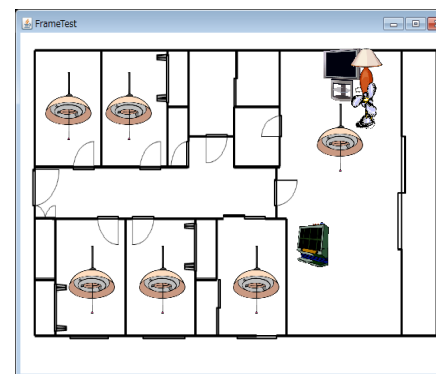


図 16 比較対象として用いた間取り図による 2D ベースのリモコンソフトウェア

Fig. 16 2D-based remote controller software in experiment.

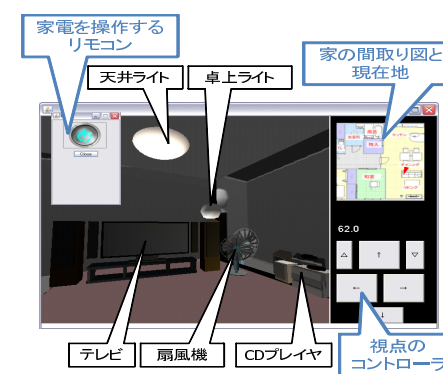


図 17 実験で用いた UbiREMOTE によるリモコン

Fig. 17 Remote controller with UbiREMOTE in experiment.

同じである．

UbiREMOTE は，現在，タッチパネル用ジェスチャを未実装であるため，今回の実験では，図 17 に示すように矢印によって視点を移動させる．

表 3 各インタフェースにおけるすべての家電操作でのアンケート評価
Table 3 Subjective evaluation by questionnaire with Text/2D/3D interface.

質問項目	テキスト	間取り図	UbiREMOTE
家電の見つけやすさ	2.7	3.5	3.7
設置場所の認識のしやすさ	1.2	3.8	3.8
動作の快適さ	2.7	3.2	3.0
動作状況の確認のしやすさ	2.5	3.8	4.0

実験における遠隔操作対象は、図 16, 17 に示すように、TV, 扇風機, スタンドライト (机の上などに設置できるもの), シーリングライト (天井に設置されたライト), ヒータであり、それら家電に対して、電源を入れる, 切るといった操作を行ってもらった。

アンケート項目は、テキストベース・間取り図による 2D ベース・UbiREMOTE のインタフェースについて、情報家電を操作する際の (1) 家電の見つけやすさ, (2) 設置場所の認識のしやすさ, (3) 動作の快適さ, (4) 動作状況の確認のしやすさの 4 項目について、4 段階 (非常に良い, 良い, あまり良くない, 悪い) で評価してもらい、それぞれ、4 点, 3 点, 2 点, 1 点を配点した。アンケート結果の平均を表 3 に示す。アンケート結果から、テキストベースが一律に低い評価であるのに対し、間取り図による 2D ベース, UbiREMOTE では、ほぼ同等の高い評価を得た。コメントとして、テキストベースは、「すべての家電が一覧できるのは便利である」という好意的な意見がある一方で、「同じ家電が複数あるときにどれか分からなくなる」との意見があった。全体的には、使い難いとの意見が多かった。間取り図による 2D ベースでは、「イラストで特徴をとらえていてシンプルで分かりやすい」というコメントが多かったが、一方で、「数が多くなるとアイコンが重なり使い難くなるのではないか」、「家電によってはアイコンのアニメーションでは分からないのではないか」とのコメントが数多くあった。UbiREMOTE は、「見たままなので分かりやすい」とのコメントが多かった。批判的な意見としては、「端末のスペックや 3D オブジェクトのモデリング精度に依存するのではないか」、「移動が面倒である」とのコメントがあった。

5.6 考 察

実験の結果、ダウンロード時間と描画速度の計測結果は十分に良く、携帯電話網を用いたデータ転送の際にも大きなタイムラグは発生しない。また、普及しているスマートフォンのスペックは、CPU が 1 GHz 程度、メモリが 256 MB (VRAM 128 MB 別搭載) もしくは 512 MB 程度の性能であり、OpenGL, Java をサポートしており、描画性能としては実験機と遜色ないため、実験結果は十分に実用範囲であるといえる。

見た目に関しては、ほぼ違和感のない操作ができることを確認した。仮想空間上のユーザの視点がキューブに接近した際の違和感については、キューブの大きさを閾値よりも十分に大きくすることで、対処できる。

ユーザビリティに関して、テキストベースと UbiREMOTE を比較したとき、情報家電の名前や位置を文字で表すよりも、情報家電やその配置を 3D の形状や色で表し、実空間の設置環境を再現する UbiREMOTE の方が、操作対象を直観的に、ストレスなく発見できる。

また、動作状況の確認についても、テキストベースでは動作パラメータが複数あると一目では分かり難く、動きで再現できる UbiREMOTE の方がユーザの認識度合いで優れている。さらに、同じ部屋に同じ情報家電が複数あった場合、操作したい対象がどれかを識別できないという問題が 3D 仮想空間を用いたインタフェースによって解決されたと考えられる。

間取り図による 2D ベースと UbiREMOTE を比較したとき、評価としては、ほぼ同等の結果となった。間取り図による 2D ベースと UbiREMOTE で評価に差がつかなかった原因として、操作する家電が比較的少なく、間取りも広がったため、UbiREMOTE の特徴である高低差の表現が最大限に活かせなかったためと思われる。しかし、間取り図による 2D ベースでは、コメントにおいて、「アイコンの重なりが気になる」とのコメントが多く、間取りの大きさと家電の数によっては、ユーザビリティが著しく低下することが予想される。これは、家電設置位置の高さの違いを表現できないことにも関係し、テレビとビデオレコーダ、など、集中的に配置される家電がある場合にも同様の問題が発生すると考えられる。また、間取り図による 2D ベースでは、「家電の向きが表現されていないので、実際にはヒーターがどこを向いているのか分からないので、危険だ」とのコメントがあった。間取り図による 2D ベースでは、表現するための面積が狭いため、見やすくするために、できる限りシンプルにする必要があり、それにより提供される情報量が現実よりも削減されるため、弊害も多いと考えられる。UbiREMOTE では、3D 空間により実空間を忠実に再現できるので、このような問題は発生しにくいといえる。これらのコメントによって、UbiREMOTE のように 3D 空間を採用することで、位置関係・動作状況の把握が向上していることが分かる。一方で、UbiREMOTE のウォークスルーは状況把握に便利だが、移動に時間がかかるとのコメントがあった。この問題を解決するために、移動時間の短縮について検討する必要がある。たとえば、任意の位置のブックマーク登録や間取り図によって瞬間的な移動ができるようにする方法が考えられる。

6. 関連研究

この章では、UbiREMOTE と、軽量 3D 描画処理に関連する既存研究について述べる．1 つ目は遠隔制御に関する研究，2 つ目は軽量 3D 描画処理に関する研究である．

6.1 情報家電の遠隔制御

情報家電をネットワークを通じて遠隔から操作する研究がいくつか行われている．

Smetters らは、Instant matchmaker と呼ばれる情報家電を遠隔操作するための環境を提供している¹⁴⁾．Instant matchmaker は、あらかじめ登録された携帯電話での情報家電の遠隔操作を仲介する．これにより、ユーザは携帯電話の画面を見ながら情報家電の電源のオン・オフができる．

株式会社東芝は FEMINITY というサービスを提案している¹⁵⁾．このサービスでは、専用のホームサーバを用いて、Bluetooth 経由で、情報家電をパソコンで操作したり、携帯電話を用いて遠隔操作したりすることができる．携帯電話から遠隔で情報家電を操作する際には、通常の家電のリモコンのインタフェースとは異なる機能メニューを用いる．

Nakamura らは、遠隔から情報家電を操作するためのプロトコル RACP (Remote Appliance Control Protocol) を提案している¹⁶⁾．現在一般的に用いられている赤外線リモコンを RACP により遠隔から操作する際のオーバーヘッドと操作性について評価している．しかし、赤外線以外のインタフェースを用いた家電の操作について評価されておらず、ユーザビリティの向上などについては対象としていない．

以上、従来の情報家電の遠隔操作に関する研究では、各機器の専用リモコンのインタフェースとは大きく異なる簡素なユーザインタフェースを使うことを前提としており、その結果、直観的な家電の操作ができず、携帯電話の操作に不慣れたユーザがこれらのサービスを使うには、敷居の高いものとなっている．

6.2 2D インタフェース

Seifried らが提案している CRISTAL⁸⁾ では、定点カメラの映像とタッチパネル式ディスプレイを搭載したテーブルを用いて、家電の遠隔集中制御を行うシステムである．このシステムでは、テーブル上に表示された床をなぞることで自動掃除器の移動軌跡を決定したり、テーブル上に表示されたテレビをスライドすることでテレビ番組を変更したりできるなど、タッチインタフェース独自のジェスチャによりインタラクティブでエンターテインメント性の高い操作感を提供している．部屋の表示には俯瞰視点の実映像を用いている．しかし、実際には、テレビとビデオレコーダ（もしくはホームシアターシステム）や、電子レンジと冷

蔵庫など、家電が立体的に配置されることもあるため、すべての機器を俯瞰視点のみで操作するのは難しい．また、俯瞰視点は一般的ではなく、ユーザは特定の家電を認識できないかもしれない．また、比較的小さな画面である携帯電話を用いた操作は考慮されておらず、遠隔地からのインターネット通信を用いた遠隔操作もサポートしていない．

6.3 3D 描画処理の軽量化手法

3D 描画処理の軽量化手法として、様々な手法が提案されている．大きく分けてクライアント・サーバレンダリング、3D データの圧縮、ビデオストリーミングの 3 つの手法がある．

6.3.1 クライアント・サーバレンダリング

ウォークスルーのようなインタラクティブな 3D 描画において、ユーザが視点を移動させた際の新しい視点における 3D のイメージを表示するための手法として、Mark はクライアント・サーバ方式を用いている¹⁷⁾．この手法では、3D シーンのレンダリングにおいて、連続して描画されたフレームが非常に似通っていることを利用し、前回描画したフレームのフレームバッファの内容を、視点の移動を考慮して歪めることで、次のフレームの内容を作成する方法を提案している．サーバで描画した 3D シーンを、クライアントに送信する際、画面を歪めるための情報のみをネットワークを通じて送信することで、帯域幅を節約し、低いレイテンシで表示することを可能にしている．

Chang らは同様のシステムを処理能力の低い PDA などをクライアントで用いる方法を示している¹⁸⁾．彼らは平面的な参照画像を 1 枚用いているが、画像を用いた表示では UbiREMOTE のようにオブジェクトを選択して操作する機能を実装するのは難しい．

Thomas らが提案する手法¹⁹⁾ ではウォークスルーに着目し、比較的少数の参照画像で仮想空間を作成することができるよう、キャプチャする際の視点の位置と方向を最適化している．この手法では、ユーザが現在の視点に表示されていない地点に移動したときのみ、新しい視点の描画が生成される．この方法により、ネットワーク帯域の消費を大きく減らすことができる．しかし、複数の参照画像を使用するためには、クライアントはイメージ生成命令を 2 から 4 フレームごとに行わなければならない．さらに、視点の選択アルゴリズムはワーピングの過程で大きな影響を与えるエラーを含み、仮想空間の見た目に影響してしまう．

6.3.2 3D データ圧縮

3D データ自体を圧縮して転送する手法として、ポリゴンの削減手法が広く提案されている²⁰⁾．サーバを用いたシステムではネットワークの帯域の制約から、転送コストに限界があるために、データ圧縮は不可避である．

Aliaga らは、仮想空間上の複数のビルの間をウォークスルーするようなソフトウェアアー

キテクチャについて述べている²¹⁾。本手法では、以前に送られた画像から類似画像を検出することにより、データ量を削減する。しかし、画像が前もって圧縮されていなければならないため、UbiREMOTEのようなインタラクティブなアプリケーションへの適用は難しい。

6.3.3 ビデオストリーミング

視点の移動で変化する3Dイメージをサーバ側で描画し、クライアント側に送信する手法として、ビデオストリーミングがある。ビデオストリーミングをサポートしているビデオコーデック^{22)–24)}を用いることで、リアルタイムの動画配信を行うことができるため、サーバで描画した3D空間を動画としてキャプチャしてクライアントに配信することも考えられる。De Winterらはアプリケーションを軽量に動作させるためにビデオストリーミングを用いたシンクライアントの手法を実装している²⁵⁾。しかし、この手法では100 Mbpsの高速な有線ネットワークを用いた配信を想定しており、無線ネットワークでは、高画質の動画をリアルタイムに配信することはできないと考えられる。また、携帯端末上で操作を行ってから3D描画・配信することが必要で、携帯端末から送られてくる視点情報を待ってから配信すると大きなタイムラグが発生することは避けられない。

7. ま と め

本論文では、ネットワーク接続された多数の情報家電を、仮想空間を介した直感的なインタフェースで操作するためのリモコンフレームワーク UbiREMOTE と、それを処理能力の低い携帯端末上で動作させるためのサーバ・クライアント方式に基づく軽量3D描画処理手法を提案した。さらに、実空間で発生した変化を仮想空間にリアルタイムに反映する手法の提案を行った。UbiREMOTEにより、コンピュータや携帯電話を使い慣れていないユーザでも、インターネットを介して、いつでも、どこからでも、自宅の情報家電を直観的に操作・監視することが可能になる。本論文では、UbiREMOTEに基づいたリモコン端末のプロトタイプをタブレットPC上に実装し、評価を行った。その結果、十分に短い応答時間での遠隔操作、動作確認が可能であることが分かった。また、提案した軽量3D描画手法について、携帯端末での動作に十分な描画速度と、実空間をリアルに再現したインタフェースを実現できることを確認した。さらに、ユーザビリティについて、アンケートをとり、テキストベースに比べ、直観的でストレスのない操作を実現していることを確認した。

今後、提案した実空間情報の仮想空間への反映手法についての実装を行い、仮想空間への反映にかかる時間、反映された情報の誤差を評価する予定である。

参 考 文 献

- 1) The UPnP Forum: UPnP Forum. <http://www.upnp.org/>
- 2) Digital Living Network Alliance: Digital Living Network Alliance. <http://www.dlna.org/>
- 3) OSGi Alliance: OSGi Alliance. <http://www.osgi.org/>
- 4) ECHONET CONSORTIUM: ECHONET CONSORTIUM. <http://www.echonet.gr.jp/>
- 5) NTT Neo Service: U-Concent service. <http://www.ntt-neo.com/news/2007/070419.html/>
- 6) Sánchez, I., Cortes, M. and Riekk, J.: Controlling Multimedia Players using NFC Enabled Mobile Phones, *Proc. 6th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp.118–124 (2007).
- 7) Nichols, J. and Myers, B.A.: Controlling Home and Office Appliances with Smart Phones, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.5, Issue 3, pp.60–67 (2006).
- 8) Seifried, T., Haller, M., Scott, D.S., Perteneder, F., Rendl, C., Sakamoto, D. and Inami, M.: CRISTAL: Design and Implementation of a Remote Control System Based on a Multi-touch Display, *Proc. ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2009*, pp.37–44 (2009).
- 9) Gonçalves, G. and Helena, S.: Indoor Location System using ZigBee Technology, *Proc. 3rd Int'l Conf. on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2009)*, pp.152–157 (2009).
- 10) ZigBee Alliance: ZigBee. <http://www.zigbee.org/>
- 11) Sun microsystems: Sun Spot. <http://jp.sun.com/products/software/sunspot/>
- 12) Crossbow Technology: Iris mote. <http://www.xbow.com/>
- 13) Nishikawa, H., Yamamoto, S., Tamai, M., Nishigaki, K., Kitani, T., Shibata, N., Yasumoto, K. and Ito, M.: UbiREAL: Realistic Smartspace Simulator for Systematic Testing, *Proc. UbiComp2006*, LNCS4206, pp.459–476 (2006).
- 14) Smetters, D.K., Balfanz, D., Durfee, G., Smith, T.F. and Lee, K.H.: Instant Matchmaking: Simple and Secure Integrated Ubiquitous Computing Environment, *Proc. 8th Int'l Conf. on Ubiquitous Computing (UbiComp 2006)*, LNCS4206, pp.477–494 (2006).
- 15) Masao, S., Shunro, K., and Morio, H.: Extension of FEMINITY (TM) Series Home Network System for Toshiba Network Home Appliances, *TOSHIBA REVIEW*, Vol.57, No.10 (2002). <http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2002/10/index.htm>
- 16) Nakamura, M., Tanaka, A., Igaki, H., Tamada, H., and Matsumoto, K.: Adapting Legacy Home Appliances to Home Network Systems Using Web Services, *Proc.*

Int'l Conf. on Web Services (ICWS 2006), pp.849–858 (2006).

- 17) Mark, W.: Post-Rendering 3D Image Warping: Visibility, Reconstruction, and Performance for Depth-Image Warping, Technical Report: TR99-022 of University of North Carolina at Chapel Hill (1999).
- 18) Chang, C. and Ger, S.: Enhancing 3D Graphics on Mobile Devices by Image-Based Rendering, *Proc. 3rd IEEE Pacific Rim Conf. on Multimedia*, pp.1105–1111 (2002).
- 19) Thomas, G., Point, G. and Bouatouch, K.: A Client-Server Approach to Image-Based Rendering on Mobile Terminals, Technical Report RR-5447 of INRIA (2005).
- 20) Shikhare, D., Babji, S.V. and Mudur, S.P.: Compression techniques for distributed use of 3D data, *Proc. 15th Int'l Conf. on Computer Communication*, pp.676–696 (2002).
- 21) Aliaga, D., Rosen, P., Popescu, V. and Carlbom, I.: Image warping for compressing and spatially organizing a dense collection of images, *Signal Processing: Image Communication*, Vol.21, Issue 9, pp.755–769 (2006).
- 22) ISO/IEC: Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 2: Visual, ISO/IEC 14496-2:2001(E) (2001).
- 23) ITU-T: Recommendation H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services, also an ISO standard as ISO/IEC 14496-10 (2005).
- 24) BBC: Dirac Specification, Version 2.2.0
<http://dirac.sourceforge.net/DiracSpec2.2.0.pdf>
- 25) De Winter, D., Simoons, P. and Deboosere, L.: A hybrid thin-client protocol for multimedia streaming and interactive gaming applications, *Proc. 2006 Int'l Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV 2006)* (2006).

(平成 22 年 5 月 31 日受付)

(平成 22 年 11 月 5 日採録)



清川 皓太

2009 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科前期課程修了。現在、KDDI 株式会社に勤務。



山本 真也 (正会員)

2009 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科後期課程修了。同年より現在、山口東京理科大学工学部電気工学科助教。博士 (工学)。P2P, 分散仮想環境, ユビキタスシステムに関する研究に従事。ACM 会員。



柴田 直樹 (正会員)

1996 年, 1998 年, 2001 年にそれぞれ大阪大学基礎工学部中退, 基礎工学研究科博士前期課程修了, 基礎工学研究科博士後期課程修了。2001 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。2004 年 1 月より滋賀大学経済学部情報管理学科講師。2004 年 4 月より現在, 滋賀大学経済学部情報管理学科助教授。分散システム, ITS, 遺伝的アルゴリズム等

の研究に従事。



安本 慶一 (正会員)

1991 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1995 年同大学大学院博士後期課程退学後, 滋賀大学経済学部助手。2002 年より現在, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科准教授。博士 (工学)。モバイルコンピューティング, ユビキタスシステムに関する研究に従事。ACM, IEEE/CS, 電子情報通信学会各会員。



伊藤 実 (正会員)

1977 年大阪大学基礎工学部卒業, 1979 年同大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1979 年より大阪大学基礎工学部助手。1986 年より大阪大学基礎工学部講師。1989 年より大阪大学基礎工学部助教授。1993 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。現在に至る。工学博士。データベース理論, 効率的なアルゴリズム開発等の研究に従事。

ACM, IEEE, 電子情報通信学会各会員。