

高精度屋内位置情報を利用した直感的な家電操作手法の提案

米田 純^{†1} 荒川 豊^{†1} 玉井 森彦^{†1} 安本 慶一^{†1}

概要: 家庭内において、家電が増えるにつれリモコンの数が増え、同時に機能も増えるため、そのボタンの数が増加するという問題がある。一台のリモコンで複数の家電を操作できる学習リモコンは、リモコンの数を減らすことは可能であるが、家電の選定をボタン操作で行う点や、ボタンの多さから、操作の煩雑さの十分な解決には至っていない。また、直感的な入力方法として、ジェスチャ認識による家電操作法が挙げられるが、ボタン操作のような素早い操作を行うことは難しい。そこで本研究では、ジェスチャ認識とリモコンの長所を兼ね備えた新しい家電操作手法を提案する。提案システムは、高精度に屋内位置情報が得られることを前提とし、リモコンで家電を指すという直感的な動作で制御対象の家電を選択する。その後は、選択された家電に応じて液晶に表示されるリモコンを用いて、ボタン操作により家電を制御する。本論文では、提案システムの構成と実装したシステムについて報告し、また、結果を報告する。位置情報の精度が本システムの制御成功率にどの程度の影響を及ぼすかを測定し、評価した。

Intuitive appliance control method based on high-accurate indoor localization system

JUN KOMEDA^{†1} YUTAKA ARAKAWA^{†1} MORIHIKO TAMAI^{†1} KEIICHI YASUMOTO^{†1}

Abstract: In our home, the increase of appliances causes the increase in the number of remote controls. In order to reduce the number of remote controls, there exists multifunctional learning remote controls. However, their too many buttons may confuse users. On the other hand, a gesture based control system has been recently proposed. However, it requires users to perform complicated gestures for selecting appliances or for changing channels. Therefore, they are bothering users and are not practical. In this paper, we propose an appliance control system which has advantage of both remote controls and gesture recognition. In our system, a user can select the target device by just pointing the appliance with a remote control. To achieve this, we utilize a high-accuracy indoor localization system. After selecting the device, a user can control the appliance with the buttons displayed on the remote control for the selected device. Through an experiment, we investigate how the localization accuracy is affected in our system, and evaluate it.

1. はじめに

近年の情報技術の発展とともに、様々な機能を持った家電機器が登場し、家庭内における家電機器の数とその複雑さが増加している。これにより、家電ごとに異なる操作手法の習得、専用リモコンの保管、探しだす手間、リモコンの紛失など、家電操作におけるユーザへの負担やストレスが多くなっている。今後、家庭内のあらゆる機器がネットワーク接続され、操作方法が多様化することで、この問

題が深刻化することが考えられる。リモコンの紛失や、選択に関する問題を解決するものとして、学習型リモコンが発売されている。学習型リモコンは、複数の専用リモコンから発生する操作信号を受信し、内部に記録することで、単一のリモコンで家庭内の複数の家電機器を操作することを可能とする。しかし、学習型リモコンは、複数の機器の操作に対応するため、ボタンが多く、専用リモコンを利用するよりも複雑になるという問題がある。そのため、直感的でユーザーに負担やストレスを与えない家電操作インタフェースが研究されている [1][2][3][4]。しかし、既存手法においては、事前に家電への AR マーカの取り付けが必

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

要であったり、素早い操作を行えない、家電機器の配置に制限がある等の問題があり、未だに適切な家電操作インタフェースの開発には至っていない。

本論文では、ユーザが家電機器を直感的に指定し、制御を行う方法として、(1)ユーザがリモコンデバイスを制御したい家電機器に向けてることによって、制御対象とする機器を判別し、(2)その後、選択された家電に応じて表示される操作パネルによって制御を行う、というシステムを提案する。

この機能を実装するために、我々の研究室で保有しているスマートハウス環境を用いる。スマートハウス環境内には、高精度三次元位置測位システムが設置されている。我々は、三次元位置測位情報を用いたリモコンデバイスを作成し、ユーザの屋内の位置と、家電機器との位置関係により、操作対象とする家電機器を推定する。

本システムは、ユーザの屋内の位置を正確に把握できることを前提としているが、高精度な位置センサの構築はコストが大きく、通常の利用シーンでは、高い精度での位置測位は難しいと考えられる。Wi-Fi アクセスポイントの利用などによる低コストな屋内位置測位手法が研究されており、数メートル単位までの屋内位置測位が可能となっている。そのため、今回は位置情報にノイズを加えることで、位置測位精度を段階的に低下させ、位置情報の精度が、本システムの制御成功率にどの程度の影響を及ぼすかを測定し、評価を行った。評価実験の結果、高精度な位置測位情報が得られる環境において、確実に家電操作を行うことができることが示されたが、同時に位置測位情報の精度がある閾値以下に低下した場合には制御が困難になることが分かった。

2. 関連研究

近年、従来の専用リモコンを用いた家電操作による問題を解決するための新しい家電操作手法が研究されている。

2.1 AR(拡張現実)を用いた家電操作手法

家庭内の家電製品を直感的かつ一元的に操作する手法として、ARを用いた家電操作手法がある [1]。この研究では、家電製品に対してARマーカを貼り付け、カメラで認識することにより、操作対象の家電を選択する。その後は、マーカ上に表示された操作パネルにより操作を行う。

この手法の利点は、家電に取り付けたARマーカをカメラで認識することにより家電選択を行うため、直感的な家電選択が可能であることと、ARによる直感的な家電パラメータ(音量、温度等)の表示が可能という点である。また問題点として、照明環境や距離によっては認識率が低下することや、家電への事前の取り付けが必要であるということが挙げられる。

2.2 ジェスチャ入力による家電操作手法

また、ユーザーのジェスチャ動作を起点として家電操作を行う研究も行われている。ジェスチャの入力方法には、カメラによる認識技術を用いたものや、加速度センサを搭載したデバイスを用いたものがある [2][3]。

ジェスチャ入力による家電操作の利点として、身振り手振りによる操作なので、初心者にもわかりやすい家電操作が実現できること、カメラ認識や装着型のデバイスを用いるために、スマートフォンやリモコンを探す手間がなくなることなどが挙げられる。しかし、家電ごとにジェスチャ動作を覚える必要があったり、家電選択もジェスチャ操作で行う必要があったりと、ユーザーにとって負担を強いる結果となるという課題がある。

2.3 携帯端末の方位センサを用いた家電選択

スマートフォンに搭載された方位センサを用いて、指された方向にある家電製品を選択するという手法が提案されている [4]。この研究では、家屋内に操作対象となる家電が分散して配置してある場面を想定し、方位センサの値から、ユーザーが指している家電を選択し、接続を行うというものである。

この手法は、操作対象となる家電を選択する際に、従来の専用リモコンと同じように、家電に端末を向けるという動作を行うため、直感的であると考えられる。しかしこの研究では、方位のみを用いて機器の推定を行うため、家電が密集して置かれている場合や、テレビの上にエアコンがある状態など、三次元的に位置が近い家電を適切に判別できないという課題がある。

2.4 本研究の位置づけ

以上のように、それぞれの家電操作手法に関して、利点と問題点が存在するが、携帯端末の方位センサを用いた家電選択手法に注目すると、家電選択における直感性が高く、家庭内のどの位置からでも家電を選定できることから、家庭内の家電機器を総括的に操作するインターフェースとして適していると考えられる。しかし、家電操作にまで至っていない点や三次元座標を考慮した家電判別、密集家電の判別が困難であるなど、課題も残されている。

そこで本研究では、三次元の高精度位置測位技術を用いることにより、ユーザーの家屋内の位置、操作端末の高さ、角度から操作対象家電を判別し、家電操作を行うシステムを提案する。

3. 家電操作システムの概要

ここでは提案システムの対象環境と目的、要件と方針を述べ、システムの構成とその特徴について説明する。

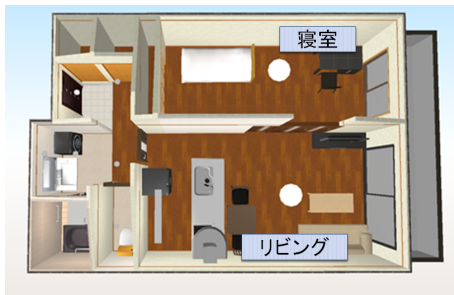


図 1 実験に用いたスマートハウス環境

表 1 位置センサのデータフォーマット

カラム名	データ型	データ内容
tag_id	integer	Tag(子機)の識別番号
time_stamp	timestamp	位置情報を受信した時刻
pos_x	integer	測位した x 座標の値 (単位: mm)
pos_y	integer	測位した y 座標の値 (単位: mm)
pos_z	integer	測位した z 座標の値 (単位: mm)



図 2 超音波位置センサの受信機 RECEIVER(上) と送信機 TAG(下)

3.1 利用環境と目的

本システムの実装には、図 1 に示す学内に設置されている 1LDK のスマートハウス環境を利用した。スマートハウス環境内においては、多数のセンサが設置されており、その中でも、本システムでは三次元位置測位システムに基づく位置センサを利用する。自宅内の家電はそれぞれがネットワーク接続されている必要はなく、ネットワーク通信により赤外線送信を行うデバイスを経由して家電操作を行うことが可能である。

また、本システムは初心者にもわかりやすく、従来のリモコンに近いインターフェースにより、直感的でユーザーのストレスや負担を軽減し、一元的に家電機器を操作することを目的とする。

3.1.1 位置情報システム

本研究で用いるスマートハウス環境に設置されている高精度位置測位システムに関して説明する。位置測位システムは、TAG と呼ばれる超音波送信機と、TAG からの音波を受信する RECEIVER(受信機)に分かれている(図 2)。このシステムは、TDOA(Time Difference of Arrival)方式に基づく位置測位システムであり、(1)TAG が超音波と RF 波を同時に発信、(2)複数の RECEIVER が RF 波と

超音波の到着時間差を管理装置へ送信、(3)管理装置は各 RECEIVER の座標と到着時間差から TAG の三次元座標を検出、という手順で位置測位を行う。センサデータの形式を表 1 に示す。サンプリング周期は毎秒約 1 回である。

なお、表 2 に示すとおり、屋内の 4 ヶ所で実測した位置と位置センサの測位値を比較し、誤差が数センチ以内であることを確認した。

表 2 実測値と位置センサの値との誤差

	x	y	z
1	15.6 mm	30.7 mm	3.4 mm
2	31.1 mm	16.5 mm	4.8 mm
3	33.9 mm	13.1 mm	11.5 mm
4	3.4 mm	15.1 mm	18.5 mm

本研究では、この位置センサから得られる三次元座標情報を利用して、ユーザーが操作対象とする家電を推定する。

3.2 指示方向によるデバイス選択

日常生活での専用リモコンを用いた家電機器操作では、家電機器ごとに特定のリモコンを選択し、対象の家電機器に向けることで家電機器の選択を行っている。提案手法では、そういった自然な家電選択を実現するために、三次元位置センサを 2 つ用いたりモコンデバイスを実装した、液晶パネルとして Android 端末を用い、タッチパネルによりユーザの入力を受け付ける。リモコンデバイスによる機器選択のイメージ図を図 3 に示す。

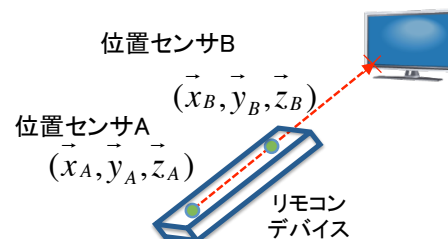


図 3 指示方向によるデバイス選択

3.3 操作パネルによる家電操作

ジェスチャ入力による家電操作では、直感的な家電操作を目指したが、ジェスチャの種類を覚える必要がある、複雑な操作に時間がかかる等の問題点が存在する。本システムでは家電機器の選択後は、図 4 のような、リモコンの液晶画面上に表示される操作パネルによって家電機器の操作を行う。

3.4 システムのアーキテクチャ構成

本システムは、(1)家電選択モジュール、(2)リモコン表示モジュール、(3)家電制御モジュールの 3 つのモジュールで構成される。システムのアーキテクチャ構成を図 5 に示す。

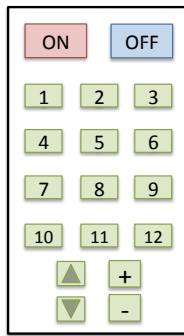


図 4 操作パネルの例

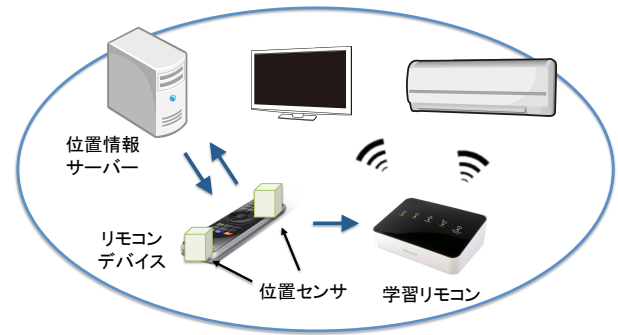


図 6 システムのハードウェア構成

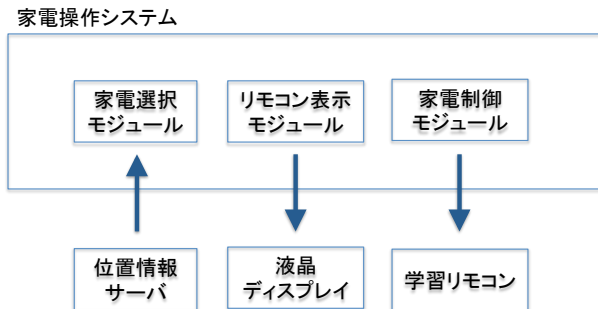


図 5 家電操作システムの構成

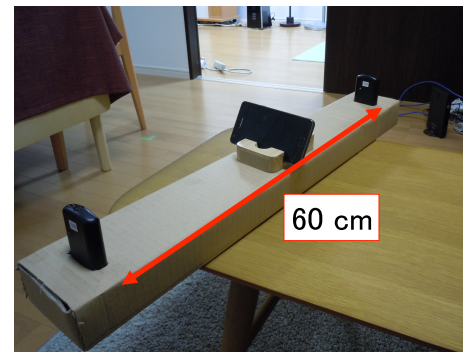


図 7 リモコンデバイスのプロトタイプ

3.4.1 家電選択モジュール

本モジュールは、位置情報サーバからリモコンに取り付けられた2つのセンサの位置情報を取得し、得られたセンサ情報と家電機器の配置状況から、どの家電機器がリモコンによって指されているかを推定する。

3.4.2 リモコン表示モジュール

本モジュールは、家電選択モジュールにより推定された家電機器に対応する操作パネルを液晶画面上に表示する。

3.4.3 家電制御モジュール

本モジュールは、学習リモコンとの通信を行い、ユーザが指示した操作を学習リモコンに対して送信する。

4. 家電操作システムの実装

ここでは、家電操作システムの構成と家電選択アルゴリズムについて説明する。

4.1 システムの構成

本システムは、位置情報を格納する位置情報サーバ、位置センサ、液晶ディスプレイからなるリモコンデバイス、学習リモコンにより構成される。システムのハードウェア構成を図6に示す。

4.1.1 位置センサを用いたリモコンデバイス

実際に使用するリモコンデバイスのイメージを図7に示す。リモコンの両端に60cmの距離を離して位置センサTAGを取り付ける。今回は液晶ディスプレイとしてSamsung GALAXY S IIを用いたが、システムの構成上、必ずしもAndroid端末を用いる必要はない。

4.1.2 家電への赤外線送信

家電機器の制御は、赤外線信号を学習し、ネットワーク経由で赤外線の送信ができる学習型リモコンであるiRemocon[5]を用いて行う。

4.2 家電選択アルゴリズム

ここでは、三次元位置情報を用いた家電選択アルゴリズムに関して説明を行う。

4.2.1 家電機器の選択判定

本システムにおいて、家電機器はそれぞれ図8に示すような、中心座標と幅W、高さHのパラメータを持つ検出平面としてモデル化する。また、三次元座標上にモデル化した家電機器を配置する。

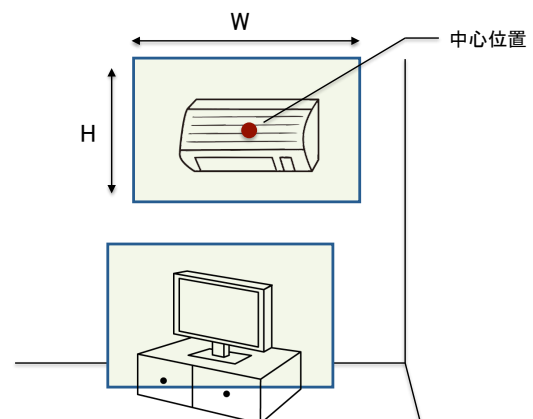


図 8 家電の検出平面と三次元座標モデル

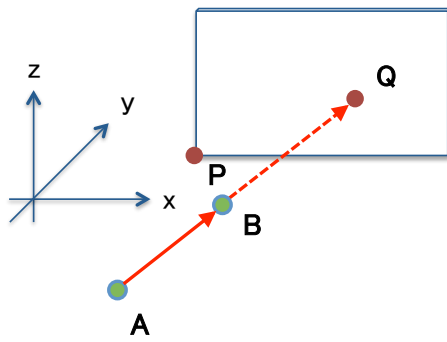


図9 直線と平面との交点を求める

家電機器を検出する際の流れを以下で述べる。家電機器の検出平面と、位置センサの座標 A, B がそれぞれ以下で表されるとする (図9)。

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

$$A = (A_x, A_y, A_z) \quad (2)$$

$$B = (B_x, B_y, B_z) \quad (3)$$

このとき、平面と二つのセンサ値からなる直線の交点 Q は、以下のように求められる。

$$Q = \begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} B_x - A_x \\ B_y - A_y \\ B_z - A_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$k = \frac{d}{a(B_x - A_x) + b(B_y - A_y) + c(B_z - A_z)} \quad (5)$$

また、検出平面の各辺と水平な2つの単位ベクトルを \vec{n}_h , \vec{n}_v , 平面上の最も原点に近い点を P とする (図10)。

単位ベクトル \vec{n}_h , \vec{n}_v とベクトル \vec{PQ} との内積を求め、それが式 (6), (7) を満たした場合、直線が検出平面上を通過しているととし、リモコンが対応する家電機器を指していると判定する。

$$0 \leq |\vec{PQ} \cdot \vec{n}_h| \leq W \quad (6)$$

$$0 \leq |\vec{PQ} \cdot \vec{n}_v| \leq H \quad (7)$$

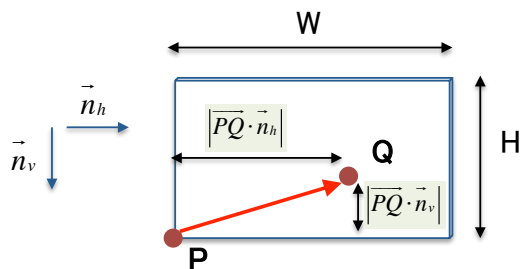
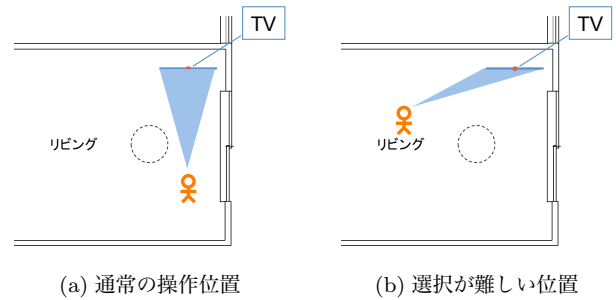


図10 平面上の距離を求める

4.2.2 ユーザーの位置による検出平面の回転

図11に示すように、家電を平面として扱う場合、ユーザーの操作位置によっては家電機器の選択が難しい場合がある。

本システムでは、図12に示すように、ユーザーの位置に対応して検出平面を回転させることで、屋内のどの位置からでも同じように家電の選定を行えるようにする。(図12)。



(a) 通常の操作位置

(b) 選択が難しい位置

操作可能な角度

図11 家電選択における問題

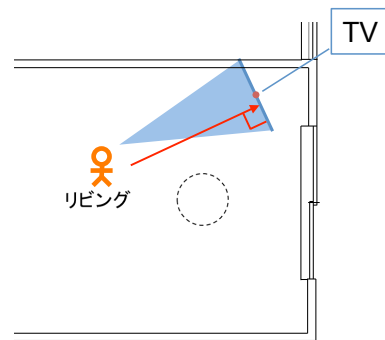


図12 ユーザに対して垂直な平面を生成する

5. 評価実験

提案システムによる制御成功率と位置測位精度との関係性を測定するため、評価実験を行う。本実験では、図13に示す液晶テレビを対象として、(1)家電をリモコンデバイスで指して選択する、(2)表示された操作パネルにより操作を行う、という手順を複数回行い、家電操作の成功確率を測定する。表3に示すように、検出平面のサイズを二種類用意し、操作者とテレビとの距離を250cmとした。

表3 検出平面のサイズおよび、操作者とテレビ間の距離

	幅	高さ	テレビからの距離
パターン1	140cm	100cm	250cm
パターン2	180cm	140cm	250cm

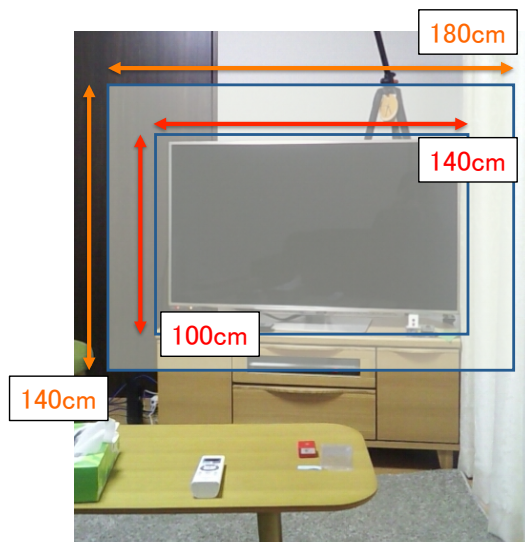


図 13 操作対象の液晶テレビ

また、三次元位置測位データにガウスノイズを加えることで、擬似的に精度を低下させる。具体的には、正規分布 $N(0, 1)$ に従う確率変数 X を用い、ノイズの強度変数を k として、 k の値を変化させながらセンサ値に加える。これにより、位置センサの座標 A, B は以下の式で表される。

$$A = (A_x + kX, A_y + kX, A_z + kX) \quad (8)$$

$$B = (B_x + kX, B_y + kX, B_z + kX) \quad (9)$$

$$X \sim N(0, 1)$$

提案手法において各ノイズ強度 k に関して家電機器の操作を 20 回行い、制御成功率を測定した。

ノイズ強度と操作成功率との関係を図 14 に示す。パターン 1 においては、ノイズの強度が 60mm を超えた時点で操作成功率が低下し、200mm 以上のノイズにおいては、60%以下の成功率となり、さらにノイズが大きくなるにつれ、意図して制御することが難しい状態となった。パターン 2 においては、ノイズ強度が 140mm を超えた時点で制御成功率が低下したが、パターン 1 の場合よりも制御成功

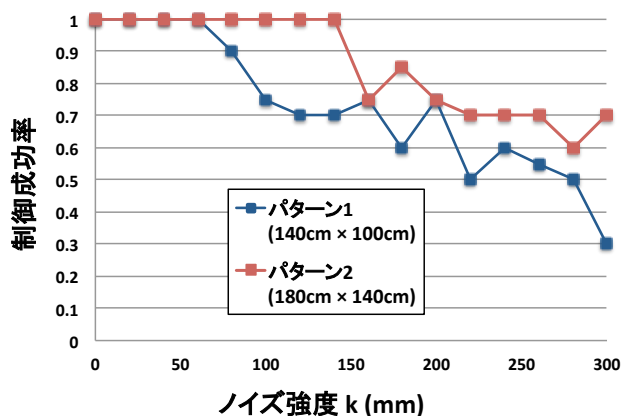


図 14 液晶テレビの操作成功率

率が高く、検出平面のサイズを大きくすることで、ノイズの許容範囲を広げることが可能であることが示された。

6. おわりに

本論文では、高精度位置測位情報を利用した直感的な家電操作手法の提案と、実装したシステムに関する報告を行った。また、高精度位置測位情報が利用できる環境において、確実に家電操作を行うことができることを示した。しかし、ノイズの強度を増加させるにつれて制御成功率が低下し、制御が困難になることが判明した。検出平面のサイズを大きくすることで、ノイズが存在する場合の制御成功率を増加させることができるが、未だ許容できる誤差の範囲が小さく、位置情報精度が低い状況において、本システムは有効ではないと予想される。

本システムにおいては、リモコンデバイスの方位と角度を導出するために 2 つの位置センサを利用しているために、両方のセンサ値にノイズが発生する場合、ノイズ値による影響を受けやすいと考えられる。そのため、方位と角度の推定に方位センサと加速度センサを用い、位置センサ値と組み合わせて利用することで、ノイズに強いシステムの構築が可能であると考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金 (25540031) の助成によって行われたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 佐藤健哉, 坂本陽, 三原進也, 島田秀輝: 拡張現実感技術を利用したネットワーク家電制御方式, 情報処理学会研究報告. SLDM, [システム LSI 設計技術], Vol. 2011, No. 30, pp. 1-6 (2011).
- [2] 岩下淳一, 戸澤慶昭, 中村明生: 日常生活での機器操作のためのジェスチャ認識インタフェースの開発, 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌 = The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. C, A publication of Electronics, Information and System Society, Vol. 130, No. 4, pp. 676-685 (2010).
- [3] Jing, L., Zhou, Y., Cheng, Z. and Huang, T.: Magic ring: A finger-worn device for multiple appliances control using static finger gestures, *Sensors*, Vol. 12, No. 5, pp. 5775-5790 (2012).
- [4] 大木浩武, 峰野博史, 森信一郎: 携帯端末に搭載された方位センサを用いた周辺機器選択手法の検討 (コンシューマ・デバイス & システム Vol. 1 No. 1), 情報処理学会論文誌論文誌トランザクション, Vol. 2011, No. 2, pp. 22-27 (2012).
- [5] Glamo: iRemocon, <http://i-remocon.com>.