

## EVANS2:拡張現実感技術を利用した 家電機器操作システム

坂本 陽<sup>†1</sup> 三原 進也<sup>†1</sup>  
島田 秀輝<sup>†2</sup> 佐藤 健哉<sup>†1</sup>

近年, テレビや HDD/DVD レコーダ, オーディオ機器など, ネットワークに接続可能な家電機器が普及しつつあり, 近い将来, あらゆる家電機器がホームネットワークに接続され, ネットワーク経由でそれらの機器を制御ようになる. しかし, ネットワークに接続された機器は, ネットワーク経由でその ID や名称を判別することができるが, 家電機器の設置場所を識別するための情報を含まれていない. そのため, ホームネットワークに接続される家電機器が増えることによって, それぞれの家電機器がどの場所に設置されているかを容易に判断できなくなり, その結果, 利用者が操作を行いたい対象の家電機器を目で見て特定し直接操作することは困難となり, 操作したい機器とは異なる家電機器を操作してしまうといった誤操作が発生する可能性がある. 本研究では, 拡張現実感技術における可視光マーカを検討し, これを利用することでホームネットワークに接続された複数の家電機器を直感的に操作し協調させるシステムを提案するとともに, その実現可能性を示す.

## EVANS2: A Home Appliance Control System Using Augmented Reality

AKIRA SAKAMOTO,<sup>†1</sup> SHINYA MIHARA,<sup>†1</sup>  
HIDEKI SHIMADA<sup>†2</sup> and KENYA SATO<sup>†1</sup>

In recent years, home appliances with network connection capability, such as television, HDD/DVD recorders, and audio devices, are popularizing. In the near future, every home appliances will be able to connect with the home network, allowing us to control these home appliances through the network. These network home appliances' ID information can be determined through the network, however, the location information of the devices are not installed. Therefore, as the numbers of the home appliance connected to the home network increases, the difficult it is to identify the location of the device, erupting users to have difficulty controlling the device, and may occur erroneous operations.

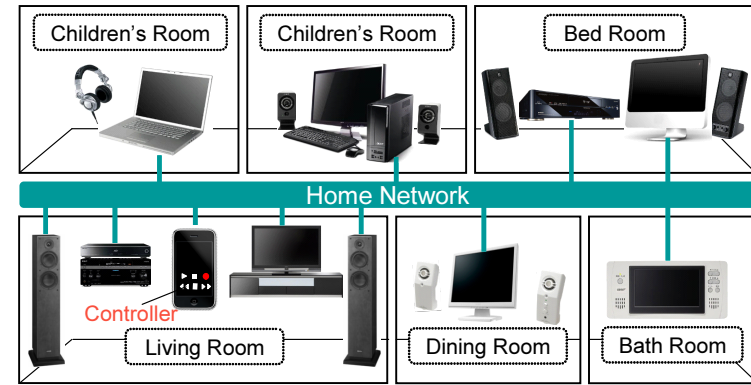


図1 ホームネットワーク構成  
Fig.1 Home Network Architecture.

In this paper, we deliberate the LED visible marker, and by implementing the new marker, we propose the collaboration system of controlling multiple network home appliances connected to the home network, and evaluate the effectiveness of the system.

### 1. はじめに

近年, テレビや HDD/DVD レコーダ, オーディオ機器など, ネットワークに接続可能な家電機器が普及しつつあり, 家電機器を相互接続するための DLNA 仕様<sup>1)</sup>が登場してきた. DLNA 仕様ではホームネットワークに接続されたコントローラを用いて, 他の接続されている全ての家電機器の中から視聴したいコンテンツと, そのコンテンツを表示したいディスプレイを選択し, 制御することが可能である. たとえば, 図1に示すように, ホームネットワークに複数の(映像コンテンツを保持した)レコーダ(映像コンテンツを表示する)ディスプレイ(ネットワーク上のすべての機器を制御する)コントローラが接続されているものとする. コントローラにおいては, ネットワークに接続されているディスプレイのリストが

<sup>†1</sup> 同志社大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

<sup>†2</sup> 同志社大学 理工学部

Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

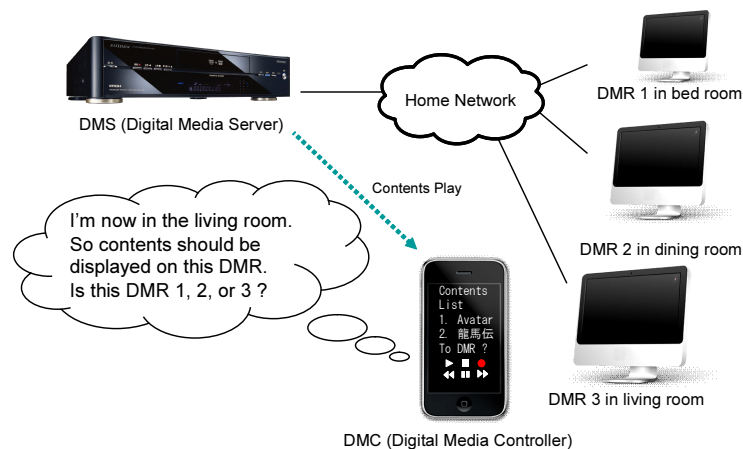


図 2 複数操作対象の問題  
Fig. 2 Control Issue for Multi-devices.

表示され、また、レコーダに保存されたコンテンツのリストも表示することができる。利用者が、このコントローラを操作することにより、希望するコンテンツを特定のディスプレイに表示させることができる。

しかし、このネットワークに接続される家電機器は、IP アドレスにより識別されるため、コントローラの画面上に表示されるのは、ディスプレイのリストのみであり、ディスプレイそれぞれの設置場所を識別するための情報を含まれていない。このため、ホームネットワークに接続される家電機器が増加すると、利用者は、それぞれの家電機器がどの場所に設置されているかを容易に判断できなくなり、その結果、コントローラにより操作したい機器とは異なる家電機器を操作してしまうといった誤操作が発生する可能性がある。

本研究では、ホームネットワークに接続されたコントローラの画面上において、現実環境に仮想物体を合成しユーザに付加情報として提示する技術である拡張現実感 (Augmented Reality, 以降、AR) 技術<sup>2)</sup> を用いることで、前述した既存の家電機器操作における操作対象となる機器の特定が困難になる問題を解決する。

## 2. DLNA ネットワークの問題点

ホームネットワークに接続される家電機器が増加すると、利用者は操作対象となる機器の特定が困難になる。例えば、図 2 において、ディスプレイ 1 はベッドルームに、ディスプレイ 2 はダイニングルームに、ディスプレイ 3 はリビングルームに設置されており、利用者はリビングルームにいるものとする。この場合、コントローラの画面上に表示されるディスプレイのリストには、各ディスプレイの設置場所を識別するための情報が含まれていないので、利用者は、ディスプレイ 1~ディスプレイ 3 のうちのどれを選べばコンテンツを視聴できるのかをコントローラの画面上では容易に判断できず、実際は、リビングルームにあるディスプレイ 3 を操作するはずが、ベッドルームにあるディスプレイ 1 を操作してしまうといった誤操作が発生する。同様に、利用者は自分がいる部屋のオーディオの音量を上げたいときなども、操作対象を特定することが困難となる。あらかじめ、家電機器に設置場所を示す ID を保存し、コントローラからその ID を判別して操作することも可能であるが、設置段階で、家電機器に名前を登録する操作が必要となり、たとえば、「ベッドルームのディスプレイ」という名称を登録した場合、このディスプレイを別の部屋に移動した際には、名称を変更する必要が生じる。

## 3. 提案方式

### 3.1 概要

本提案では、AR 技術を用いることにより、ホームネットワークに接続された複数の家電機器から、利用者が操作したい機器を容易に特定し、直観的に操作し家電機器を容易に協調動作させるシステムを利用者に提供することを目的とする。異なるメーカーの家電機器でもネットワーク経由で相互接続できる DLNA を利用し、機器特定の問題点を解決するために、カメラより得た現実環境の映像情報に、AR 技術により家電機器の情報取得や操作を行うためのユーザインタフェースを合成し画面上に表示する。例えば、ディスプレイにカメラを向けた際は画面の明るさや色合いの操作を、レコーダの際は保持するコンテンツを選択・視聴する操作を、スピーカの際は音量調整の操作を行うユーザインタフェースを表示させ、ユーザは操作を行いたい対象の家電機器を直観的に操作することができる。

AR において操作インタフェースを合成表示させる画像を画面上に付加するためには、対象物を実世界で識別するための ID 情報、そして、操作インタフェースを表示するための画面上の位置を示すマーカが必要となる。一般的な AR で利用されている画像マーカを家電

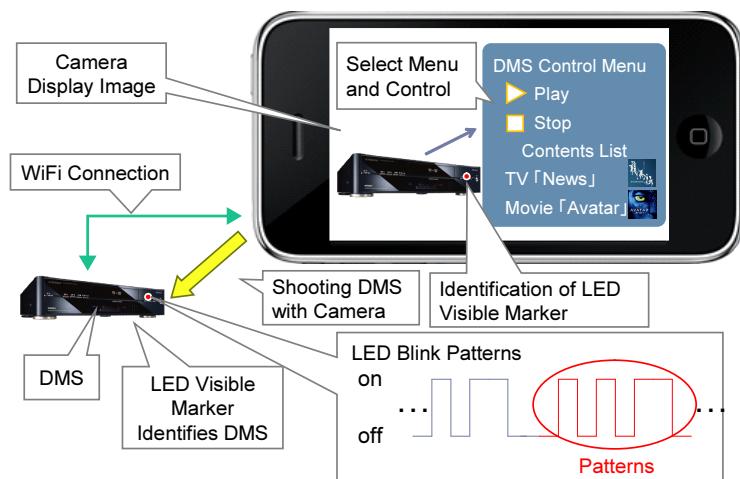


図3 対象機器の操作例  
Fig. 3 Example of Controlling Device.

機器に貼り付けることは見かけ上よくなく、家電機器の ID を変更したい場合などに容易に対応することができない。また、部屋が暗い状況において、画像マーカの認識率は著しく低下する。IC タグなどの微弱無線を利用して ID 情報を伝送することも可能であるが、近距離に複数の情報家電が存在する場合、その中から対象の 1 台を特定することが困難となる。

そこで、本提案においては、ID 情報を得るために可視光マーカ<sup>3)4)</sup>を検討する。可視光マーカによる AR 感技術を用いた家電機器操作の操作例を図 3 に示す。可視光マーカとは、LED 光源を一定周期で高速に点滅させることで、その点滅パターンを ID として取得するマーカのことである。一般的な家電機器には電源のオン/オフを示す LED が設置されており、電源がオンの状態では白や青、電源がオフの状態であっても赤やオレンジに点灯している。ある程度の暗闇でも認識でき、画面に複数の LED が表示されても、それぞれのマーカに対して操作インターフェースを表示することが可能である。

### 3.2 可視光マーカ

可視光マーカの LED 検出方法、および可視光マーカによるホームネットワークに接続された家電機器の識別方法について述べる。

- LED 検出方法

カメラ画面に映される LED の検出方法は画像フレームの YCrCb 成分を抽出し、検出を行う。YCrCb とは画像や動画分野における YUV 系の色空間における色を表現する成分の一つである。Y を輝度（明るさ）、Cr 及び Cb は色相（色合い）を表す。画像フレームの YCrCb 成分は以下の式 (1) ~ (3) により画像フレームの RGB 成分から引き出せる。

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1)$$

$$Cr = 0.5 \times R - 0.41869 \times G - 0.08131 \times B \quad (2)$$

$$Cb = -0.16874 \times R - 0.33126 \times G + 0.5 \times B \quad (3)$$

LED 検出では、一枚の画像フレームの全画素数から YCrCb 成分を抽出し、その平均値を割り出す。次に二枚目以降の画像フレームで平均値より高い、輝度値、色相の部分をフレーム内から選び出し、LED に近い輝度値、色相、及び RGB 成分の箇所を可視光マーカとして位置を検出する。以上により、平均値を割り出した背景と異なる値を引き出し、画像フレーム内から LED を検出することが可能になる。

- LED 点滅パターン

家電機器の識別にあたって、可視光マーカの ID 情報（以降、識別子）を読み取り、可視光マーカを特定しなければならない。家電機器の可視光マーカの識別子は、可視光マーカの LED に点滅パターンを加えて、カメラ画面より、その点滅パターンを読み取る手法で識別子を得る。LED 点滅パターンの読み取り動作例を図 4 に示す。可視光マーカの点滅パターンの開始点、及び終了点を読み込むため、可視光マーカはスタート点滅とエンド点滅を行う必要がある。

## 4. 実装

### 4.1 システム構成

本提案方式を実現するためのシステム構成を図 5 に示す。我々が従来から提案している仮想環境と現実環境を AR 技術により融合するシステムである EVANS (Embodied Visualization with Augmented Reality for Networked System)<sup>5)</sup>の技術を利用する。

ここでは、現実環境の知覚情報を取得する手段として Web カメラを用い、また AR による付加情報（操作インターフェース、機器情報など）の表示、利用者からの家電機器の操作をタッチディスプレイ上で行う。実装システムは、AR 表示部、通信制御部、および、可視光マーカ部で構成される。また、可視光マーカ部は家電機器に付属されるものとする。

- AR 表示部

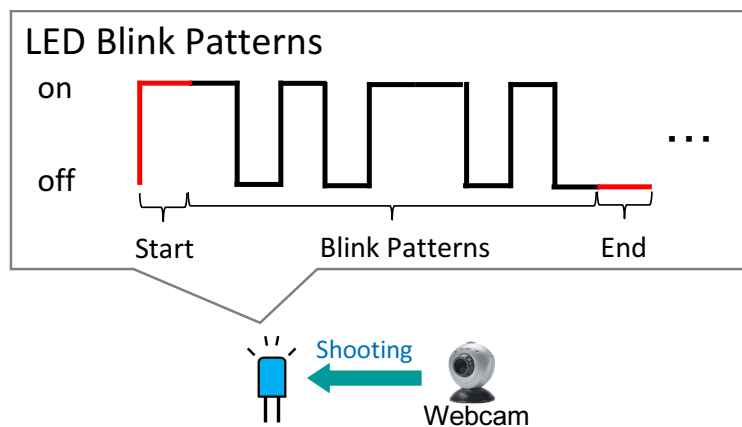


図 4 LED 点滅パターンの読み込み  
Fig. 4 LED Blink Patterns .

通信制御部より取得した家電機器の機器情報にもとづき，AR によって付加情報を合成し，ディスプレイに表示する．また利用者が操作インタフェースを通じて家電を操作した際に通信制御部と連携し，家電機器の制御を行う機能を実現する．例えば，ホームネットワークに接続されたスピーカに Web カメラを向け，利用者がそのスピーカをディスプレイ上より選択した際に，通信制御部がスピーカと通信を行って音量パラメータを取得する．その値をもとに，AR で現在のスピーカの音量の状態と音量調整する操作インタフェースを表示し，利用者が音量調整の操作を行うと，通信制御部と連携しスピーカの音量を調整し，また AR での表示を更新する．

● 通信制御部

ホームネットワークに接続されている DLNA に対応したテレビ，レコーダ，スピーカなどの家電機器と通信を行い，利用者の操作をもとに家電機器を制御し，また家電機器の稼働状況などを取得する機能を実現する．DLNA では，DLNA に対応した家電機器同士の通信プロトコルとして UPnP<sup>6)</sup> を採用しており，UPnP におけるメッセージのやりとりをシステムと DLNA に対応した家電機器間で行うことで機器の制御を行う．

● 可視光マーカ部

AR による家電機器の操作を可能とするために，家電機器の識別子にもとづき LED を

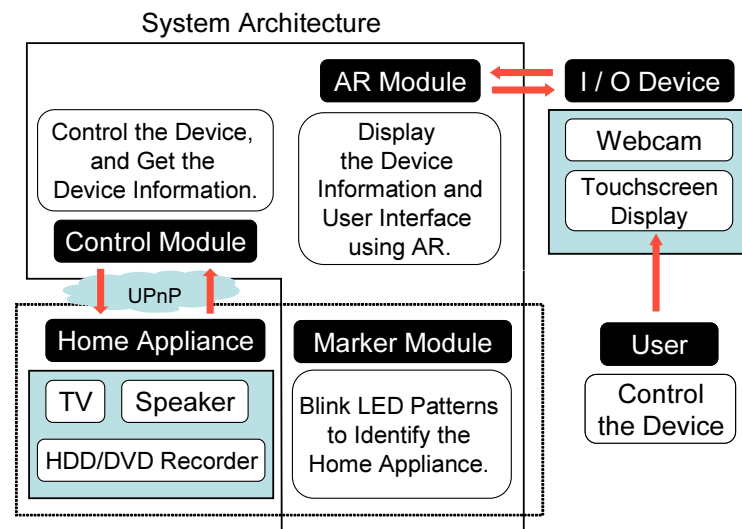


図 5 システム構成  
Fig. 5 System Architecture.

点滅させる機能を実現し，AR 表示部で生成した AR による付加情報を合成表示させる際の位置を対応付けさせる基準となる．可視光マーカ部より，点滅パターンを読み取ることのできた識別子を通信制御部と連携し，ホームネットワークに接続されている家電機器と対応付けさせることで機器の特定を行うことが可能となる．

4.2 実装環境

以下に，本システムの動作検証を行うための実装環境を示す．

- AR 表示：ARToolkit<sup>7)</sup>
- DLNA 制御：CyberLink for C++<sup>\*1</sup>
- マルチメディア表示：Simple Directmedia Layer (SDL)<sup>\*3</sup>
- グラフィックライブラリ：Freetype Graphic Library (FTGL)<sup>\*3</sup>
- LED 発光機：Arduino Duemilanove

\*1 <http://www.cybergarage.org/cgi-bin/twiki/view/Main/CyberLinkForCC>

\*3 <http://www.libsdl.org/>

\*3 <http://homepages.paradise.net.nz/henryj/code/index.html>

- OS : Microsoft Windows Vista Ultimate
- PC : Intel Core2 Quad 2.33GHz, 4GB Memory

## 5. 動作検証

### 5.1 機能確認

家電機器の代替として PC を利用し、実装システムの動作検証を行う。図 6、図 7 に示すように、実装システムが接続されるネットワークに、PC A (Let's note CF-R6) , PC B (DELL Inspiron Mini 10) が接続されており、それぞれの PC 上には、コンテンツの配信を行う家電機器の DLNA サーバの機能 (以降、DMS) を提供する DLNA Media Server アプリケーションソフト (TVersity, DiXiM) が動作している。PC B には AR における家電操作の確認として音声出力用の外部スピーカが接続している。また PC A, PC B には、可視光マーカ、スピーカには画像マーカがそれぞれ貼られている。

図では、ネットワーク上の DLNA サーバの検索、および、AR による表示において、実装システム上で“ Search ”ボタンが選択された際の動作画面を示している。PC A, PC B 上で動作している DMS ソフトの名称、保有するコンテンツの詳細情報が AR でそれぞれの可視光マーカ上に表示され、ネットワーク上の家電機器を発見し、可視光マーカが機能していることを確認した。また、図 7 に示すように、PC B に接続している左右のスピーカに音量の状態と操作インターフェイスが AR で表示され、直観的に機器を特定できることを確認した。

スピーカの実装システム上での操作において、スピーカの音量調整パラメータをシステム上で調整すると音量が変化、またそれに対応した AR 画像が表示されることを確認した。音量を 50, 100 に設定した動作画面を図 8 に示す。

### 5.2 性能測定

実装システムと DLNA の規格に沿ったホームネットワークの DLNA 対応機器間の連携 (以降、標準 DLNA 連携) について比較し、実装システムの実用性の評価を行う。以下の項目について評価した。

- (1) コンテンツリストを DMS に要求してから、コンテンツリストを受信するまでの時間
- (2) コンテンツの視聴を DMS に要求してから、コンテンツを取得し、画面に描画されるまでの時間

(1) の項目では、実装システム、または、標準 DLNA 連携におけるコンテンツリスト要求メッセージを送信してから、コンテンツリストを受信するまでの時間を計測する。(2) の

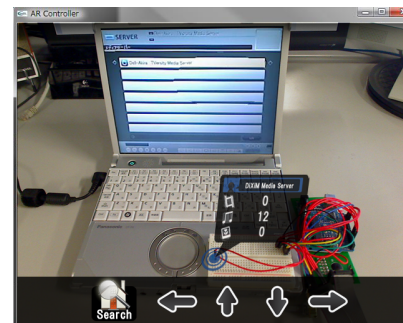


図 6 デバイス情報の AR での表示 1 (PC A)  
Fig. 6 Display of the Device Information using AR 1 (PC A)

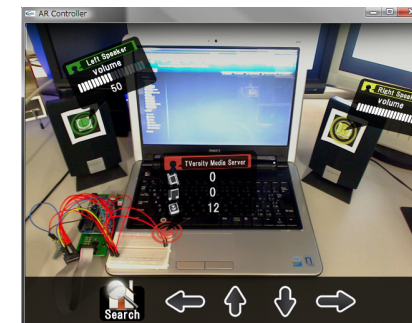


図 7 デバイス情報の AR での表示 2 (PC B)  
Fig. 7 Display of the Device Information using AR 2 (PC B)



音量調整 : パラメータ 50

音量調整 : パラメータ 100

図 8 AR による音量調整  
Fig. 8 Volume Control using AR.

表 1 DMS 応答時間  
Table 1 DMS Response Time.

	既存システム	実装システム
平均応答時間 (msec)	0.33	0.39

表 2 コンテンツ描画時間  
Table 2 Elapsed Time for Contents Display.

画像サイズ (KByte)	平均描画時間 (msec)	標準偏差 (msec)
50	42.85	2.08
100	120.5	4.2
150	223.8	5.65

項目では、実装システムで、視聴を行いたいコンテンツが選択されてから DMS よりコンテンツを取得し、画面に描画するまでの操作に対する実装システムの応答時間を計測した。(1)、(2)の項目の時間は、20 回計測した平均値を取り、(2)の項目に関してはシステムの動作安定性を見るため標準偏差も算出した。また、時間計測には、パケットキャプチャソフトである WireShark を利用した。

性能評価するにあたり、利用したコンテンツは、50kByte、100kByte、150kByte の jpeg の画像ファイルである。(1)の項目の測定結果を表 1 に示す。これにより、実装システムは、標準 DLNA 連携と比較しても実運用上問題なく動作していることがわかる。(2)の項目の測定結果を表 2 に示す。これにより、実装システムによる、操作に対する応答性は利用者にとってストレスなく閲覧でき、実運用上問題ないことがわかる。また、各コンテンツに対する標準偏差は小さく、実装システムは安定して動作していることがわかる。

可視光マーカの有効性を確認するため、以下の項目について評価した。

(1) 画像マーカと可視光マーカの比較

(2) 可視光マーカの点滅パターンによる正規別成功率の評価

(1)の項目では、0cd から 110cd (実装環境の限界輝度値)の輝度値と距離においての画像マーカと可視光マーカの認識率を計測する。輝度値の測定は、部屋の灯りを電源調整ダイヤルで調整し、カメラで映した画面から輝度値を割り出す。なお、この評価での輝度値は通常のカメラが捉えた画像フレームの画素全体の輝度値の平均値であり、現実世界の照明の明度ではない。画像マーカと可視光マーカの均等な環境内、条件で測定を行うため、画像マーカと可視光マーカのそれぞれの 8bit 配信の認識率を比較する。比較評価での認識率の条件

を以下に示す。画像マーカの bit 配信は動的に変化することができないため、画像マーカの一つの用紙を 1bit とおいて測定する。また認識率の条件を式 (4) に示す。

$$\text{認識率 (\%)} = \frac{\text{受信成功した bit 数 (bit)}}{\text{配信された全 bit 数 (bit)}} \quad (4)$$

画像マーカの認識条件

- 画像マーカの 1bit 配信の認識測定は、0.1 sec 間マーカを認識できた場合に 1bit 受信成功とする。
- 8bit の信号を 10 回認識測定を行い、受信された bit 数で認識率を測る。
- 0.5m、1.0m、2.0m、3.0m、5.0m のそれぞれの距離から測定を行う。
- 距離と同様に輝度値を一定に設定し、その輝度値内の条件で測定を行う。
- 画像マーカは 8cm × 8cm 正方形の標準サイズを用いる。

可視光マーカの認識条件

- 点滅は 1/10sec の間隔 (1bit に 0.1sec) で点滅を行う。
- 8bit の信号を 10 回点滅し、受信した bit 数で認識率を測る。8bit の点滅パターン内容は乱数によって決められたものを扱う (点滅パターン: 00110101)。
- 8bit 点滅パターンの前後にスタート点滅の 0.1sec 間とエンド点滅 0.1sec 間の点滅を設ける。スタート点滅、エンド点滅の認識は評価の認識率には加えない。
- 0.5m、1.0m、2.0m、3.0m、5.0m のそれぞれの距離から測定を行う。
- 距離と同様に輝度値を一定に設定し、その輝度値内の条件で測定を行う。

(2)の項目では、可視光マーカがどの程度の長さの bit 点滅パターンなら認識できるかの成功率を評価した。評価した bit 数の種類は 8bit と 48bit である。成功率の表現は以下の式 (5) で成功率を表現する。なお、1 回の信号の受信成功とは 8、48 の全 bit 数を正しく読み込めた場合のみとみなす。

$$\text{成功率 (\%)} = \frac{\text{受信成功した信号の回数 (回数)}}{\text{配信された信号の全回数 (bit)}} \quad (5)$$

(1)の項目の測定結果を図 9、図 10 に示す。

画像マーカの輝度値の変化による認識精度においては、カメラ画面の輝度値が一桁の状態 (画面がほぼ真っ暗の状態) では、認識することはできなかった。カメラが画像マーカを認識可能になる最低輝度値はそれぞれ、0.5m で 49cd、1.0m で 50cd、2.0m で 36cd、3.0m で 37cd であった。一方、可視光マーカの輝度値の変化による認識精度においては、画像マー

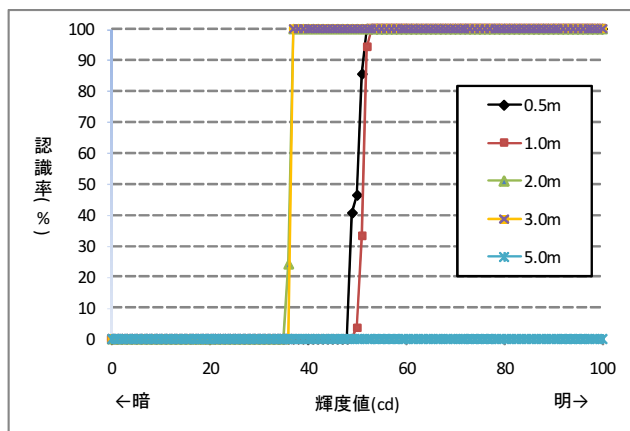


図 9 画像マーカの認識率  
Fig. 9 Recognition Rate of AR Image Marker.

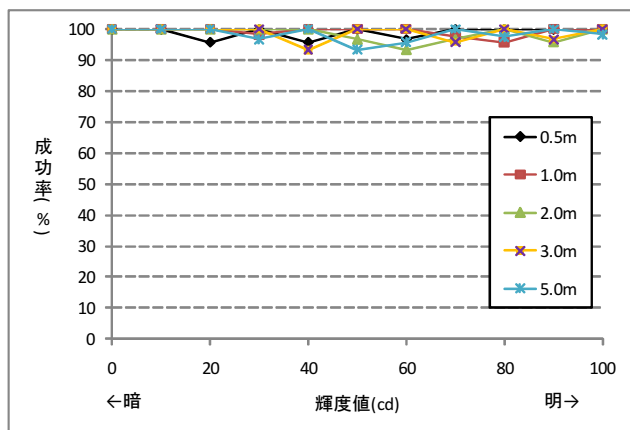


図 10 可視光マーカの認識率  
Fig. 10 Recognition Rate of LED Visible Marker.

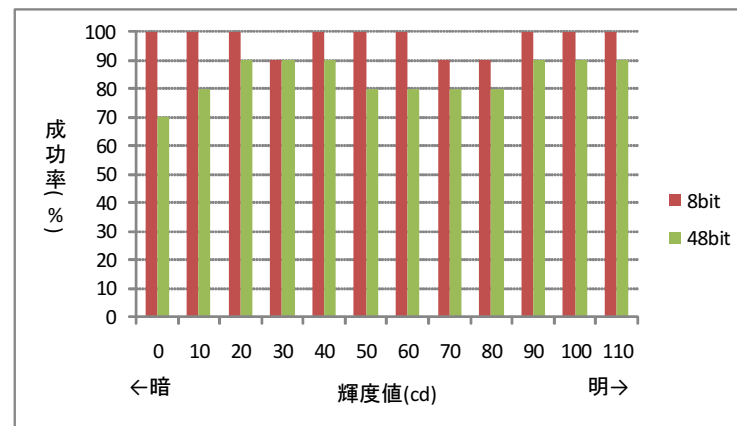


図 11 可視光マーカの成功率  
Fig. 11 Success Rate of LED Visible Marker.

力が認識できない輝度値，距離でも 8bit 点滅パターンは認識が可能であることが確認できる．また，画像マーカが認識できなかった 5.0m での測定でも可視光マーカは高い認識率を持ちながら測定できる．故に可視光マーカの方がいかなる照明，距離においても認識できることがわかる．

(2) の項目の測定結果を図 11 に示す．

8bit 信号及び 48bit 信号の点滅においては，8bit 信号の点滅の方がより良い確立で受信成功が可能であることがわかる．48bit 信号における成功率低下の原因としてスタート点滅，エンド点滅を正しく認識できても，画像処理中に点滅の読み取り動作にズレが生じてしまう可能性がある．故に bit 列が長ければ長いほど，受信成功する確立は減ることになる．

## 6. 考 察

現在，家電機器の操作には，一般的に赤外線リモコンが利用される．多機能リモコンの場合は複数機器を 1 台のリモコンで操作することも可能であるが，通常は機器ごとにリモコンが用意される．リモコンから家電機器に対して 1 方向に赤外線を照射することで操作するが，家電機器側からの情報をリモコンで取得することができず，状態の変化を認識できない．テレビやテレビに接続されている家電機器の場合は，家電機器の状態をテレビ画面に表

示することで利用者は認識することが可能であるが、表示気のない家電機器の場合は、LED表示などの限られた情報の提示しか行うことができない。また、操作マニュアルなどの詳細情報も直接的にリモコンにおいて入手することは困難である。

一方で、1人1台の携帯電話を家庭内においても身に付けて持ち運んでいる状況であり、今後はスマートフォンへの移行が予想されている。また、特にAV家電などの機器はネットワークに接続される傾向が高くなってきている。このような現状を踏まえ、それぞれの利用者が個人のスマートフォンにおいて自宅の家電機器を操作できれば、リモコンは不要となる。また、スマートフォンの画面において、特定の家電機器の操作方法や状態を知ることができ、また、その画面をタッチすることで家電機器を操作できれば、利便性も高まる。

## 7. ま と め

本研究では、ホームネットワークに接続される家電機器が増えることにより、機器の特定、操作が困難になる問題を解決するために、ホームネットワークに接続された複数の家電機器を、AR技術を用いることにより直感的に操作し協調させるシステムを提案をした。そして、提案方式を実現するためのシステムを実装し、ARを用いることによる操作に対する応答時間の評価、システムの動作確認を行った。評価の結果、既存システムと比較して、利用者が体感するほどの応答時間の遅延は測定されず、本システムは実用上問題ないことを確認した。また、一般的にARにおいて利用される画像マーカを家電機器に利用した際の問題点に対し、LED点滅による可視光マーカを検討し、実装、評価を行った。点滅パターンによる認識率、成功率の評価の結果、既存の画像マーカと比較して、照明条件などにおいて有効であることを確認した。

今後は、カメラ機能を搭載するスマートフォンや携帯電話などのリソースの限られた端末上へ実装を行うことで、本方式のより汎用的な利用を目指す。

## 8. 謝 辞

本研究の一部は科研費(21500084)の助成を受けたものである。

## 参 考 文 献

- 1) DLNA: Digital Living Network Alliance, “DLNA Networked Device Interoperability Guidelines”, expanded: March 2006.
- 2) R. T. Azuma: A Survey of Augmented Reality, “Teleoperators and Virtual Envi-

ronments”, Vol.6, No.4, pp.255-258 (1997).

- 3) 三原 進也, 坂本 陽, 綾木 良太, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, ARを利用した家電機器操作のためのマーカ技術の検討, 第9回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.4, pp.361-362 (2010).
- 4) 佐藤 健哉, 坂本 陽, 三原 進也 (出願人: 学校法人 同志社): “拡張現実感技術を利用した直観的な情報家電操作システム”, 日本国特許出願 特願 2010-174383 (2010).
- 5) 島田 秀輝, 坂本 直弥, 岡田 昌和, 綾木 良太, 佐藤 健哉, “EVANS: 拡張現実感技術を用いた無線ネットワーク可視化システム”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, pp.2085-2090 (2010).
- 6) UPnP: UPnP Forum(online), available from <http://upnp.org/> (accessed 2011-05-23).
- 7) H. Kato, M. Billinghamurst, B. Blanding, and R. May: “ARToolKit, Technical Report”, Hiroshima City University (1999).