Vol.2019-DPS-181 No.13
2019/12/27

複合現実感技術を用いた家電制御における家電登録作業の効率化手法の提案

小原 和也[1,a)]　今井 信太郎[1]

概要：スマートスピーカなどの家電機器の集中制御を可能とするデバイス・技術には，接続機器の増加により選択操作時間や誤動作が増加する，利用者が操作対象と場所との関係を意識して操作することが必要である，といった課題がある．この課題を解決するために，MR 技術を用いて現実空間内に存在する家電機器に対し，その家電機器の制御情報を含む仮想 3D オブジェクトを重ね合わせて表示・操作することにより，利用者の誤動作の減少と直感的な操作性の向上を実現する，MR 技術をベースにした家電機器統合制御フレームワークが提案されている．しかし，この手法では上記で述べた仮想 3D オブジェクトの重ね合わせと 3D オブジェクトに含める機器の制御情報の選択を利用者がすべて手動で行う必要があり負担の大きい作業となっている．本研究では，現行システムの課題となっている，登録作業時のユーザ負担軽減を目標とし，現実空間の位置情報を空間マッピングを用いて取得し，制御情報の選択は MR デバイスに内蔵されているカメラの画像情報の解析結果を基にした効率化手法の提案と実装を行った．また，評価実験を実施し，本提案手法により，操作ステップ数の減少と登録作業にかかる時間を短縮することが可能であることが確認された．

1. はじめに

近年，IoT(Internet of Things) 化への取り組みによって，パソコンやスマートフォンなどの情報機器だけでなく，テレビやエアコンなどといった家電機器もネットワークに接続され，ネットワークを介した制御が可能となっている．コンシューマ向けの IoT デバイスは増加傾向にあり，今後は現在よりも多くの家電機器がネットワークを介して制御可能になってくると予想される [1]．それに伴い，ネットワークに接続された家電機器の統合制御を可能とするデバイス・技術の開発が行われている．現段階では，スマートフォンのアプリケーションベースの制御やスマートスピーカと呼ばれる音声認識ベースの制御などが一般のユーザに提供されている．

しかし，これらの統合制御デバイスは，接続台数の増加によりユーザの利便性が低下する可能性がある．スマートフォンのアプリケーションの場合，制御デバイスの増加によりアプリケーション内の制御対象の選択リストが増加し，操作するまでのステップ数が増加すると予想される．また，メーカごとに独自に制御アプリケーションを作成していることが多いため，アプリケーション内での制御対象の家電機器の選択時間に加え，メーカごとの制御アプリケーションを選択する時間も加わり，選択ミスによる誤動作が増加する可能性がより高まると予想される．スマートスピーカの場合，第一に周囲の騒音環境による誤動作が懸念される．また，スマートスピーカは，「電気を付けて」などといった簡単な文を発する事で操作できることがメリットとして挙げられるが，同じ機器が複数台接続された環境において同一の機器群の中からある特定の機器を指定して操作するには，位置情報などといった機器と何かしらの情報の紐づけをした操作が必要となる．そのため，例えば部屋の名称と紐づけをした操作を行う場合，ユーザはその部屋にいてもその部屋の名称をキーとして文を発する必要があり煩わしく感じる可能性がある．

このような現行の課題を解決するために，位置情報を利用した制御が複数提案されている．米田らは利用環境内に設置した高精度の屋内位置情報取得センサを用いて，専用のリモコンデバイスが向いている方向を 3 次元情報として取得し，その方向に対応する家電機器の制御画面を専用のリモコンに表示させる手法を提案している [2]．しかしこの研究では， 高精度の屋内位置情報取得センサの設置が前提のため，利用するまでの敷居が高いという問題点がある．また，河合らはモバイルデバイスに搭載されているセンサ

1 岩手県立大学
Iwate Prefectural University Graduate School of Software and Information Science
a) g031o033@s.iwate-pu.ac.jp

ⓒ 2019 Information Processing Society of Japan

情報を基に家電機器との相対位置を求め，モバイルデバイスの向く先にある家電機器の制御画面をモバイルデバイスに表示する手法を提案している [3]．この手法では，利用開始毎に利用する部屋の情報を入力する必要があり，ユーザの負担となるという問題が存在する．

また，本研究の先行研究として，阿部らによって複合現実感 (MR: Mixed Reality) 技術を用いた統合制御フレームワークの開発・研究 [4] が行われている．この研究では，MR 技術が利用可能なヘッドマウントコンピュータ (HMC: Head Mount Computer) を利用して，現実空間にある家電機器に仮想 3D オブジェクトを重ね合わせて表示し，そのオブジェクトを目視とハンドジェスチャを用いて操作することにより，オブジェクトが重なっている家電機器の操作を行う。

しかし，この先行研究では，上記で述べた家電機器と仮想 3D オブジェクトの重ね合わせ，仮想 3D オブジェクトに含む制御情報の入力等の登録作業は全てユーザ自身による手動での作業が想定されていた．制御情報の中には IP アドレス等のネットワーク情報も含まれるため，ICT に関してある程度の前提知識を持ち合わせている必要があり，ユーザにとって大きな負担が掛かる作業となってしまっている．

そこで本研究では，MR 技術をベースとした統合制御を行う際に課題となっていた，登録作業時のユーザ負担軽減のための効率化手法を提案する．

2. MR 技術を利用した家電機器の統合制御フレームワーク

2.1 フレームワークの概要と構成

ネットワークを介した操作が可能な家電機器の増加に伴う家電機器の操作選択肢増加によるユーザの負担に対して，阿部らは MR 技術を利用した家電機器の統合制御フレームワークを提案している [4]．

この先行研究では，HMC を装着したユーザに対し，現実空間内に存在する家電機器に，それぞれの機器に対応した制御情報を含む仮想 3D オブジェクトを重ね合わせた映像を表示する．家電機器を操作する際，ユーザはその仮想 3D オブジェクトを図 1 のように視線入力とハンドジェスチャによって選択する．HMC は選択されたオブジェクト内に含まれている制御情報に基づき制御サーバを通じて対象機器を制御する．

このシステムでは，ユーザは従来のリモコンの操作のように自分が物理的に狙った機器を制御することになるため，機器の増加による誤動作，選択時間の増加等による利便性の低下が少ないこと，また，スマートフォンのアプリケーションベースと比較して平均操作ステップ数が少ないことがメリットとして挙げられる．

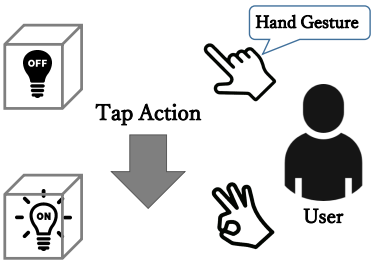

図 1　家電機器の操作例

先行研究のフレームワークの構成を図 2 に示す．

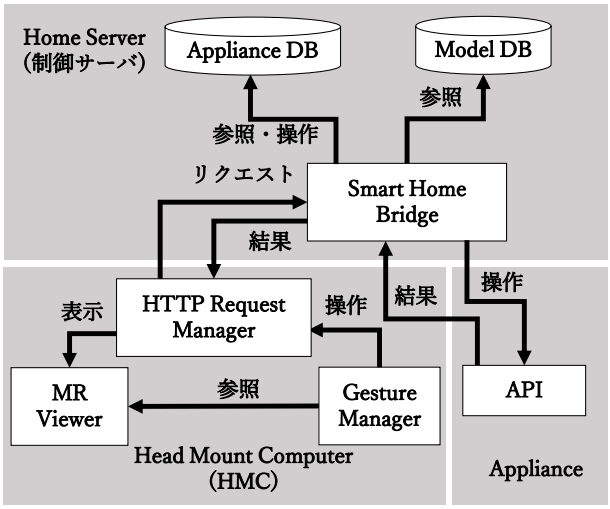

図 2　MR 技術を利用した統合制御フレームワークの構成

図 2 の各要素の役割を以下に示す．

- HMC：ユーザインタフェース
  仮想 3D オブジェクトへの操作に応じて制御サーバへ操作内容を送信する．新規に家電機器を登録する際は，デバイス名・IP アドレス・対象とする家電機器の座標情報を制御サーバに送信する．
- Model DB：家電機器制御情報 DB
  各メーカから事前に取得したデバイス名とそのデバイスを制御するコマンドの組を保存する．
- Appliance DB：仮想 3D オブジェクト DB
  仮想 3D オブジェクトの配置座標・IP アドレス・Model DB より取得した家電制御情報の組を保存する．
- HomeServer：制御サーバ
  HMC からのリクエストに応じて Appliance DB を参照し，操作対象の家電の制御情報を取得した後，対象の機器を操作する．登録時は HMC から受信したリクエスト内に格納されている情報と Model DB から取得した制御情報を用いて，Appliance DB 内に制御用の仮想 3D オブジェクト情報を保存する．
- Appliance：REST API 対応家電機器
  制御サーバからの操作に応じて動作を変化させる．

しかし，この先行研究では，上記で述べた家電機器と仮

想 3D オブジェクトの重ね合わせ，仮想 3D オブジェクトに含む制御情報の入力等の登録作業は全てユーザ自身による手動での作業が想定されていた．登録作業時，ユーザは以下の 3 項目の情報を入力する必要がある．

(I1) 家電機器の配置座標
(I2) 家電機器のデバイス名
(I3) IP アドレス

(I1) 家電機器の配置座標は，仮想 3D オブジェクトを設置するために使用する．(I2) 家電機器のデバイス名は，Model DB に保存されている各メーカの家電機器の制御情報の中から対象としている家電機器の制御情報を抽出するために使用する．(I3)IP アドレスは制御コマンドの送信先として使用する．先行研究はこれらの 3 つの情報を組み合わせた情報を Appliance DB にレコードとして保存し，そのレコードの ID を仮想 3D オブジェクトに含める情報としている．

2.2 先行研究における課題

先行研究の制御システムの課題として，家電機器の登録時に必要となる上記 3 項目の入力がユーザの大きな負担となっていることが挙げられる．

(I1) 配置座標情報の入力では，3D オブジェクトを生成した後に，ユーザは手動で目的の座標まで仮想 3D オブジェクトを移動させ，システムはその配置座標を Appliance DB に保存し利用することが想定されている．しかし，家電機器配置数の増加，部屋の模様替え等による家電機器の配置変更による配置座標の再指定はユーザにとって負担が大きく，煩わしい作業となる．

制御情報の入力では，登録作業時に (I2) デバイス名と (I3) IP アドレスの入力をユーザに求めることになる．これらの情報はある程度の専門的な知識を要求するため，ユーザが利用するにあっての敷居が高くなってしまう．また，これらの情報は接続機器の増加に伴い，それぞれ要素数が増加し各項目の選択・入力時間の増加に繋がる，さらに先行研究のような増加する IP アドレスとデバイス名の中から，その対象機器に適した情報を組み合わせを見つけて，入力する作業はユーザへの負担が大きく，著しく利便性を低下させる原因になりえると言える．

このような現状を踏まえ，本研究では下記の 2 点についての改善を行い，ユーザの負担軽減に繋がる作業効率化手法を提案する．

(1) 仮想 3D オブジェクト配置座標の指定作業の簡略化
(2) 制御情報を作成する際に利用する情報の絞り込みによる入力作業補助

3. 登録作業の効率化手法の提案

3.1 提案手法の処理の流れ

本研究では，できる限り処理性能に依存せず非力な機器でも動作可能な効率化手法として，HMC に内蔵されているカメラと各種センサから取得した画像と現実空間のマッピングデータを用いた登録作業の効率化手法を提案する．本提案における空間マッピングデータとは，複数のカメラ・深度センサ等のセンサデータを基に作成される図 3 右のような現実空間のマッピングデータである．

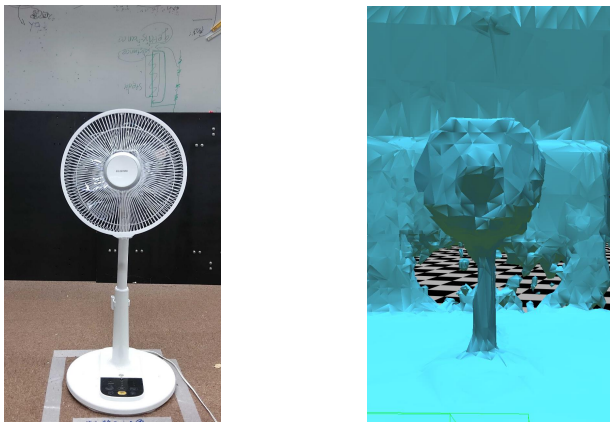

図 3 現実空間の扇風機（左）とその空間マッピングデータ（右）

本手法においては，現実空間のマッピング情報をリアルタイムに取得し，その情報を配置座標の指定に利用する．

提案手法の動作フローを以下に示す．

(1) 家電機器の選択
ユーザは HMC を装着し，登録対象を視線とハンドジェスチャを用いて選択する．

(2) 画像・設置座標の取得
HMC 内蔵カメラにより画像を取得する．また，空間マッピングデータに含まれている座標情報の中からユーザが選択した座標情報を取得する．その後，取得したデータを制御サーバに送信する．

(3) 家電機器の種類判定
制御用サーバは，3.2 節で述べる手法により，HMC が取得した画像から制御対象となる家電機器を抽出し，クラウド上の画像解析サービスを用いて解析する．制御サーバは解析結果に基づき，画像中の家電機器の (I2) デバイス名を特定する．

(4) 登録処理
デバイス名に基づき Appliance DB の制御情報から登録対象機器に合った情報を取得する．制御情報が単一の場合は座標情報と制御情報を組み合わせたデータをデータベースに保存し，レコードのキーを制御用 ID として HMC に座標情報と共に送信する．制御情報が

複数存在した場合は， その候補リストを HMC に送信し， ユーザに選択を依頼する．

(5) 結果の反映
HMC は返信結果に基づき，3D オブジェクトの生成またはエラー等の結果通知を表示する．

3.2 画像中のオブジェクト抽出

本手法では，ユーザが登録する際に選択した家電機器の画像を取得しクラウドサービス上で画像解析を行う事で，制御サーバに負担を掛けずに家電機器の種類を判別する．図 4 は Micosoft のクラウドサービス Computer Vision[5] で解析した際に得られた画像中のオブジェクト情報部分を抜粋したものである．rectangle 内は画像中のオブジェクト表示範囲を表している．object は recangle 内のオブジェクトのラベル名であり,confidence はその確率が記述されている．parent 内はその object が所属する上位の抽象度が高いグループのラベル名が記述されている．しかし，汎用的な画像解析サービスを利用した場合，画像中に存在する複数のオブジェクトの情報が取得されてしまう．そのためこの結果のみを直接利用して対象とする家電機器の情報を取得することは難しい．

```
{
    "rectangle": {
        "x": 1111,
        "y": 604,
        "w": 87,
        "h": 184
    },
    "object": "Bottle",
    "confidence": 0.525,
    "parent": {
        "object": "Tableware",
        "confidence": 0.53
    }
},
```

```
{
    "rectangle": {
        "x": 507,
        "y": 227,
        "w": 276,
        "h": 556
    },
    "object": "Mechanical fan",
    "confidence": 0.71
}
```

図 4 Computer Vision における画像の解析結果

この問題を解決するため本提案手法では，解析結果から得られた各オブジェクト情報の中に含まれてる画像中における表示範囲に関する座標情報を用いて，制御サーバにおいて画像中の目的座標に存在する家電機器の種類を抽出する．

本提案手法では，ユーザが家電機器の登録時に利用する選択カーソルを，HMC の表示画面上の必ず中心に来るように設定する．これにより，登録対象の家電機器は HMC の正面カメラで撮影した場合，必ず中心付近に写ることになるため，画像中の中心座標に重なる家電機器の情報を取得すれば良いことになる．図 4 の解析結果中に含まれている，画像中のオブジェクトの表示範囲を表す，始点座標 (x,y)，幅 (w)，高さ (h) から範囲内に中心座標を含むオブジェクトを抽出し，目的のオブジェクトの情報を取得する．

3.3 本提案手法のフレームワークの構成

本提案手法のフレームワークの構成は，阿部らの先行研究のフレームワークの構成 (図 2) を踏襲する．しかし，現状では先行研究での制御対象であった REST API 対応機器は数が少ないため，学習リモコン経由の赤外線制御による家電機器を扱うために DB の再設計を行った．本提案手法のフレームワークの構成を図 5 に示す．

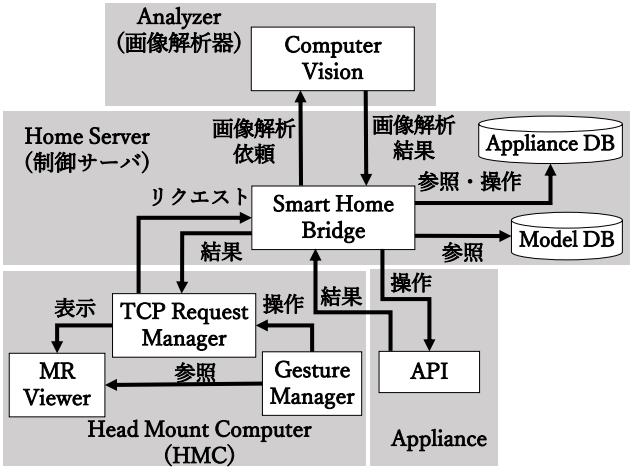

図 5 本提案手法の制御フレームワークの構成

本提案手法で修正・追加さている要素を以下に示す．

- Analyzer：画像解析器
  WAN を通じてクラウド上で画像の解析を行いその結果を制御サーバへ返す．
- Model DB：家電機器制御情報 DB
  メーカから事前に取得した制御情報 (制御コマンド・デバイス種類・入力種類・デバイス名) とそれに対応した制御情報の送信先情報（各機器の IP アドレス・学習リモコンの IP）が組になった DB を管理する．
- Appliance：家電機器
  REST API 対応機器だけでなく赤外線入力による制御が可能な家電機器が対象となる．

4. 評価

4.1 プロトタイプシステムの定義

本研究では 3.3 節に基づき表 1 に示すデバイス，サービスおよび開発環境を用いてプロトタイプシステムを実装した．

4.2 評価項目と評価方法

本評価実験では，実行時間・登録成功率から実用性を評価する．実行時間は，登録対象の機器を選択してから結果が反映されるまでの時間である．登録成功の条件は，登録対象の機器の制御情報を含む仮想 3D オブジェクトが生成されたかの成否だけではなく，「オブジェクトがユーザの思った位置に配置されているか」という数値だけでは測れ

表 1　プロトタイプシステムの構成

役割	デバイス・サービス	開発環境
HMC	Hololens	Unity 2017.4.32 HoloToolkit-Unity -2017.4.2.0
制御サーバ	Raspberry pi 3B RPi-IREX(学習リモコン)	.NET Core 3.0 Maria DB-10.3.17 Python3.6
Appliance	LFA-306(扇風機)	
Analyzer	Micosoft Computer Visison	

ない，ユーザの主観的な部分も成否の判断基準とした．そのため，登録対象の仮想 3D オブジェクトがユーザの思った位置とずれが生じた場合，失敗と判定している．

登録作業時に利用する画像形式により実行時間・登録時間に影響が発生することが予備実験より分かったため，以下の画像保存形式を用いてそれぞれ評価を行う．

- png 形式 (2048×1152)
- png 形式 (1408×792)
- jpg 形式 (2048×1152)
- jpg 形式 (1408×792)

実験では，実際に赤外線入力に対応した扇風機の登録作業を 20 代男性 9 名に実施してもらった．各被験者は，4 種類の画像保存形式それぞれについて，立った状態で扇風機の正面 1m から 2m の間を 10cm 間隔で各地点 10 回ずつ登録作業を行った．

4.3　評価結果

登録成功率と実行時間の平均を画像形式ごとに図 6 から図 9 に示す．なお，今回 Analyzer に利用した Micorosoft の Computer Vision は API 仕様により 4MB 以上の画像解析が不可能となっている．図 6 に示す png 形式 (2048x1152) は距離が離れるに比例して画像サイズが大きくなり 4MB を超えてたため，解析が行われることなく失敗してしまっている．そのため，図 6 の結果に関しては，他の形式と一概に同様の評価を行うことができない．

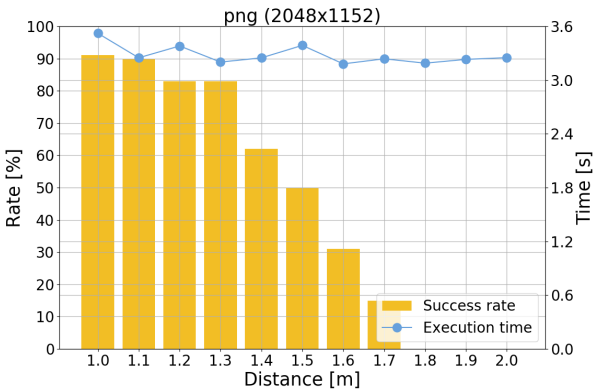

図 6　png 形式 (2048x1152) 撮影時の実験結果

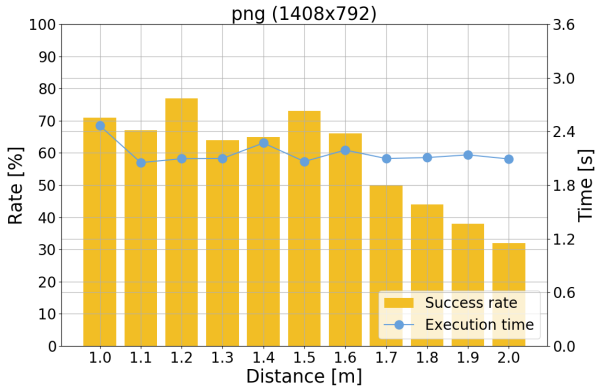

図 7　png 形式 (1408x792) 撮影時の実験結果

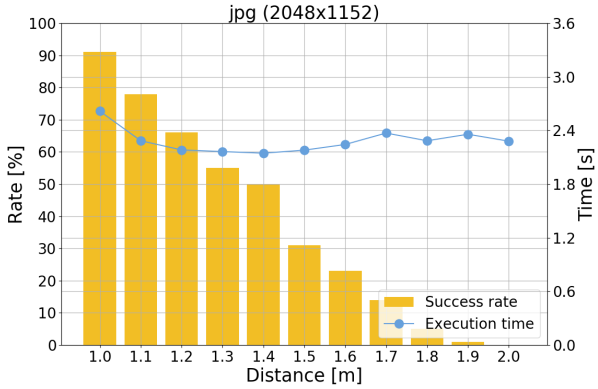

図 8　jpg 形式 (2048x1152) 撮影時の実験結果

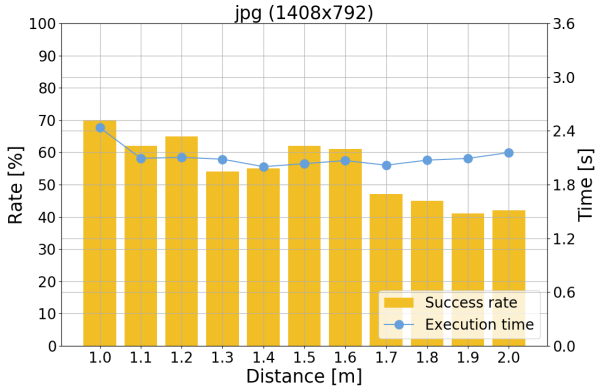

図 9　jpg 形式 (1408x792) 撮影時の実験結果

5.　考察

評価結果から jpg 形式 (1408×792) の画像を利用した登録作業の場合，1.0〜1.6m までの間であれば，平均登録成功率から約 50%の確率で登録に成功するとみなすことができる．一回の登録には 2.1 秒かかるため，実際の登録までにかかる平均実行時間は約 5 秒程度と予想される．この実

行時間は，従来の手作業での登録作業と比べ，作業時間の観点から十分に効率化が図れたと言える．また，本提案手法では，ユーザは 2 ステップの操作で登録完了することができるため，操作ステップ数の削減という観点からも効率化が十分図れたと言える．また，仮想 3D オブジェクトの配置ずれについては，被験者からの申告が無かったため，問題ないと考えられる．

評価実験における登録失敗の要因について，各登録作業実行時のログデータから原因の調査を行った．その結果，本手法での失敗原因は，Analyzer による解析で画像中から対象家電機器のオブジェクト情報抽出に失敗していることにあった．Analyzer が画像中から対象家電機器のオブジェクト情報の抽出に成功していた場合，制御サーバにおいて Analyzer が抽出したオブジェクト情報群の中から中心座標に存在する対象家電機器のオブジェクト情報の抽出に必ず成功しており，Analyzer による画像解析の精度向上が登録率向上に直結することが分かった．

また，各形式の登録成功率から，必ずしも高画質な画像が距離が離れた際にも高い登録率になるわけではないと分かる．むしろ，解像度が低い画像を用いた方が平均した登録率は高いという結果から，今後 Analyzer に利用する画像解析器を家電機器専用に調整することで現在の (1408x792) という比較的低画質な画像でも，これまでよりもさらに高い登録成功率を期待できると考えられる．

6. まとめ

本稿では，先行研究の MR 技術を用いた家電機器統合制御フレームワークにおける，登録作業時にユーザが仮想 3D オブジェクトの配置座標の指定と IP アドレスやデバイス情報名などの専門的知識を必要とする情報の入力作業全てを手動で行う必要があり，ユーザの大きな負担となり利便性を著しく低下させるという問題に対し登録作業時のユーザ負担軽減を目的とした作業効率化手法を提案してきた．

評価実験では提案手法を用いることで，一定の距離内であればオブジェクトの配置座標の自動取得と制御情報の選択絞り機能が正しく動作し，操作時間と操作ステップ数の軽減が確認できた．このことから，ユーザ負担軽減の一定の効果があったと言える．

今回は Analyzer に利用する画像解析器の解析結果がそのまま登録成功率と繋がったため，今後は家電機器に特化した画像解析器を利用した場合どの様な結果になるか実装を行い，登録成功率の観点から評価を行っていく．

参考文献

[1] 総務省：令和元年版情報通信白書, 入手先 ⟨http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/pdf/n1200000.pdf⟩, （参照 2019-11-1）.

[2] 米田純，荒川豊，玉井森彦，安本慶一：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，情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム，Vol. 5, No. 1，pp. 30–37（2015）.

[3] 河合航平，雨森将司，島田秀輝，佐藤 健哉：相対位置関係を利用したモバイルデバイスによる家電操作システム，マルチメディア, 分散, 協調とモバイル（DICOMO2013）シンポジウム講演論文集，pp. 1671–1678（2013）.

[4] 阿部健滋，今井信太郎，新井義和，猪股利光：複合現実を用いた家電機器統合制御フレームワークの試作，第 17 回情報科学技術フォーラム（FIT2018）講演論文集，pp. 4-251–4-252（2018）.

[5] Microsoft Azure : Computer Vision API を利用した画像処理，入手先 ⟨https://azure.microsoft.com/ja-jp/services/cognitive-services/computer-vision/⟩, （参照 2019-06-30）.