

距離画像センサを用いた鏡型空間共有システムの設計

川村 拓弥^{1,a)} 阿部 亨^{1,2,b)} 菅沼 拓夫^{1,2,c)}

概要: より感覚的現実感の高い遠隔コミュニケーションシステムやテレプレゼンスシステムを実現するために、共生空間の概念に基づく空間共有システムを提案する。また、空間共有システムの一実現例として、距離画像センサを用いた鏡型空間共有システムを提案し、その設計について議論する。

1. はじめに

遠隔地に住む高齢者への見守り支援に加え、人手不足やコスト削減による遠隔会議や遠隔授業支援など、遠隔コミュニケーション技術に関するニーズがますます高まってきている。従来の、遠隔地にいる人とのコミュニケーションの代表例としては、ビデオ会議が挙げられるが、どちらかの空間に存在するオブジェクトの表示を双方で共有することは困難である。

これに対し、Augmented Reality (AR) や Augmented Virtuality (AV) など、Mixed Reality (MR) 技術を活用した遠隔コミュニケーションやテレプレゼンスの研究が盛んに行われている [1], [2], [3]。AR や AV により、現実空間と仮想空間でオブジェクト表示の共有を実現することが可能となる。一方で、オブジェクトの共有は片方の空間のみで行われるため、現実空間と仮想空間の両空間でのオブジェクトの共有やインタラクションは困難である。

そこで、我々はこれまでに「現実空間とデジタル空間」のギャップを埋めるために Symbiotic Reality (SR, 共生現実感) を提案してきた [4], [5], [6]。SR とは、現実空間と同一の空間サイズ、オブジェクト配置で構成される仮想空間を構築し、現実空間内に配備された各種センサを用いて現実空間の環境状況や人・物の動きを検知して仮想空間内のオブジェクトやアバタの挙動に同期させることで、現実空間と仮想空間を重ね合わせるコンセプトや関連技術である。

既存の SR では、現実空間と仮想空間との間のインタラクションに着目している。そのため、現実空間同士でのオ

ブジェクトの表示共有やインタラクションを介したコミュニケーションには制限があり、現実空間・仮想空間の間で自由にオブジェクトを表示したり、インタラクションを介したコミュニケーションを実現したりするための新たなフレームワークが必要となる。

そこで本研究では、より感覚的現実感の高い遠隔コミュニケーションシステムやテレプレゼンスシステムの実現を目指し、従来の SR の概念を拡張した空間共有システムの設計・開発のためのリファレンスモデルを提案する。本稿では、リファレンスモデルの設計指針について述べ、その実例として、距離画像センサを用いた鏡型空間共有システムの設計を行う。

2. 関連研究と課題

2.1 MR 技術を用いた空間共有システムに関する研究

MR 技術を用いて現実空間同士を共有するシステムとして超鏡がある [7]。これはあるユーザが存在する現実空間の映像に、別の現実空間に存在するユーザの映像をクロマキー合成し、表示するシステムである。現実空間にいる相手の様子と自己像を合わせて表示するため、指差しや、斜めに向き合うことで、より円滑なコミュニケーションが可能となっている。

しかし、クロマキー合成時に空間の奥行きは考慮していないため不自然なインタラクションが発生する可能性がある。また、このシステムでは仮想空間や仮想オブジェクトは存在しない。

仮想空間に存在するオブジェクトを現実空間で共有するシステムとして、AR 会議システムが挙げられる [1]。これは、AR マーカを用意し、HMD を通して見た空間上に相手の顔とその周りの空間や仮想的な顔を提示することができる。さらに、AR マーカを利用して、その範囲をホワイトボードとして共有することが可能となっている。

しかし、このシステムでは自己像を表示しないため、円

¹ 東北大学 大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 東北大学 サイバーサイエンスセンター, Cyberscience Center, Tohoku University

a) ka-amur@ci.isc.tohoku.ac.jp

b) beto@isc.tohoku.ac.jp

c) suganuma@isc.tohoku.ac.jp

滑なコミュニケーションが難しい。また、仮想空間は存在しない。

現実空間に存在するユーザを仮想空間上に投影させたシステムとして、没入型テレプレゼンスがある [2]。これは距離画像センサを用いて、ユーザを切り抜くことで仮想空間上への投影を実現している。ここで仮想空間の構築には AVANGO が使用されている [8] さらに、HMD とトラックボールを用いて、仮想空間に存在するオブジェクトを共同で操作することも可能である。

しかし、このシステムでは背景は仮想空間で固定されており、同時に現実空間の大きさも固定されているため、空間の共有には制限がある。また、自己像を表示しないため、コミュニケーションにも制限がある。

2.2 SR を用いた空間共有システムに関する関連研究

SR を用いて、現実空間と仮想空間を重ね合わせて、両空間を共有する SR システムがあり、その一例として、シンビオミラーが挙げられる [9], [10]。これは対象とする現実空間と同一の空間サイズ、オブジェクト配置の仮想空間を構築して、現実空間にあるスクリーンに鏡のように投影するシステムである。現実空間ではユーザの状態を取得して、その動きを仮想空間のアバター（シンビオント）に反映させる。

また、仮想空間側でも同様にスクリーン上に現実空間のビデオ映像を鏡のように投影させる。このようにして、現実空間と仮想空間を感覚的に融合することを実現している。

SR システムの他の例として、タブレット端末やヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて仮想空間上のアバターを切り抜き、現実空間上へ投影するものもある [11], [12]。

しかし、これらシステムでは、現実空間や仮想空間に存在するオブジェクトを別の空間から操作したり、それを介して他空間のユーザとインタラクションを行うことは難しい。

2.3 課題

以上で述べた関連研究の特徴を整理し、本研究で実現を目指す感覚的現実感の高い空間共有システムの機能要件を抽出した。その機能要件を以下にまとめる。

- (1) ユーザは現実空間と仮想空間のどちらからでも参加可能であること
- (2) 背景はいずれかのユーザがいる空間であり、自由に切替可能であること
- (3) ジェスチャによって仮想オブジェクトを操作するだけでなく、現実にある物体の操作・共有が可能であること
- (4) 奥行きを考慮した空間の合成が可能であること
- (5) 自己像が表示可能であること
- (6) ホワイトボードの操作等のインタラクションが可能な

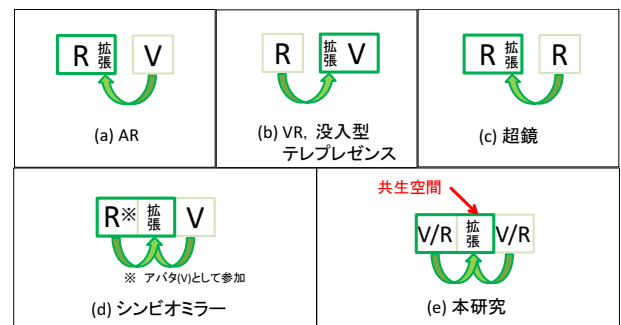


図 1 関連研究と本研究の空間共有のイメージ

範囲が限定されないこと

これらの機能要件を満たす空間共有システムを実現するために本研究で対象とする課題を以下に示す。

- 現実空間と現実空間の間で、現実空間や仮想空間に存在するオブジェクトを共有することが困難
- 現実空間に存在するユーザと別の現実空間に存在するユーザとの間のインタラクションが困難

3. SR の概念に基づく空間共有システムの提案

3.1 SR の概念によるリファレンスモデル

3.1.1 SR の概念の拡張

本研究では、従来の SR の概念を拡張し、現実空間、仮想空間を問わず様々な空間を自由に統合して、共生するためのリファレンスモデルを提案する。従来は図 1 に示すように、空間やオブジェクトを共有する場合、片方の空間に存在するオブジェクトのみしか共有できないことや、現実空間と仮想空間の間でのみしか空間を共有できないことなど、多くの制限があった。

本研究で新たに提案するモデルに基づき、設計プロセスを定式化することで、現実空間と現実空間の間で任意のユーザが任意のオブジェクトを共有可能な空間共有システムを実現することができる。

3.1.2 共生空間の定義

本研究では、リファレンスモデルを提案するために、その中核となる要素として「共生空間」を以下のように定義する。

共生空間の定義：

「ホスト空間 (1 ヶ所) とゲスト空間 (1 ヶ所以上) のユーザやモノの情報を共有し、それらとのインタラクションによって共生感を強化する (論理的な) 空間」

ここで、「共生感」を以下のように定義する。

共生感の定義：

「ユーザが違和感なく他空間のユーザやモノの存在を相互にかつ同様に感じる感覚」

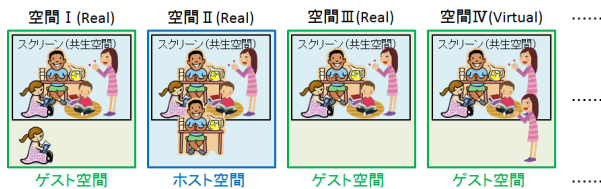


図 2 ホスト空間とゲスト空間の例

共生空間とは具体的には、自空間と他空間との間にあるインタフェース部分を、「空間」として捉え直したものを指す。共生空間では、現実空間、仮想空間の別を問わないあらゆる空間同士のインタラクションを可能とする。すなわち、共生空間の背景や前掲（ユーザやアバター、オブジェクト）には、現実空間に存在するもの、仮想空間に存在するもの、それらが同時に存在しても良いものとする。

また、共生空間へは、複数の現実・仮想空間からの参加を想定している。この時、各空間のうち、共生空間の背景となる空間をホスト空間、それ以外の空間をゲスト空間と呼ぶ。任意の空間をホスト空間にすることが可能である。なお、各ユーザから見て、自身がいる空間を自空間、それ以外の空間を他空間と呼ぶ。

3.2 鏡型空間共有システム

3.2.1 概要

SR 技術の概念に基づく空間共有システムの具体例として、「共生空間」を鏡を通して見える空間として表現した鏡型空間共有システムを提案する。鏡型対話システムの特徴として、自己像が表示されることが挙げられるが、このことにより肩を叩いたりして相手を同定したり、相手の周りの物を指さしたりすることが可能となる [7]。同時に、同室にいるという社会性が発現することで、共生感の向上にもつながると考えられる。

鏡型空間共有システムの実現に向けて、現実空間では位置やジェスチャの情報を距離画像センサにより獲得する。深度情報（スクリーンと垂直な方向の位置情報）を獲得することにより、共生空間上でユーザや物体同士の前後の重なりを表現することができる。また、ジェスチャ情報を獲得して、それによって仮想物体や他空間の物体を操作する機能を有する。

この時、人物検出機能が内蔵されているセンサを用いる場合、ユーザ領域の切抜き映像の生成が容易に可能である。位置情報の獲得には超音波センサを用いる手法も考えられるが、その場合複数台の受信機を各空間に設置し、受信タグを各ユーザが装着する必要がある。一方、距離画像センサを用いることにより、設置コストやユーザの負担を削減しつつ、より正確な位置情報を獲得することが可能である [10]。

図 3 は鏡型空間共有システムにおいて現実空間のスク

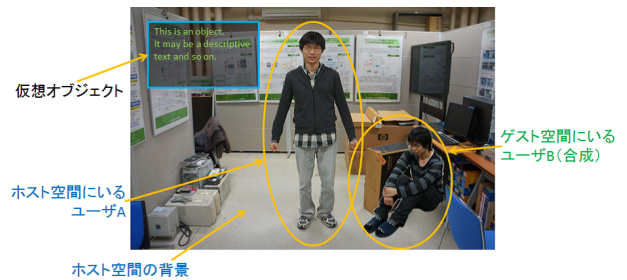


図 3 スクリーンに映る映像例

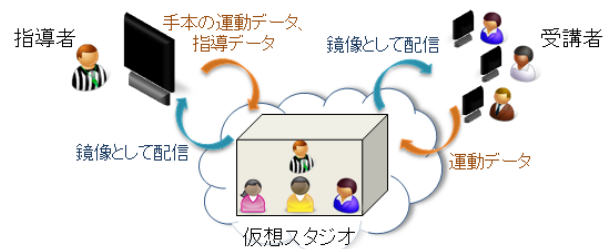


図 4 鏡型空間共有システムの応用例: 運動支援システム

リーンに映る映像例である。ユーザ A がいるホスト空間の映像に、ユーザ B がオーバーレイ表示されている。また、仮想的なオブジェクト（この例ではメッセージウィンドウ）も合わせて存在している。

3.2.2 応用例

鏡型空間共有システムの応用例としては、遠隔会議・サービスや、遠隔講習・体験学習等への応用が期待できる。前者の例としては見守り支援システムや商品開発時の仕様説明・デモンストレーション、後者については後述する運動指導システムや操作方法教示サービスが挙げられる。

ここでは、具体的な応用例として運動指導システムの例を挙げて説明する。その概要を図 4 に示す。まず、インターネット上に仮想の運動スペースを構築する。次に、指導者や受講者の運動データを距離画像センサで収集し、インターネットクラウド上に集積する。仮想の運動スペースをホスト空間、指導者や受講者がいる場所をゲスト空間とした共生空間の映像を鏡像として配信・共有することで、ユーザはお互いに離れた場所においても共生空間を通じてあたかも同じスタジオに集まり一緒に運動しているような共生感が得られる。

4. 設計・実装

4.1 システム構成

本節では、鏡型空間共有システムの設計と実装について説明する。本システムでは 2 つの現実空間を用意し、それぞれホスト空間、ゲスト空間とする。また、ホスト空間にいるユーザをユーザ A、ゲスト空間にいるユーザをユーザ B とする。各空間には、スクリーン、もしくは大きめのディスプレイ、距離画像センサ、距離画像センサが接続された PC が存在し、ホスト空間では空間全体の映像と深度

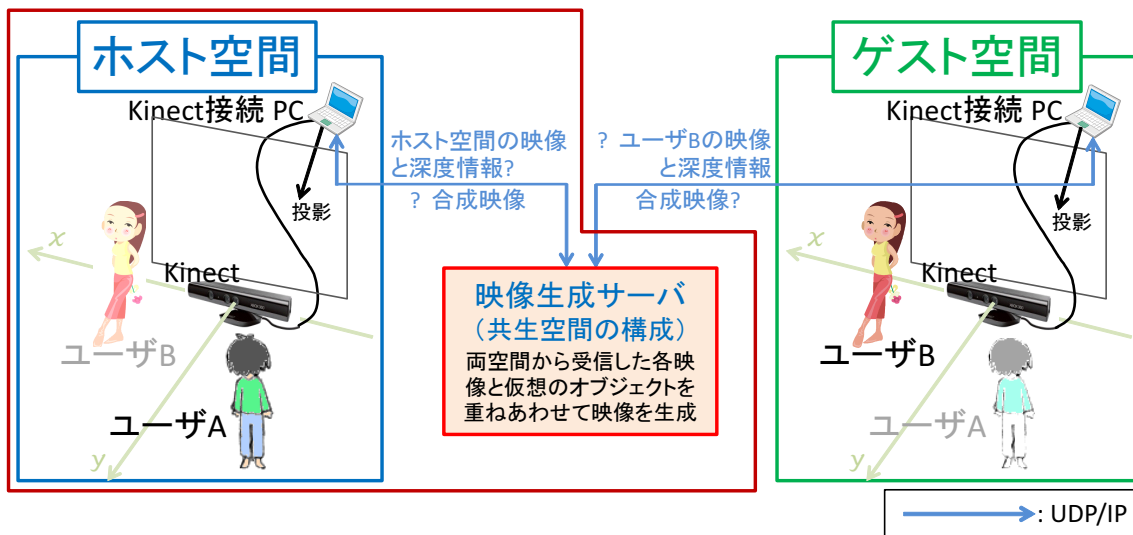


図 5 鏡型空間共有システムの構成

情報を，ゲスト空間ではユーザ B が映っている領域のみの切抜き映像と深度情報を獲得する。

また，両空間から受信した各映像と仮想のオブジェクトを深度情報を考慮して重ねあわせて共生空間を構成する，映像生成サーバを用意する．両空間で獲得されたユーザの位置やジェスチャの各情報は映像生成サーバに UDP/IP を用いて送信され，そこで合成された映像，および反映された仮想オブジェクトの挙動は再び UDP/IP で各空間へ送信される。

4.2 実装環境

システムの実装について説明する．本システムにおいて，公式 SDK に用意されているスケルトン・トラッキング機能を活用し，空間内でのユーザの状態を獲得するために，距離画像センサとして Kinect[13] を使用した．ここで，距離画像センサとして Kinect を使用する場合，ゲーム機器の付属品として一般ユーザでも入手が容易で，導入にも比較的抵抗が少ないことから，見守り支援システム等の応用例の実用化が比較的容易に行えるという利点も存在する。

なお，今回はゲスト空間は一箇所に設置し，映像生成サーバをホスト空間の Kinect 接続 PC 上で動作させた．送信する画像サイズは Kinect で獲得できる深度情報のサイズに合わせ，640×480 ピクセルとした．実装したシステムの構成を，図 5 に示す。

4.3 映像データの送信

共生空間を実現するために，映像生成サーバに各空間の映像情報や深度情報，ユーザ領域のみの映像情報と深度情報を送信する必要がある．この際，ネットワークへの負荷を低減するため，図 6 に示すように送信データの削減を行った．

具体的には，Kinect で獲得した画像データには無効値が

画像データ(RGB)



深度データ(depth)



図 6 送信データの削減

含まれるため，その 8bit を削除してから送信した．深度データについては，下位 4bit を削除し，16mm で量子化して送信した．これは，16mm 程度の誤差であれば共生感の低下には繋がらないと考えたためである。

これらの情報は，フレームレートが 30fps である Kinect の仕様に合わせて，1 秒間に 30 回の頻度で送信される．また，今回のシステムでは，オブジェクトを操作したユーザを判別する必要がないため，深度データにおいてプレイヤー ID も削除している．しかし，応用例によってはオブジェクトを操作したユーザを判別する必要があるため，その場合は削除せずに送信する。

4.4 実行例

鏡型空間共有システムの実装を行った．図 7 および図 8 はその実行画面を示している．図 7 では実験室をホスト空間，学生居室をゲスト空間とした場合の実行画面である．図 8 では学生居室をホスト空間，実験室をゲスト空間に切り替えた場合の実行画面を示している．深度情報により，センサに近いほうの物体が映像に表示されるため，例えば



図 7 システム動作例 (ホスト空間…実験室)



図 8 システム動作例 (ホスト空間…学生居室)

一方のユーザの手と他方のユーザが持つオブジェクトとの共生空間上での位置関係が容易に把握できた。

また、実行例に示したようにホスト空間とゲスト空間の切り替えを容易に行うことができた。

4.5 ネットワーク負荷の計測

実装した鏡型空間共有システムのネットワーク負荷を計測した。システムの稼働中、ネットワークに対する負荷(リンク速度)は、ホスト空間(兼映像生成サーバ)からゲスト空間へのネットワークに対しては約 125Mbps, ゲスト空間からホスト空間(兼映像生成サーバ)へのネットワークに対しては約 215Mbps であった。後者のほうが数値が高いが、これは深度情報も送信しているため情報量が多いためである。

一般家庭での適用を考えた場合、様々な回線状況やデバイスにおいてもシステムが動作するよう、汎用性を持たせるためには、環境の状況に応じて動的に送信するデータ量を調整する仕組みが必要となると考えられる。

5. おわりに

本論文では、より感覚的現実感の高い遠隔コミュニケーションシステムやテレプレゼンスシステムを実現するため

に、共生空間の概念に基づく空間共有システムを提案した。具体的には、空間共有システムを設計するためのリファレンスモデルの実現を目指して、共生空間の定義とモデル化を行った。また、空間共有システムの実現例として、距離画像センサを用いた鏡型空間共有システムを提案し、その基本動作の確認を行った。

今後は空間共有システムの設計開発論(共生空間のモデル化)の完成と共に、鏡型空間共有システムに関する以下の課題の解決を目指す。

- 仮想空間を含む複数個所の空間からの参加に対応(複数のゲスト空間への対応)
- ネットワークに対する負荷のさらなる低減と動的な調整
- ユーザの切り抜き方法の改善

さらに、ジェスチャによりオブジェクトを操作する機能や、指定した範囲の部分的反転等鏡型であることに付随する機能、そして空間間のコンフリクト(オブジェクトの重複)のユーザへの提示機能を実装する予定である。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(24300022)の援助を受けて実施した。

参考文献

- [1] Kato, H. and Billinghurst, M.: *Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system*, Proc. of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99), pp.85-94 (1999).
- [2] Beck, S., Kunert, A., Kulik, A. and Froehlich, B.: *Immersive Group-to-Group Telepresence*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.19, No.4, pp.616-625 (2013).
- [3] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., and Kishino, F.: *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*, SPIE Vol.2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, pp.282-292 (1994).
- [4] 菅沼拓夫, 野口博司, 高橋秀幸, 白鳥則郎: 共生コンピューティングに基づく現実・仮想空間の融合とその応用に関する一考察, 情報科学技術フォーラム講演論文集 (FIT2009), pp.312-313 (2009).
- [5] Noguchi, H., Suganuma, T. and Kinoshita, T.: *Perceptual Integration of Real-Space and Virtual-Space Based on Symbiotic Reality*, Proc. of the First International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2010), pp.788-793 (2010).
- [6] 野口博司, 高橋秀幸, 菅沼拓夫, 白鳥則郎: 共生型 3 次元仮想空間における共生感提供機能の設計, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-DPS-142, No.49, pp.1-6 (2010).
- [7] 森川治, 山下樹里, 佐藤滋, 福井幸男: 相手の空間の指差しが可能なビデオ対話: 超鏡, 計測自動制御学会, 第 50 回パターン計測部会研究会, pp.382-387 (2000).
- [8] Avango Project Top Page (online), <http://en.sourceforge.jp/projects/sfnet_avango/> (2014).
- [9] 川村拓弥, 阿部亨, 菅沼拓夫: 共生型 3 次元仮想空間における距離画像センサを用いた共生感提供機能の設計, 第 75 回情報処理学会全国大会予稿集, 2J-2 (2013).

- [10] Kawamura, T., Abe, T. and Suganuma, T.: *A Design of State Acquisition Function using Range Image Sensor for 3D Symbiotic Space*, Proc. of the Third International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2013), pp.622-627 (2013).
- [11] 森瞬, 阿部亨, 菅沼拓夫: 共生型 3 次元仮想空間における共生感提供機能の空間提示手法の高度化について, 第 75 回情報処理学会全国大会予稿集, 2J-3 (2013).
- [12] 伊藤寛祥, 川村拓弥, 阿部亨, 菅沼拓夫: 3 次元共生空間における HMD を用いた空間提示手法の提案, 第 76 回情報処理学会全国大会予稿集, 2ZA-4 (2014).
- [13] Kinect for Windows (online), <<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>> (2014).