

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 17 日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500150

研究課題名(和文) 共有ブロックを用いた実物体共有型遠隔地作業支援システムの拡張

研究課題名(英文) Enhanced Shared Block: Synchronous Remote Assembling Collaboration Support System by Intelligent Real Objects

研究代表者

佐藤 究 (Sato, Kiwamu)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師

研究者番号：70282035

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：実空間での実物体を用いた組み立て、デザイン作業等を遠隔地から支援するシステムとして様々な研究がなされている。しかし、いずれの研究も作業「空間」の共有に主眼が置かれているため、作業対象となる実物体の共有が困難である。本研究では、作業対象となる「実物体」の共有に主眼を置き、ユーザの操作を自らが感知し遠隔地のユーザへその操作を提示するインテリジェントな部品(共有ブロック)を実装することにより、遠隔地においても実物体の存在の対称性を可能とする遠隔地作業支援システムの実現を行う。

研究成果の概要(英文)：We propose a synchronous and symmetrical remote assembling collaboration system using Shared Blocks. Shared Block is a LEGO(R); like shape consisting of intelligent blocks containing a microcontroller, a ZigBee module, LEDs, and batteries in each block. It has following three functions. (1) Auto modeling function recognizes user's building procedures by itself. (2) Communication function exchanges building procedures with remote user's blocks. (3) Building procedures representation UI function informs a user to build the same structure as the remote user's one by switching on LEDs of blocks. By these functions, Shared Block solves the problem of sharing real objects and its real manipulation for remote collaboration. In this paper, we describe an implementation of a prototype system and its evaluation.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：グループウェア 遠隔作業支援 共有ブロック

## 1. 研究開始当初の背景

実世界においては、実物体の作業対象物を共有した複数人による組み立て、デザイン作業等あるいはそれらのための訓練、教授等の共同造形作業においては極めて自然な社会的な相互行為である。このような作業空間において、重要となるのは、全作業者と作業対象物が同一の空間に存在することである。すなわち、(1) 作業者全員が作業空間を共有していること、(2) 作業者全員が作業対象物を共有していること、(3) 作業者全員が作業対象物に対して物理的に操作が可能なこと、を満たす必要がある。

しかし、これを遠隔作業として行うことを考えた場合、(2)、(3)を同時に満たすことは困難である。なぜなら、遠隔地に、形状とその変化が同期する実物体が同時に存在することが必要となるからである。

遠隔地での共同造形作業を可能とするシステムとして、以下のような研究がおこなわれているが、いずれも「空間」の共有に主眼が置かれており、存在の対称性が完全には実現できていないと考える。

(a) 音声画像通信をベースに、音声、映像、レーザポインタ等の指示デバイス、あるいはARを用いて作業の指示を行うシステム[1]

(b) 遠隔地の作業空間内に自己の化身となるロボット的なデバイスを設置し、そのロボットデバイスを通して作業対象に対する作業者間の相互行為を実現するシステム[2]

これら2つのシステムでは、作業対象物は作業側側の空間にのみ存在するため、指示側側は作業対象物の物理的な操作が不可能である。作業対象への操作は指示（「それを、そこに、〇〇のようにする」）によって行うこととなり、実物体を利用した例示（「これを、ここに、このようにする」）は困難である。また、複雑な造形作業を例示なしに指示だけで実現することは困難であると考えられる。

(c) VR, AR あるいは MR を用いた作業空間、作業対象物を共有するシステム[3][4][5]

これらにおいては、実物体と、仮想物体あるいは遠隔地の実物体の投影を混在させた作業空間を実現することにより作業対象物の共有が実現されているが、仮想物体に対する物理的操作は不可能であり、存在の対称性が実現されているとはいえない。

(d) MR を用いた、形状が異なるが同一の操作が可能な作業対象物に対する操作を共有するシステム[6][7][8]

これらにおいては、作業対象の完全な対称性を実現することができず、対象物の物理形状が重要な作業に対応することが困難である。

以上のシステムにおいては、いずれも「空間」の共有に主眼が置かれている。これは、作業対象物として自由な形状を持つ既存の実物体を利用できる反面、上記 (2)、(3) に

大きな制約を与えていると考えることができる。

## 2. 研究の目的

本研究では、「作業対象物」の物理的な共有である存在の対称性に主眼を置き、複雑な作業物体の形状とその変化を作業者間で容易かつリアルタイムに同期させることを支援するシステムを構築することにより、上記

(2)、(3)の実現を目標とすることとした。よって、本システムでは空間の共有のための直接的な機能は提供しない。すなわち、コミュニケーションや、作業や行為のウェアネス（相手がどの物体を見ているか、どの物体を手を取ったか等）や、参加者の相互行為において重要とされる身体配置、思考、ジェスチャ、相互観察、継起性等については、本システムでは支援しない。この実物体のみに閉じたデザインは、それらの機能を提供している既存のコミュニケーションツールや空間を共有するためのグループウェア上で本システムを幅広く利用することを可能とするためである。

## 3. 研究の方法

本システムで作業対象物を構築可能な部品を双方に配置し、その部品に部品自ら利用者の組み立てを感知し、遠隔地の部品を通じて直感的にユーザに組み立て方を提示する自立性を持たせることにより、作業対象物および形状の変化の対称性を実現し、対称的な作業空間の実現の支援を実現するものである。具体的には、以下の4点を行う研究である。

- ① 共有ブロックの実装
- ② 共有ブロック管理システムの実装
- ③ 拡張共有の実装
- ④ 評価実験

## 4. 研究成果

### ① 共有ブロックの実装

本システムでは、作業対象物の対称性を実現するためには、双方に基本部品を多数用意し、双方が同形に組み立てることによりこれを実現している。基本部品として、玩具において一般的に利用されている直方体の8ピンブロックを採用した。多くの人がブロックを用いて、見立てでものを作成した経験があること、高い物体表現能力があることが理由である。

また、変化の対称性を実現するために、ユーザの手元にある部品自体が形状の変化を感知し、遠隔地の部品へ作業内容を転送し、受け取った部品自体が変化を作業者に提示することにした。この部品からの変化に関する情報の提示に基づき手元の部品による造形を行い、さらにその造形が正しい

ものかを部品自体が判別することにより変化の対称性を実現した。

共有ブロックとは以上を実現するため、以下の(a)、(b)の機能を持つ自立的なブロック(図1)からなるシステムである。

(a) ユーザの組み立て(形状の変化)をブロック自身が自動的に把握し、作業対象物の形状を管理するモデリング機能

(b) 内蔵LEDにより遠隔地ユーザのブロックの着脱情報(形状の変化に関する情報)をもう一方のユーザに伝える作業提示機能

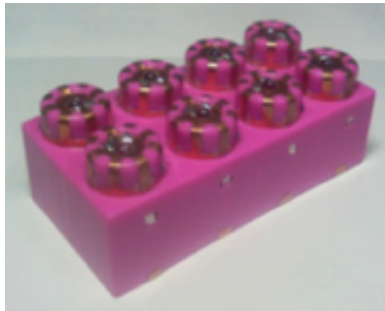


図1 共有ブロック

## ② 共有ブロック管理システムの実装

共有ブロック管理システム(図2)はPC(Windows XP SP3, InterCoreDuo2 1.8G, 4Gbyte RAM上)で動作し、USBシリアル変換ケーブルで接続されたZigBeeモジュール(XBee Series 2, Coordinatorモード)を介して、管理下にある共有ブロックと通信を行う。管理システムは、Java SE6を用いて実装した以下の4つのモジュールからなる。

### (a) 通信モジュール

USBシリアルを介して接続されたZigBeeモジュールとの通信および送受信コマンドのパケット変換を行うモジュールである。シリアル通信には、Java Communication APIに準拠したオープンソースクラスライブラリのRXTXを用いている。

### (b) ブロック接続状況マップ管理モジュール

各共有ブロックと、専用プロトコルに基づいた通信を行い、構築中の作業対象物のブロック接続状況マップを管理更新するモジュールである。

### (c) ブロック接続状況分析モジュール

本モジュールには2つの機能がある。1つは、ネットワークを介して相手側の共有ブロック管理システムと通信を行い互いのブロック接続状況マップの送受信を行うブロック接続状況マップ同期機能である。非同期形状共有作業モード、組み立て再生作業モードにおいては、相手側のブロック接続状況マップのファイルへの保存も行う。もう一つはブロック接続状況マップを分析し、現在のモデリング形状を3D

で可視化しユーザに提示するブロック接続状況マップ3D可視化機能を持つ。本機能は組み立て再生作業モードにおいて記録されたブロック接続状況マップに基づく形状確認のための補助機能である。現時点では、単なる可視化機能しか有しないが、形状をユーザがエディットするための3D形状エディット機能を実装する予定である。3D可視化機能は、Java 3D APIを用いて実装されている。

### (d) ブロック操作解析モジュール

本モジュールは、ブロック接続状況マップを解析し、組み立てユーザに対して提示するLEDの点灯パターンを構成する機能を持つモジュールである。リアルタイム組み立て共有作業モード、およびリアルタイム形状共有作業モードにおいては、相手側と自分側のブロック接続状況マップの差分からのLED点灯パターンを構成する。非同期形状共有作業モードにおいてはブロック接続状況分析モジュールがファイルに保存したブロック接続状況マップを解析しLED点灯パターンを構成し再生する。

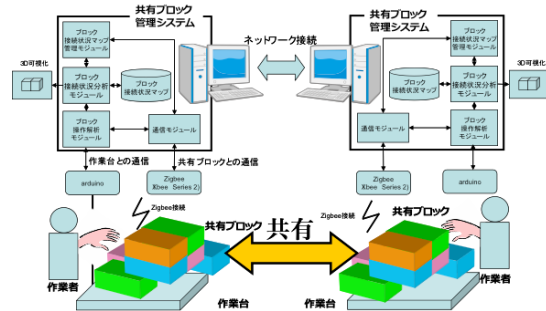


図2 共有ブロック管理システム

## ③ 拡張共有ブロックの実装

一般のブロックにおいては、回転、伸縮、関節といった可動機構を持つ部品が存在する。このようなブロックはその表現能力を向上させるためには重要であり、拡張共有ブロックではこのような可動機構を持つ部品を共有ブロックに導入することを目的とする。

しかし、このような可動機構を先行研究のようなLED等を用いて作業者に提示し、作業者がその情報に基づき可動部を操作し変化を同期する手法では、回転のような細かいアナログ量を直感的かつ正確に把握できるように提示することが困難である。そのため、可動による変化の対称性を実現するためには、可動機構の自動同期が必要になる。また、自動同期により、変化の時間差の改善、手動では困難な繊細な変化の同期が可能となると考えられる。

一般のブロックに存在する可動の形態として、回転、伸縮、関節の動作がある。伸縮、関節は回転運動に変換可能なため、本稿では回転動作の機構を実装した。

回転機能の実装のためには、作業者の操作

による回転量の把握と、その情報に基づき相手側の回転軸を自動的に回転させる機能が必要となる。そこで、ブロック内にインクリメンタル式ロータリーエンコーダ(15度/パルス)およびステッピングモータ(1.8度/パルス)、および減速ギヤを内蔵した。ステッピングモータは電圧がかかっていない場合、手動で回転させることが可能であり、双方向での操作と同期が可能となる。

また、ブロック自体の構造についても、現在は市販の玩具ブロックを利用しており、利用可能な内部の空間が狭く拡張性に限界があることに加え、ブロックの電極を銅箔テープにより実現しているため接続精度が低く耐久性に問題があるため、DCジャックを用いたブロック形状の物体として再実装を行った(図3)。

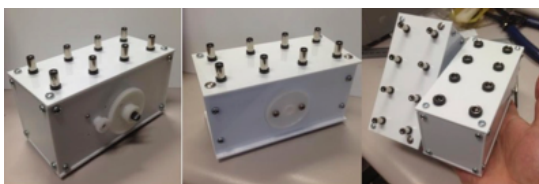


図3 拡張共有ブロック

#### ④ 評価実験

以上のシステムを用い、(1)システムのモデリング機能を評価するためのモデリング機能評価実験、(2)LEDと効果音による操作提示が、ユーザに解釈能力や手間を要求することがなく実用的かつ有効であるか、これにより複雑な作業物体の形状とその変化を作業員間で容易かつリアルタイムに同期することが可能であるか、を評価するための操作提示機能評価実験、(3)拡張共有ブロックの動作の実用性を評価するために、同期精度、同期時間、に関する評価実験、の3つを行い、本システムの実用性と有効性を評価し、実用性と有効性を確認した。

#### <引用文献>

- ① 酒田信親, 蔵田武志, 葛岡英明: レーザポインタと装着型ディスプレイを用いた遠隔協調作業のための視覚的アシスト, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 11, No. 4 pp. 561-568 (2006)
- ② K. Yamazaki, A. Yamashita, H. Kuzuoka, S. Oyama, H. Kato, H. Suzuki, H. Miki: Gesture laser and Gesture Laser Car: Development of an Embodied Space to Support Remote Instruction, in Proc. Of ECSCW' 99, pp. 239-258 (1999)
- ③ 玉木秀和, 山本峻, 岡嶋雄, 坂内祐一, 岡田謙一: MR空間における準同期的な実物体共有による遠隔作業支援, 日本VR学会論文誌, Vol. 12, No. 4 pp. 529-536 (2007).
- ④ 南谷真哉, 北原格, 亀田能成, 大田友一:

遠隔地における複合現実空間の共有: 対面型卓上作業システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2007-53, pp. 91-96, (2007).

⑤ S. Wesugi, Y. Miwa: Facilitating interconnectedness between body and space for full-bodied presence-Utilization of Video projection "Lazy Susan" communication system, Workshop on Presence (Presence 2004), pp. 208-215 (2004).

⑥ 磯和之, 八木貴史, 小林稔, 岩城敏, 石橋聡: 生活融合通信: 空間情報整合化機能, "ComAdapter", 日本VR学会論文誌, Vol. 9, No. 2 pp. 169-178 (2004).

⑦ 坂内祐一, 玉木秀和, 鈴木雄士, 重野寛, 岡田謙一: 実物体を用いたMR空間での遠隔協調作業, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 7 pp. 2465-2476 (2007).

⑧ 宮狭和夫, 坂内祐一, 鈴木雄士, 玉木秀和, 重野寛, 岡田謙一: MR空間における仮想シールを介したシンタックスの異なる実物体の遠隔共有手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 1 pp. 134-147(2007).

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① 佐藤究, 近藤泰宏, 小笠原直人, 布川博士, 可動機能を持つ共有ブロックの拡張, 平成26年度第5回情報処理学会東北支部研究報告 Vol. 5, 査読無, 2015-03, pp1-6
- ② 佐藤究, 山下圈, 高橋要介, 小笠原直人, 布川博士, 中学理科を対象とした実物体指向仮想化学実験システムの実装, 情報処理学会情報教育シンポジウム (SSS2014) 論文集, 査読有, 2014-08, pp. 49-56
- ③ 来迎直裕, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士, 消えるメッセージにより義務感を軽減するコミュニケーションツールの評価, 情報処理学会研究報告 2014-HCI-159(9), 査読無, 2014-07, pp. 1-6
- ④ 佐藤究, 高橋要介, 小笠原直人, 布川博士, 中学理科を対象とした「仮想化学実験キット」の試作, 平成25年度第7回情報処理学会東北支部研究報告 13-7-B3-4, 査読無, 2014-03
- ⑤ 来迎直裕, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士, 消えるメッセージによる義務感を軽減するコミュニケーションツール, 情報処理学会研究報告 2014-HCI-157(1), 2014-03, 査読無, pp. 1-6
- ⑥ 小笠原直人, 阿部允大, 佐藤究, 布川博士, スイッチ押下記録による喫煙ログシステム, 情報処理学会研究報告(ヒューマンコンピュータインタラクション) 2014-HCI-157(32), 査読無, 2014-3, pp. 1-5

⑦ 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士, 携帯端末タッチスクリーンにおける指の接触状況に応じた操作切替の提案と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol. 14 No. 3, 査読有, 2012-08, pp. 271-282

⑧ 佐藤究, 佐藤奈摘, 小笠原直人, 布川博士, 共有ブロックを用いた実物体共有対称型遠隔地組立作業支援システムの実現と評価, 情報処理学会論文誌 Vol. 53, No. 4, 査読有, 2012-04, pp. 1380-1392

[学会発表] (計 8 件)

① 渡邊魁人, 佐藤究, 根本菜実, 小林巖, 布川博士, 小笠原直人, 特別支援教育における書字学習支援アプリ「かける君(極)」, 第 77 回情報処理学会全国大会, 2015-03

② 岸川啓佑, 佐藤究, 小笠原直人, 布川博士, AR 観光バス—AR を用いた観光バスツアーのための観光コンテンツ提供システム—, 第 16 回日本感性工学会大会予稿集, 2014-09

③ 来迎直裕, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士, 返信の期待感を軽減するコミュニケーションツールの提案, 第 16 回日本感性工学会大会予稿集, 2013-09

④ 小野樹, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士, 玉転がしを用いたコミュニケーションデバイスの設計, 第 75 回情報処理学会全国大会講演論文集(4), 2013-03-06

⑤ 来迎直裕, 小笠原直人, 佐藤究, 布川博士, 携帯通知情報提示のための帽子インジケータの評価, 第 75 回情報処理学会全国大会講演論文集(4), 2013-03-06

⑥ 佐々木啓亘, 佐藤究, 小笠原直人, 布川博士, 靴型ウェアラブルデバイスを用いた中近距離コミュニケーションにおける注意喚起手法, 第 75 回情報処理学会全国大会講演論文集(4), 2013-03-06

⑦ Yosuke Takahashi, Kiwamu Sato, Prototype of virtual chemical experiment system, 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing (iCAST 2013 & UMEDIA 2013), 2013-11

⑧ 佐藤究, 畠山卓也, 小笠原直人, 布川博士, 感性的インタラクションを可能とする Object VR のための実世界指向球形デバイス, 第 14 回日本感性工学会大会予稿集 2012, 2012-08-30

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 究 (SATO, Kiwamu)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師

研究者番号： 7 0 2 8 2 0 3 5

### (2) 研究分担者

小笠原 直人 (OGASAWARA, Naohito)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師

研究者番号： 3 0 3 0 5 3 1 2

布川 博士 (NUNOKAWA, Hiroshi)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授

研究者番号： 0 0 2 0 8 2 7 4