

ウェアラブルコンピュータを用いた身体コラボレーション支援

柴 貞行[†] 井上 亮文[†] 加藤 淳也[†]
住谷 哲夫^{††} 重野 寛^{††} 岡田 謙一^{††}

e-mail: shiba@mos.ics.keio.ac.jp

本研究では身体動作を伴う協調作業を「身体コラボレーション」と定義し、ウェアラブルコンピュータを用いた身体コラボレーションの支援について検討する。身体コラボレーションを進める中で、作業者は自分からは見えない場所の状況を別の作業者に問い合わせたり、身体の動かし方を教え合ったりするが、これらのことを言葉だけで正確に伝えることは難しい。本稿では、身体コラボレーションにおける問題点を明らかにし、ウェアラブルコンピュータを用いてこれらの問題を解決する手法について述べる。

Supporting Physical Collaboration using Wearable Computers

Sadayuki Shiba[†], Akifumi Inoue[†], Junya Kato[†],
Tetsuo Sumiya^{††}, Hiroshi Shigeno^{††}, and Ken-ichi Okada^{††}

We call cooperative activities accompanying physical motions as "Physical Collaboration". During cooperative work, a worker commonly obtains information of his/her blind spot from a co-worker, and instructs what actions to take to each other. But it is difficult to communicate instructions correctly by only verbal instructions. In this paper, we discuss challenges about Physical Collaboration, and explain solutions using wearable computers.

1 はじめに

ウェアラブルコンピュータ (WC) はモバイルコンピュータ (MC) の延長と捉えられることが多いが、この2つのコンピュータの特徴は大きく異なる。MC ではキーボードとディスプレイを用いてデスクトップ環境の作業を行うのに対し、WC は少ない操作で装着者であるユーザへの自発的な情報提示が可能である。

この特徴を活かした研究例として、椅子に座った作業者が装着するヘッドマウントディスプレイ (HMD) 上に工程情報を提示することで、卓上での組立作業を支援する試み [1] がある。このように、WC は1人限りの卓上での活動の支援に用いられることが多かった。

しかし実際には、例えば机を運ぶといったような、卓上を離れて複数人により比較的大きな身体動作を伴う協調作業を行うことが多々ある。そこで、本稿ではその

ような協調作業を身体コラボレーションと定義し、これを WC を用いて支援する方法について考える。

以下、2章では身体コラボレーションを定義・分類し、3章で身体コラボレーションの支援に必要な機能について説明する。続いて4章において関連研究について述べ、本研究の特徴を明らかにする。最後に5章で本稿をまとめる。

2 身体コラボレーションの定義・分類

本研究では身体コラボレーションを、

- 複数ユーザ間で
- 身体動作を伴う活動に際して
- 協調作業を行うこと

と定義する。図1に示す荷物運搬などが一例として挙げられる。このような身体コラボレーションは、図2のようにその動作に関する知識や経験、身体の動かし方などの要素で分類される。以下、それぞれについて説明する。

[†] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻
School for Open and Environmental Systems,
Graduate School of Science and Technology,
Keio University

^{††} 慶應義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University



図 1: 身体コラボレーションの一例

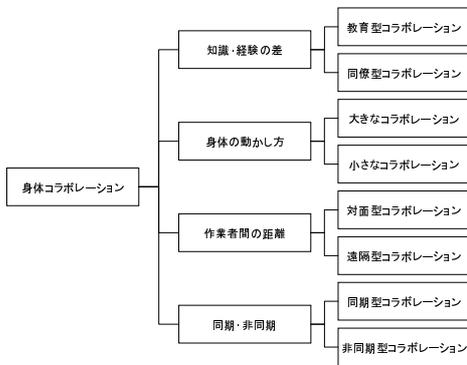


図 2: 身体コラボレーションの分類

2.1 知識・経験の差

身体コラボレーションを行う複数のユーザ間で、対象となる身体動作に関する知識・経験に差がある場合、ある側（指導者）がない側（練習者）に指示を与えながら作業を進めることが多い。そこで、このような身体コラボレーションを教育型コラボレーションと呼ぶこととする。WCを用いてこのような教育型コラボレーションを支援する場合、指導者の身体動作そのものや動作のタイミングといった情報を練習者に伝達し、動作を体験させることが望ましい。組み立て作業を指導する場面 [1, 2] などがこの範疇である。

一方、知識・経験に差がない場合には、試行錯誤し、お互いにアドバイスし合いながら作業を進めることが多い。このような場合の身体コラボレーションを同僚型コラボレーションと呼ぶ。WCを用いる場合には、現在の状況を把握できるような情報を提示し、自分がすべきことを素早く、正確に判断できるようにすることが望ましい。複数人でスポーツをする場面 [3] などがこの範疇である。

2.2 身体の動かし方

身体動作を含む作業では、作業を進めるために移動を伴うなど身体全体を動かす場合と、椅子に座るなどして移動せずにその場で手や指先、足だけのように身体の一部のみを動かす場合がある。そこで、移動を伴う身体コラボレーションを大きなコラボレーションと呼ぶ。この身体コラボレーションにおいては、作業のために両手が塞がるなどするため、コミュニケーション手段が言葉のみになることが多い。このため、「ここ」や「これ」などの指示語が指し示す位置・対象を相手に伝えることのできる手段を提供することが望ましい。荷物を運搬する場面などが考えられる。

これに対し、その場で身体の一部のみを動かす身体コラボレーションを小さなコラボレーションと呼ぶ。動作が小さくなることが多くなるため、動作には概して高い精度が要求される。自転車の修理作業 [4] などが範疇である。

2.3 作業者間の距離

身体コラボレーションを行う作業者間の距離に注目すると、対面環境においては声を出しながら身振り手振りしたり、手を添えたりする。場合によっては、身振り手振りに加えて視線の向きやアイコンタクトといった手段を利用する。このように、文字通り「触れ合える」環境での身体コラボレーションを対面コラボレーションと呼ぶ。

一方、遠隔環境においては、 trasparenバを用いたり第三者を介したりするなど、何らかの手段で間接的なコミュニケーションを図ることになる [5]。このような身体コラボレーションを遠隔コラボレーションと呼ぶ。

2.4 同期・非同期

身体コラボレーションでは映像や音声、後述する力覚などをやり取りするが、このやり取りをリアルタイムに行う身体コラボレーションを同期型コラボレーションと呼ぶ。

さらに、身体コラボレーションは同期型のみならず非同期型コラボレーションも考えることができる。例えば、教育型コラボレーションのように動作を指導することを考えると、指導者と練習者が常にリアルタイムにやり取りすることが困難な場合がある。このようなとき、指導者の動作をデータとして蓄積しコンテンツ化しておくことで、練習者はそのコンテンツにアクセスすると同期型コラボレーションとほぼ同様の効果を得ることが期待できる。

3 必要とされる機能

1章で既に述べたように WC は MC とは違う特徴を有しており、Rhodes らによれば、

- 作業中に持ち運びできる
- 手を使わずに操作できる
- 常に電源がオンである
- カメラや GPS といった環境認識センサを備える
- 必要な場面でコンピュータ側からユーザの注意を喚起できる

と定義されている [6]。この WC を用いることで、作業中に手を使わずに必要な情報を操作したり、ユーザ間でカメラの映像をやり取りしながら身体コラボレーションを進めることが可能になる。ここでは、WC を用いて身体コラボレーションを支援するために必要な機能について説明する。

3.1 映像選択

遠隔型コラボレーションにおいて、映像をやり取りしてお互いの作業状況を確認する場合、スムーズに作業を進めるためには複数のビデオカメラを用意し、複数の映像の中から状況に適した映像を選び出して提示することが望ましい。

また対面型コラボレーションにおいても、作業者は自分からは見えない場所の状況を別の作業者に問い合わせたり、複数人で荷物を運ぶ際に後ろ向きに進むため、振り返って進む方向の状況を確認したりすることがある。これにより、作業が一時中断したり、確認が二度手間になってしまったりする。そこで、作業空間に複数のビデオカメラを設置し、各作業者の状況に適した映像・作業の進行に必要な映像を HMD 上に表示することで身体コラボレーションを支援することが考えられる。

以上のような映像選択を実現するためには、

- 各作業者の置かれた状況判断
- 状況に適した映像を撮影可能なビデオカメラ選択
- 必要に応じてビデオカメラを制御、首振り・ズーム操作を行う

といった機能が必要になる。

3.2 映像の提示方法

映像を表示する HMD としては片眼用/両眼用や透過型/非透過型などが挙げられるが、他の作業をしながらの「ながら見」に使われることから、身体コラボレーションには片眼用・透過型が適していると言える。そのような HMD として代表的なものに Data Glass 2 [7] がある。これは約 60cm 先に設置した 13 インチのディスプレイ上に表示される 800 × 600 ドットの映像を片目で見るのと同様の効果があるが、一度に複数の映像を表示すると 1 つ 1 つの映像が小さくなってしまい、それらの映像を見るために HMD に集中して「ながら見」ではなくなってしまう。そこで、複数の映像を同時に表示する場合には、映像の中でも特に重要な部分にズームインして見やすくするなどの機能も必要になる。

また、身体の正面方向とカメラの映し出す方向の差が大きいと、実世界と映像の中の左右が逆転してしまう、作業者に混乱を与えてしまうことがある。このため、どのような提示方法が望ましいのか、実験を通して実証していく予定である。

3.3 指示語の理解

身体コラボレーションでは、作業中に「そこ」「むこう」のような指示語を使うことが多い。しかし図 3 のように、指示語に身振り手振りを加えて指し示す位置を伝えようとしても、正確にその位置を伝えることは対面型コラボレーションにおいてさえ容易ではない。遠隔型コラボレーションではコミュニケーション手段が限られてしまい、さらに難しくなる。

注目すべき部分をポインタにより強調表示して指し示す位置を伝える試み [2] のように、やり取りする映像に処理を加えるような機能が効果的だと考えられる。



図 3: 指示語の理解

3.4 身体動作の取得

身体コラボレーションを進める中では、作業員間で身体の動かし方をやり取りすることがある。例えばビール注ぎを考えると、ビールをおいしく注ぐためには液体部分と泡部分の割合を7対3に近付けることが重要であり [8]、そのためにはビールを注ぐ側・注がれる側がお互いの動きに合わせてビール瓶・グラスの傾け方などを変化させなければならない。このように、複数ユーザがそれぞれの動作に応じて自身の動作を適応させていくことは「素人」には容易ではない。

また教育型コラボレーションにおいては、指導者は身体の動かし方の「コツ」と呼ぶべき情報を練習者へ指導するが、指導者と練習者の思い浮かべるものが一致しなければ「コツ」を正しく指導することはできない。そこで、練習者に提示される情報に複数解釈の余地がないよう、指導者が伝えようとする身体の動かし方を直接伝えることが望ましい。

以上のような場面では、従来は映像や音声をやり取りしていたが、こういった手段は身体の動かし方やその「コツ」を伝える手段としては間接的である。身体動作を伴う協調作業を支援する以上、直接的な方法としては手取り足取りするなど、お互いの身体動作自体をやり取りすることが挙げられる。これには身体動作を取得する機能が必要になるが、手の動きを取得できる CyberGlove[9] や身体全体の動作を取得可能な ShapeTape[10, 11] など、装着した上での身体動作に耐え得る機材を用途に応じて用いることで、必要な身体動作を定量的に取得することができる。実際 CyberGlove を用い、指の動きでキー入力を可能にする試み [12] がある。

3.5 力覚コミュニケーション

前節のように身体動作を取得した上で、その情報を基にして身体動作を入出力とする力覚コミュニケーション機能を実現することが身体コラボレーションには効果的であると言える。力覚コミュニケーションとは、図4に示すように身体の動かし方や力の入れ具合といった力覚を言葉などの手段に因らず直接伝え合うコミュニケーションである。

身体コラボレーションにおいては、相手の身体の動かし方・力の入れ具合が分からなければ自分にとっての適切な動作を決めることができないことがある。例えば、遠隔環境において道具の使い方を指導する教育型コラボレーションを進める場合、まず指導者が練習

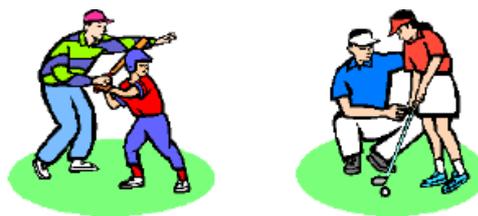


図 4: 力覚コミュニケーション

者へ道具の持ち方・動かし方・それらの「コツ」などを言葉で説明したり、自分自身の動作を映し出す映像を見せながら指導する。次に、練習者は指導に従って自分なりに動作するが、指導者は練習者の動作を受けてさらに必要な指導をする。ここで、指導者・練習者ともに、映像や音声だけではなく力覚が伝わってくればより適切な指導が可能になる可能性が高い。

力覚コミュニケーションには以下のような機材を用いることができる。

強制動作型

作業者は WC とともに、動作を制御できないいわゆるギブスのような機材を身に付ける。WC 間で動作に関する情報をやり取りし、その情報を基に WC がギブスを制御することで力覚を伝達する。CyberGrasp[9] などが利用可能であると考えている。

警告型

強制動作型とは違い、動作は練習者の意思で行う。望ましい動作の軌道外で動作しようすると負荷をかけるなど、何らかの警告を発する機材を身に付ける。WC でこの機材を制御する。

4 関連研究

4.1 Wapache

Wapache[13, 14] とは WC に実装する WC 用のサーバであり、このサーバに接続されているカメラやマイク、GPS などの機器・センサから映像や音声、位置情報といった情報をリアルタイムに発信できる仕組みが提供されている。このようなリアルタイムな情報は、DB に蓄積されたデータとは異なる形で他の人の役に立つ情報を含んでいる可能性が高いと考え、移動中に外部

から得られる情報を積極的に発信している。

WC をコンテンツの受信・閲覧だけではなく、複数人の中での情報のやり取りに利用するという考え方は本研究と同様である。そこで、力覚などの情報をやり取りできるよう拡張するなど、Wapache を基盤として身体コラボレーションに取り組んでいく予定である。

4.2 Wapplet

Wapplet[15] は WC がサービスを利用するためのサービスフレームワークである。I/O や機能面などの物理的制限のために利用できる資源やサービスが少ない WC 環境の利便性を向上することに主眼を置いている。

WC の物理的制限を補助することができ、なおかつ身体コラボレーションを進める妨げにならないサービスが作業空間内において利用可能な場合には、そのサービスを積極的に活用すべきであるが、本研究では WC の装着者単独にとっての利便性を高めるアプリケーションの実現が目的ではない。複数人が WC を身に付けながら身体動作を伴う協調作業を行う場面を想定し、WC で支援できる機能を提供することを目的としている。

4.3 HyperDialog

HyperDialog[16] は対面コミュニケーションを支援するシステムである。WC に実装されたエージェントがユーザの室内における位置と方向を認識し、その情報をモバイルエージェントへ伝達する。それぞれのユーザに対応したモバイルエージェントが協調しながら、相手とのコミュニケーションに必要となる可能性のある情報を交換し合う。

このシステムでは個人情報を発信し合ってコミュニケーションを支援するが、本研究ではコミュニケーション全般を対象とするのではなく、身体コラボレーションに特化した支援手法として映像や音声、力覚などをやり取りする。また、対面環境でのコミュニケーションを支援する点は同様であるが、身体コラボレーション支援においては対面環境のみならず、遠隔環境でのコミュニケーションも想定している。

4.4 遠隔協同作業空間

遠隔地の 2 者間で卓上の作業を共有する空間の構築を目的とした試み [17] では、作業者の前に設置された大型スクリーンに作業者の等身大映像を投影するだけ

ではなく、遠隔地の手元の様子を自分の机の上に投影している。これにより、遠隔地の複数の人間によって協同作業を行う環境を実現した。

複数の人間が参加する協同作業に注目し、相手の作業状況を確認するために手元映像をやり取りし合う点は同様である。しかし、本研究では比較的大きな身体動作を伴う協調作業を対象としており、力覚のやり取りを想定するなど着目点が異なる。

5 まとめ

本論文では身体コラボレーションについて取り上げ、これを WC を用いて支援する方法について考えた。従来のように、何も処理を加えない映像や音声のみで身体コラボレーションを支援することには難しい場面が多くあることを指摘した。そこで、作業空間にカメラを設置し、各作業者にとって適切な映像を HMD 上に提示する機能や、身体動作そのものをコミュニケーションの一手段とする力覚コミュニケーションなど、身体コラボレーションに必要な機能・機材について説明した。

今後は、本稿で説明した 1 つ 1 つの機能・新たな機能についてさらに考察を進め、プロトタイプシステムの実装およびプロトタイプシステムを用いた評価実験を行っていく予定である。

謝辞

本研究の一部は 21 世紀 COE プログラム研究拠点形成費補助金のもとに行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Susan R. Fussell, Leslie D. Setlock, and Robert E. Kraut. Effects of head-mounted and scene-oriented video systems on remote collaboration on physical tasks. In *Proc. of ACM CHI*, pp. 513–520, 2003.
- [2] Susan R. Fussell, Leslie D. Setlock, Elizabeth M. Parker, and Jie Yang. Assessing the value of a cursor pointing device for remote collaboration on physical tasks. In *ACM CHI '03 extended abstracts*, pp. 788–789, 2003.

- [3] Florian Mueller, Stefan Agamanolis, and Rosalind Picard. Exertion interfaces: sports over a distance for social bonding and fun. In *Proc. of ACM CHI*, pp. 561–568, 2003.
- [4] Susan R. Fussell, Robert E. Kraut, and Jane Siegel. Coordination of communication: effects of shared visual context on collaborative work. In *Proc. of ACM CSCW*, pp. 21–30, 2000.
- [5] 上地庸介, 高橋秀也, 志水英二. ウェアラブルコンピュータを用いた協調作業システム. ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 3, No. 1, pp. 37–39, 2001.
- [6] B. J. Rhodes. The wearable remembrance agent: A system for augmented memory. In *Proc. of ISWC*, pp. 123–128, 1997.
- [7] 株式会社島津製作所.
<http://www.shimadzu.co.jp/hmd/>.
- [8] SAPPORO ビール図書館.
<http://www.sapporobeer.jp/lib/lib.html>.
- [9] Immersion Corporation.
<http://www.immersion.com/>.
- [10] Tovi Grossman, Ravin Balakrishnan, and Karan Singh. An interface for creating and manipulating curves using a high degree-of-freedom curve input device. In *Proc. of ACM CHI*, pp. 185–192, 2003.
- [11] measurand inc.
<http://www.measurand.com/products/shapetape.html>.
- [12] 岡本泰治. サイバークロブを用いた入出力方式に関する研究. 電気情報通信学会技術研究報告, Vol. IE2002-252, pp. 167–171, 2003.
- [13] 井上亮文, 高久宗史, 柴貞行, 加藤淳也, 重野寛, 岡田謙一. W4:ウェアラブルサーバによる個人情報発信型アーキテクチャ. 情報処理学会研究報告, Vol. 2003-DPS-112, pp. 49–54, 2003.
- [14] 高久宗史, 井上亮文, 柴貞行, 加藤淳也, 重野寛, 岡田謙一. ウェアラブルネットワーク環境での Uplink サービスフレームワーク. 情報処理学会研究報告, Vol. 2002-DPS-110, pp. 61–66, 2002.
- [15] 永田智大, 村瀬正名, 西尾信彦, 徳田英幸. Wapplet: ウェアラブルネットワークにおけるサービスフレームワーク. 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2000) シンポジウム論文集, Vol. 2000, No. 7, p. 625, 6 2000.
- [16] Katashi Nagao and Yasuharu Katsuno. Agent augmented community: Human-to-human and human-to-environment interactions enhanced by situation-aware personalized mobile agents. In *Community Computing and Support Systems*, Vol. 1519 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 342–358. Springer, 1998.
- [17] 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一. 臨場感のある遠隔協同作業空間の構築. 第 14 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 463–468, 1998.