

実世界指向の仮想共有空間

葛岡 英明

筑波大学 機能工学系
kuzuoka@esys.tsukuba.ac.jp

はじめに

人々の共同作業を観察すると、実空間の持つ自由度を最大限に活用していることが分かる。たとえば我々は、コミュニケーションをしながらいろいろな方向を見たり空間内を移動したりすることができるし、紙から機械にいたるまでいろいろな実物体を扱うことができる。

ところが、これを遠隔的に行わせようとするとなると問題が生じてくる⁴⁾。たとえばテレビ会議システムを使う場合を考えてみよう。対話者が表示される大型のディスプレイはほとんど動かすことができないし、テレビカメラもその上に固定して置いてある。したがって、参加者は必ずシステムの前に座っていなければならない、相手の空間内を自由な位置から見ることもできない。何か物を見たいときにはそれをカメラの前に持ってきてもらわなければならない、見えたとしてもそれに触ることはできない。このようにテレビ会議システムを利用したインタラクションは、利用できる空間をディスプレイとカメラの前の狭い範囲に限定してしまうのである。

しかし、ここ10年ほどの間にディスプレイもカメラも小型化して簡単に持ち運びできるようになった。コンピュータもやはり小型化し、持ち歩いたりいろいろな物体に埋め込んだりすることができるようになりつつある。実世界志向の仮想共有空間とはこれらの技術を利用することによって、遠隔的に空間を動き回ったり実物体を操作したりすることを可能にして、実空間の持つ自由度をできる限り利用させようとするシステムである。

次章ではまず我々が実空間においてどのようにコミュニケーションをしているかを考察してみよう。

実空間におけるコミュニケーション

たとえばAさんがBさんに対して本をとるように指示をしたとする。まず、Aは本とBが見えて、しかもBから自分が見えるような位置に移動し、本を指さして「これをとって」と言う。するとBは本の方向に身体と視線を向け、「分かった」と言うことによって、指示を理解したことをAに対して示す。AはBの返事と視線を確認しながら、指さしをした手を下ろすことによって、Bの理解を確認したということをBに対して示す¹⁵⁾。

さて、この例から身振り手振りといったジェスチャが有効に利用されていることが分かるが、ここで特に重要なのは、そうしたさまざまな行為が相互に観察されているからこそ、インタラクションが成立しているということである。そして、そうした相互観察が可能なのは、ジェスチャが共有しようとする対象物や対話者に対して適切な位置で使われているからである。すなわち手振りを含めたすべてのジェスチャは、対話者がそのジェスチャと対象物双方を見ることができるところに示されなければならない。また、そうしたことができるような適切な位置に参加者全員が身体を移動しなければならない。

前述の例でもう1つ重要なことは、空間内の任意の位置に配置された実物体を共有の対象とすることができるという点である。対象物に対する指しは相当明確に認識されるし、対話者全員がその対象物に触って操作することが可能なのである。遠隔的共同作業において、こうしたインタラクションを支援するために、ヒューマンインタフェースやCSCWの分野でさまざまなシステムが提案されてきた。次章以降ではそれらの考え方とシステム例を紹介する。

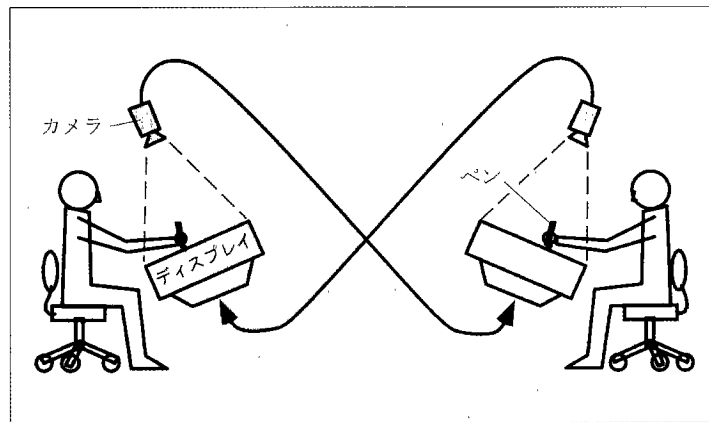


図-1 VideoDrawの概念図

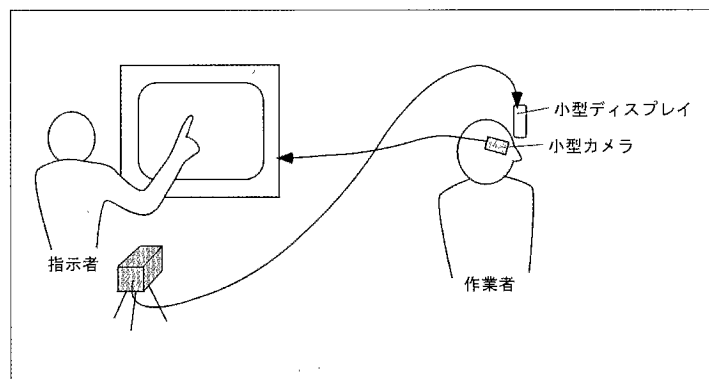


図-2 SharedViewの概念図

動作の共有

視線、手振り、身体の向き、そして作業に伴うその他の動作は、コミュニケーションに対して重要な役割を果たしている。たとえば、対話者が何に志向しているのか（何を見ているのか、どちらに身体を向けているのか）という情報によって、対話者がこれから何をしようとしているのかを予測することができるため、それに対応して自分の次の行動を迅速に決定することができる。このように動作は、単に何かをしているという事実を示しているのではなく、何をしようとしているのかという意図をも示しているのである。

Tangらは、複数の設計者が絵や文字を描きながら共同設計を行う場合の手の役割について詳しく分析した。その結果、このような作業において重要なのは、絵が作成

されていく過程とそれに伴う手の動きが見えることだということを明らかにした。そして、遠隔地に分散した2人の参加者の描画とそれに対する手による作業のビデオ映像を合成して、あたかも1つの机を2人が共有しているかのように見せることのできるシステム（VideoDraw）を開発した（図-1）^{14）}。

この後、石井と小林は描画と手振りに加えて、顔の映像をリアルタイムに重ねて表示することによって、視線や顔の向きから志向を伝達できるシステム（ClearBoard）を開発した^{5）}。いずれのシステムも、描画情報とそれに対するジェスチャを重ねることによって、両者をごく自然に観察可能にしているという点が重要である。

さて、これらのシステムは机上の描画を共有したが、空間内の任意の物体を共有するシステムとしては、筆者らのSharedViewがある^{8）}。これは、遠隔地の指示者が作業者に対して作業指示をするためのシステムである。ま

ず、作業者の頭部に搭載したカメラの映像が遠隔地の指示者のディスプレイへ送られる。次に指示者はこのディスプレイ上で手振りを使う。このディスプレイと手振りを再びカメラで撮影して、作業者の頭部に搭載されたディスプレイへ送り返すと、作業者は自分の見ている対象物に対して手振りで指示を受けることができる(図-2)。

このときの指示者は、作業者におんぶをして肩越しに指示をしているかのような位置関係にあり、これは作業者がいかに動き回ろうとも変化することはない。両者は互いに視線方向が一致していることを認識しているため、容易に「右」「左」といった言語表現を利用し、これらが誤って解釈されることは少ない。このシステムは、実空間を移動可能にするとともに、視線や手振りを相互に観察可能にした例であるといえる。

筆者らはその後、遠隔操作型のロボット(Gesture-Cam¹⁰⁾、GestureMan¹¹⁾)を指示者の代理として利用することで、指示者の視線や身体の向きを伝えるを試みている。これらのシステムを利用した実験から、遠隔操作されたロボットの姿勢の変化やカメラの向きの変化が作業者に自然に観察可能であり、指示者の意図を予想できていることが分かった。またGestureManは、移動型のロボットを利用したため(図-3)、実空間内において、対話者や作業対象を観察可能な位置にその身体を配置することができた。このように適切な身体配置を動的に保つことができるということが、実空間におけるコミュニケーションにおいて重要であることが確認できたのである。

GestureManのもう1つの特徴は、遠隔操作型のレーザーポインタを搭載し、これを手振りの代わりに利用できるという点である。このレーザーポインタは、あたかもコンピュータのマウスカーソルのようにして、マウスで照射位置を遠隔操作できる。これによって、単に場所を示すだけでなく、光の動きでスライドスイッチの動作方向やロータリースwitchの回転方向といった、動作の指示を行うこともできる。ここで興味深いのは、光の点の動きは手振りに比べるとはるかに表現力が劣るように思えるが、説明すべき対象物に直接照射され、言葉によって動きの意味を補完することによって、多様な表現が可能になったという事実である。人間は新たな表現手段が加わったり、ある表現手段が欠けたりしても、他の表現手段と相互補完的に利用することによって、効率よくコミュニケーションをすることができるのである。

このことは、人間とコミュニケーションをするロボッ

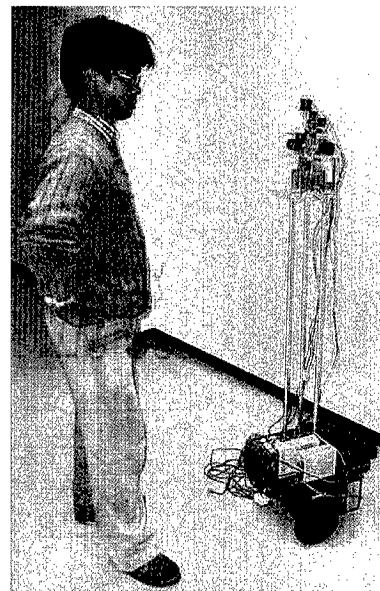


図-3 GestureMan

トの設計に対して興味深い示唆を与える。手の動きがぎこちなくとも、できるだけ人間の手に近い形状を持たせるべきか、形状は簡略化してもそのリアルタイムな制御性を優先するべきか。手以外にも頭や目はどのように設計すべきであろうか。こうしたトレードオフはロボットの目的や、そのときの技術レベルに応じて選択する必要がある。

実物体の共有

先述のVideoDrawやClearBoardで共有できたのは主として平面的な描画であった。しかし共同作業の中には、生産現場における機器の修理や、設計現場における模型の製作、あるいは医療における手術など、実物体を共有しなければならないことも多い。筆者らのSharedView等は、映像として物体を共有することはできたが、遠隔地の物体に実際に触ることはできなかった。

これに対してNTTのSharedArmは、マスタスレーブ型のマニピュレータを利用して遠隔地の物体を動かそうとするシステムである¹³⁾。この研究はロボティクスにおけるテレオペレーションの研究というよりも、遠隔操作者の代理として動く腕型マニピュレータと、その傍で作業をする人間との親和性を研究することが目的であっ

た。物体共有のもう1つの方法として、各地点にまったく同一の物体を用意し、それらの動きを完全に同期させることによって、あたかも実物体を共有しているかのように見せようとする考え方がある。たとえばPSyBenchは、コンピュータ制御の磁石によって駒を自動的に動かすことのできるチェス盤をネットワークで接続し、片方で駒を動かすともう片方のチェス盤の駒も同様に動くシステムである²⁾。このシステムは単なるゲームが目的なのではなく、机上で実物体を使いながら行われるさまざまな共同作業に応用することを目指している。

存在感・心の共有

長期的な共同作業をする人々は常にこのようなリアルタイムのインタラクションをしているわけではなく、ほとんどの時間は個人的な作業をしている。こうした人々が共同作業を円滑に進めるために重要なのは、日常の偶発的なインタラクションであることが知られている⁷⁾。これは、たとえば廊下やラウンジで偶然に出会ったときにはじまる会話や、急に必要が生じてはじめるミーティングなど、その時々思い付きで開始されるのである。このような偶発的なインタラクションを実現するために必要なのが、インフォーマルなアウェアネスである。これは、お互いに同じ場所で仕事をしている間に、誰が近くにいるのか、他人が何をしようとしているのかということをなんとなく意識できるということである。しかし、分散したグループでは偶発的なインタラクションが行えないため、このような環境におけるインフォーマルなアウェアネスや偶発的なインタラクションを支援するシステムが研究されている。

初期の研究として1990年代前半に行われていたのは、地理的に分散したオフィスやラウンジ等を常時ビデオ回線で接続してその映像を専用のモニタに表示し、対話者の存在やその様子に気が付くようにしようとするものである¹⁾。しかし、この方法では自分の様子がいつも他人に動画で見えてしまうことによるプライバシー侵害の問題が生じる。そこで考案されたのが、相手のオフィス内の静止画像を数分おきに撮影し、それをコンピュータディスプレイのウィンドウに表示するというものである(Porthole)³⁾。この方法では静止画しか送られないため、動画を送るよりはプライバシーが保護されるし、システムに対する付加もかなり小さくすることがで

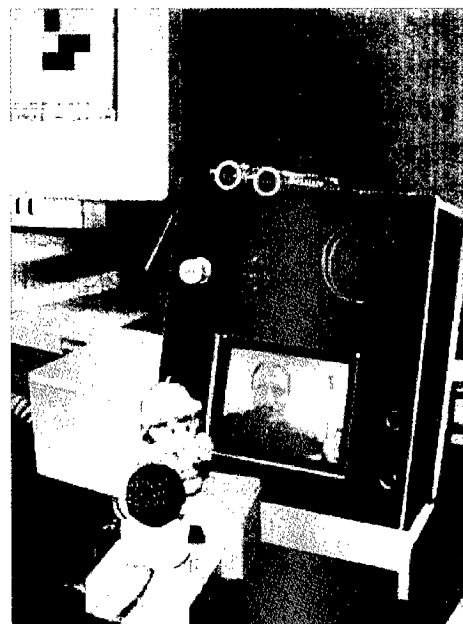


図-4 Digital but Physical Surrogates

きる。しかしPortholeの問題点は、静止画表示用のウィンドウは普通、ワープロやメール用のウィンドウの下に埋もれてしまい、意識して前面に出さない限りまったく気が付かなくなってしまうという点である。偶発的なインタラクションを支援するためにアウェアネス情報を提示するのであれば、むしろ周辺視野の中にさりげなく、しかし常に見えるように提示するシステムが必要である。

ここで実世界志向の考え方を利用すると、情報を提示するデバイスはディスプレイである必要はなく、実世界に存在するあらゆる場所や実物体がデバイスとなり得る。そうすることによって、文字通り視野の周辺部分にアウェアネス情報を提示することが可能となるのである。

この考え方に基づいて試作されたMITのambient-ROOMでは、そよぐ風、雨の音、天井に投影された水面の波紋の変化によって、わずかな認知的負荷でユーザに情報を提供することが可能である⁶⁾。

一方、筆者らによるDigital but Physical Surrogatesは、他のメンバの代理(surrogate)となる物理的なデバイスをコンピュータ画面の外に置き、これらによってアウェアネスからリアルタイムの会話までシームレスに支援することをめざしている⁹⁾。

図-4にシステムの例を示す。遠隔地のオフィスに仕掛

けられたセンサがメンバの行動を検出すると、自分のオフィスにある代理人形が正面を向くので(図中こちらを向いている人形)、他のメンバの存在に気が付くことができる。そのメンバと実際にコミュニケーションをとりたいときには、ビデオ・ユニットに顔を近づけると、音声・ビデオ回線が開かれる。ビデオ回線の接続を受け付けなければ自分の代理人形(図中で読者に背を向けている人形)を横に倒せばよい。こうした実物体は、普段は視野の端に見える程度の場所に置くことが可能であり、仕事の邪魔をせずにアウェアネス情報を提供することが可能である。

さて、こうした実物体を利用した表示デバイスは、その表現方法の芸術性を高めることによって、人々の心の共有を支援することが可能となる。たとえばStrongらのFeather, Scent, Shakerは、恋人同士のような親しい間の2人の心を伝えることを支援するシステムである¹²⁾。たとえば、遠くにいる男性が恋人の写真が入った写真立てに触ると、彼女の部屋にある羽がふわふわと宙を舞ったり、香料の蒸発によるほのかな香りが発せられたりする。こうした美的な表現によってその想いを伝えようというのである。

BraveらのInTouchは、モータ駆動されたローラ2台をネットワークで接続したシステムで、片方のサイトでローラを転がすと他サイトのローラも同様に回転するように制御されている²⁾。親しい2人がお互いの手の動きを感じるによって、あたかも手を握り合っているかのようにしてコミュニケーションできるのである。これらのシステムは非直接的な表現手段をとることによって、感性に働きかけようとする試みである。こうしたシステムの実用性を考えた場合、あいまいな表現による利点(じゃまにならない、感覚に訴えかける)と欠点(意図が分かりづらい)のバランスをどのようにとるかということは、まだ研究の余地がある。



おわりに

本稿では、実世界志向の仮想共有空間に関して、その考え方と研究例を紹介した。こうしたシステムを設計する際に、実世界の現象を模倣しようとする考え方がある。たとえば限りなく本物に近い人間型ロボットを開発し、これに遠隔地の人間の代理をさせたり、究極のバーチャルリアリティシステムによって遠隔地の人物や物体をCGで再合成したりする方法である。しかし一方で、現実とは異なる方法であっても必要な機能の支援を迫及しようとする考え方もある。

いずれの考え方を採用するにしても、人間とのインタラクションを目的としてシステムを設計するのであれば、人間のコミュニケーションを理解しようとする研究の中から、システムに必要な機能を明らかにし、その機能の支援を優先して考えるべきで、実世界を模倣するのかもしれないのかということは、その結果でしかない。

参考文献

- 1) Bly, S., Harrison, S. and Irwin, S.: Media Spaces: Bringing People Together in a Video, Audio and Computing Environment, Comm ACM, Vol.36, No.1, pp.28-47 (1993).
- 2) Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, Proc. of CSCW'98, pp.169-178 (1998).
- 3) Dourish, P. and Bly, S.: Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group, Proc. ACM CHI'92 (1992).
- 4) Heath, C. and Luff, P.: Disembodied Conduct: Communication through Video in a Multi-Media Environment, Proc. of CHI'91, pp.99-103 (1991).
- 5) Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, Proc. CHI'92, pp.525-532 (1992).
- 6) Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, Proc. of CHI'97, pp.234-241 (1997).
- 7) Kraut, R., Egidio, C. and Galegher, J.: Patterns of Contact and Communication in Scientific Collaboration, Proc. ACM CSCW'88 (1988).
- 8) Kuzuoka, H.: Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Support System for Remote Collaboration Capability, Proc. of CHI'92, pp.533-540 (1992).
- 9) Kuzuoka, H. and Greenberg, S.: Mediating Awareness and Communication through Digital but Physical Surrogates, Proc. CHI'99 Extended Abstracts, pp.11-12 (1999).
- 10) Kuzuoka, H., Kosuge, T. and Tanaka, M.: GestureCam: A Video Communication System for Sympathetic Remote Collaboration, Proc. of CSCW'94, pp.35-43 (1994).
- 11) Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Suzuki, K. and Mitsuishi, M.: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies Remote Instructor's Actions, Proc. of CSCW'2000, pp.155-162 (2000).
- 12) Strong, R. and Gaver, B.: Feather, Scent and Shaker: Supporting Simple Intimacy, Poster Proc. of CSCW'96, pp.29-30 (1996).
- 13) 鈴木 元: メディアによる共同作業支援, bit別冊, 仮想現実学への序曲, 原島 博他(編), 共立出版, pp.166-172 (1994).
- 14) Tang, J. and Minneman, S.: VideoDraw: A Video Interface for Collaborative Drawing, Proc. of CHI'90, pp.313-320 (1990).
- 15) Yamazaki, K., Yamazaki, A., Kuzuoka, H., Oyama, S., Kato, H., Suzuki, H. and Miki, H.: GestureLaser and GestureLaser Car: Development of an Embodied Space to Support Remote Instruction, Proc. of ECSCW'99, pp.239-258 (1999).

(平成13年1月18日受付)

