

1. はじめに

かつて米 Xerox 社のパロアルト研究所 (Palo Alto Research Center: PARC) では、遠隔地を音声・実画像通信で結ぶことによって、遠隔地間でも十分に対面に近い存在感や親近感を得られる上に、従来とは異なる新たな共同作業の方法論が創発することを見い出した。そしてこのようなメディアによって作り出されたコミュニケーション空間をメディアスペースと名付けた⁽⁵⁾。

その後、Xerox 社を中心として、メディアスペースに関する研究がいくつも行なわれてきたが、そのほとんどが共同描画のような 2 次元平面上の作業の支援か、オフィス間のコミュニケーション支援のための研究であった。従って、テレビカメラは固定して設置され、机の上の平面を撮影するか、ユーザの顔画像を撮影するに留まっていた。

一方筆者らが支援を試みているのは、工学部における学生実験のような実習型の授業における教師と生徒のコミュニケーションである。これは、教師が多数の学生に向けて講義を行なうといった形式のものとは異なり、機器の操作や組み立ての指導を伴う。しかも、一人一人の学生の状況を把握し、個別に適切な指示を行なわなければならない。従って、遠隔学生実験を実現するシステムには、教師と学生との細かいインタラクションを支援することが要求される。従来の遠隔授業のように、もしカメラが固定して設置されていたのでは、この様な実習型の授業は十分に支援できない。カメラは自由に個々の学生の机へ運べて、さらに机の上に置かれた機器や生徒の顔を自由に見回せるように、遠隔操作可能でなければならない。

Buxton はメディアスペースの設計原則の 1 つとして、電子的な通信が作り出した社会の中でも、実際の世界で起こるのと同様な社会的プロトコルを使用するべきであると述べている⁽⁴⁾。そしてこの原則を満たす手段として、実画像通信システムを対話者の代理 (surrogate) であると考えたことを提案している。例えばカメラは目の代理でありスピーカは口の代理と考えることとなる。

筆者らは実習型の遠隔授業を支援するために、教師の目と手の代理となるべき遠隔操作型のカメラロボットを開発している。本論文ではまず、システムが教師の代理となるために必要とされる機能について考察し、次にシステムの提案を行ない、最後にそのシステムを利用した実験に基づいた考察を述べる。

2. 教師の代理としてのカメラロボット

筆者らは、機器の操作方法を教師が生徒に指示する際のコミュニケーションを解析することによって、「見たいものを見る、見せたいものを見せる」という行為の支援が重要であることを確認した。単に見たいものを見るのであれば遠隔監視カメラで十分であるが、教師が生徒に対して見せたいものを見せる必要があるという点が重要なのであり、そのためには、カメラロボットに教師の代理としての役割を果たさせることが有効であると考えら

れる。この考え方にに基づき、以下にカメラロボットに必要とされる機能について述べる。

2.1 視点の自由な移動

指示を行なう際、教師は生徒の顔、生徒の行なう操作、機器上の動作部分や表示部など、見る場所を頻繁にかつ自由に変更する。従来の在籍会議システム(例えば⁽⁶⁾)で利用されているテレビカメラは固定して設置されているため、このような視点の自由な変更には対応できない。

商用のテレビ会議システムではパン・チルトが可能なテレビカメラが利用されているが、通常は遠隔操作は行なわれないし、その動作は遅く、人間が行なうような高速の視点変更はできない。また、人間は1つの対象物でも様々な方向から見られるなど、その視点は多くの自由度を持っていることを考えると、パンとチルトの2自由度しか持っていないことも問題である。

従って、システムは人間の自由な視点の移動をできる限り支援できるように、十分な自由度を持ち、遠隔操作可能で、できるだけ速く動かせることが好ましい。

2.2 gaze awareness

対面でのコミュニケーションでは、対話者の視線を認識できることが重要であることが知られている。石井らはこれを gaze awareness と呼んだ⁽³⁾。教師と生徒のコミュニケーションにおいても、教師の視線がわかることは、これからどの対象物に関する説明がなされるのか、あるいは今どの対象物に関して説明がなされているのかを生徒が知るために重要な情報である。また、生徒の視線を知ることは、説明されている対象物を正しく見ているかどうかを教師が判断するために重要である。従ってシステムは教師や生徒の視線を伝達できることが望ましい。

2.3 指さし

作業指示では次々と説明する対象物を指し示しながらコミュニケーションが行なわれるため、指さしも効率の良いコミュニケーションのために大きな役割を果たす。指さしが利用できない場合には教師は言葉で対象物の位置を説明しなければならず、余分な時間を費やすことになる。従って、教師は何らかの手段によって遠隔地にある対象物をさし示せることが好ましい。

3. GestureCam システム

GestureCam システムは前章の要求に基づいて開発中の実画像通信システムである。詳細は既に⁽⁴⁾に記述されているので、ここでは簡単に紹介する。

3.1 GestureCam

GestureCam は3自由度のアクチュエータに小指大のカメラとレーザポインタを搭載し

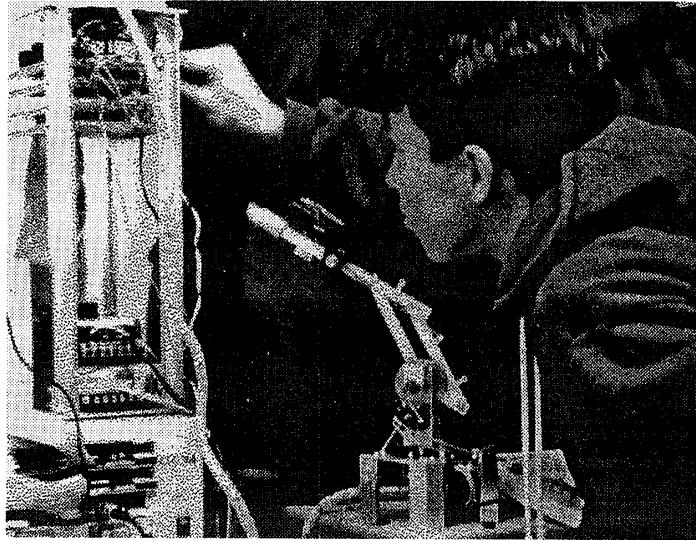


図1 GestureCam を利用した作業指示風景

たカメラロボットである。このロボットを教師が操作することによって、生徒側の様子を自由に見回したり、レーザポインタを利用して特定の対象物をポインティングすることができる。

GestureCam は小型に設計されていて、生徒のそばに置くことができるので、生徒はその動作を常に認識し易い。従って、GestureCam は gaze awareness を支援することが期待できる。これによって、生徒は教師の視線がわかるため、どの位置がポインティングされるか予測することができる(図1)。これは、レーザポインタの小さな点の発見を助けるための重要な機能である。

3.2 コントロール用インタフェース

前述の「GestureCam」という名称はカメラロボット本体を意味し、「GestureCam システム」とは、ここで紹介するマスタアクチュエータ(以後マスタ)とタッチパネル等のインタフェースを含んだ名称である。図2に GestureCam システムの構成例を示す。GestureCam、広角カメラ、そしてディスプレイが生徒側に設置され、マスタとタッチパネル付きディスプレイが教師側に設置される。GestureCam 上のカメラからの映像は生徒側のディスプレイと教師側のタッチパネル付きディスプレイの双方に表示される。マスタやタッチパネル付きディスプレイといったように、複数のインタフェースを用意しているのは、各種の手法を比較検討するためである。

3.2.1 マスタアクチュエータ

マスタアクチュエータは GestureCam と同様の機構を持っており、GestureCam は常にマスタと同じ姿勢をとるように制御される。従って、教師はマスタを動かすことにより、GestureCam の姿勢を直観的に制御することができる。

3.2.2 タッチパネル付きディスプレイ

タッチパネル付きディスプレイも教師側のインタフェースとして利用されている。教師

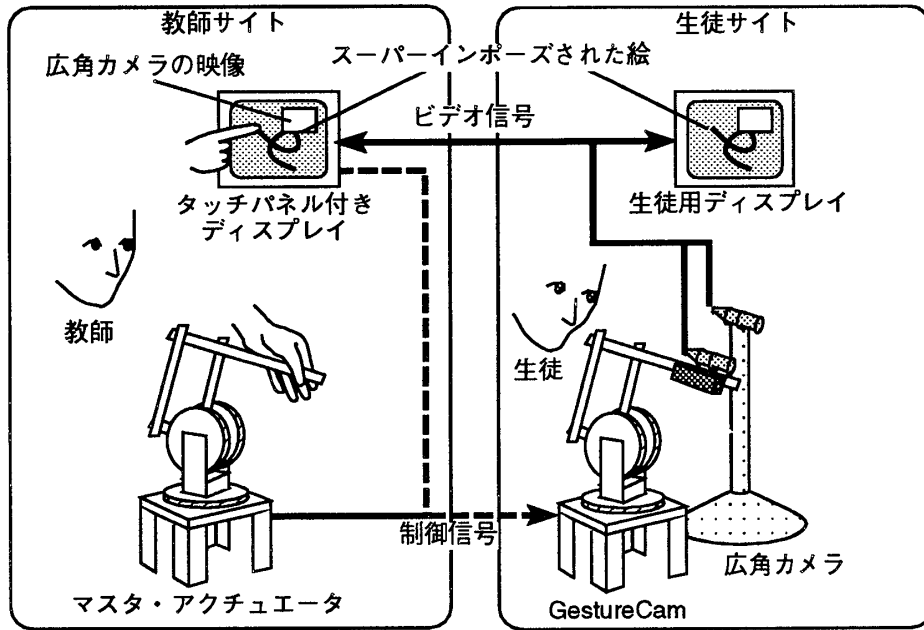


図2 GestureCam システムの構成例

はこれを利用して、GestureCam のコントロールや指を利用した描画を行なう。指による描画は教師側のディスプレイと生徒側のディスプレイ双方の画像上にスーパーインポーズされる。

GestureCam をコントロールする場合には、ユーザはテレビ画面上に指で触れることによってその動きを決定することができる。指による描画機能を利用すれば、教師は対象物を丸く囲むことによってレーザポインタの代わりに特定の対象物を示すこともできるし、例えば矢印を描くことによって方向を伝達することもできる。

3.3 広角カメラ

GestureCam に接続されているカメラのみでは、カメラの視野外の状況はすぐに確認できない。そこで教師が、生徒の視線やその作業を確認する手段として広角カメラを併用し、その映像は図2に示すように小画面として合成して表示している。

4. 遠隔教育実験による考察

放送教育開発センターとの共同実験により、日本とハワイ間で1回、日本国内で2回、通信衛星を利用した遠隔教育実験を行なった。本来であれば同時に複数の生徒を対象とした本格的な実験を行うべきであるが、各種のインタフェースを比較検討することが目的であったため、簡略化した実験をできるだけ多くの回数行なうこととした。従って、生徒は1人または2人であった。授業の内容は実験によって思なるが、基本的には筑波大学で行なわれている学生実験を簡略化した作業を学生に行なわせた。本章ではこれらの実験に関する考察を行ない、システム的设计指標を述べる。しかし同時に様々な問題点も見出すことができた。

4.1 見たいものを見られるか

見たいものを見るという点で、カメラをリモートコントロールできること、3自由度を制御可能なことは全般的に好評であった。例えば、対面でのコミュニケーションでは、教師は生徒の作業の様子をごく自然に目で確認している。ところが遠隔教育実験では、GestureCamの制御が思い通りにできない場合には、カメラを制御することをやめてしまい、言葉で「できましたか？」などと質問して済ませてしまったり、そのような確認すら怠る場合も見られた。そして、それが原因で生徒の作業ミスに気がつかないという例も見られた。ここでは、見たいものを見るという観点からシステムの考察を行なう。

マスタを利用してGestureCamをコントロールした場合、マスタの姿勢とGestureCamの姿勢が1対1に対応するため、直観的にその姿勢を指定することができた。しかし、実験中マスタを持ち続けていなくてはならないこと、GestureCamの姿勢によっては持ちづらくて疲れること、大きく動作させる場合には途中で持ち変える必要があること等が指摘された。今後、操作のし易い機構を考案する必要がある。

タッチパネルを利用した方式では、マスタを利用した場合よりも楽な姿勢でコントロールできるという点では好評であった。しかし、カメラを大きく移動させるのに時間がかかるという問題が指摘された。また、基本的に2自由度の制御しかできないため、3つ目の自由度（カメラの前後の動き）をコントロールするためにはインタフェースに工夫が必要であった。

今どの方向を見ているのか教師がわからなくなってしまうという、いわゆる方向喪失⁽²⁾の問題も重要である。方向喪失をおこすと、どの方向へどの程度カメラを動かせば見たいものを見られるかが予測できなくなる。タッチパネルを利用してGestureCamをコントロールする場合には特にこの問題点が指摘された。一方、マスタを利用した場合にはマスタの形からGestureCamの姿勢がわかるため、このような問題は緩和された。以上のようにマスタ、タッチパネル双方とも利点と欠点があるため、両方を同時に利用できるようにして、欠点を補い合えるように工夫することが課題である。

広角カメラは見たい対象物を発見し易くする手段として有効であった。日本・ハワイ間の実験ではGestureCamに広角カメラを搭載した場合と視野角の狭いカメラを搭載した場合とで比較したが、視野角が狭い場合には視野外の対象物を探すために多くの時間を費やしたり、方向喪失を起こした例が観察された。一方、広角カメラを利用した場合には視野内に多くの対象物が撮影されている上に、周囲の状況が撮影されている場合には方向喪失も起こしにくいため、対象物を発見し易かった。しかし、それでも教師からはまだ不十分であるという感想が得られ、広角カメラのより効果的な利用方法に関しては今後の検討が必要である。

以上の考察を含めて、見たいものを見るためのシステム設計の要因を整理する。

1. GestureCamに任意の姿勢をとらせるための直観的なインタフェースが用意されていること。
2. ある姿勢から任意の姿勢に早く容易に変更できること。
3. どの方向へどの程度動かせば見たい対象物を発見(カメラの視野内に入れることが)

できるかを予測できること。

4.2 見せたいものを見せられるか

GestureCamにおける視線の提示や遠隔指さしといった非言語的伝達手段の支援に対して、基本的には被験者からも良好な感想を得られた。例えば、日本・ハワイ間の実験では、教師が日本人、生徒がアメリカ人であり、教師は英語が不得意であったため言葉による説明が困難であった。しかし、実験後の生徒側の感想からは、GestureCamを利用すれば言語的な障壁を克服できるのではないかという感想が得られた。

しかしながら、これはあくまでもその可能性を評価したのであって、現状では様々な課題が見い出された。すなわち、レーザーポインタやタッチパネルを利用した遠隔指さし機能がうまく利用できないために、言葉を多用して対象物の位置を表現するという例が多く観察された。ここでは見せたいものを見せるという観点からシステムの考察を行なう。

レーザーポインタで対象物を指し示すためには、ある程度正確にGestureCamの制御ができなければならない。ところがETS-Vを利用した実験では、通信と画像圧縮に起因する時間遅れのために、遠隔の映像を見ながらレーザーポインタの位置制御をすることが難しかった。教師によっては、レーザーを対象物の近くに持っていき、あとは言葉で「このレーザーの右上のボタン」といったように説明をした例が見られたり、全くレーザーを利用しない例も多く見られた。

この点、タッチパネルとスーパーインポーズを利用した場合には、画面上で対象物を丸く線で囲めば良いので、時間遅れの影響をほとんど受けずに対象物を示すことができた。また、対象物をカメラの視野に入れるだけであれば細かい制御は必要無いため、GestureCamの制御はさほど難しくはなかった。タッチパネルのもう1つの利点は、指で画面上の対象物をさすという行為が直観的なことである。日本・ハワイ間の実験ではタッチパネルは利用されなかったが、レーザーポインタをうまく利用できなかったため、教師が思わず画面上で指をさしながら「これ、これ」と言ってしまうという行動が観察された。

一方、スーパーインポーズの欠点は、生徒にとって画面上で示された対象物と実際の対象物の対応をとりにくい点である。特に生徒が対象物を見ている方向と、GestureCamが対象物を見ている方向とが違う場合には画面上で示された対象物が実際にはどこにあるのか探しづらいという感想が得られた。その点では、レーザーポインタによって対象物をさし示した方がわかり易いという意見が多かった。

タッチパネルの利点とレーザーポインタの利点を生かすためには、教師が画面上で対象物を指さすと、自動的にその対象物にレーザーポインタが照射されるように、GestureCamをコントロールすれば良い。現在、高速画像処理装置を利用して、自動的にレーザーポインティングを行なう機能を実装することを予定している。

レーザーポインタ、スーパーインポーズにかかわらず、遠隔指さしをされた位置を素早く発見するためには、GestureCamに対するgaze awarenessが支援されていることが重要である。生徒用のディスプレイを使わずに実験を行なった場合には、生徒はGestureCamの動きを見ていることが多かった。しかし、生徒用のディスプレイを利用している時には、

ほとんどの生徒が GestureCam よりもディスプレイを見続けていた。ディスプレイ上の画像はまさに教師が見ている情景そのものを示しており、カメラの向きから想像するよりもあいまいさが少ない。どうやらこのような明確な情報の方が好まれる場合が多いようである。ただし、けしてカメラの向きが見える必要が無いのではなく、カメラが大きく移動した場合には再びカメラを見て指示者の視線を確認した場合もあった。また、類似した対象物がたくさんある場合には画面からはどの対象物を撮影しているのかが特定しづらいため、生徒はカメラの向きを見て実際の対象物を確認していた。従ってシステムはカメラの動きを見せることと、その映像をモニタできることの両方が必要であると考えられる。

以上の考察を含めて、見せたいものを見せるための要因を整理すると以下の項目が重要であると考えられる。

1. 生徒が教師の視線を正しく把握できること。
2. 対象物を早く正確に指し示せること。
3. 教師の示した位置情報を生徒が早く正しく把握できること。

見たいものを見るための要因にも共通して言えることであるが、コミュニケーションの支援において「早い」ということが重要であるとの感想を持った。つまり、見るために時間がかかったり、遠隔指さしに時間がかかれば、すぐにそれをあきらめて言語的に伝達するか、伝達することもあきらめてしまう。ただしここで言う早さとは、単に通信回線の速さによるものではなく、情報を得るためにカメラを動かす段階での早さや、位置情報を伝えるためにポインティングするための早さなど、早く情報伝達を開始できるということである。今後システムの改善を行なう際に、この「早さ」に留意して設計を行なう必要があると考えている。

5. おわりに

本論文では教師の目と手の代理としてのカメラロボットを介した遠隔授業支援システムを提案し、実験に基づいた考察を行なった。本システムの特徴は、非言語コミュニケーションの支援という観点から、教師と生徒の双方に関して、位置・視線情報伝達のし易さやシステム操作のし易さを考慮したマンマシンインタフェース設計を行なっている点である。

その点で、従来の実画像通信システムはまだ、人間が持っている視覚的なコミュニケーション能力を十分に支援できていたとは言い難い。もっとシステムは動的であるべきであり、そうすることによって実画像の持つ利点をもっと有効に活用できるようになるのではないだろうか。筆者らはこのような研究を通して、実画像通信が持つ能力を最大限に発揮させることのできるシステム開発を目的としている。

〈参考文献〉

- (1) Buxton, B.: “未来のビデオ会議システム「Ubiquitous Video」”、日経エレクトロニクス、No. 632 (1995.3.27)、pp.187-195。
- (2) Gaver, W.: “The Affordances of Media Spaces for Collaboration”, *Proc. of CSCW* ’

92, 1992, pp.17-24.

- (3) Ishii, H., Kobayashi, M., and Groudin, J.: "Integration of Inter-Personal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experiments", *Proc. of CSCW '92*, 1992, pp. 33-42.
- (4) Kuzuoka, H., Kosuge, T., and Tanaka, M.: "GestureCam: A Video Communication System for Sympathetic Remote Collaboration", *Proc. of CSCW '94*, 1994, pp.35-43.
- (5) Stults, R.: "Experimental Uses of Video to Support Design Activities", Technical Report SSL89-19, Xerox Palo Alto Research Center, December 1988.
- (6) Watabe, K., Sakata, S., Maeno, K., Fukuda, H., and Ohmori, T.: "Destributed Multiparty Desktop Conferencing System: MERMAID", *CSCW '90*, Los Angeles, 1990, pp.27-38.