

複数コミュニケーション・チャネルを用いた実験に基づく、 コミュニケーションの記号化に関する考察

山口 将志 福嶋 幸裕 葛岡 英明 (筑波大学 構造工学系)
光石 衛 (東京大学 大学院 工学系研究科)

実画像、音声等の広帯域のコミュニケーション・チャネルと、単純化されたコミュニケーションチャネルの併用により、遠隔協調作業時のコミュニケーションを効率的に支援するシステムについての提案を行う。頻繁に伝達される情報は、その知識が蓄積されることにより不確かさが減り、情報量が少なくなる。この様な情報の伝達に、低帯域のコミュニケーション・チャネルを用いることで、効率的なコミュニケーション支援システムが実現できると考えた。その考えを実際の協調作業支援に適用し、システムを構成し、システムの実験、評価を元に、考察を行った。

A Study on Simplification of Communication Based on Experiments with Multi-channel Communication

Masashi Yamaguchi, Yukihiro Fukushima, Hideaki Kuzuoka
Institute of Engineering Mechanics, University of Tsukuba
Mamoru Mitsuishi
Faculty of Engineering, The University of Tokyo

It is known that the amount of information of a certain message decreases as people share knowledge. Thus it can be assumed that a communication channel with low band width may be suitable to communicate such kind of message efficiently. Based on this idea, a cooperative tele-operation system was developed and some experiments were undertaken. The results suggests that for some kind of messages, video communication channel is not always necessary but there is a possibility that a communication channel with much lower band width can efficiently communicate such messages.

1. はじめに

世界規模のネットワークが充実してきている。そのため、従来隣同士で行われていた複数の人による協調作業が遠隔地間で行われるような機会が増えていくと思われる。

遠隔協調作業の際に問題となるのは、いかにして作業者間のコミュニケーションをサポートするか、ということである。このために、お互いの姿の実映像や音声を送るという方法が考えられる。しかし、映像や音声ネットワークにかかる負荷は非常に大きい。これを解決するために本研究では、お互いが共通の知識を持ち、不確かさが少な

くなると情報量も減る、というコミュニケーションの性質を利用して、単純且つ本質的な情報(高度に記号化された情報)の提示を併用することによる、効果的なコミュニケーション支援システムを提案する。

2. 知識の蓄積によるコミュニケーションの単純化

コミュニケーションにおいて、頻繁に伝達される情報は、その知識が蓄積されることにより不確かさが減り、情報量が少なくなる。

効率的な遠隔コミュニケーションを行うため

には、情報量の少なくなった情報は、実画像などの高負荷の伝達手段を用いずに、簡単化、単純化した伝達手段を用いる事ができるようにすべきではないか、と考えた。

また、協調作業において、作業者は常に多くの情報を必要としているわけではなく、いわゆる「阿吽の呼吸」という物は、非常に限定された情報により成り立っているという考えから、簡単化されたコミュニケーションでも十分協調作業を行えるのではないかと考えた。

3. 協調操作におけるコミュニケーション

3.1. 協調操作

遠隔協調作業の一つの形態として今回の研究では、「一つの機器の操作権を複数人間が取り合い、若しくは譲り合いながら同時に作業を行う」協調遠隔操作を設定した。喩えれば、「ハサミが一つしかない状況で複数の人が同時にそれぞれの作業を行う」という日常実際に行われている協調作業を遠隔地間に置き換えたのである。

この場合、システムの側で操作権の管理を行わずに、操作者間のコミュニケーションのみにより、操作権の移動が行われる。この、操作権の取り合いの部分のコミュニケーションを解析の対象とすることにした。

今回の実験で実際に行う作業の内容を、「遠隔カメラを使用した、観察、点検」とし、操作対象としてリモートコントロールカメラを用いた。

3.1.1. システム構成

リモートコントロールカメラを操作するための機器として、力センサを用いたジョイスティック(図1)を各操作者に用意した。このジョイスティックには、ハンドルに加わった力を測定する力センサ、ボールネジを介してハンドルを移動させるモータ、位置を測定するエンコーダ、が各軸に付いている。これにより、ある操作者が加えた力を他の操作者に伝える、ハンドルの位置が各操作

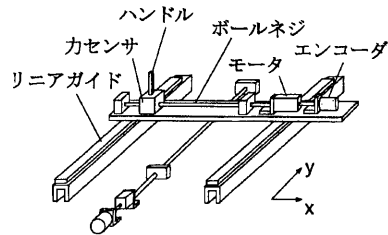


図1 ジョイスティック

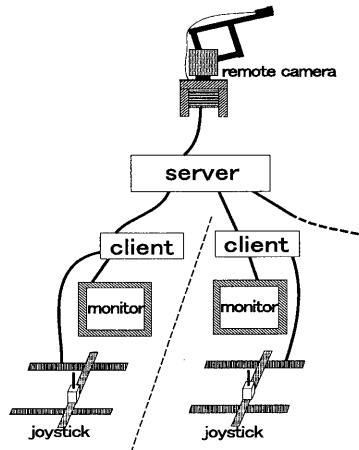


図2 協調遠隔操作システム

者間で一致するように制御する、等が可能になった。

システムの構成を図2に示す。各ジョイスティックが一台のリモートコントロールカメラに接続されている。

各ジョイスティックのハンドルに加えられる力、及びハンドルの座標の情報によりリモートコントロールカメラが動作する。そして各軸毎の力の和、及び位置のずれから、各ジョイスティックの各モータに出力を送る。

このようにして、あるジョイスティックに加えられた力が他の全てのジョイスティックに加わるとともに、全てのジョイスティックのハンドルの位置が常に一致するようにしている。つまり、あるジョイスティックを操作すると全てのジョイスティックが同じように動き、他者が逆向きの力を加えると押し合い状態になる、ということである。

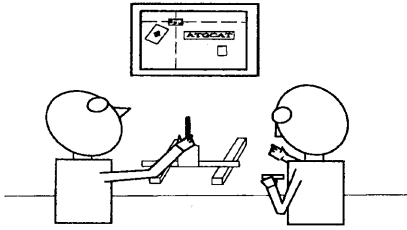


図 3 隣席での作業

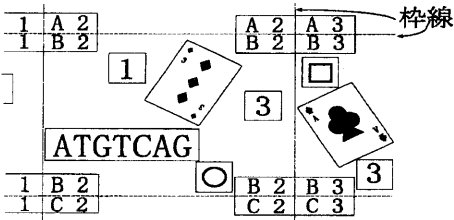


図 4 観察対象

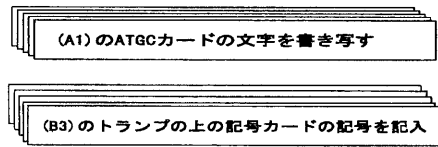


図 5 作業内容

リモートコントロールカメラの映像は分配され、各操作者が共通の映像をモニタする。

3.2. 隣席での作業の解析

「どのような情報が与えられれば、互いに離れた場所にいる二人の操作者が円滑に協調作業を行えるか」を考えるために、隣席状態での実験を行った。その結果から、どのようなコミュニケーションがとられているかを解析した。

3.2.1. 実験内容

図 3 に実験内容の概念図を示す。一回の実験における被験者(操作者)の人数を二人とした。二人の被験者には隣り合って座ってもらい、互いの様子を見ることも、会話を交わすことも自由である事を告げた。

リモートコントロールカメラの前には、枠線を記入した台紙に、数種のカードを多数貼り付けた物(図 4)を置いた。これを観察、チェックするのが操作者の作業である。

二人には図 5 のような一綴りの紙片を渡し、それに書いてある作業を一枚目から順に行ってもらった。二人が渡される作業内容は互いに独立したものである。

紙片に書かれたそれぞれの作業は、カメラがある位置へ移動させれば済むもの、数ヶ所へ移動させるもの、移動させた後書き取るのに時間のかかるもの、カメラとは関係のない計算問題、等様々である。作業内容に幅を持たせることにより、単純にリズムだけでカメラの操作権の移動が起こる事が無いようにしている。

また、各作業は必ず手元の用紙への記入を伴う。これにより、一方が終始操作を続けてしまわないようにしている。

実験後被験者に、操作を代わるときに何に注意していたか、という質問に答えてもらった。

3.2.2. 結果

被験者が操作交代の際に注意していたことは、大きく分けて次の三つだった。

1. 「いいですか?」、「どうぞ」等、相手に許可を求める、もしくは与える会話
2. 作業内容等、相手の様子
3. 相手がジョイスティックに手を伸ばしているかどうか

ここで二番目と三番目の要素を分けた理由は、通常、被験者が正面のモニタを見ていた事に起因する。ジョイスティックに手が伸びているかどうかはモニタを見たままでも気づくが、相手の作業内容や様子は意識して視線を動かさないとわからないからである。会話、相手の姿に対して、手を伸ばしているかどうかというのは、情報量としては少ないが、この作業では重要な情報であると考えられる。

3.3. 複数コミュニケーション・チャネルを用いた遠隔作業実験

遠隔地間のコミュニケーションをサポートす

るために、前節の三つのコミュニケーション要素のうち、一つ目の「会話」はマイクとスピーカ、二つ目の「相手の様子」はカメラとモニタを用いる。

3.3.1. 第3のコミュニケーション・チャンネル

ここで、映像、音声に次ぐ第3のコミュニケーション・チャンネルとして、「相手がジョイスティックに手を伸ばしているかどうか」の情報の提示を試みた。

この情報を得るため、ジョイスティックのハンドル部に接近センサを設置した。これは超音波の反射を利用して物体との距離を測定できるセンサである。操作者の手が一定の距離に近づくと反応するようにした。

隣の人が手を伸ばしているかどうかは、そちらの方向を見ていなくとも衣擦れ音等からもわかる。そのため、(相手のセンサが ON になっているかどうか)の情報提示方法を工夫する必要がシステムに生じる。そこで次の三つの方法でセンサの情報を提示することにした。

1. ハンドルにつけられた LED が点灯する。
2. 作業用モニタの映像に表示がスーパーインポーズされる。
3. ON、OFF 時に音を鳴らす

二番目のスーパーインポーズを利用した方法は、操作者が直感的に反応できるように、画面下部にある四角い表示が塗りつぶされる、という単純な物とした。

三番目の音を使う方法は、ON と OFF の時で音程を変え、操作者が区別できるようにした。

以上により、ある操作者が手を伸ばしたことを、他の操作者が直感的に知ることが可能になった。

接近センサの情報は、ON/OFF のみと単純なため直感的であり、映像や音声の情報量に対して、わずか 1bit のみの情報量ですむ。

図6にコミュニケーション支援システムの構成を示す。

3.3.2. 実験内容

この実験は遠隔地間のコミュニケーションを想定したものだが、実際には同じ室内で互いの姿が見えないようにして行った。しかし、問題の本質は失われていないと考える。

二人の被験者(操作者)それぞれの前にはリモートコントロールカメラからの映像を映す作業用モニタ(以降作業用モニタ)、相手の姿を映すモニタ(以降サブモニタ)、カメラ、ジョイスティックが設置されている。声そのまま届くためマイクとスピーカは省略した。その他基本的な手順は隣席での実験と同様である。

一組の被験者につき、会話の許可不許可、サブモニタの有無、接近センサの有無、の組み合わせ、つまり8セットの実験を行った。各セットの終了時、被験者に、「相手の操作が終わったので自分が操作を行ってもいい」という判断をどのように下していたかを質問した。また、全8セット終了後、それぞれのセットでどの程度確信を持って上記の判断を行えたか、という質問に5段階法で答えてもらった(これを「確信度」と呼ぶことにする)。その他にも自由に感想を述べてもらった。

被験者は7組14名(内2組4名は3、4つのセットのみ行った。)で、それぞれの組によって、行うセットの順序を変えている。

4. 実験結果と考察

各セット毎の確信度を図7に示す。このグラフにおいて、

声：音声(会話)

映：相手の姿の映像

セ：接近センサ

の略であり、

声[○] 映[×] セ[○]

とある場合は、会話と接近センサは利用できるが、相手の姿の映像(サブモニタ)は利用できないセ

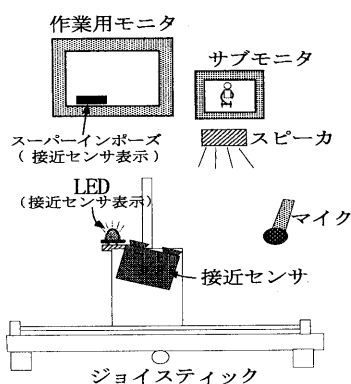


図 6 協調遠隔操作支援システム

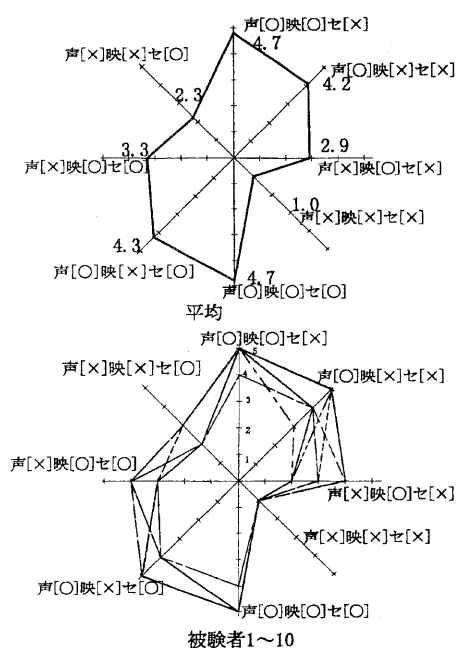


図 7 確信度

ット、という意味である。

各セットの確信度、被験者の挙動の観察、被験者の感想及び被験者への質問より、次のことが明らかになった。

4.1. 声(会話)

非常に複雑なコミュニケーションをとることが可能である。そのため、相手の様子が分からなくとも、「いいですか？」等の質問をするこ

とで正確に状況を把握できた。

また、作業用モニタの観察を中断することなく利用できる点を利点に挙げる被験者が多かった。

さらに、操作を行っても良い、という判断を他の情報から下した後に、最終的な確認を会話で行うことにより、確信度が飛躍的に高くなった。

一方、今回の実験では定量的な差は確認できなかったが、コミュニケーションが冗長的になり、作業効率に影響を与えてしまうこともあった。

4.2. 相手の姿の映像

多くの情報が得られるので、相手が操作を行うかどうかの判断がしやすい。また、会話が使えない状況でも、ジェスチャーによってある程度のコミュニケーションを行っていた。

しかし、サブモニタを確認するためには、作業モニタから視線を動かさねばならず、作業と並行して利用できない。また注意を分散させねばならない。そのため、会話や接近センサが使える場合は、サブモニタをほとんど気にしなかったという被験者も少なからずいた。このことから、必ずしも実画像は通信の負荷に見合うだけの効果を持たない可能性がある。

4.3. 接近センサ

接近センサの三つの情報提示方法である、モニタ下部の表示、LEDの点灯、そしてON/OFF時の音の内、ほとんどの被験者が、モニタ表示、音、若しくはその両方に注意していた。LEDに注意していた人はほとんどいなかった。

これに関連して、接近センサのメリットとして、作業を行いながら、つまり作業用モニタから視線を動かさずに、直感的に情報を確認することが可能な点を挙げた被験者が多かった。LEDの表示を確認するには手元に視線を移動させねばならないのが、LEDに注意していた人がほとんどいなかった理由である。

また、接近センサに手をかざして、まだ動かさないで欲しいことを伝えるなど、接近センサを積極的なコミュニケーション手段として用いてい

た被験者もいた。

しかし、映像や会話に比べて情報量が少ないため、コミュニケーションの手段としては限界があった。映像や会話などの情報が得られる場合、接近センサは確信度にほとんど影響しなかった。

5. 将来の展望

今回の実験の結果をコミュニケーションの簡単化、単純化という観点から考察する。

この実験では、冗長性が高く、ネットワークへの負荷も相当のものとなる、実画像や音声でのコミュニケーション手段に対し、1bitの情報しか持たない第三のコミュニケーション・チャネルを用意した。

作業が始まった時点では、作業者は、接近センサの反応がどういう意味を持つのかについてはあまり知識を持っていない。(もちろん事前の説明はされるが。)しかし、作業が進むにつれ、つまりコミュニケーションが進行するにつれ、二人の作業者が共通の知識を持つようになり、例えば接近センサの反応に排他的な意味を持たすなどして、積極的に利用するようになったと思われる。

しかし、接近センサが確信度にほとんど影響を与えなかったり、接近センサのみを用いた作業の評価が必ずしも良くなかったことから、1bitでは簡単化が過ぎたと考えられる。今回、1組の被験者当たりの実験時間は1時間程度だったが、それ以上の長時間の実験を行い、共有知識の蓄積をさらに進めた場合にどのような結果になるかを確かめる必要がある。

一方、いかにコミュニケーションが進行し、不確かさが減少したとしても、不測の時には不確かさが増大し、会話などによるコミュニケーションが必要となる。そのため複雑、高負荷のコミュニケーション・チャネルを一切使わないのは問題があると考えられる。数種のコミュニケーション・チャネルを用意し、ユーザーが動的に、使用するコミュニケーション・チャネルを選択できるようにするべきであろう。しかし、選択の際にユーザーに負担がかからないように考慮すべきだろう。通常は単純なチャネ

ルのみを使用し、必要な時にはボタンを押しながら会話をし、その時だけ音声や映像情報が伝送される、というシステムが考えられる。

今回の実験で採り上げた作業は、飽くまで協調作業の一例に過ぎないので、あらゆる作業にそのまま適用できるわけではない。今後、様々な協調作業形態それぞれに、コミュニケーションの簡単化の考え方を適用したシステムを構成し、実験、考察を行い、より一般的な結論を導けるようにしたいと考える。その場合にも、今回の接近センサのように、1bitで済むような情報を、しかも何気ない動作から取り出して提示することができれば、操作者に負担をかけない点で有効であろう。

6. おわりに

頻繁に伝達される情報は、共通知識の蓄積により不確かさが減り、情報量が少なくなるという性質を利用し、そのような情報の伝達に、単純化、簡単化した伝達方法を用いることにより、効率的に協調作業を支援するシステムについての提案を行った。そして、実際にシステムを構成し、協調作業の実験を行った。

その結果、実画像のような非常に大きな負荷を(ネットワークにとっても人間にとっても)持つ情報というものは必ずしも必要でない事、そしてコミュニケーションの進行に伴い、単純な情報に意味を持たせて高度なコミュニケーションを行うようになる可能性が確認できた。

参考文献

1. 葛岡英明: "メディアスペース", 平川正人, 安村通晃(編): ビジュアルインターフェイス -ポストGUIを目指して-, bit別冊, chapter 2.5, pp98-116, 1996
2. 田中俊介, 市川祐介, 栗原主計, 岡田謙一, 松下温: "静止画像を用いて相手のアウェアネスを伝達する協同作業支援システム: MAJIC95", 情報処理学会グループウェア研究会研究報告, 16-3, pp. 13-18, 1996
3. J.R. ピアーズ, 鎮目恭夫(訳): "記号・シグナル・ノイズ": 白揚社, 1988