

研究テーマ 手指動作の言語化に関する研究

研究者	齊藤文彦	岐阜大学	共同研究員
	加藤邦人	岐阜大学	共同研究員
	伊藤 昭	岐阜大学	共同研究員
	池田尚志	岐阜大学	共同研究員

フェーズ I

この研究は、フェーズ I において実施された。知的環境構築のため、手指の動作をセンシングし言語化する。人間の意図を理解するインタフェースへの応用を目的とし、指シンボルの数値化技術、指シンボルのモデル化研究、手指動作の言語化に関する研究、手顔を用いた人のコミュニケーション技術に関する研究について、各章で述べる。

1 指シンボルの数値化技術

1. 1 指シンボル数値化のための基礎データベースの作成

人間は、片手の 5 本の指によって各種の指文字、すなわち、指シンボルを提示することができる。しかし、各々の指シンボルには、互いに類似性が高いもの、逆に類似性がほとんど見られないものが存在すると予想される。また、指シンボルを提示するためには、5 本の各指を正確に伸ばす、または曲げる動作が必要となるので、人間にとって自然な指の姿勢がとられるものと、逆にかなり無理な指の姿勢を強要されるものがある。このような場合、前者の楽な姿勢による指シンボルの方が、個人差も少なく、かつ一個人が繰り返しその指シンボルの姿勢をとったとしても、姿勢の安定性は比較的高いと考えられる。

ところで、我々人間がコンピュータに指示を与える方法として、ジェスチャーなどを用いたヒューマンインタフェース技術に関する研究が近年盛んに行われている。将来のヒューマンインタフェース技術を実現する場合に、指シンボルによる指示は実用的な方法になりえると考えられる。コンピュータに指シンボルを認識させる場合、姿勢に関して個人差が大きい指シンボルや、あるいは同一個人であっても姿勢をとるたびに誤差が大きい指シンボルを多用することは、信頼性の高い指シンボルの認識を実現する上で得策ではない。ヒューマンインタフェース技術の多くの利用分野では、ある限定された種類数の指シンボルだけでコンピュータとのコミュニケーションは十分に図られると予想される。このような場合、多くの指シンボルの中でも、できる限り姿勢に関する個人差が少なく、かつ安定度の高い指シンボルを優先的に用いることが必要となる。

本研究では、データグローブ姿勢解析システムを用いて得られた各指シンボルを表現するモデルデータにおいて、各々の指シンボルをとった場合の姿勢に関する個人差、および各個人ごとの姿勢に関する繰り返し誤差を解析し、ヒューマンインタフェースに適切と考えられる指シンボルを見極めることを目的とした。各指の姿勢のデータ測定には、指シンボルを的確に表現するために、データグローブを用いた。

まず、カメラ映像より手領域を抽出する技術を確認することを研究の目的とし、その基礎研究として、データグローブを用いた代表的な指シンボルの計測及び数値化を行い、指シンボル研究の基礎データベースを作成した。以下に、今回作成したデータベースの概要を述べる。

1. 2 システム構成

本データベースの作成は、図 1 に示すような機器構成でおこなった。また、使用した機材の仕様を表 1 に示す。

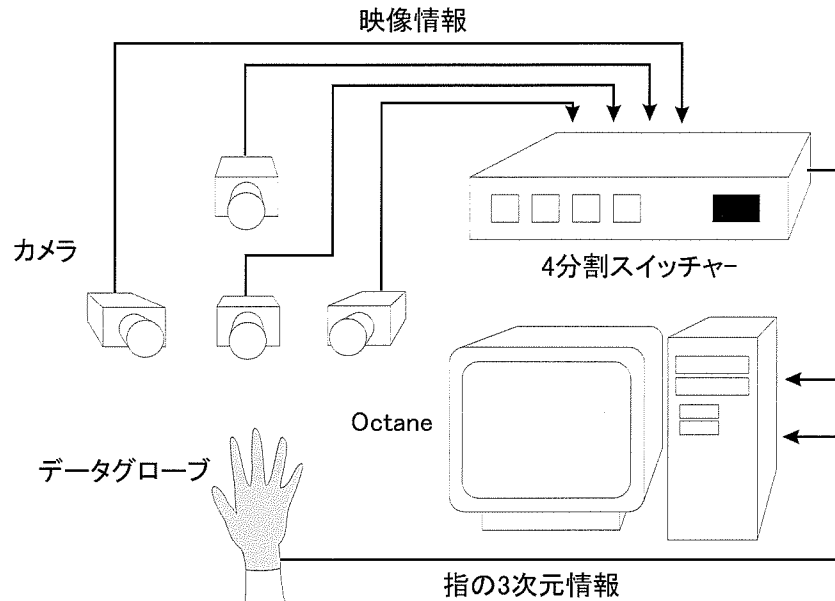


図 1 システム構成図

表 1 使用した機材のリスト

	製品名	メーカー名
コンピュータ	Octane OS : IRIX64 リリース 6.5 CPU : 1300MHz MIPS R12000(IP30)Processor with MIPS R12010 FPU RAM : 1.5GB	SGI
カメラ	EVI-G20	Sony
スイッチャー	YS-Q430	Sony
データグローブ	CyberTouch	Virtual Technologies, Inc.

1. 3 データベースの仕様

1. 3. 1 データの作成方法

本データベースは、被験者にデータグローブ (CyberTouch、Virtual Technologies, Inc.) を装着し、あらかじめ決められた指シンボル (サイン) 22 パターンをしてもらい、そのときの指の状態を 3 次元位置として記録した。また、同時にカメラにより画像も取得した。被験者には事前に以下の注意事項を指示した。

- ・ 手のひら(甲)を正面カメラに向けること。
- ・ サインとサインの間には 1 度指をすべて曲げること。
- ・ 袖を肘までまくること。

データグローブは、カメラに対して手のひらを向けたものを「表データ」、カメラに対して手の甲を向けたものを「裏データ」とし、データの収集をおこなった。

画像の撮影は、白い布をバックとした単純背景で、正面、左右 30 度、上 30 度の 4 方向から撮影した。照明環境は、室内の蛍光灯のみでおこなった。撮影時の服装の影響をなくすため、袖をまくり撮影した。また、被験者の手以外の部分が写らないように、体を白い布で覆った。これら 4 方向の画像を 4 画面合成ユニットにより 1 画面に合成し記録した。右上が正面カメラ

からの画像、左上が上カメラからの画像、左下が向かって右カメラからの画像、右下が向かって左カメラからの画像とした。

1. 3. 2 指シンボルの種類

指シンボルは、以下のリストに示す 20 パターンと指文字の「え」「お」の計 22 パターンで行った。ただし、指文字「え」(シンボル 21) と指文字「お」(シンボル 22) はリストからは省略する。

以下のリストの数列は、左から順に、親指、人差し指、中指、薬指、小指の順に示し、“0”は指を曲げることを、“1”は指を立てることを表す。指と指を付けるものは間に“-”(ハイフン)を入れる。

また、それぞれに対応する指シンボルの画像例を図 2、図 3 に示す。

00000	…	シンボル1

10000	…	シンボル2
01000	…	(c)
00001	…	(d)

11000	…	(e)
01100	…	(f)
01-100	…	(g)
10001	…	(h)
01001	…	(i)
00011	…	(j)

11100	…	(k)
01110	…	(l)
00111	…	(m)
01011	…	(n)
01101	…	(o)

01111	…	(p)

11111	…	(q)
11-1-1-1	…	(r)
01-1-1-1	…	(s)
1-1-1-1-1	…	(t)

1. 3. 3 データ数ならびに、データベースの詳細

被験者数:20 人

表データ(カメラに対して手のひらを向けたもの):「え」「お」を含む 22 パターン

裏データ(カメラに対して手の甲を向けたもの):「え」「お」除く 20 パターン

データセット数:

- ・グローブデータ … 表 3 セット 裏 3 セット
- ・画像データ … 表 8 セット(グローブ:3 素手:5) 裏 8 セット(グローブ:3 素手:5)

・グローブデータ

データ出力形式: ASCII

・画像データ

解像度:640*480

静止画像

フルカラー

背景は白色の単純背景

画像フォーマット: α BGR

1. 3. 4 ディレクトリ構成

データは被験者毎に CD-R の中に以下のディレクトリ構成で収録した。

[アルファベット(被験者名)]	— [1omote]	…グローブデータ表 1 セット目
	[1ura]	…グローブデータ裏 1 セット目
	[2omote]	…グローブデータ表 2 セット目
	[2ura]	…グローブデータ裏 2 セット目
	[3omote]	…グローブデータ表 3 セット目
	[3ura]	…グローブデータ裏 3 セット目
	[被験者名_HAND1o]	…画像データ表 1 セット目
	[被験者名_HAND1u]	…画像データ裏 1 セット目
	[被験者名_HAND2o]	…画像データ表 2 セット目
	[被験者名_HAND2u]	…画像データ裏 2 セット目
	[被験者名_HAND3o]	…画像データ表 3 セット目
	[被験者名_HAND3u]	…画像データ裏 3 セット目
	[被験者名_HAND4o]	…画像データ表 4 セット目
	[被験者名_HAND4u]	…画像データ裏 4 セット目
	[被験者名_HAND5o]	…画像データ表 5 セット目
	[被験者名_HAND5u]	…画像データ裏 5 セット目
	[被験者名_HAND6o]	…画像データ表 6 セット目
	[被験者名_HAND6u]	…画像データ裏 6 セット目
	[被験者名_HAND7o]	…画像データ表 7 セット目
	[被験者名_HAND7u]	…画像データ裏 7 セット目
	[被験者名_HAND8o]	…画像データ表 8 セット目
	[被験者名_HAND8u]	…画像データ裏 8 セット目

1. 3. 5 ファイル名

各データファイルは、以下の命名規則に従って指定した。

[人]_[指]_[セット数]_[表/裏].拡張子

- 被験者
20 人の被験者をアルファベットで示した。(a ~ t)
- 指
0: 指を曲げる 1: 指を立てる
親指、人差し指、中指、薬指、小指の順に指定した。
指と指を付けるものは間に“-”(ハイフン)を入れた。
指文字の「え」「お」は、それぞれ“e” “o”とした。
- セット数
セット数 1~8 を指定した。
1~3: データグローブ + 画像
4~8: 画像のみ
- 表/裏
1: 表…カメラに対して手のひらを向けたもの
2: 裏…カメラに対して手の甲を向けたもの
- 拡張子

.dat: データグループのデータファイル

.BGR: 画像データのファイル

.INF: 画像データの情報ファイル

例)

・ データグループ

a_00000_1_1.dat …… 被験者 a が、手のひらを正面カメラに向けて指をすべて曲げたサインのデータグループデータ(1セット目)。

・ 画像

A_00000_1_1.BGR …… 被験者 a が、手のひらを正面カメラに向けて指をすべて曲げたサインの画像データ(1セット目)。

A_00000_1_1.INF …… 被験者 a が、手のひらを正面カメラに向けて指をすべて曲げたサインの画像データの情報ファイル (1セット目)。



シンボル 1



シンボル 2



シンボル 3



シンボル 4



シンボル 5



シンボル 6



シンボル 7



シンボル 8



シンボル 9



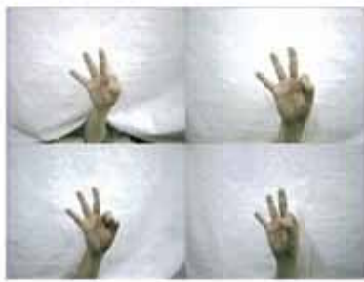
シンボル 10



シンボル 11



シンボル 12



シンボル 13



シンボル 14



シンボル 15



シンボル 16



シンボル 17



シンボル 18



シンボル 19



シンボル 20



シンボル 21



シンボル 22

図2 表データ画像サンプル画像例



シンボル 1



シンボル 2



シンボル 3



シンボル 4



シンボル 5



シンボル 6



シンボル 7



シンボル 8



シンボル 9



シンボル 10



シンボル 11



シンボル 12



シンボル 13



シンボル 14



シンボル 15

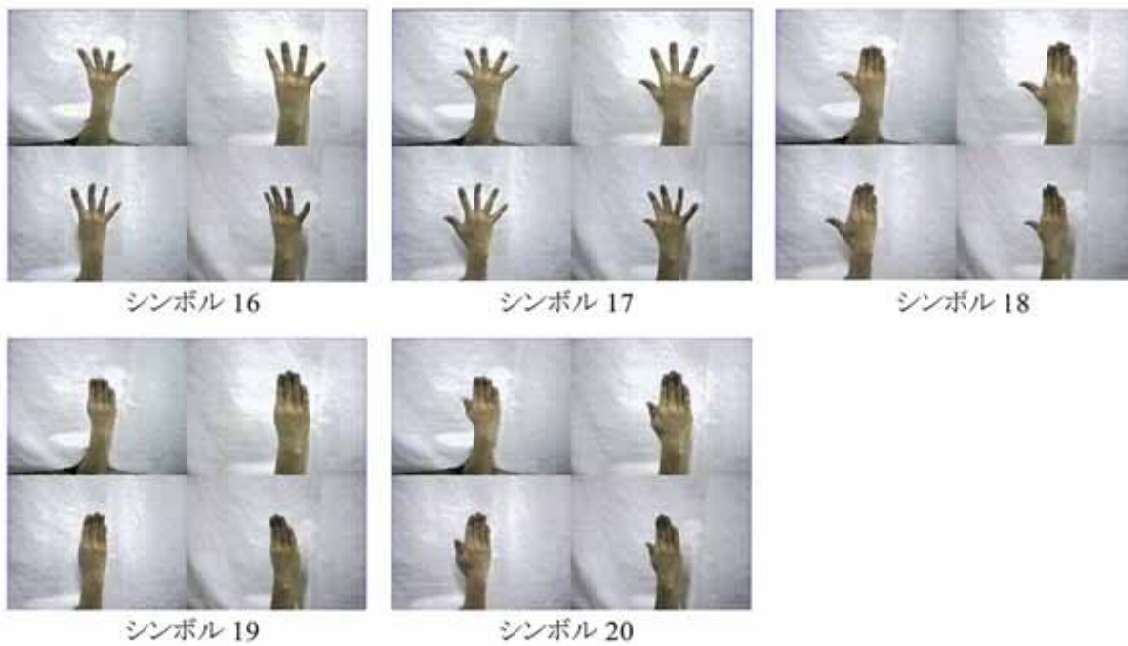


図 3 裏データ画像サンプル画像例

1. 3. 6 データベースサンプル

図 4、図 5 にデータベースに含まれる各シンボルの一例を示す。





図4 表データ画像サンプル画像例



シンボル 1



シンボル 2



シンボル 3



シンボル 4



シンボル 5



シンボル 6



シンボル 7



シンボル 8



シンボル 9



シンボル 10



シンボル 11



シンボル 12



シンボル 13



シンボル 14



シンボル 15



シンボル 16



シンボル 17



シンボル 18



図5 裏データ画像サンプル画像例

2 指シンボルのモデル化研究

2.1 研究の目的

本研究では、先の基礎データベースを参考に、さらに新しく測定したデータを用いて指シンボルのモデル化のための解析を行い、各々の指シンボルごとの個人差、ばらつきを正確に求め、将来的に、画像認識技術を用いた非接触型の指シンボルによるヒューマンインタフェースを構築することを目標としている。画像処理による非接触型の指シンボル認識システムを構築することによって、例えば、身障者やお年寄りが家電製品等をより容易に利用可能な環境が実現されることが考えられる。

2.2 指シンボルのシンボルを表すデータ

2.2.1 データグローブ解析システムで得られたデータ

指シンボルの姿勢は、データグローブ解析システムを用いて測定された。被験者数 20 人に関して、指シンボルを表すシンボルをとってもらい、各シンボルから得られた指の姿勢データを解析する。各被験者それぞれに、42 種類の指シンボルのシンボル（指シンボルの撮影装置であるカメラに対して手のひらを向けたシンボルが 22 種類、カメラに対して手の甲を向けたシンボルが 20 種類、合計 42 種類）をとってもらい、各シンボルに対して 3 回同一の測定を繰り返し行った。測定されたデータは、各シンボル毎にファイルとして記録されている。したがって、被験者一人あたり $3 \times 42 = 126$ 個、全体として $126 \times 20 = 2520$ 個のデータファイルが存在することになる。以上に述べた、データグローブ解析システムによって取得された実験データの種類の表 2 に示す。

表 2 取得実験データの種類

シンボル数	42 シンボル
被験者	20 人
測定回数	3 回
全ファイル数	2520 個

42 種類の各指シンボルについて、カメラによって撮影された各シンボルの形状を表す画像を図 6 に示す。





シンボル 4



シンボル 5



シンボル 6



シンボル 7



シンボル 8



シンボル 9



シンボル 10



シンボル 11



シンボル 12



シンボル 13



シンボル 14



シンボル 15



シンボル 16



シンボル 17



シンボル 18



シンボル 19



シンボル 20



シンボル 21



シンボル 22



シンボル 23



シンボル 24



シンボル 25



シンボル 26



シンボル 27



シンボル 28



シンボル 29



シンボル 30



シンボル 31



シンボル 32



シンボル 33



シンボル 34



シンボル 35



シンボル 36



シンボル 37



シンボル 38



シンボル 39



シンボル 40

シンボル 41

シンボル 42

図 6 シンボルの形状一覧

データグローブ解析システムにおいて、5本の各指（親指、人差し指、中指、薬指、及び、小指）の姿勢データが取得される。図5に示すように、データグローブのそれぞれの指の関節付近にはセンサーが取り付けられていて、指一本あたり4個所の測定点がある。測定点は第一関節、第二関節に1点ずつ、第三関節には2点が存在する。したがって、一回の測定で合計20点のデータがその指シンボルを表す姿勢データとして、テキストファイルのフォーマットで出力される。

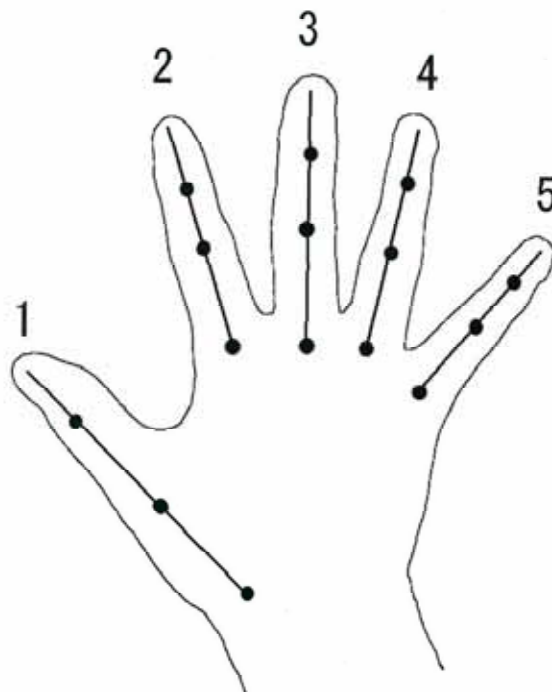


図 5 データグローブのセンサー位置

以下に、測定したデータの例を示す。

```

0
-2.126080 -0.220590 -0.543510 0.000000
-1.388250 -2.259360 -1.249420 0.048790
-1.034240 -2.208000 -1.184720 -0.014070
-0.957420 -2.103300 -1.058080 -0.020190
-1.398670 -1.912240 -0.845050 -0.234750
0.573300 0.143550 -0.064000 9.697120
0.780000 -15.280000 -0.890000 -1.520000 3.300000 3.270000

```

第1行目、第8行目については、指シンボルの形状を表さない無関係なデータのため、今回のデータ解析には使用しない。

各々の値はデータグローブの指関節部分に取り付けられているワイヤーの角度である。第2行目から第6行目のデータはそれぞれ、5本の指（親指：第2行目、人差し指：第3行目、中指：第4行目、薬指：第5行目、小指：第6行目）の各々に対応し、各々の列は各指に対する4個のセンサーによる測定点（第一関節：第1列目、第二関節：第2列目、第三関節：第3列目・第4列目）に取り付けられたセンサーから得られた数値データを意味している。

なお、第7行目については、データグローブの3次元的位置を表すデータであり、指シンボルとは無関係であるので、今回のデータ解析には使用していない。

2. 2. 2 データグローブ解析システムにおけるファイル名について

データグローブ解析システムを用いて収集したデータは、以下の規則に従ってファイル名が指定されている。

書式：

[人]_[指]_[測定回]_[表/裏]. dat

・人

アルファベット (a~t)

・指

0：指を曲げる

1：指を立てる

親指、人差し指、中指、薬指、小指の順に指定

指と指をつけるものは間に『-』を入れる

「え」「お」は、それぞれ『e』『o』とする

・測定回

3回の測定について、それぞれ1~3とする

・表/裏

1：カメラに対して手のひらを向けたもの

2：カメラに対して手の甲を向けたもの

2. 3 データ解析結果

2. 3. 1 解析結果ファイルの種類

20人の被験者について、42種類の指シンボルを各指シンボルごとの3回繰り返し測定したデータの統計・解析を行った。ある指シンボルを表すデータ数（各指の姿勢データ）は20個である。

個人ごとでは、同一シンボルに関する3回の繰り返し計測の平均と分散、そして、各々のデータの最大値・最小値を求め、個人毎の繰り返し誤差について解析を行った。また、被験者全体におけるシンボルごとの平均と分散、および、各々のデータの最大値・最小値を求め、各指シンボルのシンボルごとの個人差を解析した。個人差については、指シンボルごとに、全体の分散の数値データ（測定点20点）を加算した分散の総合値を用いて評価を行った。

解析されたデータは、指シンボルごとにファイルとして作成され、個人では、被験者一人あたり42種類の指シンボルのシンボルに対して、4種類の各統計データ（平均、分散、最大値、最小値）を得るために、 $42 \times 4 = 168$ 個のファイル、20名のすべての被験者に関しては $168 \times 20 = 3360$ 個のファイルが解析結果として出力されている。さらに、被験者全体に関する解析では、42種類の各指シンボルごとに、4種類の統計的解析結果（平均、分散、最大値、最小値）を得るために、168個のファイルに解析結果を作成した。従って、すべての解析で $3360 + 168 = 3528$ 個の解析データファイルが作成されたことになる。以下の表3は、以上に述べた各ファイルの構成を示す。

表 3 解析ファイルの構成

<個人>

シンボル数	42 シンボル
被験者	20 人
解析数	4 (平均・分散・最大値・最小値)
総ファイル数	3360 個

<全体>

シンボル数	42 シンボル
解析数	4 (平均・分散・最大値・最小値)
総ファイル数	168 個

解析結果を表すファイルに含まれるデータの例を以下に示す。

```
-1.981120 -0.247680 -0.433710 -0.056700
-1.480800 -2.201830 -1.177610 0.050143
-1.093493 -2.154667 -1.119843 -0.017207
-1.016520 -2.057700 -1.005697 -0.015167
-1.439657 -1.906227 -0.839580 -0.223767
0.558133 0.169070 -0.106667 7.438040
0.780000 -15.280000 -0.890000 -1.520000 3.300000 3.270000
```

解析したデータのフォーマットは、平均、分散、最大値、最小値についてすべて同一である。

第 1 行目から第 5 行目のデータはそれぞれ、5 本の指（親指：第 1 行目、人差し指：第 2 行目、中指：第 3 行目、薬指：第 4 行目、小指：第 5 行目）の部分に対応し、各々の列は各指に対する 4 個の測定点（第一関節：第 1 列目、第二関節：第 2 列目、第三関節：第 3 列目・第 4 列目）の数値データを表す。

データの最大値・最小値については、個々の測定点ごとの値である。

2. 3. 2 解析結果ファイルの名前

解析を行った結果データは、以下の規則に従ったファイル名に出力されている。

書式：

[人][指][表/裏][解析種類].dat

・人

アルファベット (a~t)、及び、全体 (all)

・指

0：指を曲げる

1：指を立てる

親指、人差し指、中指、薬指、小指の順に指定

指と指をつけるものは間に『-』を入れる

「え」「お」は、それぞれ『e』『o』とする

・表/裏

1: カメラに対して手のひらを向けたもの

2: カメラに対して手の甲を向けたもの

・解析種類

ave: データの平均

var: データの分散

max: データの最大値

min: データの最小値

2. 3. 3 各指シンボルシンボルの総合分散値

2. 3. 2 で得られた解析結果において、総合分散値を用いて、各指シンボルを昇順に並べた結果を以下の表 4 に示す。

表 4 総合分散値順の指シンボルのシンボル番号

総合分散値	シンボル番号	総合分散値	シンボル番号
0.379501	41	0.730640	15
0.381092	42	0.739791	16
0.419690	19	0.767087	29
0.425307	20	0.782301	10
0.458162	40	0.783271	24
0.498925	35	0.786781	28
0.508262	13	0.797225	36
0.514855	18	0.799957	6
0.578547	22	0.812308	26
0.579799	34	0.816751	4
0.589402	30	0.842452	1
0.598716	31	0.843106	33
0.599133	9	0.846389	7
0.601680	12	0.848627	17
0.614724	8	0.862948	23
0.619740	5	0.878926	2
0.621969	38	0.880794	25
0.625330	39	0.881573	11
0.639088	37	0.910022	14
0.691417	32	0.949239	3
0.692362	27	1.666623	21

表 4 において、総合分散値が上位である 3 シンボルを図 8 に示す。



シンボル 41



シンボル 42



シンボル 19

図 8 総合分散値上位 3 シンボル

表 3 において、総合分散値の下位である 3 シンボルを図 9 に示す。



図 9 総合分散値下位 3 シンボル

以上の結果から、指シンボルのシンボル番号 41、42、19 に関しては、個人差が少なく、安定な姿勢が得られていると考えられる。このことから、これら総合分散値が上位のシンボルを優先的に指シンボル認識に利用すると、認識の際の誤差を減少させることができると示唆される。これら 3 種類のシンボルは、指を閉じた状態で、しかも 5 本の指がすべて伸びきっているため、指の中間的な姿勢状態が存在しない。このような理由から、個人差が少ない姿勢が得られていると考えられる。

一方、指シンボルのシンボル番号 21、3、14 に関しては、個人差が高く、不安定な姿勢がとられていると考えられる。これらのシンボルの中でもシンボル番号 21 は、際だって総合分散値が高くなっている。これは、シンボル番号 21 の指姿勢が他のシンボルに比べて曖昧であることが理由と考えられる。すなわち、シンボル番号 21 では、5 本の指の姿勢が「指を立てる」、「指を曲げる」のデジタル的な表現ではなく、両者の中間のアナログ的な表現となっている。このように中間的な指の姿勢をとった場合、個人差は当然大きくなると考えられる。逆に、これを利用して、特定の個人を対象として、アナログ的な変化量などをコンピュータに指示する場合は、このシンボルが有効である可能性も残されている。

2. 4 まとめ

本研究では、データグローブ解析システムを使用して、被験者が片手で提示した指シンボルについて、各指シンボルのシンボル間の個人差、および各個人についての繰り返し誤差について解析を行った。解析結果は、個人と被験者全体の双方に関して、データグローブの各センサーから得られたデータ値の平均、分散、最大値、および最小値の各データファイルとして出力した。

解析結果を評価したところ、総合分散値に関して上位のシンボル番号 41、42、19 については、個人差が小さく安定した指シンボルであることがわかった。一方、シンボル番号 21、3、14 に関しては、個人差が大きく、不安定な指シンボルであることがわかった。今後は、解析された結果データを、データグローブを使わない非接触型の画像センサーを用いた、指シンボル認識システムに活用していくことを検討している。

3 手指動作の言語化に関する研究

3. 1 概要

手話における手指動作を分析するひとつのアプローチとして、手指動作を記述している日本語文を言語解析し、手話の手指動作の分析を行った。その結果、手指動作を表現する標準的な形式を見出すことができた。この標準形は、標準形式の単動作の接続(同時/継時/様態)からなる。

この標準形表現を利用して、断片的な手指動作によって絞り込みながら検索することができる手話電子化辞書検索システムを作成した。

また標準形式のスロット中の単語の意味的類似性に基づいて単動作間の類似度を定義し、それを用いて、手指動作記述文で書き表されている手話単語間の動作類似度を定義した。先の手話電子化辞書検索システムは、指定した手話単語に対してこの動作類似度の降順に、類似した

手話単語を表示する機能も含んでいる。

動作の断片から手話単語を絞り込んでいけるということは、視覚装置による手話単語の認識処理を誘導するという点で、手話単語の認識に寄与し得る事柄であると考えられる。また、動作類似性を把握しておくことも、同じく手話の単語の認識に貢献することができると考える。

また、このような手話電子化辞書検索システムは、手話の学習や新語を作る際の類似動作の検索などにも役に立ち、さらに手話における言葉の意味と手指動作の関係を見つける手がかりになると考えている。

手話単語の類似性に関する同様の研究に、安達[1]がある。[1]では、動作記述文間の最長共有部分列をもとに類似度を定義している。我々は、動作記述文を言語解析して、標準的な形に変換し、そこに表れる語彙の意味的なグルーピングをもとに類似度を定義した。我々の方法は現在のところ手作業を含んでいるという点で難点があるが、[1]のような文字列の比較に基づく方法よりも多様な表現に対応できるという点で一般性がある。

3.2 手指動作記述文の解析

対象とした手指動作記述文は、全日本ろうあ連盟発行の『日本語—手話辞典』[2]中の文である。

この辞典には8322件の日本語例文がその手話表現とともに掲載されている。手話表現は「手話イラスト(手話単語)」の接続という形で書かれており、「手話単語」に対して手話イラストが絵で、「手話イラスト説明文」が日本語で書かれている(手指動作記述文)。「手話単語」の延べ数は16151件で、異なり数は3217件であった。

この3217件の手指動作記述文を、我々の研究室で開発している日本語解析システムIBUKIで形態素・構文解析を行った。解析誤りに対しては手修正を行った。

3.3 手指動作記述文の標準化

先の解析結果を分析したところ、次のようなことが分かった。

- 手指動作は、複数の単動作の接続として捉えることができる。
- 接続(Obj)には、同時(AしながらB)、継時(AしてB)、様態(AのようにB)の3種類がある。
- 単動作は、Obj:動作対象(～を)、Act:動作(～する)、Plc:動作場所(～で)、Wth:動作手段(～で)、Dir:動作方向(～に)、Mnr:動作様態(修飾語)の6つのパラメータで表せる。

以上の結果から、手指動作記述文を6パラメータを持つ単動作に分解し、データベースに登録した。各パラメータに現れる要素数を表5に示す。

表5 各パラメータの要素数

	Obj	Act	Plc	Wth	Dir	Mnr
要素数	286	584	114	66	390	114

このパラメータのうち、(Act:動作)は要素数が最も多く、また微妙な違いで異表記となっている(“上げる”と“(上に)動かす”)ものも多く見られたので、さらに(Act:動作)を2つの基本動作に分割した。各基本動作は、(BA:基本動作)、(BAD:基本動作の方向)、(BAM:基本動作の様態)の3つのパラメータによって表すことができた。結局、(Act:動作)は6つのパラメータで表す事とした。基本動作のパラメータに現れる要素数を表6に示す。

表6 基本動作のパラメータの要素数

パラメータ	BA	BAD	BAM
要素数	55	23	38

この11パラメータでの表記を、手指動作記述文の標準形として、データベースに登録した。表7にその例を示す。

表 7 標準化例

区分	Obj	BA1	BAD1	BAM1	BA2	BAD2	BAM2	Plc	Wth	Dir	Mnr	Ope
<アイデア> 右人差指を頭から上にはじきあげる。												
右	人差指	動かす	上	勢いよく	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	頭から上	Φ	文末
<あがる②> 上に向けた右人差指を左腕から上にあげる。												
右	人差指	向ける	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	上	Φ	同時
右	人差指	動かす	上	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	左腕から上	Φ	文末
<あいまい> 両手のひらを前後に向かい合わせ、こすり合わせるように回す。												
両	手のひら	向ける	互い	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	前後	Φ	継時
両	手のひら	回す	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	文末
区分	Obj	BA1	BAD1	BAM1	BA2	BAD2	BAM2	Plc	Wth	Dir	Mnr	Ope
<あおる①> 両手のひらで下から風をおこすように繰り返し、動かす。												
ナン	風	作る	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	様態
両	手のひら	動かす	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	下から上	繰り返し	文末

3. 4 手話単動作間の動作類似性

3. 4. 1 パラメータの要素の意味カテゴリ分類

Obj：動作対象、BA：基本動作、Plc：動作場所、Wth：動作手段、Dir：動作方向、Mnr：動作様態に属する各表現を意味的に近いものを集め、分類した。表 8 に例を示す。次に、これらの意味カテゴリ間に“カテゴリ間類似度 (0~100)”を定義した。

表 8 意味カテゴリ分類の例

パラメータ	件数	カテゴリ	
		例	登録例
Obj	7	指	人差指、指先
		手	手、手のひら
BA	28	摩擦	擦る、塗る
		掌握	持つ、掴む
Plc	8	手先	手首、手のひら
		頭部	口元、鼻の前
Wth	6	右手	右手、右手全指
		両手	両手、両手二指
Dir	19	前	前、手前
		下	下、右下
Mnr	11	速さ	さっと、ゆっくり
		強さ	軽く、やや

なお、動作記述文の中には、比喩を使った表現が含まれていたが、比喩表現の解釈には、多くの言語外知識を必要とし類似度を定義するのも困難であるので、比喩表現を含む動作記述文は考察の対象から除外した。比喩表現の定義は以下のようにした。

- Obj：動作対象が身体部位カテゴリ以外。
- Act：動作が“～ように”を含む。
- Wth：動作手段が身体部位カテゴリ以外。
- Mnr：動作様態が“(物)のように～”を含む。

比喩表現を除いた結果、単動作の数は2、457件となった。

3.4.2 単動作間の類似度計算

単動作 X と単動作 Y の類似度 $SimMov(X,Y)$ を以下のように定義した。 $SimPrm, SimAct$ 関数の係数は、そのパラメータの重みであり実験的に定めた。

$$\begin{aligned}
 & SimMov(X,Y) \\
 = & \{ \quad 15 \times SimPrm(X.Obj, Y.Obj) \\
 & + 30 \times SimAct(X.Act, Y.Act) \\
 & + 5 \times SimPrm(X.Plc, Y.Plc) \\
 & + 10 \times SimPrm(X.With, Y.With) \\
 & + 5 \times SimPrm(X.Dir, Y.Dir) \\
 & + 5 \times SimPrm(X.Mnr, Y.Mnr) \} \\
 & \div (15 + 30 + 5 + 10 + 5 + 5)
 \end{aligned}$$

ここで、 $SimPrm(x,y)$ と $SimAct(x,y)$ は以下のように定義し、0~100 の値を返すようにした。

- $SimPrm(x,y)$ は、
 - $x=y$ の時…100
 - それ以外… x,y のカテゴリ間類似度
- $SimAct(x,y)$ は、
 - $x=y$ の時…100
 - $x.BA2=y.BA2=Null$ の時…
 $SimPrm(x.BA1, y.BA1)$
 - $y.BA2=Null$ の時…
 $\{SimPrm(x.BA1, y.BA1) + SimPrm(x.BA2, y.BA1)\} \div 2$
 - $x.BA2=Null$ の時…
 $(SimPrm(x.BA1, y.BA1) + SimPrm(x.BA1, y.BA2)) \div 2$
 - それ以外…
 $max\{ (SimPrm(x.BA1, y.BA1) + SimPrm(x.BA2, y.BA2)) \div 2, \\ (SimPrm(x.BA1, y.BA2) \\ + SimPrm(x.BA2, y.BA1)) \div 2 \}$

3.5 手話単語間の動作類似度

比喩を除いた手話単語は 1576 件あった。これらの中で単動作構造(単動作の接続状態)が同じ手話単語間のペア 270671 件に対して手話単語間の類似度を求めた。類似度の定義は、継時接続の場合は、対応する単動作間の類似度の和を単動作数で除した値、同時接続の場合は、手話単語の順番は入れ替わっても成り立つので、全組み合わせの最大値とした。

3.6 電子化手話辞典への応用

手指動作記述文を標準形に変換したデータベースを利用して、動作の部分的表現を指定することによって次々と絞り込みながら手話単語を検索するシステムを構築した。

システムの画面構成を図 10 に示す。画面は、検索結果表示部と検索条件設定部と標準形表現部の 3 つで構成されている。

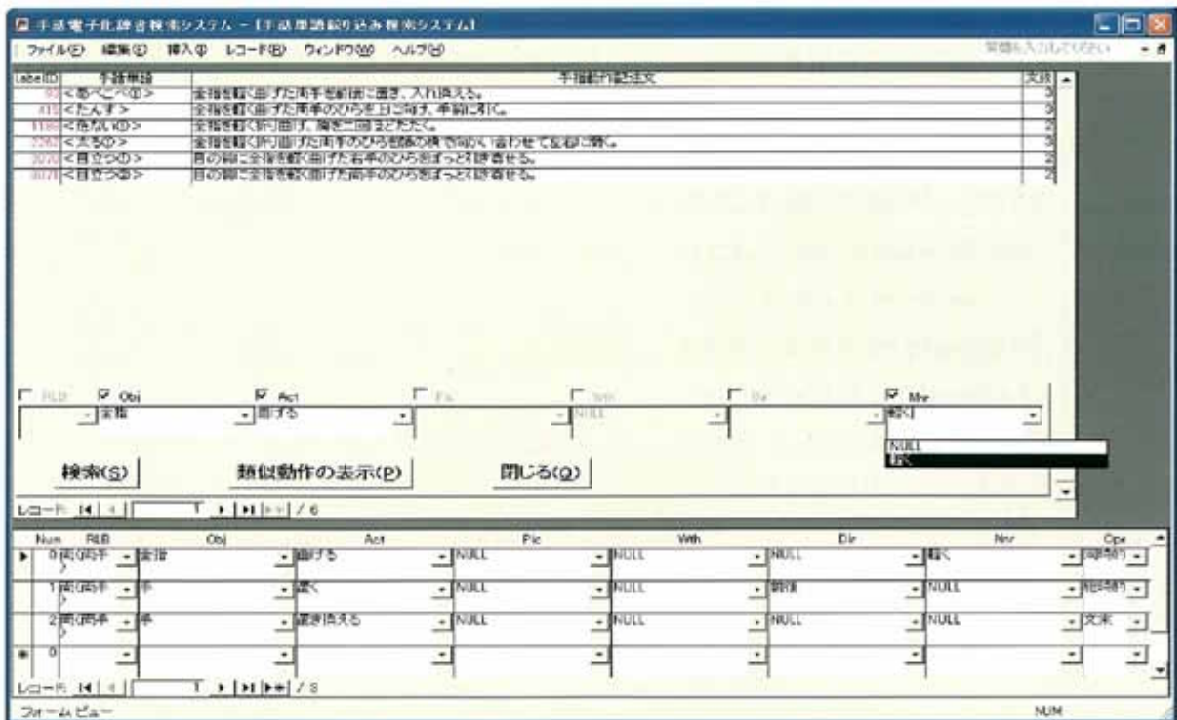


図 10 システム画面

各検索条件項目のコントロールをクリックするとそこで選択可能な値がリストアップされる。しかも、既に他の検索項目で値が指定してあればそれらによって絞り込まれた値のみがリストアップされる。このようにして、部分的な動作を次々と指定していくことによって手話単語を検索することが出来る。これは動作から手話単語を知る方法であり、従来の手話辞典では実現出来ない検索方式である。次々と絞り込んでいけるということは、動作から手話単語を認識する処理において、認識すべき動作特徴を次々と絞り込んでいけるということを意味する。

またこの電子化手話辞典システムでは、前節の動作類似性の計算に基づいて、指定された手話単語と類似した手話単語を、類似度の降順に表示させることができる。図は手話単語<目立つ②>と類似した単語を類似度降順に表示させた例である。認識処理においては、このような動作類似単語との区別に意を割くべきであるということになる。

Similarity	LabelID	WordLabel	WordLabelText
100.0000	3070	<目立つ①>	目の前に全指を軽く曲げた右手のみらぎと引寄せろ。
100.0000	3071	<目立つ②>	目の前に全指を軽く曲げた両手のみらぎと引寄せろ。
95.0000	1125	<痛くへびたろ①>	全指を曲げた両手を右に離す。
94.2667	1297	<驚く①>	全指を折り曲げた両手を目から前に突き出す。
94.2667	3199	<老人①>	曲げた親指を軽く上下させる。
70.0000	2743	<免展>	コの字形にした両手を斜め上にあげる。
70.0000	2765	<巻袖>	指先を合わせた両手を下におろす。
70.0000	1590	<両手①>	コの字形にした右手を上にあげる。
69.2667	1747	<試験>	親指を立てた両手を交互に上下させる。
69.2667	1490	<五分五分①>	親指を立てた両手を内側に押しこめ二回倒す。
25.7143	2829	<両手②>	こぶして親指を軽く二回たたく。
25.7143	3055	<両手③>	親指を立てた両手をこぶして軽く二回たたく。
25.0000	150	<うそ①>	親指を立ててみらぎを寄せ、そこから人差し指で突く。

図 11 <目立つ②>との類似度

3. 7 終わりに

手指動作を記述している日本語文を言語解析し、手話の手指動作の分析を行い、標準形への変換を行った。この標準形を利用して、手話単語を構成している単動作間の動作類似度を定義し、さらに手話単語間の動作類似度を求めた。これらの結果を利用して、手指動作の断片的記述から手話単語を次々と絞り込みながら検索できる電子化手話辞典を構築した。このシステムでは、動作類似度に基づく類似単語を検索することも出来る。

これらの結果は、視覚装置による手話単語の認識処理において、認識手順を誘導する点で寄与し得るものと考えられる。またこの電子化辞書システムは、手話学習や新語を作る際の類似動作検索に役立ち得るものと考えられる。

4 手顔を用了た人のコミュニケーション技術に関する研究

4. 1 概要と目的

顔から送出される情報の理解のためには、実際のインタラクションのなかで、視線がどのように使われているかを理解し、ロボットが自らの視線を制御し、また対話者の視線情報を取得することで、能動的に視線情報を取得、利用できるようにする必要がある。本研究では、視線を利用した対話を行えるロボットの実現を目指し、人とロボットが視線情報を交換するための、視線対話ロボットのソフトウェアの整備を行ってきた。現在は、ロボット眼球部に設置された広角カメラによる人の顔位置の検出と、ロボットによる対話者の顔の追跡、ロボット望遠カメラによる顔方向、視線方向の検出を行うソフトウェアを開発した。これらを用いることで、人の注視方向、傾きなどの非言語情報を理解することができる。また、自らも視線方向、頭部動作を制御することで、人とロボットの間での自然なインタラクションを可能としている。

対面のコミュニケーションでは、言語情報のみならず顔の表情や視線の動きなど様々な非言語情報が相互に伝達される。この情報のやり取りから我々は互いの「心」の状態を推し量り、意思の疎通を行っている。特に、前言語的なインタラクションはコミュニケーション機能の発達に重要な役割を持っており、志向的な情報伝達の形成と深く関わっている。このような、相手の「心の状態」を考慮したインタラクションの姿勢を Dennett は「志向スタンス(intentional stance)」とよんでいる。

非言語情報のなかでも視線の方向や顔の向きは、その行動主体が何に対して注意を払っているのかを推測する手がかりとなり、自分も同じものに注目することで互いに注意対象を共有することを可能とする。しかし、我々が日常的に行っているこのようなお互いの注意対象を共有する行

為は、ただ単にお互いの視線の方向を一致させるというだけの行為ではない。相手の視線に意図を感じ、その相手が注目している対象に対してどのような思考を巡らせているのかを推測するプロセスの産物として生じる行為である。このような意味での注目対象の共有を共同注意(Joint Attention)という。また、頷きや首を振る等の動作からは意図表出の意思や、その意味などを読み取ることができる。これらメカニズムをロボットに実装する試みを通して我々は心を感じる・感じさせるロボットの実現を目指している。

ここでは、ライブ動画から画像処理手法により人の視線及び顔の方向を推定する手法を提案する。また、本システムをロボットに実装し、視線及び頭部動作を用いた対人コミュニケーション実現の試みを紹介する。まず、本システムの概要を紹介し、次に顔方向及び視線方向推定の画像処理手法について論じる。次に方向推定の結果を考察し、その性能の評価を行う。最後に頷方向推定の結果を用いた頭部動作認識について述べる。

4. 2 システム概要

本システムはロボットと人との円滑なインタラクションの実現を目指したものである。このようなシステムでは、リアクション生成の遅れが違和感を生み、スムーズなインタラクションを妨げる大きな要因となる。よって我々は本システムを構成する各モジュールにおいて、動作性能よりも速度性能の確保を優先している。本システムを構成するモジュールは以下の4つに大別される。

- ヒューマノイド動作(モータ)制御モジュール
- 発話(音声合成)モジュール
- 視覚(画像処理)モジュール
- 総合統括モジュール

これらのモジュールの中でも視覚モジュールは最も処理の負荷が大きい部分である。また、本システムでは視覚的刺激がロボットに与えられる唯一の入力刺激であり、ロボットの行動を生起する役割を一手に担っている。このため視覚モジュールの速度性能の水準を落さずに動作性能の向上を図ることが本システムでの大きな課題といえる。目標値としては20フレーム/秒程度の画像処理スペックを維持しつつ、10度程度の視線方向推定の分解性能を実現することである。



図 12 アイコンタクトロボット Infanoid

本研究で使用されているアイコンタクトロボット Infanoid は図 12 に示される様な頭部のみのロボットである。Infanoid の可動関節は、眼球運動の制御に 3 つ、首の動きの制御に 3 つ、口の動きの制御に 2 つの計 8 つあり、それぞれを外部に接続された PC から独立に制御することができる。また、Infanoid はロパク動作と同期して発声を行うことができる。右の眼球部に 2 つの小型ビデオカメラを持ち、それぞれ広角(水平画角は約 120deg)と望遠(同約 20deg)の画像を得ることができる。

本システムの視覚モジュールでは、Infanoid 上のカメラより得た広角、望遠の映像を独立にビデオキャプチャカードより PC に取り込み、並列に処理を行っている。広角カメラの映像は主に

人の顔の発見と視線追従を行う為に用いられる。一方望遠カメラの映像は主に人の視線及び顔の方向推定を行う為に用いられる。これらの画像の解像度は共に幅 320pixel 高さ 240pixel である。Infanoid システムの構成を図 13 に示す。

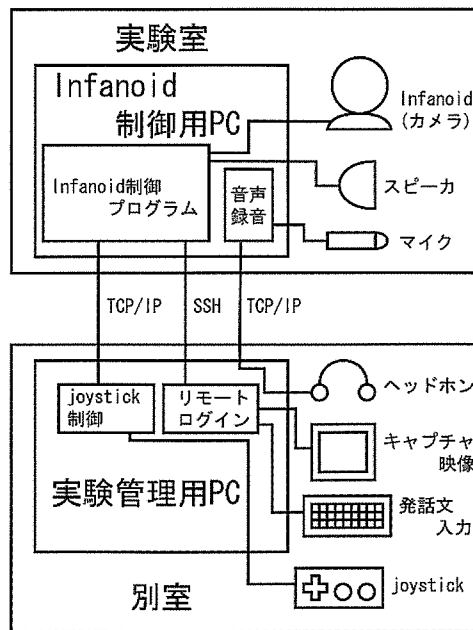


図 13 Infanoid システムの構成

4. 3 顔方向の判定

本節で示す顔方向推定処理は人の顔がある程度の大きさ、かつ画面の中央で捕らえた画像を用いる事を前提として行われる。本システムではこのような画像を取得する為に、広角カメラの映像を用いて人の顔を視線追従し、視野の中心で顔を捕らえるようにロボットの首及び眼球の向きを制御している。顔の水平方向、鉛直方向の推定は、図 14 のようにそれぞれ、顔の両端と顔の中心線の位置、顔の上端及び耳の高さと目の高さをを用いて行う。顔は楕円体として近似し、 X_i, Y_i から回転角度を計算する。また、顔方向推定の為に必要なこれらの特徴抽出を以下の手順で行う。

1. 画像中から顔領域の切出し
2. 目及び耳の高さ検出
3. 顔の中心線の検出

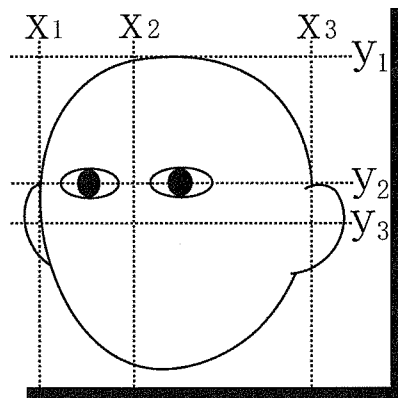


図 14 顔方向推定のためのパラメータ

通常、顔画像から目の位置を抽出する際には眼鏡の有無がその検出精度に対して大きく影響す

るが、本システムでは眼鏡の有無に対する頑健性の実現に関しても注意を払っている。

4. 3. 1 顔領域の切出し

原画像の中から顔の領域を適切に切り出すことは、その後の顔方向推定にかかる処理時間の短縮や、背景画像による影響の軽減につながる。本システムでは、肌色値の分布を利用して顔領域の切出しを行う。この手法は段ボール等の肌色に近い物体が画像中に混在する場合や、環境光の変化に対してやや問題があるが、周囲の環境が一定に保たれた条件の下では有効な手法である。ここで得られた顔領域画像をもとに以下の特徴抽出処理を行う。

4. 3. 2 目及び耳の高さの検出

目の位置を求める際、パターンマッチングなどの画像間の距離を比較する手法では精度は高いが計算コストがかかるため、実時間処理には向かない。またスケールの違いや、回転、照明環境の変化、眼鏡の有無などによって検出精度が大きく左右されてしまう問題がある。本システムでは簡単な画像処理手法を組み合わせた手法を用いることによってこのような問題を回避している。

目の高さは、Sobel フィルタを用いてエッジ画像を作成し、P-tile 法で二値化した後、ヒストグラム計算を行う方法で求めている。これは、顔領域のなかで目の高さに最もエッジ情報が集中することを利用した手法である。本手法では眼鏡をかけることによって、むしろさらに有効に目の高さを求めることが可能である。これは眼鏡を装着することによって、眼鏡のフレーム等のエッジが強くなる部分が目の周囲に集まるからである。また、耳の高さは一定の肌色閾値にて二値化した画像から同じくヒストグラムを計算しそのピーク域として算出している。



図 15 目、および耳の高さの検出

顔中心線の検出にはリング周波数フィルタを用いている。本手法は眉間の位置検出等に有効な手法で、ある特定の周波数パターンを検出することができる。図では、上段の画像中の点を中心とする半径 35pixel のリング上の濃淡データとその強度値及び偏角を下段に示している。このように眉間の近辺では濃淡の分布が明-暗-明-暗の二周期となる点が多く存在し、このような点では強度値は大きくなる。

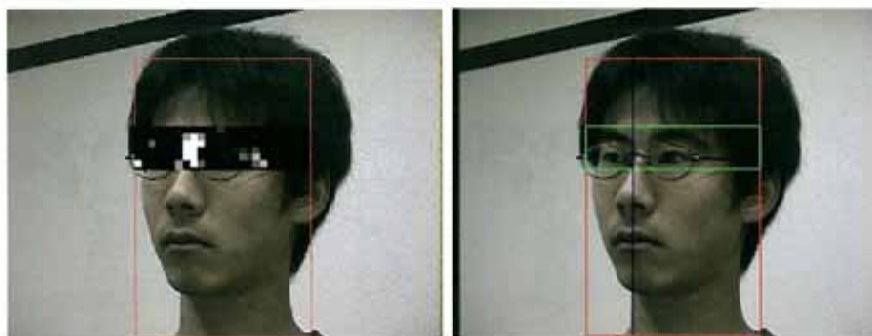


図 16 リング周波数フィルタによる顔の中心線の検出

図 16 の左の画像は先に得た目の高さをもとに探索領域を眉間周辺に限定してリング周波数フィルタを適用したものである。処理部は、得られた強度値のうち上位半分を輝度値 255 にクリッ

ピングし、下位半分を輝度値 0~254 に線形変換して作成した濃淡画像として表示している。この画像から眉間付近に強度値のピーク(白色)があることがわかる。図 16 の右の画像は、これにより検出された顔の中心線を示したものである。

4.4 視線方向推定

視線方向の推定では目領域の左右両端と黒目の位置を用いて計算する。目領域は目の高さとその周囲での水平方向のヒストグラムによって切り出す。黒目の位置は切り出された目領域の中で黒色ヒストグラム値が最大の点としている。

図 17 の左の画像は目領域を切り出す際のヒストグラムを示したものであり、右の画像は目領域を切り出した結果である。

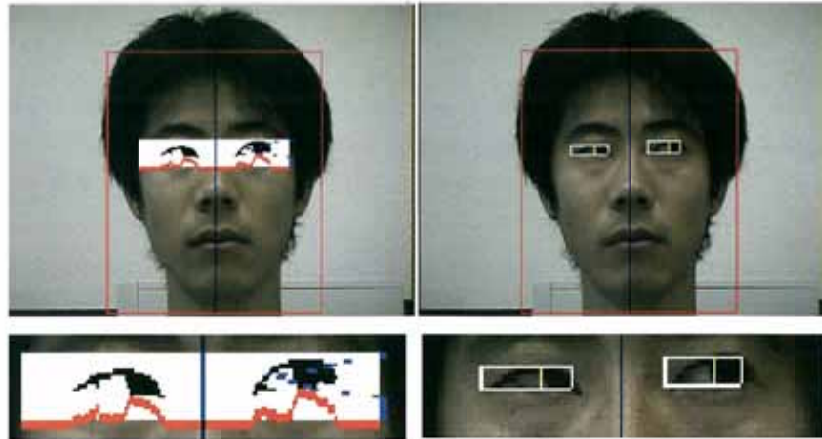


図 17 視線方向の推定

ここでの視線方向の推定は水平方向のみ行っている。また、視線方向の推定については眼鏡に対する頑健性に乏しい。対象者が眼鏡をかけている場合には眼鏡のフレームの影響により目領域をうまく切り出すことができない場合が多い。目領域が正確に切り出せなければ視線方向の推定精度も著しく低下する。

4.5 性能評価実験

先までで紹介した顔及び視線方向の推定手法の精度評価を行うために次のような実験を行った。図 18 左のように被験者、Infanoid、ターゲットを配置し、被験者の顔が Infanoid の望遠カメラの中央でとらえられるようにあらかじめ椅子の高さ、Infanoid の視線方向を調整している。本実験中は Infanoid の関節はまったく動かさずに画像処理モジュールのみを稼働させている。

実験では被験者には図 18 右のように Infanoid の後方に示されたターゲットを一つずつ順番に注視してもらう。この際、実験者が一定の時間間隔で合図し、その合図に合わせて被験者は次のターゲットに視線を移す。注視する順番は中央のターゲットからスタートし、向かって左(上)へ進み、端まで来たところで反対に折り返す。再び反対の端まで来たなら再度折り返し、中央より一つ手前のターゲットを注視したところで終了となる。顔方向の推定実験では視線をできるだけ動かさずに首の動きだけでターゲットを注視してもらうよう指示をした。また、後に述べる視線方向推定実験でも同様に視線の動きのみでターゲットを注視してもらうように指示をした。

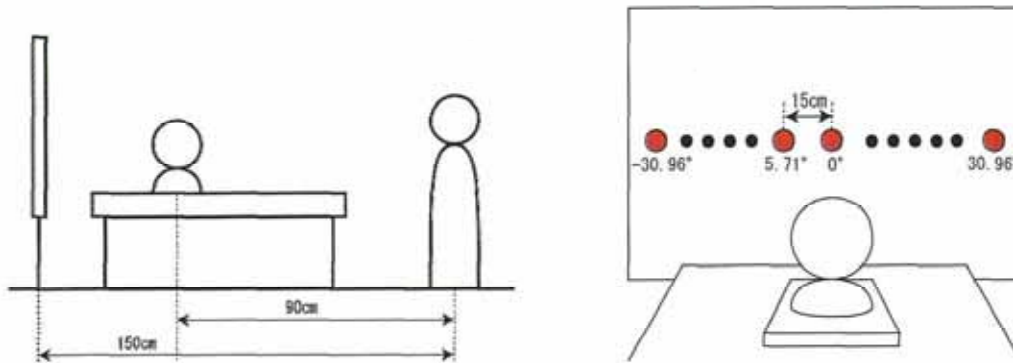


図 18 性能評価実験概念図 左:ターゲット、Infnaoid、被験者の配置。右:被験者から見た様子。

以上のような条件下で上のカメラから取り込まれた被験者の顔の動画を用いて推定された顔及び視線方向の結果を図 15～17 に示す。図の横軸はフレーム数(1 フレームあたり約 50msec)、縦軸は角度(degree)である。この図中に示される点は各時点での被験者の顔及び視線方向の真値を表している。

図 19 は顔の横方向の動きに対する、また図 20 は顔の上下方向の動きに対する結果である。データは眼鏡ありの場合であるが、眼鏡なしの場合もほぼ同様の性能となる。顔方向推定では水平方向、鉛直方向共に最大振り幅付近で推定精度が落ちている。これは角度推定に必要な各顔特徴の見かけが変形したり髪の毛で隠れたりする為である。本システムの手法の精度的な限界は左右、上下 30 度程度であるといえる。また、鉛直方向推定では顔の長さの個人差による影響で顔特徴点の位置関係が異なるため、推定値が上下どちらかにずれてしまう結果となった。

図 21 は視線方向(横方向)の検出結果である。我々の現在用いている視線方向推定手法では眼鏡の影響を回避できないため眼鏡装着時の推定精度は著しく悪い。これらの問題の改善は今後の課題である。以上のような点を除けば、本システムでは眼鏡の装着、非装着に関わらず十分な方向推定精度が得られたと言える。

速度評価としては、システム全体で 20frame/sec の処理速度を目標としていたが、現在画像処理部のみでは Athlon2000+ の PC で 19.14frame/sec の処理速度を実現しており、目標をほぼ達成することができている。ロボットの制御や音声合成処理などの他の処理は別の PC にて並列に行うことでこのスペックを落とすことなく全体のシステムを構築することができる。

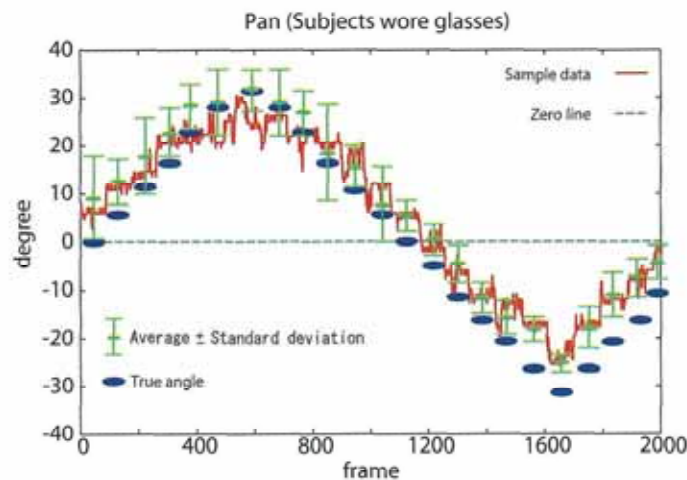


図 19 顔の横方向の動きの検出

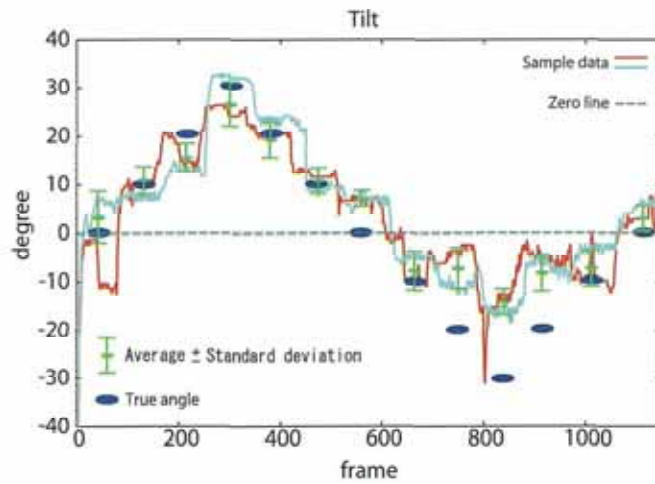


図 20 顔の上下方向の動きの検出

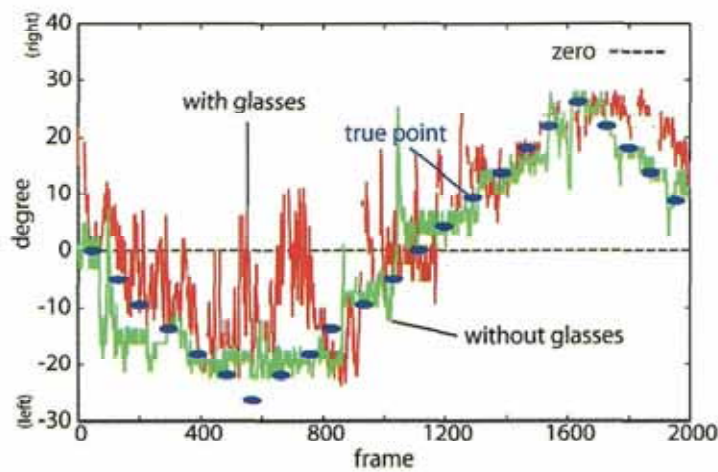


図 21 視線方向(横方向)の検出結果

4.6 頭部動作の認識

コミュニケーションの際の人の頭部の動きのなかで頷きと首振りとは肯定、否定を表すジェスチャーとしての役割をもっている。顔方向推定の結果を用いて時系列的に顔の方向を分析することによって我々は人の頷き、首振りの認識を行った。

図 22 は顔方向推定によって得た時系列に変化する頭部の鉛直方向の角度とその微分値である。微分値が上から下へ 0 線と交差する点が顔が下向に移動を開始した点であり頷きの開始を表す。次に微分値が下から上に 0 線を交差する点が顔が下向移動を終えた点であり頷きの最も深い瞬間を表している。この各時点での顔の鉛直方向の角度を用いて頷きの大きさを面積として計算し、その大きさがある一定の閾値を越えるものを頷きとして認識した。首振りについても同様に顔の水平方向の角度の時系列変化を用いて認識を行っている。

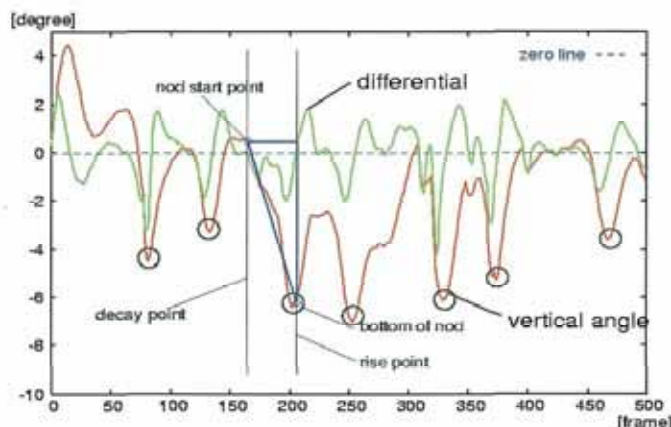


図 22 傾きの検出

4. 7 まとめ

以上、顔、視線方向の推定手法とその結果をもちいた傾き、首振り動作認識について紹介した。本システムの特徴は、実際のロボットの目に装着されたカメラを用いてそれらの検出を行い、また（ロボット）自らの視線、頭部を動かすことで、非言語情報を用いたインタラクションに利用していることである。

我々は冒頭にて顔、視線方向の推定が共同注意実現への大きな要素であると述べた。しかし、共同注意とはただ単に相手が注意を払っている対象に視線を向ける行為ではなく、相手が何かに注意を払う行為の裏側にある意図について思いを巡らせる行為である。我々のロボットは残念ながら相手の考えていることに対して思いを巡らせる能力は持っていない。しかし、コミュニケーションの際に相手の注目している物に適切なタイミングで視線を向けることで、あたかも様々な思いを巡らせているように相手に感じさせることができるのではないか。この擬似的な共同注意を行うことで被験者がロボットに対して感じる印象はどのように変化するだろうか。我々は、その後の実験で、ここで開発したロボットを用いて、人とロボットのインタラクション実験を行い、視線、傾きを用いることでロボットに擬似的な「意図性」を生じさせる効果を確認している。

フェーズ III

今後の取り組み

これまでの研究において、手指動作の言語化技術とそれらによるコミュニケーション技術の有効性が示された。今後の取り組みとしては、ここで得られた研究成果を応用し、家電制御などの知的インタフェースの構築、コミュニケーションロボット等の製品展開が考えられる。そのためには実環境下での動作を考慮した課題を抽出し、それらに対応した技術を確立する必要がある。

文献

- [1] 安達久博, “手指動作記述文間の類似性に基づく手話単語の分類方法”, 自然言語処理, vol.8, no.3, pp.19-37, July.2001.
- [2] (財) 全日本聾唖連盟, 日本語-手話辞典, (財)全日本聾唖連盟日本手話研究所, (財)全日本聾唖連盟出版局, 1997.
- [3] 広間陽, 池田尚志, 兵藤安昭, “手話の手指動作記述文における表現の解析”, 情報処理学会第 61 回全国大会, pp.131-132, Sep.2000.
- [4] 広間陽, 池田尚志, 兵藤安昭, “手指動作記述文の解析と手話電子化辞書検索への応用”, 言語処理学会第 7 回年次大会, pp.217-220, Mar.2001.
- [5] 平塚成幸, 広間陽, 兵藤安昭, 池田尚志, “手話における手指動作記述文の分析と基本動作の抽出”, 情報処理学会第 63 回全国大会, pp.201-202, Sep.2001.

- [6] 広間陽, 平塚茂幸, 池田尚志, 兵藤安昭, “手話における手指動作記述文の解析と手話単語動作類似性について”, 言語処理学会第8回年次大会, pp.144-147, Mar.2002.
- [7] 広間陽, 田中伸明, 平塚茂幸, 池田尚志, “手指動作記述文の分析と動作の断片を検索キーとする電子化手話辞典”, 信学技報, vol.102, no.128, pp.53-58, Jun.2002.
- [8] 広間陽, 田中伸明, 池田尚志, “手話における手指動作記述文の言語解析”, 信学技報, vol.102, no.254, pp.69-76, Jul.2002.
- [9] 田中伸明, 広間陽, 池田尚志, “手話における手指動作記述文の言語解析”, FIT2002, 第2分冊, pp.149-150, Sep.2002.