

GraspCom - 力覚を利用した双方向入出力デバイスの試作 -

澤田 秀之、 鶴丸 朋史、 橋本 周司

早稲田大学 理工学部 応用物理学科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
TEL:(03)5286-3233 FAX:(03)3202-7523
e-mail: {sawa, tsuru, shuji}@shalab.phys.waseda.ac.jp

あらまし 最近の計算機の処理能力の急速な向上により、ヒューマン・マシンインタフェースの重要性が注目されるようになってきた。高速計算能力あるいは記憶媒体といった計算機本来の機能を人間が更に有効に利用しようとする場合には、人間の考えや感覚を計算機に有効に伝える必要がある。また、その結果を的確に受け取ることも重要である。日常のコミュニケーションにおいては、音声による言語的手段と共に、身振り手振りなどの身体メディアを用いた非言語的手段が大きな役割を果たしている。本論文では、人間の手指による把持動作に着目し、手による双方向インタフェースデバイスGraspComの開発について述べる。GraspComは柔らかいシリコンゴムで成形され、把持力のセンシングと振動出力の提示が可能である。ユーザは、力覚を頼りに自由な手指動作により操作を行うことができ、それに対し、さまざまな振動パターンによるリアクションを受け取ることが出来る。更に、GraspComをターミナルデバイスに用いることにより実現される、双方向インタフェースの試作を行った。現在は、手指動作により駆動される柔軟なヒューマンインタフェースデバイスの実現に向け、評価を行っている。

GraspCom - A New Haptic Device Driven by Grasping Force -

Hideyuki SAWADA, Tomofumi TSURUMARU and Shuji HASHIMOTO

Department of Applied Physics, School of Science and Engineering, WASEDA University
3-4-1, Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555, JAPAN

Abstract The importance of human-machine interface is widely acknowledged in accordance with the increase of the computer powers. The faster the processing speed becomes, the wider the gap between the computing ability and the accessing ability of humans to the computer becomes. In human to human communication, we communicate with each other by using not only verbal media but also non-verbal media. Especially information transmitted through the five senses is able to affect our emotions and feelings directly making for smooth communication. In this paper the development of a new haptic device driven by grasping forces is introduced. Since the device is molded by silicon rubber with the softness of human skin, a user is able to make hand gestures with his "sense of force" by the transforming manipulations. And the device is able not only to sense user's twiddling gestures but also to display reactions against the hand gestures by vibration patterns.

1. はじめに

最近の計算機の処理能力の急速な向上により、人間と計算機をつなぐヒューマン・マシンインタフェースの重要性が注目されるようになってきた。人間どうしのコミュニケーションにおいては、言語に加えて視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚といった五感が有効に利用されている。とくに五感を通して伝達される情報は、感性や感情に直接的に働きかけ、円滑なコミュニケーションのために大きな役割を果たしていると考えられる。高速計算能力あるいは記憶媒体といった計算機本来の機能を人間が更に有効に利用しようとする場合には、人間の考えや感覚を計算機に有効に伝える必要がある。更に、計算結果を直感的な手法で解りやすく提示することも重要であると考えられる。これまでの計算機の入力部にはキーボードやマウスが、また出力としてはディスプレイ上に実装されるGUI (Graphical User Interface)が主な情報提示デバイスとして用いられてきた。これらのデバイスは、人間どうしのコミュニケーションとは比較にならないほど単純で少ない情報のやりとりをおこなうに過ぎない。これからの計算機には、大量の情報を多数のチャンネルを通して即時に交換できるしくみが必要となるであろう。人間どうしのコミュニケーションで用いているメディアを有効に利用することにより、新しいヒューマン・マシンインタフェースが実現できるばかりでなく、情報機械としての新たな計算機の利用価値が見いだされると考えられる。

我々の日常生活における情報伝達を考えると、音声による言語的手段と共に、身振り手振りなどのジェスチャーが良く用いられている。特に意志や感情の伝達においては身体メディアの利用が大きな役割を果たしている[1][2]。通常、人間どうしのコミュニケーショ

ンに用いられる身体動作が機械によって理解できれば、伝達者の感情や情緒などの微妙な表現にも対応できる自然な入力手段となり得るであろう。

筆者らはこれまでに、身体運動から得られる加速度パターンに基づくジェスチャー認識手法を検討してきた[3]-[6]。これは、人間の意志や感情が、手などの位置よりもむしろ身体に加えられる力に顕著に現れると考え、運動加速度の直接検出を試みたものである。さらに人間の手指による把持動作に着目し、握力により駆動される楽器GraspMIDIの試作を行ってきた[7][8]。

本論文では、把持力のセンシングのみに着目して開発を進めてきたGraspMIDIに力覚出力機能を付加した、GraspCom (Grasping Communication Device)の開発と、これをターミナルデバイスに用いることにより実現される双方向インタフェースの可能性について述べる。

2. GraspComの構成

2-1. 入出力デバイスとしてのGraspCom

ハンドジェスチャーの計測にはデータグローブが広く使われているが、これはベンドセンサあるいは特殊なファイバによって、五指の屈曲を計測するものである。しかしながら人間の手指を使ったジェスチャーにおいては、その意志や感情、感覚情報は、手指に加える力を計測することによって得られるものも多い。これは、われわれが手指で作業を行う場合、指の曲げを観測しながらコントロールをおこなうのではなく、手指が作用している対象からの反力などを頼りに、微妙な力覚に頼った制御をおこなっていることからわかる。

GraspComは、ハンドジェスチャーによって生じる手、指先の力を計測可能なセンシング

デバイスとして開発をおこなっている。更に、ユーザからのハンドジェスチャー入力に対し、即座に反応を提示できるよう、力覚出力生成機能も備えている。ハンドジェスチャーセンシングのために3つの圧力センシングユニットP-unitおよび加速度センシングユニットA-unitを、また力覚出力生成には4つの小型振動モータを柔らかいシリコンゴムの中に埋め込み、球状に成形することによりGraspComを構成している。その内部構造および外観を図1、2に示す。各ユニットの構成は、以下に順に説明する。

2-2. P-unitの構成

GraspComの内圧センシング部(P-unit)の構造を図3に示す。ゴム製指サックの先端部分、

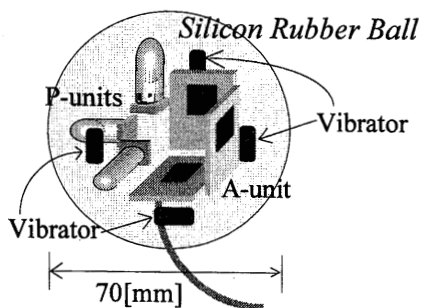


図1 GraspComの内部構造図
Fig. 1 Schematic view of GraspCom

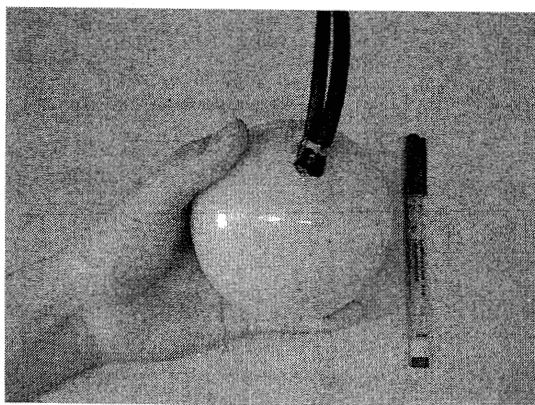


図2 GraspComの外観
Fig. 2 Outer view of GraspCom

約25[mm]を切り取り、FUJIKURA製圧力センサ FPM-15PG に直接取り付け付けた。ゴム製指サック内の初期内圧は大気圧と等しく1気圧であるため、空気漏れをおこすこともなく耐久性に優れている。

指サックの内圧はブリッジ回路によって測定される[8]。圧力センサのサイズは、14(W)×17.5(H)×12(D)[mm]、1.2[g]で、-1から3.515[kg/mm²]の圧力をリニアスケールの電圧値として測定可能である。図4にP-unitの出力特性を示す。GraspComへの荷重が5[kg]~35[kg]の範囲で、ほぼニアに内圧に対する出力電圧値が得られていることがわかる。

2-3. A-unitの構成

A-unitは、OMRON製静電容量型加速度センサCA01 (10mm(W)×3mm(H)×8mm(D)) [9]を用いている。本センサは、約±2Gの加速度範囲を、0.75V/Gの電圧値として計測することができる。

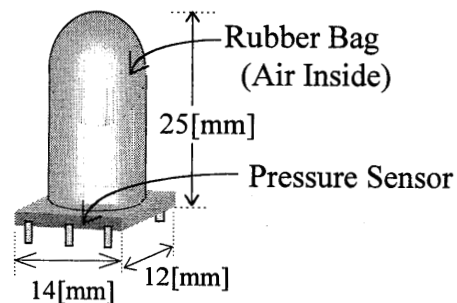


図3 P-unitの構成
Fig. 3 Configuration of P-unit

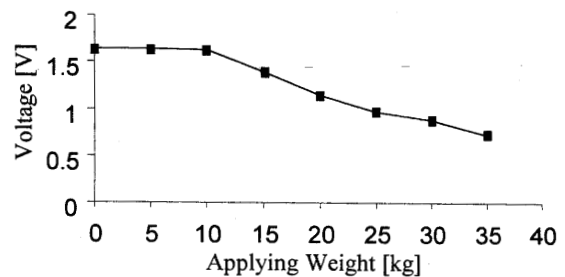


図4 P-unitの出力
Fig. 4 Output of P-unit

1軸加速度センサを用いることにより、重力方向とのなす角度を知ることができる。その原理を図5に示すが、重力方向に対する傾き角 θ は、

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\text{出力電圧}}{0.75} \quad (1)$$

で得られることになる。本加速度センサ3個を図6のように互いに直交して配置し、各センサから重力方向とのなす角度を計測することにより、GraspComの姿勢を求めることができる。図7は、GraspComを1回転させたときのA-unitの角度と出力電圧の関係を表わしたものである。回転角度 θ に対する方向余弦加速度値が、電圧値の出力として得られている。なお、図6におけるA-unitの姿勢は、図7中の約270度付近で現れることになる。

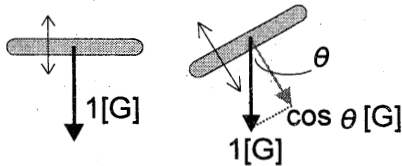


図5 1軸加速度センサの動作
Fig. 5 Behavior of Acceleration Sensor

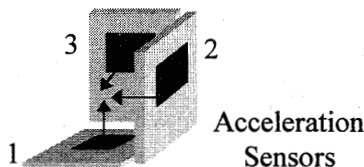


図6 A-unitの構成
Fig. 6 A-unit consisting of 3 accelerometers

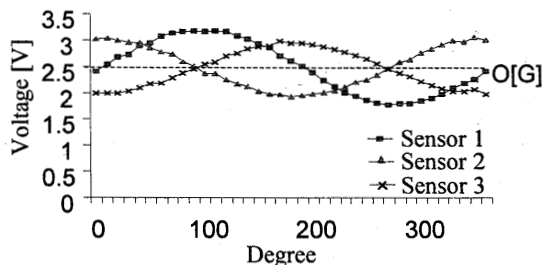


図7 A-unitの出力
Fig. 7 Outputs of A-unit

2-4. 力覚出力生成部の構成

握力インタフェースデバイスからのリアクションとしては、握力に対する反力として内部から押し返すような機構が最も直感的にわかりやすい方法であると考えているが、本デバイスではコンパクトに構成することを優先し、小型振動モータを用いて力覚出力の生成を行っている。ここでは、ページャに使われている薄型円形振動モータ (Shicoh Engineering 製 F203B、直径20[mm]、厚さ3[mm]) を4個内部に埋め込み、振動周期および振動パターンを変えることによって、力覚出力の生成を行っている。各モータは、0.8~1.5[V]の印加電圧に応じて振動数を変化させることができるが、これは振動の強さとして知覚される。

GraspComはPCと接続され、ジェスチャー入力に応じたリアクションを生成、出力する。つまり、ハンドジェスチャーに伴って得られるP-unitおよびA-unitからの出力に基づき、人間が「もっともらしい」と感じる力覚出力パターンを生成できるよう、振動モータの駆動を行っている。図8に、この概念を示した。

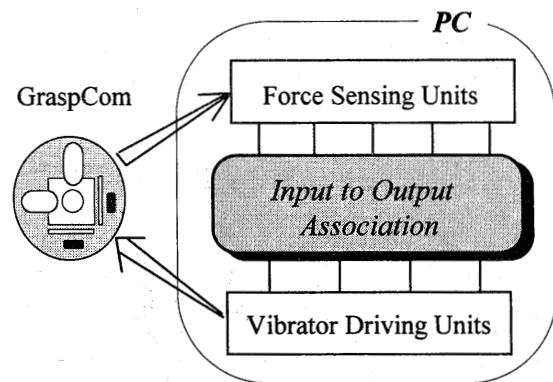


図8 ジェスチャーに応じた力覚出力生成の概念
Fig. 8 Scheme of association of gesture inputs with vibration outputs

3. ハンドジェスチャーセンシングから力覚出力の生成

3-1. GraspComの特徴

P-unit 3個とA-unit、および小型振動モータユニット4個を、図1に示すような配置で直径約70[mm]のシリコンゴムボール内に完全に埋め込むことによって、インタフェースデバイスGraspComを構成している。また、市販のセンサおよび部品を用いてコンパクトな構成を実現していることも、本デバイスの特徴である。

シリコンゴムは人体の皮膚感程度の柔らかさで整形されており、把持力によるボールの変形を、内部のP-unitの圧縮・変形によるその内圧の変化として間接的に計測することになる。また、シリコンゴムで整形しているという特性上、弾力に富み、初期形状（ボール状）への復元力があるため、使用者は力覚を頼りにデバイスの操作および、ハンドジェスチャーをおこなうことが可能となっている。例えば「ねじり動作」のようなアクションは、特に力感、力覚が重要な役割を果たしており、これはデータグローブのような指の曲げ角情報の取得だけでは表現が難しい。

なお今回の試作においては、A-unitがP-unitの働きを阻害しないよう、半球づつに分けて配置した。図1において、左上半球部がP-unitのセンシング領域となり、右下半球部にはA-unitが配置されている。振動モータは、P-unitの動きを阻害しないよう、赤道面に120°間隔で3個、加速度センサ下面に1個配置した。本デバイスは小型に成形されている特性上、片手あるいは両手での操作が可能であり、それと同時にジェスチャー入力に対する反応を振動パターンとして受け取ることが出来る。

3-2. ジェスチャー入力と力覚出力パターンの対応付け

計算機のキーボードをたたけば、キーがストロークすると共にディスプレイ上にキーに対応したキャラクタ文字が表示される。マウスを移動させれば、その動きに同期してディスプレイ上のポインタが移動する。このようにマン・マシンインタフェースデバイスには、人間の操作、入力動作に対して、「納得のいく」ような出力が得られることが不可欠である。

本GraspComは、ハンドジェスチャー入力に応じた力覚出力をリアルタイムで生成することを目的として開発を行っている。ジェスチャーの入力に対して、人間が「もっともらしいリアクション」と感じる力覚出力を生成できれば、力覚のみで操作可能なヒューマンインタフェースが実現できるばかりでなく、特に小型化が求められるPDA(Personal Digital Assistant)やウェアラブル・コンピュータの新しいインタフェースとしても使用可能であろう。さらには視覚障害者あるいは聴覚障害者が自由な手指動作でアクセス可能な計算機の入力にも利用可能であると考えられる。

ここではA/D-D/Aボードを介してPCと接続することにより、ハンドジェスチャーに伴って得られるP-unitおよびA-unitからの出力に基づいて、振動モータの制御を行っている。現在の試作GraspComにおけるハンドジェスチャーと振動パターンの対応関係は以下に示す2つとしている。

- a1) A-unit → 重力方向を示す部位が常に緩く振動
- a2) P-unit → 力の加えられた部位の対面の部位が強く振動

各unitからは30Hzでセンサ値がPCに入力される。GraspComのハンドジェスチャーパターン

の変化が検出された時点で、振動モータの駆動パターンを変化させて力覚提示をおこなう。これにより、ハンドジェスチャーに対応して即座に振動によってリアクションを返すことが可能なインタフェースデバイスを実現している。

また、ハンドジェスチャーパターンを文字情報および振動パターンと対応付けることにより（対応付けの手法については文献[8]を参照）、入力情報を力覚情報で確認しながら計算機入力可能な、一種のキーボードが実現可能である。

4. GraspComによる双方向インタフェースの実現

現在、前述のマン・マシンインタフェースデバイスとしてばかりでなく、GraspComの双方向コミュニケーションデバイスとしての可能性についても検討を行っている。

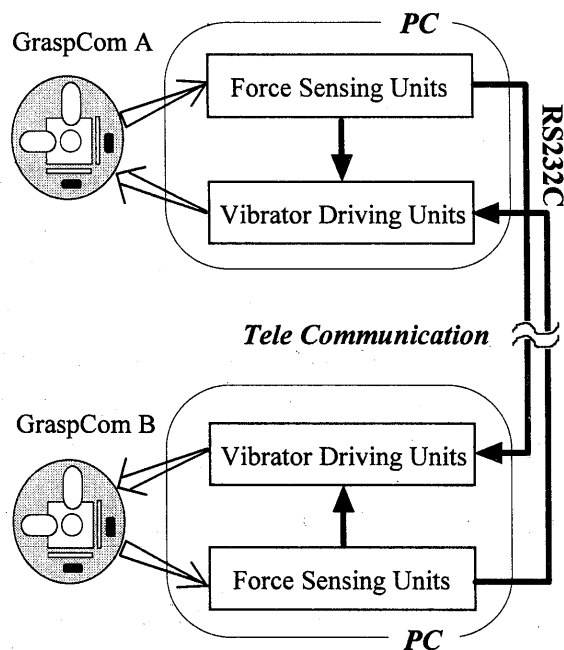


図9 双方向入出力インタフェースによる遠隔コミュニケーション

Fig. 9 Bi-directional telecommunication by GraspCom

GraspComによる双方向入出力インタフェースの概念を図9に示す。これは、GraspComをターミナルデバイスに用いることにより、遠隔地におかれた人どうしのハンドジェスチャーによるコミュニケーションを実現するものである。GraspCom A によって計測されたハンドジェスチャー情報は、自分自身の振動モータから力覚として出力されると同時に、遠隔先Bにも転送され振動モータから力覚出力として提示される。GraspCom B から得られるジェスチャーについても同様に、GraspCom A および自分自身に力覚出力として提示されることになる。つまり、自分自身のジェスチャーに対するリアクションと同時に、相手側のジェスチャーに伴う振動パターンが重畳されて提示されることになり、力覚による新しいコミュニケーションデバイスが実現されている。

自分自身のジェスチャーに対するリアクションの振動パターンの対応関係は前述の a1), a2) を用いている。相手側のジェスチャーに伴うリアクション出力については、現在さまざまな振動パターン提示手法について検討をおこなっている。

ここでは対応付けの一例を示すと共に、本システムでコミュニケーションを試みた後に行ったアンケートの結果を述べる。

相手側のジェスチャーは以下の3つの対応関係によって、自分自身のジェスチャーに対する振動パターンに重畳されて提示される。

- b1) 姿勢 → 重力方向を示す部位が周期2Hzで振動
- b2) 変形 → 力の加えられた部位の対面の部位が周期2Hzで強く振動
- b3) ジェスチャー・シンクロ → 互いのジェスチャーパターンが類似して行くに従い全てのモータが振動しはじめ、一致したときに最も強く振動する

これら5つの対応付けでGraspComによる双方向コミュニケーションシステムを構築し、10名にアンケートを行った結果を表1に示す。

アンケートから、GraspComによる双方向コミュニケーションについては概ね良好な評価を得ることが出来た。特に、自分自身のジェスチャーに対して振動パターンによるリアクションが返ってくる点について高評価を得た。一方、相手のジェスチャーに対するリアクションと自分自身のリアクションの区別については、曖昧であったとする意見もみられた。これは、力覚提示が単純な振動パターンのみ

であることに起因すると考えられ、パターンの生成・提示手法については更に検討の余地があろう。互いのジェスチャーのシンクロについては解り易いという意見も多く、好意的な感想を得られた。また、デバイス操作時の使い心地の良さについて良好な評価が得られた一方で、これを双方向インタフェースデバイスとして用いることの是非については被験者によって評価が分かれた。今後は、デバイス自体をハードウェアの面から改良していくと共に、ジェスチャーと力覚提示の対応づけについて更に検討を行い、新しいコミュニケーションインタフェースとしての可能性を見いだして行く必要がある。

表1 双方向コミュニケーションのアンケート結果

質問事項	感じる / 良い	ある程度感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	感じない / 悪い
①	3	4	2	1	0
②	5	1	3	1	0
③	3	1	3	3	0
④	1	3	5	0	1
⑤	6	3	1	0	0
⑥	1	6	1	1	1
⑦	1	7	2	0	0
⑧	1	3	3	2	1

質問事項:

- ① 相手の存在を感じるか
- ② 自分自身のジェスチャーに対するリアクションを感じるか
- ③ 相手のジェスチャーに対するリアクションを感じるか
- ④ 自分と相手のジェスチャーを区別できるか
- ⑤ ジェスチャー・シンクロを感じるか
- ⑥ 相手とコミュニケーションを取れていると感じるか
- ⑦ デバイスの使い心地の良さ
- ⑧ GraspComによる双方向インタフェースとしての評価

5. まとめ

ハンドジェスチャーセンシングおよび、ジェスチャー入力に応じた力覚出力の提示が可能なGraspComの開発と、そのインタフェースデバイスとしての可能性について述べた。GraspComは柔らかいシリコンゴムで成形され、把持力のセンシングと振動による力覚出力の提示が可能である。

本デバイスを用いて、ジェスチャー入力に伴って得られるセンシングユニットからのデータに基づき、振動モータの制御を行う手法を提案した。ジェスチャー入力に対して、人間が「もっともらしいリアクション」と感じる力覚出力を実時間で生成することにより実現される、力覚のみで操作可能なヒューマンインタフェースデバイスを実現できたと考えている。

更にGraspComをターミナルデバイスに用いることによる、新しい双方向コミュニケーションシステム実現の可能性について述べた。アンケート結果から好意的な評価を得ることができ、力覚によるコミュニケーションデバイスの一例を示したと考えられる。

今後は、振動モータ以外のさまざまな力覚提示手法についても検討をおこない、力覚に基づいた新しいヒューマンインタフェースデバイス、双方向コミュニケーションインタフェースとしての可能性を検討して行きたい。

センサ」、OMRON TECHNICS, Vol.36, No.2, 1996

文 献

- [1] 黒川隆夫「ノンバーバルインタフェース」、電子情報通信学会編、オーム社、1994
- [2] 金山宣夫「世界20ヶ国ノンバーバル辞典」、研究社出版、1983
- [3] H.Sawada and S.Hashimoto, "Musical Performance System Using 3D Acceleration Sensor", Multimedia Modeling Towards Information Superhighway, World Scientific, 1995, pp.293-306
- [4] 澤田秀之、橋本周司「加速度センサを用いたジェスチャー認識と音楽制御への応用」、電子情報通信学会論文誌 VOL.J79-A No.2, pp452-459, 1996
- [5] 澤田秀之、橋本周司、松島俊明「ヒューマンインタフェースとしてのジェスチャー認識」、インタラクシオン'97 論文集、情報処理学会、pp.25-32, 1997
- [6] 澤田秀之、橋本周司、松島俊明「運動特徴と形状特徴に基づいたジェスチャー認識と手話認識への応用」、情報処理学会論文誌 Vol.39、No.5、pp.1325-1333、1998
- [7] 尾上直之、澤田秀之、橋本周司「握力インタフェースを用いた仮想楽器-GraspMIDI-の試作」、インタラクシオン'98 論文集、情報処理学会、pp.27-28、1998
- [8] 澤田秀之、尾上直之、橋本周司「ハンドジェスチャー入力デバイスによる音響生成」、電子情報通信学会論文誌 DII、Vol.J81-D-II、No.5、pp. 795-803、1998
- [9] 細谷克己、大場正利「静電容量型加速度