

平成21年度

筑波大学第三学群情報学類

卒業研究論文

題目
タッチパネル面におけるスポット操作の認識の実現

主専攻 知能情報メディア主専攻

著者 堀 竜慈

指導教員 志築 文太郎 高橋 伸 三末 和男 田中 二郎

要 旨

我々は、従来のタッチパネル操作への、スポイト操作の追加を提案した。スポイト操作とは、タッチパネル面に触れた指に同じ手の親指を付け、その親指によりタッチパネル面に触れた指を摩擦しながら押し下げる動作または引き上げる動作を用いた操作である。従来のタッチパネル操作に、我々が提案するスポイト操作を追加することにより、タッチパネル面において、押し出すまたは吸い上げる操作感を得る操作、ある一点に対する奥行き方向の操作感を得る操作、ドラッグアンドドロップ操作中の命令への割り当てに適した操作を実現といった応用が可能になる。

本研究により、タッチパネル面に伝わる、スポイト操作による固体音を解析することにより、スポイト操作を認識できることがわかった。本論文では、まずスポイト操作とその特徴について述べ、主にスポイト操作の認識方法と認識結果を述べる。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	スポイト操作	2
2.1	スポイト操作とは	2
2.2	スポイト操作の応用例	3
2.2.1	押し出すまたは吸い上げる操作感の応用	3
2.2.2	奥行き方向の操作感の応用	5
2.2.3	タッチパネル平面上の操作から独立した操作の応用	6
第3章	認識システムの実装	8
3.1	スポイト操作による固体音の取得	8
3.2	スポイト操作による固体音の認識システム	8
3.2.1	ハードウェア	8
3.2.2	ソフトウェア	11
第4章	スポイト操作の認識	16
4.1	各特徴量パラメータにおける認識率	16
4.1.1	実験とその結果	16
4.1.2	考察	16
4.2	認識率の個人差	19
4.2.1	実験とその結果	19
4.2.2	考察	20
4.3	タッチパネル面における移動摩擦音の認識	20
4.3.1	実験とその結果	20
4.3.2	考察	20
第5章	関連研究	24
5.1	固体音を用いた操作	24
5.2	スポイトメタファを用いた操作	24
5.3	タッチパネルにおける奥行き操作感を得る操作	25
5.4	ドラッグアンドドロップ中の操作	25
5.5	タッチパネル操作への操作の追加	25

第 6 章	まとめと今後の課題	27
	謝辞	28
	参考文献	29

図目次

2.1	押し出し操作の動作	3
2.2	吸い上げ操作の動作	3
2.3	スポイトを用いて液体を押し出す操作: a の状態においてスポイトの尾部を押すことにより、スポイトの中の液体が押し出され b の状態になる。	4
2.4	データを取り込む、取り出す命令へ割り当てられたスポイト操作のイメージ	5
2.5	吸い上げ操作を行うと、下層のレイヤに切り替わる	6
2.6	スポイト操作を用いた 3D 空間オブジェクト移動操作のイメージ	7
3.1	固体音の伝搬	9
3.2	認識装置側面図	9
3.3	認識装置上面図	10
3.4	コンクリートマイク	10
3.5	オーディオデバイス	11
3.6	wavesurfer を用いて、押し出し操作による固体音の波形に対しラベリングを行っている図	12
3.7	wavesurfer を用いて、押し出し操作による固体音の波形に対しラベリングを行っている図	12
3.8	wavesurfer と Hidden Markov Model Toolkit(HTK) を用いた認識、評価の流れの概略図	13
3.9	認識に用いた HMM の状態遷移系列	13
4.1	押し出し操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は押し出し操作を行った区間)	17
4.2	吸い上げ操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間)	18
4.3	各被験者の、タッチパネル面における押し出し操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間)	21
4.4	各被験者のタッチパネル面における吸い上げ操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間))	22
4.5	タッチパネル面における移動摩擦音による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間)	23

第1章 はじめに

近年、手や指を用いるタッチパネル操作 (以後はタッチパネル操作と記述する) に新たな操作を追加する研究、開発が行われている。これにより、従来のタッチパネル操作において行えなかったことが実現されてきている。例としては、タッチパネルへの指の近接を用いた操作の実現 [9]、指を傾ける動作を携帯端末上のタッチパネル操作に追加することによる、携帯端末の片手による操作の種類の少なさの解消 [7] が挙げられる。これらに対し我々は、従来のタッチパネル操作に、我々が提案するスポイト操作を追加した。スポイト操作とは、タッチパネル面に触れた指に同じ手の親指を当て、その親指によりタッチパネル面に触れた指を摩擦しながら押し下げる動作または引き上げる動作を用いた操作である。従来のタッチパネル操作に我々が提案するスポイト操作を追加することにより、タッチパネル面において、押し出すまたは吸い上げる操作感を得る操作、ある一点に対する奥行き方向の操作感を得る操作、ドラッグアンドドロップ操作中の命令の割り当てに適した操作を実現する。

スポイト操作を従来のタッチパネル操作に追加するために、本研究では、タッチパネル面に伝わる固体音を用いてスポイト操作の認識が行えるか確かめた。これにより、タッチパネル面に伝わる、スポイト操作による固体音を解析することにより、スポイト操作を認識できることがわかった。

本論文の構成を以下に示す。第2章では、本研究において提案するスポイト操作について述べる。第3章では、スポイト操作を認識するシステムの実装について述べる。第4章では、スポイト操作の認識について述べる。第5章では、本研究に関連する研究と、それに基づく本研究の位置づけについて述べる。そして第6章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。

第2章 スポイト操作

2.1 スポイト操作とは

本論文において、タッチパネル面に触れた指に同じ手の親指を当て、指先方向に摩擦する動作を、押し出し操作と呼ぶ。押し出し操作を図 2.1 に示す。また、タッチパネル面に触れた指に同じ手の親指を当て、指の根本方向に摩擦する動作を、吸い上げ操作と呼ぶ。吸い上げ操作を図 2.2 に示す。スポイト操作は、押し出し操作と吸い上げ操作の総称である。スポイト操作は、以下の特徴を持つ。

押し出すまたは吸い上げる操作感を得る

実際のスポイトを用いて液体を押し出すまたは吸い上げる際は、スポイトの尾部をつまむ操作を用いる。一方、本研究が提案するスポイト操作は、スポイトにより押し出されているまたは吸い上げられている液面の動きを模倣したものである。図 2.1 に示した押し出し操作は、図 2.3 に示すようにスポイトの液体が押し出されていく際の液体の動きと同じであり、図 2.2 に示した吸い上げ操作は、スポイトの液体が吸い上げられていく際の液体の動きと同じである。このため、スポイトの押し出すまたは吸い上げる操作感を得る。

奥行き方向の操作感を得る

押し出し操作時、タッチパネルに触れている指と同じ手の親指は、指先に行くほどタッチパネル面に近づく。また、吸い上げ操作時、タッチパネルに触れている指と同じ手の親指は、指の根本に向かうほど平面から遠ざかる。これらの動作は奥行き方向に親指を動かす。このため、タッチパネル面のある一点に対する奥行き方向の操作感を得る。

タッチパネル平面上の操作から独立した操作ができる

スポイト操作に用いる動作は、指を対象とする動作である。つまり、タッチパネル平面を動作の対象とする操作から独立して行うことができる。

スポイト操作による指の摩擦移動距離を用いてパラメータを指定することができる

スポイト操作による指の摩擦移動距離を用いることにより、連続値をパラメータとして命令に用いることができる。



図 2.1: 押し出し操作の動作

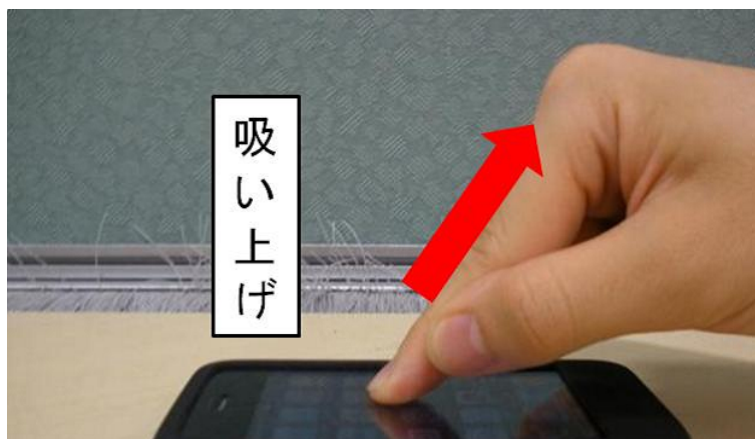


図 2.2: 吸い上げ操作の動作

2.2 スポイト操作の応用例

スポイト操作の特徴を用いることにより、以下の応用例が考えられる。

2.2.1 押し出すまたは吸い上げる操作感の応用

データを取り込む、取り出す命令への割り当て

データを取り込む操作は吸い上げる操作感を、データを取り出す操作は押し出す操作感を得る。これらの特徴を用いて、吸い上げ操作をデータを取り込む命令、押し出し操作をデータを取り出す命令に割り当てる。図 2.4 に、イメージ図を示す。具体例としては、以下のようなものが挙げられる。

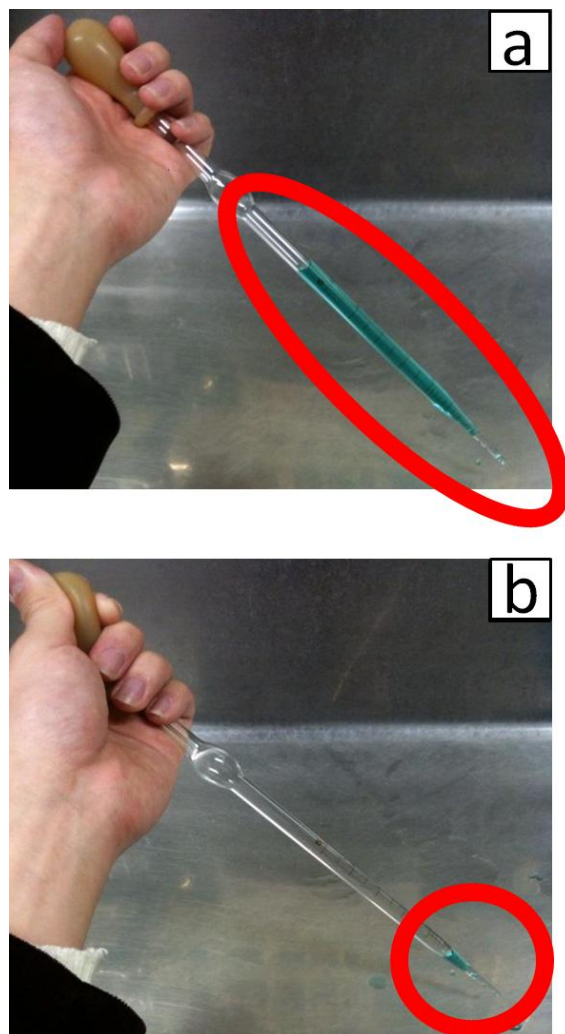


図 2.3: スポイトを用いて液体を押し出す操作: a の状態においてスポイトの尾部を押すことにより、スポイトの中の液体が押し出され b の状態になる。

- カット命令に吸い上げ操作を、ペースト命令に押し出し操作を割り当てる
- 画像編集ソフトのスポイトツールを用いた色の指定」 ― q 命令に吸い上げ操作を割り当てる

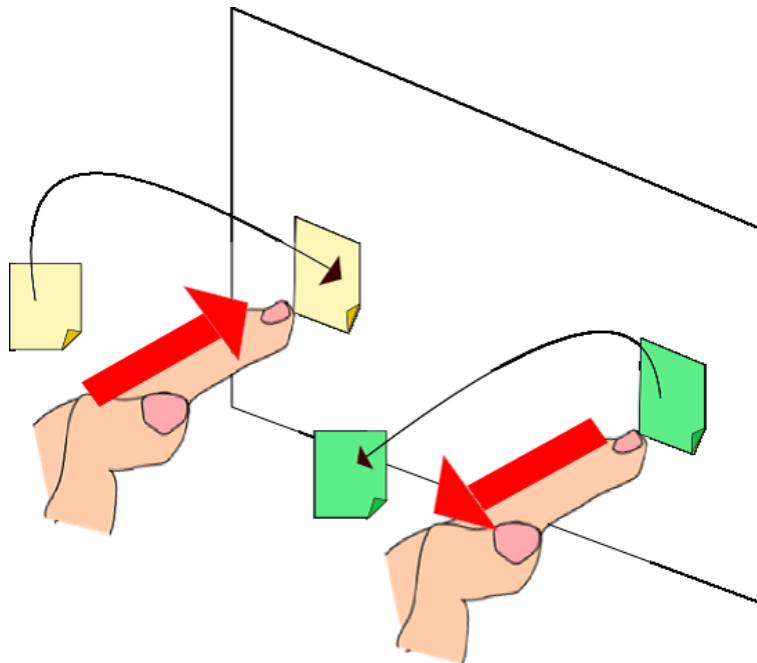


図 2.4: データを取り込む、取り出す命令へ割り当てられたスポイト操作のイメージ

レイヤ切り替え命令への割り当て

押し出し操作、吸い上げ操作を、レイヤ切り替え命令に割り当てる。例えば、写真ビューアアプリケーションにおいて、図 2.5a の状態から図 2.5b の状態へと、現在一番上にあるレイヤを下層のレイヤに切り替える命令に、吸い上げ操作を割り当てることができる。この割り当てによって、下層にあるレイヤを、吸い上げ操作により下層から引き上げる操作感を与えることができる。

2.2.2 奥行き方向の操作感の応用

ある一点に対する奥行き方向の命令への割り当て

スポイト操作を行うためには、タッチパネルのいずれかの点に対して指が触れる。このため、画面上の一点に対する命令に奥行き方向の操作感を得る操作を割り当てることが可能となる。例えば、3D 空間へのオブジェクト操作に活用できる。図 2.6 にスポイト操作を 3D 空間へのオブジェクト移動操作に用いたイメージを示す。

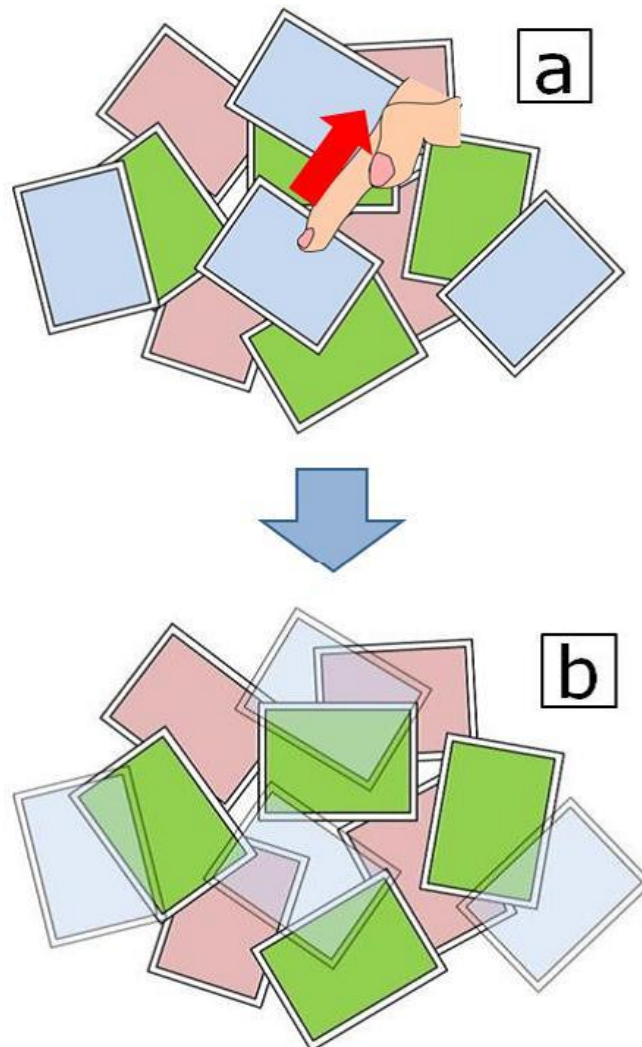


図 2.5: 吸い上げ操作を行うと、下層のレイヤに切り替わる

2.2.3 タッチパネル平面上の操作から独立した操作の応用

ドラッグアンドドロップ中の操作への応用

スポイト操作は、タッチパネル平面上の操作から独立しているため、ドラッグを行っている間にも行うことができるという特徴がある。このため、ドラッグアンドドロップ中のウィンドウのスクロールや切り替え、フォルダの階層移動といった操作に割り当てることができる。

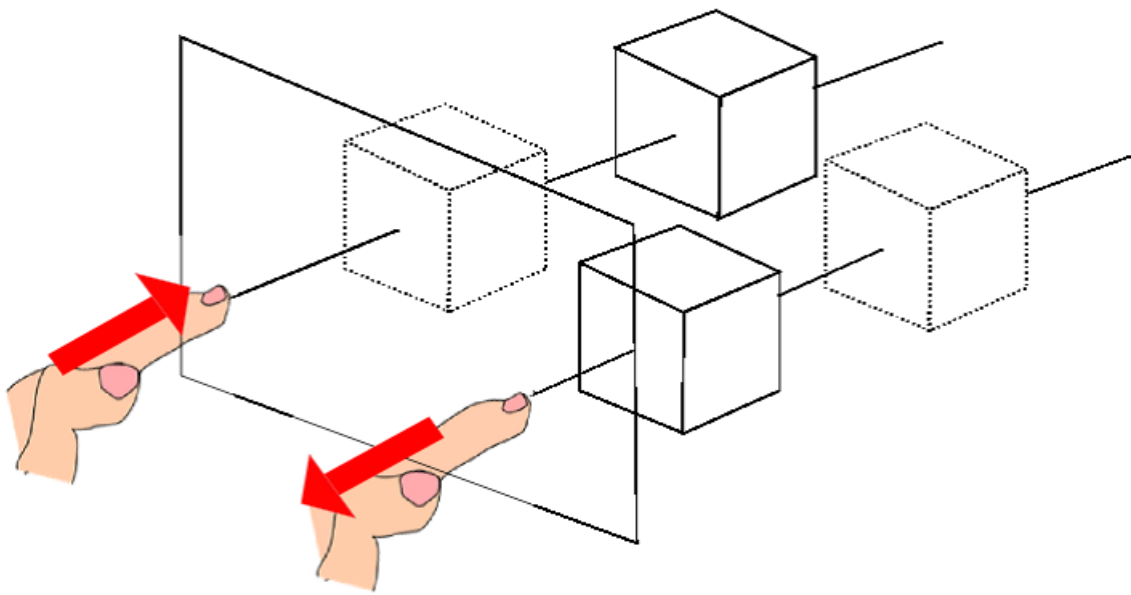


図 2.6: スポイト操作を用いた 3D 空間オブジェクト移動操作のイメージ

第3章 認識システムの実装

スポイト操作の認識に、スポイト操作による、固体を媒介として伝わる音 (以下固体音) を用いることができると考えた。本章では、その理由と認識システムの実装について述べる。

3.1 スポイト操作による固体音の取得

図 3.1 に示すように、スポイト操作を行うと、スポイト操作による固体音がタッチパネルに伝わる。本研究ではこの固体音を、パターン認識を用いて処理することによりスポイト操作を認識する。この固体音を操作の認識に用いた理由を以下に挙げる。

- 固体は気体にくらべて音の伝導率が良いため、指のわずかな摩擦音でも容易に取得可能である
- 押し出し操作による固体音と、吸い上げ操作による固体音の違いを用いて、スポイト操作を認識できる可能性がある
- スポイト操作の認識をデバイス側にて行えるため、使用者はデバイス等を装着する必要がない

3.2 スポイト操作による固体音の認識システム

3.2.1 ハードウェア

スポイト操作を認識することが可能かを確かめるために、図 3.2 に示す装置を製作した。今回はタッチパネルの代わりとして、固体音の伝達に適したガラス板を木板の上に設置した。固体音の取得には、物体の振動の取得に特化したマイクであるコンクリートマイク (SMT 社製 SM-222) を用いた。図 3.4 に使用したコンクリートマイクを示す。コンクリートマイクは、図 3.4 右に見える突起部分 (ニードル部) を用いて、固体の微かな振動を取得する。また、コンクリートマイクをクランプによりガラス板と木板に固定した。固定の際、ガラス板以外からの固体音がマイクに伝達しにくいように、クランプ、木板とガラス板との間に、防音に用いることができるゴム (和気産業社製 EGW001) を挟んだ。また、スポイト操作による固体音を高音質の状態のまま取得するため、オーディオインタフェースとして図 3.5 に示す Roland 社の CAKEWALK UA-1G を用いた。

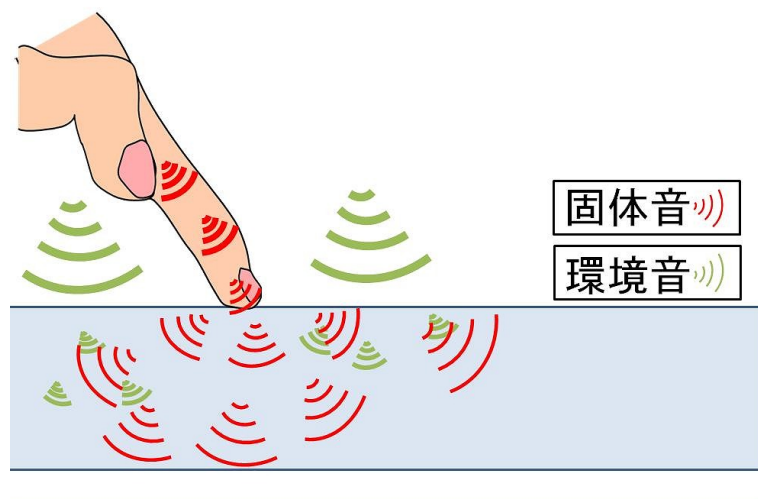


図 3.1: 固体音の伝搬

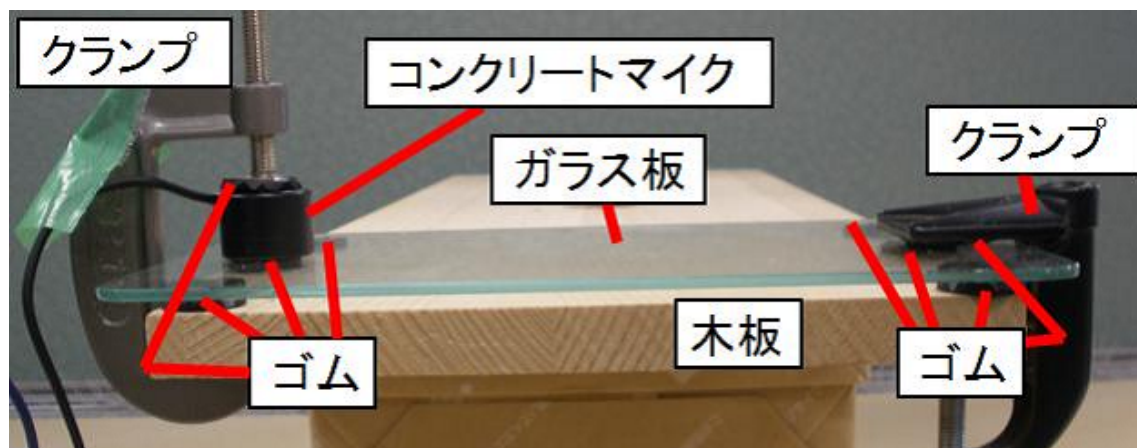


図 3.2: 認識装置側面図

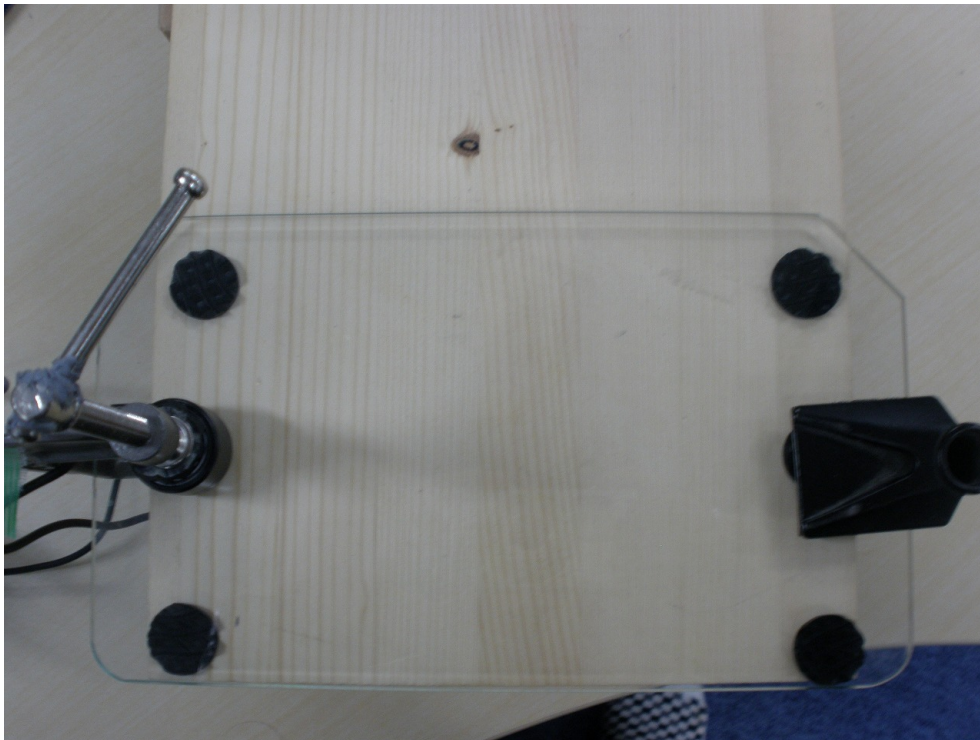


図 3.3: 認識装置上面図

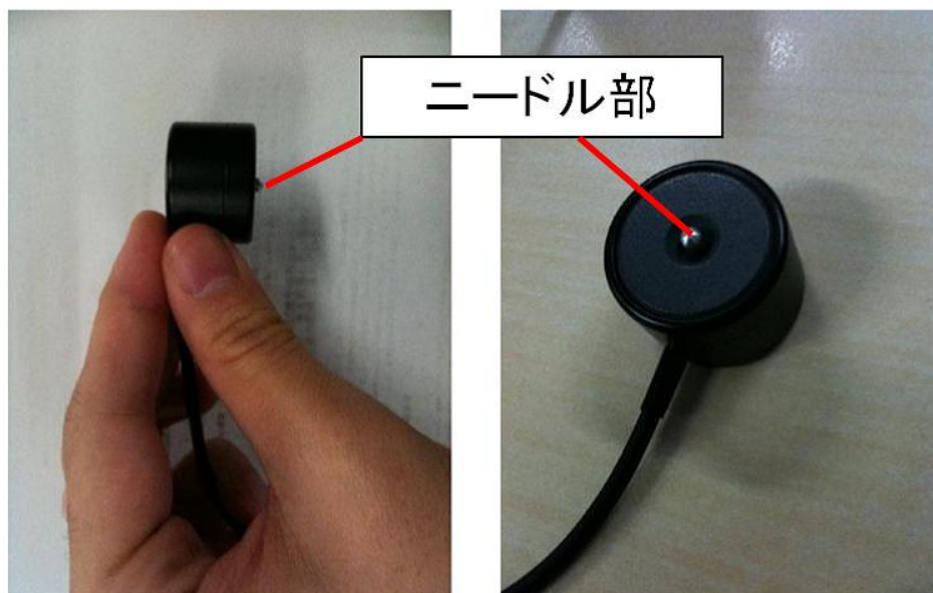


図 3.4: コンクリートマイク



図 3.5: オーディオデバイス

3.2.2 ソフトウェア

スポイト操作による固体音を録音し、どの音声部分に、どの操作が対応しているかをラベリングするために、wavesurfer¹を用いた。wavesurferを用いて押し出し操作による固体音のスペクトログラムに対しラベリングおこなった様子を図 3.6 に、吸い上げ操作による固体音のスペクトログラムに対しラベリングおこなった様子を図 3.7 に示す。スペクトログラムとは、複合信号を窓関数に通して、周波数スペクトルを計算した結果のことをいう。wavesurfer においては、スペクトログラムは、周波数を縦軸、時間を横軸、信号成分の強さを濃度により示したグラフにより表現されている。図 3.6、図 3.7 においては、縦軸が周波数、横軸が時間、濃度が信号成分の強さに対応している。ラベリングは、図 3.6、図 3.7 に示す、wavesurfer の HTK transcription ビュー上の、赤枠に囲まれた窓枠により行った。ラベリングにより、押し出し、吸い上げ操作による固体音部分に、手作業により押し出し操作を示す、または吸い上げ操作を示すラベルを割り当てた。また、押し出し操作、吸い上げ操作時の固体音部分以外に、無音部分にも、同様のラベリングを行った。無音部分にラベリングを行った理由は、押し出し操作、吸い上げ操作時の固体音部分以外に、無音部分も認識するためである。これを行わなかった場合、無音部分が、押し出し操作による固体音部分と、吸い上げ操作による固体音部分をパターン認識する際に、無音部分は押し出し操作による固体音部分または吸い上げ操作の固体音部分に強制的に認識されてしまう。

スポイト操作による固体音のパターン認識、そのパターン認識の評価を行うためのツール

¹<http://www.speech.kth.se/wavesurfer/>

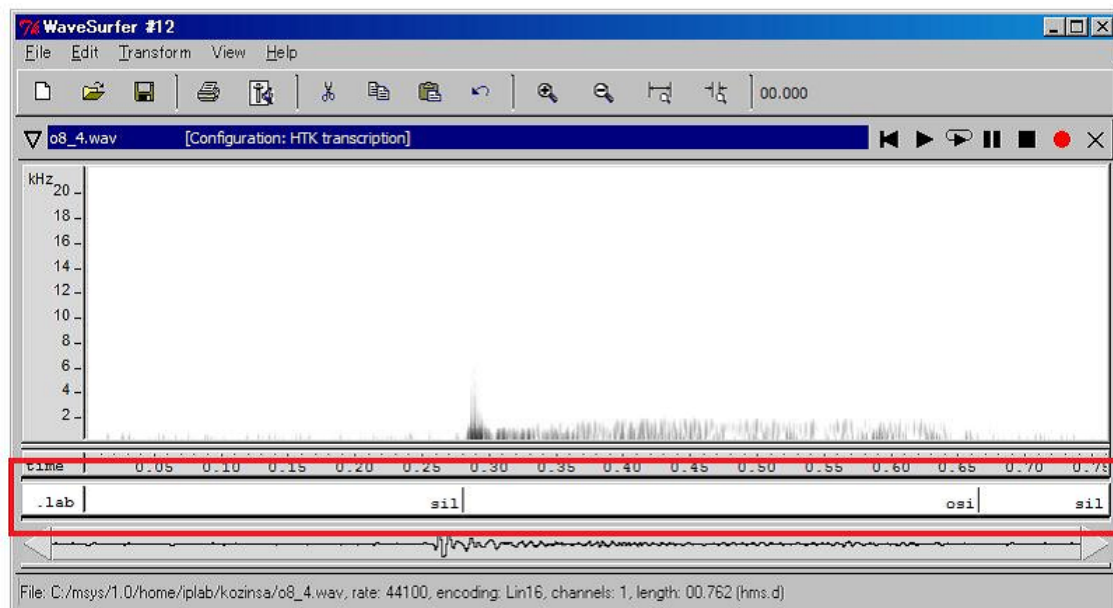


図 3.6: wavesurfer を用いて、押し出し操作による固体音の波形に対しラベリングを行っている図

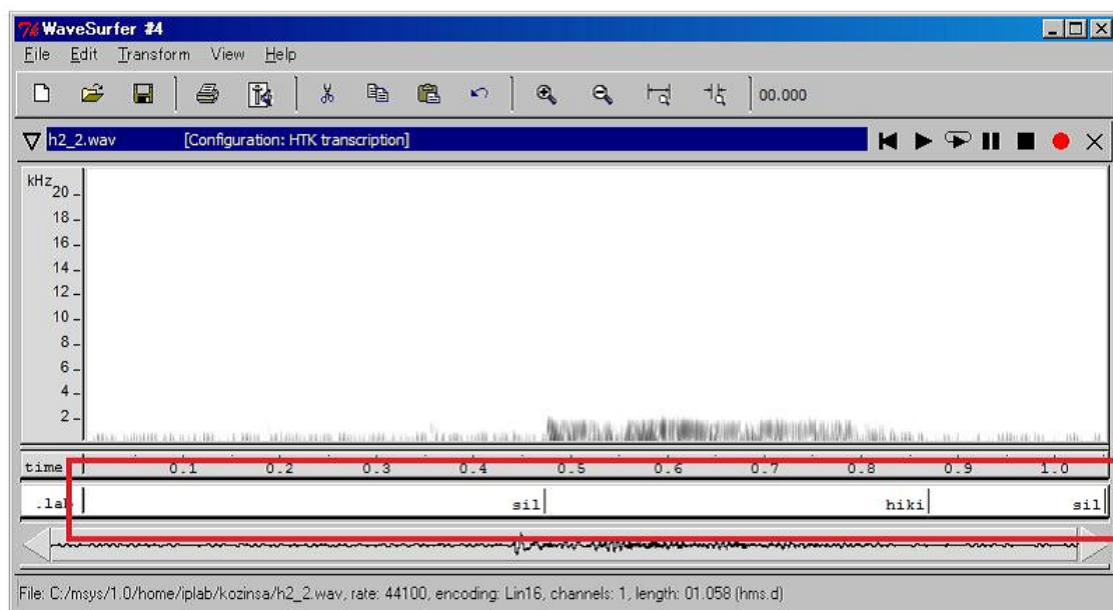


図 3.7: wavesurfer を用いて、押し出し操作による固体音の波形に対しラベリングを行っている図

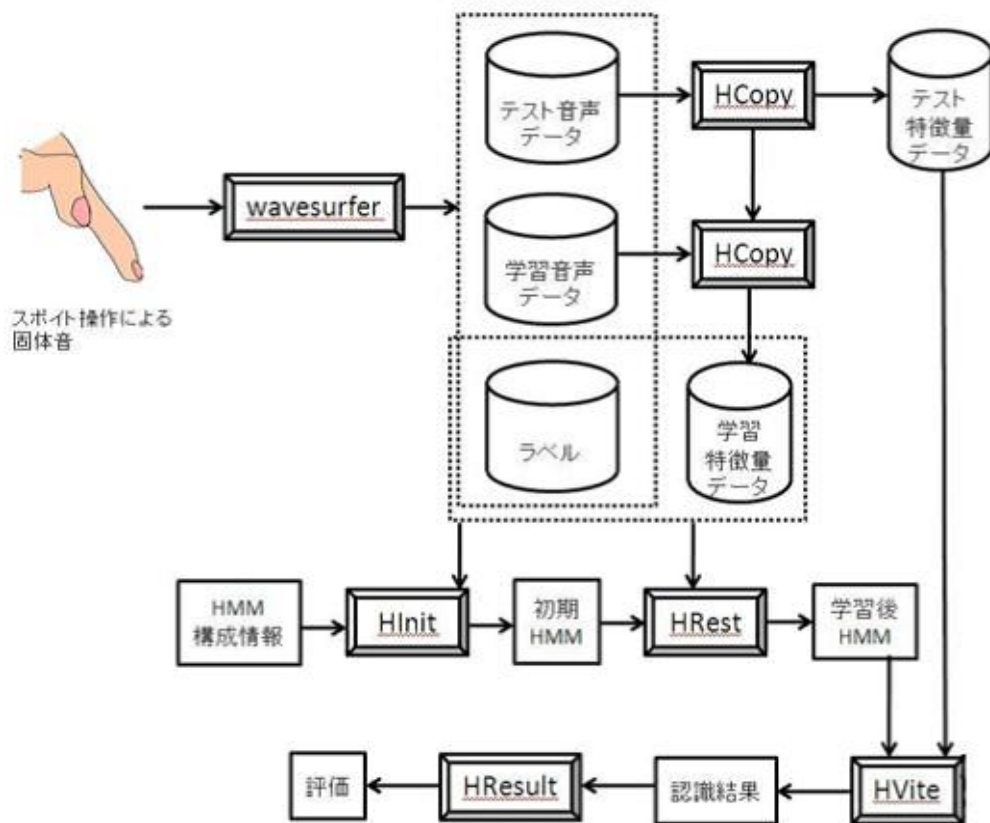


図 3.8: wavesurfer と Hidden Markov Model Toolkit(HTK) を用いた認識、評価の流れの概略図

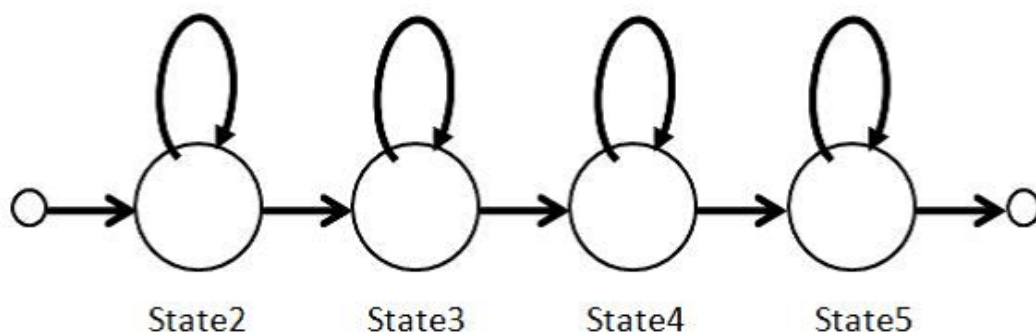


図 3.9: 認識に用いた HMM の状態遷移系列

として Hidden Markov Model Toolkit(HTK)²を用いた。HTK は、Hidden Markov Model に関する統計計算を用いることにより、パターン認識を行うツールである。

図 3.8 に HTK を用いた認識の流れを示す。まず、wavesurfer により取得、ラベリングされた学習用の音声データを用意する。これらのデータを用いて、HCopy コマンドにより、学習用の音声データから特徴量抽出を行う。特徴量抽出の際のパラメータの指定には、設定ファイルに以下の情報を記述しておく。

- 音声ファイル形式
- サンプリングレート
- 窓の広さ
- 窓の種類
- プリエンファシス係数
- filterbank のチャンネル数

プリエンファシス係数は高周波成分の強調に関する係数を示している。filterbank は、音声信号を複数のコンポーネントに分割する際の分割数を示しており、各コンポーネントは元の信号の特定の周波数成分を含む。

次に押し出し操作による固体音、吸い上げ操作による固体音、無音、それぞれに対し Hidden Markov Model(HMM) の状態数、遷移可能性を手作業により指定し、HMM 構成情報ファイルを作成する。本研究では、状態数を 6 とした。これは、スポイト操作による固体音は、以下の 4 つの状態に分けられると想定し、この 4 つの状態に、「初期状態」「最終状態」を加えたためである。「初期状態」と「最終状態」は、HTK を用いる際、必ず用意しなければならない。

- state2: タッチパネルに触れている指に、同じ手の親指を当てた際の音
- state3: その親指を、押し下げまたは引き上げ始める際の音
- state4: その親指を押し下げまたは引き上げている途中の音
- state5: 押し下げまたは引き上げが終わり、タッチパネルに触れている指から親指を離す際の音

また、遷移可能性には、もっとも基本的な HMM の構成に従って、自己ループと次の状態遷移を用いた。図 3.9 に、本研究に用いる HMM の状態遷移系列を示す。

HMM 構成情報ファイルを作成した後、HInit コマンドにより、システムが学習特徴量データとラベルデータを用いて、学習結果が局所最適解に陥らないよう、なるべく正解に近い値に HMM のパラメータの初期値を決める。次に、HRest コマンドにより、システムが学習特徴量データとラベルデータを用いて、HMM 構成情報ファイル上のパラメータを繰り返し更

²<http://htk.eng.cam.ac.uk/>

新する。一回の更新量が少なくなるとシステムは学習を終了する。その後、認識と評価を行う。認識は HVite コマンドを用いてシステムが行い、認識結果を HResults コマンドを用いてシステムが集計する。

第4章 スポイト操作の認識

本章では、3章のシステムを用いて、スポイト操作の認識を行ったため、その結果と考察について述べる。音声は静音環境において、サンプリングレート 44.1kHz により取得した。また、HTK による HCopy コマンドを用いて音声から特徴量を抽出の際は、音声ファイル形式を wav 形式、サンプリングレート 44.1kHz、プリエンファシス形式を 0.97、filterbank のチャンネル数を 24、音声波形からの切り出し間隔を 10ms、窓の広さは 25ms、窓の種類はハミング窓とした。

4.1 各特徴量パラメータにおける認識率

4.1.1 実験とその結果

スポイト操作の各特徴量パラメータにおけるパターン認識を行った。

この予備実験として、3章の装置を用いて、押し出し操作による固体音と吸い上げ操作による固体音を取得した。図 4.1 に押し出し操作による、図 4.2 に吸い上げ操作による固体音のスペクトログラムをそれぞれ 3 データずつ示す。図 4.1、図 4.2 から、押し出し操作と吸い上げ操作の間に、信号成分の強さまたは周波数成分の大きな特徴の差異はないことが読み取れる。このことから、押し出し操作と吸い上げ操作を固体音を用いて分析するには、パターン認識が必要と判断し、本実験を行った。

各特徴量パラメータにおけるパターン認識を行う際、スポイト操作による固体音は、著者 1 名から取得した。音声は、押し出し操作による固体音を 100 個、吸い上げ操作による固体音を 100 個取得した。このうち、50 個ずつをパターン認識の学習データとして、もう 50 個ずつをテストデータとして用いた。特徴量のパラメータとして周波数成分のみを用いる場合、周波数成分と周波数成分の 1 次差分を用いる場合、周波数成分と周波数成分の 1 次差分と 2 次差分を用いる場合における認識結果を表 4.1～4.3 に示す。

4.1.2 考察

表 4.1～表 4.3 に示す認識率が 84 % から 96 % となっていることから、パターン認識を用いることにより高精度に、指摩擦による固体音を用いてスポイト操作を認識できることがわかった。押し出し操作を行うことにより、タッチパネルに触れている指の、側面の皮がたわむ傾向にあり、また、吸い上げ操作を行うことにより、タッチパネルに触れている指の、側面の皮が突っ張る傾向にある。そのため、それぞれの操作時の固体音に差異が生じ、押し出し操

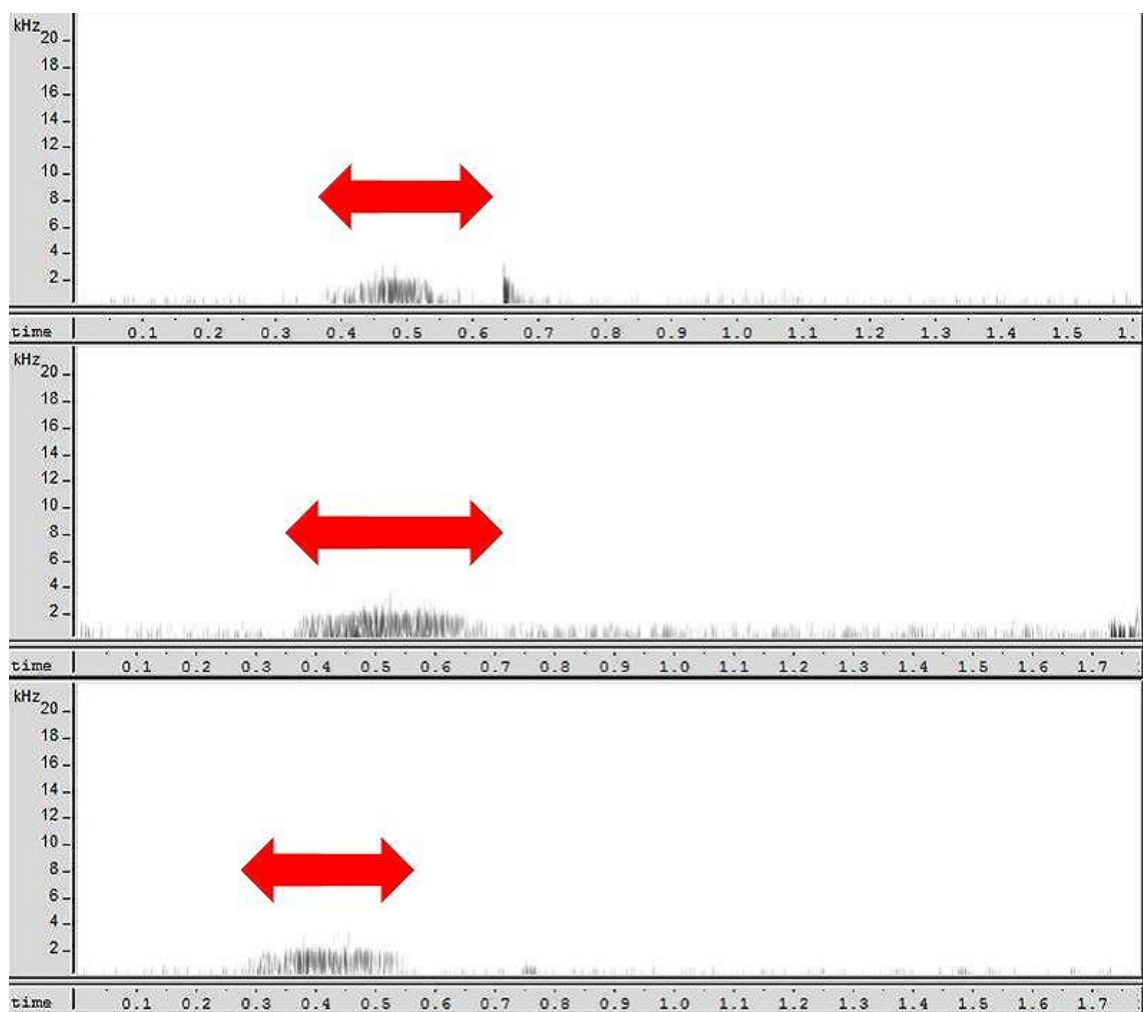


図 4.1: 押し出し操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は押し出し操作を行った区間)



図 4.2: 吸い上げ操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間)

表 4.1: 特徴量のパラメータとして周波数成分を用いた際のスポイト操作の認識率

	回数	正解数	認識率
吸い上げ操作	50	42	84%
押し出し操作	50	38	76%
合計	100	80	80%

表 4.2: 特徴量のパラメータとして周波数成分と周波数成分の 1 次差分を用いた際のスポイト操作の認識率

	回数	正解数	認識率
吸い上げ操作	50	50	100%
押し出し操作	50	47	94%
合計	100	97	97%

表 4.3: 特徴量のパラメータとして周波数成分と周波数成分の 1 次差分と 2 次差分を用いた際のスポイト操作の認識率

	回数	正解数	認識率
吸い上げ操作	50	50	100%
押し出し操作	50	48	96%
合計	100	98	98%

作と吸い上げ操作の認識できたと考えられる。また、特徴量抽出のパラメータとして、周波数成分のみでなく、周波数成分の 1 次差分、2 次差分も用いることで精度が向上したことがわかった。スポイト認識を高精度に認識できた理由としては、3.1 節に述べたように、押し出し操作と吸い上げ操作それぞれに、タッチパネルに触れている指の、側面の皮のたわみ具合が変わり、それぞれの操作時の固体音に差異が生じたためと考えられる。吸い上げ操作よりも、押し出し操作の認識率が低い理由としては、指の皮がたわむ際に、たわみ方に差異が生じやすいことが挙げられる。

4.2 認識率の個人差

4.2.1 実験とその結果

手の表面の状態は、人によって差異がある。このことがスポイト操作の認識率に、どの程度影響を与えるかをスポイト操作による固体音をパターン認識することにより確かめた。

まず、スポイト操作による固体音を 5 人の被験者から取得した。各人から、押し出し操作による固体音を 20 個ずつ、吸い上げ操作による固体音を 20 個ずつ、計 100 個ずつ取得した。

表 4.4: 学習データとテストデータに被験者五人のデータを用いた場合のスポイト操作の認識率

	回数	正解数	認識率
吸い上げ操作	50	41	82%
押し出し操作	50	33	66%
合計	100	74	74%

被験者の年齢は 21 歳から 32 歳であった。各人の、押し出し操作による固体音のスペクトログラムを図 4.3 に、吸い上げ操作による固体音のスペクトログラムを図 4.3 に示す。図 4.3、図 4.3 から各人によって、押し出し操作、吸い上げ操作ごとに差異があることがわかる。しかし、4.1.1 項の結果から、認識器を利用者のスポイト操作に対応させることにより、これらの問題を解決できる。

取得した計 100 個のうち、各人から 10 個ずつをパターン認識の学習データとして、もう 10 個ずつをテストデータとして用いた。認識結果を表 4.4 に示す。

4.2.2 考察

表 4.4 の結果から、一つの認識器により、複数人のスポイト操作の認識を行うと認識率が大きく低下することがわかった。これは、手の表面の状態は、人によって差異があることがスポイト操作に影響を与えていることを表している。

4.3 タッチパネル面における移動摩擦音の認識

4.3.1 実験とその結果

タッチパネル面における移動摩擦による固体音と、スポイト操作による固体音は互いに認識できるかを確かめた。今回は、3 章のシステムの、ガラス板面における移動摩擦による固体音を取得した。図 4.5 に取得した固体音のスペクトログラムを示す。

4.3.2 考察

図 4.5 より、タッチパネル面における移動摩擦による固体音は 23kHz 帯域までの周波数成分を含んでいる。一方、図 4.1、図 4.2、図 4.3、図 4.4 に示すように、スポイト操作による固体音は基本的に 10kHz 帯域までの周波数成分のみしか含まず、高い場合でも一瞬 20kHz 帯域までの周波数成分しか含まない。これにより、パターン認識を用いずとも、周波数成分による切り分けを用いることにより、タッチパネル面における移動摩擦による固体音と、スポイト操作による固体音は互いに認識できることがわかる。

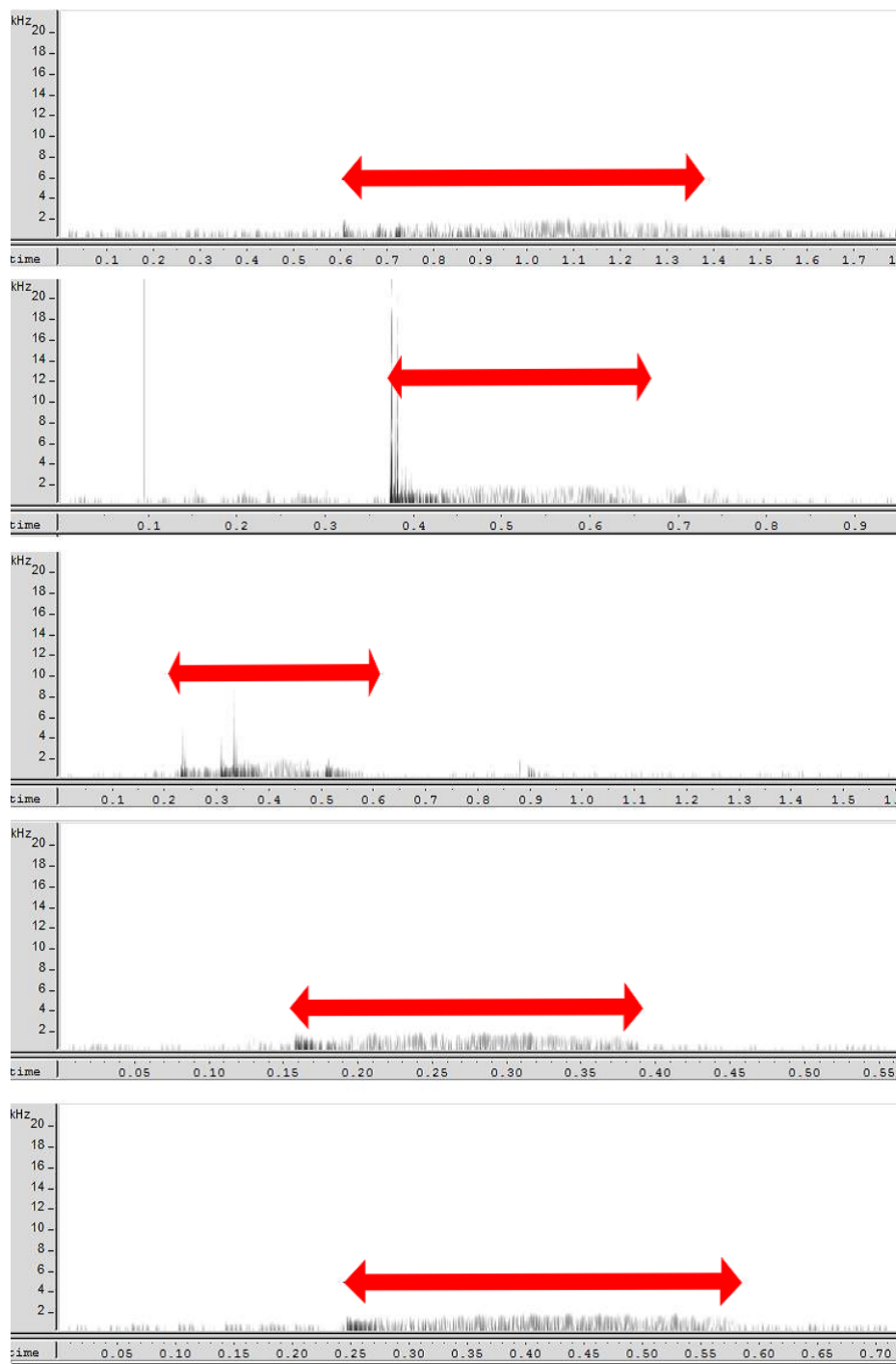


図 4.3: 各被験者の、タッチパネル面における押し出し操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間)

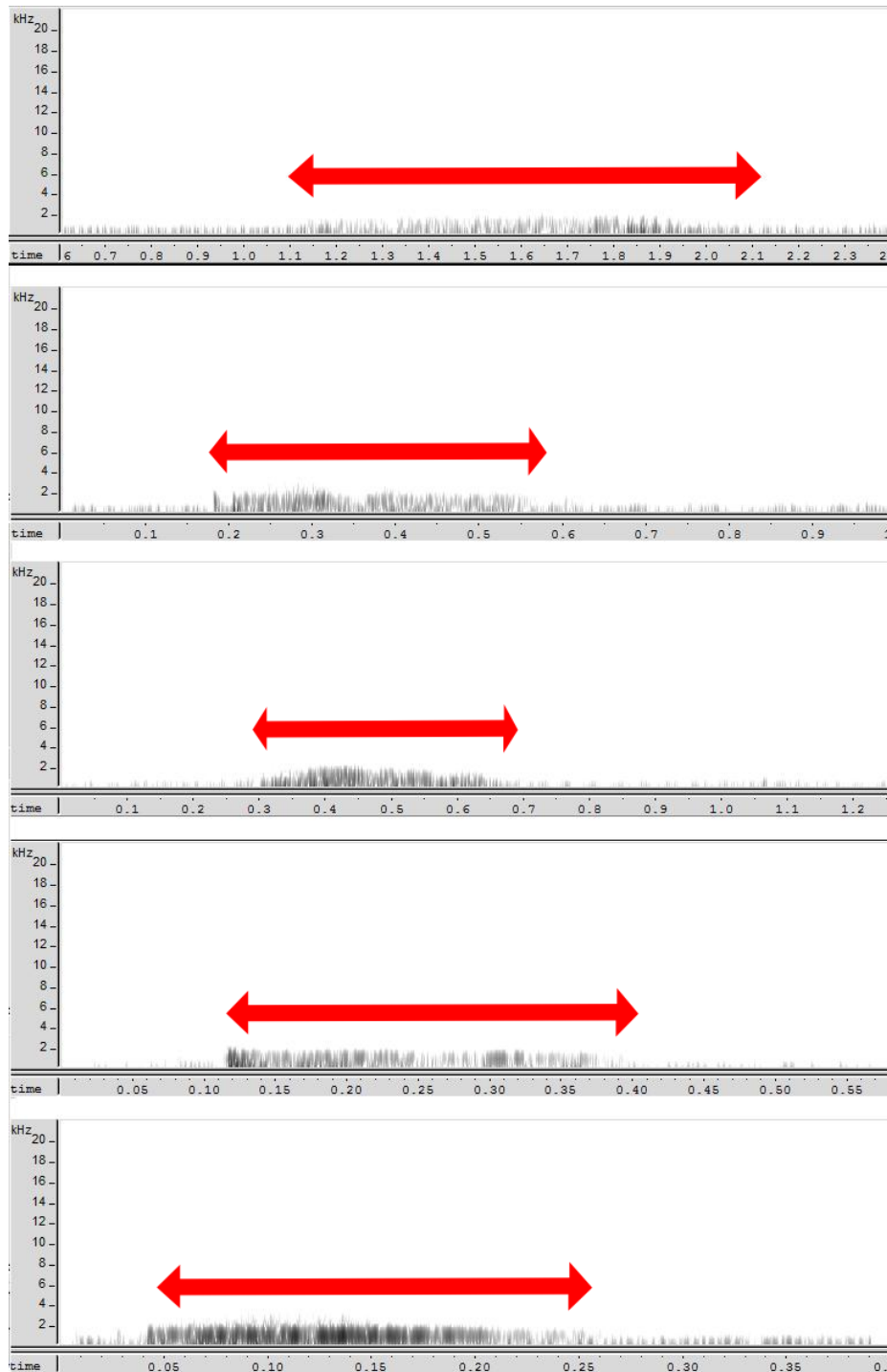


図 4.4: 各被験者のタッチパネル面における吸い上げ操作による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間))

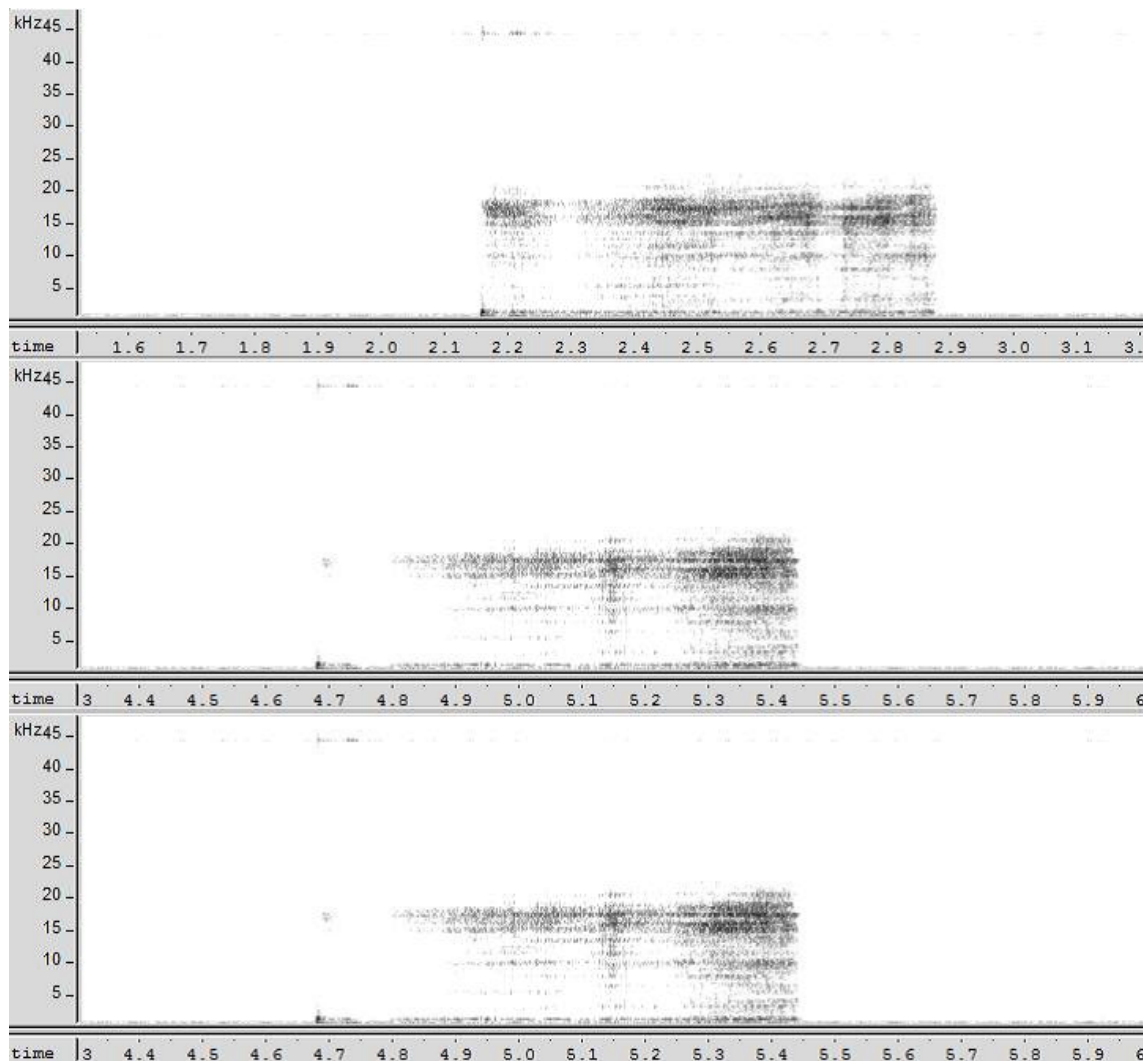


図 4.5: タッチパネル面における移動摩擦音による固体音のスペクトログラム (矢印区間は吸い上げ操作を行った区間)

第5章 関連研究

5.1 固体音を用いた操作

固体音を操作に用いることにより、操作面として利用されることの無かった面が、操作面として利用できるようになる。Amento らは、指先を操作面としたジェスチャを認識するシステムについて述べた [6]。このシステムにより、Amento らは携帯デバイスの操作に、タップする、フリックする、親指を擦るといった、ジェスチャ操作を、携帯デバイスの操作に割り当てることを実現した。ジェスチャの認識には、手首に装着したマピエゾイクを用いて取得し、骨を媒介として指先から手首に伝わる固体音を用いている。

綾塚らは、壁や机などに対する固体音から、ノックの位置を検出するシステムについて述べた [13]。このシステムにより、壁面上に仮想ボタンを配置し、操作可能にする、棚上に並んだ物に対して音声メモを残すなどのインタラクションを可能にした。固体音の位置検出には、複数の振動センサを壁や机に設置し、各振動センサへ伝わる固体音の時間差を用いている。

Harrison らは、あらゆる表面上においても、爪を用いて引っ掻くジェスチャを認識する Scratch Input について述べた [3]。このシステムにより、携帯デバイスへの命令に、あらゆる表面からの、爪を用いて引っ掻くジェスチャによる操作の割り当てを実現した。しかし、あらゆる表面を引っ掻くジェスチャによる固体音からジェスチャを認識したため、引っ掻いた方向を認識することはできなかった。

本研究は、タッチパネル面に伝わるスポイト操作による固体音を用いるため、デバイスを装着せずに操作の追加を実現できる。また、タッチパネル平面状の操作から独立した操作が行えるため、タッチパネルの利用に適した操作が可能である。

5.2 スポイトメタファを用いた操作

スポイトの操作感を得るデバイスを用いることにより、操作にスポイトのメタファを割り当てることができる。神武らは、スティック状のデバイスを用いることにより、現実世界の対象物から情報を取り込む、取り出すシステムを開発した [12]。これにより、コンピュータ等の電子世界におけるドラッグアンドドロップ操作を現実世界へ拡張する操作を実現した。また、Zigelbaum らは、スポイト型のデバイスを用いた、現実世界の物質とコンピュータディスプレイ間の、データの移動を行うシステムを開発した。

本研究は、指の動きを用いてスポイトの動きを模倣することにより、操作に装置を用いることなく、タッチパネル操作にスポイトメタファの操作を追加することを実現した。

5.3 タッチパネルにおける奥行き操作感を得る操作

近年、3次元データを扱うアプリケーションが多くなっている。これに供い、タッチパネル操作において3次元方向の操作を行う研究が挙げられる。

國田 [11] らは、高田らが開発した3次元表示装置であるDFD[10]表示装置を用いて、2次元画像のみにより表現できる以上の視覚的フィードバックを与えることにより、ある一点に対する奥行き方向の操作感を与える操作を実現した。しかし、触覚フィードバックによる奥行き操作感はなく考慮されていなかった。また、内藤 [8] らは、円筒型マルチタッチインターフェースにおいて、ボールをつかむ、はなすジェスチャを用いて、ある一点に対する奥行き方向の操作感を与える操作を実現した。しかし、ボールをつかむ、はなすジェスチャは、五本の指を用いる必要があるため、正確にある一点を狙うのは難しく、特に、小型のタッチパネルデバイスに用いるのは困難である。

本研究のスポイト操作は、従来研究と異なり、通常の平面タッチパネルのある一点に対し、スポイト操作の動作による、触覚フィードバックと視覚的フィードバックを用いた奥行き操作感を得る操作を実現できる。

5.4 ドラッグアンドドロップ中の操作

Kobayashi らのBoomerang[1]は、ブーメランのメタファを用いることによって、ドラッグアンドドロップ操作におけるドラッグ操作を一時中断させる操作手法である。従来ドラッグアンドドロップ中に出来なかった操作を可能にする。しかし、通常のドラッグアンドドロップ操作の際の、今、どのアイコンをドラッグしているか、という視覚的フィードバックによる情報が無い。

fold-and-drop[2]は、紙を折り曲げるメタファを用いてドラッグアンドドロップ中におけるウィンドウ切り替え操作を可能にした。しかし、目的のウィンドウを表示するために、ウィンドウを折り曲げる操作には、一旦つかんでいるアイコンをウィンドウの端まで移動させる必要があった。

本研究のスポイト操作は、通常のドラッグアンドドロップ操作中に行えるため、ドラッグアンドドロップ操作を中断することなく、ウィンドウの切り替え、ウィンドウのスクロールやフォルダの階層移動を行える。

5.5 タッチパネル操作への操作の追加

鷲野らは、タッチパネル操作に、指の近接によるマウスオーバー機能を追加するシステムについて述べた [9]。このシステムにより、タッチ操作を前提としているためのボタンの大きさの制約の解除、タッチしようとしているボタンのフォーカス機能、タッチしようとしているボタンのプレビュー機能を実現した。指の近接の取得には、特殊なタッチパネル装置を用いた。

Roudaut らは、指を傾ける動作による操作をタッチパネル操作に追加するシステムを開発した [7]。このシステムは、指を傾ける動作による操作を追加することにより、種類の少ない、片手による携帯端末上のタッチパネル操作の種類を増やすことを実現した。

本研究は、特殊なタッチパネル装置を用いず、押し出すまたは吸い上げる操作感を得る操作、奥行き方向の操作感を得る操作、ドラッグアンドドロップ操作中の命令の割り当てに適した操作を実現する。

第6章 まとめと今後の課題

本論文では、まずスポイト操作を提案した。このスポイト操作を用いることにより、押し出すまたは吸い上げる操作感を得る操作、奥行き方向の操作感を得る操作、ドラッグアンドドロップ操作中の命令の割り当てといった応用ができることを述べた。次に、スポイト操作による固体音を用いることによる、スポイト操作の認識について述べた。これにより、使用者のスポイト操作の特性に合わせた認識器を用いることにより、スポイト操作を、高精度に認識できることがわかった。また、スポイト操作とタッチパネル面に対する移動摩擦音を分離できることがわかった。

今後は、スポイト操作を用いたアプリケーションの実装を考えている。このアプリケーションを被験者に使用してもらい、評価実験を行うことにより、スポイト操作の有用性を確かめていく。

謝辞

本論文の執筆にあたり、指導教員である田中二郎教授、志築文太郎先生をはじめ、三末和男准教授、高橋伸講師ならびに同大学のマルチメディア研究室の山田武志准教授には多くのご助言やご指導をいただきました。心より感謝申し上げます。

また、IPLAB の皆様にも大変お世話になりました。特に WAVE チームの皆様にはチームゼミだけでなく日常적으로ご意見を頂きました。さらに、スポイトの写真撮影の際には、同大学の鍋島研究室の方々にお世話になりました。ここに深く感謝いたします。最後に日頃より私を支えてくれました家族や友人たちに心より感謝いたします。

参考文献

- [1] Masatomo Kobayashi, Takeo Igarashi. Boomerang: Suspendable Drag-and-Drop Interactions Based on a Throw-and-Catch Metaphor. Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2007), pp. 187-190, 2007.
- [2] Pierre Dragicevic. Combining Crossing-Based and Paper-Based Interaction Paradigms for Dragging and Dropping Between Overlapping Windows. Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2004), pp. 193-196, 2004.
- [3] Chris Harrison, Scott E. Hudson. Scratch Input: Creating Large, Inexpensive, Unpowered and Mobile Finger Input Surfaces. Proceedings of the 21th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2008), pp. 205-208, 2008.
- [4] Jun Rekimoto. Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 1997), pp. 31-39, 1997.
- [5] Jamie Zigelbaum, Alejandro Vazquez, Adam Kumpf, Hiroshi Ishii. Slurp: Tangibility, Spatiality, and an Eyedropper. Proceedings of the 26th annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI 2008), pp. 2565-2574, 2008.
- [6] Brian Amento, Will Hill, Loren Terveen. The Sound of One Hand: A Wrist-mounted Bio-acoustic Fingertip Gesture Interface. Proceedings of the 20th annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI 2002), pp. 724-725, 2002.
- [7] Anne Roudaut, Eric Lecolinet, Yves Guiard. MicroRolls: Expanding Touch-Screen Input Vocabulary by Distinguishing Rolls vs. Slides of the Thumb. Proceedings of the 27th annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI 2009), 2009, 927-936.
- [8] Masaki Naito, Buntarou Shizuki, Jiro Tanaka, Hiroshi Hosobe. Interaction Techniques using a Spherical Cursor for 3D Targets Acquisition and Indicating in Volumetric Displays. Proceedings of the 13th International Conference Information Visualisation (IV09), pp. 607-612, Barcelona, Spain, July 15-17, 2009.
- [9] 鷲野浩之, 岡野祐一, 川又武典. 3次元タッチパネルインターフェイス. インタラクション 2009, pp. 37-38, 2009.

- [10] 高田英明, 陶山史朗, 伊達宗和, 昼間香織, 中沢憲二. 前後2面のLCDを積層した小型DFDディスプレイ. 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.6, pp.807-810, 2004.
- [11] 國田豊, 中平篤, 鈴木尚文, 木村一夫, 中沢憲二. DFDディスプレイとタッチパネルを用いた3次元ユーザインタフェース. 第12回日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2004) 予稿集, pp. 111-116, 2004.
- [12] 神武直彦, 暦本純一, 安西祐一郎. 現実世界での情報移動を支援する InfoSpuit. 第5回日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 1997) 予稿集, pp. 151-166, 1997.
- [13] 綾塚祐二, 暦本純一. 簡易なノック位置検出装置を用いた実世界アプリケーション. 第9回日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2001) 予稿集, pp. 191-196, 2001.