



ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境 のための高度情報提示に関する研究

磯山, 直也

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2015-03-25

(Date of Publication)

2016-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6434号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006434>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング 環境のための高度情報提示に関する研究

平成27年1月

神戸大学大学院工学研究科

磯山 直也

内容梗概

近年、コンピュータの小型化・軽量化により、コンピュータを服のように着て生活するウェアラブルコンピューティング、コンピュータを環境下に埋め込み様々なところで利用し、サービスを受けるユビキタスコンピューティングに注目が集まっている。これらの環境において、人々はいつでもどこでも情報取得を行なえるようになるが、その方法は、環境からの働きかけにより、ユーザが特別に操作することなく受動的に情報を取得する方法を用いる機会が多くなると考えられる。

このような環境のためには、情報提示機構を簡単に、柔軟に構築できること、情報取得者の心身への影響を考慮した情報提示を行なうことが重要となる。これらを考慮し、本研究では、ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境における情報提示技術の確立を目指す。具体的には、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングそれぞれについて、情報提示機構構築の柔軟化、心身への影響を考慮した情報提示について研究を行なう。

本論文は6章から構成され、その内容は次の通りである。まず、第1章で序論として研究の背景と目的について述べる。

第2章では、ウェアラブルコンピューティング環境における情報提示機構を柔軟に構築できることを目的とし、衣服上での情報提示デバイスの使用について、個々のユーザがデバイス種類選択・装着箇所選択を自由にでき、それらを柔軟に変更できるシステムについて述べる。ウェアラブルコンピューティング環境では様々な入出力デバイスを衣服上に装着して、操作したり、情報提示を受けたりするが、情報提示を行なう出力デバイスは、使用するデバイスの種類やそれらを配置する位置が、アプリケーションや状況によって自由に柔軟に変更できることがユーザビリティにおいて重要である。現在、デバイスの装着について、配線やバッテリーの問題無く使用するために、導電性素材を用いたネットワークシステムが開発されており、導電性衣服上で多様なアプリケーションを利用できる環境が整いつつある。しかし、現状のシステムでは種類や位置を自由に選択できるが、現状のシステムでは何をどこに配置したのか把握できない。衣服上に配置されたデバイスの位置を把握することで、各デバイスに機能を割り当てたり、デバイス同士を関連付けたりといったことが簡単に行なうことができ、ウェアラブルコンピューティング環境構築の柔軟性が飛躍的に向上する。そこで、カメラを

用いてデバイスの位置を正確かつ効率的に取得する手法を提案する。デバイスに割り当てられたIDに基づいてLEDの点灯のタイミングを制御し、2段階の点灯処理を行なうことで導電性衣服を着た状態でも正確に位置を取得する。提案手法が効率良く位置検出を行なえるかについてシミュレータおよび実機を用いて評価する。

第3章では、ウェアラブルコンピューティング環境において、心身への影響を考慮した情報提示を行なうことを目的とし、頭部装着型ディスプレイによりいつでもどこでも情報提示を受けられることを利用するシステムについて述べる。頭部装着型ディスプレイによって常時情報閲覧可能といったこれまでに無い新しい情報取得環境が訪れるが、常にある特定の情報が必要というわけでもなく、見落せない情報が流れてくるかもしれないという状況はユーザに対して負荷を与えることになる。ここで、認知心理学の分野では、先行刺激を与えることによって、後続の刺激に対する処理が無意識的に促進されるプライミング効果が存在する。本研究では、このプライミング効果の考え方を情報提示システムに適用し、ユーザが取得したい情報に関連する映像を提示することで、低負荷で無意識的に価値のある実世界情報を取得できるシステムを提案する。取得したい情報に関連する画像をサーバ上に保管し、表示できるソフトウェアを作成する。また、HMD上に表示された映像によりそれに関連した情報に実世界上で気付きやすくなるかについて実験し、表示した映像により目につくものへの変化があるかについて調査する。

第4章では、ユビキタスコンピューティング環境における情報提示機構を柔軟に構築できることを目的とし、インタラクティブシステムを簡単に構築でき、センサ技術に精通していない人でもメンテナンスを行なえるシステムについて述べる。街中での情報提示の形態としてデジタルサイネージやメディアアート等が増加しているが、それらの提示にインタラクティブ性を付与することで多くの情報を伝えたり、観客にシステムを自らの体で経験させて楽しませたりすることができる。しかし、インタラクティブシステムの設置には時間がかかったり、センサのトラブルにより情報が提示されなくなるといった提示そのものに影響が出てしまうことが多いがセンサ技術に精通した人でないとメンテナンスができなかったりする問題がある。そこで、インタラクティブシステムを簡単に設置、誰でもメンテナンスできることを目的とし、様々な状況下でユーザアクションを認識できるフレームワークを提案し、専門家無しでも運用できるソフトウェアを実装した。ソフトウェアが様々な素材上で正常に動作するかについての評価、センサ技術に精通していない人でもインタラクティブシステムを構

築可能になるかの評価を行ない，2度のメディアアートの展示において提案システムを使用し，考察を行なう。

第5章では，ユビキタスコンピューティング環境において，心身への影響を考慮した情報提示を行なうことを目的とし，観客参加型演劇 YOUPLAY におけるインタラクティブな情報提示について述べる。情報提示が人にどのように作用するかを実環境で調べるために，人の行動に合わせた反応を返すインタラクティブなコンピューティング技術と，昔から多くの人々に親しまれている演劇を組み合わせることで，新たなジャンルのエンタテインメントを提案する。本イベントは，情報提示の方法次第で参加者を深く物語の世界観へと入り込ませられるが，システムがうまく働かないと違和感をもたせて現実に戻らせてしまうという特徴がある。このようなイベントを一般人に実際に体験させることで，研究室環境では得られない生の反応を観察する。2度の期間に分けて全80公演行ない，そこで見られた様子やアンケート結果から考察を行なう。またシステム運用において起きたトラブルについてもまとめ，今後のシステム設計・運用のための重要な指針とする。

第6章では，本論文の成果を要約したのち，今後の研究課題について述べ，本論文のまとめとする。

目次

1	序章	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究目的	3
1.3	本論文の構成	5
2	導電性衣服上に配置されたデバイスの位置取得のためのLED点滅制御手法	9
2.1	まえがき	9
2.2	関連研究	10
2.3	提案手法	13
2.3.1	点灯アルゴリズム	14
2.3.2	冗長部の追加	20
2.4	実装	22
2.5	評価	23
2.5.1	デバイスIDのビット長の影響	24
2.5.2	設置されたデバイスの個数の影響	26
2.5.3	誤検出半径の影響	27
2.6	むすび	28
3	ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム	30
3.1	まえがき	30
3.2	関連研究	31
3.3	提案手法	32
3.4	利用例	33
3.5	予備実験	34
3.5.1	視覚情報取得への影響	35
3.5.2	実験結果と考察	37
3.5.3	聴覚情報取得への影響	39
3.6	実環境での評価	43
3.6.1	実環境中の視覚情報取得への影響	43

3.6.2	実環境中の注意事象への影響	46
3.7	実装	50
3.8	考察	51
3.9	むすび	53
4	平面をインタラクティブにする加速度センサを用いたユーザアクション認識システム	55
4.1	まえがき	55
4.2	関連研究	56
4.3	提案システム	58
4.3.1	システムデザイン	58
4.3.2	システム構成	61
4.3.3	認識手法	61
4.4	実装	64
4.5	評価	66
4.5.1	様々な素材での使用	67
4.5.2	インタラクティブシステムの設定	75
4.6	実運用	77
4.6.1	34°_41.38'N 135°_30.7'E	77
4.6.2	White Parallel Small Space	81
4.7	むすび	84
5	観客参加型演劇 YOUPLAY におけるインタラクション設計	86
5.1	まえがき	86
5.2	関連研究	87
5.3	観客参加型演劇 YOUPLAY	89
5.3.1	概要	89
5.3.2	ストーリー	90
5.4	演出デザイン	92
5.5	システムデザイン	95
5.5.1	システム構成	95
5.5.2	ヘルメット用システム	97

5.5.3	小道具用システム	98
5.5.4	位置検出	99
5.5.5	行動認識	100
5.5.6	発声認識	102
5.5.7	手動操作	103
5.6	問題点と改善策	104
5.7	参加者の反応	106
5.8	考察	111
5.9	むすび	112
6	結論	115
6.1	本論文のまとめ	115
6.2	検討課題	116
	謝辞	119
	参考文献	121
A	付録	138

1 序章

1.1 研究の背景

近年，マイクロエレクトロニクス技術の発展によるコンピュータの小型化・軽量化と無線通信技術の発達により，コンピュータの利用形態は従来のオフィスなどによるデスクワークを中心とした利用から，ノート PC や携帯電話などのように時間や場所を問わずコンピュータを持ち運び利用するモバイルコンピューティング，さらにはコンピュータやセンサを身に着けて生活するウェアラブルコンピューティングへと拡大している．また，個人での利用だけでなくコンピュータは街中にも遍在し，あらゆる環境にセンサやコンピュータが埋め込まれるユビキタスコンピューティング環境が作りあげられつつある．これらの新しいコンピューティングスタイルによって，人の活動状況，その場の温度などの気候情報などが記録・解析され，あらゆるサービスへと利用されている．

このような発展の流れから，今後コンピュータを利用する形態として下記のような環境が想定される．起床後，服に着替えるが，その服には様々な入出力デバイスが装着されており，ボタンやスライダ，センサ等を用いて入力処理を行ったり，ユーザの行動や状況の認識をしたり，インジケータとしての LED，骨伝導イヤホン，振動子等から情報提示を受けたりする．それらの入出力デバイスはその日の気分や使用予定の用途によって付け替えられる．服以外にも，メガネのように頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を掛け，常時情報を閲覧できる．街中へでかけると，従来の紙媒体のポスター以外にも，ディスプレイやスクリーンを用いたデジタルサイネージから情報提示を受ける．それらの提示は人々の動き，あるいは状態に合わせて適した提示方法で出力される．

これらの環境における情報取得は，従来のデスクトップ・モバイルコンピューティング環境とは大きく異なる．デスクトップ・モバイルコンピューティング環境では，ユーザ自らが，必要時に情報へアクセスして取得する能動的な情報取得が主であった．しかし，ウェアラブルコンピューティング環境では，ユーザは常時情報を閲覧できるデバイスをもっており，入力デバイスが貧弱であり入力が困難なことが多いなどの理由から，環境からの働きかけにより，ユーザが特別に操作することなく受動的に情報を取得する方法を用いることが多い．ユビキタスコンピューティング環境においても，街中の

デジタルサイネージ等から情報を取得することは受動的である場合がほとんどである。受動的な情報取得は、ユーザの意思によらず情報を取得するため、不必要な情報を取得する可能性があるが、ユーザに入力の手間がなく、ユーザの発想とは異なる視点からの情報が得られることがあるという特徴がある。また、ウェアラブルコンピューティング環境ではHMDにより常時情報取得が可能であるといったこれまでには無い新しい環境となる。

上記のような受動的な情報取得の機会の増加、常時情報を閲覧可能環境の利用について、以下の点を考慮する必要がある。

- 個人適用

ウェアラブルコンピューティングの特徴の1つとして、サービスを個人に合わせて、きめ細やかに提供できるといった個人適用が挙げられる。個人ごとに利用したいサービスは違うと考えられるが、個人ごとの快適な利用環境を簡単にセッティングでき、かつ入出力デバイスを装着することによる不自由がないように生活できることが重要である。さらに個人ごとに入力デバイス进行操作しやすい、出力デバイスを見やすい・わかりやすい位置に自由に装着でき、柔軟に変更できることが望まれる。

- 心身への影響

受動的であったり、常に見えていたりといった情報提示は、取得者の心身に影響を与えていると考えられるが、何気なく閲覧していたり、他人から提示されたりしているため自身の意思により制御することができない。それらの影響を有効活用し、悪用されないようにするためにも、どのような影響があるのかについて明らかにすべきである。

- インタラクティブティ

デジタルサイネージでの情報提示は効果的に聴衆に情報を取得されることが望まれる。センサを用いてインタラクティブティを付与し、聴衆の動きに合わせて情報提示が行なわれることで受け入れられやすかったり、注意を引くことができたりすると考えられる。人の自然な活動に対して、自然な情報を与えられることが重要である。また、インタラクティブな情報提示機構を構築したものの、センサ等のトラブルによってシステムがうまく働かなくなることが考えられる。こういった際にすぐにメンテナンスできる必要がある。

1.2 研究目的

今後の情報技術の発展によって、受動的に情報を取得する環境はさらに増えると考えられる。このような環境を幅広く、効果的に利用するために、情報提示機構の構築を簡単・柔軟にすること、情報提示の内容によりユーザの生活を豊か・便利にすることが重要である。

本研究では、ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境における情報提示技術の確立を目指して、情報提示機構を誰でも柔軟に構築できるシステム、情報取得者の心身への影響を考慮した情報提示を行なうシステムの開発を目的とする。

- ウェアラブルコンピューティング環境における情報提示機構の柔軟な構築

様々な入出力デバイスを身につけ、センサによって行動認識、LEDや振動子から情報提示を受けられるようになった際に、個人ごとに多種多様なデバイスから利用するものを選択し、装着位置を自由に決め、気分や用途に合わせて変更でき、こそ快適なウェアラブルコンピューティング環境である。衣服上に自由にデバイスを配置し、衣服上から電力供給を受け、衣服上で通信を行なうことができる導電性衣服の開発が進んでいるが、装着したデバイスの位置をオペレーションシステムが把握できることによりその利用の幅は大きく広がる。

そこで本研究では、導電性衣服に配置された入出力デバイスの位置を効率良く、正確に検出する手法を提案し、ウェアラブルコンピューティング環境での柔軟な情報提示機構のための重要な基礎技術の確立を目的とする。

- ウェアラブルコンピューティング環境での情報提示の心身への影響

HMDを用いることで常時情報閲覧が可能というこれまでに無い環境が訪れる。HMDによって常時情報を見ることができ、常にある特定の情報が必要というわけでもなく、見落せない情報が流れてくるかもしれないという状況はユーザに対して負荷を与えることになる。提供者の立場からしても、ユーザに対して有益な情報を生成し続けるということも現実的ではない。したがって、閲覧が必要な情報を提示しない空き時間が生じるため、この時間に直接的な情報取得を目的とせず、ユーザに対して低負荷な情報を提示できる。また、このような環境が人間の心身に何らかの影響を与えている可能性があり、それを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、先行する事柄が後の事柄に影響を与えるというプライミング効果を利用し、空き時間にユーザの関心事に関連する視覚情報を閲覧させることで無意識に特定の情報に気付きを与えるシステムを提案し、かつ常時情報閲覧環境において実際に心身に影響を与えているかを調査する。

- ユビキタスコンピューティング環境における情報提示機構の柔軟な構築

液晶ディスプレイやプロジェクタの普及により、デジタルサイネージやメディアアートを日常的に見かけるようになってきている。これらのように情報提示をデジタルにすることで、画像を切り替えたり、動画を流し続けたり等、紙媒体では不可能であった提示が行なえるが、多くの情報を伝えたり、聴衆にシステムを自らの体で経験させて楽しませたりするためには提示をインタラクティブにすることが有効である。しかしインタラクティブなシステムをセッティング・メンテナンスするには専門家が作業する必要があるが、パラメータの設定に時間がかかったりと敷居が高い。

そこで本研究では、インタラクティブシステムを多様な環境下で設置でき、センサの知識に精通していない人でも簡単にセッティング・メンテナンスを行なえるフレームワークを提案し、ユビキタスコンピューティング環境での柔軟な情報提示機構の開発を目的とする。

- ユビキタスコンピューティング環境での情報提示の心身への影響

インタラクティブ性を付与された液晶ディスプレイを用いたデジタルサイネージ以外にも、天井に設置したプロジェクタから床面に対して映像を投影して行なわれる情報提示のスタイルも増えつつある。このような提示は人々の周囲の状況が大きく変化するので、行動にも影響を与えられと考えられる。特に、エンタテインメントにおいてこのような情報提示を効果的に行なうことで、観客をそこで表現されている世界観に深く入り込ませ、より楽しませることができるとは、情報提示を受けた人がどのように反応するかは実験室環境ではわからないことが多く、実環境において一般人の反応を見ることが重要である。

そこで本研究では、観客の周囲を取り巻く映像が動きや会話によって変化する中で演劇を体験するエンタテインメントイベント YOUPLAY を提案し、一般人に体験させることで、実環境において情報提示が人にどのように作用するかを調査する。

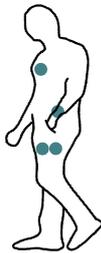
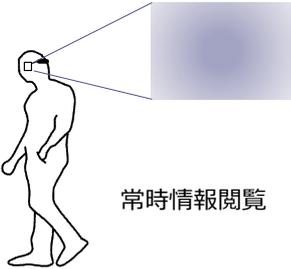
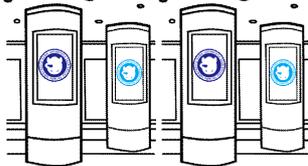
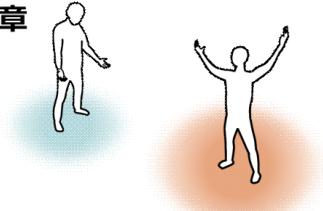
	提示機構構築の柔軟化	心身への影響を考慮した提示
ウェアラブル	2章  衣服上でのデバイス利用	3章  常時情報閲覧
ユビキタス	4章  インタラクティビティの付与	5章  エンタテインメント現場での利用

図 1: 論文構成

1.3 本論文の構成

本論文は6章から構成され、1.2節で説明した各研究目的は図1のように分けられる。2章にて、ウェアラブルコンピューティング環境における情報提示機構の柔軟な構築、3章にて、ウェアラブルコンピューティング環境での情報提示の心身への影響、4章にて、ユビキタスコンピューティング環境における情報提示機構の柔軟な構築、5章にて、ユビキタスコンピューティング環境での情報提示の心身への影響に関する研究を行なう。それぞれの内容は以下の通りである。

まず、第2章では、導電性衣服上に配置されたデバイスの位置取得のためのLED点滅制御手法について述べる。様々な入出力デバイスを衣服上に装着して、配線やバッテリーの問題無く使用するために、導電性素材を用いたネットワークシステムが開発されており、導電性衣服上で多様なアプリケーションを利用できる環境が整いつつある。ウェアラブルコンピューティング環境では、様々なサービスを受け取るために情報提示を行なう出力デバイスを装着するが、それらの種類や配置位置が自由に選択できるようになることで、使用するアプリケーションや状況ごとに適した(行動・作業の邪魔にならず、わかりやすい・見やすい)状態で情報提示を受けられるようになる。現状のシステムでは配置されたデバイスの位置を把握できず、柔軟性に欠ける。位置を把握

できることで、各デバイスに機能を割り当てたり、デバイス同士を関連付けたりといったことが簡単に行なうことができ、ウェアラブルコンピューティング環境構築の柔軟性が飛躍的に向上する。そこで、カメラを用いてデバイスの位置を正確かつ効率的に取得する手法を提案する。デバイスに割り当てられたIDに基づいてLEDの点灯のタイミングを制御し、2段階の点灯処理を行なうことで導電性衣服を着た状態でも正確に位置を取得する。また、提案手法が効率良く位置検出を行なえるかについてシミュレータおよび実機を用いて評価する。

第3章では、ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システムについて述べる。認知心理学の分野では、先行刺激を与えることによって、後続の刺激に対する処理が無意識的に促進されるプライミング効果が存在する。本研究では、このプライミング効果の考え方を情報提示システムに適用し、ユーザが取得したい情報に関連する映像を提示することで、低負荷で無意識的に価値のある実世界情報を取得できるシステムを提案する。HMD上に表示された映像によりそれに関連した情報に実世界上で気づきやすくなるかについての調査および、表示した映像により目につくものへの変化があるかについて調査する。

第4章では、平面をインタラクティブにする加速度センサを用いたユーザアクション認識システムについて述べる。ユビキタスコンピューティング環境での情報提示の形態として、デジタルサイネージやメディアアートが増えてきているが、これらの提示にインタラクティブ性を付与することで多くの情報を伝えたり、観客にシステムを自らの体で経験させて楽しませたりすることができる。インタラクティブな情報提示システムを簡単に設置できることを目的とし、様々な状況下でユーザアクションを認識できるフレームワークを提案し、行動認識の専門家なしでも設置できるソフトウェアを実装した。ソフトウェアが様々な素材上で正常に動作するかについての評価、センサ技術に精通していない人でもインタラクティブシステムを構築可能になるかの評価を行ない、2度のメディアアートの展示において提案システムを使用し、考察を行なう。

第5章では、観客参加型演劇YOUPLAYにおけるインタラクション設計について述べる。情報提示が人にどのように作用するかを実環境で調べるために、人の行動に合わせた反応を返すインタラクティブなコンピューティング技術と、昔から多くの人々に親しまれている演劇を組み合わせることで、新たなジャンルのエンタテインメントを提案する。一般人に実際に体験させることで、研究室環境では得られない生の反応を観察する。2度の期間に分けて全80公演行ない、そこで見られた様子やアンケート

結果から考察を行なう。

第6章では、本論文の成果を要約したのち、今後の研究課題について述べ、本論文のまとめとする。

なお、第2章は、文献[96, 97, 98, 99, 105]で公表した結果に基づき論述する。第3章は、文献[100, 101, 103, 107, 112]で公表した結果に基づき論述する。第4章は、文献[102, 104, 106, 108, 110]で公表した結果に基づき論述する。第5章は、文献[109, 111]で公表した結果に基づき論述する。

2 導電性衣服上に配置されたデバイスの位置取得のためのLED点滅制御手法

2.1 まえがき

コンピュータの小型化，軽量化に伴い，センサやコンピュータを身につけて利用するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている．ウェアラブルコンピューティング環境では，コンピュータはユーザが装着している各種センサから得られたデータを用いてユーザの行動や状況を認識し，その場や状況に応じた情報提示を行なうといったサービスを提供する．サービスとしては作業支援 [1, 2]，健康支援 [3] やナビゲーション [4] など様々なものが考えられるが，ユーザごとに使用するサービスや，操作したり提示を受けたりする入出力デバイスも異なる．出力デバイスとしてはディスプレイ以外にも，インジケータとしてのLED，振動子やイヤホンなどが考えられ，作業時には環境によって邪魔にならない場所に配置したかったり，ナビゲーション利用時には人によって使いたいデバイスが異なったり，利用サービスごとに変更もしくは兼用したかったりする．こういった理由から出力デバイスはユーザの嗜好・状況に応じて衣服上の好きな部位に装着でき，変更も簡単に行なえる必要があるなど，ウェアラブルコンピューティング環境での情報提示サービス構築のためにはデバイス配置の柔軟性は非常に重要である．

衣服上に配置するデバイスの情報通信や給電について，各デバイス間やそれらを制御するオペレーティングコンピュータとの接続形態として，有線と無線が考えられるが，それぞれ，配線が邪魔になる，各デバイスへの安定した電力の供給，デバイス間やそれらとコンピュータ間の通信をどのように成立させるかといったように，デバイスの自由な配置の確保については問題がある．それらの問題を解消するために，近年，導電性素材から構成された導電性衣服の研究が行なわれている．導電性衣服を用いることにより，衣服上に自由にデバイスを配置して通信させたり，バッテリーを導電性素材のどこかに接続しておくことでケーブルなしで電力供給が行なえる．本研究では導電性素材上に配置したデバイスを利用できるネットワークシステム TextileNet[5] を用いる環境を想定する．TextileNet は，衣服の表と裏にそれぞれ導電性素材を用いて電極とし，ピン型のデバイスを布地に差し込むことで電力供給および電圧に重畳した信

号によるデータ通信を行なえる。ユーザは導電性衣服上にボタンやスライダなどのデバイスを自由に配置でき、音楽プレーヤなどの多様なアプリケーションを利用できる。このように、TextileNetを用いることで自由なデバイス配置が行なえるが、従来システムでは配置したデバイスの位置をシステムが取得できないという問題があった。ウェアラブルコンピューティング環境において自由な箇所にデバイス配置が可能となった際に、さらにデバイスの位置がわかれば、デバイスの位置と機能の間には密接な関係が存在するため、機能の自動割当やデバイス同士の関連づけなど高度な処理が行なえる [6]。本手法によりウェアラブルコンピューティング環境の構築を個人ごとに柔軟に行なえるようにし、情報提示デバイスをユーザが自分の好きな位置・組合せで装着できるようにすることを目的とする。

そこで本研究では、導電性衣服上に配置されたデバイスをカメラで撮影することによって位置を検出する手法を提案する。提案手法ではデバイスの位置を取得するために、各デバイスに割当てられたIDに基づきデバイス上のLEDを点灯させる。さらに、いくつかの点灯パターンのコーディングを行なうことで、効率よくかつ正確な位置取得を実現する。

以下、2.2節で関連研究について説明する。2.3節で提案手法について記述し、2.4節でシステムの設計について述べる。2.5節で提案手法を評価し、最後に2.6節でまとめを行なう。

2.2 関連研究

ウェアラブルコンピューティング環境において、衣服上に配置したアクチュエータやセンサを用いた多くのアプリケーションが提案されている [7, 8, 9]。これらはデバイスを衣服上に縫いつけるため、デバイスの配置や付け替えに制限がある。しかし、導電性衣服を用いることでデバイスの自由な配置や付け替えが可能になり、ウェアラブルコンピューティング環境における様々なアプリケーションが構築できるようになる。例えば図2左の例は、衣服上で音楽プレーヤやデジタルカメラ等の様々なアプリケーションを操作する際にボタンやディスプレイなどたくさんの入出力デバイスを装着すると想定した例であるが、導電性衣服を用いることで、デバイスを自由に配置し、アプリケーションの操作ができる。また既存のシステムも導電性衣服を用いることで使用がより柔軟になる。図2右は衣服上に多くのLEDを縫いつけた電飾パフォーマンスシステム [69] であるが、それぞれのLEDは有線につながれており、動きに制限が加わ



図 2: 衣服上へのデバイス配置例

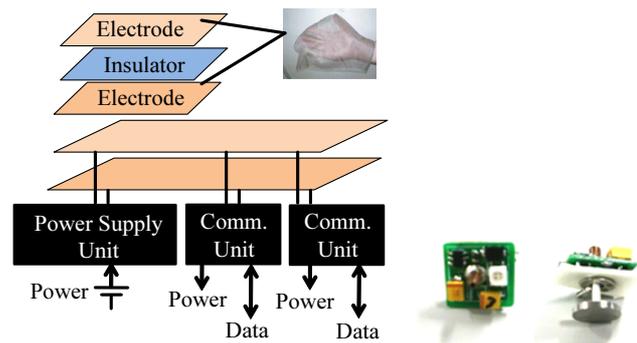


図 3: TextileNet のシステム構成

る、ケーブルが見た目を損なうといった問題がある。MIT Media Lab による、Musical Jacket[11] では操作箇所が固定されている。Memory Rich Clothing[12] は衣服への物理的に触れたことを取得し、衣服上に縫い付けられた LED を用いて触れられた記憶を表現するが、縫い付けられているため、配置場所の変更が困難である。これらに導電性衣服を用いることにより、ケーブルは必要なくなり、配置箇所や装着しての動作に制限がなくなるため、これらの研究において導電性衣服を自由に使えるようにすることの意義は大きい。ただし、図 2 右の例などデバイス (LED) の位置が表現に大きな影響を与えるが、単純にデバイスを導電性衣服上に配置するだけではシステムがデバイスの位置を認識できないため、なんらかの方法でデバイスの位置を取得する必要がある。

導電性衣服を用いたシステムの研究として、Wade らは導電性素材を両面に用いた衣服に DC-PLC (直流電力線通信) 方式のモデムを備えたデバイスを装着し、直流の電力供給と通信を行うシステム [13] を提案している。Bharatula らは縦糸と横糸に、絶縁被膜をもつ導電糸を用いて編んだ布を用いるシステム [14] の研究を行っている。Communication-Wear[15] は衣服上の触感による携帯電話の拡張を目的としてデザインされた導電性衣服であり、Mattmann らは歪みセンサを衣服に縫い込むことにより上半身の姿勢を認識している [16]。本研究では、デバイス配置が自由であり、再構成も簡単な TextileNet[5] を用いている。TextileNet のシステム構成と使用するデバイスを図 3 に示す。衣服は表と裏に導電性布を用いて電極とし、ピン型デバイスを差し込むことで動作する。バッテリーを接続することで電力供給が可能となり、差し込まれたデバイスはブロードキャストの通信が行える。機能的には他の導電性衣服を用いたシステムと大きな違いはないため、提案手法は他のシステムにおいても同様に適用できると考えられる。

一方、アプリケーションを使用する際、入出力デバイスとそれらに割り当てられる機能の間には密接な関係があるため、デバイスの位置をシステムが知ることは重要である。松井らは導電性素材を用いたシステム Pin&Play[17]におけるデバイスに対し、その配置に基づいてアプリケーション機能を自動で割り当てるシステム [6] を提案している。この文献によると、自由に配置されたデバイスの位置関係がわかれば、87%の精度でその機能を予測できるとあり、導電性衣服を用いる際もデバイスの配置箇所がわかれば、このような手法により機能割当てが行えると考えられる。

様々な場所に散りばめられた多数の小型デバイスを制御するためには各デバイスの位置を知ることが重要となる。そのためデバイス位置を取得する様々な方法が考えられている。Helinらはデバイスを配置する導電性のボードを分割し、配置される箇所を限定することで、大まかなデバイスの位置を得ている [18]。本研究でも同様に導電性衣服を電氣的に絶縁して大まかな位置を把握することも可能であるが、細かな位置取得を行うことや細かく絶縁された衣服を製作することが困難であること、位置取得のための制御デバイスがそれぞれの箇所に装着するため分割した数だけ必要となることが問題となる。ピン状のインタフェースを用いる PushPin は Pinger[20] と呼ばれる独自のデバイスからの光や超音波を受信し、受信の時間差からピンの位置を検出している。この方法は非常に正確であるが、ピンを作り変える必要があり、位置検出のために独自のデバイスが必要となる。RFID や無線 LAN を利用し、RSSI 値によりデバイスの位置推定を行う手法 [21, 22, 23] も考えられるが、ノイズが大きく精度が低いことや、事前の学習が必要であるなどの問題があり、また、デバイスを改編する必要がある。中田らは、プロジェクタから赤外線光のパターンを照射することにより、LED に搭載された照度センサにより多数の LED デバイスを制御する手法を提案している [24]。Lee らも同様に、照度センサを用いたデバイス位置検出手法を提案している [25]。これらの手法は大量のデバイスを管理することができるものの、各デバイスの位置を検出することはできない。また TextileNet のシステムがこの手法を使用する場合には、各デバイスに照度センサを加える必要がある。篠田らは薄いシートを用い、シート内を伝搬する電磁波による二次元通信を行う技術の研究 [26] を進めており、シート上に配置されたデバイスの位置取得も行っている。メッシュ層の導電形状をシート上の位置や方向の情報を表現するように細かな粒度で変形し、その導体パターンを読み取り位置を取得している。本研究では布を用いるため、素材自体の形状を変形することは難しい。以上のことを考慮し、本研究では TextileNet のシステムを変更することなくカ

メラを用いてデバイスの位置取得を行う。

導電性素材を用いたシステム Pin&Play ではボタンやスライダなどのデバイスに備わっている LED を点灯させた前後画像の差分画像をとることでデバイスの位置を取得する方法が提案されている [27] が、この方法では配置されているデバイスの ID が事前に取得できていることを前提にしており、点灯の認識エラーを考慮していない。ID 情報とカメラを同期させ、順次点滅するビーコンを高速カメラなどを用いて位置を認識するシステム [28, 29] が商用として存在するが、多数のカメラが必要であり、そのカメラが高性能である必要がある。ID Cam[30] ではデバイスの ID 情報をビーコンの時系列における点滅パターンで送信し、カメラで認識している。デバイスとカメラの距離に関係なく位置の取得が可能であるが、ビーコンとカメラは同期していないため、比較的長時間の撮影が必要となり、ウェアラブルコンピューティング環境で用いるには適していない。firefly[31] では LED の点灯をカメラで撮ることにより各 LED の位置を算出する。各 LED に数字のアドレスを与え、特定ビットが 1 である複数の LED を一度に並列点灯させる作業をビット列長繰り返すことで、その点灯の組合せにより各 LED のアドレスとカメラで取得した座標の関係を効率良く取得している。しかし、カメラの性能や環境により LED の座標が重なり識別できないなど、誤検出される可能性が高い。提案手法は、衣服上の配置を想定しており、LED の重なりなどによる誤検出が多発する環境でもデバイスの位置判別が可能手法である。

2.3 提案手法

本研究では TextileNet システムを改変することなくそのまま用いることができ、衣服を装着した状態でも脱いだ状態でも安価にデバイスの位置取得が行える手法を構築する。具体的には、導電性衣服上にデバイスを配置したユーザがカメラの前に立ち、システムがデバイスの動作確認用 LED を点滅させることで短時間でデバイスの位置を手軽に登録できるようにする。図 4 はシステム構成を示す。想定する環境では、ユーザは毎日その日に使用するアプリケーションを決定し、そのためのデバイスを衣服上に配置する。配置したら、ユーザは鏡の前に立つが、鏡にはカメラが装着されており、そのカメラによってシステムは衣服上のデバイスの位置を検出し、アプリケーションの機能を自動で割り当てる。

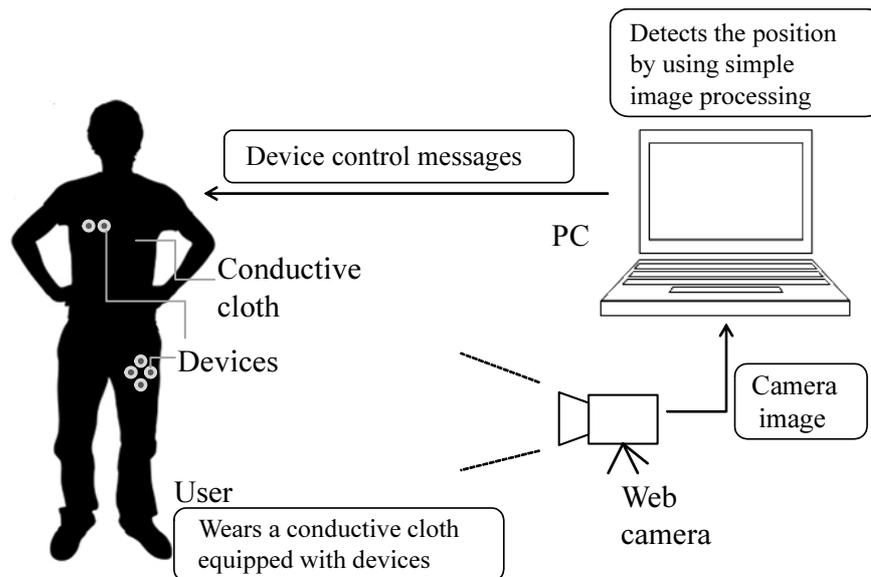


図 4: システム構成

2.3.1 点灯アルゴリズム

カメラを用いて位置検出を行う場合、もっともシンプルな方法として、IDを1ずつ増やしながらそのIDに対応するLEDを順番に光らせ、それをカメラで認識する手法が考えられる [27]. TextileNetではデバイスの有無やデバイスのIDをシステムが事前に知ることができないため、この手法では配置される可能性があるデバイス全てを一つ一つ光らせる必要がある。しかし、図2左のように衣服上にたくさんのデバイスが配置された場合や、同図右のように数百ものLEDを散りばめたパフォーマンス目的の服などにおいて、デバイスを一つ一つ光らせる方法は時間がかかり実用的でない。一方で、デバイスに割り当てられたID情報に基づき並列に複数のLEDを点灯させ、効率良く位置を検出する方法 [31] もあるが、近くに配置されたデバイスのLED点灯を区別できないなど誤検出が起こる可能性がある。そこで本研究では、LEDを効率良く点灯させ、かつ正確に位置を取得する方法として次の二段階の点灯方法を提案する。

第一段階: 並列点灯 すべてのLEDを並列に光らせることで独立しているLEDの位置を検出する。

第二段階: 逐次点灯 並列点灯で確定できなかったLEDを順番に光らせる。

まず並列点灯では、TextileNetにおいてデバイスに固有で割り振られているIDに対し、 n 回目の点灯ではIDの n ビット目が1であるデバイスのLEDを同時に点灯させる。

表 1: 並列点灯の例

Decimal	Binary	1st	2nd	3rd	4th
1	0001	-	-	-	ON
2	0010	-	-	ON	-
3	0011	-	-	ON	ON
4	0100	-	ON	-	-
8	1000	ON	-	-	-
15	1111	ON	ON	ON	ON

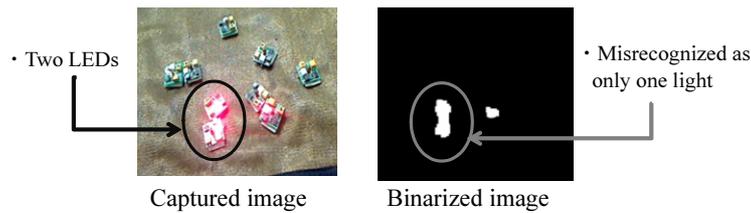


図 5: デバイスを密に配置した例

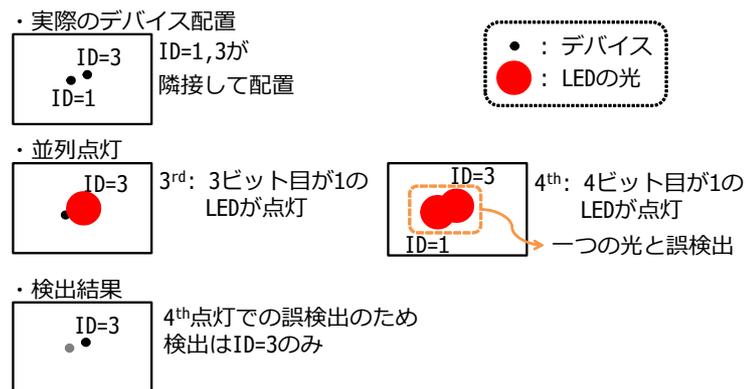


図 6: 誤検出の例

例えば、表 1 に示すように、デバイス ID が 4 ビットで表現されている場合、ID=1 は 0001、ID=3 は 0011 と表現できるため、ID=1 のデバイスは 4 回目だけの点灯、ID=3 のデバイスは 3 回目と 4 回目に点灯といったように、ID ごとに点灯のタイミングが異なる。デバイスの ID が N ビットで表現できる場合、 N 回の点灯のみですべてのデバイスの位置を取得できる。しかし、この手法は図 5 のようにデバイスが密な状態で配置された場合に誤検出が起こる。例えば、図 6 に示すような場合、正しくは ID=1 のデバイスと ID=3 のデバイス存在しているが、並列点灯ではデバイスの位置が近い図 6 のように光が重なり合い、ID=3 のデバイスのみが存在すると誤検出される。LED

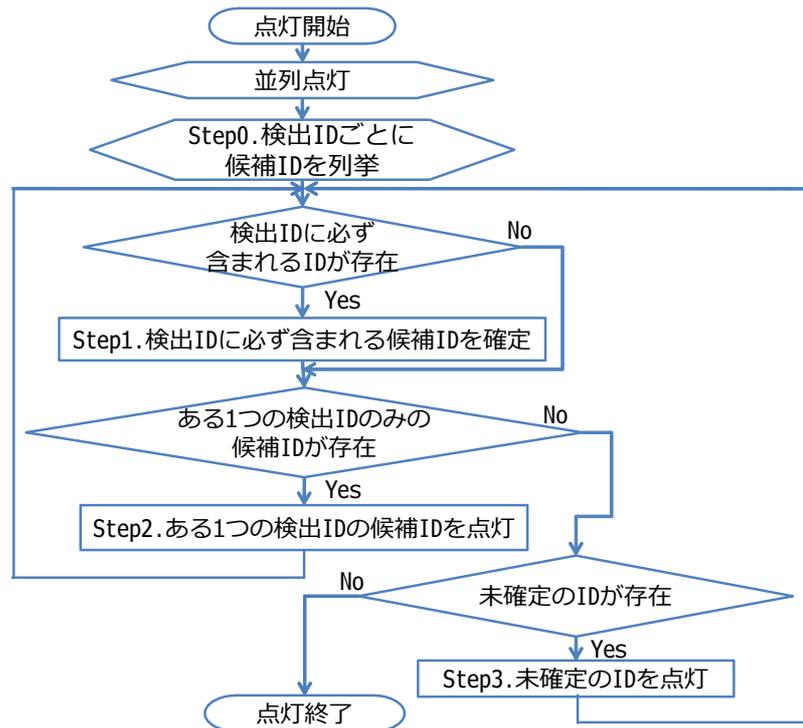


図 7: 逐次点灯のフローチャート

は身体上で点灯させ、撮影中にカメラ画像中で位置のずれが生じるため、一定距離(誤検出半径と呼ぶ)内で検出されたLEDは同一のLEDであるとみなす必要があることからこの誤検出は頻繁に起こると予想される。

そこで、第二段階として並列点灯において確定できなかったLEDのために逐次点灯を行う。説明において、**検出ID**とは並列点灯において検出されたID、**確定ID**とは位置が確定したID、**候補ID**とはある検出IDに包含される可能性のあるIDのことである。例えば検出IDが3のときの初期候補IDは、1, 2, 3である。逐次点灯は以下の流れで行なわれる。

Step 0: 検出IDごとに候補IDを求める。

Step 1: 検出IDに必ず含まれるIDを確定する。

Step 2: ある1つの検出IDのみに含まれる可能性のある候補IDを並列点灯させ Step 1に戻る。

Step 3: 未確定のIDを1つ点灯させ、Step 1へ。すべてのIDが確定していれば終了。

逐次点灯のフローチャートと疑似コードを図7, 8に示す。例として、あるユーザが音楽プレーヤを操作する際に図9左のように機能を考え、デバイスを配置したことを

```

Algorithm Sequential blinking
Blinking_Times = Device_Bit_Length;
Dictionary Candidate_Group; // List of Candidate ID
List Bit_List[]; // Numbers of each Bit

Step0
Candidate_Group.Add(Candidate-ID);

Step1
for i = 1 to Candidate_Group[i].Count{
  for j = 1 to Bit_List[j].Count{
    if (Bit_List[j].Contain(Candidate_Group[i]))
      contain_times++;
    }
    if (contain_times == 1)
      Delete(Candidate_Group[i][j], Candidate_Group);
  }
}

Step2
if (Candidate_Group.Contain(Candidate_Group[i][j])){
  contain_times++;
  if (contain_times == 1)
    Temp_Step2_Blinking_List.Add(Candidate_Group[i][j]);
  Candidate_Group[i].minimun(Temp_Step2_Blinking_List);
  Step2_Blinking_List.Add(Candidate_Group[i][j]);
  Delete(Candidate_Group[i][j], Candidate_Group);
}
if(Step2_Blinking_List.Count > 0){
  Turn_On(Step2_Blinking_List);
  Blinking_Times++;
  to Step1;
}else{
  to Step3;
}

Step3
if(Candidate_Group.Count > 0){
  Turn_On(Candidate_Group[i][j]);
  Blinking_Times++;
  to Step1;
  Delete(Candidate_Group[i][j], Candidate_Group);
}else{
  return(0);
}

```

図 8: 逐次点灯の疑似コード

想定する。このとき、デバイス ID は 4 ビットで表現されており図 9 右に示すように割り振られているとする。この場合並列点灯終了後に得られる ID は、図 9 右の丸の中の数字で示す 1, 3, 5, 11, 14, 14 である。実際の ID は 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 14 であるので誤検出が起きている。このとき、逐次点灯は下記の手順で実行される。

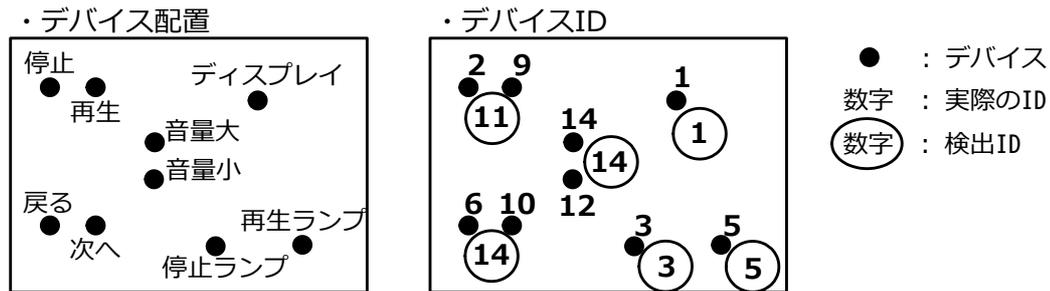


図 9: デバイスの配置例と検出結果

表 2: Step 0 終了時の候補 ID, 確定 ID

検出 ID	候補 ID	確定 ID
1	1	
3	1, 2, 3	
5	1, 4, 5	
11	1, 2, 3, 8, 9, 10, 11	
14	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14	
14	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14	

表 3: Step 1 終了時の候補 ID, 確定 ID

検出 ID	候補 ID	確定 ID
1		1
3	2	3
5	4	5
11	2, 8, 9, 10, 11	
14	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14	
14	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14	

Step 0: 検出 ID ごとに候補 ID を求める。

並列点灯で得られた検出 ID ごとに候補 ID を求める。この時点ではどのデバイスも位置を確定できていない。例における検出 ID の候補 ID を表 2 に示す。以後、その ID のデバイスの配置が確定したものは候補 ID から削除する。

Step 1: 検出 ID に必ず含まれる ID を確定する。

本手法では誤検出の可能性のある ID について再点灯を行うが、一つ一つ再点灯させては時間がかかる。そこで Step 1 では再点灯の必要なく決定できる ID を決定し、候補から除く。具体的には、検出 ID のあるビットにおいて値が 1 である候補 ID が 1 通りである場合、その ID 以外が同ビットのタイミングで点灯することはないため、その ID はその座標で確定し、他の候補 ID から削除できる。この処理は該当する ID がなくなるまで続ける。

例では、まず ID=1 が確定し、ID=1 が確定したため ID=3, 5 が確定される。この時点での候補 ID, 確定 ID を表 3 に示す。

Step 2: ある 1 つの検出 ID のみに含まれる可能性のある候補 ID を並列点灯させ、Step 1 に戻る。点灯させるものがなければ Step 3 へ。

表 4: Step 2 終了時の候補 ID, 確定 ID

検出 ID	候補 ID	確定 ID
1		1
3	2	3
5	4	5
11	2, 8, 10	9
14	2, 4, 8, 10, 14	6
14	2, 4, 8, 10, 14	12

表 5: 検出結果

検出 ID	候補 ID	確定 ID
1		1
3		3
5		5
11		2, 9
14		6, 10
14		12, 14

Step 1 終了時点で未確定の ID は個別に再点灯を行う必要がある。Step 2 では、少ない点灯回数で ID を検出するために、複数同時に点灯させられる ID を並列に再点灯させて、その有無、位置を確認する。

それぞれの候補 ID について、いくつかの検出 ID の候補として含まれているかを数え、ある 1 つの検出 ID の候補にしかなっていない ID を点灯させる。ここで、同じ検出 ID をもつ位置が複数あり、候補 ID が同じであれば、ある 1 つの検出 ID の候補にしかなっていないとみなし、該当する ID を点灯させ、どの位置で点灯するかを確認する。また、ある検出 ID に対して点灯させる ID が複数ある場合は最小値の ID のみを点灯させる。並列点灯させる ID は全て点灯位置が異なるため、同時に点灯させた際にも位置を検出できる。

例では、点灯させる ID に 6, 9, 11, 12, 14 が該当するが、6, 12, 14 は検出 ID 14 の候補 ID であり、9, 11 は検出 ID 11 の候補 ID である。そのため、まずは 6 と 9 を同時に点灯させ、位置を確定する。ここで Step 1 に戻るが、今の場合には決定できる ID はなく、再び Step 2 に進み 11 と 12 を同時に点灯させ、12 の位置を決定する。Step 2 で点灯させる ID がなくなったため、Step 3 へ進む。この時点での候補 ID, 確定 ID を表 4 に示す。

Step 3: 未確定の ID を 1 つ点灯させ、Step 1 へ。すべての ID が確定していれば終了。

残りの ID は一つ一つ点灯する必要がある。一つ点灯するごとに Step 1 に戻る。

例では、2, 4, 8, 10 を順に点灯する。10 を点灯した後、Step 1 は 14 を再点灯なく確定する。結果を表 5 に示す。例において、提案手法は並列点灯の 4 回を含む計 10 回の点灯で全ての ID の取得し、15 個の LED を一つずつ点灯する手法よりも少ない点灯回数で位置を取得できる。

表 6: Reverse method の並列点灯例

	ID	Binary	Reverse	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
配置	9	1001	0110	ON	-	-	ON	-	ON	ON	-
	10	1010	0101	ON	-	ON	-	-	ON	-	ON
検出	11	1011	0111	ON	-	ON	ON	-	ON	ON	ON
候補		*0**	1***		確定			確定			

2.3.2 冗長部の追加

本手法では並列点灯での点灯回数はIDのビット数に応じて固定であるが、逐次点灯での点灯回数はデバイスの数や配置など様々な要因により変動し、取得に多くの時間がかかることがある。また環境により誤検出半径を大きく設定する必要があり、大きくするに従い逐次点灯での点灯回数は増加する。そこで並列点灯に冗長部を付け足すことで、逐次点灯での点灯回数を減らす手法を提案する。

2.3.1 節で説明した手法を *Basic method* と呼び、*Reverse method*, *Search method*, *Partition method*, *Pair method* の4つの手法を提案する。

Reverse method

Basic method の並列点灯において、あるビットで0を検出したときは全ての候補IDのそのビットの値は0であることが確定するが、1を検出したときは少なくとも1つの候補IDのそのビットの値が1であることしかわからないため、候補IDの数が多くなる。そこで *Reverse method* では元のIDの1と0のを反転した値を付け足すことで、0を検出する場合を増加させることで候補IDの数を減らす。並列点灯において、エンコードされたIDに基づいて点灯する。例えば、IDが0010 (= 2) で表される時、エンコードされたIDは00101101となる。このとき、検出IDと反転部の検出結果が一致しなければ誤検出が起こっていることがわかる。

表6は誤検出半径内にID=9, 10が存在したために誤検出が起こる場合の例である。この例の場合、2回目と5回目のタイミングではこの位置での点灯はなく、候補IDは10** (8, 9, 10, 11) となる(*はそのビットが未確定であることを示す)。一方、*Basic method* での候補IDは*0** (1, 2, 3, 8, 9, 10, 11) である。

Search method

Reverse method に、IDの下位 n ビットに応じて点灯するパターンを付け足す。例えば $n = 2$ の場合、IDの下位2ビットが00, 01, 10, 11のどれであるかに応じた4回の点

表 7: Search method の検出例

	ID	Binary	Reverse	1st	2nd	3rd	4th	9th 00	10th 01	11th 10	12th 11
配置	9	1001	0110	ON	-	-	ON	-	ON	-	-
	10	1010	0101	ON	-	ON	-	-	-	ON	-
検出	11	1011	0111	ON	-	ON	ON	-	ON	ON	-
候補		*0**	1***		確定				**01	**10	

灯を付け足す。例えば ID が 0010 (= 2) のとき、エンコードされた ID は 001011010010 となる。

表 7 は表 6 と同様の例である。5 回目から 8 回目の点灯は表 6 と同一であるため省略する。付加した情報により下位 2 ビットの値を確定できるため、候補 ID は 9, 10 である。ここで、検出地点に LED が 2 個以上存在することはわかっているため 9, 10 は再点灯の必要なく決定できる。

Partition method

Partition method では点灯を 2 つ、もしくはそれ以上のグループに分け、並列点灯でグループごとに検出することにより誤検出を減少させる。例えば、2 つのグループに分ける際には、ある 1 ビットの値が 0 か 1 かで分け、4 つのグループに分ける際には、ある 2 ビットの値が 00, 01, 10, 11 のいずれであるかに応じて分ける。この手法においても ID を反転した値を付け足す。

表 8 は誤検出半径内に ID=2, 3, 10, 14 が存在したために誤検出が起こった例である。この例では最上位ビットの値が 0 である ID を先に点灯させ、最上位ビットの値が 1 である ID を次に点灯させる。再点灯の必要なく並列点灯における 12 回の点灯で全ての検出できる。一方、Basic method では全ての位置を検出するために 19 回の点灯が必要である。

Pair method

Pair method では ID に応じた点灯を行った後に、最上位ビットから 2 ビットずつ組にし、00, 01, 10, 11 の組合せに応じて点灯を行う。デバイス ID のビット数が奇数の際には、最下位ビットは組に入らず ID に応じた点灯のみである。

表 9 は誤検出半径内に ID=9, 10 が存在したために誤検出が起こった例である。5 回目、7 回目、9 回目、11 回目の点灯により候補 ID は 10** であり、他の点灯により下位

表 8: Partition method の検出例

	ID	Binary	Reverse	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
配置	2	0010	1101	-	ON	-	ON	-	ON
	3	0011	1100	-	ON	ON	ON	-	-
	10	1010	0101	-	-	-	-	-	-
	14	1110	0001	-	-	-	-	-	-
検出 (MSB'0')	3	011	101	-	ON	ON	ON	-	ON
検出 (MSB'1')	14	110	101	-	-	-	-	-	-

7th	8th	9th	10th	11th	12th
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	ON	-	ON	-	ON
ON	ON	-	-	-	ON
-	-	-	-	-	-
ON	ON	-	ON	-	ON

表 9: Pair method の検出例

	ID	Binary					00		01	
			1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
配置	9	1001	ON	-	-	ON	-	-	-	ON
	10	1010	ON	-	ON	-	-	-	-	-
検出	11	1011	ON	-	ON	ON	-	-	-	ON

10		11	
9th	10th	11th	12th
ON	-	-	-
ON	ON	-	-
ON	ON	-	-

2ビットは**01か**10であることがわかる。これより、この例の場合では再点灯の必要なく、9と10であると確定できる。

2.4 実装

提案する位置検出手法のプロトタイプを実装した。TextileNetを用いたプロトタイプの利用の様子を図10に示す。実装はノートパソコン（Lenovo ThinkPad X200, CPU: 2.4GHz, メモリ: 3.0GB, OS: Windows 7 Professional），PCに接続されたUSBカメラ（Logicool Qcam Orbit AF）を用いて行った。プロトタイプは体の部位を接続されたUSBカメラを通じて認識し、Bluetoothを通じてTextileNet上に配置されたデバイスのLEDを点灯させて、その位置を検出する。現在のTextileNetの仕様である4ビッ

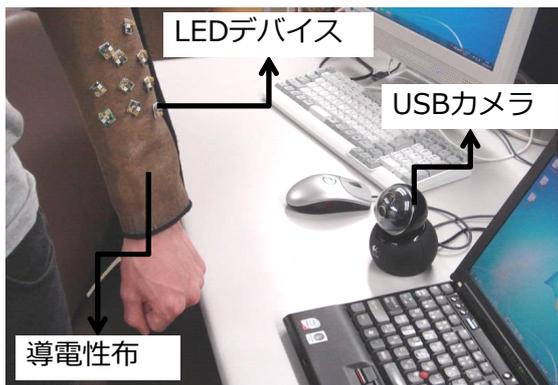


図 10: プロトタイプ利用

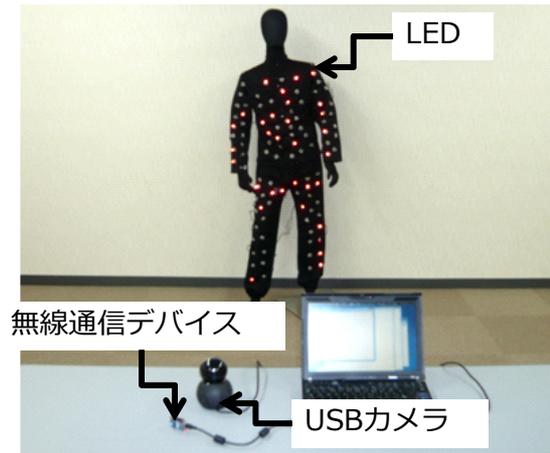


図 11: LED を装着した服の利用

ト長のデバイス ID をもつプロトタイプを用いて、提案するカメラを用いた LED の位置検出手法が正確に動作することを確認した。本研究で用いたカメラのように一般的な USB カメラでは、取得する光の変化が安定するまでに少し時間を要するため、1 秒間に 2 回という点灯間隔にし、光が安定するために十分な時間を設けた。カメラの性能次第ではさらに早い認識も可能である。

また、LED を全身に装着した服を用いて、LED の点灯の制御を行うアプリケーションを作成した。用いたシステムは、LED デバイスに対し無線でブロードキャストの通信ができ、LED の色を指定して点灯させることができる。利用の様子を図 11 に示す。LED の点灯個数は合計 100 個であり、ID は 7 ビットで表される。提案手法を用いることにより、図 12 のようにすべての LED の ID を位置情報と共に取得することができた。取得情報を用い、同図のようにマウスで囲った範囲に存在する LED を制御する。

PC 上のソフトウェアの実装は Visual C++.NET 2005 を使用し、カメラの画像の取得、および画像処理には Intel 社の画像処理ライブラリである OpenCV[32] を用いた。

2.5 評価

提案手法の評価を行うために、シミュレータを作成した。シミュレータはデバイスの配置個数、カメラ領域、誤検出半径、デバイス ID のビット長、試行回数を設定できる。シミュレータを用いることにより、それぞれの手法の位置取得にかかる点灯回数を調べ、評価を行う。提案システムでは一般的な web カメラを用い、その際に点灯は 1 秒間に 2 回と指定した。カメラの前に静止した人物の体の揺れを測定した予備実験を

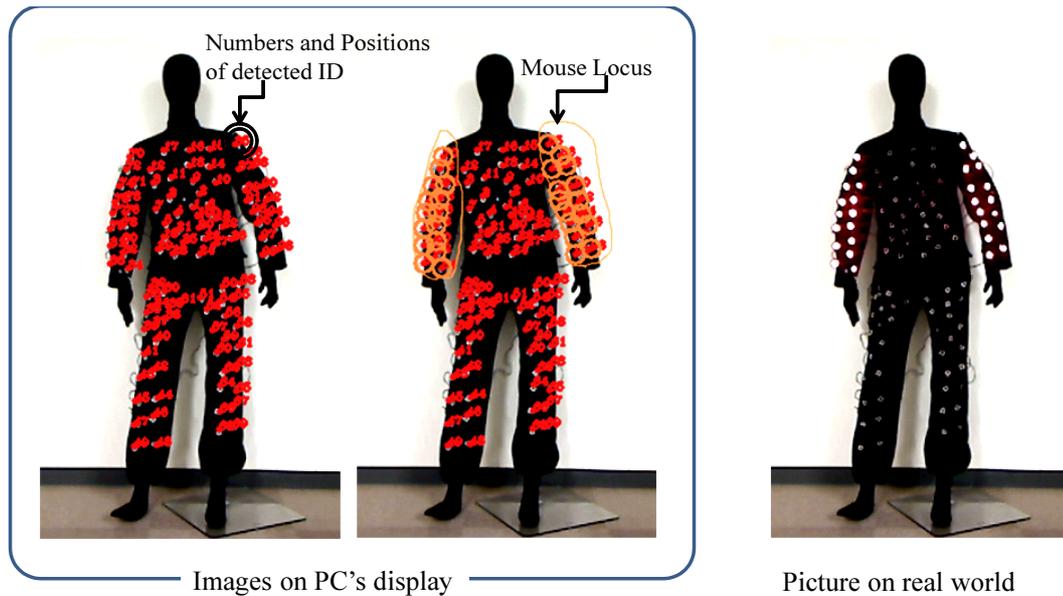


図 12: アプリケーション利用

表 10: 評価のシミュレーションパラメータ

デバイス配置数	0~250 [個]
カメラ領域	640×480 [pixel]
誤検出半径	10, 20 [pixel]
デバイスの ID のビット長	7~12 [bit]
試行回数	1000 [回]

行ったところ、1分を超えると揺れが大きくなり、またユーザが不快感をもつようになることがわかった。つまり、取得は1分間で行えることが望ましく、点灯回数の上限は120回である。どのような条件下において、どの手法を用いるとこの上限以内で全てのデバイスの位置を取得できるかについて点灯回数を調べることで評価する。比較対象としてLEDを一つずつ点灯させる手法 (*Conventional method*) を用いた。評価に用いたパラメータを表10に示す。

2.5.1 デバイス ID のビット長の影響

様々な種類のデバイスを用いることを想定するとデバイス ID のビット長を長く設定する必要がある。そこでデバイス ID のビット数を変化させたときの点灯回数を評価した。結果を図13に示す。デバイスの配置個数が少なければ誤検出も少なく、候補 ID が少ないため、配置個数が少ないときは並列点灯の少ない Reverse method が有効である。

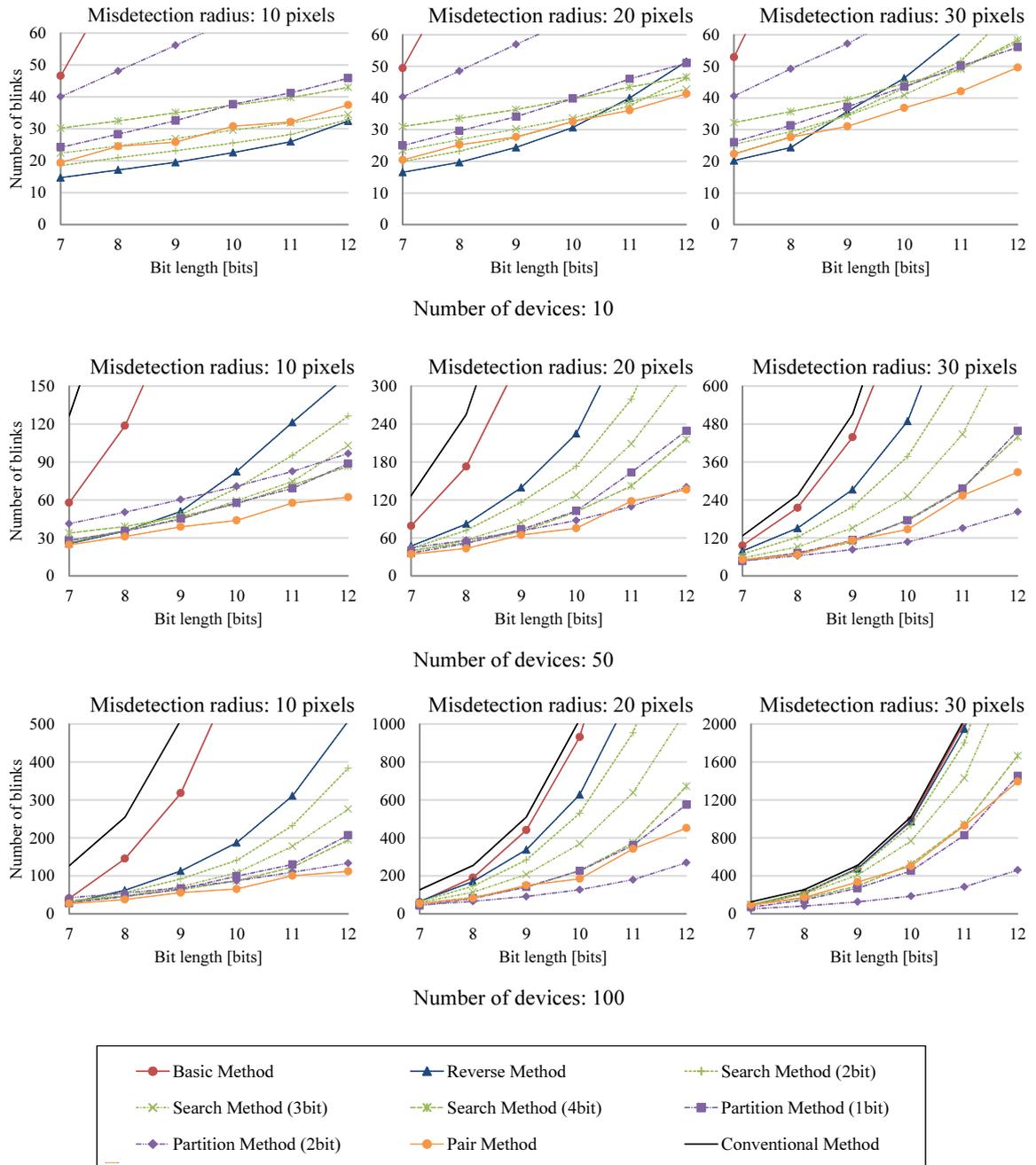


図 13: デバイス ID のビット長による影響

誤検出半径が大きいときまたはビット長が大きいとき、デバイスの配置個数が多いときには Pair method が有効となる。これは並列点灯の冗長部により、逐次点灯の点灯回数が減少したためである。

全ての結果において、提案手法は Conventional method と Basic method よりも少ない点灯回数で位置を取得できる。

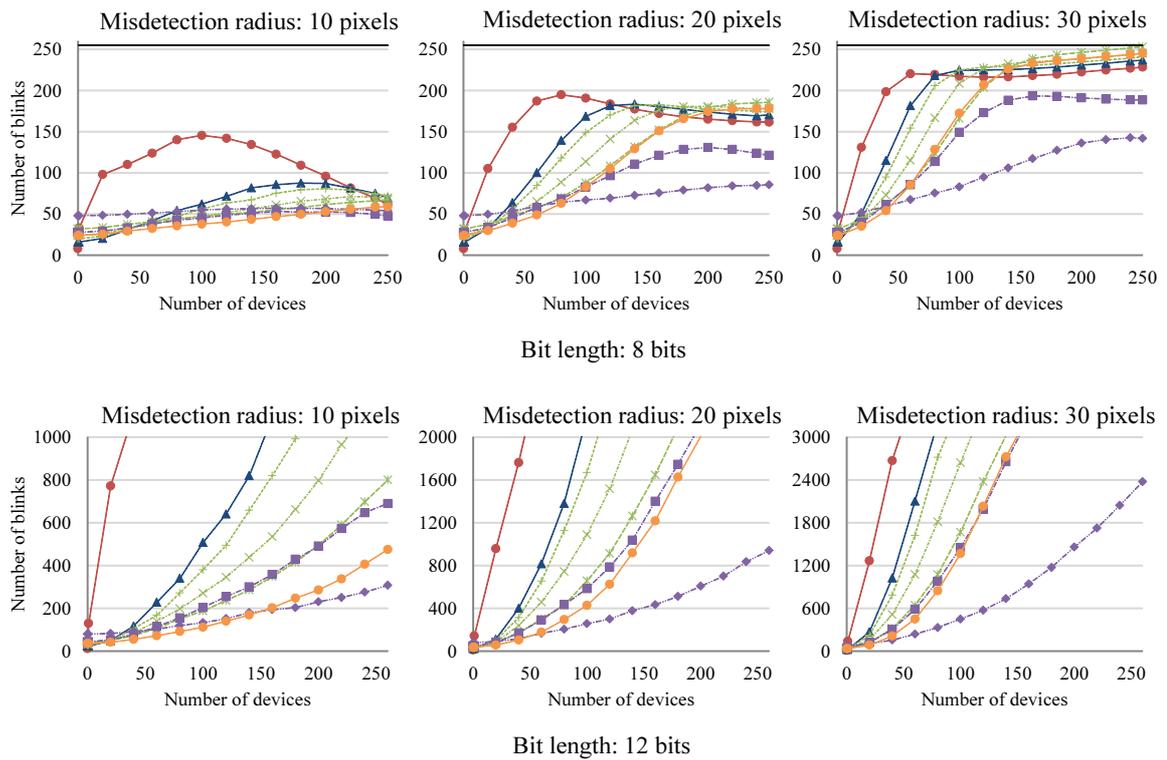


図 14: 取得画像中のデバイス個数による影響

2.5.2 設置されたデバイスの個数の影響

使用するアプリケーションが増えるに従い、配置するデバイスの個数も多くなる。そこでデバイス ID の個数を変化させたときの点灯回数を評価した。結果を図 14 に示す。デバイス ID が 8 ビットの際、誤検出半径が 10 ピクセルであれば、冗長部を追加したどの手法でも 250 個までのすべての個数を 1 分間以内に取得可能であり、20 ピクセルと 30 ピクセルであれば、Partition method で 2 ビットで分けた方法を用いることによりすべての位置の取得が可能である。デバイス ID が 12 ビットの際、誤検出半径が 10 ピクセルであれば、Pair method を用いると 100 個ほどまで 1 分間以内に取得でき、20 ピクセルであれば 40 個ほど、30 ピクセルであれば 20 個ほどまでである。ID が 12 ビット、誤検出半径が 30 ピクセルの際、点灯回数は多くなる。従来手法では 4000 回以上の点灯になるものの、Partition method で 2 ビットで分けた方法だと 100 個を 10% 程度で検出可能である。

また、8 ビットの際、配置個数の増加途中において、ある個数から点灯回数が減っているが、これは並列点灯終了時点で決定できる ID が増加し、候補 ID が減ったため

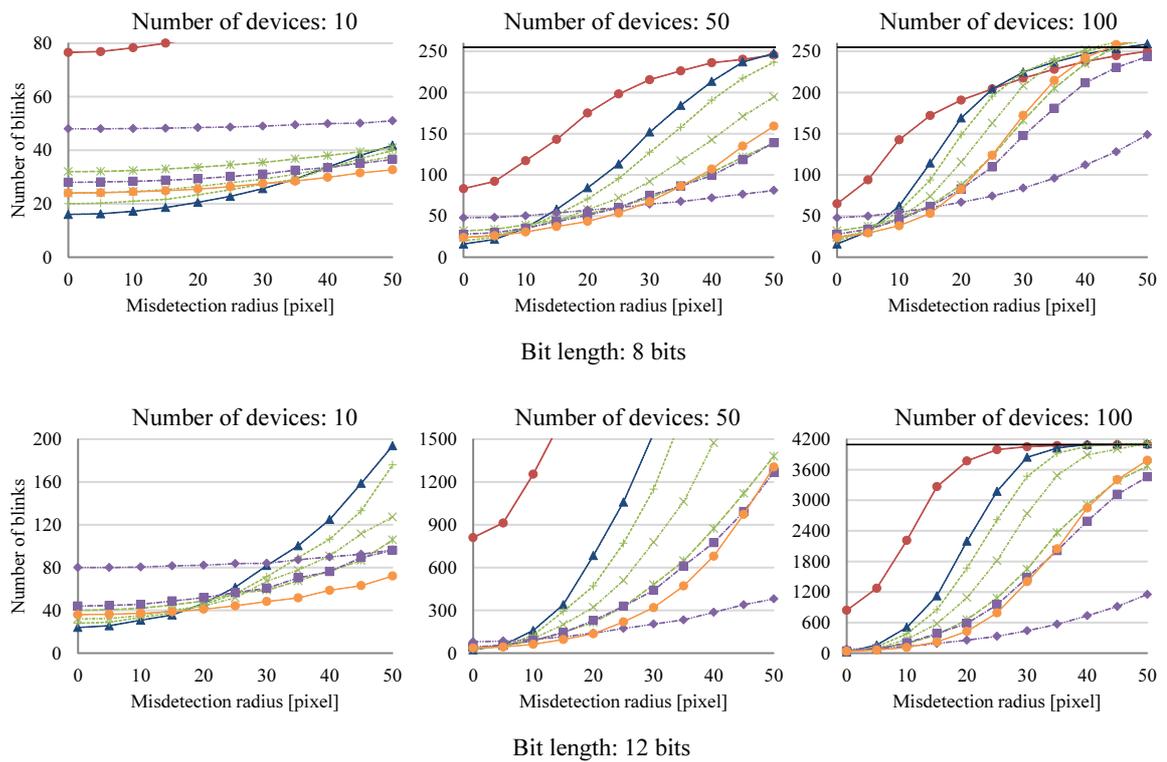


図 15: 誤検出半径による影響

ある。Basic method が最も点灯回数が多い結果ではなくるのは並列点灯の回数が少ないためである。

2.5.3 誤検出半径の影響

位置を取得する場所の照度やカメラの精度など、環境により誤検出半径を変更する必要がある。そこで誤検出半径を変化させたときの点灯回数を評価した。結果を図 15 に示す。デバイス ID が 8 ビットの際、配置個数が 10 個であれば誤検出半径が 50 ピクセルであってもすべての手法で 1 分以内に取得可能である。配置個数が 50 個であれば、Partition method で 2 ビット分けた方法を用いると 50 ピクセル、100 個であれば同様の方法で 40 ピクセルほどまで 1 分間以内に取得可能である。デバイス ID が 12 ビットの際、配置個数が 10 個であれば誤検出半径が 50 ピクセルであってもほとんど手法で 1 分以内に取得可能である。配置個数が 50 個であれば、Partition method で 2 ビット分けた方法を用いると 10 ピクセル、100 個であれば同様の方法で 10 ピクセルまで 1 分間以内に取得可能である。

2.6 むすび

本章では、カメラを用いて導電性衣服上に配置されたデバイスの位置を取得する手法を提案した。デバイスに付属するLEDの点灯のタイミングを各デバイスに割り当てられたIDにより制御し、カメラを通して取得された情報から位置検出の誤検出をなくす再点灯の処理を行うことで、デバイス位置の取得を効率良く行うことが可能となった。シミュレーション評価により、それぞれの手法について評価をシミュレータにより行い、提案手法の有用性について確認した。

今後の課題として、今回は人のずれにより隣接するIDと重なることのみを考えていたが、ビットごとの点灯座標がずれることにより検出IDが分かれることを考慮に入れた点灯方法についての検討が必要である。

3 ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム

3.1 まえがき

ウェアラブルコンピューティング環境では、頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) に代表されるように、ユーザは移動中や他の作業を行なっている途中など様々な状況においてハンズフリーで常時情報閲覧が可能である。HMD を用いることにより、移動中でもメールのチェックや電車の乗り換え案内等をモバイル端末を取り出すことなく確認できるため、ユーザのニーズや状況に合わせた多くの情報提示手法が提案されている [1, 33, 34]。一方、ユーザに対して有用な情報を提示し続けることは困難である。これは、ユーザが有用であると思う情報を常に生成することが困難であるとともに、閲覧しなければいけない情報を大量に提示することはユーザの認知負荷を高め、システムを快適に利用できなくなるためである。したがって、情報提示システムには閲覧が必要な情報を提示しない空き時間が生じるが、提示内容自体は無価値で、その内容把握をユーザに求めない情報であればユーザに負荷をかけることなく提示し続けてもよいのではないかと考えた。

認知心理学の分野では、先行刺激を与えることによって、後続の刺激に対する処理が無意識的に促進されるプライミング効果 [35] が存在する。例えば、連想ゲームをする前に野球の話をしておくと、道具という言葉から「バット」や「グローブ」が連想されやすくなる。本研究では、このプライミング効果の考え方を情報提示システムに適用し、ユーザが取得したい情報に関連する映像を提示することで、低負荷で無意識的に価値のある実世界情報を取得できるシステムを提案する。例えば、街中にはポスターやパブリックディスプレイなどに広告が表示されており、その中にはお気に入りのアーティストの情報や特売の情報などの個人ごとの関心事に関する情報が含まれているが、関心のない他の情報に隠れてしまい見落とすことも多い。こういった問題に対し、HMD 上へ関連情報を提示し、プライミング効果を引き起こすことによりこれらの情報に気付きやすくなることを狙う。

以下、3.2 節で関連研究を説明し、3.3 節で提案システムの構成、3.4 節で利用例について記述する。3.5 節で予備実験、3.6 節で HMD を使った評価実験について述べ、3.7

節で実装について説明する。3.8節で提案システムについて考察を行い、最後に3.9節で本章をまとめる。

3.2 関連研究

ウェアラブルコンピューティング環境の常時情報閲覧可能という特徴を活かすため、ユーザの状況や行動に応じた多くの情報提示手法が提案されている。

岡田らはHMDを使用して司会進行を支援するシステムを提案している [33]。HMDには、話す内容、講演タイトル、時間進行などを提示し、スムーズな司会進行が支援されている。メンテナンスサポートシステム [1] では、自転車メンテナンス時のネジ回しや空気入れなど詳細な動作を認識し、作業部分の設計図をHMDに自動表示したり、間違った作業を行った場合に警告するシステムを実現している。コミュニケーション支援として、外国人と話すときに、外国語をリアルタイムで翻訳してHMDに提示したり、会話の関連情報を自動的に検索してHMDに表示するシステムが開発されている [34]。しかし、これらにおける提示内容はユーザが能動的に必要としている情報そのものであり、ユーザが意識して情報を閲覧し、提示内容が正しく受け取られることが前提とされている。提案システムは、その提示情報自体には直接的には価値がないが、提示情報により人間の行動が変化することに着目している点でこれらと異なる。

情報が正しく受け取られるために、田中らはウェアラブルコンピュータのための知覚影響度に基づく情報提示手法 [36] を提案しており、ユーザの利用できる情報提示デバイスの特徴から提示可能なデバイスを選択し、最適な提示方法で情報を提示する機構を開発している。矢高らはユーザ状況を考慮した音声情報提示手法を提案している [37]。これらの手法を考慮することで、本手法の提示内容が自然に閲覧されるように制御できる可能性がある。

人は主に視覚と聴覚を用いて情報を認知しており、また視覚と聴覚は互いに影響し合い、これまでの経験から成る潜在記憶も認知に影響を与える。これらを利用して目標の情報を見つけ出しやすくするために、Lupyanらは目標物の名称を声に出して(あるいは頭の中で)繰り返すことにより、目標の情報を早く見つけ出せることを確認している [38]。Vickeryらは目標物の画像を事前に閲覧させることにより、実物を認知しやすくなるかを評価している [39]。これらの評価は目標とする情報があることや、その情報を見つけ出すために集中する必要があることが本研究と異なる。本研究の目的は、特定の目標の情報ではなく提示内容自体は無価値で不定の情報を与えることで、情報

に無意識的に注意しやすくなるシステムを構築することである。

特定の情報が提示されることにより、人に何らかの効果があることを調べた研究も多数ある。Jenniferらは、被験者が作業中に食品の広告を見せられることにより、間食の量が増えることを発見している [40]。The Memory Glasses[41]では、テキストをHMD上に提示することにより、記憶の補助を行なっている。これらのように、本研究においてもHMD上に特定の情報を提示することにより、ユーザに影響を与え、その生活をより豊かにすることができると考えられる。

3.3 提案手法

ウェアラブルコンピューティング環境のように常時ユーザが情報を閲覧できる環境では、常に特定の取得すべき情報があるわけではないので、その空き時間を利用し、内容取得を目的とはしていない、本来の人間の機能を補間したり拡張できるような情報を提示することが可能である。本研究では、ウェアラブルコンピューティング環境においてユーザが提示された内容に関する情報へとひきつけられ、日常生活の物事に気付きやすくなる低負荷な情報提示手法を提案する。

ユーザに対し無意識的に関心事への気付きを与えるために、本手法ではプライミング効果を利用する。プライミング効果とは、先行してある事柄を見聞きしておくことにより、別の事柄を記憶しやすくなったり、思い出しやすくなるなど、後続する事柄の処理が無意識的に促進される効果である [35]。先行する事柄のことをプライムといい、それには単語、絵、音などの視覚情報や聴覚情報がありうる。本手法ではユーザの関心事に関連する情報をプライムとし、日常生活において空き時間に常時提示することにより、集中して提示内容を閲覧することなく無意識的に関心事に気付きやすくなることを目指す。プライミング効果は24時間以上持続するとの報告もあり [42]、実験室環境にとどまらず屋外においてもその効果は期待できる。

本研究では視覚情報をプライムとし、HMD上に提示することでユーザが受動的に情報を閲覧できる環境を想定している。視覚情報は静止画像(以下、画像)、動画像(以下、動画)のどちらかを提示し、その内容は写真、イラスト、撮影映像やアニメーションなどである。例えば、ユーザがお気に入りのアーティストに関する情報を取得したい際には、そのアーティストの写真やプロモーションビデオをHMD上に提示する。提示内容によってプライミング効果が起こり、ユーザは潜在的にそのアーティストに注目するようになり、街中で関連する情報を得やすくなると考えられる(図16)。

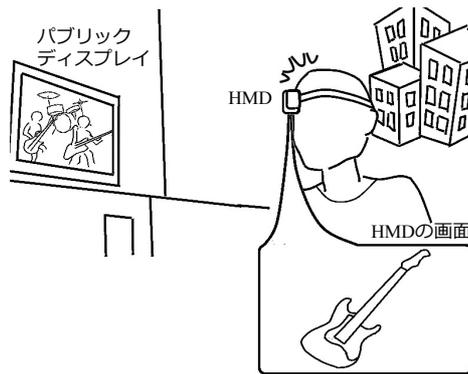


図 16: 想定環境

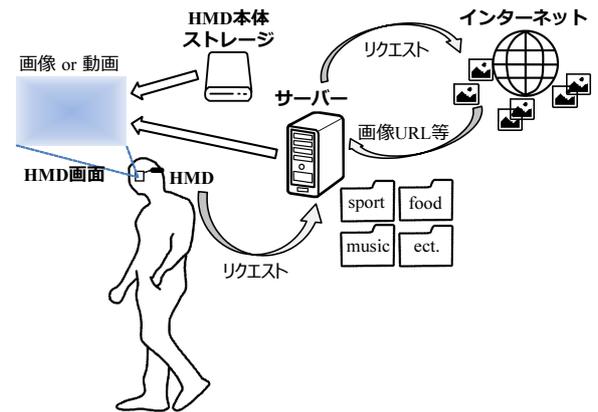


図 17: システム構成

図 17 にシステム構成を示す。ユーザは HMD 本体のストレージやサーバ上に、気付きたい情報に関連する画像や動画のデータを、カメラで撮影したりインターネット上のデータをダウンロードしたりして蓄積し、状況に応じて HMD の画面上に表示する。画像データ等を事前に用意していない際には、リアルタイムでインターネット上で検索を行ない、その結果を表示する。

3.4 利用例

本提案システムのいくつかの利用シナリオを以下に示す。

平日、会社に出勤する。

(A) 朝、電車に乗って会社へ向かう。好きな俳優やミュージシャンの誰かが電車内や駅での広告等で話題になっているのが見つかる嬉しい。

(B) 昼休憩、上司と定食屋に行く。ラーメン、ハンバーグやカレーが好きなので、それぞれ新しい店ができていないかを外へ出たついでにチェックしておきたい。

(C) 営業で外回りに出る。次の訪問まで時間があるのでどこかで休憩しようと考えた。あまり来ないところなのでどこにカフェ等があるのかわからないが、どこか途中で見つかれば寄ることにする。

(D) 仕事を終え、家に帰る。奥さんの誕生日が近付いてきている。奥さんは読書が好きで、最近インテリアに興味があるようだ。街中で奥さんの興味・関心についての事柄を見つけて情報収集しておいて、良いものをプレゼントに買えるようにしよう。

休日、街へ出かける。

(E) 最近ファッションで何が流行っているのか、どのように取り入れられているのかチェックしておきたい。他の人の着こなしを参考にしつつ、いいものがあれば買おう。

(F) 街をぶらついていると、展覧会の話題をしている人たちがいた。何の展覧会かはわからないけど、少し気になる。どこでやっているのか、自分に興味ある内容なのか、他に話題にしている人たちがいないか、わかったら行ってみよう。

(G) 帰り道に雑貨店があるけど、日用品でストックがなくなりつつあるものがあつたらうか。何か思い出したら買って帰ろう。

休日、観光に行く。

(H) 目的の観光地の駅に着いた。「プライ」という食べ物がたくさん売られていて、名物であることがわかった。まだお腹が減っていないけど、後でどこかのお店に立ち寄って食べよう。

(I) この観光地では、「ミング」という花が有名で、様々な場所に咲いているらしい。たくさん見つけて写真に収めたい。

(A) や (B) のように、自身の興味・関心であっても見落とししている可能性もあるので、見つけたい情報に関する画像を蓄積し、そのうちのどれかの画像を表示しておくことで気付きやすくする。(G) についても同様に日用品の画像を蓄積しておき、それらの画像を表示する。

(C) や (F)、(I) のように、ふと考えたものや、日常生活では気付く必要がないがその場では気付きたい情報は、蓄積していないため、その情報についてインターネットで画像検索した結果を表示する。(E) のように、その時々流行りにについてもトレンド情報とそれに関する画像をインターネットで検索し、表示する。また視覚的な情報だけでなく、(F) のように他人の会話など聴覚情報にも気付きやすくなることも目的とする。(D) のように、日常的ではないがある程度の期間がある情報についてはその都度、画像を蓄積する。この例のように自身の興味・関心以外にも対応することを想定している。

(H) のように、その場で気付いたものはカメラで撮影して、その画像を提示する。日常的に気付きたい情報についてもカメラによる撮影画像を保存し、随時蓄積する。

3.5 予備実験

特定の情報を常時視界内に提示することによって、それに関連する情報に気付きやすくなるかを実験により評価する。実験では画像をプライムとして用い、その画像に対

して現実世界の視覚的な情報に気付くか、および現実世界の聴覚的情報に気付くかをそれぞれ評価する。これまでの研究におけるプライミング効果を調べる実験としては、後続する刺激への反応時間を測度として研究が行なわれていることが多く、対象は語彙判断などの文字に対して実験されることがほとんどであった。プライミング効果は、ある概念が処理された時には、その概念と結びついている関連ある他の概念に対しても活性化が広がっていくことにより起こるとされており、本研究での狙いであるHMD上に画像を提示して実世界上の関連する情報に気付きやすくなることにも効果があるかを本実験により調査する。具体的な手順としては、大学構内を歩行する動画を撮影し、その動画中の左上に特定の画像が表示される動画を3種類ずつ(それぞれ画像部分以外は同じ内容の動画)作成した。これらの動画を1人の被験者につき1つPC上で閲覧させ、関連した情報に気付いたかどうかを調べる。

3.5.1 視覚情報取得への影響

常時提示された情報による、関連した視覚情報の取得への影響について調査する。

実験方法

大学構内を歩行する動画の道中の道脇やベンチの上などには、サッカー関連オブジェクト(サッカーボール3個、ユニフォーム、サッカー雑誌)と、野球関連オブジェクト(バット2本、グローブ2個、野球ボール)のそれぞれ5つずつが計10箇所に配置されている。作成した3種類の動画はそれぞれ左上にサッカー関連画像、野球関連画像が表示されるか、画像表示が無い動画である。サッカー関連画像はボール(図18左上)やゴールポスト(図18右上)、試合中の写真、野球関連画像はグローブ(図18左下)やスコアボード(図18右下)、試合中の写真である。動画の長さは約4分半で、解像度は960×540、左上の画像はそれぞれ6種類で10秒ごとに切り替わり、解像度は200×150である。動画のスクリーンショットを図19に示す。

被験者は10代から50代の男女45人で、3種類用意した動画を15人ずつに閲覧させた(以下、サッカー関連画像付動画閲覧グループをグループVS、野球関連画像付動画閲覧グループをグループVB、関連画像が無い動画を閲覧した被験者のグループをグループVNとする)。被験者には実験の意図やオブジェクトが配置されていることは伝えずに閲覧させた。動画終了後、以下の問いに答えさせた。



図 18: 動画中の関連画像の例 (視覚情報取得)



図 19: 実験 (視覚情報取得) 用動画のスクリーンショット

- ・ サッカー関連の物をいくつ見つけましたか？
(左上の写真ではなく、歩行している動画において)
- ・ 野球関連の物をいくつ見つけましたか？
(左上の写真ではなく、歩行している動画において)

表 11: 予備実験 (視覚情報取得) の結果 2

項目	gr.VS	gr.VB	gr.VN
a. サッカー関連 発見個数平均 (個/5 個)	0.93	1.3	0.33
b. 野球関連 発見個数平均 (個/5 個)	0.60	1.1	0.67
c. サッカー関連 発見個数の標準偏差	1.4	1.4	0.60
d. 野球関連 発見個数の標準偏差	0.95	1.4	1.1
e. サッカー関連の方を多く発見した人数 (人/15 人)	4	3	1
f. 野球関連の方を多く発見した人数 (人/15 人)	2	5	4

次に、以下の問いに答えさせた。

- ・それぞれ何を見つけましたか？
(覚えている範囲でかまいません)
- ・それぞれどこにありましたか？
(覚えている範囲でかまいません)

「(覚えている範囲でかまいません。)」として、回答することを必須にしていな
のは、返答の煩わしさから回答が煩雑になることを避けるためである。最後に自由記述
欄も設けた。

3.5.2 実験結果と考察

結果を図 20 に示す。図 20 左上はグループ VS の結果であり、縦軸にサッカー関連オ
ブジェクト、野球関連オブジェクトそれぞれの発見された個数を示し、横軸に被験者
をとっており、15 人の被験者を VS1 – VS15 で表している。図右上、図左下も同様で
あり、被験者は VB1 – VB15, VN1 – VN15 と表している。また表 11 に項目 a – f に対
する数値を示し、以下の記述においてグループ VS の項目 a を VS-a とし、その他同様
に VS-b – VS-f, VB-a – VB-f, VN-a – VN-f とする。オブジェクトについて何を見つ
けたかについてほぼ全ての被験者が回答を記述しており、平均して各自見つけた内の
6 割ほどについて書き込まれた。記述の中で唯一あった勘違いが、「コーン」という記
述で、工事用のコーンをサッカー関連だと考えられる。その回答については報告数か
ら引き、これ以外には勘違いはなかった。この結果と、動画中にはボールなどが実験
用に配置したもの以外には存在していなかったことから勘違いによる報告はほぼ無く、
回答の適合率は 100%であったと考えている。また再現率については表 12 に示す通り
である。

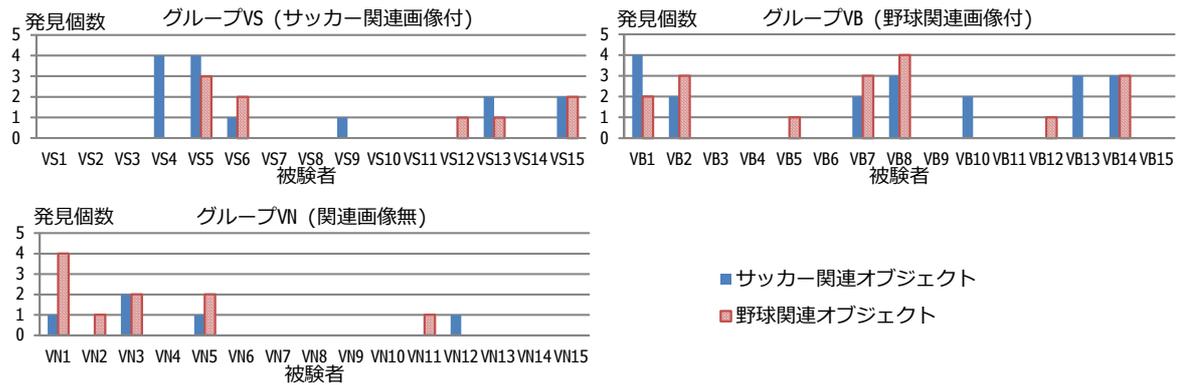


図 20: 予備実験 (視覚情報取得) の結果 1

表 12: 予備実験 (視覚情報取得) の結果の再現率

	グループ		
	VS	VB	VN
サッカー関連	19%	26%	6.6%
野球関連	12%	22%	13%

まず、VN-a, bを見ると、0.33と0.67であり、VN-bの方が多いが大きな差はなく、動画中のオブジェクトを発見する難易度は少し野球関連のオブジェクトの方が見つけやすかったと考えられる。

VS-aとVS-b, VB-aとVB-bをそれぞれ比べると、ともに項目aの方が多かったが、VS-aとVN-a, VB-bとVN-bをそれぞれ比べてみると、どちらも関連画像がある方が多い。個人ごとの結果については、VS-eとVS-f, VS-eとVS-fをそれぞれ比べると、どちらのグループも関連画像が与えられていた方を多く発見した被験者が多かった。

各グループ(3)×発見個数(2)によって閲覧情報による発見個数への影響を分析した。分散分析の結果、有意差は見られなかった。また表11のe, fの項目について χ^2 検定を行なったところ、有意差は見られなかった。

本実験はサッカーと野球で行なっており、どちらもスポーツであったため、被験者はスポーツや球技といった情報に引きつけられていた可能性がある。実際に、VN-a, bの合計とグループVS, VBの両オブジェクト合計発見個数の平均を比べると、前者の値は1.0に対し後者は2.0であり、10個のオブジェクトの内1個の違いがあった。

回答後の自由記述を見てみると、グループVNの中には何をどこで見つけたかを書く欄で本来野球ボールがある箇所に「饅頭があった」と書いている等、オブジェクトに目が向いているもののそれが関連オブジェクトだと気付いていない被験者がいたが、

グループ VS, VB にはそのような被験者は見られなかった。

3.5.3 聴覚情報取得への影響

常時提示された情報による，関連した聴覚情報の取得への影響について調査する。

実験方法

作成した3種類の動画はそれぞれ左上にサッカー関連画像，天気関連画像が表示されるか，関連画像が無い動画である。サッカー関連画像は視覚情報取得への影響についての実験と同じ写真，天気関連画像は天気予報のアイコン(図21)や，天気予報番組の写真と雲の映った衛星写真である。動画中では，サッカーについて話す人たち5組と，天気について話す人たち5組とすれ違う。それぞれ話す人はすれ違う際に関連する単語(「シュート」や「ボール」，「雨」や「寒い」)を発しており，全て男性である。動画の長さは約5分で，解像度は720×540，左上の写真はそれぞれ6種類で10秒ごとに切り替わり，解像度は160×120である。動画のスクリーンショットを図22に示す。

被験者は20代から30代の男女36人で，3種類用意した動画を12人ずつに閲覧させた(以下，サッカー関連画像付動画閲覧グループをグループAS，天気関連画像付動画閲覧グループをグループAW，関連画像が無い動画を閲覧した被験者のグループをグループANとする)。被験者は視覚情報取得への影響を調べた実験の被験者とは全員違う人であり，動画中で関連する話題をしている人とは面識がない。被験者には実験の意図は伝えず，インターネット上で配布した動画を閲覧させたが，音声を聞かせる必要があるため，動画添付ページの前ページで音量の調整を行わせた。この際に，音声を聞き取ることには注意を向けさせないために，輝度の調整やキーボードの設定も加えて行わせた(図23)。動画終了後，サッカー関連の話題をする人と何組すれ違ったか，天気関連の話題をする人と何組すれ違ったか，それらはどのような話題で，どこで話していたかを答えさせた。またサッカーが好きか，そうでないかを答えさせ，最後に自由記述欄を設けた。

実験結果と考察

結果を図24に示す。図24左上はグループASの結果であり，縦軸にサッカー関連話題，天気関連話題それぞれの発見された話数を示し，横軸に被験者をとり，12人の被

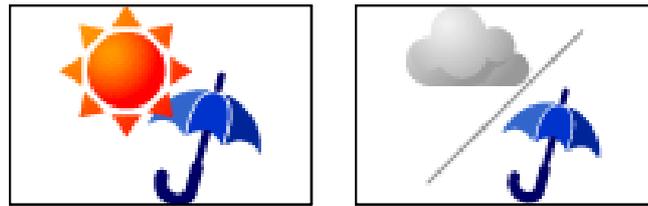


図 21: 動画中の関連画像の例 (聴覚情報取得)

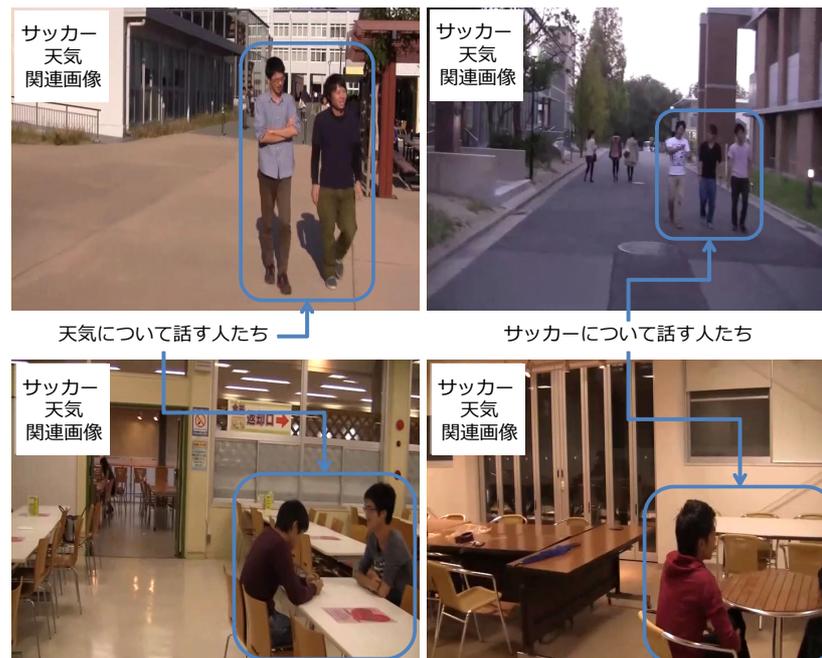


図 22: 実験 (聴覚情報取得) 用動画のスクリーンショット

験者を AS1 – AS12 で表し、サッカーが好きと答えた被験者の番号にはピリオドを付けた。図右上、図左下も同様であり、被験者は AW1 – AW12, AN1 – AN12 と表している。また表 13 に項目 a – f に対する数値を示し、以下の記述においてそれぞれのグループの各項目に対する数値を AS-a – AS-f, AW-a – AW-f, AN-a – AN-f とする。どのような話題に気付いたかについてほぼ全ての被験者が回答を記述しており、平均して各自見つけた内の 6 割ほどについて書き込まれた。回答中に勘違いは無く、実験用の会話以外に、サッカーや天気に関する会話は無かったので、回答の適合率は 100% であったと考えられ、再現率は表 14 に示す通りである。

まず、AN-a, b を見ると 2.0 と 1.9 であり、動画中のそれぞれの話題を発見する難易度は同程度であったと考えられる。



図 23: 実験前に設定を行なわせたブラウザのスクリーンショット

表 13: 予備実験 (聴覚情報取得) の結果 2

項目	gr.AS	gr.AW	gr.AN
a. サッカー関連 発見組数平均 (組/5 組)	3.1	2.2	2.0
b. 天気関連 発見組数平均 (組/5 組)	1.8	2.6	1.9
c. サッカー関連 発見組数の標準偏差	1.6	2.1	1.5
d. 天気関連 発見組数の標準偏差	1.2	1.8	1.0
e. サッカー関連の方を多く発見した人数 (人/12 人)	8	3	7
f. 天気関連の方を多く発見した人数 (人/12 人)	0	5	5

AS-a と AS-b, AW-a と AW-b をそれぞれ比べてみると、どちらのグループも関連画像が与えられていた方を多く発見した被験者が多かった。AS-a と AN-a, AW-b と AN-b をそれぞれ比べてみると、どちらも関連画像がある方が多くなっている。グループ AS では天気関連を多く発見した被験者はいなかった。AW-e が 3 人であるが、そのうちの 2 人はサッカーが好きと答えているため、元々興味のあるサッカーに気付いたのでと考えられる。一方で、AW8, 9, 12 はサッカーが好きと答えているが、天気関連を多く発見している。

各グループ (3) × 発見組数 (2) によって閲覧情報による発見個数への影響を分析した。分散分析の結果、交互作用が有意であった ($F_{(2,33)} = 4.44, p < .05$)。発見組数の単純主効果を検定したところ、グループ AS において、有意であり ($F_{(1,33)} = 9.71, p < .01$)、その他は有意でなかった。

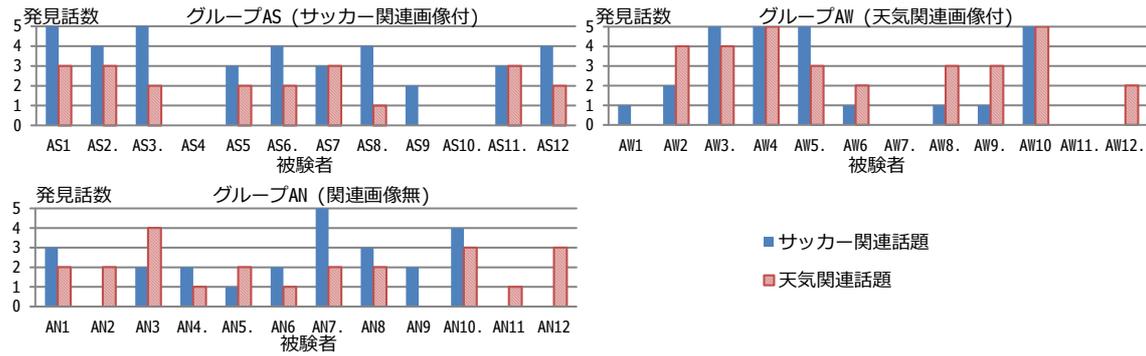


図 24: 予備実験 (聴覚情報取得) の結果 1

表 14: 予備実験 (聴覚情報取得) の結果の再現率

	グループ		
	AS	AW	AN
サッカー関連会話	62%	44%	40%
天気関連会話	36%	52%	38%

表 15: 表 13 の各セルの調整された残差

	グループ AS	グループ AW	グループ AN
e.	2.49*	-1.87 [†]	-0.57
f.	-2.49*	1.87 [†]	0.57

[†]p < .10 *p < .05

また表 13 の e, f の項目について χ^2 検定を行なったところ、人数の偏りは有意であった ($\chi^2 (2) = 7.13, p < .05$)。残差分析によると (表 15)、サッカー関連情報を見つつ、サッカーの方を多く見つけた人数がプラスに有意であり、天気を多く見つけた人数がマイナスに有意であった。その他、天気関連情報を見つつ、サッカーを多く見つけた人数がマイナスに有意 (有意傾向)、天気を多く見つけた人数がプラスに有意 (有意傾向) であった。この結果から、関連情報を与えることで発見への影響を与えられていたと考えられる。天気関連に関しては有意ではなかったが、話題発見の難易度が同程度と考えられる条件であるため、本手法では影響の起こりやすい目的の情報、もしくは影響を起こしやすい提示情報がある可能性があることがわかった。

3.5.1 節、3.5.2 節の 2 つの予備実験の結果により、視覚情報を与えることにより関連情報へとひきつけられることがわかり、提案手法はユーザの関心への気付きを与えることに効果があると期待できる。

3.6 実環境での評価

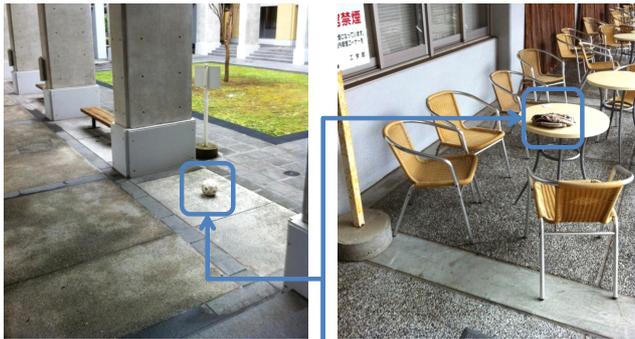
HMD を装着して実環境中を移動する際にどのような影響が出るかを 2 種類の実験により調べた。最初の実験では、予備実験と同様に、常時特定の情報を閲覧することによって、それに関連するオブジェクトに気付くかどうかを調べる。次の実験では、これまでの実験とは異なり、HMD 上に表示された情報によって、人の行動に影響があるかどうかを調べる。

3.6.1 実環境中の視覚情報取得への影響

本提案システムでは、これまで見落としていた情報に気付きやすくなることを目的としている。そこでこの実験では、HMD 上に表示された映像により、それに関連した情報に実世界上で気付きやすくなるかについて調べる。

実験方法

実験は HMD 上に指定の動画を表示した状態で、被験者に指示したコースを普通の歩行時のペースで歩かせた。コース上には図 25 のように予備実験と同じサッカー、野球関連のオブジェクトを 5 箇所ずつ間隔を空けて配置した。コースは徒歩約 5 分で回りきれ、被験者が歩き慣れている大学構内をコースとし、実験前にコースは記憶させた。被験者はそれぞれ 1 人で歩行し、コースを間違えないように著者が約 3m 後ろをついて行った。被験者は 20 代の男女 11 人で、HMD 上に PC から出力されたサッカーの試合動画が提示されている被験者が 6 人(グループ VS'), 野球の試合動画が提示されている被験者が 5 人(グループ VB')であり、3.5 節で行なった予備実験に参加した被験者はいない。コースを回る中でオブジェクトが視界に入らずに気付かなかったのか、視線が向いているにも関わらず気付かなかったのかを調べるために、それぞれのグループで 2 人ずつアイトラッカを付けて視線を計測しながら実験を行わせた。オブジェクトが置かれていることや実験の意図は被験者には伝えず、コースを回り終えた後にそれぞれのオブジェクトをいくつずつ見つけたかを答えさせた。実験の様子を図 26 に示す。HMD は島津製作所の単眼シースルー HMD である DataGlass3/A を用いた。アイトラッカには株式会社ナックイメージテクノロジーのアイマークレコーダ EMR-9[43]を使用した。この装置は、実環境下での視線の動きを追跡する用途を想定して携帯性重視の設計が行われており、歩行中における視線の動きも記録できる。図 27 はアイト



配置したオブジェクト

図 25: オブジェクトを配置した様子

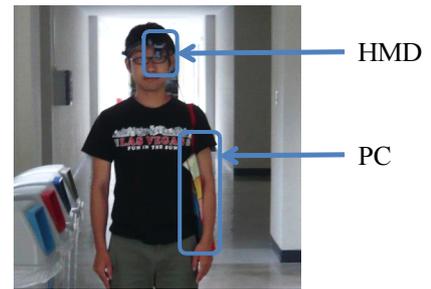


図 26: 実験の様子



図 27: アイトラッカの取得画像

ラッカに装着されたカメラによる取得画像である。図中の赤枠で囲った部分に四角、バツ、丸が表示されているが、四角が右目、バツが左目を表しており、丸がそれらから算出される両眼で見ている位置である。本稿では丸がオブジェクトに重なると視線が向いたとして判断する。例えば、図 27 ではサッカーボールに視線が向いたと判断している。

実験後には、サッカーの方が好きか、野球の方が好きか、どちらも好きか、どちらも特に好きというわけではないかを 4 択で回答させた。

実験結果

実験結果を表 16 に示す。5 個のサッカー関連オブジェクトをそれぞれ OS1 – OS5 で、野球関連オブジェクトを OB1 – OB5 で表しており、グループ VS' の被験者を VS'1 –

表 16: 実環境中の視覚情報取得への影響の実験結果

被験者	OS					OB					サッカー 発見個数 (/5)	野球 発見個数 (/5)
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
VS'1											0	0
VS'2											0	0
VS'3	●										1	0
VS'4	●		●								2	0
VS'5			●								1 (2)	0 (1)
VS'6											0 (3)	0 (1)
VB'1	●						●		●		1	2
VB'2					●						1	0
VB'3										●	0	1
VB'4	●	●			●	●			●	●	3 (4)	3 (3)
VB'5							●				0 (1)	1 (1)

VS'6, グループ VB' の被験者を VB'1 - VB'5 とし, 被験者ごとに発見したオブジェクトの列に赤い●印, 右端 2 列にそれぞれのオブジェクトごとの発見個数を示しており, () 内の数字は被験者が視線を向けたオブジェクトの数である. 10 個のオブジェクトについてそれぞれ見つけた人数を見ると, 平均 1.6 人に見つけられ, その分散値は 1.24 であり, あるオブジェクトが突出して見つけられることはなかった. 被験者 VB'4 は他の被験者に比べて多く見つけているが, ヒアリングの結果からコース序盤で実験の内容がオブジェクトを発見することであることに気付いてしまったことが原因であると考えられる. また, 何をどこで見つけたかについて全て聞いたところ, 勘違いや間違いは無く, 回答の適合率は 100% であり, 再現率は表 17 に示す通りである.

全体の結果を見てみると, 被験者 11 人中 6 人が HMD 上に提示されている動画の関連オブジェクトの方を多く見つけている. 提示された動画と違うオブジェクトの方を多く見つけた被験者は VB'2 のみであった. VB'2 はサッカーが好きであるためサッカー関連オブジェクトにより気付いたと考えられる.

VS'4 はサッカーの方が好き, VB'5 は野球の方が好きと答えており, 元々の関心事であり, かつ提示された情報の関連オブジェクトの方が多く気付き, 関心事でない関連オブジェクトには気付いていない. VS'3, 5 は野球, VB'1, 3 はサッカーの方が好きであるが, 提示された情報の関連オブジェクトの方が多く気付いている. VS'3, 5, VB'3 は自身の関心事に 1 つも気付いておらず, 普段の生活でも関心事を見落とす可能性があることがわかる. アイトラッカを用いた際の結果を見てみると, 視線が向いているにも関わらず気付いていないことがあるが, 関連動画を見ているオブジェクトには気付くことが多い.

表 17: 視覚情報取得の実験結果における再現率

	グループ	
	VS'	VB'
サッカー関連オブジェクト	13%	20%
野球関連オブジェクト	0%	28%

表 18: 視覚情報提示実験結果 (平均, 標準偏差)

グループ	VS'		VB'	
	サッカー	野球	サッカー	野球
発見個数				
Mean	0.67	0.00	1.0	1.4
S.D.	0.75	0.00	1.1	1.0

各グループ (2) × 発見個数 (2) によって閲覧情報による発見個数への影響を分析した。表 18 は各郡の発見個数の平均と標準偏差を示したものである。分散分析の結果、交互作用が有意 (有意傾向) であった ($F_{(1,21)} = 4.27, p < .10$)。閲覧動画の種類の単純主効果を検定したところ、野球関連の発見個数において、有意であり ($F_{(1,9)} = 9.25, p < .05$)、サッカー関連の発見個数は有意でなかった。また発見個数の単純主効果はどちらも有意ではなかった。

実験後に動画により意識に変化があったかを質問したところ、全被験者が変化はなかったと答えており、負荷を与えることなく無意識的に提示情報の効果を受けていることがわかった。

3.6.2 実環境中の注意事象への影響

本提案システムでは、これまで気に留めることがほとんどなかった事柄にも注意が向くようになることも目的としている。そこでこの実験では、HMD に提示した映像により、目につくものへの変化があるかについて調べる。

実験方法

HMD 上で動作するカメラ撮影用アプリケーションを作成した。図 28 にアプリケーションの画面を示す。

被験者は HMD を装着した状態で筆者の所属する研究室を出発点・終着点として 30 分以上自由に歩き周り、HMD 上のカメラで 8 枚以上の何気なく目についたものの写真を撮影する。実験に使用した HMD は Vuzix 社の M100[44] で、動作する OS は Android

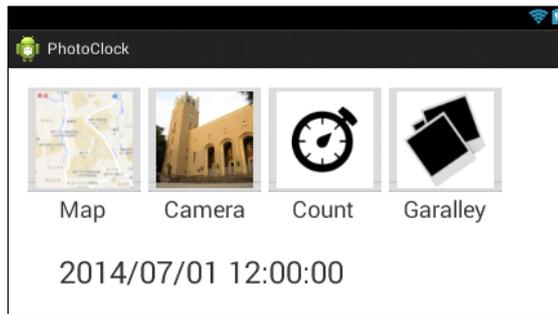


図 28: 実験で使用したアプリケーション画面



図 29: 実験で使用したアイコン用画面

4.0.4 であり、アプリケーション開発は統合開発環境である Eclipse を用いて Java で行なった。アプリケーションの操作は M100 上の物理ボタンのみで行なうことができるが、このアプリケーション以外の機能の操作はできないようになっている。カメラ撮影を同じ地点で集中的に行わせないために、1 度撮影したら 1 分間は次の撮影ができない。図 28 中の 4 つのボタンは左から、“Map”、“Camera”、“Count”、“Garalley” となっている。“Camera” をクリックするとカメラが立ち上がり、撮影ができる。“Camera” のアイコン画像について図 29 の 3 枚の画像を用意し、被験者ごとにどれか 1 枚の画像をアイコンに用いる。(A) 建物、(B) 自然、(C) 乗物の写真により、被験者が撮影する画像にどのような変化が現れるかについて調べる。M100 のディスプレイの解像度は 432×240 であり、各アイコンの画像の大きさは 100×100 としている。“Count” をクリックすると次に写真が撮れるまでの時間を表示したり、アイコンが並ぶ画面に現在の時間を表示したりすることにより、被験者の視線が自然と HMD に向かうようにした。“Map” は研究室付近の地図が表示され、右端の“Gallery” は Android のギャラリーを開くことができるが、実験中に使うことはほとんどなく、“Camera” のアイコンが目立たないようにするために用意した。

被験者は筆者の所属する研究室の 20 代の男女 15 名で、それぞれの“Camera”アイコンについて 5 名ずつ実験を行なった。被験者には実験の意図・目的は知らせず、アプリケーションの操作方法について教えた後、「HMD とカメラの関係性について調べたいので、目についたものを自由に撮影してきてください」と伝えて実験に協力させた。実験後に実験の意図に気付いたか尋ねたところ、気付いた被験者はいなかった。

表 19: 注意事象への影響の実験結果

被験者	撮影枚数				枚数割合 (%)			
	建物	自然	乗り物	その他	建物	自然	乗り物	その他
A1	0	2	0	8	0	20.0	0	80.0
A2	1	2	0	7	10.0	20.0	0	70.0
A3	3	1	0	6	30.0	10.0	0	60.0
A4	12	1	1	3	70.6	5.9	5.9	17.6
A5	3	0	0	8	27.3	0	0	72.7
B1	1	4	2	12	5.3	21.1	10.5	63.1
B2	3	4	0	10	17.6	23.5	0	58.9
B3	0	3	2	9	0	21.4	14.3	64.3
B4	1	4	1	8	7.1	28.6	7.1	57.2
B5	1	2	2	8	7.69	15.4	15.4	61.5
C1	4	4	0	9	23.5	23.5	0	53.0
C2	0	0	1	8	0	0	11.1	88.9
C3	4	2	1	5	33.3	16.7	8.3	41.7
C4	1	4	1	11	5.9	23.5	5.9	64.7
C5	1	0	5	7	7.7	0	38.5	53.8

実験結果

実験結果を表 19 に示す。(A) のアイコンが表示されていた被験者を A1 – A5 と表記し、同様に (B), (C) についても B1 – B5, C1 – C5 としている。それぞれの被験者が撮影してきた写真が、建物、自然、乗物、その他のいずれかのジャンルに分類されるかどうかを判断し、判断されればその枚数、また撮影してきた合計枚数を示し、それぞれに分類された枚数が合計枚数の内のどれだけの割合であったかを示している。表 20 には各アイコンを見たグループごとに建物、自然、乗物(それぞれグループ A, グループ B, グループ C とする) への分類枚数の割合の平均を示す。分類については筆頭著者と研究室の学生 1 名がそれぞれ主観で行ない、両者の意見が一致した写真のみ分類している。学生 1 名には写真を全てデータで渡し、それぞれを建物・自然・乗物・その他に自分が思うように分類するように指示し、その他については自由に項目を作って分類させており、筆頭著者と学生は別々に話し合いすることなく分類している。図 30 に撮影された写真とその分類の例を示す。

表 20 を見てみると、グループ A, B については、アイコン画像と同ジャンルと判断される写真を最も多く撮影した被験者が多かった。グループ A は建物と判断されなかったが建物の前にある看板、グループ B は自然と判断されなかったが木や草が含まれている写真を撮影していることが多かった。グループ C は、乗物の写真が最も多かったわけではないが、他のグループに比べて乗物関係の写真の割合が多く、C1 以外が 1 枚以上乗物関係の写真を撮影していた。A4 が多くの建物に関する写真を撮影しているが、

表 20: 注意事象への影響の実験結果の平均

被験者	枚数割合の平均 (%)			
	建物	自然	乗物	その他
グループ A	32.8	10.3	1.7	55.2
グループ B	7.8	22.1	9.1	61.0
グループ C	14.7	14.7	11.8	58.8

表 21: その他の写真を分類した枚数割合の平均

被験者	枚数割合の平均 (%)				
	看板・掲示	人物	物体	風景	不一致
A1-A5	19.0	3.4	10.3	0	22.5
B1-B5	9.1	6.5	2.6	5.2	37.6
C1-C5	14.7	14.7	1.5	1.5	26.4

表 22: 撮影合計枚数の調整された残差

	建物	自然	乗物	その他
グループ A	3.70**	-1.44	-2.06*	-0.63
グループ B	-2.79**	1.76 [†]	0.50	0.55
グループ C	-0.68	-0.43	1.46	0.04

[†]p < .10 *p < .05 **p < .01

図 30 右上のような建物の名前の写真が 12 枚の内 7 枚あり、自分なりにテーマを決めて撮影していたと考えられる。表 21 は、建物、自然、乗物に分類されなかった写真を分類した際の結果と、2 人の不一致となった枚数の結果である。これらの中では 20% を超える分類はなかったが、グループ A が建物の近くにある看板の写真を撮影していることが多かった。

各グループごとの撮影されたそれぞれの (建物・自然・乗物・その他) 合計枚数について χ^2 検定を行なったところ、枚数の偏りは有意であった ($\chi^2_{(6)} = 19.723, p < .01$)。残差分析によると (表 22)、建物を撮ってきた枚数では、グループ A がプラスに有意、グループ B がマイナスに有意であった。自然の枚数では、グループ B がプラスに有意 (有意傾向) であった。乗物の枚数では、グループ A がマイナス有意にであった。その他の枚数では、どのグループでも有意でなかった。

上記の結果から、HMD 上に表示された小さな画像によって、ふと目につく実世界上の事柄に影響があると考えられる。



図 30: 撮影された写真の分類例

3.7 実装

これまでの実験から HMD 上に表示した映像はユーザに影響を与えていることがわかった。そこで、3.4 節で記述したようなシチュエーションで利用可能な、特定の映像を常時閲覧できるシステムのプロトタイプを実装した。実装したシステムは、HMD 上のアプリケーションとサーバ上のプログラムから構成され、HMD 本体に保存された映像を提示したり、サーバへリクエストを送ることで、サーバに保存された映像やウェブ上の映像を提示したりすることができる。HMD 上のアプリケーションの開発は Vuzix 社の M100(OS: Android 4.0.4) 上で動かすことを想定し、Java により行なった。サーバは Windows Server 2012 を用い、プログラムは C# と PHP により実装した。

図 31 に HMD 上で働くアプリケーションの画面を示す。ボタンは、“Image”、“Video”、

“Server”, “Search”, “Trend”, “Camera”, “Upload”, “GPS”である。“Image”をクリックすると Android のギャラリーが開き、選択した画像が画面に表示される。図 32 に画像が表示された状態の画面を示す。“Video”も同様にギャラリーから動画を選択でき、動画がループ再生される。“Server”をクリックすると、サーバにリクエストを送り、サーバ上の画像が保存されているフォルダ名のリストが返され、ボタンで表示される。HMD 上でフォルダ名を選択するとそのフォルダ内に保存されている画像ファイル名のリストが返され、画像ファイル名を選択するとその画像が表示される。“Image”, “Video”, “Server”機能により、3.4 節 (A), (B), (G) のような状況に対応する。“Search”をクリックして、HMD 上で文字を入力すると、入力された文字がサーバへと送信される。サーバ上のプログラムは受信した文字で Google 画像検索を行ない、その画像の URL を返し、HMD 上では検索結果の画像が表示される。このようにサーバを介することで、検索に用いる API に変化があった際やその他の API を使いたい祭などに、サーバ上のプログラムを更新するだけで対応することができる。この“Search”機能により 3.4 節 (C), (F), (I) に対応する。“Trend”をクリックすると、3 つボタンが現れ、それぞれ Yahoo! 検索ランキングの結果、goo キーワードランキングの結果、Twitter のトレンドワードがサーバ上で取得され、送信される。HMD 上でその中から選択したワードについて Google 画像検索が行なわれ、その画像を見ることができる。この機能により、3.4 節 (E) に対応する。“Camera”をクリックすると、カメラ機能が立ち上がり、撮影ができる。撮影すると、“Image”機能での画面に撮影した画像が表示される。この機能により、3.4 節 (H) に対応する。その他の状況においても、ふと気付いたものをカメラですぐに映像記録として残せる。“Upload”をクリックすると、Android 上の画像をサーバにアップロードできる。HMD 上で入力した文字のフォルダに保存されるが、サーバ上にフォルダが存在しない場合はその名前のフォルダが作成される。この機能により、3.4 節 (D) に対応する。“GPS”をクリックすると、現在ユーザがいる地点の GPS 情報が保存される。3.4 節 (B) のように、後日行きたい場所を見つけるような状況も考えられるため、GPS 情報を保存する。

3.8 考察

本研究ではウェアラブルコンピューティング環境において視覚情報を与えるシステムを実装したが、近年、ウェアラブルコンピューティング環境に限らずスマートフォンやデジタルサイネージなどの普及により、人がコンピュータの画面を見ることが増え

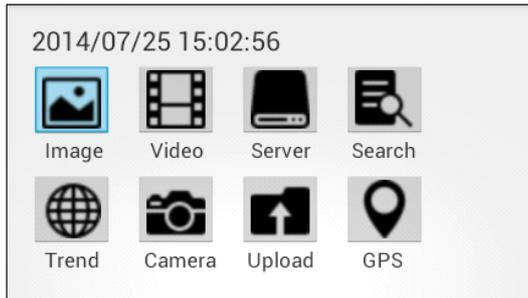


図 31: アプリケーション画面



図 32: 画像を表示した画面

ている。本手法では関連した視覚情報を与えることでユーザの興味に関連した情報に気づきやすくさせ、Vickery らの研究 [39] では特定の視覚情報を閲覧させることにより目的の実物を認知しやすくさせるといったように、これらの研究では視覚情報によりユーザの認知心理に影響を与えている。また中村らは生体情報の虚偽情報を視覚的にユーザに与えることでプラセボ効果を引き起こす研究 [45] を行っており、ユーザの生理に影響を与えている。これらの研究からわかるように、コンピュータの画面を見ることが人間の行動や生理に影響を与えており、我々が普段利用しているコンピュータ画面も我々の行動に思わぬ影響を与えている可能性がある。その影響は悪用されること (洗脳や誘導等) や、生活にマイナスに働くこと (SNS で他人の風邪を知ることによって自分も体調不良を感じる等) もあり得る。情報コンテンツ作成者が予期せぬ影響を与えないようにするためにも、コンピュータの画面を見ることが与える影響について、今後さらに拡大していく情報社会のためにもよく考えていく必要がある。どのような影響があり得るのかを知ることは重要であり、知ることにより悪影響を避けることや、対策を行う情報提示方法も考えていくことができるため、本研究のような調査の意義は大きい。

本研究では、提示情報によって日常生活で気付きたい情報に気づきやすくなるといったポジティブな効果を狙っている。本研究で想定する効果を起こすことを狙うには、提示画像と取得したい (させたい) 情報が結びつく必要があるが、ある 1 種類の画像から連想する情報の種類はユーザによって異なる可能性がある。しかし、HMD を用いることで、複数種類の画像を切り替えつつ提示でき、連想される情報を意図する情報へと収束させていくことができると考えられる。世の中のあらゆる情報がプライムとなり得るが、HMD により常に情報が見えていることで周囲の情報を外乱として受けたとしても補正できることも期待できる。

また関連情報として視覚情報を与えたが、聴覚情報を与えることによっても気づき

やすくなるかについても今後研究を行なっていく。これまでに 3.5.1 節での実験における関連画像をそれぞれサッカー関連音、野球関連音に置き換えた動画を被験者に見せる実験を行なっている。現在、サッカー関連音付動画を見た被験者 8 人の内、サッカー関連オブジェクトを多く見つけた被験者 1 人、野球関連オブジェクトを多く見つけた被験者 1 人、野球関連音付動画を見た被験者 7 人の内、サッカー関連オブジェクトを多く見つけた被験者 0 人、野球関連オブジェクトを多く見つけた被験者 3 人となっており、聴覚情報を付加することによっても影響を与えることを期待できるため、今後さらに実験を進めていく予定である。

3.9 むすび

本章では、ユーザの関心事に関連する情報を HMD 上に常時提示することにより、認知心理学におけるプライミング効果を起こし、ユーザが取得したい情報に無意識的に気付くことができるシステムを構築した。本稿では、予備実験により、ユーザに提示した視覚情報が、関連した情報取得に与える影響について調査した。また、HMD 上に特定の映像を提示した状態で歩行させる実験を行ない、関連した情報に気付きやすくなるか、どのようなものが目につきやすくなるかを調べた。結果から、視覚情報を与えることにより提示情報に関連した実世界情報が取得しやすくなることがわかり、ユーザに対し画像や動画を視覚情報として提示するシステムを実装した。

今後は、評価実験をさらに進めていく。視覚情報として、イラスト、写真、もしくは単純なアニメーション等が考えられるがユーザに対して与える影響について評価を行い、プライミング効果を起こすために効率の良い視覚情報について考察を行う。作業の程度についても調べていく必要があり、「歩く」以外の作業を行いつつ視覚情報を提示した際のシステムの効果についても調査する。今回の評価実験はサッカーと野球で行なったが、ユーザ自身が選択した関心事をシステム上で提示しながら生活した際の変化についても調べる。

4 平面をインタラクティブにする加速度センサを用いたユーザアクション認識システム

4.1 まえがき

近年、液晶ディスプレイやプロジェクタの普及により、デジタルサイネージやメディアアートを日常的に見かけるようになってきた。これらのように情報の提示をデジタルにすることで、画像を切り替えたり、動画を流し続けたり等、紙媒体では不可能であった提示が行えるが、多くの情報を伝えたり、観客にシステムを自らの体で経験させて楽しませたりするためには提示をインタラクティブにすることが有効である。

コンピュータの小型化・高性能化により、ユビキタスコンピューティング環境が一般的になり、ユーザアクションを認識しインタラクティブに動作するシステムが多数提案されている。例えば、HoloWall[46]は大型ディスプレイの後ろに赤外線LEDとカメラを備えることにより、ハンズフリーでマルチポインティングを実現し、非接触で物の接近も感知することができる。しかし、HoloWallはタッチの強さを認識できず、またディスプレイの後ろに広い空間が必要である。PingPongPlus [47]は複数のマイクをテーブルに設置して、ピンポン球がテーブル状のどこに当たったかを検出できる。他のテーブルに設置する際には、ハードウェアは設置しやすいが、位置検出のアルゴリズムを再構築する必要がある。ユーザアクションは様々であるが、単一のシステムで対応できるアクションには限りがあり、設置できる環境も制限が伴うため、既存のシステムは特定のアクション・環境に特化しているものが多い。また認識手法をどのようにするか、どのようなパラメータで設定するかについて多くの時間がかかり、専門家が必要となり、トラブルが起きた時も素人では対応できない。このことは、認識したいアクションを変更したり、設置環境を変更することに十分な柔軟性をもっていないことを意味する。

そこで本研究では、様々な状況下でユーザアクションを認識できるフレームワークを提案し、行動認識の専門家なしでもインタラクティブシステムを設置できるソフトウェアを実装した。提案手法は複数の加速度センサを用いることにより、平面に対し行なわれたユーザアクションの位置や強さを認識する。本手法では、紙やスクリーンなどの平面の裏側に装着した加速度センサが、ユーザがタッチしたりや引っ張ったり、

息を吹きかけたりといったアクションをした際に平面が揺れることを検出する。提案システムは、行動認識に精通していない人でも設置やメンテナンスを簡単に行なえる機能をもっている。インタラクティブシステムの設置者は、まずアクションを行なう対象に加速度センサを固定し、次に認識したりアクションを複数回・複数箇所に行なう。その際の加速度データを提案システムは学習データとして記録し、認識器を作成する。加速度センサは小型なため、観客の目に触れることなく既存の環境にも設置することができ、提案システムは他の手法と併用し、機能を増やすこともできる。これまでに、2度のメディアアートの展示において提案システムを使用しており、その有用性を確認した。

以下、4.2節で関連研究を紹介し、4.3節で提案システムのシステムデザイン、システム構成、認識手法について説明する。4.4節、4.5節で提案システムの実装・評価を行ない、4.6節で実運用について述べる。最後に4.7節でまとめを行なう。

4.2 関連研究

平面上においてユーザアクションを認識するために多くの研究が行なわれている。HoloWall[46]は大型のディスプレイ全体が一種のタッチパネルとして機能し、指や手だけでなく、全身を利用したインタラクションが可能ある。ディスプレイの後ろに設置されている赤外線LEDと赤外線透過フィルタを備えたカメラにより認識しており、従来のタッチパネルでは不可能であった非接触での物の接近も感知することができる。HINOCO[48]はカーテンを用いたインタラクティブシステムである。カメラを用いることによって人とカーテンの動きを認識し、測域センサを用いることによって人がカーテンに触れた位置を検出している。深澤らは、ディスプレイの前に立つユーザのジェスチャの認識手法を提案している[49]。カメラのみで認識することにより、ユーザはハンズフリーでディスプレイ内の広告などのコンテンツを操作することが可能となる。ZeroTouch[50]は長方形の枠にLEDと受光器を多数装着することで、その枠内でのマルチタッチを検出できる。この枠を備え付けるだけでどのような面でもマルチタッチが可能となる。これらのシステムは、提案システムと同様に平面に対する手を使ったユーザアクションを認識している。しかし、Holowallは平面の後ろにカメラを配置する必要がある、さらにそこには設置とカメラの画角のために十分なスペースが必要となる。HINOCOと深澤らのシステムは、聴衆の視界内にカメラを設置する必要があるため、公共の場に設置することは難しい。カメラを使った手法では、息を吹きかける

といったような体の大きな動きのないユーザアクションやアクションの強さを認識することは難しく、そういったアクションを認識したり場合には他の手法と組み合わせる必要がある。ZeroTouchはカメラ無しでアクションの位置を認識することができるが、認識範囲の大きさを変えることは容易ではない。

手によるアクションだけでなく、ボールがテーブルに当たった位置を検出するようなシステムも存在する。PingPongPlus[47]はボールがテーブルに当たった位置を認識し、その位置にエフェクトを起こすといった、卓球を拡張するシステムである。テーブルに8個のマイクを設置し、ボールがテーブルに当たった際の音が伝わる速度の違いにより位置を認識している。平面に複数のセンサが配置されている点で、本提案システムと似ているが、この手法では硬い平面上を高周波の波が移動することを用いているため、布のような柔らかい平面では利用できない。

タッチ以外にも息を吹きかけるといったような他のユーザアクションを認識する研究も行なわれている。BYUBYU-View[51]はスクリーン面を通じた風の入出力と映像の出力を実現するシステムである。スクリーンに風を通すことのできる特殊な素材を使用し、スクリーンの後ろに風の入力を検出するセンサを設置することにより、ユーザはスクリーンに対して息を吹きかけることによって入力を行える。Jellyfish Party[52]は、息を吹き込むことでヘッドマウントディスプレイを通して現実空間内にシャボン玉のCGが飛び出すインスタレーション作品である。呼気センサを備えた専用デバイスを用いることによって息を吹き込むことを認識している。livePic[53]とThermoRetouch[54]では、スクリーンの後ろに赤外線サーマルカメラを備えることによって、ユーザアクションの際の表面上の温度の変化を認識している。このシステムではタッチと息を吹きかけることの両方を認識できる。しかし、BYU-BYU-Viewは風を通すことができるような荒いスクリーンを用いるため、高解像度の映像を投影することには向いていない。Jellyfish Partyはデバイスを手に持つ必要があるため、公共の場で使うには敷居が高くなる。livePicとThermo-Tabletは提案システムのように息の吹きかけだけでなく、タッチしたことも認識できるが、赤外線サーマルカメラは非常に高額となり一般的ではない。

さらにタッチしたことだけでなく、強さなどのより詳しい情報を認識することも重要である。WrinkleSurface[55]はマルチタッチを認識するタッチパネルである。FTIR方式のタッチパネルに、柔らかい透明なウレタンゲルシートを張り付けることにより、入力面に対して指を強く押す、指をずらす、指をねじる等の入力面を変形させる動作に

よる入力を可能にしている。Touchè[56]は液体を含めたあらゆるオブジェクトへのタッチを識別するシステムである。どのように触れているのか、触れた面上でどのようなジェスチャをしているのかを認識することができる。これらのような認識システムが増えると、インタラクティブシステムの更なる発展が望める。しかし、WrinkleSurfaceは平面上に特殊な装置を配置する必要があり、その装置は大掛かりで生成に時間がかかるためユーザアクションの認識領域を変更することが困難である。Touchèは、アクションを認識したい対象に導電性が必要となる。非導電性対象にインタラクティブ性を付与したい際には、導電性インクやテープを用いてコーティングしなければならない。

これらのシステムは新しい認識機能をもつが、それらの認識の機構は独自のシステムに特化しており、他の作品に応用することが難しい。言い換えると、インタラクティブシステムを構築するためには、行動認識の専門家が様々な状況に応じて、適切な認識のために設定やアルゴリズムを用意する必要があるということである。本研究では、様々な状況下においてインタラクティブな平面を構築するための認識のための統合的なフレームワークを作成し、専門的な知識がなくても認識の設定を行なえるソフトウェアを実装した。さらに、このようなインタラクティブシステム最も重要な問題の1つは作品の維持である。システムはセンサの状態が変わってしまうと、再調整の必要があるが、専門家が常にシステムを調整できる状況にいることは難しい。提案システムは、閾値の決定を自動でキャリブレーションしたり、センサに問題が起きた際にはエラーを通知したり、認識したりアクションの追加を簡単に行えたりする機能をもつ。これらの機能により、専門家がいなくても、インタラクティブな平面を構築したり、メンテナンスしたりできる。

4.3 提案システム

本研究では、様々な環境に設置できるインタラクティブシステムの構築を目指す。提案システムは、入力対象の表面を揺らすようなユーザアクションを認識する。

4.3.1 システムデザイン

システム要件

本システムの要件を以下に記す。

- **デバイス不装着:** 公共スペースで使用する際には、観客に特殊な装置を身につけさせるべきではない。
- **カメラ不使用:** 公共スペースにカメラを設置することは現実的ではない。
- **デバイス不可視:** デバイスやケーブルが見えていると景観を損ないかねないので、観客から見えないようにすべきである。
- **可変な大きさ:** システムの設置面は様々な大きさが考えられるので、大きさの違いに対応できる必要がある。
- **様々な素材の設置面:** 入力面は布や紙、薄い板といった様々な素材を想定する。
- **メンテナンスの容易さ:** センサ技術に精通していない人でもシステムのメンテナンスが可能であるべきである。
- **他システムとの併用:** カメラを使った位置検出システムや、静電容量の変化を用いたジェスチャ認識システムといったような高精度で特定のアクションを認識できる様々な既存のシステムがある。これらのシステムと併用できるようにする。

認識対象

提案システムはインタラクティブシステムにとって重要な以下の3つを認識する。

1. **種類:** 平面に対する、叩く、押す、息を吹きかけるといったようなアクションの種類を分類する。
2. **強度:** 様々な粒度でアクションの強さを認識する。
3. **位置:** アクションが行なわれた位置を検出する。

ユーザがタッチしたり、引っ張ったり、息を吹きかけたりすると、表面は揺れ、その上を波が伝わる。提案システムではその波を加速度センサで検出し、ユーザアクションの種類・位置・強さを認識する。図33に、天井と床に上下を固定した布に、加速度センサを長方形(1000 × 950 mm)の形で4隅に装着し、タッチした際の加速度センサデータを示す。図左が長方形内側の左上、図右が右上付近をタッチした際のデータである。4つのセンサにおいて、それぞれスクリーン正面から奥方向への1軸のデータを示しており、全て違った波形であることがわかる。左のグラフでは長方形の左上にタッ

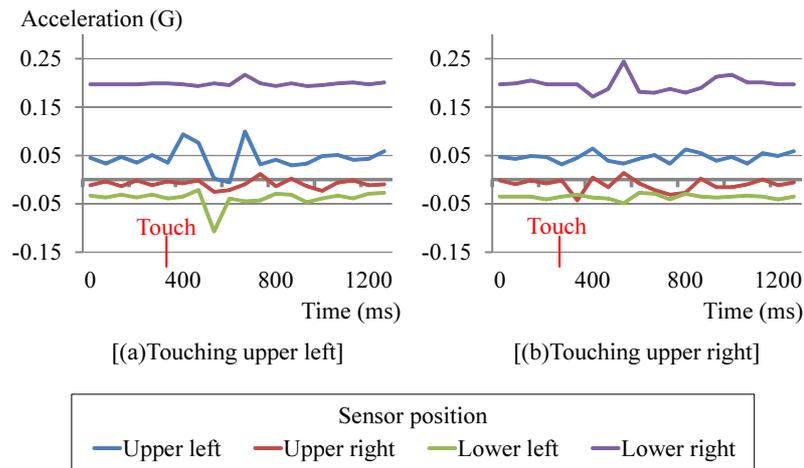


図 33: 布にタッチした際の加速度データ例

ちし、右のグラフでは長方形の右上タッチしている。タッチした位置の近くに配置されたセンサは、大きな波形を示しておち、これらのデータの違いにより、タッチの位置や強度を検出できると考えられる。

さらに、提案システムは、加速度センサのレイアウトに制限がないので、既存の環境に設置しやすい。これにより、システムを設置することによるデザインの制限を無くすことができる。この特性により、アーティストとシステムエンジニアが展示の作成・デザインの作業を個別に進めるできる。

設置の容易化ための機能

既存のシステムにおける認識手法はそれぞれの作品に特化しているため、システムの構築のために行動認識の専門家が必要とされる。さらに、既存のシステムは認識アルゴリズムを選択したり、認識のためのパラメータを設定するために多大な時間が費やされる。そこで提案システムでは、設置者が認識したいアクションを複数回行った際のデータを記録し、機械学習を用いて認識器を作成する。設置者は提案システムを用いることで、簡単にインタラクティブシステムを構築できる。さらに、システムは新たにアクションを加えたり、別の場所に設置したりしたい場合にも、それらを簡単に行なえる。提案システムでは、認識器として決定木 (DT) とサポートベクタマシン (SVM) を用いる。

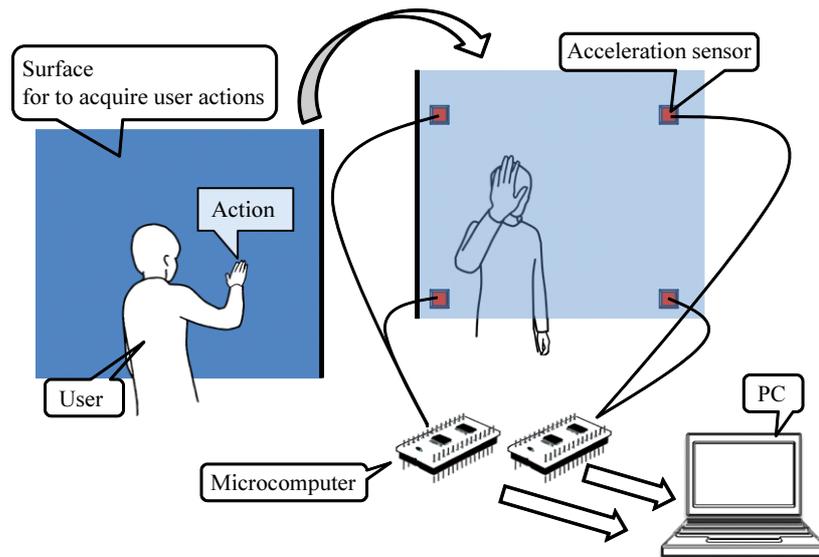


図 34: システム構成

4.3.2 システム構成

図 34 にシステム構成を示す。システムは 3 軸加速度センサ, PC, マイクロコンピュータ, そしてユーザアクションを受け取る平面から構成されている。平面は布や紙, フィルムなどが考えられ, 裏面に加速度センサが装着される。平面の大きさや, 素材に応じてセンサの数を調整する。センサのデータはマイクロコンピュータを通じて PC へと送られる。

4.3.3 認識手法

図 35 は, 認識手法のフローチャートを示しており, Preparation, Learning, Recognition の 3 つのステップに分かれている。

Preparation

提案システムは, このステップで学習データを集めるための準備をする。まず, 設置者はアクションを行なう対象の平面に複数の加速度センサを設置する。次に, 認識のタイプ (area と linear) を決定する。area タイプの場合は, 平面を複数のエリアに分割し, どの部分に対してアクションを行なったかを認識する。linear タイプの場合は, アクションを行なった位置を連続的な座標 (x, y) で検出する。

Learning

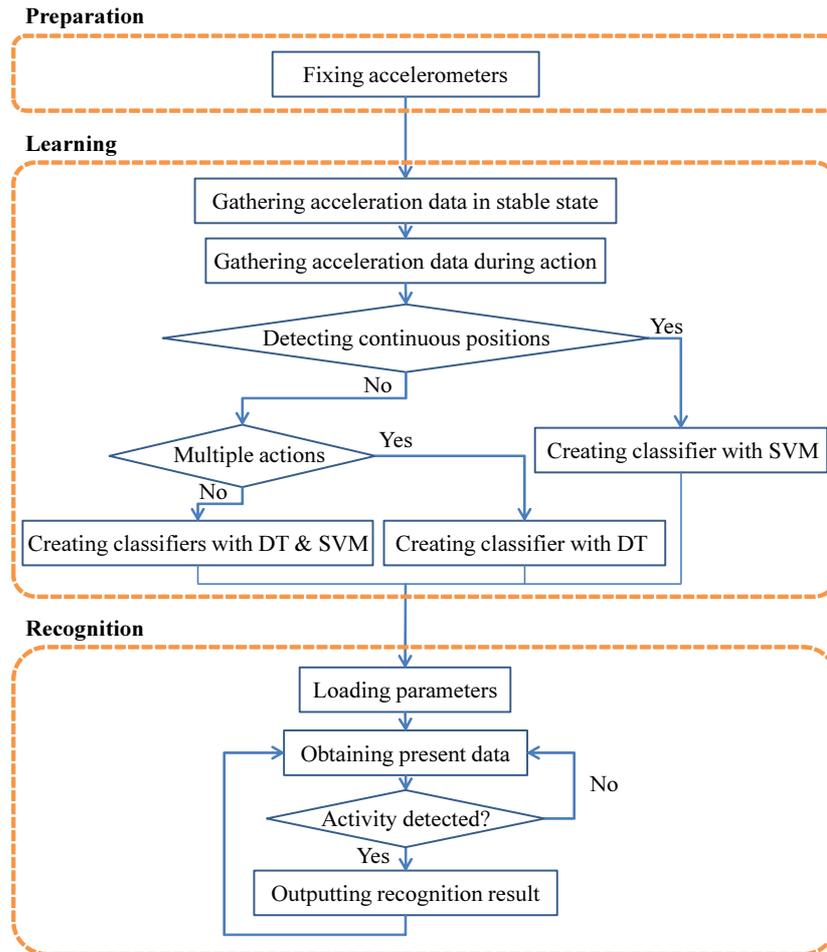


図 35: 認識手法のフローチャート

システムは、このステップで学習データを集め、認識アルゴリズムを決定し、アクションの認識において用いられる特徴量を選択する。最初に、システムは定常状態におけるデータを集める。人が認識対象の平面に近づいたときなどに対象が揺れてしまうことがあるが、そういった際の揺れと、アクションした際の揺れを区別するために定常状態のデータも記録する。

次に、システムは、ユーザが実際にアクションを平面に対して行なったときの加速度データを学習データとして集める。area タイプの際には、ユーザは各エリアに対して複数回ずつ (10 回以上行なうことを推奨) アクションを行なう。linear タイプの際には、ユーザは座標を計算するために図 36 に示しているように 9 点に対してアクションを複数回ずつ行なう。

データ収集後、システムは特徴量を計算し、認識器を作成する。システムは定常状

態のデータにおける最大値と最小値を用いて、ユーザアクションが開始されたと認識するための加速度データの閾値を決定する。システムはユーザアクションが開始されてから1秒間の加速度データから特徴量を算出する。特徴量は、平均、分散、クロッシングカウントなどであり、それらは本論文末の付録に記載する。各特徴量は、加速度の3軸それぞれについてと大きさについて計算される。閾値を超えた後、1秒間のデータから計算されるが、特徴量によっては2分割した0.5秒ごと、4分割した0.25秒ごとの特徴量もそれぞれ計算される。

システムはこれらの特徴量を用いて認識器を作成する。areaタイプで、複数種類のアクションを認識したい際には、システムはDTを作成する。本研究では、DTの作成のためにJ48graft[58]を用いる。areaタイプで、1種類だけのアクションを認識したい際には、システムはDTとSVMを作成し、学習データを用いてクロスバリデーションを行ない、結果の良い認識器を選択する。本研究では、SVMの作成のためにSMOreg[59]を用いる。提案手法において、SVMとしてSMOregを使う場合には位置を検出するだけであり、アクションの種類の認識を行なうことはできない。linearタイプで、1種類のアクションを認識したい際には、システムはSVMを作成する。

システムがDTを用いる場合には、ノードとして特徴量を計算し、DTのエッジを順にたどってアクションの種類や位置を認識する。次にSMOredを用いる場合の計算方法について記述する。システムはSMOregを用いて各センサごとに係数を算出し、それらの係数を用いてアクションが行なわれたであろう座標と各センサ間の距離を算出する。それぞれ算出された距離を半径、各センサが設置されている座標を中心とした円上の近くにアクションされた座標があると予測される。そこで、システムはある点とそれぞれの円周との距離を計算し、それぞれの距離を半径で割った値の分散値が最も小さくなる座標をアクションの行なわれた座標とする。このようにしてシステムは連続した座標の中でアクションの行なわれた座標を検出する。なお、この手法の際には、各センサ同士を比較するような特徴量は用いず、個別で算出される特徴量のみを用いる。またこの手法では複数の種類のアクションを区別することはできず、位置を検出できるのみである。この手法をareaタイプで用いる場合には、結果として算出された座標と最も近いエリアをアクションされたエリアとして認識する。

Recognition

認識モデル構築後、システムはユーザアクションを認識するために用いられる。まず、システムは起動後、前のステップで構築された認識のためのパラメータを読み込

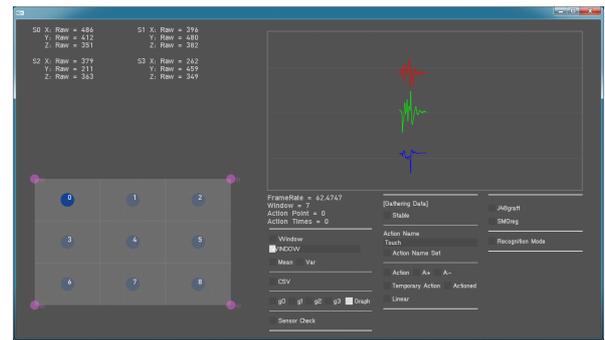


図 36: Preparation mode でのスナップショット 図 37: Learning mode でのスナップショット

み、加速度データを取得し始める。取得データが閾値を超えた場合、特徴量を計算することによって、認識処理を開始する。

認識処理が終了すると、システムは、他のソフトウェアでもその結果を使用できるように、OSC もしくは UDP を使って、認識結果を出力する。

4.4 実装

4.3 節で説明したキャリブレーションソフトウェアのプロトタイプを実装した。ソフトウェアは Preparation, Learning, Recognition の 3 つのモードをもつ。

Preparation mode

システムは、このモードにおいて学習データを集めるための準備をする。図 36 はこのモードのスナップショットを示す。複数の加速度センサを対象平面に設置し、マイコンが PC に接続された後、ユーザはソフトウェアを起動する。まず、ユーザはコンソールウィンドウにて平面のサイズを入力する。area タイプで使用する場合には、認識したいエリアの数を入力する。linear タイプの場合は、デフォルトで 9 点が設定される。システムはアクションされる点に円を描き、ユーザはその円をドラッグしてアクションしたい場所へと動かす。

Learning mode

システムは、このモードにおいて学習データを集め、認識器を作成する。図 37 はこのモードのスナップショットを示す。

システムは、図における下半分に学習のための設定を制御用のグラフィカルユーザインタフェース (GUI) を表示する。左上の部分は、加速度の現在のデータを数字で描画する。右下に複数のボタンがありそれぞれ、Mean, Var, Window, CSV, g0, g1, g2, g3,

Graph, Sensor Check, Stable, Action Name Set, Action, A+, A-, Temporary Action, Actioned, Linear, J48graft, SMOreg, Recognition Mode と書かれており、そのほかに WINDOW と書かれたスライダ、Action Name Set と書かれた上にテキストボックスがある。Mean, Var のボタンを押すと、現在のデータの部分に平均値、分散値が表示されるようになる。平均値、分散値を計算するためのウィンドウ幅は、Window ボタンを押した状態で WINDOW スライダを動かすことによって変更できる。CSV ボタンを押すと、システムは現在のデータと時間を CSV 形式で保存し始める。Graph ボタンが押されていると、右上に現在のデータのグラフが表示される。描かれるグラフは、選択された1つのセンサにおける3軸のデータである。g0-g3 のラジオボタンを押すことでどのセンサのグラフを描くかを選択できる。Sensor Check ボタンを押すことで、システムはセンサにトラブルが無いかをチェックし、問題のあるセンサがあれば、アラートを出し、そのトラブルが修復されるまでそのセンサからのデータは取得しないようになる。これらの機能は認識器を作成するためには直接関係ないが、どのような性質がありそうかを確認するため等に使用できる。

ユーザは以下の流れで認識器を作成する。まず、システムが定常状態にあるときのデータを収集する。システムは Stable ボタンが押されている際に、定常状態として加速度データを保存する。

次に、システムはユーザがアクションした際のデータを収集する。ユーザは図 37 左下に表示されたポイントをクリックして、学習データを集めるためのアクションを行なう場所を選択する。アクションの名前は、図 37 中のテキストボックスに入力することで設定される(図 37 中では Touch と書かれている)。Action ボタンが押されていると、システムは付けられた名前で加速度データを保存する。ボールを当てることをアクションとしたいが、当ててみないとどこに当たるかわからない等の、学習データを集める際に事前にどこにどんなアクションができるかわからない際には、Temporary Action ボタンを押した状態で一時的にデータを保存し、アクション終了後、場所や名前を設定してから Actioned ボタンを押すと、一時的に保存していたデータが記録される。認識したくないアクションについては、テキストボックスに None と入力して保存すると認識しないアクションデータとして保存される。同じ場所、同じ種類のアクションでも複数回分の学習データを保存することを推奨し、いくつでも学習データを保存できるようになっている。

アクションデータ保存後、システムは J48graft ボタンか SMOreg ボタンを押される

ことで特徴量を計算し、認識器を作成する。本研究にて使用する特徴量は論文末の付録にてすべて記載されている。システムは、認識器を作成するために、機械学習ソフトウェアである Weka[57] を用いる。

システムはユーザがエリア、アクションの強さ、アクションの強さを認識したい際には、Weka の J48Graft を用いて DT を作成する。また、アクションの位置を連続的な座標として検出したい際には、Weka の SMOreg を用いて SVM を作成する。

システムは、Recognition Mode ボタンを押されると Recognition mode へと移行する。

Recognition mode

システムは、このモードにおいて Learning mode で作成された認識器を用いてアクションを認識する。図 38 は Recognition mode(認識結果を UDP で出力する状態)のスナップショットを示す。

認識されたアクションの位置、名前といった結果は、本システム上に表示することも、UDP や OSC を通じて外部へ出力もでき、ユーザは最初にそれらを選択する。その後、システムは認識器と定常状態のデータから閾値を読み込む。次に、システムは加速度データを取得し始め、データが閾値を超えると認識を開始する。

このモードでは一定時間ごとにセンサに問題が無いかを自動でチェックする。問題を発見したら、アラートを表示し、ユーザに Gathering, Learning modes へ戻り、そのセンサからのデータが無い状態でやり直すことも求める。

認識結果を受信し、利用するアプリケーションを 2 つ実装した。

図 39 は音声出力アプリケーションのスナップショットを示す。描画されている円はアクションされるポイントに対応しており、その円内に音声ファイルをドラッグアンドドロップすると、UDP または OSC で受信した認識結果に応じて、どの音声ファイルが再生される。

図 40 は機能出力アプリケーションのスナップショットを示す。まず、ユーザは機能の名前を円内にドラッグアンドドロップする。システムが認識結果を受信すると、割り当てられた機能についてソフトウェアが起動したり、コマンドキーが入力されたりする。

4.5 評価

実装したシステムを用いて 2 種類の評価を行なった。評価を行なった際のシステムは、ノート PC(CPU: Core i7 2.80 GHz, and RAM of 8 GB), 4 つの加速度センサ

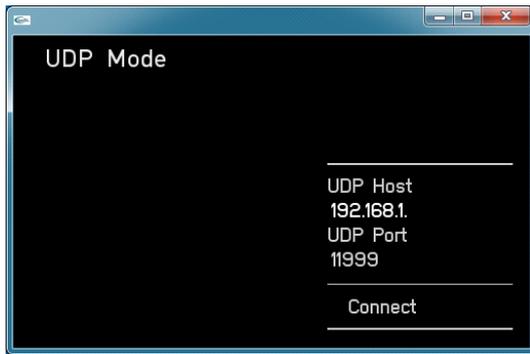


図 38: Recognition mode でのスナップショット

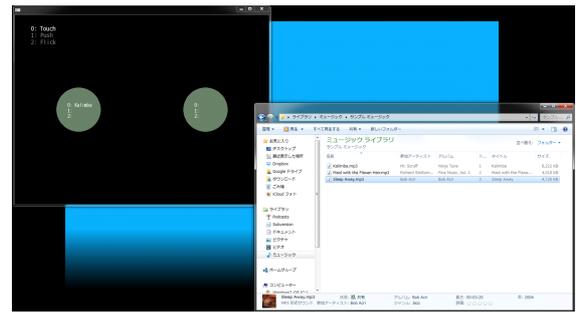


図 39: 音声出力アプリケーションのスナップショット



図 40: 機能出力アプリケーションのスナップショット

(#KXM52-1050 XYZ ± 2 G), 2つのマイクロコンピュータ (Arduino Nano) から構成される。ソフトウェアは加速度データを 60Hz で受信する。

4.5.1 様々な素材での使用

評価目的

提案システムの目的の1つは様々な素材上にインタラクティブ性を付与できることであったので、柔らかい布や硬い板などいくつかの素材上でシステムがうまく働かかを調べるために本評価を行なった。提案システムが様々な素材上で使われ、特徴量が自動で計算される中で、どのような認識率になるかについて調査した。さらに、各素材に対して提案システムがどのような特徴をもつかについても調べた。それらの結果から提案システムをアップデートできるかについて検討する。

表 23: 各素材とセンサ設置の長方形のサイズ

素材	サイズ	
	素材 (mm)	長方形 (mm)
ナイロン (上部)	1500 x 1170	1000 x 1150
ナイロン (下部)		1000 x 1150
コットン	1500 x 900	940 x 870
四角形テーブル	600 x 900	530 x 820
コルクボード	450 x 600	420 x 570
ペーパーボックス	250 x 190 x 165	-

評価内容

評価用の素材として、100%ナイロン製の布、100%コットン製の布、四角形のテーブル、コルクボード、ペーパーボックスを用意した。コットンの布は、ナイロンの布よりも硬い生地となっている。4つの加速度センサをそれぞれ長方形の形になるように設置し、アクションする範囲はその長方形の内側である。表 23 はそれぞれの素材と長方形のサイズを示している。ナイロンとコットンの布はハンガーラックに掛けて使用した。図 41 - 46 は、素材や加速度センサがどのように設置されたかを示す。センサは、ナイロンとコットンの布には糸で縫い付け、四角形テーブル、コルクボード、ペーパーボックスにはビニルテープで貼り付けた。ナイロンは生地の上部に長方形に縫い付けた時と、下部に縫い付けた時の2通りで評価を行なった。ペーパーボックスについてのみ、4つの加速度センサを各側面の中心に貼り付け、各面に対してアクションを行なった。加速度センサ設置後、複数のアクションの種類をいくつかの点に対して行なった。各点、各種類ごとに10回ずつのアクションを行ない、それらのデータを1つのデータセットとしてみなす。データセットは1つごとに認識器の作成に使用する。この作成された認識器を他のデータセットに当てはめたときの認識結果から正解率と平均誤差を計算する。この計算をすべてのデータセットに対して繰り返して行なう。

評価結果

ナイロン、コットン、テーブル、コルクボード

9点、1種類のアクション (パッチング)

9分割したエリアの各中心に対してアクションを行なう。この評価での素材は、ナイロンの布 (センサを上部に縫い付けた状態と下部に縫い付けた状態それぞれ)、コットンの布、テーブル、コルクボードである。アクションの種類は1種類でパッチング

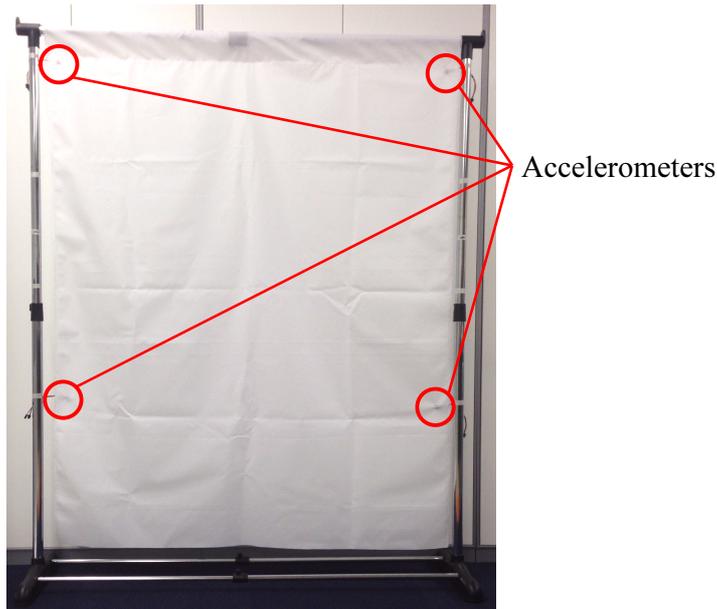


図 41: 100%ナイロン製の布

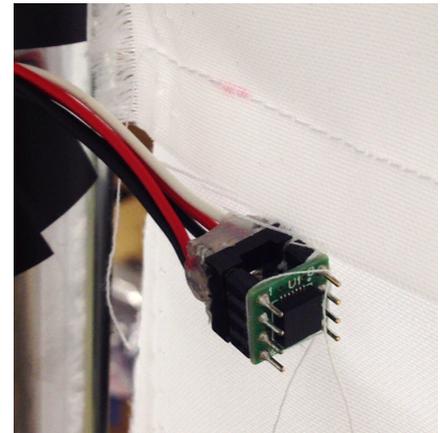


図 42: ナイロン製の布に加速度センサを縫いつけた様子

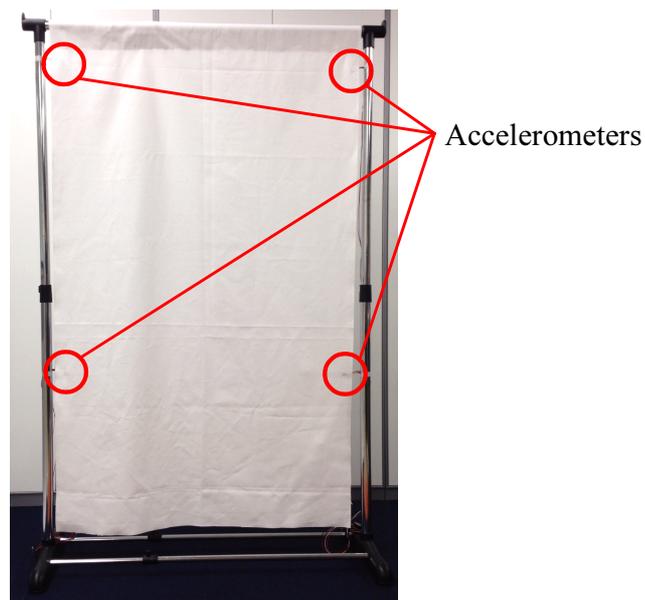


図 43: 100%コットン製の布

である。6 データセット、つまり 540 回のアクションデータを集めた。テーブルのみ 5 データセット (合計 450 データ) となっている。

表 24 は正解率の結果を示し、表 25 は平均誤差を示している。

例えば、表 24 中、左上の値 (65.6) は、第 1 のデータセットから J48Graft を使って作成された認識器によって他の 5 つのデータセット (全 450 アクションデータ) に対して



図 44: テーブルに加速度センサを貼り付ける

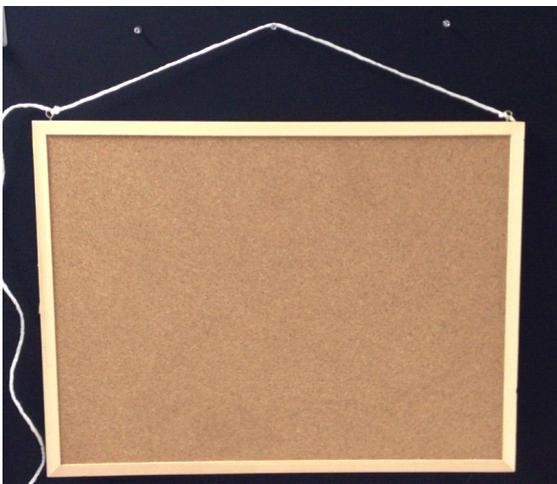


図 45: コルクボード

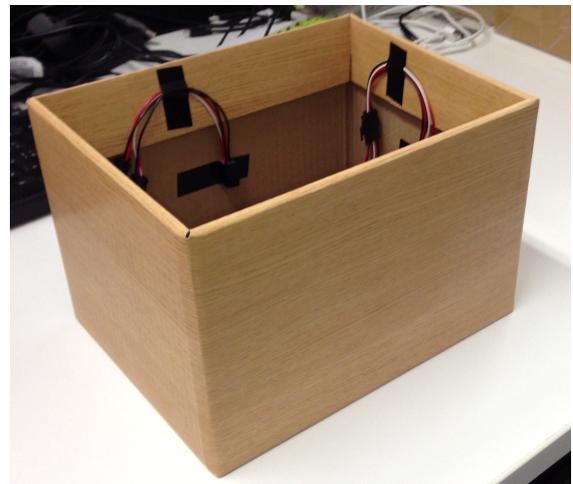


図 46: ペーパーボックス

認識をかけた際の平均の正解率を示している。その下の値 (48.2) が、SMOreg による認識器を使った際の正解率の平均である。表 25 中、左上の値 (259.5) は、第 1 のデータセットから SMOreg を使って作成された認識器によって他の 5 つのデータセットに対して認識をかけた際に算出された座標と正解座標との距離の平均である。

この評価ではすべての場合において、SMOreg を用いるよりも graft を用いた方が良好な正解率を得られた。最も良い認識結果はナイロン (上部) での 66.3% であった。誤認識した結果のほとんどは、正解エリアに隣接するエリアであった。この評価では水平に対する位置は合っていたが、垂直に対する位置を誤認識していた。第 6 のデータセットによる認識器を用いた結果が低くなっており、それが正解率を低めている原因となっている。ナイロン (下部) の結果は 58.0% で、上部に縫い付けた時の方が良い結果である。誤認識のほとんどは正解のエリアの近くであり、上部に縫い付けたときと同様に

表 24: 正解率の結果 (9 点, 1 種類のアクション (パッティング))

素材	認識器	正解率 (%)						Ave.
		1	2	3	4	5	6	
ナイロン (上部)	J48graft	65.6	65.8	72.2	69.8	70.0	54.7	66.3
	SMOreg	48.2	46.0	51.6	47.3	50.9	45.3	48.2
ナイロン (下部)	J48graft	58.4	60.4	63.8	55.8	50.4	59.1	58.0
	SMOreg	38.0	37.3	30.0	22.9	34.2	38.4	33.5
コットン	J48graft	53.6	64.7	66.9	54.2	42.0	56.0	56.4
	SMOreg	32.2	34.2	36.4	31.8	30.0	22.2	31.1
テーブル	J48graft	19.7	27.8	31.9	33.1	27.5		28.0
	SMOreg	22.5	21.4	29.7	24.4	22.2		24.0
コルクボード	J48graft	25.8	19.1	36.0	33.3	41.6	35.6	31.9
	SMOreg	23.8	20.9	19.1	22.0	22.0	22.9	21.8

表 25: 平均誤差の結果 (9 点, 1 種類のアクション (パッティング))

素材	平均誤差 (mm)						Ave.
	1	2	3	4	5	6	
ナイロン (上部)	259.5	276.7	246.2	246.2	235.9	247.4	252.0
ナイロン (下部)	307.6	319.6	377.0	324.4	312.0	315.0	328.9
コットン	284.6	312.5	300.0	282.3	268.0	333.1	296.7
テーブル	295.2	259.8	231.0	246.0	288.1		264.0
コルクボード	193.7	178.4	189.4	186.2	200.8	196.1	191.0

垂直方向への誤認識であった。コットンの結果は56.4%で、ナイロンの方が良い結果となっている。コットンの結果の中では、第5のデータセットを用いた際の認識率が低い結果となり、平均の正解率を低くした。テーブルの結果は28.0%で、比較的低い結果となっている。システムは多くのデータセットで左上を認識結果として出力していなかった。コットンの結果の中では、第1のデータセットを用いた際の認識率が低い結果となっていた。コルクボードの結果は31.9%で、第1と第2のデータセットを用いた際の認識率が低い結果であった。コルクボードの結果が低くなったのは、コルクボード自体の大きさが小さく、正確に認識することは難しかった。またコルクボードが硬い素材であったことも原因として考えられる。

ナイロン (上部) での平均誤差は252.0mmであった。アクションを行なった手のひらの幅は約200mmであったので、それに収まるように平均誤差は100mm程度が望ましい。算出される誤差のばらつきは少なかったが、時折800mm程と算出されることがあった。ナイロン (下部) の結果は328.9mmで、正解率の結果と同様にナイロン (上部) の方が良い結果となった。コットンの結果は296.7mm、テーブルは264.0mmであった。コルクボードは素材自体が小さいため191.0mmという最も小さい値となった。

表 26: 正解率の結果 (4点, 2種類のアクション (パッティング, プッシング))

素材	正解率 (%)						Ave.
	1	2	3	4	5	6	
ナイロン (上部)	71.8	89.5	64.8	86.5	71.5	79.5	77.3
ナイロン (下部)	60.3	58.3	57.0	59.5	55.5	72.5	60.5
コットン	51.5	64.5	68.3	73.2	77.8	51.0	64.4

表 27: テーブルに対する正解率の結果 (4点, 2種類のアクション (弱パッティング, 強パッティング))

正解率 (%)							Ave.
1	2	3	4	5	6		
54.0	43.5	45.8	44.0	44.5	45.0	46.1	

ナイロン, コットン

4点, 2種類のアクション (パッティング, プッシング)

4分割したエリアの各中心に対してアクションを行なう。素材はナイロン (上部, 下部) とコットンであり, アクションはパッティングとプッシングの2種類を行なう。それぞれ6データセット (合計で480回のアクション) を集めた。

表 26 に結果を示す。ナイロン (上部) の正解率の結果は77.3%で, アクションの種類を誤認識し, 位置の結果は正解していることが多かった。第3のデータセットによる認識器を用いた際の認識結果が低い正解率となっている。ナイロン (下部) の結果は60.5%で, 上部の時とは異なり, アクションの種類は正解しているが, 位置を誤認識していることが多かった。コットンの結果は64.4%で, ナイロン (上部) が最も良い結果となった。システムは多くの場合において, 左上のエリアを認識しようとしたときに誤認識することが多かった。

テーブル

4点, 2種類のアクション (弱パッティング, 強パッティング)

テーブルに対して, 4分割したそれぞれのエリアの中心にアクションを行なった。アクションは弱パッティングを強パッティングで, 強さを変えてパッティングを行なった。全部で6データセット (合計で480回のアクション) を集めた。

表 27 は結果を示しており, 正解率の平均は46.1%であった。誤認識について, 特に規則性は見られなかったが, アクションの種類は正しく認識することが多かった。

コルクボード

表 28: コルクボードに対する正解率の結果 (1 点, 2 種類のアクション (パッティング, プッシング))

正解率 (%)						
1	2	3	4	5	6	Ave.
87.0	85.0	87.0	61.0	89.0	90.0	83.1

表 29: コルクボードに対する正解率の結果 (2 点, 2 種類のアクション (パッティング, プッシング))

正解率 (%)						
1	2	3	4	5	6	Ave.
67.0	59.5	88.0	66.0	74.5	75.0	71.7

1 点, 2 種類のアクション (パッティング, プッシング)

コルクボードに対して, その中心 1 点にアクションを行なった. アクションはパッティングとプッシングの 2 種類である. 全部で 6 データセット (合計 120 アクションデータ) を集めた.

表 28 は結果を示しており, 正解率の平均は 83.1%であった. 第 4 のデータセットによる認識器を用いたときの結果が低くなっている.

コルクボード

2 点, 2 種類のアクション (パッティング, プッシング)

コルクボードに対して, 2 分割したそれぞれのエリアの中心にアクションを行なった. アクションはパッティングとプッシングの 2 種類である. それぞれ 6 データセット (合計 240 アクションデータ) を集めた.

表 29 は結果を示しており, 正解率の平均は 71.7%であった. 位置に関して誤認識することが多く, アクションの種類に関しては正解していることが多かった.

ペーパーボックス

8 点, 1 種類のアクション (パッティング)

ペーパーボックスに対して, 各側面を 2 分割したエリアの中心にアクションを行なった. アクションはパッティングの 1 種類である. 6 データセット (合計 480 アクションデータ) を集めた.

表 30 は結果を示しており, 正解率の平均は 22.1%であった. 第 3 と第 6 のデータセットによる認識器を使った結果が悪くなっている. 誤認識は規則性がなく, 散らばっていた.

表 30: ペーパーボックスに対する正解率の結果 (8 点, 1 種類のアクション (パッティング))

正解率 (%)							Ave.
1	2	3	4	5	6		
20.8	25.5	15.8	27.5	30.8	12.5		22.1

表 31: ペーパーボックスに対する正解率の結果 (4 点, 3 種類のアクション (パッティング, プッシング, リフティング))

正解率 (%)							Ave.
1	2	3	4	5	6		
41.7	23.5	47.7	23.7	25.2	44.7		34.4

ペーパーボックス

4 点, 3 種類のアクション (パッティング, プッシング, リフティング)

ペーパーボックスに対して, 各側面の中心にアクションを行なった. アクションの種類は 3 種類でパッティング, プッシング, リフティングである. 6 データセット (全部で 720 アクションデータ) 集めた.

表 31 は結果を示しており, 正解率の平均は 34.4%であった. 第 2, 4, 5 のデータセットによる認識器を使った際の結果が悪くなっている.

考察

5 種類の素材で評価を行なった結果, 提案手法は柔らかい素材に対して効果的であることがわかった. 提案システムは硬い素材に対してはあまり良い結果が得られなかった. そこで, テーブルのような硬い素材に対しても対応できるように改善する必要がある.

いくつかのデータセットの中で, 良い結果が得られない認識器を作成するデータセットがいくつか見つけられた. このようなデータセットは, 作成したデータセットを自身のデータセットの中のアクションデータに対して認識を掛けても悪い結果となっていた. そのため, システムは, 認識器を作成した際に, その認識器を作成するために使用したアクションデータに対して認識を掛けて, もし悪い結果であれば, アラートを出して再度学習データを集めるようにすべきである.

システムがある点を全く認識結果として算出しないケースも何度かあった. もし使用中にシステムが認識のステップにおいてある特定の点を全く認識しないようであれ

ば、学習データを再度集めるようにアラートを出す必要がある。

4.5.2 インタラクティブシステムの設定

評価目的

本研究では、簡単にインタラクティブシステムを構築できることが重要であったため、第2の評価ではシステムを構築する点について評価を行なった。提案システムを用いることによって、設置者がインタラクティブシステムを構築するためにどれくらいの時間がかかるか、十分に働く状態になるかについて調べた。セッティング作業中にどのような問題が起きるかについても調査し、結果からどのように提案システムを改善できるかを考えた。

評価内容

被験者は実装したソフトウェアについて説明を受けた後に、指定されたインタラクティブシステムをセッティングする。指定したシステムは4.5.1節の実験中で用いたナイロンの布を用いて、2点に対して、パッチングとプッシングの2種類のアクションを認識するシステムである。加速度センサは糸を使って4つ縫い付ける。被験者は20代の男性4名でP1 – P4と記述する。P1は筆者自身で、P3は加速度センサに精通しているものの、P2とP4は詳しくない。加速度センサを設置し始めた時点から学習データを取り始めるまでの時間をT1とし、学習データを取り始めてから認識可能な状態までの時間をT2として記録した。認識可能な状態になったら10回ずつ、各点に対して各種類のアクションを行なう。その合計40回のアクションから正解が何回になるかを調べた。

評価結果

表32に結果を示す。結果中の時間の単位は分と秒である(分:秒)。P2とP4が構築したところ、アクションしていないにも関わらず、常に何らかの結果を出力してしまうという問題が起きた。そこで、システムを再構築させ、P2は最初からやり直し、P4は少しセンサの固定を修正するだけで大丈夫であったので、途中から行なったため“+2:43”としている。P4(2nd)において、T1+T2は、P4(1st)のT1+T2に2:43を加えた結果である。

表 32: インタラクティブシステム構築の結果

被験者	時間			正解の 数 (/40)
	T1	T2	T1+T2	
P1	31:10	5:35	36:45	34 (85%)
P2 (1st)	22:20	6:17	28:37	-
P2 (2nd)	50:02	5:49	55:51	30 (75%)
P3	45:30	9:37	55:07	23 (57.5%)
P4 (1st)	34:10	7:20	41:30	-
P4 (2nd)	+2:43	6:16	43:09	25 (62.5%)

全被験者による T1+T2 の平均は 47 分 43 秒であった。また全被験者における認識の正解数は 28 回 (正解率: 70%) となった。筆者である P1 を抜いた 3 人の被験者の平均の T1+T2 は 51 分 22 秒で、正解数の平均は 26 回 (正解率: 65%) であった。ほとんどの誤認識はアクションの種類に関してで、位置に関する認識結果の多くは正解していた。

被験者には実験後、自由に意見を書かせた。P3 は学習データを集める際にアクションするごとに音が聞こえるなどのフィードバックがあればよいという意見であった。P2 と P3 は加速度センサを取り付けるのが大変だったと記述した。

考察

P2 と P4 は最初、インタラクティブシステムを構築するのを失敗した。その失敗の原因は加速度センサの設置によるもので、糸での縫いつけ方が緩かった。そのため学習データを集める内に、センサの設置状態が変化してしまい、記録した定常状態のデータが変わってしまっていた。また、すべての被験者は加速度センサを取り付けるのに多くの時間がかかっていた。この問題を解決するために、センサが取り付けやすくなるようなアタッチメントの作成を検討する。システム自身が、加速度センサの定常状態が学習データとして記録したときと変わってしまったことを認識し、アラートを出す機能を付け加える必要がある。

P3 の正解数が低くなっているのは、パッティングとプッシングの差があまり無かったことが原因である。システムが認識器を作った際に、アクションの種類間に差が大きくなかった際にユーザに知らせるようにもすべきことがわかった。



図 47: 34°_41.38'N 135°_30.7'E の様子

4.6 実運用

提案システムの有用性を検証するために、2度の展示を行なった。両展示において、システムはデスクトップPC (CPU Intel Core 2 Quad 2.83 GHz with 3.25 GB of RAM), 4つの加速度センサ (#KXM52-1050 XYZ ± 2 G), 2台のマイクロコンピュータ (Arduino Nano) から構成されている。

4.6.1 34°_41.38'N 135°_30.7'E

“34°_41.38'N 135°_30.7'E” は1部屋を使ったインスタレーションアートである。筆者らはコンセプチュアルアーティストの迫一成氏と、2012年8月10日から9月2日にかけて展示を行なった。図47は展示の様子を示している。2枚のスクリーンがあり、それぞれ後ろからプロジェクタで新聞の画像を投影されている。図48のように観客が左のスクリーンに息を吹きかけると、新聞画像中の文字や図、枠線が息を吹きかけられた点を中心に吹き飛び、スクリーンの枠内からなくなり、右のスクリーンから浮かび上がってくる(図49)。

このインスタレーションでのシステムは息を吹きかけられたこと、またその強さを位置を認識することが求められる。ここで、システムは文字や図などの約12,000個のオブジェクトを1920×1080ピクセルの解像度中に投影しており、それぞれのオブジェクトを認識し、エフェクトをかける必要がある。よって、システムは観客がどの位置

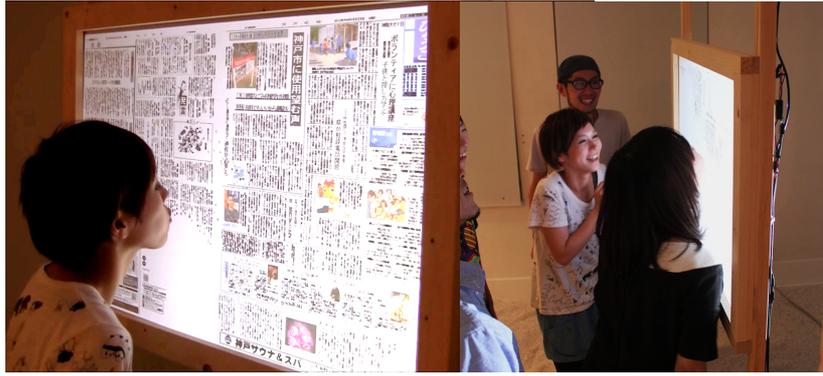


図 48: スクリーンに息を吹きかける様子

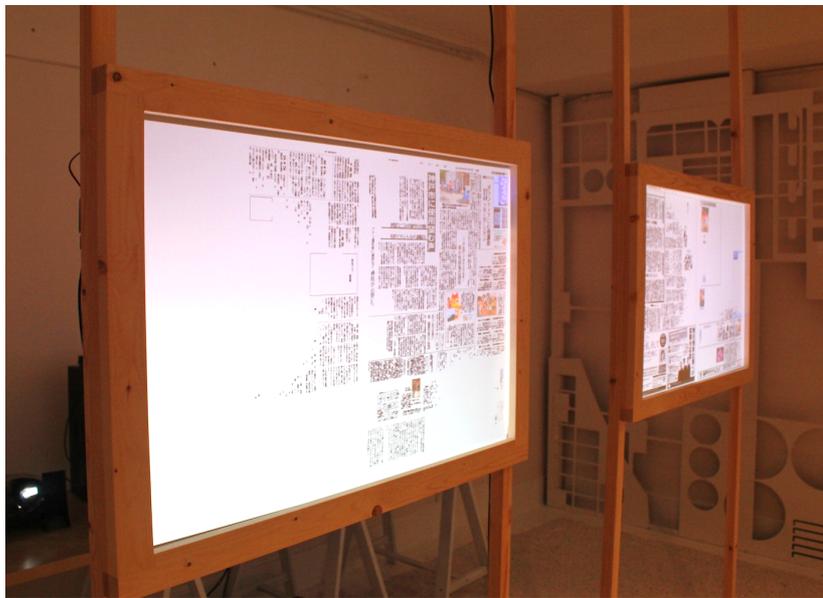


図 49: 左から右のスクリーンへオブジェクトが移動した様子

に息を吹きかけたのかを細かな粒度で検出しなければならない。提案システムは大まかな位置の検出しかできないため、デプスセンサ (ASUSTek Xtion PRO LIVE [60]) を使ってより正確に位置を検出するといった他の手法と併用することで、今回のインタレーションを実現した。デプスセンサによる手法のみでは息を吹きつけられたことやその強さを認識することができないが、提案手法と組み合わせることで、それが可能となる。

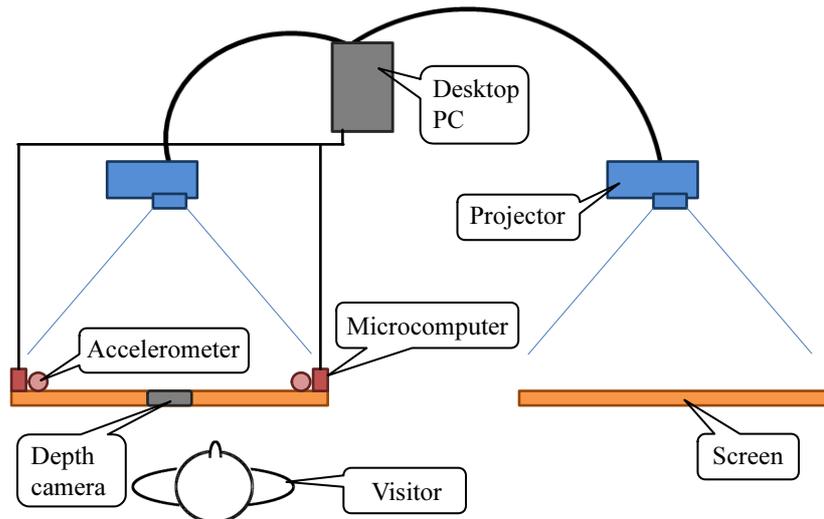


図 50: 34°_41.38'N 135°_30.7'E でのシステム構成

システム構成

本展示でのシステム構成を図 50 に示す。2 枚のスクリーンにはシアターハウス社の #TPW1200TK+60 を用いており、これは前面と背面からの両方のプロジェクションが可能なスクリーンフィルムである。それぞれのスクリーンを新聞と同じサイズ (540×810mm) にカットし、木枠にセットして使用した。木枠は 4 辺でスクリーンフィルムを固定している。映像はリアプロジェクションされ、加速度センサは図 51 のようにスクリーンの裏側、4 隅に接着剤で固定されている。システムは加速度センサによって、息を吹きつけられたことと、その強さを認識することができる。またシステムは息を吹きつけられた位置を正確に検出する必要がある。位置検出にはデプスカメラを用い、図 52 のように設置した。観客の口の位置を測定する必要があるため、深度カメラから観客の頭部までの距離を測り、その値に 200mm 足した値を、口の高さとした。200mm という値は、人の頭の大きさには大きな差異はなく、頭頂部から口までが約 200mm であることから、採用した。また、深度カメラから得た頭部の中心点を口の水平位置とした。

アクションの認識

本システムでは、観客が息を吹いた際にスクリーンが揺れ、それにより表面上を伝わる波を検出することによって、息を吹きかけられたことを認識するが、観客がスクリーンに頭を近づけただけでもスクリーンはわずかに揺れてしまう。そのわずかな揺

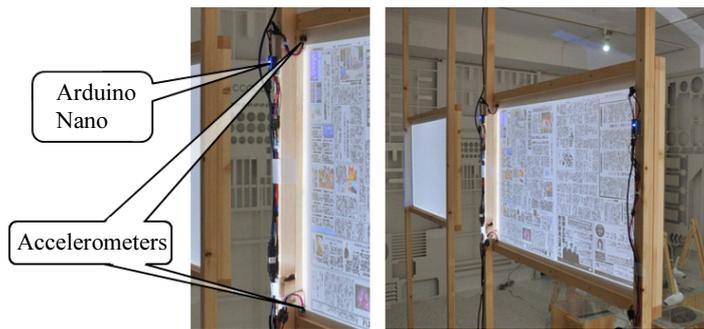


図 51: スクリーン裏側



図 52: 設置した深度カメラ

これは検出しないように、近づいたときの加速度データについても定常状態として扱い、認識しないようにした。

システムは、息を吹きかけられたことを認識すると、口の位置を中心に文字、図、枠線を散らばらせる。そしてその散らばる際の半径の大きさは、吹きかけられた息の強さが強いほど、大きくなる。

考察

本展示を通じて多くの観客がシステムを体験し、楽しかったと感想を残した。日常生活では行なうことのできない、新聞内のオブジェクトを吹き飛ばすという行為を楽しんでいた。

息を吹きかけたことを認識するためには、BYU-BYUView[51]のように風が通り抜けるスクリーンを用いることや、スクリーン上に大量のセンサを配置することなどが考えられる。しかし、本展示では新聞の文字が読めるように高解像度で映像投影する必要があったため、これらの手法は用いることができなかった。本手法を用いることにより、高解像度を保ち、新聞の文字を読むことができた。また、livePic[53]やThermoTablet[54]に比べ、はるかに低いコストでシステムを設置することができた。

提案手法では、大まかな位置しか検出することができないが、深度カメラを使用する他の手法を取り入れることで、正確な位置検出を行なうことができた。これにより、提案システムは他の手法と併用できることを確認した。



図 53: WPSS の様子

4.6.2 White Parallel Small Space

“White Parallel Small Space (WPSS)” は、Designer Show House というアーティストやデザイナーが各自ビルの1室をリノベーションするというイベントの際に行なった、インスタレーションアートである。筆者らはインテリアコーディネータの一嶋眞貴子氏と、2012年10月13日から11月4日にかけて展示を行なった。図53は展示の様子を示している。図54に示すように、部屋の端から端へ掛けられているカーテンに、2つのプロジェクタから白い円と3枚の画像が投影されている。無数の白い円は雪のようにゆっくりと上から下へ落ちていき、3枚の画像は投影されている付近で漂っている。図55のように、観客が3枚の画像の内いずれかをタッチすると、その画像が右の方へと移動し、ランダムな位置で停止すると動画になり、再生される。漂っている3枚の画像は再生される動画のサムネイルである。

本インスタレーションでのシステムは、3枚の画像の内、どれがタッチされたかを認識する必要がある。展示を行なう部屋が狭いことや、展示のコンセプトから、カメラを設置できず、その他の使用する機器も観客から見られる場所に設置できない。そこで、本システムは機器をカーテンの後ろに配置し、カーテンをタッチされた位置は提案手法のみで検出した。

システム構成

本システムのシステム構成図を図56に示す。投影映像はPC上では1枚の映像であり、2台のプロジェクタでその1枚を投影している。図中左のプロジェクタは超短焦点(RICOH IPSiO PJ WX4130)であり、3枚の画像と白い円を投影している。観客が3枚の画像の内いずれかにタッチすると、その画像が右のプロジェクタで投影される範囲

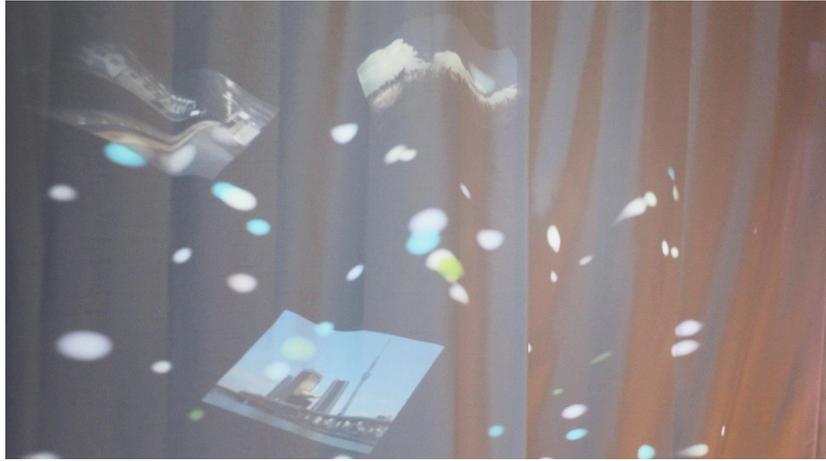


図 54: カーテンに 3 枚の画像が投影されている様子



図 55: 観客がカーテンにタッチしている様子

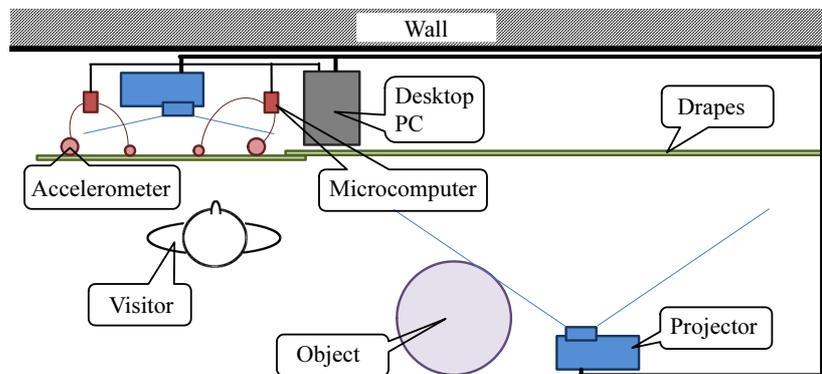


図 56: WPSS のシステム構成図

に移動し、動画が再生される。カーテンは天井から吊り下げされ、床で固定されている。図 57 に示すように加速度センサは、台形(高さ: 950mm, 上底: 1000mm, 下底: 250mm)に、細い糸で縫い付けられている。

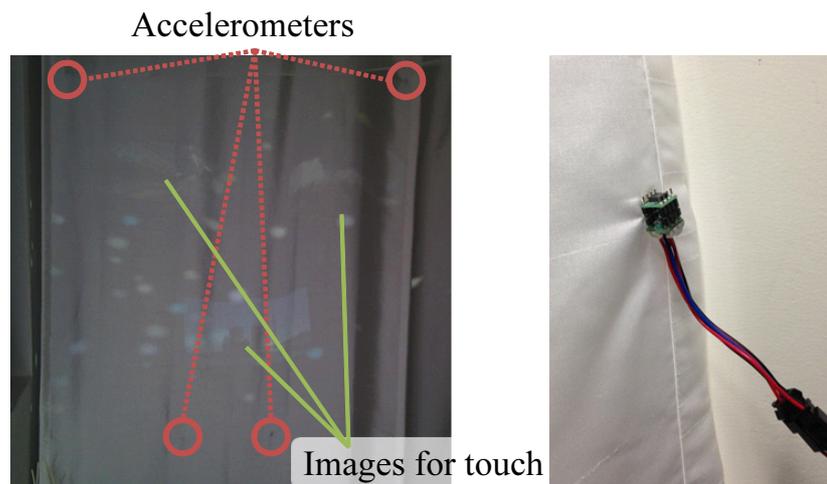


図 57: 加速度センサが縫い付けられている様子

アクションの認識

システムは、カーテンの表面上を移動する波によってタッチアクションを検出する。展示している部屋のドアの開閉によりカーテンが揺れてしまうため、その際の揺れを認識しないように定常状態のデータとして用いた。

システムは揺れた際の波がそれぞれの加速度センサに到達するまでの時間差を認識に利用していた。カーテンは波の伝わる時間は垂直方向にはほとんど差が出なかったが、水平方向にはゆっくりと伝わり、差が生まれていた。

本システムでは、全ての機器が観客から見えなくなっている。1つのプロジェクタ以外はカーテンの後ろに配置されており、そのプロジェクタも図 56 に示すようにオブジェクトによって隠されている。

考察

観客は日用品として見かけているカーテンがインタラクティブであることを不思議がっていた。システムは提案手法のみでタッチされた位置を認識できたが、少し誤認識が起こっていた。誤認識の例としては、タッチした画像とは違う画像が移動したことがあげられるが、観客がカーテンを叩くようにタッチするのではなく、表面を撫でるように触れた際に起こっていた。

部屋は狭く (1500×3700mm)、壁とカーテンの間もわずか 700mm しか確保できなかった。本システムにおいて、カメラを用いてタッチ位置を認識する場合、観客から見えな

いようにカメラはカーテンの後ろに配置することになり、画角が限られてしまい、非常に狭い範囲でしか認識できなかったが、提案手法を用いることにより、観客からデバイスを隠しつつ、広い範囲での認識が可能となった。

4.7 むすび

本章では、入力対象の平面上に加速度センサを設置することで、ユーザアクションの種類、強度、位置を認識できるインタラクティブサービス構築のためのシステムを提案した。提案システムは、小さな加速度センサを用いるだけで、特集な装置やカメラを必要としない。また、設置する環境についても面の大きさによって制限されず、他の認識手法と統合することができる。提案システムを5種類の素材上で試してみたところ、柔らかい素材上で効果的に働くといった結果を得られた。2度の実運用についても行ない、提案システムが実環境でも耐えうることを確認した。

今度は、加速度センサ以外のセンサも併用できるようにシステムを改良する。コルクボードにおいて評価実験を行なったところ、良い結果が得られなかったが、コルクボードの後ろに距離センサを複数個設置することにより、対応できるようになると考えられる。マイクロフォンを組み合わせることによっても対応できる平面が増やせると期待できる。

また、提案手法はアクションの強度の程度を段階的にしか認識できていなかったが、SMOregを用いることで認識できると考えられるため、キャリブレーションソフトウェアにその機能を付け足すことを考えている。

5 観客参加型演劇 YOUPLAY におけるインタラクティブ設計

5.1 まえがき

前章で述べたように、センサの小型化や、センシング技術の向上により、人の行動を認識し、それに対応したサービスを返すインタラクティブなシステムの発展が目覚ましい。このようなシステムはエンタテインメントの分野と親和性が非常に高く、観客が参加したり体験したりできるインタラクティブな演出を行なったステージパフォーマンスやメディアアートに注目が集まっている。ステージパフォーマンスの場面では、演者がセンサを装着して映像や音楽を変化させることで演出の表現を広げるといった使い方が多かったが、最近では観客がセンサを装着して演出に参加できるといった試みが増えてきている。本章では、人の行動に合わせた反応を返すインタラクティブなコンピューティング技術と、昔から多くの人々に親しまれている演劇を組み合わせることで、新たなジャンルのエンタテインメントを提案する。実際にイベントを行ない、一般の人に体験させることで、インタラクティブに変化する映像や音声の提示に対してどのような反応を返すかを観察することを目的とする。

演劇は、俳優が舞台上で役を演じ、聴衆が観客席から見て楽しむというのが一般的なスタイルである。しかしここで、小さい頃ほうきを使って空を飛ぶ真似をしたり、ヒーロー戦隊ごっこをしたり、大人になっても物まねをしたり、ボディランゲージをしたりといったことを多くの人が行なっているが、それらは全て演技の一種である。誰もが普段演じており、演じるということは特別なことではないと考え、演劇をもっと多くの人に娯楽として提供できるのではないかという着想に至った。

音楽であれば、楽器を扱っている人はセッションなどをして楽しんでおり、楽器を扱っていない人でも食器を叩いたりして音を出したり、歌ったりしてセッションできるが、演劇は音楽ほどにはシンプルではなく、「役があり、人が集まればセッションできる」というわけではない。そこで、物語の進行や人の動きに合わせて映像や音声に変化する中で演じることで、複雑なルールの「ごっこ遊び」「演技のセッション」が受け入れられるのではないかと考え、観客参加型演劇 YOUPLAY を提案する。YOUPLAY は一般の参加者が演者となり、協力して、決められた物語の中で役を演じる舞台となっ



図 58: YOUPLAY Vol.1 のフライヤー

図 59: YOUPLAY の公演中の様子

ている。参加者には設定の書かれた役柄，小道具と衣装が与えられ，それぞれ基本的にアドリブで物語を展開し，そのアドリブに合わせて，床一面と壁一面に対して投影された映像や舞台上のスピーカと個々に与えられたヘッドホンから音が出力される。演じることに對して恥ずかしいといった抵抗をもつ人も多いが，自分の動きに合わせて映像が動いたり，効果音が出力されることで，参加者がそこに自分の意志が働いてると感じ，物語に没入して「演じる」ことを楽しむことを狙う。ワークショップではなく，参加型ゲームでもなく，体験型アートでもない，観客参加型の演劇を目的としている。

YOUPLAY はこれまでに，2度の期間に分けて (YOUPLAY Vol.0 と YOUPLAY Vol.1)，全 80 公演行なった。図 58 は Vol.1 に配られたフライヤーで，図 59 は公演中の様子である。

本章では YOUPLAY の概要，システム構成，公演を通じての考察について述べる。

5.2 関連研究

近年，ステージパフォーマンスやメディアアート等において，画像処理が装着型センサを用いたインタラクティブなものが多数登場している。このようなシステムは観衆が体験したり，参加したり，演出の世界観に入り込んだりといった，これまでには味わえなかった楽しさを得ることができる。

例えば，PingPongPlus[47] は卓球台に複数個のマイクロホンを装着し，卓球の玉が台のどこへ当たったのかを認識し，それに応じた映像を投影する演出を行なっている。Jellyfish Party[52] は，息を吹き込むことでヘッドマウントディスプレイを通して現実空間内にシャボン玉の CG が飛び出すインスタレーション作品である。livePic[53] と

ThermoRetouch[54]では、スクリーンの後ろに赤外線サーマルカメラを備えることによって、観客が触れたり、息を吹きかけたりした際の表面上の温度の変化を認識し、スクリーン上に投影された映像が変化する。筆者らの研究グループでも、鉛筆などで描いた部分が導電性をもつことに着目し、絵に触ると音が流れる絵楽器 [61]、「大きな石」や「赤い花」などお題として出されたものをセンサデバイスを用いて見つける野外学習システム [62] など多数のセンサ融合型インタラクティブシステムを構築している。Wii や Xbox + Kinect, Playstation + PS Move などの体感型ゲーム機でも同様にインタラクティブティがあることでユーザはゲームの世界に入り込むことができる。

ステージパフォーマンスにおいても、演者がセンサを装着したり、設置されたカメラで撮影したりすることで、あらかじめ作りこんだ映像・音楽とは合わせ難い動きや、即興の動きに対応できるよう、インタラクティブにシステムをコントロールし、演出を行なう試みがなされている。Sparacino ら、岩館ら、牧らは演者をカメラで撮影し、その動きから投影映像や音楽にエフェクトをかけて表現を拡張している [63, 64, 65]。messa di voce は演者の声の音量と発生位置を検出して、映像エフェクトを生成するパフォーマンスを行なっている [66]。ファッションデザイナーの ATSUSHI NAKASHIMA は 2014-15 年秋冬コレクション Numéripue の舞台演出において、モデルに 3 軸傾斜センサと加速度センサを装着させて、ランウェイに投影される映像を動きに合わせて反応させている [67]。渡邊らは cell/66b の公演において演者にジャイロセンサを装着させ、そのデータから映像・音楽を変化させて、身体運動と映像のインタラクションによって観客のイメージを想起させるような演出について探っている [68]。藤本らは、ダンスステップを靴に装着した加速度センサで認識して、効果音や曲選択をダンサー自身が行なうシステムを開発している [69]。菅家らは、センサ内蔵ドラムスティックを用いて、エアドラムと実ドラムを統合的に利用できるようにした演奏システムを構築している [70]。

演者ではなく、観客にセンサを装着させたり、環境に配置したりすることで、観客が舞台上の演出に関わることができる試みも増えてきている。古くは、1994 年から平沢進氏が「インタラクティブ・ライブ [71]」を行なっており、会場内に仕掛けた独自のインタフェースを介して観客が映像への介入ができる演出をしている。スマートフォンを介して参加できる試みも多く、Plastikman がツアー用にリリースした iPhone アプリケーション SYNK [72] では、観客はアプリを通じて、音やステージ上の LED をコントロールできる。iPhone アプリケーション DROW [73] は、観客が iPhone の画面上で

描いた絵をステージ上のスクリーンに投影できる。rhizomatiks 社 [74] は携帯キャリアのCMにおけるイベントライブにスマートフォンを用いて参加できるシステムを提供している。平林らの研究グループでは、NxPC.Lab[75] という活動において音楽イベントを実施し、音楽体験を拡張するための実践的な研究を行なっているが、その中で観客から会場とパフォーマーへのインタラクションを可能にするシステムを多数提案している [76, 77, 78, 79]。Aphex Twin は、パフォーマンス中にカメラで撮影した観客の顔に、自身の顔をリアルタイムにマッピングして会場内スクリーンに映し出しており [80]、川本らは、観客全員を映画のキャストとして登場させ、ストーリーへの没入感を体験可能な新しいコンテンツ形態を提案している [81]。その他にも、観客が装着したリストバンドに付いたLEDの点灯パターンを無線制御することで、会場内の一体感を演出するシステムとして、Xylobands[82]、フリフラ [83]、Pixmob[84] などがある。舞台がセットされたパフォーマンス以外にも、ニワンゴ社の提供するニコニコ生放送 [85] や DeNA 社の提供する Showroom[86] などでは、オンライン上でリアルタイムにパフォーマンスに対してコメントし、それが画面上表示されることで視聴者が参加できる仕組みとなっている。米澤らのシステム [87] では、視聴者がコメントだけでなく、演奏者の配信環境を制御し、演奏の演出を行なうことができる。

上記のように、観客が参加・体験できるエンタテインメントが注目を集めており、YOUPLAY では、観客がセンサを身につけてインタラクティブに変化する演出の中で「演じる」ことを楽しむことを目的としている。

5.3 観客参加型演劇 YOUPLAY

5.3.1 概要

YOUPLAY の概要について述べる。基本的には1ステージ10名の演者(一般人)が10種類のキャラクタ(図60)のどれかを割り当てられ、さまざまなイベントをこなしつつインタラクティブにストーリーを進めていくものである。参加したい場合、あらかじめなりたいキャラクタと公演日時を決めて予約し、当日は現地で指定の衣装と、ヘルメットを装着し、キャラクタに応じた小道具を持って公演に参加する。それぞれ参加者は、予約時にウェブサイト上で公演内容の大まかな設定とストーリーを知ることができる。上演時間はおよそ30分間で、物語の中でいくつかの分岐点があり、マルチエンディングとなっている。スムーズに展開するためにいくつかの導線は用意してある。導線を制御する進行役として図61中央部のアニメーションのキャラクタを投影し、そ



図 60: キャラクターの設定

の位置や表情を操作しながら本物の役者がリアルタイムで参加者と会話させた。この進行役はスペースレンジャーの候補生という設定の参加者に対して、その教官という役割になっており、物語中の序盤と終盤にのみ登場し、常に参加者が進行役と会話できるわけではない。その他にも、事前に複数種類録音しておいたナレーションを場面に合わせて再生することにより、物語の進行・説明や参加者のサポートを行った。舞台は図 62 のように床 1 面壁 1 面に映像が投影されており、床に投影された映像内を舞台として参加者はその中で演技を行う。インタラクティブに投影された映像が変化したり、ヘルメットから音が聞こえたりすることによって参加者は演劇の世界に没入できる仕組みになっている。舞台の周りには観客席が用意され、ただ観るだけの観客もあり、自分が今後参加する参考にしたり、自分の演じた回との違いを楽しんだりできる。

YOUPLAY はこれまでに YOUPLAY Vol.0 (03/20–24, 2013) と YOUPLAY Vol.1 (11/16–24, 2013) の 2 度、大阪梅田の HEP HALL にてそれぞれ全 40 公演ずつ行なっている。YOUPLAY Vol.0 と Vol.1 は大まかなストーリーは同じであるため、本稿では主に Vol.1 について記述する。

5.3.2 ストーリー

参加者が事前に知ることのできるストーリーをウェブサイト [88] より以下に引用する。

とある未来。

あなたは宇宙で起こった様々なトラブルを解決するスペースレンジャーの



図 61: プロの役者が演じるキャラクタ



図 62: 床一面と壁一面に映像を投影

若き候補生です。

今日は最終訓練の日。

訓練中に届いた救難信号を受け、あなたたちはいよいよ宇宙へ飛び立ちます。

果たして、そこで待ち受けていることは…?!

また、図 60 のキャラクタの特徴を一部、同サイトより以下に引用する。

01 ジョージ

幼い頃からヒーローに憧れていたジョージは、ドキュメンタリー番組でのスペースレンジャーのレスキューを見て以来、その一員になることが目標になった。内にこもりがちだった性格も直し、積極的に人と関わるようになり、クラスでもリーダーになった。結果、彼はモテるようになり、浮かれてしまった。今ではスペースレンジャー＝よりモテる、という勘違いで生きている。

02 キャサリン

キャサリンは元グリーンベレー。とにかく荒っぽい性格だった。しかしとある任務で自分のミスにより友人を亡くしてしまった。それ以来、彼女の銃の中には常に一発だけ弾丸が込められている。一回の任務で一発だけ。「余計な引き金は引かない」が彼女のモットー。ネズミや虫のような床を這う動物が大嫌い。

これらの設定にどの程度基づいて役を演じるかは、参加者に任されており、基本的に自由に演じることができる。

開演後のストーリー展開は以下のようになっている。

1. 宇宙船内，教官との出会い・自己紹介
2. 謎の惑星から救難信号を受け，宇宙へ出発
3. 宇宙船内での訓練，アクシデント発生
4. ミッションに失敗すると宇宙空間浮遊
5. 惑星に到着し，酸素消失までに信号の発生源を探索
6. 夜が訪れ，謎の生物出現
7. 救難信号を発した生物との出会い
8. 1人の酸素が消失，他の全メンバーで救出活動
9. 救助船到着
10. 救助船内で火星から信号を受け，出発
11. エンディング

5.4 演出デザイン

YOUPLAYでの演出や開催するために注意した点について一部を以下に記述する。
本番でのスタッフ構成: 本番中のスタッフは、着替え補助員、ステージマネージャ、音響オペレータ、進行役、システムオペレータ、システムオペレータ補助員から成る。ステージマネージャは着替えが完了した参加者がホール内に入る前のアイスブレイク、ホール内への誘導、入室後に簡単なYOUPLAYの説明を行なう。アイスブレイクとは、初対面の人同士が会おう時など緊張をほぐす働きかけのことで、YOUPLAYでは参加者間で挨拶をさせたり、ステージマネージャの指示で掛け声をあげさせたりした。YOUPLAYでは最初に、図61の進行役に対して自己紹介を行なったり、ナレーションからの指示や物語の進行に合わせて自分の解釈の基アドリブで演じていくことを意識させたりしている。

YOUPLAYではホール内を確認できるようにホール上方にオペレータールームがあり、システムオペレータとその補助員、図 61 のキャラクタを演じる進行役、音響オペレータは公演中そこにいる。システムオペレータは筆頭著者、その補助を第三著者と筆者らが所属する研究室の学生 2 名が行なった。

参加人数: 基本的には 10 人で行なうが、それ以下の参加人数でも公演可能である。ただし、イベントの特性上複数人で行なうことを推奨し、場合によっては時間をずらして毎回 4 人以上で行なった。演じるキャラクタは参加者が自由に選べるが、ガイドロボ役がいなければ物語を進めることができない内容となっているため、その役が必ず含まれるように当日に役を変更してもらう等の対応を行なった。

自己紹介カード: ウェブサイトに載っている各キャラクタの特徴を見ずに、自由に演じることが出来るが、アドリブが苦手な人用に衣装の胸ポケットに各キャラクタの特徴を書いたカードを潜ませた。状況に応じて、参加者や観客全員に聞こえるスピーカ(以下、舞台用スピーカ)から「自己紹介カードが胸ポケットにあることを思い出した」といった内容のナレーションを流すことで進行を補助した。

ガイドロボ役: 謎の惑星から信号を受信したり、謎の惑星の宇宙人と会話するといったシーンがあるが、その信号や声は、舞台用スピーカから理解できない言葉で聞こえてくる。ガイドロボは翻訳が得意であるという設定があり、その役が装着しているヘッドホンからのみ、その言葉の日本語訳が再生される。ガイドロボ役はその訳を周囲に伝える必要があるため、参加者間の会話が促進される。

小道具: キャラクタが持つ小道具は全部で 8 種類あり、それぞれのキャラクタの特徴に基づいて割り当てられているが、参加人数の関係から小道具を持つはずのキャラクタがいなかった場合は他の参加者に割り当てる。小道具は物語を進めるための補助となったり(図 63)、一見関係が無さそうに見えるが参加者の発想次第で進行の補助となったりする。

小道具のうち、銃と虫取り網にはシステムが組み込まれており、銃は引き金を引くと舞台用スピーカから銃声が出力される。銃が一度しか発砲できないことは自己紹介や自己紹介カードによって理解させた。虫取り網は振ると舞台用スピーカから風切り音のような効果音が聞こえるようにし、臨場感を高めた。振ると音が鳴ることは自己紹介の際に虫を捕まえる演技をさせるなど網に注目が集まる演出をして理解させた。

映像効果の追従: 舞台上に映像が投影されているが、シーンによっては各参加者を追従してその周りに投影される画像が含まれる(図 64)。参加者に、物語の世界の中にいる



図 63: 小道具 (本) の内容を周りに伝える様子



図 64: 酸素ゲージ画像が参加者を追従

ことを感じさせ、演劇に没入させることを狙った。

効果音: 舞台用スピーカと各参加者が装着するヘッドホンから場面に応じて音声が聞こえる。舞台用スピーカは観客も含めた全員に聞こえるが、ヘッドホンからの音声は装着者にしか聞こえない。ヘッドホンからのみ音声を流すことで、観客からは参加者が指示に合わせているのではなく自分の意志で動いているように見える。参加者の動きに合わせてインタラクティブに効果音を出力することもあり、臨場感や迫力を増大させた。

録音済ナレーション: 物語の進行の補助のために、状況に応じて舞台用スピーカや、個人ごとのヘッドホンから事前に録音しておいたナレーションを流す。ナレーションの一部を例にあげると、演技を誘導する「スペースレンジャーたちはいつもの掛け声で気合を入れた」、進行を補助する「隊員たちは自分と同じ色のコクピットへと急いだ」、状況を説明する「脱出に失敗して宇宙空間に放り出されてしまった」等である。

進行役: 録音しておいたナレーション以外にも、プロの俳優が声と図61のアニメーションによって進行役として参加し、リアルタイムで参加者と会話する。進行補助となるだけでなく、参加者がプロの俳優と一緒に演劇ができるというエンタテインメント性も含まれている。

参加者の発声: ナレーション等によって参加者間の会話や協力を促し、初対面の人たち同士でも自然に演じることができるようにした。また、大声を出す必要があるシーンを用意し、大声を出すことによって、終演後の達成感を向上させることを狙った。

5.5 システムデザイン

Vol.1でのシステムはVol.0でのシステムにさらに機能を追加したものであるため、この節ではVol.0での反省を踏まえた上でVol.1で実装したシステムについて説明する。

5.5.1 システム構成

システムオペレータが操作するシステムは、1台のデスクトップPC、5台のノートPC、2個のPCに接続する無線通信用機器(XBee-PRO Series 1, 以下XBee)、3台の広角Webカメラ(iBUFFALO BSW20KM11BK, 視野角120度)から構成される。PCとXBeeはオペレータールームに設置され、2台のカメラはホールの天井、1台のカメラはプロジェクションされた壁の反対側の壁に舞台全体が撮影できるように設置されている。図65は舞台横から見たシステム配置を示しており、図66はオペレータールームを上から見た状態でのシステム配置を示している。プロジェクタは、ホールの天井から舞台の床面に投影するために4台、オペレータールームからスクリーンへ投影するために2台、計6台が設置されている。

音響オペレータが操作する音響システムは、舞台用スピーカがホール内に設置してあり、オペレータがシステム上で選択した音楽やナレーションを流すことができる。システムオペレータが担当する映像出力用PCともオーディオケーブルとMIDIケーブルで接続されており、映像に埋め込まれた音楽やMIDI信号により指定された音を舞台用スピーカから出力できる。映像投影用システムとして、プロジェクタが壁1面に投影する用に2台、床1面に投影する用に4台設置されており、映像出力用PCから出力される映像を変換して、その変換後の映像を床と壁に投影するシステムが構築されている。

システムオペレータが操作するソフトウェアは以下の7種類である。ソフトウェア間での情報の送受信はOSC通信を用いている。

1. **映像出力:** 映像をストーリーに応じて進めていくためのソフトウェアである。このソフトウェアで、参加者の位置をトラッキングするソフトウェアの結果を受信して、インタラクティブに変更する映像も重ね合わせる。
2. **映像出力のバックアップ:** 映像出力用PCとは別のPC上で、映像出力のバックアップソフトウェアを動かす。操作ミスにより、場面変更のタイミングではないにも関わらず、出力される映像が現在のストーリー中でのシーンよりも先へ進んでしまう等の事態が想定される。このソフトウェアでは、(4)の出力映像オペレー

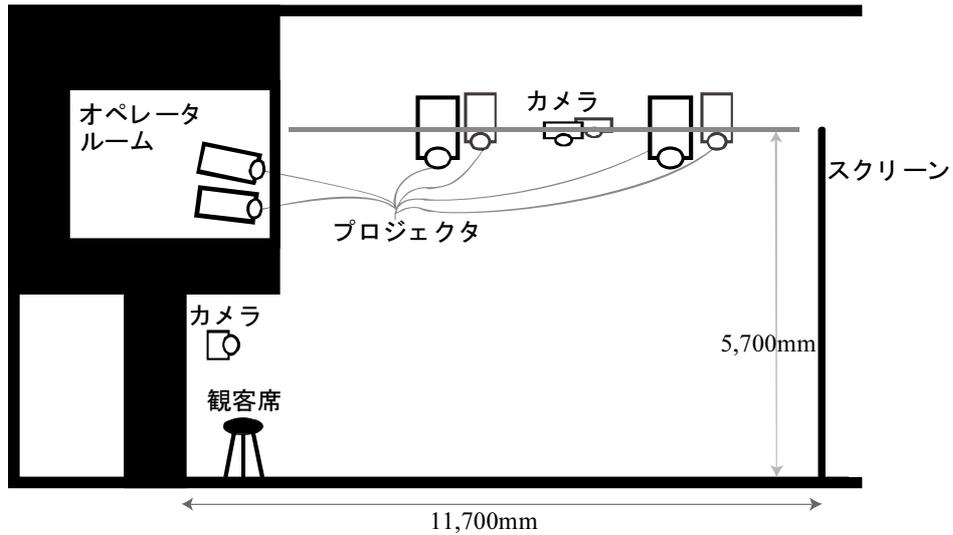


図 65: 舞台横から見たシステム配置

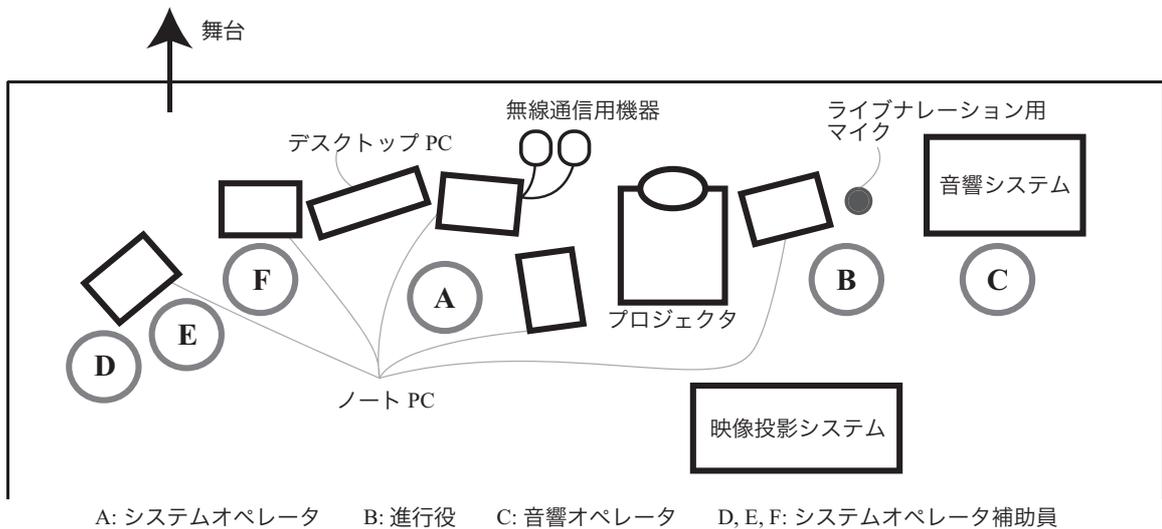


図 66: オペレータールームのシステム配置

ションソフトウェアからの OSC 信号は受信せず，(1) のメインの映像出力ソフトウェアでの映像よりもタイミングを遅らせられるように，このソフトウェアが動く PC のキーボードを直接操作することで映像の変更を行なえる。

3. 音声オペレーション: ヘルメットに付けられたヘッドホンから流れる音声の一部を制御するためのソフトウェアである。5.5.2 節にてヘルメットについて説明する。



図 67: 参加者のポーズをスタッフロールの背景に投影

4. 出力映像オペレーション: 描画される映像の一部は手動で操作されるものがあり, その操作はこのソフトウェア上でマウスを用いて行なう. 動画の切り替えなどもこのソフトウェア上でキーボードを用いて行なう.
5. 参加者との通信: ヘルメットや小道具につけられたシステムとの通信を行なう. 5.5.3 節にて, 小道具について記述する.
6. 参加者の位置検出: ホールの天井に設置した赤外線カメラにより, ヘルメットの頭頂部につけられた赤外線 LED を撮影して, 参加者の位置をリアルタイムでトラッキングする. 5.5.4 節にて, 位置検出について記述する.
7. 参加者の決めポーズ撮影: エンディングにおいて, 参加者たちがポーズをとるシーンがあり, その様子を撮影する. スタッフロールの中でポーズの画像を投影し, 参加者たちに参加したこと実感させることを狙った (図 67).

5.5.2 ヘルメット用システム

それぞれ参加者が装着するヘルメットを図 68 に示す. メイン基板は後頭部に設置され, マイクロコンピュータ (Arduino Nano), MP3 ファイル再生アドオンモジュール (MP3-4NANO), XBee, 加速度センサ (#KXM52-1050 (XYZ $\pm 2G$)) から構成され, 頭頂部の複数の赤外線 LED, 口元へ伸びたマイクロホン (BOB-09868) につながり, さらにオーディオケーブルでヘッドホンにつながっている. 周囲の音が十分に聞こえる必要があるので, ヘッドホンと耳には間を開け, 周囲の音声, ヘッドホンからの音声どちらも聞こえるようにした.

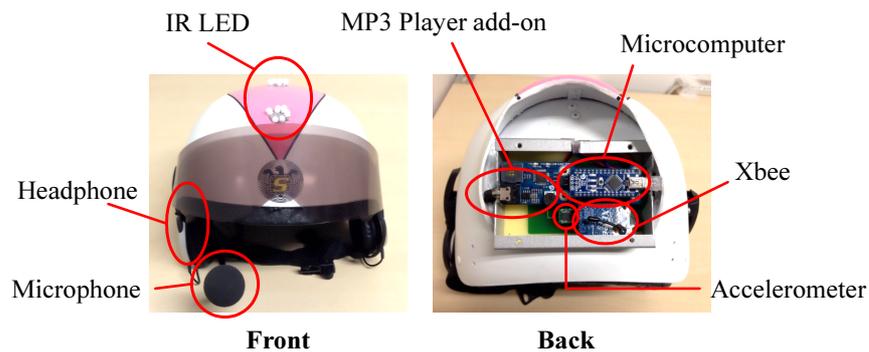


図 68: ヘルメットのシステム構成

参加者の位置のトラッキング用の赤外線 LED は PC の XBee から送信された信号を受信することで ON/OFF が切り替えられる。インタラクティブな演出のために、加速度センサにより参加者の動きを認識し、マイクロホンにより、参加者が声を発したかどうかを認識する。MP3-4NANO には音声が入った SD カードが差し込まれており、XBee からの信号や、加速度センサの認識結果に応じて音声をヘッドホンから再生する。

5.5.3 小道具用システム

小道具の中で銃と虫とり網にシステムを内蔵した。銃の中にはマイクロコンピュータ (Arduino Fio), リチウムイオン電池, XBee, 押しボタンスイッチが含まれている。キャラクターがスイッチを押すと XBee から信号が送信され PC 経由で舞台用スピーカから音出力される。銃は 1 度しか使えない設定であるため、どこで使うべきかを考えさせたり、周囲と相談する会話を促すことを狙った。

虫取り網は図 69 のような構成である。システムにはマイクロコンピュータ (Arduino Fio), リチウムイオン電池, XBee, Serial SRAM Chip, 加速度センサが含まれている。加速度センサによって網を振る動作を認識し、認識すると XBee から PC へと信号が送信される。

また、網に関しては、Arduino Fio のみでは、行動認識のためにデータを保存するには SRAM のメモリ容量が不足したため Microchip Technology 社のシリアル SRAM チップを用いてメモリ容量の拡張を行なっている。

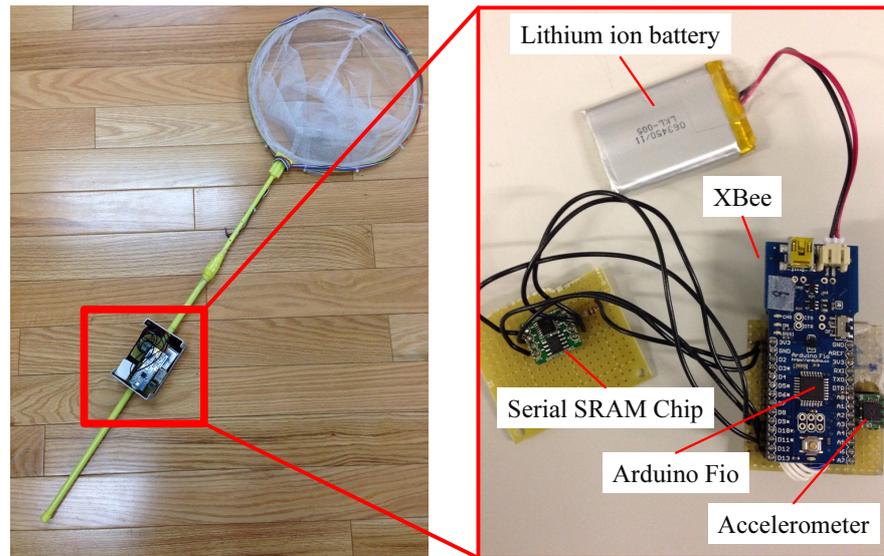


図 69: 虫取り網のシステム構成

5.5.4 位置検出

YOUPLAY では、天井に設置した赤外線カメラ 2 台と参加者が装着するヘルメットの頭頂部に付けた赤外線 LED を用いて、全ての参加者の位置をトラッキングする。参加者の位置に基づく演出として、参加者の周囲に酸素ゲージが現れる (図 64), 「ライトオン」と言った人の周りだけ明るくなる, 指定した道から外れるとヘッドホンから警告音が流れる (図 70), ある地点との距離に比例してヘッドホンから流れる効果音の音量が大きくなる, コクピットを表す箇所に入るとその部分が明るくなりヘッドホンから効果音が聞こえる (図 71) といったものがある。

参加者の位置を個別に把握するために、参加者のヘルメットに装着された赤外線 LED を 1 つずつ点灯していき、各点灯タイミングでその光がカメラで撮られた位置にそれぞれのキャラクタに割り当てた ID を当てはめる。1 度トラッキング用の ID が割り当てられると、その後はすべての赤外線 LED は点灯し、カメラ撮影の毎フレームごとに前のフレームで ID が割り当てられた位置と、現在のフレームで検出された各光の位置の最も近い位置に更新していくことでトラッキングを行なう。参加者同士が近付くことによってトラッキング ID が間違った参加者の位置に割り当てるエラーが起きた際には、再度 ID の割り当て処理を実行する。上記機能を実装してテストしたところ、PC のカメラ画像取得の処理が遅く、カメラのフレームレートを 9fps 程度しか出すことができず、全 ID を割り当てる間に最初の方に割り当てられた ID の位置が大きくずれて

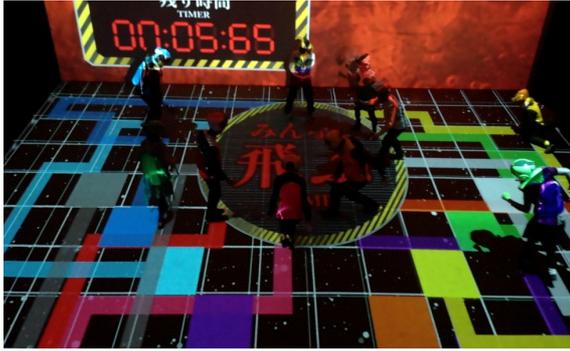


図 70: 参加者が指定した道から外れると警告音出力



図 71: 各コクピットへ入ると映像が変化し効果音出力

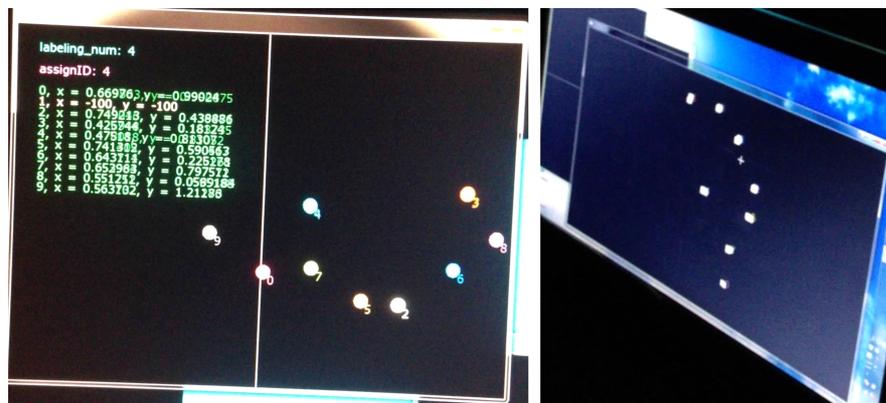


図 72: 手動でのトラッキング ID 割当

しまい、本番で使える状態にならなかった。そこで、本番ではシステムオペレータの補助員がカメラの取得画像が表示されたディスプレイを見ながらマウスとキーボードを使って手動で ID を割り当てる方法をとった。図 72 右のようにカメラの取得画像を二値化した画像がディスプレイに表示され、白い部分をクリックするとそこにキーボードで指定した ID 番号が割り当てられ、図 72 左のような表示により ID とその位置の確認ができる。1 人の参加者だけをトラッキングするシーンがあるが、そのシーンではその参加者の赤外線 LED のみを点灯させることで、より確実にトラッキングできるようにした。

カメラを 2 台用いているのは、1 台では舞台全体を撮影できなかったためである。

5.5.5 行動認識

YOUPLAY では、ヘルメットと虫取り網に付けられた加速度センサによって、それぞれ違う行動の認識を行なう。認識はセンサが接続された Arduino のみで行ない、結

果を無線でPCに集約する。

ヘルメット: ヘルメットに内蔵した加速度センサにより参加者の動き(ジャンプ, 重力が軽くなったようにゆっくり歩く(図73))や大まかな運動量を認識する。加速度センサを靴やベルトに装着するとより正確に行動認識を行なえるが, 衣装の着替えを手軽にし, 配線/無線機器を減らすために, 他の回路とともに加速度センサもヘルメットに内蔵した。

ジャンプをしたり, 宇宙空間のようにゆっくり歩いたりすると, それぞれに応じた音がヘッドホンから聞こえる。加速度センサのデータは30Hz程度で取得している。ジャンプについては, 頭が上下する方向の加速度についてウィンドウ幅10で分散値を計算し, その値が指定した閾値を一定時間以上超えたらジャンプしたと認識した。宇宙空間のようにゆっくり歩くことについては, 頭が前後に動く方向の加速度の生データの値が, 指定した閾値を下回った後に, その閾値を一定時間以上超えたらゆっくり歩いていると認識した。

酸素が無い空間にいるという演技にリアリティを出させるために, 酸素ゲージの画像を投影し, 動けば動くほどゲージの減った画像が投影される演出を行なった。その運動量に関しては, 3軸加速度センサのノルムについてウィンドウ幅10で分散値を算出し, その値が指定した閾値を超えた後, 指定した時間以上その閾値とそれよりも小さい値の閾値の間の値であれば, 運動したと認識して, PCに運動したことを送信する。一度認識されると, また閾値を超えるかどうかの判断から認識処理を行なう。PC側では運動したことの受信回数を各参加者ごとに加算していき, 酸素ゲージに反映させる。運動量をもっとも多かったと判断された参加者の酸素ゲージはもっとも少ない状態で表示され, 最終的にはその参加者の酸素ゲージがゼロになり, 他の参加者がアドリブで救助方法を考えるというイベントが発生する(図74)。

虫取り網: 虫取り網に取り付けられた加速度センサによって「上から振り下ろす」「水平方向に降る」の2種類の振りの動作を認識し, PCへと信号が送信される。PCは信号を受信すると, 2種類の振りのそれぞれに応じた音を舞台用スピーカから出力する。

網を振る行動は人によってさまざまであり, 簡単な処理で認識することはできないため, 学習データを用いた波形マッチングによる認識を行った。また, 網を振り終えた後に認識して音を鳴らすと, 参加者が意図するタイミングよりも遅く音出力され, 参加者や観客に対して違和感を与えてしまう。そこでYOUPLAYではIzutaらが提案する早期認識の手法[89]を用いることで, 網を振っているタイミングで効果音を出力



図 73: フワフワと歩くと効果音出力



図 74: もっとも運動量が多かった参加者の酸素消失



図 75: 参加者の周りに明かりの映像を投影

し、臨場感のある演出を可能にした。

5.5.6 発声認識

参加者が「ライトオン」と大きな声で言うと図 75 のように、発言した参加者のところに明かりが落ちるような演出を行なった。図 75 は参加者全員が発言し終わった状態を示している。10 人の参加者が自由なタイミングで発言するので、手動でそれぞれの発言に対応することは難しい。認識にはヘルメットにつながったマイクロホンを用い、そこで取得される生データの値が指定した閾値を超えた状態を指定時間以上超えていたら発言したと認識する。

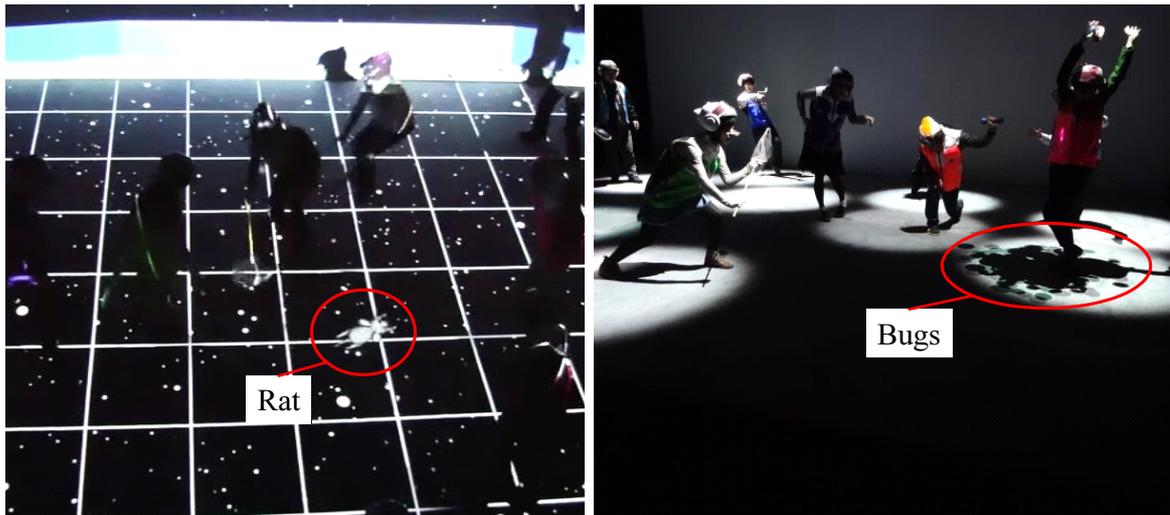


図 76: マウスやキーボードで操作されるネズミ・虫

5.5.7 手動操作

手動の方が自然な操作ができる演出は手動で行なった。以下に手動で操作を行なった機能の一部を記す。

ネズミと虫の動き: 図 76 に示すネズミと虫がストーリーの中で出現する。ネズミは参加者から逃げ回り、網を持ったキャラクターが網をタイミングよく振りかざすと捕獲される。虫は特定のキャラクターを追いかけ、銃を撃たれたり、大きな声を出されたりすると散らばって逃げ去る。それぞれの動きはシステムオペレータがマウスで操作をし、捕獲されるなどはキーボードにより操作する。

各参加者の位置をトラッキングしているのので、その情報を用いて自動で動かすこともできる。しかし、参加者の反応によって細かに動きを変化させ、よりリアリティのある動きをできるように手動で操作した。虫が逃げ去るタイミングも、より盛り上がるシーンを判断するためにプロの役者と演出家と相談しながら、手動で操作した。

入場シーン: 参加者はホール内に入ると、ステージマネージャの指示を受けて、図 77 のようにそれぞれ割り当てられたスポットへと入り、自分のキャラクターの名前と割り当てられた色を確認する。参加者がスポットへと入ると映像が変化し、音が鳴る。

カメラの位置情報から参加者がスポットへ入ったことを自動で判断することもできるが、このシーンは参加者は映像が自分たちの動きによりインタラクティブに変化することを知らせる重要な場面であるため、エラーを起こさないためにも手動で操作した。

キャラクターの表情・向き・位置: 進行役である図 61 のキャラクターの顔の向きと位置を



図 77: 参加者が指定のスポットへと移動

クリックで操作し、表情をテンキーで変化させた。この進行役は、リアルタイムで参加者たちと会話を行なうが、参加者たちは自由に投影されているキャラクターの画像に対して話しかける。会話をしているように自然に顔の向きを調整する必要があるため、手動で操作した。同時に話しかけられたり、参加者のいない方を向く必要があったりすることがあるため、この処理を自動で行なうことは困難である。このキャラクターは「笑う」「怒る」「驚く」などの7つの表情をもっているが、会話の中で役者の感情に合わせて変える必要があるため、役者の手元にテンキーを配置し、手動で操作した。

5.6 問題点と改善策

Vol.0ではシステムに関する問題が多数起き、Vol.1ではそれらを踏まえて改善を行なった。それらについて記述する。

センサデータの無線送受信:

YOUPLAYでは加速度センサとマイクロホンにより、参加者の行動の認識を行なった。それぞれのセンサからのデータの処理に関して、Vol.0の際には、生データをPCへ無線で飛ばし、PCで認識処理を行なうことを試みたが、電波環境上受信データが途切れ途切れになり、加速度データによる行動認識を行なえるような状態ではなかった。事前に現場環境で無線のテストを行なった際にはデータが途切れることはなかったが、映像や音響を含めた全てのシステム設営がされた後にデータ受信の確認をしたところ、データが途切れ途切れとなっていた。演出デザインの段階でこのような事態を想定していたため、加速度センサによる認識は物語の進行には問題が無かったが、臨場感を減らす演出となってしまった。マイクロホンによる認識の代替策として、「ライトオン」

と言ったかどうかを目視で確認し、各参加者に対応するキーをキーボードにより押下することで映像出力のトリガーとした。しかし、発言者に対応するキーの確認に時間がかかったり、発言者を間違えてしまって違う参加者の所に映像が出力されてしまったりすることがあった。そこで Vol.1 では Arduino のみで認識結果を算出し、その結果を PC から受信したことの返信があるまで送り続けるようにした。また、不要な場面で認識を行なってしまうないように、PC から XBee で信号を送信することにより、認識処理を行なうかどうかを切り替えた。

ヘッドホンからの音声:

ヘッドホンから音声等が流れてくるが、Vol.0 では進行役によるリアルタイムの音声出力もヘッドホンから個別に行なえるように音声を無線で飛ばすことのできるヘッドホンを用いていた。この仕様についてもセンサデータの無線送受信と同様にテスト時には問題なかったものの本番直前では無線接続がうまくいかなかった。そこで Vol.0 では個別音声聞こえない物語の進行に問題があるガイドロボ役のみ無線式のヘッドホンを用いて対応し、このシステムについては問題が起きなかった。Vol.1 では事前に録音した音声を SD カードに保存し、それをオペレータから送信する信号を受信したら再生を開始するようにした。このように改善を行なったものの、後に記述する無線に関するトラブルが起きることがあり、一部の参加者のみ再生されない場面があった。また、ヘッドホンからはリアルタイムの音声出力が行なえないことにより、事前に様々なナレーションを用意しておく必要があったり、公演や場面に応じて変化させたりすることができなかった。

カメラを用いたトラッキング:

5.5.4 節で説明した方法により参加者の位置検出・トラッキングを行なった。記述した方法について、Vol.0 の際には不具合があったため、図 78 に示すようなタブレット PC 上で指でアイコンの位置を動かすことで出力する映像の位置を操作できるソフトウェアを実装し、タブレット PC を 2 台用意し、オペレータ 2 名で操作を行なった。しかし、オペレータ 1 名で 5 人の参加者を追いかけることは難しく、物語の内容を考慮してトラッキングの正確さについて各キャラクタに優先順位をつけることとなった。また、指で操作していてもカメラでトラッキングを行なう方法と比べて映像の動きが滑らかにはならなかったり、実際の舞台上とタブレット上での位置関係の把握が難しかったりした。Vol.1 ではプログラムを書き直すことにより 5.5.4 節で記述した手法に改善した。



図 78: タブレット PC 上で映像出力の位置を操作

無線通信:

PC と Arduino の無線通信には XBee を用い、何らかのデータを受信したら返信して確認を行なうという処理を行なっていたが、データがぶつかり合うと他の通信を探してデータ通信が止まってしまうという問題が生じた。Arduino が行動認識を行なう状態にする、位置に応じて音量が変化する状態にする、音声が出力される、といったことを無線通信により切り替えを行なっていたが、それらがうまく働かない事態となった。音声の一部の人には聞こえているものの、自分が聞こえていないという状態は周囲の状況から参加者に察知され、システムの不具合を感じさせてしまっていた。このトラブルについては Vol.1 公演中には改善することができず、今後の課題となっている。YOUPLAY において、無線通信は非常に重要な要素であり、安定することでできる演出も増えるが、これは他のステージパフォーマンスにも当てはまることであり、安定した無線通信の確立・仕様を今後検討していく。

5.7 参加者の反応

全 80 回の公演を終えて、そこで見られた参加者の特徴的な反応について記述する。また、参加者、観客それぞれに自由アンケートを依頼しており、そこで書かれていた一部を引用する。参加者は 10 代から 50 代の男女で、参加者・観客のべ約 1000 人であった。
映像効果の追従: 映像が自分についてくることを楽しんで動き回る参加者もいたが、どの参加者もすぐに自然な動きになった。自分に合わせて映像が動くことを確認した後、



図 79: 矢印で表された道筋を徐々に描画

物語の世界観に没入できていたと考えられる。

しかし、システムが参加者を見失ったり、他の人と情報が入れ違ってしまうといったエラーが起こることがあった。トラッキングIDを手動で割り当てる手法を用いたことで、トラッキング中にIDが間違っただけの人に割り当てられてしまうエラーの際には、どのような間違いなのかを確認する必要があるため、再割り当てに時間がかかっていた。エラーが起き、映像が追従しないと、ついてきていないことを口頭で指摘する参加者も多く、物語の世界から抜け出させてしまっていた。人に映像が追従してついてくるといった演出は、視覚的でわかりやすい変化であるため、うまく働いていないと違和感も大きくなる。こういった演出を行う際にはエラー対策やロバスト性の強化が重要である。YOUPLAYにおいては、現行の手法では、頭頂部の赤外線LEDの光量を大きくすることや、カメラのフレームレートを上げるといった改善方法が考えられる。また、頭頂部に再帰性反射材を付け、天井に赤外線投光器を付けてその反射によりトラッキングを行う方法や、舞台の側面にレーザーレンジセンサを配置して人の位置を検出する方法を加えて、より強固にすることが考えられる。

映像出力方法: 図70のシーンでは、参加者はそれぞれのキャラクターごとの色の道筋を通して指定の場所(円形の画像が投影されている場所)へと向かうが、Vol.0のときは図70のような長方形を並べた道筋を出発点から目的地まで同時に表示しており、道筋を無視する参加者もいた。そこでVol.1では、図79のような矢印の道筋が、徐々に表れるようにしたところ、道筋を無視する参加者はいなくなった。

インタラクティブな効果音: ヘルメットに内蔵した加速度センサを用いて、ジャンプと歩きを認識し、それに合わせて音を出力した。この機能に関しては劇中では使用シー

ンが短く、音も個人のヘッドホンにおいてのみ聞こえるので、それに対する参加者の具体的な反応はわからなかった。しかし、センシングを用いたインタラクティブなシステムの経験がほとんどないスタッフ数名が公演準備中のテスト時にヘルメットから動きに合わせて効果音が出力されることをチェックした際に、自分の動きに合わせて効果音が出力されることを楽しんでいて、また、ゆっくり歩くことを試している間、自らうまく音が鳴るような動きになるように練習している様子が見られた。

虫取り網の効果音に関しては、網を振り効果音が発生すると参加者らが驚きを示したことから参加者に振りと音が連動していることを認識させることができていたことがわかる。Vol.1と効果音システムを組み込んでいなかったVol.0を比べると、参加者の動きが大きくなり、音も出力させることから観客もより楽しめたと考えられる。

録音済ナレーション: 状況に応じてナレーションを流すことで誘導等を行なったが、その内容に逆らう参加者はほとんどいなかった。基本的に参加者のアドリブに任せていたが、シーンによってはどう動いてよいのかわからない状況に陥ることがあり、そういった場合にはナレーションにより補助を行っており、物語の進行のために重要な要素となっていた。

宇宙船外の惑星上でのシーンでは、物語の設定上、進行役からの音声は、舞台用スピーカではなく、参加者が装着しているヘッドホンからのみ流すことでリアリティを出していた。ここで聞こえてくる内容は観るだけの観客には聞こえていないため、アンケートに「何が起きているのかわからないので、全体に聞こえるようにしてほかった。」という記述があった。物語のリアリティを保ったまま改善するには観客にのみ聞こえる指向性スピーカや、観客にもヘッドホンを装着させる等の方法が考えられる。

「ネズミが苦手なキャサリンはキャツという声をあげた」といった具体的な指示の内容のナレーションを流すことで、そのシーンで面白くなるようにしたり、その他にも、「自己紹介を思い出した」といったようなナレーションを流し、参加者の発想を膨らませたりといったことも行なっていたが、実際に聞こえた参加者はアドリブでその場を盛り上げようとする姿が見られた。

ナレーションを流すか流さないか、どのタイミングで流すかといった判断は、舞台の雰囲気や以降の進行を左右するため重要である。したがって、オペレータは舞台演出に対してある程度精通している必要がある。また多くのパターンを用意すればするほど様々な状況に対応できるが、とっさの判断が難しくなるためどの程度の数のパターンを用意しておくかは熟考した上で決定しなければならない。

進行役とのやり取り: 開演して間もないシーンで、進行役(教官)に対して自己紹介を行なうが、ここで演じる動作をさせたり、発想を促したりすることで、参加者にイベントの趣旨の理解を深めさせることができ、また、参加者間で会話させることにより緊張をほぐさせることができていた。アンケートの中でも、進行役によるライブナレーションがあることにより、バラバラだった参加者がまとまって進行できた、といった記述があった。誰も経験のしたことのないイベントであったため、参加者が進め方を知るためにも進行役は重要であった。

参加者間のやり取り: 進行役の指示により会話をさせたり、自分しか知らない情報を周囲に伝えたり、全員でネズミを捕まえさせたり、といったように参加者間でやり取りをするきっかけを多く与えたが、物語が進むにつれて参加者間の会話がどんどん活発になり、終盤のシーンでお互いに遠慮することなく意見を言い合うような公演が多数であった。終演後、参加者で集合写真を撮ることも多かった。

難易度: 序盤はナレーションを多く用いるが、後半に進むにつれて参加者の発想に任せることを増やすなど、徐々にアドリブや発想の重要度や自由度を上げていくような演出にした。演劇ワークショップでも、最初からあるキャラクターになり切って演技をするといったような難しいことはせず、まずは声を出すことから始めるなど、少しずつ演じることの段階を踏んでいくという風にされており、YOUPLAYでもそのような仕組みを取り入れたことがうまく働いていた。

スペシャル公演: Vol.1での40公演の内、2公演はスペシャル公演として、プロの劇団として活躍するsunday[90]と劇団Patch[91]の劇団員が参加者として演じた。観客はプロの役者が台詞のないYOUPLAYに挑む姿を楽しんでおり、多くの笑いも起きていた。さらに、スペシャル公演観覧後、その日の公演に参加する観客もいた。

アンケート: アンケートでは、「楽しかった」、「もっとやりたかった」、「次回作も期待しています」、「素人でも参加できてよかった」などの楽しまれたことが伺える記述がほとんどであった。

「楽しかったシーンを教えてください」という質問に対しては、「全部」という回答が多いが、特定のシーンが書かれているものを見てみても、どれかが突出していることはなく、様々な人に楽しんでもらえたのではないかと考えられる。

「PLAY時間はどうでしたか?」という質問に対しては、「短い」と「ちょうどよかった」が多く、自由記述でも「もっと長くやりたかった」という意見が多かった。一部「長い」という回答もあったため、短くするのではなく、話の内容をブラッシュアップ

したり、システム部分で、映像や音のコンテンツ、インタラクティブな反応により驚かせるような演出を増やしたりすることを検討する。

自由記述に書かれていたことを一部抜粋すると、「もっと思い切って演じればよかった」、「もっとできたはず」、「次こそはもっとうまく演じたい」等のように演じることに對して意欲が高まったことが伺える記述が多くあった。「俳優さんってすごい」といった記述も複数あり、演劇に對しての興味・関心が変化したのではないかと考える。実際に、リピータが多く、Vol.0に参加してVol.1にも参加する人や、Vol.1に複数回する参加者がいた。これらのアンケートやリピータ率から、本公演の目的であった、演じることの楽しみを伝えることができたと考える。

「自分たちが演じたときと全く違う展開になっていて面白かったです」「自分より上手く演じられていた」「自分の方が上手い」等のように、演じた後に観覧し、自分たちとのその違いを楽しむ参加者も多かった。「観覧だけでも楽しめました」といった記述もあり、素人であっても人が演じるということはエンタテイメント性が高いことが確認できた。

「映像や音楽の迫力がすごかった」という記述がある一方で「映像に酔った」といった記述もあったため、事前に映像酔いのし易い人への注意を入れていく必要がある。

映像が追従されていないことや、ヘッドホンから音が出力されていないこと等のシステムのエラーに對する記述も一部あった。公演の期間に、映像の追従に對してはトラッキングのエラーがないかを確認・修正できるPCを複数台に増やし、ヘッドホンについては毎公演の前に行なっていた音の出力テストの際に目視での配線チェックを追加した。システムのエラーは公演が進むにつれて減っていったが、システムへの不信感を与えないためにも、エラー対策や高いロバスト性をもたせることが重要である。

「一人一人の見せ場がもっとほしかった」といった記述もあった。力持ちという設定のキャラクタの活躍できるシーンがほとんどなかったため、途中から図76左のネズミが徐々に巨大化し、巨大化するとその力持ちのキャラクタでなければ捕まえられないなどの対応をした。今回の物語ではどのキャラクタも平均的に活躍できるようにしていったが、特に活躍の多い主役を用意することでさらに参加者間でのコミュニケーションが活性化される可能性もあるので、今後検討していきたい。

「アドリブで動けるので自由にできた」、「もっと自由度があってもよかった」、「自由すぎてどうしたらわからないときがあった」といったように、自由度に對する意見にはバラつきが見られた。今後イベントを行なう際には、上級・中級・初級といったよ

うに、自由度について分けて募集を行ない、初めての人は初級か中級しか選べず、リピータは上級も選択できるといったように、参加者が難易度を選択できるようにすることで対応する。

Twitter: Twitter[92]にて「#hep_youplay」というハッシュタグを用意し、感想等を書いてもらうことを推奨した。アンケート同様に「楽しかった」、「次回作に期待」といったような楽しまれたことを確認できるツイートがほとんどであった。終演後に撮影した集合写真を載せている参加者も多かった。

感想以外にも、最初に渡される自己紹介カードについて「何も口調を指定せずに箇条書きで要素を書いておいたら、キャラの幅がもっと広がるんじゃないかな。そして、オススメの口調を横にヒントとして提示する。」といったようなアドバイスが書き込まれたツイートも見られた。

公演中の様子を動画で撮影し、参加者に後日 YouTube[93]にて限定公開で配布するといったサービスも行なったが、それについてもツイートも見られた。「YOUPLAY 動画みて思い出し笑い」「YOUPLAY ホント面白かったなあ…」「youplay 動画自分がめっちゃキョドっていてうわあってなった…ドキドキやったなーまたやるときはもっとがんばろ」といったように、動画配布のサービスも楽しまれたことが確認できた。

5.8 考察

全80公演を終えて、まず参加者の様子を見ていて、「演じる」ことに対して抵抗がないことに驚いた。物語の序盤では戸惑う姿も見受けられたが、徐々に慣れていき、終盤にはほとんどの参加者が役を演じていた。「演じる」という言葉に対して難しさを感じる人は多いと考えられるが、実際には歌を歌うことや絵を描くことのように「演じる」こともプリミティブな表現なのかもしれない。観客参加型演劇 YOUPLAY はそれを知れたことに新しさを感じたイベントであった。

どの公演も違った展開となり、ひとつとして同じ物語が生まれることはなく、物語が破綻してしまうような公演もなかった。ゲーム性が高くないような設定にし、個人の発想や周囲とのコミュニケーションを重要にしたため、何度参加しても他の参加者次第で全く違う展開になり、その多様性も楽しむことができるイベントとなった。脱出ゲームや参加型ゲームとは「答えが無い」という点で違っており、見知らぬ人と体を動かしながら、コミュニケーションをとり、その言動次第で展開がどんどん変わっていくイベントとなり、新しいスポーツのようであった。YOUPLAY は参加

者の能動的な行動を期待したコンテンツであるため、参加者が自分から動く必要があり、最初にコツをつかんだ人ほど序盤から楽しめていた。観客参加型演劇が普及することでイベントの趣旨を理解した上での参加者が増え、多くの人公演中終始楽しめるようになると考えている。映像や効果音を取り入れたり、さらにそれらがインタラクティブに変化することによっても、参加者が気持ちよく動くことができ、没入させることができていた点もこのイベントでは重要な要素となっていた。しかし、今回取り入れたインタラクティブな要素は個人に対しての変化ばかりで、インタラクティブに動くものと他人とのやり取りがうまくつなげられていなかった。インタラクティブであることで他人とのやり取りが促進されることや、多人数で動くことによるインタラク션을うまく取り入れることが今後の課題である。

上述したようにテクノロジーを使った演出を行なうことで参加者の没入感を高めることができていたが、システムがうまく起動しなかったり、手動で操作が行われていることを気付かせてしまうと、没入感が瞬時に失われてしまう可能性がある。システムで没入感を高める演出を行なうイベントでは、エラー対策やロバスト性が非常に重要であることが確認できた。

「演じる」ことを多くの人を楽しめることが確認できたが、インタラクティブに映像や音が変わるといったような演出が「演じる」と非常に親和性が高いと考えられるため、様々な楽しみ方をこれからも提案していきたい。

5.9 むすび

本章では、これまでに80公演を行なった観客参加型演劇 YOUPLAY の概要、システム構成、公演を通じての考察について報告した。本公演を通して、観客自身が演者となり物語を進めていく観客参加型演劇 YOUPLAY が多くの人に楽しまれ、物語が破綻することなく公演を終えられることがわかった。ナレーションを流すことで物語の進行を進めることが重要であったり、映像や音声に参加者(演者)の動きに合わせて変化することによって没入感が増し、参加者が照れることなく迫力ある動きをできることがわかった。YOUPLAY Vol.0 と Vol.1 はともに大規模なシステムでの開催となったが、骨伝導スピーカや頭部装着型ディスプレイを使うことでより汎用的に開催できる仕組みについても検討する。

観客が参加できるように認識技術を取り入れた試みは今後も増加していくことが予想されるが、様々な人がシステムを使うことになるので認識のロバストネスやエラー

処理が重要となる。認識技術を取り入れることによりかえってパフォーマンスのクオリティを下げってしまうことがないように参画する必要がある。今後も YOUPLAY を通じて得た知見を基に、認識技術やインタラクティブな映像表現をうまく取り入れつつ、様々な分野とのコラボレーションを進め、エンタテインメントの活性化を図っていきたいと考えている。

6 結論

6.1 本論文のまとめ

本論文では、ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境において今後は受動的に情報取得を行なう機会が増えることが想像できるが、そのような環境の中でどのようなことを考えていく必要があるかについて議論した。

まず、第1章では、ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境の発展に伴い想定される、受動的な情報取得の機会の増加、常時情報を閲覧可能環境の利用についてどのようなこと考慮すべきかについて述べ、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、ウェアラブルコンピューティング環境において、ユーザ個人が自分に適した入出力デバイス配置で情報提示を受けられる環境を柔軟に構築できるようにするために、衣服上に配置された入出力デバイスの位置を効率良く、かつ正確に検出する手法について提案した。本研究では導電性衣服の使用を想定したが、電源供給システム、デバイス間通信システムをもった導電性衣服を用いることで、ユーザは多種多様な入出力デバイスを衣服上の好きな位置に配置して、様々なアプリケーションを衣服上で利用できるようになる。そして配置したデバイスの位置をオペレーションシステムが把握することでより高度なサービスを提供でき、ウェアラブルコンピューティング環境を利用しやすくなる。衣服を着てからでもデバイスの位置を検出するために、位置検出中のズレによる誤検出を想定して、2段階の点灯制御を行なうことで効率さを失わず、かつ正確にデバイス位置を検出できる手法を提案した。提案手法の有効性を検証するために評価を行ない、誤検出なく、少ない点灯回数でデバイス位置を検出できることを確認した。提案手法は、ユビキタスコンピューティング環境におけるLEDディスプレイ等へも適応できると考えられる。

第3章では、HMDによって常時情報閲覧可能であるという環境を活かすために、情報提示の空き時間を利用する手法を提案した。認知心理学において、先行刺激を与えることによって、後続の刺激に対する処理が無意識的に促進されるプライミング効果が存在し、提案手法ではこの効果を情報提示システムに適用し、ユーザが取得したい情報に関連する映像を提示することで、低負荷で無意識的に価値のある実世界情報を取得できるシステムを実装した。2種類の評価実験の結果、HMDに提示された情報にユーザは引きつけられることを確認し、提案手法の有用性を示した。同時に、常時情報

閲覧環境はユーザの心身に影響を与えていることがわかり、その他の効果についても調べ、悪用されないようにし、ユーザにとって良い効果が得られるような使い方をしていく必要があることを示した。

第4章では、ユビキタスコンピューティング環境での情報提示に使われることが増えてきている、インタラクティブシステムを様々な状況下において、センサ技術に精通していない人でも簡単にセッティング・メンテナンスできるシステムを提案した。提案システムにより、様々な素材上にインタラクティブ性を付与でき、行動認識の専門家でなくてもインタラクティブシステムを構築できた。また、2度に渡るメディアアートの展示を行ない、システムが実環境下でも耐えうることを確認した。デジタルサイネージが増えつつあるが、インタラクティブ性が付与され、より人々に受け入れられるようになることや、聴衆が楽しめるスタイルでの提示が行なわれていくことが期待できる。

第5章では、エンタテインメント現場での情報提示の効果を調べるために、観客参加型演劇 YOUPLAY を提案し、全 80 公演を行なった。公演中には、インタラクティブに、もしくはオペレータの操作により、観客の周りの映像や音声が変化するが、それらがあることにより、観客は演劇の世界に入り込むことができていた。演出を楽しむためには、恥じらいを捨てることも重要であるが、自分の動きに合わせて変化する情報提示があることによって、恥じらいを捨てやすく、より楽しみやすい環境が作られていた。しかし、システムがうまく働かず情報提示に違和感を感じさせると、エンタテインメント性が大きく損なわれることがわかり、こういったイベントでのシステム開発においてはロバストネスの強化やエラー対策が重要であることを確認した。

6.2 検討課題

本研究では、今後のウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境下における受動的な情報取得の機会の増加、常時情報を閲覧可能環境の利用を考慮して、情報提示環境を誰でも簡単に構築できるシステム、情報取得者の心身への影響を考慮した情報提示を行なうシステムを提案した。しかし、情報提示による人の心身へのその他の影響の調査し、その利用による情報提示技術のさらなる発展が今後の課題として残されている。本節では、今後検討する予定である情報提示の影響について述べる。

色や文字の視覚情報: 本研究では、常時情報閲覧環境における、静止画像と動画像による影響を探ったが、単純に色のみや、何らかの文字が提示されているだけでもユーザ

の心身へ影響を与えると考えられる。例えば、「急」や「速」といった文字がHMD上に表示されていると、作業スピードや歩行速度が無意識的に速くなる可能性がある。歩行速度を数値で表示していても同様の効果があるかもしれない。今後はそれらの影響について調べ、ユーザの状況・行動に合わせて適した表示を行なえるシステムを開発する予定である。

視覚以外の提示: ウェアラブルコンピューティング環境では、HMDのようなディスプレイ以外からも情報提示を受けることができる。耳を塞ぐ必要のない骨伝導スピーカから音声が聞け、近年商品化が急速に進むスマートウォッチには振動により通知を伝えるためのバイブレータが内蔵されており、また、匂いを出力できる香りディスプレイの研究も進んでいる [94]。これらからの情報提示が常時行なわれることによってもユーザの心身に何らかの影響を与えることは想像できる。実際に、振動を指先などに与えることにより、触覚知覚感度が向上することが確認されており [95]、その他の影響についても調査していく。

ユビキタスコンピューティング環境での提示: デジタルサイネージの増加に伴い、駅の構内などで歩行中に複数枚のディスプレイを連続して目にすることがある。歩行に合わせて連続的に映像を変化させていくような新しい提示もできるようになってきており、その効果的な提示についても探っていく。個人が装着しているHMDやスマートウォッチとの連携も考えられ、より豊かな情報量の提示もできるようになるが、そのためにもユーザの行動認識、ディスプレイ周囲の環境認識も適切に行なえるようにし、それらを統合した情報提示システムの開発を進めていく。

謝辞

本研究を推進するにあたり、直接の御指導、御助言、御討論を頂きました神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 塚本昌彦教授、寺田努准教授に衷心より感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、大変有益な御指導と御助言を多数賜りました神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 川谷充郎教授、金沢大学大学院自然科学研究科電子情報科学専攻 秋田純一教授に心より感謝申し上げます。

神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻に在学中、御教示、御激励頂いた神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻の諸先生方に感謝すると共に、諸職員の方々に感謝いたします。

本研究を進める上で惜しめない御助言、御協力を頂きました演出家/劇作家 ウォーリー木下氏、HEP HALL プロデューサー星川大輔氏を始めとする YOUPLAY スタッフの諸氏、コンセプチュアルアーティスト 迫一成氏、インテリアコーディネーター 鷗眞貴子氏に厚く御礼申し上げます。

博士課程後期課程への進学、また卒業後の進路に関して、多大なる御指導と御助言を承りました mplusplus 株式会社 藤本実氏、中田眞城子氏に深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、多くの御討論や御助言を頂きました神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻塚本・寺田研究室の諸氏に心より感謝申し上げます。

最後に、研究生生活を送る上で、暖かい御支援と多大なる御理解を頂いた両親を始めとする家族に心からの感謝と御礼を申し上げます。

参考文献

- [1] T. Stiefmeier, G. Ogris, H. Junker, P. Lukowicz, and G. Tröster: Combining Motion Sensors and Ultrasonic Hands Tracking for Continuous Activity Recognition in a Maintenance Scenario, *Proc. of the 10th IEEE International Conference on Wearable Computing (ISWC 2006)*, pp. 97–104 (Oct. 2006).
- [2] Y. Tei, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Multi-modal Information Presentation Method for Performers in Stuffed Suits, *Proc. of the 12th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM2014)*, pp. 77–84 (Dec. 2014).
- [3] 下柿元智也, 鮎澤 聡, 鈴木健嗣: 運動訓練のための実時間脈波検出と装着型提示デバイスへの応用, *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 4, pp. 1480–1488 (Apr. 2013).
- [4] K. Tsukada and M. Yasumrua: ActiveBelt: Belt-type Wearable Tactile Display for Directional Navigation, *Proc. of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004)*, pp.384–399 (Sep. 2004).
- [5] 秋田純一, 新村 達, 村上知倫, 戸田真志: 空間配置自由度が高いウェアラブルコンピュータ向けネットワークシステム, *情報処理学会論文誌*, Vol. 47, No. 12, pp. 3402–3413 (Dec. 2006).
- [6] K. Matsui, T. Terada, and S. Nishio: User Preference Learning System for Tangible User Interfaces, *Proc. of the 3rd International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2009)*, pp. 766–771 (Mar. 2009).
- [7] L. Buechley and M. Eisenberg: Fabric PCBs, Electronic Sequins, and Socket Buttons: Techniques for e-textile Craft, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 13, No. 2, pp. 133–150 (Feb. 2009).
- [8] R. Ueoka, H. Kobayashi, and M. Hirose: SoundTag: RFID Based Wearable Computer Play Tool for Children, *Transactions on Edutainment III*, Vol. 5940, pp. 36–47 (2009).

- [9] L. Buechley, M. Eisenberg, J. Catchen, and A. Crockett: The LilyPad Arduino: using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education, *Proc. of the 26th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, pp. 423–432 (Apr. 2008).
- [10] 藤本 実, 藤田直生, 寺田 努, 塚本昌彦: Lighting Choreographer: ウェアラブルLEDパフォーマンスシステムの設計と実装, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 16, No. 3, pp. 517–525 (Sep. 2011).
- [11] Musical Jacket, <http://opera.media.mit.edu/levis/>.
- [12] J. Berzowska and M. Coelho: Memory-Rich Clothing, *Proc. of the 24th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006)*, pp. 275–278 (Apr. 2006).
- [13] E. Wade and H. Asada: Conductive Fabric Garment for a Cable-Free Body Area Network, *Proc. of the 5th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2007)*, Vol. 6, No. 1, pp. 52–58 (May 2007).
- [14] N. B. Bharatula, P. Lukowicz, and G. Tröster: Functionality-power-packaging Considerations in Context Aware Wearable Systems, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 12, No. 2, pp. 123–141 (Jan. 2008).
- [15] S. Baurley, P. Brock, E. Geelhoed, and A. Moore: Communication-Wear: User Feedback as Part of a Co-Design Process, *Proc. of the 2nd Haptic and Audio Interaction Design (HAID 2007)*, Vol. 4813, pp. 56–68 (Nov. 2007).
- [16] C. Mattmann, F. Clemens, and G. Tröster: Sensor for Measuring Strain in Textile: *Sensors*, Vol. 8, No. 6, pp. 3719–3732 (June 2008).
- [17] K. V. Laerhoven, N. Villar, A. Schmidt, H. W. Gellersen, M. Hakansson, and L. E. Holmquist: Pin&Play: The Surface as Network Medium, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 4, pp. 90–96 (Apr. 2003).
- [18] F. Helin, T. Hoglund, R. Zackaroff, M. Hakansson, S. Ljungblad, and L. E. Holmquist: Supporting Collaborative Scheduling with Interactive Pushpins and

- Networking Surfaces, *Proc. of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004)*, demo (Sep. 2004).
- [19] J. Lifton, D. Seetharam, M. Broxton, and J. Paradiso: Pushpin Computing System Overview: A Platform for Distributed, Embedded, Ubiquitous Sensor Networks, *Proc. of the 1st International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2002)*, pp. 139–151 (Aug. 2002).
- [20] M. Broxton, J. Lifton, and J. A. Paradiso: Localizing a Sensor Network via Collaborative Processing of Global Stimuli, *Proc. of the 2nd European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN 2005)*, pp. 321–332 (Jan./Feb. 2005).
- [21] P. Bahl and V. Padmanabhan: RADAR: an in-building RF-based User Location and Tracking System, *Proc. of the 19th IEEE International Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2000)*, Vol. 2, pp. 775–784 (Mar. 2000).
- [22] T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Miskangas, and J. Sievanen: A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation, *International Journal of Wireless Information Networks (IJWIN)*, Vol. 9, No. 3, pp. 155–164 (July 2002).
- [23] A. Hatami and K. Pahlavan: Comparative Statistical Analysis of Indoor Positioning using Empirical Data and Indoor Radio Channel Models, *Proc. of the 3rd Consumer communications and networking conference (CCNC 2006)*, pp. 1018–1022 (Jan. 2006).
- [24] 中田眞深, 児玉賢治, 藤田直生, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: プロジェクタによる一斉制御が可能なユビキタス光デバイスの設計と実装, *情報処理学会論文誌*, Vol. 50, No. 12, pp. 2871–2880 (Dec. 2009).
- [25] G. Lee and Y. Ahn: An LED Display using Active Reflectors and Free-Space Optical Transmission, *Proc. of the 35th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2008)*, Posters, p. 46:1 (Aug. 2008).
- [26] K. Nakatsuma and H. Shinoda: High Accuracy Position and Orientation Detection in Two- Dimensional Communication Network, *Proc. of the 28th International*

- Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2010)*, pp. 2297–2306 (Apr. 2010).
- [27] Y. Kishino, T. Terada, N. Villar, H. Gellersen, and S. Nishio: A Position Detection Mechanism enabling Location-aware Pin&Play, *International Journal of Smart Home (IJSH)*, vol. 1, No. 1, pp. 31–39 (Apr. 2007).
- [28] PhoeniX Technologies: The Visualeyex System, <http://ptiphoenix.com/>.
- [29] PhageSpace, Inc.: Phase Space motion digitizer, <http://www.phasespace.com/>.
- [30] N. Matsushita, D. Hihara, T. Ushiro, S. Yoshimura, J. Rekimoto, and Y. Yamamoto: ID CAM: a smart camera for scene capturing and ID recognition, *Proc. of the 2nd International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003)*, pp. 227–236 (Oct. 2003).
- [31] A. Chandler, J. Finney, C. Lewis, and A. Dix: Toward Emergent Technology for Blended Public Displays, *Proc. of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2009)*, pp. 101–104 (Sep./Oct. 2009).
- [32] OpenCV. <http://opencv.jp/>.
- [33] 岡田智成, 山本哲也, 寺田 努, 塚本昌彦: ウェアラブル MC システム: 司会進行を支援するウェアラブルシステムの設計と実装, コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 28, No. 2, pp. 162–171 (May 2011).
- [34] N. V. Pham, T. Terada, M. Tsukamoto, and S. Nishio: An Information Retrieval System for Supporting Casual Conversation in Wearable Computing Environments, *Proc. of the 5th International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC 2005)*, pp. 477–483 (June 2005).
- [35] E. Turving and D. L. Schacter: Priming and Human Memory Systems, *Science*, Vol. 247, No. 4940, pp. 301–306 (Jan. 1990).
- [36] 田中宏平, 寺田 努, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピューティングのためのユーザ状況を考慮した知覚影響度に基づく情報提示手法, 情報処理学会マルチメディア

- ア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2008) 論文集, Vol. 2008, pp. 1479–1486 (July 2008).
- [37] 矢高真一, 田中宏平, 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピューティングのための状況依存音声情報提示手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 51, No. 12, pp. 2384–2395 (Dec. 2010).
- [38] G. Lupyan and D. Swingle: Self-Directed Speech Affects Visual Search Performance, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 0, Issue. 0, pp. 1–18 (Dec. 2011).
- [39] T. J. Vickery, L. W. King, and Y. Jiang: Setting Up the target Template in Visual Search, *Journal of Vision*, Vol. 5, No. 1, pp. 81–92 (Feb. 2005).
- [40] J. L. Harris, J. A. Bargh, and K. D. Brownell: Priming Effects of Television Food Advertising on Eating Behavior, *Health Psychology*, Vol. 28, No. 4, pp. 404–413 (July 2009).
- [41] R. W. DeVaul, A. S. Pentland, V. R. Corey: The Memory Glasses: Subliminal vs. Overt Memory Support with Imperfect Information, *Proc. of the 7th IEEE International Conference on Wearable Computing (ISWC 2003)*, pp. 146–153 (Oct. 2003).
- [42] L. L. Jacoby and M. Dallas: On the Relationship between Autobiographical Memory and Perceptual Learning, *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 110, No. 3, pp. 306–340 (Sep. 1981).
- [43] 株式会社ナックイメージテクノロジー, EMR-9: http://eyemark.jp/product/emr_9/index.html.
- [44] Vuzix, M100: http://www.vuzix.com/consumer/products_m100/.
- [45] 中村憲史, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦: 虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 4, pp. 1433–1441 (Apr. 2013).
- [46] N. Matsushita and J. Rekimoto: HoloWall: Designing a Finger, Hand, Body, and Object Sensitive Wall, *Proc. of the 10th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 1997)*, pp. 209–210 (Oct. 1997).

- [47] H. Ishii, C. Wisneski, J. Orbanes, B. Chun, and J. Paradiso: PingPongPlus: Design of an Athletic-tangible Interface for Computer-supported Cooperative Play, *Proc. of the 17th SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 1999)*, pp. 394–401 (May 1999).
- [48] Y. Arita, T. Miyake, N. Yamamoto, P. Ravindra S De Silva, and M. Okada: HINOCO - An Interface to Colligate the Virtual-World and Real-World, *Proc. of the 13th Virtual Reality International Conference (VRIC 2011)*, pp. 18–19 (Apr. 2011).
- [49] T. Fukasawa, K. Fukuchi, and H. Koike: A Vision-Based Non-contact Interactive Advertisement with a Display Wall, *Proc. of the 5th International Conference on Entertainment Computing (ICEC 2006)*, Posters, pp. 394–397 (Sep. 2006).
- [50] J. Moeller and A. Kerne: ZeroTouch: an Optical Multi-Touch and Free-Air Interaction Architecture, *Proc. of the 30th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012)*, pp. 2165–2174 (May 2012).
- [51] E. Sawada, S. Ida, T. Awaji, K. Morishita, T. Aruga, R. Takeichi, T. Fujii, H. Kimura, T. Nakamura, M. Furukawa, N. Shimizu, T. Tokiwa, H. Nii, M. Sugimoto, M. Inami: BYU-BYU-View: a Wind Communication Interface, *Proc. of the 34th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2007)* (Aug. 2007).
- [52] Y. Okuno, H. Kakuta, and T. Takayama: Jellyfish Party: Blowing Soap Bubbles in Mixed Reality Space, *Proc. of the 2nd International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003)*, pp. 358–359 (Oct. 2003).
- [53] M. Katsura and M. Inakage: livePic, *Proc. of the 33rd International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2006)* (July 2006).
- [54] D. Iwai and K. Sato: Heat Sensation in Image Creation with Thermal Vision, *Proc. of the 2nd International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2005)*, pp. 213–216 (June 2005).

- [55] Y. Sakamoto, T. Yoshikawa, T. Oe, B. Shizuki, and J. Tanaka: Constructing an Elastic Touch Panel with Embedded IR-LEDs using Silicone Rubber, *Proc. of IADIS International Conference Interfaces and Human Computer Interaction (IHCI 2012)*, pp. 21–23 (July 2012).
- [56] M. Sato, I. Poupyrev, and C. Harrison: Touchè: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects, *Proc. of the 30th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012)*, pp. 483–492 (May 2012).
- [57] Weka 3: Data Mining Software in Java, <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- [58] G. Webb: Decision Tree Grafting From the All-Tests-But-One Partition, *Proc. of the 16th international joint conference on Artificial intelligence (IJCAI 1999)*, pp. 702–707 (July 1999).
- [59] S. K. Shevade, S. S. Keerthi, C. Bhattacharyya and K. R. K. Murthy: Improvements to the SMO Algorithm for SVM Regression, *Proc. of Neural Networks, IEEE Transactions on*, Vol. 11, No. 5, pp. 1188–1193 (Sep. 2000).
- [60] ASUS: Xtion PRO LIVE, http://www.asus.co.jp/Multimedia/Motion_Sensor/Xtion_PRO_LIVE/.
- [61] Y. Takegawa, K. Fukushi, T. Machover, T. Terada, and M. Tsukamoto: Construction of a Prototyping Support System for Painted Musical Instruments, *Proc. of the 9th Advances in Computer Entertainment Conference (ACE 2012)*, pp. 384–397 (Nov. 2012).
- [62] 中村 誠, 寺田 努, 塚本昌彦: 危険回避のための人物誘導機構をもつ野外学習システムの設計と実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014) 論文集, pp. 982–990 (July 2014).
- [63] F. Sparacino, G. Davenport, and A. Pentland: Media in Performance: Interactive Spaces for Dance, Theater, Circus, and Museum Exhibits, *IBM Systems Journal*, Vol. 39, Nos. 3 & 4, pp. 479–510 (2000).

- [64] 岩館裕一, 井上正之, 鈴木良太郎: 身体動作からの感性特徴量の抽出に関する検討: インタラクティブダンスへの応用, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 24, No. 29, pp. 7–12 (May 2000).
- [65] 牧成一, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: ダンスパフォーマンスのための動作に基づく映像効果制御システム, 情報処理学会研究報告 (2009-EC-12), Vol. 2000, No. 26, pp. 53–58 (Mar. 2009).
- [66] messa di voce: <http://www.tnema.org/messa/messa.html>.
- [67] ATSUSHI NAKASHIMA: 2014-15 年秋冬コレクション Numéripue: <http://www.fashion-press.net/news/10243>.
- [68] 渡邊淳司, V. M. Adriana, 田畑哲稔: Augmented Performance with Catalytic Devices, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 4, pp. 459–470 (Dec. 2002).
- [69] 藤本 実, 藤田直生, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: ウェアラブルダンシング演奏システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 12, pp. 2900–2909 (Dec. 2009).
- [70] 菅家浩之, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: Airstic Drum: 実ドラムと仮想ドラムを統合するためのドラムスティックの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1391–1401 (Apr. 2013).
- [71] 平沢 進: インタラクティブ・ライブ: <http://noroom.susumuhirasawa.com/modules/artist/interactive-live.html>.
- [72] SYNK: <http://hexler.net/software/synk>.
- [73] DROW: <http://drow.jp/>.
- [74] rhizomatiks: works: <http://rhizomatiks.com/works/>.
- [75] NxPC.Lab: <http://nxpclab.info/>.
- [76] 白井大地, 白鳥 啓, 岡村綾子, 平林真実: iPhone による観客と VJ のセッションシステム, インタラクション 2011, No. 1SCL-7 (Mar. 2011).

- [77] M. Hirabayashi and M. Shimizu: Cryptone: interaction between performers and audiences with inaudible DTMF sounds, *Proc. of SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*, No. 5, pp. 1–4 (Nov. 2012).
- [78] 平林真実, 清水 基: Cryptone:音楽会場におけるパフォーマと観客の相互インタラクションのためのシステム, *インタラクション 2013*, pp. 302–306 (Feb. 2013).
- [79] 平林真実, 江島和臣: 高可聴域音による音声 ID の観客参加型音楽作品への応用, *インタラクション 2014*, pp. 661–664 (Mar. 2014).
- [80] Aphex Twin Face Mapping at London Electronic Festival: <https://www.youtube.com/watch?v=rGosqmf-740>.
- [81] 川本真一, 足立吉広, 大谷大和, 四倉達夫, 森島繁生, 中村 哲: 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 2, pp. 250–264 (Feb. 2010).
- [82] Xylobands: <http://www.xylobands.com/>.
- [83] フリフラ: <http://www.smci.jp/mob/titl/titlShw.php?site=smci&ima=1816&=ROB0004&cd=S00007>.
- [84] Pixmob: <http://pixmob.com/>.
- [85] ニコニコ生放送: <http://live.nicovideo.jp/>.
- [86] Showroom: <https://www.showroom-live.com/>.
- [87] 米澤拓郎, 徳田英幸: 視聴者参加型ライブ演出システムの実装と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No. 3, pp. 1007–1016 (Mar. 2012).
- [88] YOUPLAY: <http://youplay.jp/>.
- [89] R. Izuta, K. Murao, T. Terada, and M. Tsukamoto: Early Gesture Recognition Method with an accelerometer, *Proc. of the 12th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM2014)*, pp. 43–51 (Dec. 2014).
- [90] sunday: <http://sunday-go.jp/>.

- [91] 劇団 Patch: <http://www.west-patch.com/>.
- [92] Twitter: <https://twitter.com/>.
- [93] YouTube: <https://www.youtube.com/>.
- [94] 鈴木理沙, 深澤 彩, 岡田謙一: 映像に同期させた香りデザインツールの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 8, pp. 1909–1917 (Aug. 2014).
- [95] Y. Kurita, M. Shinohara, and J. Ueda: Wearable Sensorimotor Enhancer for Fingertip using Stochastic Resonance Effect, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 43, Issue 3, pp. 333–337 (May 2013).
- [96] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: アプリケーション機能自動割当てのための導電性衣服分割手法, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2009 論文集, p. 8 (Nov. 2009).
- [97] 磯山直也, 寺田 努, 秋田純一, 塚本昌彦: 導電性素材上に配置されたデバイスのためのカメラを用いた位置検出手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2010) 論文集, Vol. 2010, pp. 1983–1991 (July 2010).
- [98] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 導電性衣服上に配置されたデバイスの位置取得システムの設計と実装, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2010 論文集, p. 26 (Dec. 2010).
- [99] N. Isoyama, T. Terada, J. Akita, and M. Tsukamoto: A Method to Control LED Blinking for Position Detection of Devices on Conductive Clothes, *Proc. of the 9th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2011)*, pp. 123–130 (Dec. 2011).
- [100] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ユーザの関心への気付きを与える常時映像閲覧システム, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2012-UBI-35), Vol. 2012-UBI-35, No. 7, pp. 1–6 (July 2012).
- [101] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 常時情報閲覧環境の空き時間を利用したユーザの関心事へと引き込みを行なうシステムの設計と実装, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2012 論文集, p. 4 (Dec. 2012).

- [102] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 加速度センサを用いてタッチ位置を検出可能なインタラクティブスクリーンの提案, *ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2012* 論文集, p. 24 (Dec. 2012).
- [103] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: Primer Streamer: ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム, *インタラクシオン2013* 論文集, pp. 17–24 (Feb. 2013).
- [104] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 平面をインタラクティブにする加速度センサを用いたユーザアクション認識手法, *情報処理学会研究報告 (ヒューマンコンピュータインタラクシオン研究会 2013-HCI-153)*, Vol. 2013-HCI-153, No. 6, pp. 1–8 (May 2013).
- [105] N. Isoyama, T. Terada, J. Akita, and M. Tsukamoto: A Position Detection Method of Devices on Conductive Clothes by Controlling LED Blinking, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing (IJWMIP)*, Vol. 11, No. 2, pp. (1350020)1–23 (Mar. 2013).
- [106] N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Interactive Surface that Recognizes User Actions using Accelerometers, *Proc. of the 12th NICOGRAPH International 2013*, pp. 72–80 (June 2013).
- [107] N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: Primer Streamer: a System to Attract Users to Interests via Images on HMD, *Proc. of the 11th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2013)*, pp. 93–99 (Dec. 2013).
- [108] N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Interactive System for Recognizing User Actions on a Surface using Accelerometers, *Proc. of the 5th Augmented Human Conference (AH 2014)*, No. a57 (Mar. 2014).
- [109] 磯山直也, ウォーリー木下, 出田 怜, 寺田 努, 塚本昌彦: 観客参加型演劇 YOU-PLAY におけるインタラクシオン設計, *エンタテインメントコンピューティング2014 (EC2014)*, pp. 168–179 (Sep. 2014).

- [110] N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: A System for Recognizing User Actions on an Interactive Surface using Accelerometers, *The Journal of the Society for Art and Science*, Vol. 13, No. 4, pp. 198–217 (Dec. 2014).
- [111] 磯山直也, 木下晶弘, 出田 怜, 寺田 努, 塚本昌彦: 観客参加型 YOUPLAY でのインタラクティブシステム運用, *インタラクション 2015 論文集*, to appear (Mar. 2015).
- [112] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 17, No. 1, to appear (Feb. 2015).

関連発表論文

学会論文誌発表論文

1. N. Isoyama, T. Terada, J. Akita, and M. Tsukamoto: A Position Detection Method of Devices on Conductive Clothes by Controlling LED Blinking, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing (IJWMIP)*, Vol. 11, No. 2, pp. (1350020)1–23, 2013.
2. N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: A System for Recognizing User Actions on an Interactive Surface using Accelerometers, *The Journal of the Society for Art and Science*, Vol. 13, No. 4, pp. 198–217, 2014.
3. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 17, No. 1, 2015 to appear.

国際会議等発表論文

1. N. Isoyama, T. Terada, J. Akita, and M. Tsukamoto: A Method to Control LED Blinking for Position Detection of Devices on Conductive Clothes, *The 9th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2011)*, pp. 123–130, 2011.
2. N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Interactive Surface that Recognizes User Actions using Accelerometers, *The 12th NICOGRAPH International 2013*, pp. 72–80, 2013.
3. N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: Primer Streamer: a System to Attract Users to Interests via Images on HMD, *The 11th International Con-*

ference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2013), pp. 93–99, 2013.

4. N. Isoyama, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Interactive System for Recognizing User Actions on a Surface using Accelerometers, *The 5th Augmented Human Conference (AH 2014)*, No. a57, pp. 1–2, 2014.

研究会等発表論文 (査読付)

1. 磯山直也, 寺田 努, 秋田純一, 塚本昌彦: 導電性素材上に配置されたデバイスのためのカメラを用いた位置検出手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2010) 論文集, Vol. 2010, pp. 1983–1991, 2010.
2. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: Primer Streamer: ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム, インタラクシオン2013 論文集, pp. 17–24, 2013.

その他の研究会発表論文

1. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: アプリケーション機能自動割当てのための導電性衣服分割手法, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2009 論文集, p. 8, 2009.
2. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 導電性衣服上に配置されたデバイスの位置取得システムの設計と実装, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ2010 論文集, p. 26, 2010.
3. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: Multi-tiles: 部分回転が可能なプロジェクタスクリーン, 日本ソフトウェア科学会第19回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 (WISS2011) 論文集, pp. 202–203, 2011.

4. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 部分回転が可能なスクリーン Multi-tiles の設計と実装, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2011 論文集, p. 13, 2011.
5. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ユーザの関心への気付きを与える常時映像閲覧システム, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2012-UBI-35), Vol. 2012-UBI-35, No. 7, pp. 1-6, 2012.
6. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: Multi-tiles: 部分回転可能なスクリーンを用いた情報提示システム, エンタテインメントコンピューティング 2012 (EC2012), pp. 170-178, 2012.
7. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 常時情報閲覧環境の空き時間を利用したユーザの関心事へと引き込みを行なうシステムの設計と実装, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2012 論文集, p. 4, 2012.
8. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 加速度センサを用いてタッチ位置を検出可能なインタラクティブスクリーンの提案, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2012 論文集, p. 24, 2012.
9. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 平面をインタラクティブにする加速度センサを用いたユーザアクション認識手法, 情報処理学会研究報告 (ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 2013-HCI-153), Vol. 2013-HCI-153, No. 6, pp. 1-8, 2013.
10. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: 靴底と床面の通電を用いた位置検出システムの提案, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2013 論文集, p. 14, 2013.
11. 磯山直也, ウォーリー木下, 出田 怜, 寺田 努, 塚本昌彦: 観客参加型演劇 YOUPLAY におけるインタラクション設計, エンタテインメントコンピューティング 2014 (EC2014), pp. 168-179, 2014.
12. 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ライブ会場での腕振り動作を促進する LED ライトシステムの提案, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2014 論文集, p. 24, 2014.

13. 磯山直也, 木下晶弘, 出田 怜, 寺田 努, 塚本昌彦: 観客参加型 YOUPLAYY でのインタラクティブシステム運用, インタラクション 2015 論文集, 2015 to appear.

以上

A 付録

4章で用いた全特徴量リスト

特徴量の種類	時間区間
平均	1sec, 0.5sec, 0.25sec
分散	1sec, 0.5sec, 0.25sec
最大値	1sec, 0.5sec, 0.25sec
最小値	1sec, 0.5sec, 0.25sec
ピークピーク値	1sec, 0.5sec, 0.25sec
クロッシングカウント	1sec, 0.5sec, 0.25sec
全センサのピークピーク値の平均との差	1sec, 0.5sec, 0.25sec
分散	1sec, 0.5sec, 0.25sec
ピークピーク値の順位	1sec, 0.5sec, 0.25sec
クロッシングカウント	1sec, 0.5sec, 0.25sec
全センサのピークピーク値の平均との差の順位	1sec, 0.5sec, 0.25sec
5 データ毎の分散の分散	1sec, 0.5sec, 0.25sec
10 データ毎の分散の分散	1sec, 0.5sec, 0.25sec
5 データ毎の分散の平均	1sec, 0.5sec, 0.25sec
10 データ毎の分散の平均	1sec, 0.5sec, 0.25sec
5 データ毎の分散の分散の順位	1sec, 0.5sec, 0.25sec
10 データ毎の分散の分散の順位	1sec, 0.5sec, 0.25sec
5 データ毎の分散の平均の順位	1sec, 0.5sec, 0.25sec
10 データ毎の分散の平均の順位	1sec, 0.5sec, 0.25sec
時間区間内の前半後半の差 (平均)	1sec
時間区間内の前半後半の差 (分散)	1sec
時間区間内の前半後半の差 (最大値)	1sec
時間区間内の前半後半の差 (最小値)	1sec
時間区間内の前半後半の差 (ピークピーク値)	1sec
時間区間内の前半後半の差 (クロッシングカウント)	1sec
時間区間内の前半後半の差 (全センサのピークピーク値の平均との差)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (平均)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (分散)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (最大値)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (最小値)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (ピークピーク値)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (クロッシングカウント)	1sec
時間区間内の前半後半の商 (全センサのピークピーク値の平均との差)	1sec

特微量の種類	時間区間
時間区間を4分割したそれぞれの差 (平均)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの差 (分散)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの差 (最大値)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの差 (最小値)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの差 (ピークピーク値)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの差 (クロッシングカウント)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの差 (全センサのピークピーク値の平均との差)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 平均	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 (分散)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 (最大値)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 (最小値)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 (ピークピーク値)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 (クロッシングカウント)	1sec
時間区間を4分割したそれぞれの商 (全センサのピークピーク値の平均との差)	1sec
各センサ間の差 (分散)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (最大値)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (最小値)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (ピークピーク値)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (クロッシングカウント)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (5 データ毎の分散の分散)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (10 データ毎の分散の分散)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (5 データ毎の分散の平均)	1sec, 0.5sec
各センサ間の差 (10 データ毎の分散の平均)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (分散)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (最大値)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (最小値)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (ピークピーク値)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (クロッシングカウント)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (5 データ毎の分散の分散)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (10 データ毎の分散の分散)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (5 データ毎の分散の平均)	1sec, 0.5sec
各センサ間の商 (10 データ毎の分散の平均)	1sec, 0.5sec
各センサの揺れ始めまでの時間の分散	
各センサの揺れ始めまでの時間の差	
揺れ始めから最大値までの時間	
揺れ始めから最小値までの時間	
平均と最大値・最小値の差がどちらが大きいか	

神戸大学博士論文「ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング環境のための高度
情報提示に関する研究」全 139 頁

提出日 2015 年 1 月 23 日

本博士論文が神戸大学機関リポジトリ Kernel にて掲載される場合、掲載登録日（公開
日）はリポジトリの該当ページ上に掲載されます。

© 磯山 直也

本論文の内容の一部あるいは全部を無断で複製・転載・翻訳することを禁じます。