

可視光通信を利用した懐中電灯型インタフェースによる実世界指向インタラクション

鳴海 拓志^{†1} 檜山 敦^{†2}
谷川 智洋^{†3} 廣瀬 通孝^{†3}

ユビキタスコンピューティング研究等の進展により、環境中の場所やモノに関する情報をユーザの興味に応じて直感的に選択・取得することができるインタフェースが必要となっている。本論文では、多重化可視光通信を利用したライト型のインタフェースを使用することで、ユーザが興味を持った場所やものを選択し、そこから関連する情報を引き出すことができるインタラクションシステムを提案する。このようなインタラクションシステムの実装として、メディアアートの展示会における展示ガイドシステムと、メディアアート作品“inter-glow”を制作した。本論文ではこれらのシステムについてのユーザの評価と、ユーザの行動を観察することで得られた知見から、提案システムの有効性を示した。

Real World Interaction with Flashlight Shaped User Interface Using Visible Light Communication

TAKUJI NARUMI,^{†1} ATSUSHI HIYAMA,^{†2}
TOMOHIRO TANIKAWA^{†3} and MICHITAKA HIROSE^{†3}

Recently, pervasive computing has been proposed to transform environments, such as public space, into intelligent spaces saturated with computing and communication capabilities. In this trend, we need a user interface that we can select and obtain information about a certain thing or a certain place intuitively with in a pervasive computing space. As such an interface, we propose the flashlight shaped interface using multiplexed visible light communication (VLC) technology. In this paper, we implemented a museum guide system with mobile user interface using multiplexed VLC. When a user shines light on the caption of an artwork, the system distinguishes the user-artwork combination and plays back audio commentary about the artwork to the user. By this action, users can interact with a real object directly and get information without turning their attention to user interface. In addition, We created an

interactive installation called “inter-glow”. “inter-glow” allows users to explore interactively relationships between characters by controlling lights. Through the observation of user behavior and questionnaire survey, we showed the effectiveness of the proposed interface system.

1. はじめに

ユビキタスコンピューティングやモバイルコンピューティング等の研究の進展によって、実世界中の場所やものがそれ自体に関する情報を持っていて、ユーザが対象の場所やものから情報を引き出せるような新しい情報環境が作りだされつつある^{1),2)}。このような情報環境下では、環境中の場所やものと結びついた情報を、ユーザの興味に応じて直感的に選択・取得することができるインタフェースが必要となってくる。

このような実世界中で対象を選択するためのインタフェースに求められる点として、まず、ユーザが、自分がどこを選択しているのかが分かることが重要であると考えられる。これはインタフェースの直観性に関わる要求事項である。次に、複数人で利用することができるシステムであることが考えられる。加えて、ユーザに負担をかけないシステムであることが考えられる。ユーザにデバイス等を装着させる場合には、できるだけシンプルな構成のデバイスであることが望ましい。

本論文では、前述の

- 自分がどこを選択しているかが分かる
- 複数人で利用できる
- 使用者に負担をかけないシンプルなデバイス構成

の3つの要求事項を満たす実世界指向のインタフェースとして、多重化可視光通信を利用した懐中電灯型のインタフェースシステムを提案する。

このシステムでは、ユーザは、実世界中で光を発する懐中電灯型のインタフェースを操作して、興味のある箇所を照らす。懐中電灯型のインタフェースが発する光には、点滅周波数を利用した可視光通信によってID情報が付加されている。受光センサの埋め込まれた場所

^{†1} 東京大学大学院工学系研究科/日本学術振興会特別研究員
Graduate School of Engineering, the University of Tokyo/JSPP

^{†2} 東京大学 IRT 研究機構
IRT Research Initiative, The University of Tokyo

^{†3} 東京大学大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology, the University of Tokyo

やオブジェクトがその ID 情報を受け取ることで、どの懐中電灯型インタフェースがどこを照らしているかを認識する。この認識結果に基づいて、ユーザに、照らされている箇所に関連する情報を音声コンテンツとして提示する。また、アプリケーションによっては、複数のユーザが同時に同じ箇所を照らしている場合には通常と異なる反応を返すようにする等、多様なインタラクションを取り入れることもできる。

以下では 2 章で関連研究について述べたあと、3 章において可視光通信技術を利用した懐中電灯型実世界指向インタフェースの実現に必要な機能と実装について述べる。4 章では、この懐中電灯型実世界指向インタフェースを利用したシステムとして制作した、展示ガイドシステムと、メディアアート作品 “inter-glow” の 2 つのアプリケーションに関して、その概要とユーザからの評価について述べる。

2. 関連研究

実世界中でオブジェクトや場所に情報を埋め込む手段としては、タグやマーカを、情報を埋め込みたい箇所に貼り付けて使用する手法が考えられる。このタグやマーカをカメラで撮影することで、ある箇所に埋め込まれた情報を取得することができる。

そのなかでも、簡便であるため、よく利用される手法がビジュアルタグを利用する方法である。1 次元のバーコードを使用する方法³⁾ や、加藤による AR Toolkit⁴⁾、Rekimoto らの CyberCode⁵⁾、reactIVision⁶⁾ といった 2 次元マーカを使用する手法が存在する。こうしたビジュアルタグを利用する方式の問題点は、人間にとって意味のない白黒パターンにより、マーカを貼付した物体の外観が損なわれてしまうことである。

そのような問題点を解決する手法として、不可視マーカを使用する研究もある^{7),8)}。たとえば中里らは再帰性反射塗料で作られた不可視マーカを IR カメラで撮影する手法を構築した⁷⁾。不可視マーカを使用する研究では、共通して赤外光が使用され、そのためこれを撮影する IR カメラが必要になる。

アクティブなタグを用いて実世界の対象物特定を行う研究としては、無線⁹⁾ や超音波¹⁰⁾ 等様々な方式が提案されている。しかし、これらの手法では数 cm の精度で位置を特定させることが難しい。精度高く検出可能なアクティブタグシステムとして、LED を使用し、その配置や発光パターンによって情報を埋め込む手法が提案されている¹¹⁾⁻¹³⁾。これらの手法ではユーザはカメラを持ち歩く必要がある。WEBCAM のような普通のカメラを用いるシステムでは低速なサンプリングしかできないため、認識速度が遅い。そのため、システムのレスポンスが遅くなることや、移動しながら利用することが難しい。また、高速カメラを使

用する手法ではそれらの点を解決することができるが、高速カメラという特殊なデバイスを使用する必要がある。また、カメラだけでなく、画像を処理し、結果を映像としてフィードバックするための PC をユーザが装備する必要があるものがほとんどである。

これまで述べた手法は、環境側にタグ等の目印を設置することで情報を配置し、ユーザがカメラ等のセンサを身につけることで環境から情報を抽出する手法である。一方、ユーザが目印となるデバイス进行操作し、環境側のセンサでそれを読み取ることで環境中の場所やものを選択する手法し、そこから情報を引き出す手法も存在する。

たとえば、ポインティングインタフェースとして、ハンドヘルドプロジェクタ^{14),15)} やレーザーポインタ¹⁶⁾ 等を使用するシステムがあげられる。Cao らは、ハンドヘルドプロジェクタを用い、照らす位置に応じて投影する映像を変化させる手法を構築した¹⁴⁾。しかし、この手法では、キャリブレーションを行った平面にしか映像を投影できないという制限がある。レーザーポインタを利用したシステムでは、レーザーポインタの光をカメラでトラッキングすることで、実世界中でマウスと同様の操作体系を実現することができる。しかし Myers らが指摘するように¹⁷⁾、レーザーポインタはユーザが使用する際のポインティングのぶれが大きいため安定した入力が行えず、通常マウスで行うような操作（線を引く、リストから項目を選択する等）を高い精度で実現できないという問題がある。

レーザーポインタと類似の手法として、懐中電灯式のインタフェースを利用したインタラクションシステムがある^{18),19)}。懐中電灯による光をインタフェースに用いると、レーザーポインタのような極端に細かいポインティング操作をすることはできないが、ぶれによるポインティングへの影響が少ない。

Green らはカメラで懐中電灯の光をトラッキングし、懐中電灯が特定の場所を照らしたときに音声情報を流すシステムを構築し、親子での学習目的での利用について検討を行っている¹⁸⁾。この手法ではカメラトラッキングで複数の懐中電灯を認識することができる。しかし、複数の光を一カ所に同時に入力した場合にはトラッキングすることができないという問題がある。

本研究では、先にあげた先行研究をふまえ、1 章でも述べた

- 自分がどこを選択しているかが分かる
- 複数人で利用できる
- 使用者に負担をかけないシンプルなデバイス構成

の 3 点を満たす手法として、懐中電灯式のインタフェースを採用する。

この懐中電灯式のインタフェースに可視光通信技術²⁰⁾⁻²²⁾ を組み合わせることで、複数

の懐中電灯型インタフェースからの光を一カ所に同時に入力しても、どの懐中電灯型インタフェースから入力を受けているかを判別できるシステムを実現する。

3. 可視光通信技術を利用した懐中電灯型インタフェース

3.1 可視光通信インタフェースの設計

3.1.1 可視光をインタフェースとしたインタラクションシステム

提案するインタラクション手法を実現するために、複数の懐中電灯型インタフェースから発せられる光を同時に入力できるようなシステムを実現する。

カメラを用いて照らされている範囲をトラッキングする手法では、複数の光源からの光を2つ以上同時に同じ箇所に入力することが難しい。そこで光自体に情報を埋め込み、複数の光を重ね合わせても判別可能なシステムを考える。

光自体に情報を埋め込む手法として、我々は可視光通信技術に着目した。可視光通信技術ではLEDを高速に点滅させることで、可視光にビット情報を乗せて通信を行う。高速点滅により時間軸方向に埋め込まれた情報は、可視光であっても人間には直接知覚できない。そこで、複数の懐中電灯型デバイスから光を入力した際にも、どのデバイスからの入力を受けているかを判別できる機能を実現するため、可視光通信技術の特性をふまえたうえで、可視光通信を多重化する方式について検討を行った。

3.1.2 点滅周波数による可視光通信の多重化

デジタル伝送の多重化によく用いられる時分割多重化を可視光通信の多重化に適用すると、同時に入力可能な光の数を増やすと、それだけ1つの光源の点灯時間が短くなる。つまり、同時に使用可能なデバイスの数を増やすと、デバイスが発する光の視認性が悪くなる。提案手法では、ユーザが自分のデバイスから発せられる光を見ることができ、インタフェースを操作するうえでの直観性にとって重要な役割を果たすと考えられる。そのため、時分割による可視光通信の多重化は、提案手法の実現には適していない。

そこで、周波数のみを利用し単純なID情報を伝送することを考え、点滅周波数を利用して可視光通信を多重化する。LEDをデューティ比50%のPWM(Pulse Wide Modulation: パルス幅変調)制御で発光させ、光源ごとに矩形波の周期の長さを変え点滅させる。この手法では、同時に利用できる光源の数にかかわらず、つねに光源が発する光の明るさは一定となる。

入力を受ける側には受光センサとしてフォトダイオードを取り付け、入力される光の強度の周波数成分を解析する。これにより、複数の光源からの光が重ね合わせて入力された場合

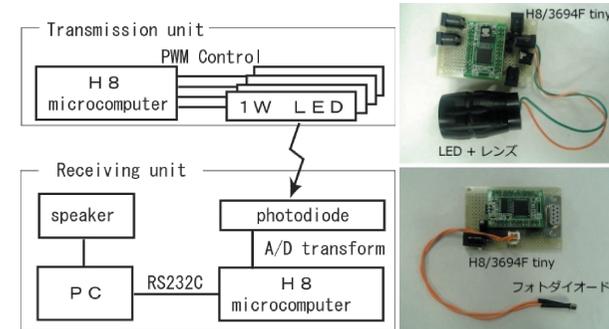


図1 システムブロック図と使用した回路
Fig.1 System block diagram and circuits.

でも、どの光源からの入力を受けているかを判別できる。判別処理にかかる時間は、同時入力する光源の数によらず、FFTの計算処理にかかる時間のみ依存する。

本システムでは、他の光源の点滅周波数の倍数にならない点滅周波数でそれぞれの光源を点滅させれば、理論上は光源の数を自由に増やすことができる。実際には、上限となる点滅周波数は、入力を受けるシステムのサンプリングレートに依存する。また、点滅周波数の下限として、見た目に不自然さがなく人間の視覚の知覚特性を考慮し、懐中電灯型デバイスの発する光がつねに一定に見える点滅周波数を選ぶ必要がある。人間が知覚できる点滅周波数の上限は約60Hzであり、それ以上ではフリッカは知覚されないことから、点滅周波数の下限は60Hz以上である必要がある。

3.2 可視光通信インタフェースの実装

前節での検討をふまえ、多重化可視光通信を利用したインタフェースシステムの実装を行った。発光ユニットの実装にはH8/3694F tinyと1W白色LEDを使用し、受光ユニットの実装にはH8/3694F tinyと受光センサであるフォトダイオード、そしてPentium Mプロセッサ1GHzを搭載したノートPCを使用した。システムブロック図と実装に使用した回路を図1に示す。

受光ユニットのH8/3694F tinyは、クロック周波数20MHzで使用し、フォトダイオードに当たる光の強度のサンプリングレートは512Hzとした。そのため、実装した受光ユニットに入力できる光の点滅周波数の上限は256Hzである。

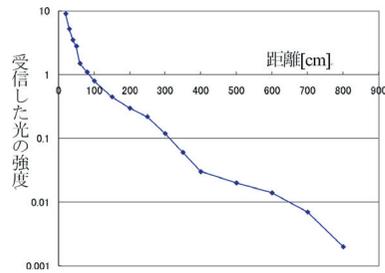


図2 受光ユニットから発光ユニットまでの距離と受光ユニットが受信した光の強度

Fig. 2 The amplifier of light received by the receiving unit and distance between the transmission unit and the receiving unit.

3.3 通信距離の評価

本節では、試作として実装した懐中電灯型インタフェースを利用できる距離を明らかにするため、受光ユニットと発光ユニットを直線上に並べ、受光ユニットから発光ユニットまでの距離と、そのときに受光ユニットが受信した光の強度を計測した。発光ユニットではLEDを150Hzで点滅させた。計測は20cmから50cmまでは10cm刻みで行い、50cmから800cmまでは50cm刻みで行った。計測結果のグラフを図2に示す。

図2のグラフは横軸が受光ユニットと発光ユニット間の距離、縦軸は受光ユニットの内部で用いている周波数成分の大きさを示す無次元数である。本システムにおいて、蛍光灯等の環境光の影響で受信した光の強度データに現れるノイズの最大値を計測したところ0.1以下であった。そこで懐中電灯型インタフェースからの光が入力されているかどうかを判別する閾値を0.1に設定することで、環境光等の影響を受けることなく懐中電灯型インタフェースによって入力を行うことができるという指針を得た。閾値を0.1に設定した場合に、本実装で安定して受光ユニットと発光ユニットが通信を行える距離は約3mとなる。

4. アプリケーションと評価

4.1 概要

提案する可視光通信技術を利用した懐中電灯型インタフェースシステムのアプリケーションとして2つのシステムを構築した。1つ目は、メディアアートの展示会場における展示ガイドシステムである。このシステムは複数のユーザが複数の受光ユニットに光を入力するのを並列に処理して判別し、ユーザごとに異なる情報を返すシステムである。



図3 試作可視光通信インタフェースと使用の様子

Fig. 3 Visible light communication user interface and museum guide system.

2つ目は、メディアアート作品“inter-glow”である。この作品では、1人または複数人のユーザが可視光通信インタフェースを操作し、入力の組合せによって異なる音声コンテンツを聞くことができる。

本章ではこれらのアプリケーションについて、それぞれ概要を述べたあと、ユーザからの評価やユーザの行動の観察結果をふまえたうえで、提案システムについての考察を行う。

4.2 可視光インタフェースを利用した展示ガイドシステム

第1のアプリケーションとして、可視光インタフェースを利用した展示ガイドシステムの構築を行った。この展示ガイドシステムは、メディアアートの展示会場でユーザに作品情報を提供する目的で構築された。

この展示ガイドシステムでは、ユーザはBluetoothヘッドフォンを装着し、懐中電灯型インタフェースを持ち歩く。展示作品の近くにあるキャプションには、提案システムの受光ユニットが埋め込まれている。ユーザが展示物のキャプションに光を当てると、光を入力しているユーザと入力を受けている展示作品の組合せをシステムが判別し、光を入力しているユーザにだけ展示作品に関する解説を音声情報で提示する。これにより、複数のユーザが同じ展示会場にいても、ユーザは自分の興味のある作品の情報だけを選択して入手することができる。

このシステムでは、150Hzと250Hzで点滅させた2つの懐中電灯型インタフェースを使用した。そのため、システムは同時に2人まで利用可能であった。試作した可視光通信インタフェースとその使用の様子を図3に示す。また、約10m×10mの会場には4つの作品が置かれ、受光ユニットとキャプションも4つ設置した。

4.3 ユーザによる展示ガイドシステムの評価

本節では、可視光インタフェースを利用した展示ガイドシステムを体験した来場者の反応

と、15人の被験者から得られたアンケートの結果について述べる。

可視光インタフェースのアプリケーションとしての展示ガイドシステムを評価するために、15人の被験者を対象にアンケート調査を行った。被験者には、まず、キャプションに可視光インタフェースの光を当てると音声解説を聞くことができ、音声解説は光を当てている間だけ再生されることを伝えた。その後可視光インタフェースを使いながら自由に展示会を鑑賞してもらった。アンケートとしては、可視光インタフェースによる展示ガイドシステムは操作がしやすかったか、可視光インタフェースが反応する範囲が適切であったかについて5段階(-2:とても悪い, -1:悪い, 0:どちらともいえない, 1:良い, 2:とても良い)で評価してもらった。また、各5段階評価の理由と、そのほか使用して感じたことについて自由に記述してもらった。

可視光インタフェースによる展示ガイドシステムは操作がしやすかったかという設問の回答は、平均1.2点であった。照らすだけで知りたい作品の情報が得られるのが直観的であったという回答が多く得られ、マイナスの評価をつける被験者がいなかったことから、可視光インタフェースが直観的に使用できるインタフェースになっていたといえる。その他の意見として、光を当て続けるのに少し疲れた、といった問題点も指摘された。

可視光インタフェースが反応する範囲が適切であったかという設問の回答は、平均0.87点であった。反応する距離については十分であると評価するコメントが得られたが、光を当てるべき場所が狭いように感じた、といった、センサ側の問題点を指摘するコメントが複数得られた。

その他自由記述では、「美術館等にあるボタンを押す解説端末よりも使いやすい」、「光を当てるという単純な操作だけで済むので聞きたいと思ったときにすぐ聞け、聞きたくなくなったときは光を当てのをやめればよい点が良い」といったようなコメントが得られた一方で、「明るい場所でも使用できるかが気になる」、「少人数で使用する分には作品との光の干渉はあまり気にならなかったが、多人数で使用するときには気にならないか」といった点が課題としてあげられた。

4.4 可視光通信インタフェースを利用したメディアアート作品“inter-glow”

第2のアプリケーションとして、可視光インタフェースを利用したメディアアート作品、“inter-glow”(図4)を制作した。

“inter-glow”の外観はリビングを模したミニチュアの空間になっており、テーブルと4脚の椅子、そして空間を照らす4つのライトで構成されている。この4つのつねに点灯するライトは可視光インタフェースの発光ユニットになっており、それぞれ120 Hz, 150 Hz,

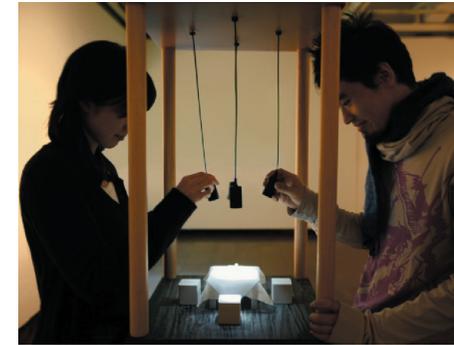


図4 inter-glow

Fig. 4 inter-glow.

200 Hz, 250 Hz という異なる周波数で点滅している。テーブルには受光ユニットが1つ埋め込まれて配置されている。

本作品では、1人または複数人のユーザが4つのライトを操作する。自然な状態では作品の上部から吊り下がり椅子の模型を照らしているライトを、ユーザが手にとってテーブルの上を照らすことで、照らしている間だけ音声コンテンツを聞くことができる仕組みになっている。このとき、再生される音声コンテンツは、入力される光の組合せによって変化する。4つのライトには、それぞれ4人家族の構成員である父・母・息子・娘のどれかのキャラクターが割り当てられており、たとえば母のキャラクターが割り振られたライトだけを入力すると母のモノログを聞くことができ、父と娘のキャラクターが割り振られたライトを同時に入力した場合には、父と娘の会話を聞くことができる。

制作にあたって、本作品のコンセプトを、「同じ空間を共有する者同士の交流」と設定した。そのため、作品のモチーフとして、同居はしているが普段はばらばらな生活を送っている家族と、家族の交流の場所であるリビングを選んだ。

このコンセプトとモチーフ設定の理由は、1つにはユーザに、作品のミニチュア空間の中でキャラクターを会話させる体験を提供し、会話の内容からキャラクターの間の交流を感じてもらうことで、家族の良さや人と交流することの良さを感じてもらいたい狙いである。さらには、複数のユーザが協力してキャラクターの会話を聞くという体験を通して、同時に作品を体験したユーザの間にも交流をうみだそうという狙いであった。

4つの発光ユニットを使用したとき、1つの受光ユニットへの光の入力の組合せとしては、

表 1 光の組合せと再生される音声コンテンツの種類
Table 1 Combination of lights and conversations.

状態	組み合わせの数	再生される音声コンテンツの種類
入力なし	1通り	---
一種類のライトを入力	4通り	一人のキャラクターのモノローグ
二種類のライトを入力	6通り	二人のキャラクター間の会話
三種類のライトを入力	4通り	三人のキャラクター間の会話
四種類のライトを入力	1通り	四人のキャラクター間の会話

入力される光が1つの発光ユニットからの場合に4通り、2つからの場合に6通り、3つからの場合に4通り、4つすべてを入力する場合は1通りの、計15通りの入力の組合せが考えられる。光の入力の組合せと再生されるコンテンツの種類を表1に示す。

“inter-glow”では、1つのライトからのみ光を入力した場合には、そのライトに割り当てられたキャラクターのモノローグが再生される。4つのライトは見た目には区別がつかないようにしており、体験者がテーブルに1つの光を当ててモノローグを聞くことによって始めてそのライトが家族の誰を表しているかを知ることができる。モノローグは10秒程度の短いものであり、キャラクター自身に関する情報が含まれている（例：晴美です。46歳専業主婦です。趣味は旅行でこの前は日帰りで日光に…）。短いモノローグをいくつか聞くことで、体験者はキャラクターについて知り、キャラクター像をはっきりとさせていくことができる。

また、2つ以上のライトを同時に入力した場合には、入力した光に割り当てられたキャラクターの間での会話が再生される。会話は10秒～30秒であり、キャラクター間の関係に関する情報が含まれている（例：娘「お母さん、私彼氏ができたんだけどさー」母「あら、よかったじゃない」娘「うん、けどうるさいからお父さんにはいわないよね」…）。キャラクター間の会話を聞くことで、体験者は家族内の人間関係について知ることができる。

モノローグは4人のキャラクターにつきそれぞれ4または5種類（計19種類）、2人または3人のキャラクター間の会話がそれぞれの組合せにつき2種類ずつ（計20種類）、4人での会話が1種類用意されており、先述の15通りの入力の組合せに対し全40種類の会話が用意されている。再生される会話は、入力の組合せに対して用意されている会話の中からランダムに選ばれる。再生が終了してもその組合せが続く場合には、0.5秒間の間を空けたのち、入力の組合せに対して用意されている会話の中から直前に再生されたもの以外の会話がランダムに選ばれ再生される。4人での会話は1種類しか用意されていないため、再度同じ会話が再生される。



図 5 展示におけるユーザの様子
Fig. 5 Users at exhibition.

1つのライトは直径4.5cmの円筒型で、高さ135cmの位置に吊されている。そのため、1人の体験者が3つ以上のライトを同時に操作して安定したポインティングを維持することは難しい。つまり、複数の体験者が協調することで、より容易にすべての会話を聞くことができるようになっている。

また、本作品では、体験者が光を入力している間だけ、その光に割り当てられたキャラクターが会話に参加し続ける。会話の再生中に他の光が入力された場合、会話の途中でそのキャラクターが参加し、「呼びかけ」の後、次の会話が始まる。再生中に光の入力が終了した場合、そのキャラクターは同様に一言いい残した後に会話から抜ける。

上記のような入力の組み合わせ方やタイミングによって会話のパターンが次々と変わる仕組みを導入することで、1人で体験するのではなく、他の体験者と一緒に作品を操作したくなるような仕組みを導入した。

4.5 展示における体験者からの反応

複数のイベントで“inter-glow”を展示し、ユーザの反応を観察した。これまでの展示では年齢、国籍等幅広い層の人々が作品を体験し、その総数は述べ8,000人を超えている。展示におけるユーザの様子を図5に示す。エンタテインメントアプリケーションとしては、ユーザが自ら作品世界のルールを発見できることが楽しみにつながる考えたため、展示では、ユーザが体験する前には「光をテーブルに当てることで家族の会話が聞こえてくる作品です」という点のみを説明するようにし、複数の光を入力するとキャラクター間の会話が聞こえるという解説は事前には行わなかった。

展示では、光を当てることで入力ができる、光を複数同時に当てることでキャラクターに会話をさせることができるという、可視光インタフェースによるインタラクション手法の操作

のしやすさが多くの体験者に好評であった。展示に訪れた、子供から高齢者までの様々な人が、可視光インタフェースを使って会話コンテンツを聞くことを楽しむ様子が観察された。

また、事前に教示をしない場合でも、ほとんどのユーザが複数のライトを同時に照らすことでキャラクタ間の会話を聞くことができるという仕組みを発見していた。さらに、複数のユーザが、コミュニケーションをとりながら複数のライトを操作する場面が多く見られた。一緒に作品を体験するユーザ同士の会話では、キャラクタがしゃべる会話の内容に関するコメントや、キャラクタの会話から想起された自分の家族に関する事柄等が多く取り上げられていた。また、そのような会話の中で、他のユーザと一緒に入力することを促す発話等が観察され、その際、一緒に展示に訪れた知り合い等だけではなく、その場に居合わせただけの人たちの間にもコミュニケーションが多く生まれていた。

制作直後の展示では、ユーザがテーブルに光を当てて音声コンテンツを聞こうとしているにもかかわらず、音声コンテンツの再生が途切れてしまうという問題がたびたび発生していた。本システムにおいて、光を当ててから入力の組合せが判別されるまでの1サイクルは、FFTの計算速度とほぼ同等の約10msである。当初は1サイクルで判別された結果によって再生される会話を変更していた。そのような場合、ユーザのポインティングが少しぶれただけで聞いている途中の会話が終了してしまう可能性があり、先述の問題はこのポインティングのぶれに起因するものだと考えられる。そのため、10サイクル同じ入力が続いたときに再生する会話を切り替えるようにし、ポインティングのぶれに対応することとした。これにより、光を当ててから会話が再生されるまでの時間は100ms程度となっている。この変更を取り入れたあとも、ユーザからは、入力から音声コンテンツが再生されるまでの応答時間に関して特に不満の声はあがらなかった。一方で、以前に比べてより音声コンテンツが途切れてしまうという問題は起こりにくくなっている。

会場でのユーザからの質問としては、会話が何種類あるか、どのような話題が盛り込まれているのか、といった音声コンテンツのパリエーションに関する内容が多かった。ユーザは音声コンテンツの多様さや新鮮さを期待しており、現在はプリレコーディングであらかじめ用意された音声コンテンツのみを再生する仕組みであるが、音声コンテンツの新鮮さ・多様さを維持し、あきさせない工夫も必要となるだろう。

5. おわりに

本論文では、点滅周波数による多重化可視光通信を利用した懐中電灯型のインタフェースシステムを提案した。このインタフェースシステムでは、ユーザは、実世界中で、ID情報

が埋め込まれた光を発する懐中電灯型の可視光通信インタフェースを操作し、興味のある箇所を照らす。受光センサの埋め込まれたオブジェクトがそのID情報を受け取ることで、どの懐中電灯型インタフェースがなにを照らしているかを認識し、この認識結果に基づいて、ユーザに照らされている箇所に関連する情報を音声コンテンツとして提示する。

このインタフェースシステムを利用して、展示ガイドシステムと、メディアアート作品“inter-glow”を制作した。これらのアプリケーションを使用するユーザの様子を観察し、またアンケート調査やユーザ意見の聞き取りを行うことで、可視光通信インタフェースが直観的に使用できるインタフェースであることを示した。また、“inter-glow”を体験するユーザの間に多くのコミュニケーションが誘発されていたことを観察し、可視光インタフェースの応用可能性を示した。

ユーザの評価の中から浮かび上がってきた様々な問題点等をふまえ、より大人数で利用する場合の可視光インタフェースのあり方等を検討したうえで、様々なアプリケーションに適用するべく検討を行っていく。

謝辞 本研究は、日本学術振興会特別研究員奨励費および、JST CRESTの研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」の支援によって行われた。

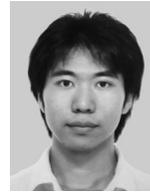
参考文献

- 1) Shklovski, I. and Chang, M.: Urban computing: Navigating space and context, *IEEE Computer*, Vol.39, No.9, pp.36-37 (2006).
- 2) Kindberg, T., Chalmers, M. and Paulos, E.: Guest Editors' Introduction: Urban Computing, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.6, No.3, pp.18-20 (2007).
- 3) Robinson, P.: Animated paper documents, *Proc. HCI'97 (21B)*, pp.655-658 (1997).
- 4) 加藤博一: 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol.101, No.652, pp.79-86 (2002).
- 5) Rekimoto, J. and Nagao, K.: The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments, *Proc. 8th Annual ACM Symposium on User Interface and Software Technology*, pp.29-36 (1995).
- 6) Kaltenbrunner, M. and Benicina, R.: reacTIVision: A computer-vision framework for tablebased tangible interaction, *Proc. 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, pp.69-74 (2007).
- 7) 中西祐介, 神原誠之, 横矢直和: ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.295-304 (2005).

- 8) 白井良成, 松下光範, 大黒 毅: 秘映プロジェクト: 不可視情報による実環境の拡張, *WISS 2003*, pp.115–122 (2003).
- 9) Want, R., Fishkin, K.P., Gujar, A. and Harrison, B.L.: Bridging physical and virtual worlds with electronic tags, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99)*, pp.370–377, Addison-Wesley (May 1999).
- 10) Harter, A., Hopper, A., Steggle, P., Ward, A. and Webster, P.: The anatomy of a context-aware application, *Wirel. Netw.*, Vol.8, pp.187–197 (2002).
- 11) 青木 恒: カメラで読み取る赤外線タグとその応用, *インタラクティブシステムとソフトウェア VIII*, pp.131–136 (2000).
- 12) 伊藤禎宣, 角 康之, 間瀬健二: 赤外線 ID センサを用いた設置・着用型インタラクション記録装置, *インタラクション 2003*, 情報処理学会 (2003).
- 13) 松下伸行, 日原大輔, 後 輝行, 吉村真一: ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.12, pp.3664–3674 (2002).
- 14) Cao, X. and Balakrishnan, R.: Interacting with Dynamically Defined Information Spaces using a Handheld Projector and a Pen, *The Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.225–234 (2006).
- 15) 細井一弘, ダオ ヴィン ニン, 森 晶洋, 杉本雅則: モバイルディスプレイを用いた直感的なヒューマンロボットインタラクションの提案, *インタラクション 2008* (2008).
- 16) Olsen, D. and Nielsen, T.: Laser Pointer Interaction, *CHI 2001*, Seattle, ACM, pp.17–22 (2001).
- 17) Myers, B., Bhatnager, R., Nichols, J., Peck, C., King, D., Miller, R. and Long, C.: Interacting at a distance: Measuring the performance of laser pointers and other devices, *CHI 2002*, pp.33–40, ACM (Apr. 2002).
- 18) Green, J., Pridmore, T.P., Benford, S. and Ghali, A.: Location and recognition of flashlight projections for visual interfaces, *International Conference on Pattern Recognition*, pp.IV:949–952 (2004).
- 19) Green, J., Schnädelbach, H., Koleva, B., Benford S., Pridmore, T., Medina, K., Harris, E. and Smith, H.: Camping in the digital wilderness: Tents and flashlights as interfaces to virtual worlds, *Chi 2002 Extended Abstracts*, pp.780–781 (2002).
- 20) Visible Light Communication Consortium. <http://www.vlcc.net/>
- 21) Tanaka, Y., Haruyama, S. and Nakagawa, M.: Wireless optical transmission with the white colored LED for the wireless home links, *Proc. 11th Int. Symp. on PIMRC*, pp.1325–1329 (2000).
- 22) Komine, T., Tanaka, Y., Haruyama, S. and Nakagawa, M.: Basic study on visible-light communication using light emitting diode illumination, *Proc. 8th Int. Symp. on ISMOT*, pp.45–48 (2001).

(平成 21 年 3 月 18 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



鳴海 拓志

2006 年東京大学工学部システム創成学科卒業。2008 年同大学大学院学際情報学府修了。2008 年より同大学院工学系研究科博士課程に在学中。日本学術振興会特別研究員 (DC1)。デジタルパブリックアート、五感インタフェースに関する研究に従事。



檜山 敦

1978 年生。2001 年東京大学工学部機械情報工学科卒業。2003 年同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了。2006 年同大学院工学系研究科先端学際工学博士課程修了。同年東京大学先端科学技術研究センター特任助手を経て、同大学 IRT 研究機構特任助教、現在に至る。複合現実感、空間型メディアとそのインタラクションに関する研究に従事、博士 (工学)。



谷川 智洋

1997 年東京大学工学部産業機械工学科卒業。2002 年同大学大学院博士課程修了。同年通信・放送機構研究員。2004 年組織変更により情報通信研究機構研究員。2005 年東京大学先端科学技術研究センター講師。2006 年同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻講師、現在に至る。イメージ・ベースト・レンダリング、MR に関する研究に従事。博士 (工学)。



廣瀬 通孝 (正会員)

1977 年東京大学工学部産業機械工学科卒業、1982 年同大学大学院博士課程修了。同年同大学工学部産業機械工学科専任講師、1983 年同大学助教授、1999 年同大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻教授。同年同大学先端科学技術研究センター教授、2006 年同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻教授、現在に至る。主にシステム工学、ヒューマンインタフェース、バーチャルリアリティの研究に従事。工学博士。