

# AwareResponse: 2次元コードを用いた簡易で安価なレスポンスアナライザシステム

三浦元喜<sup>†</sup> 中田豊久<sup>††</sup>

学習者の理解状況をリアルタイムに集約することを目的としたレスポンスシステムとして、クリックに代表されるリモコン型デバイスを用いたものや、携帯電話や小型情報端末を利用したものがこれまで提案されてきた。これらのレスポンスシステムに必要なデバイスは安価になってきているとはいえ、一般に管理が必要であるため、学習者個人に貸し出ししたり回収したりする作業が授業運営側の負担につながっていた。そこで我々は電子デバイスを用いず、2次元コードを印刷したマーカシートを用いて学習者レスポンスを集約する手法 AwareResponse を提案する。学習者が個人用 ID を印刷したマーカシートをかざすと、教師側のシステムがその向きや位置を判別し、リアルタイムにレスポンスを集約することができる。複数選択肢問題やポインティング課題へのレスポンス事例について考察した。予備実験により、多数のマーカを同時にかざした場合の認識性能について確認した。

## AwareResponse: Simplified Personal Response System based on Fiducial Markers

MOTOKI MIURA<sup>†</sup> and TOYOHISA NAKADA<sup>††</sup>

Conventional student response systems require electronic devices for collecting personal responses; i.e. wireless RF remote keypads, portable handhelds, PDAs, tablets or cell-phones. Even though these devices are becoming inexpensive and popular, the management of these devices causes extra burdens for teachers and students. We propose a method to collect student responses by means of printed fiducial markers and tracking technology based on computer vision. The students can submit a response by holding up their marker sheet. The teacher can continuously track and record the student responses with personal ID in real time. Scenarios of multiple choice questions and a 2D positioning are presented. We confirmed the tracking capacity of our system with 200 markers

### 1. はじめに

インタラクティブな学習教育環境を実現することを目的として、これまで学習者にデバイスを配布し、教師に情報を集約するシステムが数多く提案・実装されてきた。Liu らは、2003年に日々の学習活動を無線技術によって拡張した教室を提案している<sup>1)</sup>。Roschelle らは、2002年に無線でインターネットに接続するデバイスの可能性について言及している<sup>2)</sup>。これらのアプローチは無線接続技術や端末の小型化によって促進されてきた。また教室環境においては、クリッカーと

呼ばれる学習者端末の導入により、インタラクティブな学習が可能になることが示されてきており<sup>3)</sup>、200名を越える受講者を有する大講義においてもその有用性や効果が確認されている<sup>4)</sup>。

これらのレスポンスアナライザシステムの多くは個人の反応を送信・集約するために、赤外線リモコン風のキーパッドや、PDA や携帯電話、スマートフォン等のハンドヘルド機、タブレットや PC 等の情報機器・端末といった電子デバイスを利用している。これらの電子デバイスは近年、低価格化がすすみ一般に普及しているものもある。しかし実際に授業を行う際には公平性の観点から、これらの電子デバイスを指導側が事前準備・提供することが多い。そのような場合、指導側（教師や補助員）がそれらの電子デバイスを授業時間のみ提供し、授業後に再度回収して管理するといった手間が必要になる。こうした授業毎の「配布」と「回収」の手間は、授業を受講する学習者の数に比

<sup>†</sup> 九州工業大学 基礎科学研究系 / 総合システム工学科  
Department of Basic Sciences, Kyushu Institute of Technology

<sup>††</sup> 新潟国際情報大学 情報システム学科  
Department of Information Systems, Niigata University of International and Information Studies

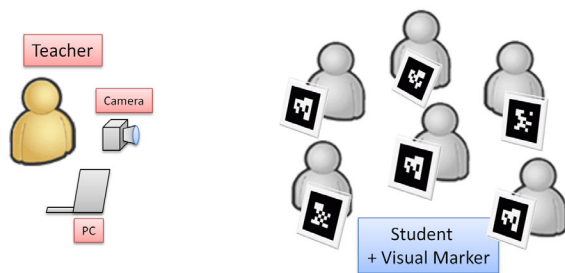


図 1 典型的な使用例  
Fig. 1 Typical usage of proposed method

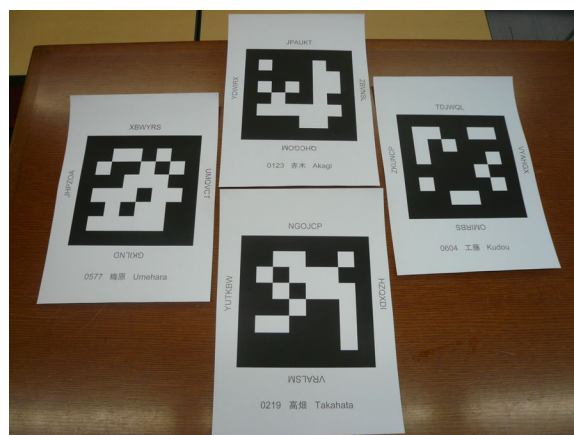


図 2 提案手法で利用するマーカーシート  
Fig. 2 Fiducial marker sheet for our proposed method

例するため、大教室・多人数講義になるほど、レスポンスアナライザを使用したインタラクティブな授業実現のためのハードルは高くなるといえる。もしこうした電子デバイスを用いずに、個々の学習者のレスポンスを集約することができれば、デバイスの「配布」と「回収」や「管理」に伴う手間を大幅に軽減できる。

そこで我々は、学習者用の装置として電子デバイスを用いずに、安価な「紙」のみを利用したレスポンスアナライザを提案する。

## 2. 提案手法 AwareResponse

学習者用デバイスの管理の手間を軽減するため、我々は電子デバイスを使用せず、2次元コードを用いたレスポンス集約手法を提案する。2次元コードは通称、AR マーカ<sup>5)</sup> や2次元バーコードと呼ばれ、紙メディアへのURLの埋め込みや拡張現実 (Augmented Reality) でカメラ画像への3次元モデル重畳を実現するための技術として広く用いられている。

こうした2次元コードは教育現場でも広く利用されている。Asaiらは月面情報をタンジブルに閲覧するためのシステム<sup>6)</sup> や、振動を伝える触覚付きAR環境<sup>7)</sup> を構築している。Juanらは立方体の各面にマーカを印刷した、エデュテイメント向けのタンジブルなインタフェースを提案している<sup>8)</sup>。Martín-Gutiérrezらは2次元コード技術を機械工学科の学生向けの学習コンテンツに適用し、教育用ツールキットを提供している<sup>9)</sup>。しかしながら、2次元コードの技術はこれまでレスポンスアナライザ用途には適用されていなかった。我々は複数のカメラを利用し、多数のマーカを同時に認識することでレスポンスアナライザ用途に適用した。

図1に提案手法を適用した典型例を示す。最初の授

業において、教師は2次元コードが印刷されたマーカーシート (図2のうちの1枚) を学習者に配布する。マーカのIDはそれぞれ異なるため、提案手法では学習者個人を識別できる。教師は授業中に、複数の選択肢から1つの正解を回答する問題を学習者に問いかける。学習者は回答を、マーカーシートを教師側のカメラに向けてかざすことによって、問題に回答する。マーカの画像は教師側カメラによって連続的に撮影され、認識するとマーカの位置、姿勢およびIDを取得できる。提案手法では主に、姿勢の情報を学習者レスポンスとして利用する。例えば、マーカーシートの4辺のうち、どちらを上に向けているかによって、4種類の状態が取得できる。これにID情報を加えることによって、どの学習者が選択問題を正解したかを自動的に認識し、記録することができる。

### 2.1 2次元コードを利用したレスポンスアナライザにおけるインタラクション手法

2次元コードを利用したレスポンスアナライザにおいて可能となるインタラクションとして、我々は以下の二つの手法を提案する。一つは離散的なレスポンスであり、4択問題の回答が代表的な応用例である、もう一つは連続的なレスポンスで、マーカーシートの姿勢や位置情報の値を最大限利用する方法である。

#### 2.1.1 離散的なレスポンス

先に述べたように、マーカーシートの「回転」を複数選択型問題の回答として利用する手法である。4択問題であれば、1枚のシートの4辺のうち、どこを上に向けてか、という直感的方法が適切である。仮に選択肢の数が増えた場合 (例えば0~9の数字) には、複数枚のマーカーシートを学習者に配布するか、マーカの回転を、90度毎に区切るのではなく、より細かく分解して認識することが考えられる。ただし、細かく区

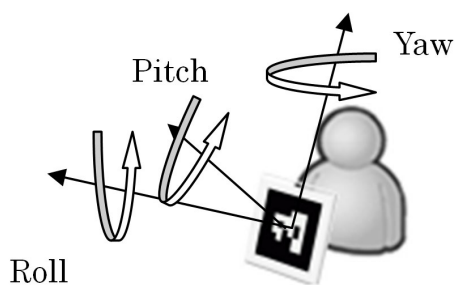


図3 2次元コードの座標系

Fig. 3 Coordinate system of fiducial marker

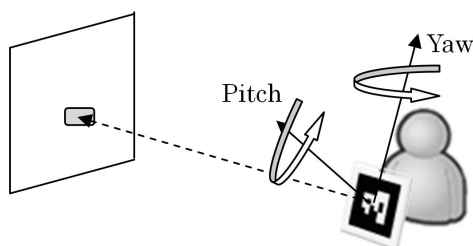


図4 ポインティング手法．ピッチとヨーを用いる．

Fig. 4 Pointing method. The student controls his/her cursor by Yaw and Pitch relatively.

切ると誤認識につながるおそれがあるため、後述する「ポインティング」手法を用いて選択したほうがよいと考えられる。

回転 (Roll) で区別することが難しい場合は、ピッチ (Pitch) やヨー (Yaw) (図3) を利用することも考えられる。例えば、回答に対する自信や授業に対する意欲の度合いを表すことに利用することも可能である。しかし、マーカの細かな姿勢を学習者が意識する必要がでてくると、学習者にとってのユーザビリティや認識率の低下を招くおそれがあるため、注意深くデザインする必要がある。

#### 2.1.2 連続的なレスポンス

ピッチやヨーを用いると、学習者はカメラ座標もしくはプロジェクタによる投影面に対する2次元座標を調整することが可能となる。もしプロジェクタ投影面等で適切なフィードバックを連続的に与えることが可能であるならば、この2次元座標を学習者が制御可能なポインタとして利用できる(図4)。

このような「複数マウスポインティング」によるインタラクションは、従来研究により、有用性が確認されている<sup>10),11)</sup>。また Chang らは教室の学習者全員がマウス等のポインティングデバイスを持ち、共有画面を通じて協調的かつ競争的な活動を行う環境において、個人とグループ、協調と競争の組み合わせについての調査を行っている<sup>12)</sup>。複数のポインティングデバイス

を用いた場合と比べると、我々の手法ではボタンによる「クリック」や「選択」といったインタラクションが行えない点は欠点であるが、デバイスの管理にかかる手間を軽減でき、また誰が操作しているかの状況を実世界で確認しやすいのは利点であるといえる。

上記で述べた二種類のインタラクション手法に加えて、提案手法を用いると空間内の3次元位置も取得できることから、学習者の座席位置が推定できる。座席位置情報は、大学の講義など座席指定がない場合には出席記録を補完したり、学習意欲・態度の推測に利用したりすることも可能である<sup>13)</sup>。

#### 2.2 利点

提案手法による主なメリットは、レスポンスアナライザで通常利用される学生用の機器やデバイスの管理の手間を軽減できる点である。電子機器を用いる方式では、バッテリー充電状態や故障の有無などを、授業実施者がチェックする必要があった。提案手法では紙にマーカが印刷されたシートのみを学習者に配布すればよいので、講義がある学期の間は、学習者にシートを管理させることができる。マーカシートは電子機器に比べて軽く、柔軟性があり、安価であり、もし汚損しても再度印刷すればよいので再生産が容易である。厚紙に印刷したとしても、その重さは通常プラスチック製の下敷き以下であり、学習者が持ち歩く際の負担はそれほど高くない。そのため、教師にとっても学習者にとっても、提案手法は従来の手法と比べ、追加の負担を軽減できる手法であるといえる。

そのほかの利点としては、システムが簡潔であることが挙げられる。教師は一台のPCと、最低限一つのカメラを準備すればよい。複数のマーカを認識するため、カメラの解像度はある程度高い必要があるが、最近の高解像度のカメラも比較的安価に入手できる。多数の学習者のマーカシートを認識する必要がある場合は、カメラを複数台用意すればよいので、基本的に柔軟性と拡張性は高い。

Caldwell が文献<sup>4)</sup>で議論しているように、従来のクリックの利点の一つとして、匿名性を担保している点が挙げられる。匿名であれば回答に自信がない学習者が回答を提出するときの精神的な負担を軽減することができる。提案手法でも2次元コードは人間にとっては認識が困難であるため、匿名性を担保することが可能である。より匿名性を高めるため、我々はカモフラージュ機能(3章で説明)を導入した。匿名性が必要なく、教師が学習者の回答傾向を目視で直接確認したい場合は、例えばマーカシートの4辺を色分けするといった柔軟な運用も可能である。

### 2.3 欠 点

最大の欠点は、オクルージョンや光量不足によりマーカーシートの認識に失敗する場合である。オクルージョンを避けるために、カメラはなるべく高い位置に設置することが望ましい。プロジェクタを使用する講義では、投影画像を確認しやすくするために部屋を暗くすることが多いが、そのような状況も認識率低下を招く。もし部屋をどうしても暗くしなければならない状況では、赤外線投光などの手段を取る必要がある。

提案手法では、カメラの解像度が重要な要素となるが、カメラの解像度を上げれば上げるほど、1秒間に処理できる画像の数が低下したり、PCの処理負荷が上がったりする。提案手法に対する認識・更新頻度の要求はそれほど高くないが、ポインティングのような連続的なインタラクションを提供する場合は、認識・更新頻度が学習者の体験に影響を与えるおそれがある。

一般的な赤外線や電波を用いたクリック方式と比べて、提案手法では学習者から返すことのできるレスポンスの種類は限られる。また学習者側のデバイスに直接フィードバックする仕組みがないため、送信したレスポンスの確認ができない。そのため、教師はプロジェクタを用いて、誰がどのようなレスポンスを返したかをフィードバックする必要がある。ただし、近年ではプロジェクタは一般的に用いられており、従来型のクリック利用時でも効果を高めるためにはフィードバックが必要となるため、特に厳しい条件ではないと考えている。

### 3. 実 装

我々は提案手法を実現するためのマーカー認識エンジンとして、ARToolkitPlus<sup>14)</sup>を利用した。ARToolkitPlusは拡張現実を実現するARタグ認識ライブラリの一つであり、少ない計算処理で大量のタグを同時に認識することができる。ただし元のARToolkitのように自由なタグ登録はできない。提供されているマーカーの数は4,096個である。

我々のシステムは認識モジュールとUIモジュールで構成している。認識モジュールは、IEEE1394カメラからの画像を取り込み、タグの存在と位置、姿勢を認識するVisual C++で記述したプログラムである。認識モジュールはJava Native Interface (JNI)を備えており、UIモジュールと接続する。UIモジュールはJava SEとPiccolo.2Dグラフィックスライブラリを利用して記述した。UIモジュールがスキャン要求を出すと、認識モジュールが動作する。もしタグが見つければ、IDと変換行列を引数にしたコールバック



図 5 フィードバック画面（学習者用）  
Fig. 5 Response feedback window (for Learners)



図 6 フィードバック画面（教師用）  
Fig. 6 Response feedback (for Teachers)

メソッドが呼び出される。

図 5 に学習者用、図 6 に教師用のフィードバック画面を示す。学習者用の画面はプロジェクタで投影し、学習者が自分のマーカーシートが認識されたかどうかを確認できるようにする。これらのフィードバック画面にはレスポンスを返した学習者を表すラベルが表示される。ラベルには ID と氏名が基本情報として提示される。複数選択肢問題モードの場合、その横にレスポンス文字が表示される。本来のレスポンス文字は「A, B, C, D」であるが、明示的なレスポンスを名前と共に記してしまうと学習者は誤答を気にする場合がある。そこで我々は他の学習者が回答内容を推測しにくくする「カモフラージュ機能」を導入した。最初に、各学習者のマーカーシートの各辺に対して、本来のレスポンス文字「A, B, C, D」に加えて、E から Z までの文字を 5 つずつ、ランダムに割り当てておく（カモフラージュ文字列、図 2 参照）。学習者用の画面（図 5）では、本来のレスポンス文字のかわりに、カモフラージュ文字列からランダムに選んだ 1 文字を表示する。これにより、マーカーシートをじっくり参照できる



図 7 選択肢別&時間順に並び替えたフィードバック画面 (教師用)  
Fig. 7 Sorted view by response and submitted time (for Teachers)

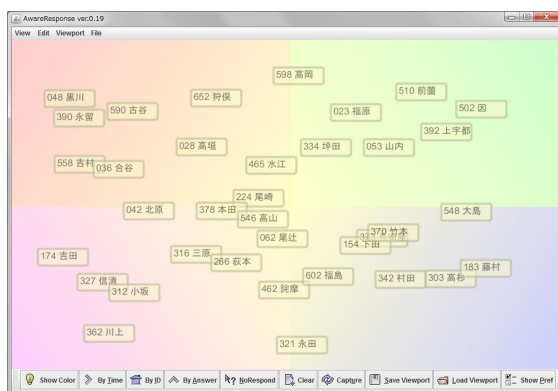


図 8 ポインティングモードでのフィードバック画面  
Fig. 8 Response feedback for pointing mode

学習者だけが選択回答を確認することができ、それ以外の学習者が選択回答を学習者とひもづけて閲覧することを避けることができる。

教師用の画面(図6)では、図5のようにカモフラージュする必要はないため、色分けによって選択回答を直感的に把握可能にしている。さらに、正解/不正解の割合を把握するため、図7のような選択回答別や提出時間が早い順に並び替える機能も実装した。

ポインティングモードでは、学習者ラベルをマウスカーソル風に2次元配置してフィードバックを行う(図8)。学習者はピッチとヨーを調整して、プロジェクトンスクリン上の点を指示することができる。

#### 4. 予備実験

複数マーカの認識性能を調べるための実験を行った。A4用紙に21個のマーカを印刷したシートを10枚印刷し、壁に貼り付け、2台のIEEE1394カメラ(PGR Scorpion SCOR-20SOC-KT, 1600x1200ピクセル)で撮影しながら、カメラ画像をIEEE1394-PCIカードを搭載したPC(Pentium 4 3.8GHz, メモリ2GB)

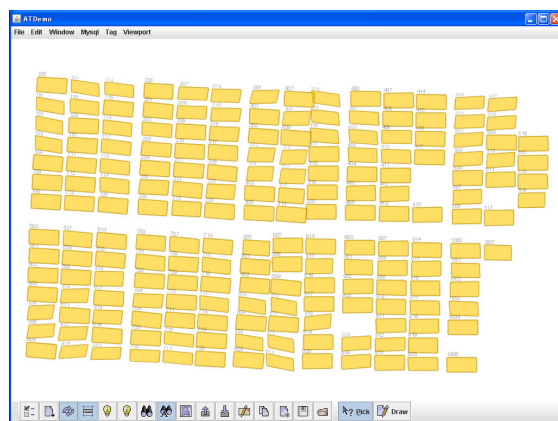


図 9 タグ認識実験結果. 210枚のタグを2台のカメラで認識したところ、90%のタグが認識できた。  
Fig. 9 Capture test result of 210 fiducial markers printed on ten A4 paper sheets. Ninety percent of the markers were successfully recognized.

で認識した。その結果、90%のタグを3秒程度で認識することができた。図9に、認識したマーカを黄色の領域で示している。今後実際の講義での運用実験を行い、問題点を抽出しユーザビリティ向上につなげていきたい。

#### 5. 関連研究

Cinematrix Interactive Entertainment System<sup>15),16)</sup>は緑と赤の反射材がついた小さな「しゃもじ」をかざすことで、多人数の観衆の反応を定量化している。NHKの紅白歌合戦でも同様の仕組みが採点集計に用いられていたことがある。Maynes-Aminzadeらは、こうしたアプローチを参考に、観客の体の移動やレーザーポインタを利用したシステムを提案している<sup>17)</sup>。Domingoらはオリンピック競技の観衆による感情表明を想定した、青と白の色で塗り分けられたシェーカを用いたシステムをデザインしている<sup>18)</sup>。これらの技術は大規模な会場や観衆に対しては有効である反面、フィードバックを個人別に得ることはできない。我々はとくに学習環境において、個別レスポンスの集約に着目した用途を対象としている。

#### 6. まとめと今後の展望

昨年の3.11以降、日本の教育現場では限られた予算や人員で教育効果を高めるさらなる工夫が求められている。我々が提案した手法AwareResponseは、電子的なデバイスに比べて安価なマーカシートを利用して、クリックに類似の個別レスポンス収集機能を実現するものである。教師や補助者のデバイス管理の時間や労力、それにデバイス購入にかかるコストを削減し

つつ、クリッカと同様の効果が期待できる。個別レスポンスを活用すれば学習者評価作業や学修情報管理にかかる負荷を軽減できる可能性もある。システム導入・運用の作業コストを加味しても、トータルとしての作業・運営コストを軽減できれば、その分教材の更新や指導法の検討といった本質的な教育改善活動に時間をかけることができ、結果として質の高い教育の継続的な実施につながると考えている。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金(20300046, 20680036)の支援によるものです。

### 参 考 文 献

- 1) Liu, T., Wang, H., Liang, J., Chan, T., Ko, H. and Yang, J.: Wireless and mobile technologies to enhance teaching and learning, *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol.19, No.3, pp. 371–382 (2003).
- 2) Roschelle, J. and Pea, R.: A walk on the WILD side: How wireless handhelds may change computer-supported collaborative learning, *Proc. of International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning (CSCL-02)*, pp.51–60 (2002).
- 3) Huang, C.W., Liang, J.K. and Wang, H.Y.: EduClick: A Computer-Supported Formative Evaluation System with Wireless Devices in Ordinary Classroom, *Proc. of Int. Conference on Computers in Education*, pp. 1462–1469 (2001).
- 4) Caldwell, J.E.: Clickers in the Large Classroom: Current Research and Best-Practice Tips, *CBE life sciences education*, Vol.6, No.1, pp.9–20 (2007).
- 5) Kato, H. and Billinghurst, M.: Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System, *Proc. of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality '99*, pp.85–94 (1999).
- 6) Asai, K., Kondo, T., Kobayashi, H. and Mizuki, A.: Tangible navigation system for learning the lunar surface, *International Conference on Interactive Computer Aided Learning (ICL2006) CD-ROM* (2006).
- 7) Asai, K., Kobayashi, H. and Takase, N.: Palm-on haptic environment in augmented reality, *Proc. of the Third IASTED International Conference on Human Computer Interaction (IASTED-HCI2008)*, pp.68–73 (2008).
- 8) Juan, M.C., Toffetti, G., Abad, F. and Cano, J.: Tangible Cubes used as the user interface in an Augmented Reality game for edutainment, *Proc. of 10th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT2010)*, pp.599–603 (2010).
- 9) Martín-Gutiérrez, J., Saorín, J.L., Contero, M. and Alcañiz, M.: AR\_DeHaes: An Educational Toolkit Based on Augmented Reality Technology for Learning Engineering Graphics, *Proc. of 10th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT2010)*, pp.133–137 (2010).
- 10) Moraveji, N., Kim, T., Ge, J., Pawar, U.S., Mulcahy, K. and Inkpen, K.: Mischief: supporting remote teaching in developing regions, *Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '08)*, pp.353–362 (2008).
- 11) Saga, M., Ikeda, K., Mori, M., Uehara, T., Kita, H., Naya, Y., Nagata, N., Ueda, H., Okumura, A. and Ohno, T.: Development of a Multiple User Quiz System on a Shared Display, *Proceeding of Creating, Connecting and Collaborating through Computing (C5 2009)*, pp. 103–110 (2009).
- 12) Chang, B. and Chen, C.W.: Students' Competitive Preferences on Multiuser Wireless Sensor Classroom Interactive Environment, *Proc. of 10th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT2010)*, pp.570–572 (2010).
- 13) Miura, M. and Sugihara, T.: Effect of Seat Location on Programming Course Achievement, *Proc. of the 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2011) Part III, LNAI 6883*, pp.539–547 (2011).
- 14) Wagner, D. and Schmalstieg, D.: ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices, *Proc. of 12th Computer Vision Winter Workshop (CVWW'07)* (2007).
- 15) Carpenter, L.: Cinematrix, Video Imaging Method and Apparatus for Audience Participation, US Patents #5210604 (1993) and #5365266 (1994).
- 16) Cinematrix Interactive Entertainment Systems, <http://www.cinematrix.com/whatis.html>.
- 17) Maynes-Aminzade, D., Pausch, R. and Seitz, S.: Techniques for Interactive Audience Participation, *Proc. of Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'02)*, pp.15–20 (2002).
- 18) Domingo, M.G., Gweon, G., Kanarek, J. and Rangos, J.: Shake it!, *CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '04)*, pp.1675–1679 (2004).