

ARHunter: ジェスチャによる入力と位置認識技術を 組み合わせた没入型マルチプレイヤーゲーム環境

矢谷 浩司[†] 杉本 雅則[†] 橋爪 宏達[‡]

[†] 東京大学 [‡] 国立情報学研究所

近年、様々なコンピュータ技術を用いてエンタテインメントコンピューティングに関する研究が盛んに行われている。本稿では、ジェスチャによる入力と位置認識技術を組み合わせた没入型マルチプレイヤーゲーム環境を提案する。ジェスチャ入力には慣性センサを、位置認識技術には画像認識とマーカーをそれぞれ用いて実装している。本稿では、本ゲーム環境で実装された ARHunter という、もぐらたたきゲームのアプリケーションについて述べ、評価実験を通してプレイヤーの興奮度や没入感が高まっていることを示す。

ARHunter: A Multiplayer Game Using Gestural Input in a Location-Sensitive and Immersive Environment

Koji YATANI[†], Masanori SUGIMOTO[†] and Hiromichi HASHIZUME[‡]

[†] University of Tokyo [‡] National Institute of Informatics

By utilizing recent information and communication technologies, many researchers have been investigating studies on entertainment computing. In this paper, we propose an immersive entertainment environment combined with gestural input and location recognition technologies. Inertial sensors are used for recognizing players' gestures, and optical markers are used for recognizing players' locations and orientations. We have developed an entertainment application called ARHunter, which is a multi-player whack-a-mole like game. User studies of ARHunter indicated that it could enhance the level of players' engagement and excitement.

1 背景

近年の情報通信技術の発展により、多くの研究者がエンタテインメントコンピューティングに関する研究に取り組んでいる。エンタテインメントコンピューティングにおける研究のトピックの1つとして、プレイヤーの没入感や興奮を高めるために、どのようにコンピュータ技術をゲームに取り入れるべきか、というものがある。このトピックに関して、様々なエンタテインメントコンピューティング環境が提案されてきた。

本稿では、以下のような特徴を持つ、ARHunter というエンタテインメントコンピューティング環境を提案する。

- コンピュータによって生成された映像を現実世界 (部屋の床など) に投影することで、没入できるゲーム環境を構築する。
- プレイヤーの位置や向きが認識され、その情報が仮想世界のゲームに反映される。
- プレイヤーのジェスチャや動作がゲームでの入力として使われる。

複合現実感を用いてプレイヤーの没入感を高めているシステム [1] や、位置認識技術を用いることでプレイヤーが現実世界のオブジェクトを用いてゲームを行うことができるシステム [2] などが提案されている。ARHunter では、これら既存の技術に加えて、

ジェスチャ認識の技術を取り入れ、より高い没入感や興奮度を実現するゲーム環境を提供する。

ARHunter では、マルチプレイヤー（本稿では2人）のもぐらたたきのゲームを実現している。プレイヤーはプロジェクタやプラズマディスプレイなどで、床やテーブルに映し出されたモンスターを倒す。各プレイヤーは特別なハンマーを持ち、モンスターを叩く動作や吹き飛ばす動作を行う。具体的には、プレイヤーがハンマーを縦に振って正確にモンスターを叩くことができると、モンスターを倒すことができる。また、ハンマーを横に振ることで、モンスターを吹き飛ばすこともできる。また、ARHunter ではプレイヤーの位置を認識しているため、プレイヤーの存在しない場所にモンスターが出現するようになっている。さらに、モンスターはプレイヤーのハンマーが近づくと、ハンマーから逃げようとする。ARHunter には2つのプレイモードが用意されており、プレイヤーは競争して、あるいは協調してゲームをプレイすることができる。

本稿では、第2節にて関連する研究を述べた後、第3節にてシステムの構成を述べる。さらに、第4節ではゲームの詳細なルールを述べる。第5節ではARHunter に関するユーザスタディについて述べ、その考察を第6節で行う。また、オープンハウスでARHunter のデモンストレーションを行った様子第7節にて報告する。最後に、第8節にて結論と今後の課題を述べる。

2 関連研究

複合現実感の技術を用いることで、現実世界と仮想世界を統合したエンタテインメントコンピューティング環境はすでにいくつか提案されている。Human Pacman[2] は、野外の環境でパックマンのゲームを実現したものである。プレイヤーの位置はGPS (global positioning system) によって認識されており、位置に応じてプレイヤーが装着するHMD (Head Mounted Display) に表示される情報や映像が変化する。さらに、容量性のタッチセンサがプレイヤーの肩に取り付けられており、他のプレイヤーがこのタッチセンサに触れることで、触れたプレイヤーを捕獲することができる。Touch-Space[1] はHuman Pacman に先行する研究であり、同じくHMDを利用することで、複合現実感を用いたエンタテインメントコンピューティング環境を実現している。このシステムではARToolkit[5]

のマーカ―をあらかじめ取り付けられた現実世界のオブジェクトを用いている。これにより、プレイヤーはそのオブジェクトをゲームの中で操作することができる。

[7]では携帯電話を用いたコンバットゲーム環境が提案されている。このシステムでは、Active Bat[12] と呼ばれる位置認識技術が使われており、ユーザの位置などをマップ上に表示することができる。ARQuake[11] はQuake と呼ばれるデスクトップコンピュータ向けのゲームを、屋内や野外で遊ぶことのできるゲームに拡張したものである。ARQuake ではHMDを通してプレイヤーにゲームの情報を表示し、プレイヤーの位置を認識するためにARToolkit とGPSが用いられている。これらの研究は、叩く、振るといった動作を積極的に取り入れたものではない点でARHunter と違っている。

ARHunter では、プレイヤーがモンスターを叩くという動作を伴うため、プレイヤーに運動をしているような感覚をより強く与えるのものであるとも言える。このような運動を取り入れたエンタテインメントコンピューティング環境もいくつか提案されている。PingPongPlus[4] は卓球をベースにしたエンタテインメントコンピューティング環境である。PingPongPlus では卓球台上にプロジェクタから画像が投影されている。その画像は卓球台上でボールが着地した位置に応じて変化するようになっているため、プレイヤーは卓球をしながら生成される画像を見て楽しむことができる。AR²Hockey[8] は赤外線LED (light-emitting diode) の付いたスティックを使い、バーチャルなパックを叩いて遊ぶゲームである。また、[3]では、プレイヤーの動作を取り入れることのできる対戦型の格闘ゲーム環境を提案している。ARHunter ではプレイヤーの位置をゲームに反映させ、ゲーム画面を床などに投影することにより、プレイヤーがゲームの画面内に入り込んで遊ぶことができる点で、これらの研究と違う。

また、RFID タグを用いた複数ユーザによる入力可能なデバイスを用いて、ホッケーゲームや虫取りゲームが実現されている[6, 10]が、これらはプレイヤーの空間的な動作を利用していない点などでARHunter とは異なる。

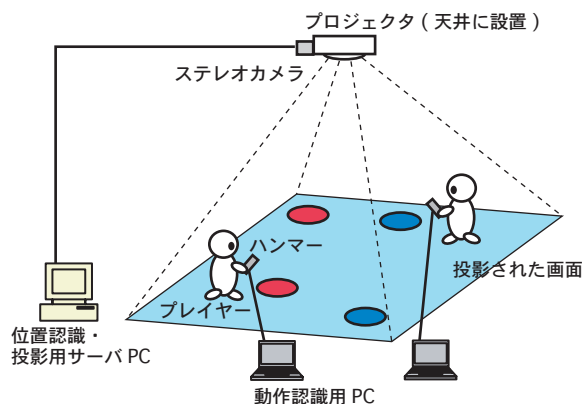


図 1. ARHunter システム概要 (プロジェクタを用いた場合)

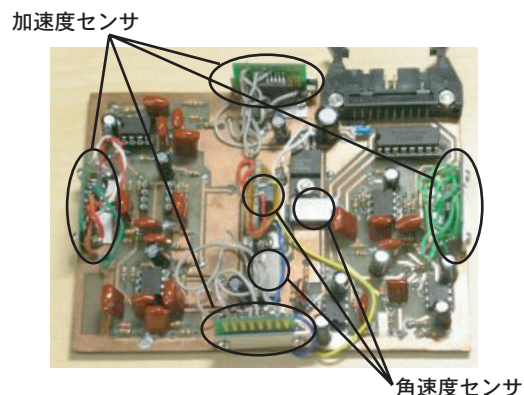


図 2. 慣性センサを搭載した基板

3 システム構成

図 1 に ARHunter のシステム全体の構成を示す。ARHunter では Toss-It[13, 14] で開発された技術を利用している。ゲーム画面は、天井に設置したプロジェクタから投影された画面上や、机の上に置いたプラズマディスプレイ上に映し出される。プレイヤーはジェスチャを認識するためのデバイス (以下では、ハンマーと呼ぶ) を持ち、投影された画面内のモンスターを倒す。ハンマーには 2 つの基板が搭載されている。1 つはプレイヤーの動作を認識するためのものであり、もう 1 つはプレイヤーの位置を認識するためのものである。以下では、動作の認識、及び位置の認識に関して詳しく述べる。

3.1 プレイヤーの動作認識

ARHunter では、プレイヤーの叩く、振る動作を認識するため、図 2 のような基板を用いている。本基板上には、加速度センサとして Analog Devices 社製の ADXL210、角速度センサとして村田製作所社製の ENC-03J が搭載されており、プレイヤーの 6 自由度の動作を感知することができる。プレイヤーの速く、大きな動作をできる限り正確に取得するため、本基板には 4 つの加速度センサと 3 つの角速度センサが搭載されている。本基板はシリアル通信により動作認識用の PC に接続されている。

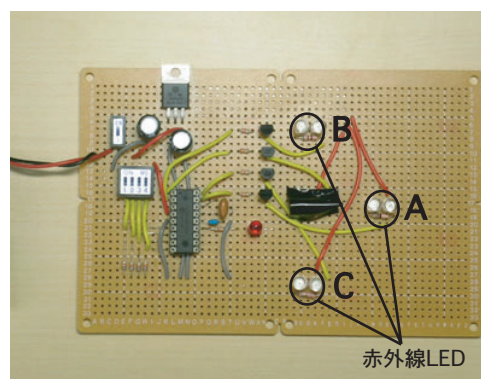


図 3. 赤外線 LED を搭載した基板

3.2 プレイヤーの位置認識

プレイヤーの位置、及び向きを認識するために、ARHunter では赤外線 LED を用いたマーカー (図 3) とステレオカメラを用いている。本マーカーには 3 つの赤外線 LED が二等辺三角形になるように配置されており、天井に搭載したステレオカメラでは、この二等辺三角形の形状を認識することで、位置と向きを認識することができる。すなわち、3 点の重心をプレイヤーの位置、 \vec{BA} と \vec{CA} のベクトル和をプレイヤーの向きとして認識する。さらに、図 3 の点 A に配置されている LED は、プレイヤー毎に異なる点滅パターンで点滅している。この点滅パターンを識別することにより、プレイヤーを識別することが可能となっている。

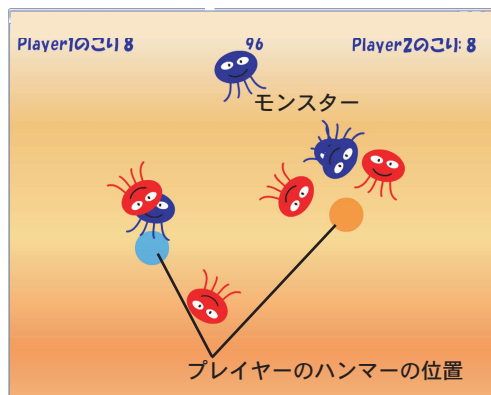


図 4. ARHunter のゲーム画面

4 ゲームのルール

4.1 基本ルール

ARHunter では図 4 に示されたような画面がプレイヤーに表示される。プレイヤーの持つハンマーの位置は、このゲーム画面上において円で表示されるようになっている。プレイヤーは画面に映されたモンスターに合わせてハンマーを移動させ(実際には、画面上に表示されている円を移動させることになる。)、ハンマーを垂直に振ることでそのモンスターを叩くことができる。また、プレイヤーはハンマーを横に振ることで、モンスターをゲーム画面外へ吹き飛ばすこともできる。プレイヤーがモンスターを叩いたり、吹き飛ばしたりした際、音と画面上での視覚的なフィードバックがプレイヤーに返される。これにより、プレイヤーは自分の動作が認識されているかどうかを認識することができる。

ARHunter では、プレイヤーの位置や動作が、センサを用いて認識されるため、センサの特性を利用したルールが設定されている。例えば、ハンマーの位置が常に認識されているため、プレイヤーのハンマーがモンスターに近づくと、モンスターは叩かれないように、移動速度を上げて逃げようとするようになっている。あるいは、モンスターを叩く際、プレイヤーの叩く強さがある一定以上の場合、強く叩いたと認識され、通常の 2 倍のダメージをモンスターに与えることができる。また、ハンマーを横に振った場合は、プレイヤーの振りの大きさと強さに応じてモンスターが吹き飛ばされるようになっている。

現在の ARHunter の実装では、2 人のプレイヤーが同時にゲームを行うことができる。また、ARHunter

では 2 つのプレイモード(競争モードと協調モード)が用意されている。この 2 つのプレイモードの詳細に関しては以下で述べる。各モードは 3 つのステージから構成されている。各ステージにはゲームの制限時間として 100 秒が設定されている。また、ステージが進むと、出現するモンスターの数、移動速度が増加するようになっている。このため、ステージを進む毎にゲームの難易度が上がるようになっている。

4.2 競争モード

競争モードでは、プレイヤーは自分の敵のみを全滅することがゲームクリアの条件になる。モンスター 1 匹を倒すためには、ハンマーで 2 回叩かなくてはならないようになっている。また、間違えて、対戦相手の敵を倒してしまった場合は、ペナルティとして自分の敵の数が増えるようになっている。制限時間内に対戦相手より早く、自分の敵を全て倒したプレイヤーが勝ちとなる。制限時間を超えてしまった場合は引き分けとなる。

4.3 協調モード

協調モードでは、プレイヤーは協力してモンスターを倒すことがゲームクリアの条件になる。このモードでは 3 種類の敵が現れる。青のモンスターは最もゆっくり動き、2 回叩くと倒すことができる。黄色のモンスターは青のモンスターよりも少し速く動き、3 回叩くと倒すことができる。赤のモンスターは最も強いモンスターで、最も速く動き、5 回叩かないと倒せない。制限時間内に全てのモンスターを倒すことができれば、プレイヤーの勝ちとなる。逆に、制限時間内に全てのモンスターを倒すことができなかった場合は、プレイヤーの負けとなる。

5 ユーザスタディ

ARHunter がプレイヤーのプレイにどのような影響を与えるかを確認するため、ユーザスタディを行った。ユーザスタディでは 4 人の被験者(全て男性の大学生)に 2 人ずつのペアになってもらい、各ペアで ARHunter をプレイしてもらった。各ペアがプレイを始める前に、ARHunter の概要とゲームのルールについて簡単に説明を行った。



図 5. ユーザスタディの様子 (左図: プロジェクタを使用した場合、右図: プラズマディスプレイを使用した場合)

ユーザスタディでは、プロジェクタを使用した場合とプラズマディスプレイを使用した場合で、被験者にプレイをしてもらうこととした。また、各ペアは競争モードと協調モードの両方をプレイしてもらった。考察のため、被験者がプレイしている様子をデジタルビデオカメラで撮影した。また、プレイ後、被験者に口頭でいくつかの質問を行い、ARHunter に関する意見を聞いた。

ユーザスタディ時の様子を図 5 に示す。被験者全員がゲームのプレイ方法、ルールを簡単に理解できていた。また、プレイ後に行ったインタビューで得られたコメントは全体的に非常に肯定的なものであった。

6 考察

本節では、主に被験者から得られたコメントを基に、ユーザスタディで記録されたビデオを分析した結果を含めて、ARHunter に関する考察を進める。

- 「競争モードでは体を使って相手の邪魔をすることができるところがとても楽しかった。」
競争モードでは、図 6 に示すように、あるプレイヤーは対戦相手の動きを、手や体を使って邪魔をすることを何度か行っていた。このように ARHunter では、プレイヤーの現実世界の動作がゲーム上だけではなく、プレイヤー間においても影響し合うことになる。これにより、現実世界でのプレイヤー間のインタラクションが自然とゲームに取り入れられ、結果的にプレイヤーの楽しさを高めることに寄与したと考えられる。
- 「協調モードよりも競争モードの方がより楽し

いと思った。」

協調モードでは、プレイヤーが各自の役割を決めてモンスターを倒そうとする行動がしばしば観察された。例えば、あるペアは、片方のプレイヤーが左半分に現れたモンスターを、もう片方のプレイヤーが右半分に現れたモンスターを倒すようにしていた。このような協調はゲームをクリアする上では有効な手段であるが、各プレイヤーが自分の役割の範囲のみに集中してしまい、プレイヤー同士でインタラクションをとることが少なくなってしまう。このように、プレイヤー間でのインタラクションが競争モードに比べて、協調モードでは起きにくくなっていた点がこのようなコメントに反映されていると考えられる。従って、よりゲームの楽しさを高める点においては、プレイヤー同士のインタラクションを活発にするような協調ができるように、ゲームのルール等を改良する必要があると考えられる。

- 「影を相手に使われて、自分のモンスターを見失ってしまった。」
プロジェクタを用いた場合では、プレイヤーが自分の体で生じる影や体を使って、対戦相手のモンスターを隠すようなことをする場合もあった。このような没入型のシステムにおいては、通常プロジェクタによって生じる影は、ユーザにとって邪魔なものである。しかしながら、ARHunter ではその影をプレイヤーが積極的にゲームの中に取り入れている点は非常に興味深い。しかしながら、ユーザが意図せず生じてしまう影は、やはりプレイヤーにとって邪魔なものであるため、複数のプロジェクタを使う等



図 6. 体を使って対戦相手のプレイヤーを邪魔する様子

の改良が必要であると考えられる。

- 「ゲームをしているというよりも、スポーツや運動をしているようだった。」

ARHunter では、プレイヤーはモンスターに合わせて移動したり、モンスターを叩いたり吹き飛ばしたりする必要がある。このため、ゲームのプレイにおいて、現実世界の動作が関係する部分が多い。これにより、ARHunter をプレイ中、プレイヤーはスポーツや運動をしているような感覚を持ったと考えられる。スポーツや運動をエンタテインメントコンピューティングに取り入れる動きは近年進んでおり [9]、ARHunter のシステムをこのような応用に対して利用していくことが考えられる。

- 「もっと広いゲーム画面でもっと多くの人と一緒に遊んでみたいと思った。」

現段階ではプロジェクタを使用した場合、約 1.2[m] × 0.9[m] 四方のゲーム画面が生成される。しかしながら、3人以上でプレイする場合にはより大きなプレイ環境が必要であると考えられるため、プロジェクタを複数台使うなどの工夫が必要になると考えられる。

- 「アイテムなどが使えるようになると、もっと楽しく、戦略的になると思う。」

このコメントにもあるように、プレイヤーがゲーム上でアイテムを使えるようにすることで、よりゲームの楽しさを高められると考えられる。この場合、PDA などモバイルデバイスを組み合わせることが有効であると考えられる。

例えば、ゲームを有利に進めることのできるアイテム (20 秒間叩く力を 2 倍にすることができるドリンクや、10 秒間相手のモンスターの移動速度を 2 倍にする魔法のカードなど) がゲーム画面上に表示され、プレイヤーがそれらを拾うことができるようにする。この時、正確に拾うことができた場合、拾ったアイテムがゲーム画面上から消え、代わりにプレイヤーのモバイルデバイスのディスプレイ上に現れる。プレイヤーは自分の好きなタイミングや場所において、モバイルデバイスのディスプレイ上でアイテムを選択したり、適切な動作を行うことで、アイテムを使うことができるようにすることが考えられる。

また、プロジェクタを用いた場合と、プラズマディスプレイを用いた場合を比較すると、プラズマディスプレイを用いた場合では画面上に影が生じないため、プレイヤーはよりスムーズにプレイしていた。しかし、上述のような現実世界でのプレイヤー間のインタラクションは、プロジェクタを用いた場合に比べ、起きにくくなっていた。今回のユーザスタディではプラズマディスプレイは机の上に設置されており、プロジェクタを用いた場合のようにプレイヤーがゲーム画面に入り込んでプレイをすることはできないようになっていた。このプラズマディスプレイの物理的な存在が、プレイヤー間のインタラクションを妨げていたと考えられる。

この他、よりプレイヤーの没入感や楽しさを高める為に、改良できる点もいくつか挙げられる。例えば、今回用いたハンマーには PC と接続するためのケーブルがあったために、しばしばプレイヤーの動きを妨げてしまうことがあった。この点を改良するため、ケーブルを不要にするなどのハードウェアにおける改良が必要であると考えられる。

7 オープンハウスにおけるデモンストレーション

2005 年 10 月東京大学柏キャンパスで開催されたオープンハウスにて、ARHunter のデモンストレーションを行った。本デモンストレーションでは小学生くらいからお年寄りの方まで、多くの方に ARHunter でプレイをして頂いた。デモンストレーションはおおむね好評であった。デモンストレーションに参加



図 7. 東京大学柏キャンパスにおけるオープンハウスでのデモンストレーション

された方から得られたコメントのいくつかを以下に挙げる。

- 「もっとやってみたい。」
- 「良い運動になった。」
- 「家庭で遊べるようなシステムになるとよい。」
- 「足でモンスターを踏んでやっつけたい。」
- 「プレイヤーの位置の認識が遅い。」
- 「自分の影でマーカーが隠れてしまい、認識できない時がある。」

現在、このデモンストレーション時のプレイの様子や、デモンストレーションで得られた意見に関して、より深い考察を行っている段階である。

8 結論と今後の課題

本稿では、ARHunter と呼ばれる、マルチプレイヤーの没入型エンタテインメントコンピューティング環境を提案した。ARHunter では、ジェスチャ認識技術と位置認識技術が組み合わされており、プレイヤーの動作と位置を利用したゲームを実現することができる。さらに、ARHunter ではプレイヤー同士が競ってゲームを行う競争モードと、プレイヤー同士が協力してゲームを行う協調モードの、2つのプレイモードを実現した。ユーザスタディではプレイヤーが現実世界での動作でゲームをプレイすることにより、没入感や楽しさを高めていることを確認した。

今後の課題としては、よりプレイヤーの没入感や楽しさを高めるために、どのような工夫が必要かをさらに検討することがある。さらに、それらの検討を通して得られた知見を基に、エンタテインメントコンピューティング環境において、現実世界の動作をどのように取り入れることで、プレイヤーにどのような影響を与えるかを検討していきたい。

謝辞

本研究に関するユーザスタディ、及びオープンハウスでのデモンストレーションにご協力頂いた、東京大学の学生に感謝致します。

参考文献

- [1] Cheok, A. D., Yang, X., Ying, Z. Z., Billinghamurst, M., and Kato, H. (2002) “Touch-Space: Mixed Reality Game Space Based on Ubiquitous, Tangible, and Social Computing”, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 6, No. 5-6, pp. 430–442.
- [2] Cheok, A. D., Goh, K. H., Liu, W., Farbiz, F., Fong, S. W., Teo, S. L., Li, Y., and Yang, X. (2004) “Human Pacman: A Mobile, Wide-area Entertainment System Based on Physical, Social, and Ubiquitous Computing”, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 8, No. 2, pp. 71–81.
- [3] Hamalainen, P., Ilmonen, T., Hoysniemi, J., Lindholm, M., and Nykanen, A. (2005) “Martial Arts in Artificial Reality”, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 781–790.
- [4] Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B., and Paradiso, J. (1999) “PingPongPlus: Design of an Athletic-Tangible Interface for Computer-Supported Cooperative Play”, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 394–401.
- [5] Kato, H. and Billinghamurst, M. (1999) “Marker

- Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System”, in *Proceedings of the IEEE and ACM International Conference Workshop on Augmented Reality*, pp. 85–94.
- [6] Kusunoki, F., Sugimoto, M., and Hashizume, H. (2002) “Electronically Enhanced Board Games by Integrating Physical and Virtual Spaces, Entertainment Computing: Technologies and Applications”, in *Proceedings of International Workshop on Entertainment Computing*, pp. 200–211.
- [7] Mansley, K., Scott, D., Tse, A., and Madhavapeddy, A. (2004) “Feedback, Latency, Accuracy: Exploring Tradeoffs in Location-aware Gaming”, in *Proceedings of ACM SIGCOMM workshops on NetGames*, pp. 93–97.
- [8] Ohshima, T., Satoh, K., Yamamoto, H., and Tamura, H. (1998) “AR²Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality”, in *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, pp. 268–275.
- [9] Smith, B. K. (2005) “Physical Fitness in Virtual Worlds”, *IEEE Computer*, Vol. 38, No. 10, pp. 101–103.
- [10] Sugimoto, M., Kusunoki, F., and Hashizume, H. (2001) “E2Board: An Electronically Enhanced Board for Games and Group Activity Support”, in *Proceedings of Affective Human Factors Design*, pp. 227–234.
- [11] Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., Bondi, P. D., and Piekarski, W. (2002) “First Person Indoor/Outdoor Augmented Reality Application: ARQuake”, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 6, No. 1, pp. 75–86.
- [12] Ward, A., Jones, A., and Hopper, A. (1997) “A New Location Techniques for the Active Office”, *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, pp. 42–47.
- [13] Yatani, K., Tamura, K., Sugimoto, M., and Hashizume, H. (2004) “Information Transfer Techniques for Mobile Devices by Toss and Swing Actions”, in *Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 144–151.
- [14] Yatani, K., Tamura, K., Hiroki, K., Sugimoto, M., and Hashizume, H. (2005) “Toss-It: Intuitive Information Transfer Techniques for Mobile Devices”, in *Extended Abstracts of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1881–1884.