

# ガンシューティングゲームを実世界に拡張する 無線画像処理システムの提案

河野 航大<sup>†1,a)</sup> 伊藤 弘樹<sup>†1,b)</sup> 加藤 敬太<sup>†1,c)</sup> 川瀬 廣明<sup>†1,d)</sup> 佐藤 俊樹<sup>†2,e)</sup>

**概要:** 本論文では、ガンシューティングゲームのゲーム体験を向上させるための実世界指向のアプローチの拡張技術を提案する。本研究では小型赤外線カメラを搭載した、弾を発射しない安全な銃型入力デバイスと、複数の無線同期可能な赤外線光源を用いることで、従来のような画面に対する高速かつ正確な照準位置検出も可能にしつつ、実世界上の物や人に対する照準および識別を可能にする技術を開発した。本論文では開発したプロトタイプシステム及びガンシューティングゲームを拡張するアプリケーションについて述べ、本技術の可能性についての議論を行う。

## 1. はじめに

ビデオゲームの一つの大きなジャンルに「ガンシューティングゲーム」がある。ポインティングデバイス、特に手に持って使う銃の型を模した入力デバイス(以下、銃型コントローラと呼ぶ)を用いて画面に表示される標的を狙い撃つ(ポインティングする)ゲームである。ビデオゲームでも銃型のコントローラを用いて画面を直接ポインティング可能なものは古くは1930年代から親しまれてきており、現在でも方式は異なるが様々なものが製作されており、家庭やゲームセンター等で遊ぶことが可能である。

ガンシューティングゲームには歴史があり、確立されたゲームジャンルだと言えるがまだ様々な解決すべき課題・発展の可能性があると見える。例えば、ユーザは画面の前に立ちっぱなしの場合がほとんどなので、ユーザが体を動かす要素が強くないことが挙げられる。プレイヤーは平面的な画面の前に立って画面に向けてトリガを引くだけなので、マウスやキーボード等を用いて3次元空間内を自由に歩き回りながら戦うFPS(First Person Shooter)ゲームと比較し空間を自分の足で探し回る要素がほとんどない。またユーザが狙い撃つのも平面的な画面に表示された映像で

しかないで、平面的で現実感が低い。

このような問題を解決するために、HMDを装着したバーチャルな空間内でシューティングゲームを行うものも様々な開発されてきた。HMDはここ数年で解像度の向上がなされ、安価なモデルが登場したことで急速な普及を見せており、ガンシューティングゲームはそのコンテンツとしても有力なものになっている。HMDを装着することで、様々な方向を見渡して敵を探す動作や、移動可能範囲は限られるが実際にゲーム空間内を移動することも可能になる。しかし、HMDには頭部への装置装着の手間、同時に体験可能な人数の制限、長時間使用時の疲れやVR酔い、視野角の問題などまだ実用には様々な解決すべき問題がある。

ビデオゲームのゲーム体験を向上させるためにHMDを装着するVR的アプローチとは対局に位置するアプローチとして、我々が実在する実世界空間に直接映像プロジェクション等を行うことで視覚的に拡張し、実世界をゲーム空間化させるアプローチもなされてきている[4][3]。この実世界指向のアプローチはHMD等をユーザに装着する手間がないことから、より自然に近いゲーム体験の向上が期待できる。

そこで本研究は、従来は平面的な画面との対話が主であったガンシューティングゲームを実世界に拡張する試みを行い、ユーザの身体動作を取り入れたり、ターゲットを平面的な画面から空間的な広がりを持つ実世界のオブジェクトに拡張したりすることでより自然にゲーム体験を拡張する手法を提案する。

## 2. 目的

本研究では、ガンシューティングゲームでユーザが狙い

<sup>1</sup> 情報処理学会  
IPSI, Chiyoda, Tokyo 101-0062, Japan

<sup>†1</sup> 現在、電気通信大学情報理工学域  
Presently with The University of Electro-Communications

<sup>†2</sup> 現在、東京工業大学情報理工学域  
Presently with Tokyo Institute of Technology

a) kawano@imedia-lab.net

b) ito@imedia-lab.net

c) kato@imedia-lab.net

d) kawase@imedia-lab.net

e) sato@cs.titech.ac.jp

撃つ標的を平面から実世界の空間にあるオブジェクトに拡張し、ゲーム体験を向上させることを目的とする。具体的には、本論文では次の3つの試みを行う。はじめに、従来のような平面的な画像だけではなく、実世界の立体オブジェクトも標的可能にすることでユーザの感じる現実感を高める。次に、ゲーム中のユーザが可能な身体動作の自由度を高め、例えば「振り向く」、「隠れる」、「しゃがむ」などの動作をユーザの意思で実行可能にする。さらに広範囲に足で移動することも可能にし、プレイヤーのゲーム空間中の存在感・臨場感を高めることでゲーム体験を向上させる。

以上のような目的を実現しガンシューティングゲームの拡張を行うための技術として、本研究では以下の4つの要素を考慮することが重要だと考える。まず、ユーザの動きに対する環境の反応が低遅延で行われ、体験のリアルタイム性が高いことが挙げられる。次に、複数個の実世界物体をユーザが狙い撃った際に、弾の命中位置や、撃たれた物体の個体識別が可能である必要がある。また、命中判定手法はプレイヤーからターゲット間の距離が近距離の場合でも遠距離の場合でも検出可能であることが望ましい。また、ユーザの身体動作を阻害しないように、銃型コントローラはケーブル等で外部と接続せずとも運用可能であることが望ましい。

本研究が解決すべき技術的課題は、上記の要素を満たす実世界のオブジェクトに対するポインティングを実現する課題であると言える。これまでの実世界ポインティングの方法としては、例えば2次元コードを環境に張り付け、入力装置の位置姿勢を検出する手法があった[7]。また、不可視の2次元コードを用いて視覚的に邪魔になりにくい検出を可能にする研究も行われてきた[2][8]。しかし、マーカの検出のためには一定面積以上マーカがカメラに撮影される必要があり、高解像度カメラと高い解像度の画像処理を用いる必要である。これには高い画像処理の計算コストがかかり、リアルタイム性が損なわれたり、計算機の大規模化が必要になる問題がある。

また、銃型コントローラを用いた命中判定手法に、銃型コントローラ側が赤外線を照射し、標的側に取り付けた受光センサで受けることで命中判定を行う手法が古くからある。家電等のリモコン等では38kHzの周波数で変調した赤外光を専用のセンサで受光する方式が一般的であり、データの送受信も可能である。しかし、スクリーン等に対する2次元的な命中位置を求めることは困難であり、遠距離になるにつれ赤外線は広範囲に散ってしまうため正確な命中判定も困難になる。より指向性の強いレーザーを用いた手法もあるが、小さな障害物で簡単に遮蔽されてしまったり、レーザーを人に向けて用いる場合は安全性の問題も伴う。また、複数の赤が同時に一か所に照射された場合は互いの光が干渉(混線)してしまうため正確な検出が困難になるという問題がある。また、LEDを高速点滅させカメラで撮影

することで点滅に埋め込まれた信号からID情報を復元し、マーカを識別する手法もある[6]。しかし、干渉の問題に加え、高いフレームレートでの画像処理は負荷が高いという問題がある。

そこで本研究では、ガンシューティングゲームに適した新しい実世界ポインティングおよび識別手法として、「無線同期式赤外線マーカと高速赤外カメラを使った画像処理システム」を提案する。提案手法では、銃型コントローラに搭載したカメラで標的となるスクリーンや実世界オブジェクトにつけた赤外マーカが発する赤外線を検出することで高速に標的への命中を判定することが可能であるが、本研究ではこの赤外線マーカ検出による検出手法をさらに低遅延の無線通信技術で拡張し、高速で実世界のターゲットの識別も可能とする新しい検出法を実現した。

本論文では、以下に提案する技術の実装および具体的なアプリケーションについて述べ、性能や将来性について議論する。

### 3. 関連研究

ビデオゲームのディスプレイ周辺の実空間にプロジェクタで映像投影を行い、ゲーム体験を拡張する研究としてMicrosoft ResearchのIllumiRoom[4]がある。またMicrosoft ResearchのRoomAlive[3]は部屋全体の3次元形状を計測し、立体形状に合わせたプロジェクションを行うことで部屋全体をゲーム空間に変える研究である。

実世界に映像を投影する手法としては、カメラ・センサが内蔵された小型のハンドヘルドプロジェクタを手を持って実世界に直接映像を投影する手法がある[5]。このシステムでは、ハンドヘルドプロジェクタにより投影される画像を投影面上の模様テクスチャによって変えることが可能になり、例えば手書きの線の上を走ったり、障害物にぶつかったりする等のキャラクターと実世界オブジェクトとのインタラクションが可能である。また、実世界の物体にアクチュエータを内蔵させ、バーチャルなキャラクターが実世界の物体を動かしているかのようにみせる研究もある[1]。本研究でも実世界の物体に力を加える要素は重要であると考えており、特に本研究ではガンシューティングゲームに特化した「物が壊れる」動きに着目している。また実世界のオブジェクトに着弾した際の振動などもプレイヤーがゲーム体験中に自然に体で感じるができるようにしている。

同期式の赤外線マーカと高速度カメラを用いた検出技術は、LEDを用いたアクティブマーカ式のモーションキャプチャシステムで広く用いられている。これらの同期式マーカを用いた検出手法は、全てのマーカを順番に1個ずつ点灯させていき、高速度カメラで1つずつ読み取る方式が用いられている。この手法の場合、各カメラの撮影時に点灯するマーカの個数は1個のみであるため、混信が起らな

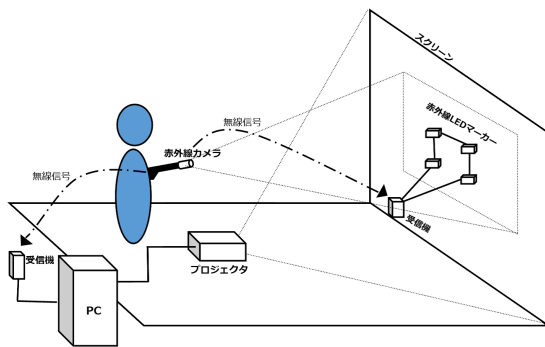


図 1 システム構成



図 2 カメラトリガユニットを装着した銃型コントローラ

いという利点があるが、一方で非常に高いフレームレートのカメラが必要であり、マーカの個数が増えるほど各マーカを撮影する間隔が長くなってしまいうというデメリットがある。本研究では、マーカの識別の際に1つずつ点灯させることは同様であるが、銃型コントローラではトリガを引いた瞬間のみの発光で十分であること、銃の発射感覚は連続発射の場合でも20発毎秒程度であることなどの条件を考慮するなど、より銃型コントローラに特化した検出システムとなっている。

## 4. 実装

次に、プロトタイプシステムの実装について述べる。

### 4.1 システム概要

本システムのシステム構成を図1に示す。本システムはカメラ搭載の銃型コントローラデバイスおよび標的に装着する複数の赤外線マーカ群から成る着弾判定システムと描画用の計算機およびプロジェクタから成る。着弾判定システムでは、銃型コントローラに搭載された赤外線カメラ映像から赤外線マーカを検出し、同じくコントローラに内蔵可能な小型計算機内で画像処理により即座に着弾判定を行う。判定結果は有線(ソケット通信)やWiFi等の無線で描画用計算機に送られ、画面に結果が描画される。

#### 4.1.1 銃型コントローラデバイス

銃型カメラデバイスの構成を図2に示す。銃型カメラデバイスは、可視光カットフィルタを内蔵させた小型カメラ(Point Grey Research Flea3)、トリガ検出機構、無線送受信機能付きマイクロコントローラ(nRF51シリーズ)、及び画像処理用計算機から成る。赤外線カメラ、トリガ検出機構および無線マイクロコントローラは筒状のユニットに組み込み、銃口の先端部分にねじ込むことで装着可能にした。なお銃本体部分は体験のリアリティを高めるために、市販のエアソフトガンから弾の発射機構を取り除いたものを用いた。また、計算機自体を銃型コントローラに搭載することも可能であり、その場合は小型計算機(ECS BatMini)およびバッテリーを銃本体に搭載する。

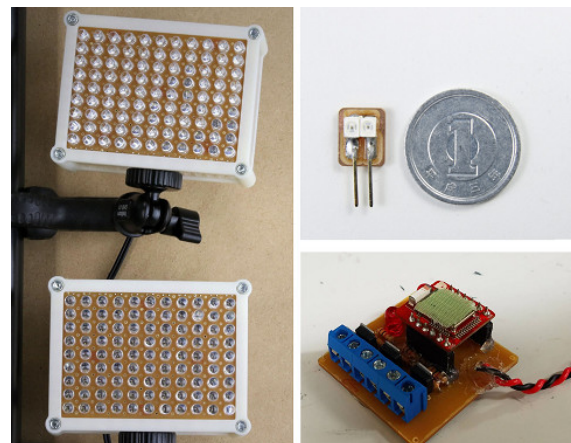


図 3 投光器型(左)と点光源型(右上)の赤外線マーカデバイス及び発光制御信号受信機(右下)

#### 4.1.2 赤外線マーカデバイス

赤外線マーカデバイスの構成を図3に示す。この赤外線マーカは銃型コントローラが発する無線信号により発光制御が可能な赤外線投光デバイスである。個々のマーカデバイスは個別の識別用IDを持ち、受信した発光信号に自分のIDが含まれていた場合のみ、信号で指定された時間だけ発光する。このマーカデバイスは後述する異なる検出方法で用いるため、視野角の広い小型LEDが搭載された点光源型のもの、複数の5mm赤外線LEDを縦横に並べ強い赤外線を照射可能な投光器型の異なる2タイプを制作した。点光源型のは、1つのデバイスに複数の点光源を接続し同時発光させることも可能であり、後述のように着弾位置判定に用いたり、カメラ画像中の点灯の個数を画像処理で検出し画像処理ベースのID識別を行う等に用いることも可能である。

### 4.2 着弾判定用画像の撮影

ユーザが銃の引き金を引くと、エアソフトガン本来の機能により銃口部分からわずかに圧縮空気が噴き出す。この圧縮空気は銃口装着型カメラトリガユニット内に配置した板ばねと接続された小型のディテクタスイッチにより検出される。

ユーザにより引き金が引かれたことが検出されると、トリガ検出ユニット内のマイクロコントローラは即座に全ての赤外線マーカに無線信号を送信する。この無線信号には発光するマーカの ID が含まれており、信号を受信した赤外線マーカの中で信号に含まれる ID を持つマーカを即座に発光させることができる。信号送信と連続して、マイクロコントローラは銃口部分に装着された赤外線カメラの外部トリガ入力端子にカメラのシャッター信号を入力する。これにより即座にカメラのシャッターが切られ、赤外線マーカが発した光を含む赤外線画像が銃口に位置する赤外線カメラにより撮影される。複数のターゲットを識別する必要がある場合は、ID を指定した赤外線マーカの発光とカメラの撮影を複数回連続して行い、複数枚の異なる赤外線画像を撮影する。

#### 4.3 命中判定処理

本システムでは、上述の処理により撮影された赤外線カメラ画像を即座に画像処理することで仮想的な弾の命中判定を行う。なお、今回の実装において、カメラの画像は解像度 640x480 ピクセルのグレースケール設定で取り込みを行った。今回のプロトタイプシステムではユーザが狙うターゲットの種類に応じて、1. 着弾の有無だけ判定する場合と、2. 着弾位置を正確に求める必要がある場合の異なる 2通りの判定処理を実装した。

前者の場合の判定は、単純に銃型コントローラの照準位置に対応したカメラ画像の画素が白か黒かのみで判定を行う。つまりは、赤外線マーカがカメラに撮影されたか、撮影されなかったかで判定を行う。これを行うために、ターゲットにはターゲットの表面積に応じて赤外光を面で発光させる必要がある。そのため、ターゲット上に複数の赤外線 LED を並べて装着したり、広範囲の場合は外部から赤外線を照射したりする必要がある。

後者の場合は、プロジェクションされた大画面のスクリーン等への着弾位置を判定する処理である。この場合、ターゲットには小型の赤外線 LED で構成した最低 4 点以上の点光源型マーカを装着し、カメラ画像中の複数のマーカの位置関係から各マーカのターゲット座標系上の座標を求める。これらの座標と各マーカのカメラ画像上の座標間の対応を取り、ターゲット座標系に変換する射影変換行列を求める。この行列を用いることで、カメラ画像上の任意の画素に対応するスクリーン上の着弾位置座標を求める事が可能になる。

## 5. アプリケーション

本研究では、以下のプロトタイプアプリケーションの開発を行った。

### 5.1 動く要素のあるガンシューティングゲーム

本システムを用いることで、従来のガンシューティングゲームと同様の画面に対する着弾位置検出が可能なシューティングゲームを開発することが可能である。従来のガンシューティングゲームでは単一の画面を用いることが前提だったが、提案システムを用いることで複数画面の同時使用と、それらの識別が容易に可能になる。複数枚の画面を壁・床・天井を含め様々な場所に配置することで、前方の画面に向かって立ったまま動くことのなかったプレイヤーが様々な方向を向き、また様々な場所へ移動することが可能になる。また複数画面と複数プレイヤーの参加も可能になり(例えば一人が観測役、もう一人が射撃役等)、プレイヤー間コミュニケーションの促進効果も期待できる。

### 5.2 実世界射的ゲーム

ディスプレイの映像が変化するだけではなく、実際に実世界にある物が動いたり壊れたりすることはゲーム体験のリアリティを高める重要な要素である。本研究では、スクリーンの前に標的となる「物」を置くことができる射的ゲームとして、「風船」を撃って割ることができる標的装置を作成した。この標的装置は、撃たれた際に無線信号により内蔵した電磁ソレノイドを動作させて風船に穴をあけ、撃たれたかのように風船を破裂させることが可能である。また、風船の下部に赤外線 LED を内蔵し、風船全体が赤外線発光するようになっており、着弾の判定が可能になっている。なお、背景のスクリーン映像にはスコアとエフェクトが表示される。

このような「実世界の物を撃つ」体験を実現するためには、射的やスポーツのライフル競技のように実際に弾を発射する必要があり、安全性の問題があった。一方、本システムはカメラを用いて判定を行うため、一切弾を発射せず安全である。また本システムではプロジェクションによる実標的へのエフェクトの投影も可能であることから、よりリアリティを高める演出も可能になる利点もある。

### 5.3 対戦型ガンシューティングゲーム

向かい合う 2 面のスクリーンを用いた対戦型の対人シューティングゲームである。プレイヤーは映画のワンシーンのように、向き合って立つもう一方のプレイヤー(対戦相手)と仮想的な銃撃戦を繰り返して遊ぶことができる。このアプリケーションのために、本研究では図 4 のような 2 セットの対面スクリーン環境を構築した。

このアプリケーションでは、「物陰に隠れて撃つ」要素を再現するために、プレイヤー前方に倒した机を模したプレイヤーが実際に隠れることができる障害物を設置した。この障害物の前方は独立したスクリーンになっており、弾の痕やスコア等のエフェクトも表示される。また全面スクリーンは撃たれた際に足部分に装着した電磁ソレノイドで

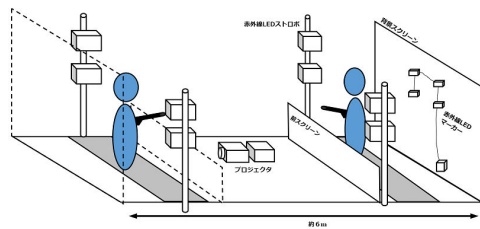


図 4 対戦ゲーム用対面スクリーンの構成

振動し、近くで隠れているプレイヤーに音と振動による臨場感を与えることができる。プレイヤー背面には弾痕等のエフェクトが表示されたり、ゲーム性を高めるためのアイテム等が表示される大型スクリーンが存在する。また、今回はよりエンタテインメント性を高める付加的な要素として、今回の実装においてはプレイヤーの腕に対する電氣的筋刺激 (EMS) 発生デバイスを装着させ、銃の反動と撃たれた場合の痛みを再現する試みを行った\*1。

以上の「背景スクリーン」、「プレイヤー」、「前景スクリーン (障害物)」の3つの異なる標的は、3つの異なる ID が付与された赤外線マーカデバイスが取り付けられている。まずユーザが引き金を絞ると、プレイヤーの前面にある障害物に設置された4点の点光源型マーカが同時発光する。これにより、標的に対する命中判定が行われ、命中していた場合は弾の痕等のエフェクトが描画される。もし弾が標的に命中していない場合、連続してプレイヤーに対する命中判定が行われる。これはプレイヤーの両サイドに設置した複数の投光器型デバイス (赤外線ストロボ) がプレイヤーに赤外線を照射し、その反射光をカメラが撮影することで行う (図5)。もしプレイヤーに命中していた場合は即座にプレイヤーの腕に装着している EMS デバイスに無線信号が送られ、プレイヤーの腕に対し電気刺激を送る。最後に、背景スクリーンに対する着弾位置が同様の4点の点光源型マーカにより計算され、スクリーンに弾の痕や、プレイヤーに命中していた場合は特別なエフェクトが描画される。

## 6. 議論

次に、今回実装を行ったプロトタイプシステムの性能や未解決の技術的課題、また将来の可能性についての議論を行う。

### 6.1 無線および画像処理の遅延について

本システムで用いている 2.4GHz 帯の無線送信において送信したパケットが到達するまでの遅延は約 400usec で

\*1 謝辞: EMS デバイスの製作に当たっては慶応義塾大学中西研究室の斎藤文人氏に多大な技術的ご指導を頂いた。



図 5 左右から赤外線投光器に照射されたプレイヤー画像

あった。またカメラのシャッタースピードに要する時間はマーカの明るさに依存するが、現在の実装では 2msec 程度で十分であった。また得られた赤外線画像に対する画像処理は、計算速度の遅い小型の計算機でも 1msec 以内で可能であると思われる。そのため、1枚の画像撮影に要する時間は 5msec 以内に収めることが可能であると考えられる。

一般的なゲームで弾を連続射撃する場合多くても毎秒 20 発程度の発射であると思われることから、これは十分小さい時間であると言える。また、1つの ID 識別に1枚の画像撮影が必要であり、これに 5msec の時間を要するとすると毎秒 20 発の連射であれば4個の独立したターゲットを識別することができることになる。また、連続した発射の場合はターゲットの位置関係があらかじめ既知である場合など、ある程度の ID の絞り込みが可能であることが考えられ、その場合はより多くの識別が可能になるのではないかと考える。

単発発射の場合は、より発射間隔が長い場合より多くの ID の識別が可能になると考える。また一般的にエアソフトガンを含む銃の引き金には「遊び」があり、ある程度引き金を引き絞らないと発射されないようになっている。これを利用し、引き金の引き絞り量を検出する手法と組み合わせれば、発射されるタイミングの直前に何枚かの画像撮影を行い、事前にターゲットの ID を識別しておく手法も考えられる。また、発射から着弾までの時間は一般的にターゲットとの距離に依存する。そのため、ゲームにおいて「長距離の射撃である」というゲーム設定を付与しておけば、さらに多くの枚数の撮影が可能になり、より処理に時間がかかる画像処理も適用可能になると考えられる。

### 6.2 複数のコントローラを用いる場合

マルチユーザ環境下で複数台のコントローラを同時使用する必要がある場合、他のコントローラが画像撮影中に別のコントローラが発光信号を送信する可能性もある。この場合、後から送信したコントローラの撮影をしばらく待つか、タイミングが近い場合は同時に撮影させる等の手法が

考えられる。これを行う場合は、コントローラ側が他のコントローラの発光信号の受信を行いタイミングを割けたり、発光の許可・不許可の判定を行う判定デバイスを用意しておくことも考えられる。

### 6.3 人の検出について

今回実装した対戦型ゲームアプリケーションでは、人を検出するために外部環境に設置した赤外線投光器でユーザに対して赤外線を照射し、赤外線により明るく照らされたユーザの体をカメラで検出する処理を行った。この処理では、ノイズを除去するため得られた画像を2値化し、銃の照準位置と対応するピクセルを中心とした10x10ピクセル程度のウインドウ内の白ピクセルの数を数え、80%以上が白である場合命中したと判断するようにした。この処理では非常に高速に命中判定を行うことができるが、プレイヤーの体に広く赤外光を照射する必要があるため多くの光源デバイスを設置する必要があるため多くの光源素材によっては十分に明るくならなかったりする問題があった。この問題を解決するためには、再帰性反射素材を用いたユニフォームをプレイヤーに装着させ、銃型コントローラ側に赤外線光源を装着する手法も考えられる。またプレイヤーのどの部位に命中したかまでの判定は行えなかったため、今後は画像処理のアルゴリズムも改良し、よりロバストかつ細かい部位の検出等の実現が可能な手法を検討していく。

## 7. まとめ

本研究では、ビデオゲームのジャンルとして長年親しまれてきたガンシューティングゲームに着目し、これを実世界に拡張することが可能な無線式の画像処理システムの提案を行った。また複数のスクリーンや、実世界オブジェクトを用いた標的デバイス、また人の検出等を組み合わせた高い身体動作を伴うエンタテインメント性の高いアプリケーションの提案も行った。今後は画像処理アルゴリズムの改良等を行い、よりロバストかつ高い精度の検出が可能なシステムの実現を目指す。さらに近年屋内外ではエアソフトガンを用いて行われる所謂サバイバルゲーム競技の人気が高まってきており、これらの競技の安全化や体験の拡張にも本研究の技術が応用できないか積極的に検討していく。

## 参考文献

[1] Aoki, T., Matsushita, T., Iio, Y., Mitake, H., Toyama, T., Hasegawa, S., Ayukawa, R., Ichikawa, H., Sato, M., Kuriyama, T., Asano, K., Kawase, T. and Matsumura, I.: Kobito: Virtual Brownies, *ACM SIGGRAPH 2005 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '05, New York, NY, USA, ACM, (online), DOI: 10.1145/1187297.1187309 (2005).

- [2] Chan, L.-W., Wu, H.-T., Kao, H.-S., Ko, J.-C., Lin, H.-R., Chen, M. Y., Hsu, J. and Hung, Y.-P.: Enabling Beyond-surface Interactions for Interactive Surface with an Invisible Projection, *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 263–272 (online), DOI: 10.1145/1866029.1866072 (2010).
- [3] Jones, B., Sodhi, R., Murdock, M., Mehra, R., Benko, H., Wilson, A., Ofek, E., MacIntyre, B., Raghuvanshi, N. and Shapira, L.: RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-camera Units, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 637–644 (online), DOI: 10.1145/2642918.2647383 (2014).
- [4] Jones, B. R., Benko, H., Ofek, E. and Wilson, A. D.: IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 869–878 (online), DOI: 10.1145/2470654.2466112 (2013).
- [5] Yoshida, T., Hirobe, Y., Nii, H., Kawakami, N. and Tachi, S.: Twinkle: Interacting with Physical Surfaces Using Handheld Projector, *Proceedings of the 2010 IEEE Virtual Reality Conference*, VR '10, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, pp. 87–90 (online), DOI: 10.1109/VR.2010.5444809 (2010).
- [6] 伸行松下, 大輔日原, 輝行 後, 真一吉村, 暦本純一: 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 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/170000123574/>) (2002).
- [7] 裕子植松, 英雄斎藤: 2次元画像マーカのパターンマッチングによるARのためのカメラトラッキングの高精度化, *情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)*, Vol. 2008, No. 3, pp. 149–154 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110006623146/>) (2008).
- [8] 祐介中里, 誠之神原, 直和横矢: 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, (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/120005867247/>) (2005).