

1. 担当 PM

五十嵐 悠紀（明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科 専任講師）

2. 契約者氏名

クリエイター：濱西 夏生（東京大学 大学院 学際情報学府）

3. 委託金支払額

2,304,000 円

4. テーマ名

自身の身体をコントローラとして使う MR システムの開発

5. 関連 Web サイト

なし

6. テーマ概要

本プロジェクトでは MR 環境において身体を意図したとおりに動かすためのソフトウェアフレームワークを開発した。本プロジェクトの特徴は自身の外部の視点から身体を見た際に得られる視覚情報を用いていることであり、本プロジェクトの成果ではユーザが意図した身体の動きと実際の動きとの差分をリアルタイムで理解することが可能となった。

7. 採択理由

ロールプレイングゲーム（RPG）やアクションゲームにおける 3DCG キャラクターに注目をして、バーチャルな空間におけるキャラクターを実際の自分の身体のように操作するためのシステムおよびインタフェースの開発の提案である。本プロジェクトでは、ゲームの世界のキャラクターに対して、ユーザ自身の身体を 3 次元空間のコントローラとして使うための MR（Mixed Reality, 複合現実）プラットフォームを提案・開発することを目標とした。また、その有用性を示すようなアプリケーションを開発することとした。

クリエイターは採択時には既に、自身の身体の姿勢や動きを正確に再現した身

体のコピー（アバター）を光学透過型ヘッドマウントディスプレイの画面上にリアルタイムに提示する「Body Cursor」というシステムを開発中であり、これを拡張することで、

- ユーザ自身の Body Cursor を可視化し、自身の身体との対応関係をユーザに容易に理解させる機能
- ユーザの全身のモーションを、光学式モーションキャプチャを使わずにキャプチャする機能
- Body Cursor を使って遊ぶ、アクション・RPG ゲームとしての機能
- 身の周りにあるものをゲームの世界にアイテムとして持ち込む、3D スキャン機能

といった機能を実現し、汎用的な MR ゲーム用のプラットフォームとして確立させることを目指すこととした。

従来普及している手で持つタイプのゲームコントローラや、キネクトなどに代表される人体の動きをセンシングして入力するインタフェースとは異なり、自分自身がコントローラになるという斬新な発想である。提案システムを利用することで、後ろから見た映像を使えるなど、従来のコントローラやインタフェースとは違った視点からゲームを体感できるものになるだろうと推測する。また、自身の身体がコントローラであることを活かすためのゲーム設計も必要となるため、その点も含めて開発を進めていくことを期待した。

応募時、既に開発を進めており、その上で必要な要素技術に関する調査や問題点の把握なども済んでいた。そのため、実現可能性は期待できると判断した。世の中では、3次元CGを利用したゲームは低年齢児にまで広がりを見せ、子どもでも操作が簡単なインタフェースが求められている。また、オンラインゲームが急速に普及し、それによってゲーム業界も変化が起きている。本提案が既存技術の組み合わせを超えた、これまでにないゲーム体験ができることを期待すると共に、この技術がゲームだけにとどまらず、一般的な身体をキャプチャする技術や振り返りのための技術へも貢献できると考えた。

8. 開発目標

本プロジェクトはロールプレイングゲーム（RPG）やアクションゲームにおける3DCGキャラクターに注目をして、バーチャルな空間におけるキャラクターを実際の自分の身体のように操作するためのシステムおよびインタフェースを開発する提案であった。本プロジェクトでは、ゲームの世界のキャラクターと、現実の世界の自分の身体との間に存在する、身体的なマッピングの齟齬の解消を目指し、身体を3次元空間のコントローラとして使うためのMR（Mixed Reality, 複合現実）プラットフォームを開発する。また、その有用性を示すよう

なアプリケーションを開発することを目標とした。

クリエイターは採択時には既に、自身の身体の姿勢や動きを正確に再現した身体のコピー（アバター）を光学透過型ヘッドマウントディスプレイの画面上にリアルタイムに提示する「Body Cursor」というシステムを開発しており、これを利用して拡張することで、以下の機能をもつシステムを開発することを目指した。

- ユーザ自身の Body Cursor を可視化し、自身の身体との対応関係をユーザに容易に理解させる機能
- ユーザの全身のモーションをキャプチャする機能
- Body Cursor を使って遊ぶアプリケーション機能
- 身の周りにあるものをゲームの世界にアイテムとして持ち込む、3D スキャン機能

これらを実現し、汎用的な MR コンテンツ用のプラットフォームとして確立させることを目指した。

9. 進捗概要

開発システムはゲームエンジンである Unity 上で動作する。ハードウェアとしてはモーションキャプチャシステムと MR 用の Viewer を必要とする。モーションキャプチャシステムには光学式・慣性式の 2 種類を利用して検証した。MR 用の Viewer は光学透過型のヘッドマウントディスプレイ (Head-Mounted-Display : HMD) と自作した光学透過型スクリーンを用いて検証した。本プロジェクトで提案するシステムのソフトウェア部分は、モーションキャプチャシステムから受け取った運動情報を幾何計算・座標計算するサーバ・アプリケーションと、その計算結果を受け取り、実空間に重畳表示するクライアント・アプリケーションからなる。これらのソフトウェアを用いることで、ハードウェアの実装に依存せずに、目的の機能を提供できるソフトウェアフレームワークを開発した。

開発システムはユーザに以下の機能を提供する。

- 機能1. 自分の姿勢をリアルタイムに視認できる機能
- 機能2. 過去の自分の動きを視認できる機能
- 機能3. 他者の身体の動きを視認できる機能

本システムの基本となる機能 1. について説明する。本機能を実現するためには、人間の身体の外部にある視点と、その外部の視点から見えるはずの身体の視覚情報を作る必要がある。具体的には、以下のような手順でそれらを作成する。

- ① まず人間から骨格情報を抽出し，アバターを作成する（図 1 上半分）.
- ② このアバターに骨格情報を抽出した人間の運動情報を反映する.
- ③ アバターを MR 空間上に表示し，座標変換を行うことでユーザが視認できる状態にする.

この手順を行うことで実質的に身体の外側からの視点を作ることができる（図 1 下半分）. この視点を通して，ユーザは自身の姿勢をリアルタイムに視認し，身体を動かせる状態となる. こうした一連の処理を計算機により実行することで，ユーザは自身の身体の外側からの視点と，その外部の視点から見える身体の視覚情報を得ることができる. 実際にこの機能を利用している様子を図 2 に示す. 図 2 では，ユーザはリアルタイムに身体の前側の視点から自身の姿を見ている.

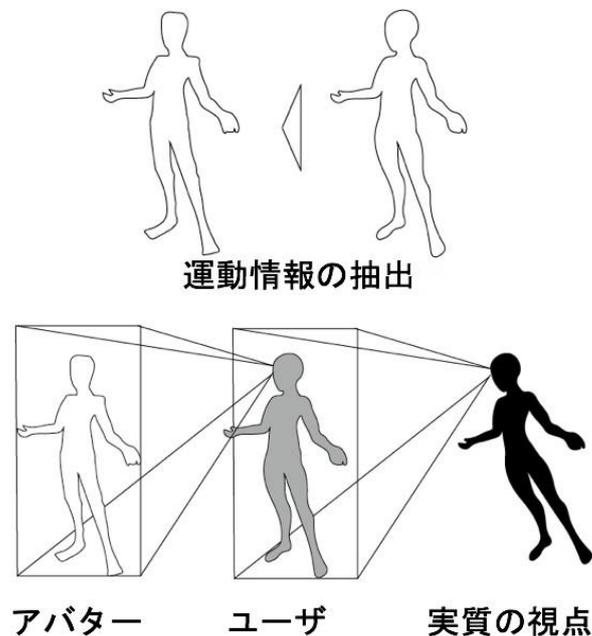
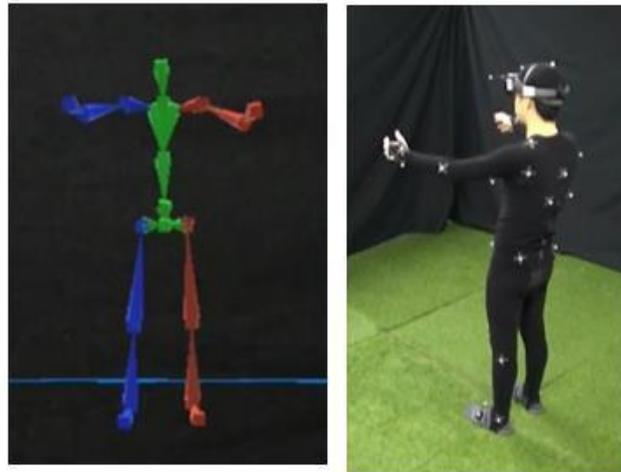


図 1. 身体の外側の視点の作り方

機能 2. はユーザが自身の身体の動きが結果としてどうなったのかを，身体の感覚が頭の中に残っている間に確認できるようにする機能である. 利用シーンを考えると，この機能はユーザが任意のタイミングで利用できるようなっている必要がある. そこで本プロジェクトで図 3 に示すように，MR 用の Viewer 上にボタンユーザインタフェース (UI) を用意した. 図 3 では白い部分がボタン，青色の部分が選択中のボタンを意味している. このボタンを選択することで特定の秒数前の動きからボタンを選択するまでの動きをリプレイ再生するようにした.



ユーザの視点

ユーザの姿勢

図 2. システム利用時の様子

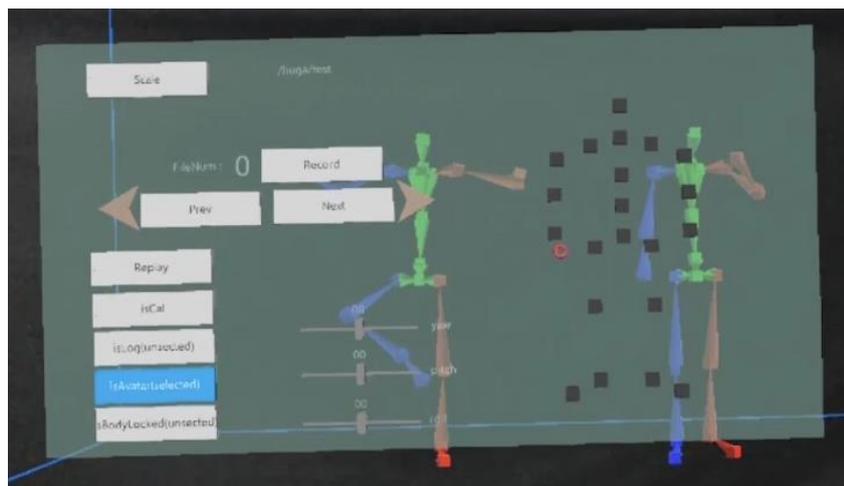
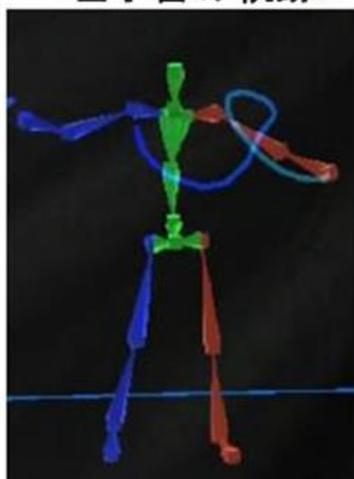


図 3. MR用 Viewer の UI

また、これを実現するために必要な、モーションデータを記録・再生しサーバ・アプリケーションとクライアント・アプリケーションで共有する仕組みを開発した。さらに、アバターの動きを確認するだけでは運動情報を見落としてしまう場合や、時系列的な動きを把握するのが難しいという場合へ対応するために、動きの軌跡を可視化できる機能を開発した。軌跡は関節の位置毎に可視化でき、どの関節の動きを可視化するかはユーザが選択することができる。一度に複数の関節の位置を確認することもできる。図 4 は左手首の位置の軌跡を可視化した場合の様子で、青い線が軌跡を意味し、左手首を右から左に回転させながら動かしたことを示している。

左手首の軌跡



動きの軌跡を可視化

図 4. 左手首の関節の動きの軌跡を可視化している様子

機能 3. は自分以外の動きを機能 1. と機能 2. を用いて視認する機能である。体格を正規化することで、自身の運動情報と他人の運動情報との比較が容易に行えるようにした。さらに動きの軌跡の色を変化させることで動きの類似度を提示する機能を開発した。

本プロジェクトは採択当初から既に基礎的な実装に着手しており、課題の洗い出しや関連研究の調査等も行われていた。ただ、採択後すぐの段階では、具体的に何をすべきかが定まらず、何をどのように着手していったら良いか、方向を模索していた印象である。また、秋卒業ということもあり、修士論文の執筆を抱えており、学業との両立でなかなか時間取れなかったという面もあった。

そのような中で、まずはブースト会議までに、アバターの向きが分かるような視覚表現を実装（身体を動かす方向に矢印をだすことや、動きの軌跡の表現）し、その比較検討を行った。また、振動フィードバック付きスーツの実装と検証（有り無し）、パイロットスタディとして、棒や板などの予め決まったオブジェクトをアバターに保持させ、アバターに向かって飛んでくるオブジェクトや、アバターの周辺に配置したオブジェクトとの衝突などを検証するといったことを順に行っていた。

特にこのシステムのキモでもある、「ユーザのアバターを 3 次元空間に重畳表示する方法」に関して、棒人間表示やアバターの存在位置のテスト（ユーザの頭に追従し常に前方にいるのか、それとも実空間に固定するのか）を実装してユーザにコメントをもらったものの、あまりポジティブなコメントが得られておらず、方針がなかなか定まらなかった。そこで、棒人間の色や透過度、アバターの向きなどいろいろな表示手法を試して改善していった。

また、この分野の研究は急速に進んでおり、OpenPose¹が公開されるなど劇的な変化を遂げている。2次元スケルトンのキャプチャを動かして調査してみるなども行っていた。その間、3次元CGのプログラミングに苦労しながらも、議論を重ねていき、BodyCursorの一人称視点と三人称視点のどちらか一つを取るのではなく、両方を実装した上で状況によって切り替えるのも面白そうであり、かつユーザは理解がしやすそうであるということで切替機能を実装した。

首藤 PM との合同合宿、藤井 PM との合同合宿、八合目合宿を経て、様々な方向性を議論していただくたびに多くのコメントの中で何を選び、何を実装していくか、未踏プロジェクトとしての方向性をたびたび悩むことがあった。その都度、この方向性だったら世の中へどのような貢献ができるのか、濱西氏は何がやりたいのか、をチャットで議論していった。

本プロジェクト期間後半では身体全体を見る必要がある動きとして「スポーツ」といった明確な目標ができたことで、実装すべきことも具体的になり、進むようになった。本システムを活かしたコンテンツとして、ゲームではなく、スポーツを対象にすることを検討し、システムをボウリング選手に使用してもらい、インタビューを行った。その結果、ボウリング選手も日ごろからこのシステムの提示画面のような自分を客観的に見た姿を想像しながら練習に取り組んでいることなどが分かった。

モーションキャプチャスーツをなしでキャプチャしたいという当初の目標までは結局たどり着くことができなかったが、今後技術が進んで身体を手軽にキャプチャできるようになった暁には、自身の体を客観的にみられる本システムの機構を用いることで様々なスポーツや動きへ応用できることを示すことができたと考える。

10. プロジェクト評価

本プロジェクトではMR技術を用いて、1人称視点と3人称視点を切り替えながらユーザ自身の姿勢を確認することができるシステムを開発した。自分を模したアバターを3次元空間に重畳表示し、自分の動きや姿勢をリアルタイムで確認することができるシステムはこれまでになく、スポーツやダンスといった自分の姿勢を客観的に見る必要がある業界に対して、本システムは貢献することができるものとして評価できる。

プロジェクトの進み方としては、採択当初はクリエイターの修士論文執筆期間とも重なっておりなかなか進まない時期もあった。しかし、身体全体を見る必要がある動きとして「スポーツ」といった明確な目標ができた後は、実装すべきことも具体的になり、開発が進んでいった。モーションキャプチャスーツなしでキャプチャしたいという当初の目標までは結局たどり着くことができなかったが、この分野はOpenPoseが公開されて研究者がこぞって研究を始めるな

¹ <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>

ど、技術の進歩が速い分野である。今後技術が進んで身体を手軽にキャプチャできるようになった暁には、自身の体を客観的に見られる本システムの機構が様々なスポーツや動きへ応用できることを示すことができたと考える。

11. 今後の課題

本システムは現状では誰でも手軽に使えるシステムにはなっておらず、大規模なモーションキャプチャシステムとそれを稼働させるための高価格なディスプレイを使用している。このまま汎用性があるものへと開発を進めていくのであれば、野球場やバッティング場、ボウリング場といった選手がいる場所への導入が検討できるだろう。

一方で、もっと手軽にモーションキャプチャシステムおよびハコスコのようなディスプレイで提示できるのであれば、各家庭から楽しめるゲームコンテンツや基礎練習のためのシステムとしても使えるだろう。

急速に MR 技術は発展してきているため、どちらの方向性にしても技術は追いついてくると想定される。ぜひ実用化へと頑張ってもらいたい。