

Hakoniwa: ミニチュアモデルを媒介とした 3D アニメーション撮影環境

松村 耕平^{1,a)} 角 康之^{1,b)}

概要: ユーザがミニチュアモデルを手で操作することで3DCG空間(仮想空間)の現象やカメラワークを編集できる箱庭環境を提案する。箱庭内のモデル動作をモーションキャプチャすることで仮想空間のコンテンツ生成を容易にすると同時に、プロジェクションマッピングによって箱庭空間を情報強化する枠組みを提案する。この枠組みでは、実空間の動きを仮想空間に反映し、アニメーション編集を可能するだけでなく、実世界のミニチュアモデルにアクチュエータを内蔵することによって仮想空間のイベントを物理空間に反映させることができる。これらの相互強化により、よりユーザ体験を豊かにできると考える。

Hakoniwa: A Miniature World Realizes Mutual Enhancement between Real and Virtual Spaces

KOHEI MATSUMURA^{1,a)} YASUYUKI SUMI^{1,b)}

Abstract: In this paper, we propose a miniature world to help making 3DCG animations. It enables users to directly manipulate CG models and camera work, and frees the users from annoying operations such as placing models and applying physical effects.

1. はじめに

3Dアニメーションの制作にはいくつかのプロセスがある。キャラクターや環境を3Dモデルとしてコーディングするモデリング、個々のモデル(キャラクターなど)に動きをつけるモーション生成、それらを3D空間に配置するシーンレイアウト設定、画像を生成するレンダリングなどが主要なプロセスである。

シーンレイアウト設定において、制作者はCGソフトウェア上で、GUIによる操作や、組み込みプログラミング言語を用いたスクリプティングによってモデルをシーンに割り当てる。このプロセスは、アニメーション制作において、シナリオに基づいて映像表現を行う部分であるため、制作者にとって重要であると考えられる。しかし2D

のディスプレイ上でGUIを用いて3Dモデルを操作するのは容易ではない。また、近年では、シーンに物理演算を組み込み、リアルな環境を再現することが一般的になりつつある。しかし、物理演算は計算コストが大きく、レンダリングに時間がかかってしまう。これらは3Dアニメーション制作における課題である。

我々は、これらの課題について、3DCGの仮想空間と、キャラクターや大まかな環境をミニチュアモデルで再現した実空間を結びつけることによって解決したいと考えた。

本稿では、問題に対するアプローチとして、ユーザがテーブル上で直接操作できるミニチュアモデルと小型ロボット、それらに3Dモデルを投影するプロジェクタからなる箱庭環境Hakoniwaを提案する。このアプローチでは、ユーザはミニチュアモデルを直接操作し、人形劇のような形で直感的に3DCGアニメーション制作を行うことができる。また、コンピュータによる演算によらないリアルな物理作用の再現ができる。インタラクティブにミニチュアモデルに仮想空間をマッピングすることで、子どもなどの3DCGに

¹ 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
Future University-Hakodate, Kamedanakano-cho 116-2,
Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

a) matsumur@acm.org

b) sumi@acm.org

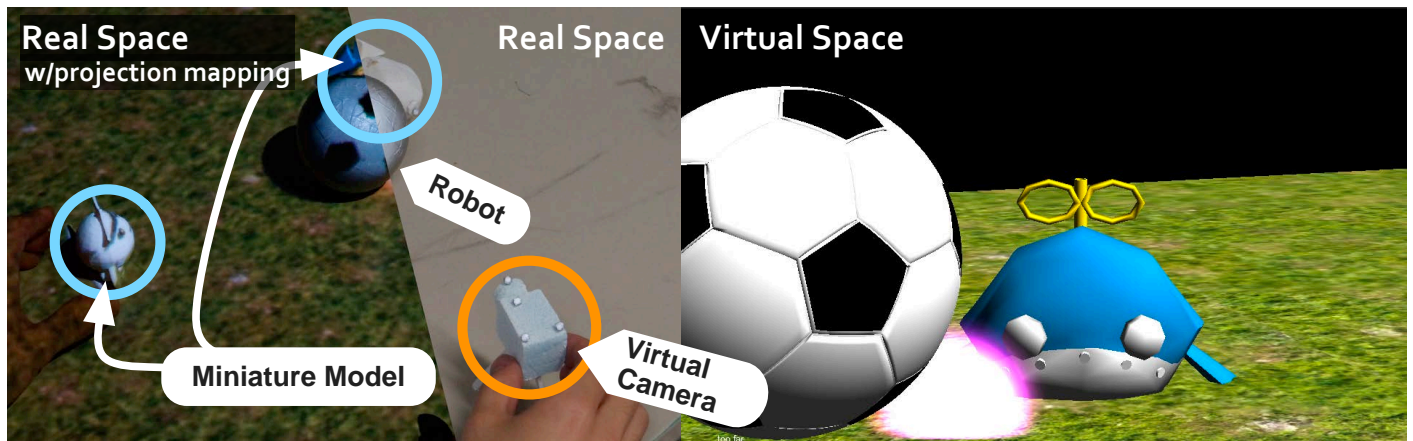


図 1 左: プロジェクションマッピングされたミニチュアモデルと、Hakoniwa の操作イメージ。
 右側の一部はプロジェクションマッピングを行う前のものである。
 右: 仮想カメラによって撮られた画像

Fig. 1 Left: Hakoniwa interacts with the user via miniature models.
 Right: A view from the virtual camera.

馴染みのない人々に対して体験型のメディアとして用いることも考えられる。

2. 関連研究

Held et al. は Kinect を用いて実世界の 3D オブジェクトを取り込み、また、それらの動きをキャプチャすることによって 3D アニメーションを作るためのシステム「3D Puppetry」を提案している [1]。3D Puppetry は、本研究のアプローチと同様に、3D オブジェクトをユーザが直接操作することで 3D アニメーションを作ろうとするものである。3D Puppetry と本研究との最も大きな違いは、実世界と仮想世界のインタラクションの有無にある。3D Puppetry では、操作するオブジェクトは変化しない。すなわち、実世界の 3D オブジェクトをキャプチャし、それらを単純にインタフェースとして利用する。それに対し本研究では、3D オブジェクトにテクスチャを重畳表示することによって仮想世界でのイベント（例えば、衝突やキャラクタの感情表現）を実世界のオブジェクトの反映することが可能である。また、ロボットを用いることによって 3D アニメーションを反復的に構築することも本研究のアプローチの特徴である。

ミニチュアモデルにプロジェクタで映像を投影し、表現力の向上を図ろうとする研究が Raskar et al. によってなされている [2]。Spatially-Augmented Reality と呼ばれる彼らのアプローチでは、例えば建築のプロトタイプにおいて、3DCAD で色やテクスチャを簡単に変更できるメリットをミニチュアモデルのもつ現実感に付加することができる。我々のアプローチは、ミニチュアモデルの表現力を向上させることを目的とするわけではなく、3D の仮想空間を現実と結びつける手段としてプロジェクタベースの Augmented Reality (AR) を用いている。すなわちミニチュアモデル

を出力メディアとしてだけでなく入力メディアとしても用いる。仮想空間と実空間を相互に結びつける技術としての AR の可能性は Zhou et al. によっても指摘されており [3]、本研究においても AR をその用途に用いる。

Lee et al. は HMD を用いて実体のあるオブジェクトに 3D テクスチャを付与することで、タンジブルな AR を実現している [4]。彼らのアプローチでは、CNC マシンを用いて成形したコップに AR タグを貼付け、HMD を用いて、そのコップに任意のテクスチャを持つ 3D モデルを重畳表示するものである。本研究においては、3D プリンタを用いてミニチュアモデルを作成し、プロジェクションによって 3D モデルの表現を加える。

Yoshizaki et al. は、センサ・アクチュエータを内蔵したミニチュアの人形を用いて、3DCG アニメーションにおけるモーシヨンの作成を支援するデバイスを提案している [5]。これは、センサだけでなくアクチュエータを内蔵することで、CG のシーンにあわせて姿勢を読み込むことや、反復的にモーシヨン作成を行うことができる。本研究でも、ロボットが実空間に物理的に働きかけを行うことで、反復的に 3DCG におけるシーンレイアウト設定を行うことができる。

Rekimoto et al. は、ToolStone という電磁授受方式の多自由度に対応した入力デバイスを開発し [6]、3D 空間中のカメラの位置と向きを制御を応用例として紹介している。また、モーシヨンキャプチャ装置を利用した撮影システムとして、3DCG のシーンをダイレクトに撮影するための仮想カメラも商品化されている。本研究においては、3D 空間中のカメラの位置と向きをカメラのミニチュアモデルによって制御する点で、これらと技術的に類似する。

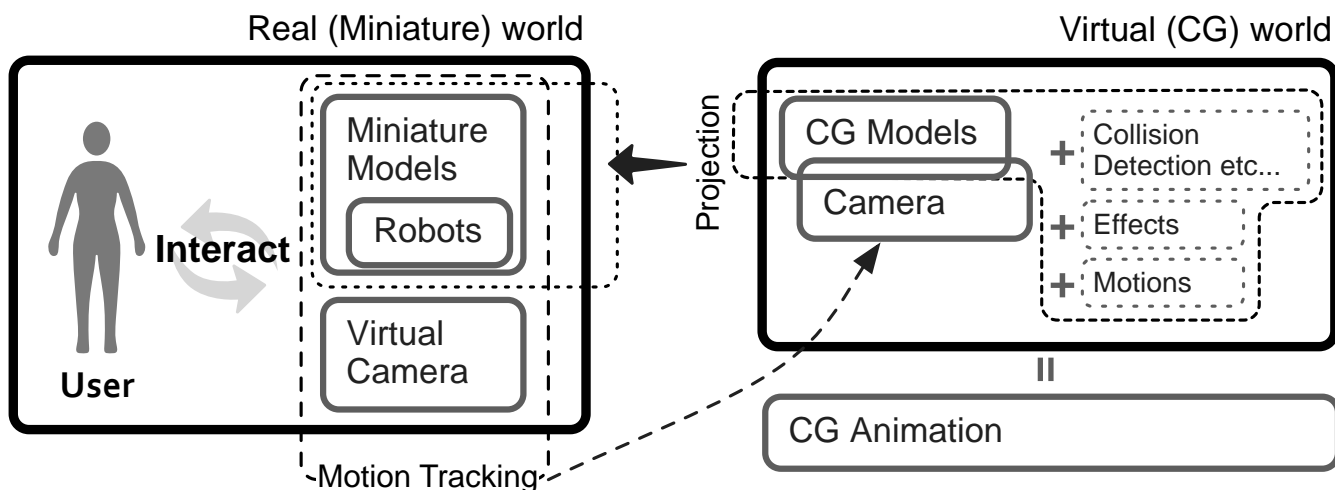


図2 Hakoniwa の構成. 実世界と仮想世界をプロジェクションマッピングとモーションキャプチャによってつなぐ.

Fig. 2 The construction of Hakoniwa. The miniature world and the virtual world connected each other.

3. Hakoniwa

Hakoniwa は、ユーザが3DCG アニメーションのいくつかのプロセスをミニチュアモデルを操作することによって対話的に行うための環境である。図2は Hakoniwa の構成を示したものである。Hakoniwa はロボットおよび仮想カメラを含むミニチュアモデルから構成され、ユーザが対話する実空間 (図2:左) と、3D モデリングされたキャラクターなどのモデルデータ、モーション、イベントなどによって構成された3DCG による仮想空間 (図2:右) から成る。この二つの空間は、モーションキャプチャ及びプロジェクションマッピングにより相互に結びついている。すなわち、ミニチュアモデルの空間座標はモーションキャプチャにより仮想空間のモデルの座標にマッピングされ、反対に、仮想空間内にモデリングされたキャラクターのテクスチャや、モデル同士の衝突などの際に発生するイベントとそのアニメーションなどは、実空間にプロジェクションマッピングされる。また、ロボットを用いることで、仮想世界内のイベントを実世界に (物理的に) 反映させる。図1では、球体ロボットが実空間内に存在するが、ミニチュアモデルのうちキャラクターやボールなどのダイナミックに動くオブジェクトを移動可能なロボットとすることによって、より実世界と仮想世界をより強く結びつける。

3.1 Hakoniwa の特徴

以下に、Hakoniwa の特徴を列挙する。

直感的な操作

実世界と仮想世界が結びつく Hakoniwa では、3DCG アニメーションにおけるシーンレイアウト設定を、ユーザ

に特別な知識がなくてもミニチュアモデルを操作することで直感的に行うことができる。

物理モデルの導入

計算のコストが大きく、レンダリングの時間を増大させる物理演算を省略することができる。これは、実世界の物理的制約をミニチュアモデルのモーションキャプチャリングを通して仮想世界に導入することで可能になる。重力による落下やモデル同士の衝突、滑り台などの摩擦などが3DCG アニメーションとして再現できる。

ロボットによるイベントの反映

ロボットを用いることで、実空間の物理的制約を仮想空間に結びつけるのとは逆に、仮想空間のイベントを物理空間に反映させることができる。例えば、ボール見立てた球体ロボットを用いると、キャラクターの動きと、風などの環境的影響をもとに仮想世界でボールの軌道を計算し、それをロボットへの指示として与えることで実空間に「風にあおられるボール」の表現を反映できる。

ロボットを用いた反復的なシーン設定

ミニチュアモデルや仮想カメラをロボットとすることで反復的なシーンレイアウト設定が可能になる。つまり、事前のテイクにおいて、キャラクターやカメラの動きを設定すると、次のテイクではそれまでに設定されたキャラクター動きやカメラワークがロボットによって反映され、重ね撮りをする要領で段階的・反復的にシーンを設定していくことができる。このとき、動いているロボット (ミニチュアモデル) を操作して、動きを修正することもできる。

体験メディアへの応用

Hakoniwa は3DCG アニメーション制作だけでなく体験メディアとして用いることもできる。仮想空間との結

びつきによって実空間の箱庭は情報の表現力が強化される。ミニチュアモデルを操作することによって仮想空間から様々な情報を引き出し、表現するメディアとしての応用も期待できる。

3.2 Hakoniwa の課題と制限

ミニチュアモデルの作成

ミニチュアモデルを作成するための方法としては2つが考えられる。一つは3DCGでモデリングされたデータを3Dプリンタで出力する方法。もう一つは単純な円筒形などのモデルを用いる方法がある。前者にはリアリティが高いという特徴があり、後者は後述するようにモデルにロボット台座を組み込むことが容易である。本稿で紹介するプロトタイプでは3Dプリンタによる方法を用いた。

リアルタイムレンダリング

プロジェクションマッピングによってミニチュアモデルに3Dモデルを投影するためにはリアルタイムに3Dシーンを生成することが必要になる。リアルタイムレンダリングは、3Dゲームなどにも用いられている技術で、研究が進められている[7]。しかし、高解像度の映像や微細な表現など、リアルタイムレンダリングでは実現できていない部分も多い。Hakoniwaでは、リアルタイムレンダリングを用いてプロジェクションマッピングを行い、インタラクティブなシーンレイアウト設定を支援する。そして、それに基づいて、必要に応じて精細なレンダリングを行う。

ミニチュアロボット

Hakoniwaでは、ダイナミックに動くオブジェクトをロボットが組み込まれたミニチュアモデルとして扱うことを想定する。そのためにミニチュアモデルに組み込み可能な小型のロボットの開発が必要となる。また、鳥など、飛行体のモデルを表現するためには、3次元空間を移動できるロボットが必要となる。Lee et al. は磁界を制御することによって3次元空間中の球の位置制御を行うデバイスZeroNを開発した[8]。このようなデバイスを応用することでミニチュアモデルを平面だけでなく3次元空間に配置することが可能になる。

4. プロトタイプ

4.1 構成

我々は、Hakoniwaのコンセプトをプロトタイプとして実装した。プロトタイプのうち、実空間の構成は、図3の様である。ミニチュアモデルは作成した3DCGモデルからStratasys社の3DプリンタuPrintを用いて成型した。ロボットはOrbotix社の球体ロボットSphero^{*1}を用いた。SpheroはBluetooth接続の移動ロボットでPCから制御することができる。仮想カメラはスチロールを成型して作成

した。モーションキャプチャ装置としてはOptitrack社のOptitrack FLEX V100R2をカメラ8台にて運用した。ミニチュアモデル、球体ロボット、仮想カメラには再帰性反射素材を貼付し、モーションキャプチャ装置により空間中の座標を検知できるようにした。プロジェクションマッピングのためのプロジェクタとしてはNEC社のViewLight NP-L50WJDを用い、およそ60度の角度から、テーブルのうち1.2m×0.8mの面、およびミニチュアモデルへの投影を行った。仮想空間はUnity Technology社の3DCGゲームエンジンであるUnity 3.5を用いて実装した。Unityは3DモデルをリアルタイムレンダリングすることができるためHakoniwaに適している。モーションキャプチャ装置とUnityはそれぞれ別のPCで運用し、モーションキャプチャ情報は、UDP/IP通信によりUnityに配信されるようにした。

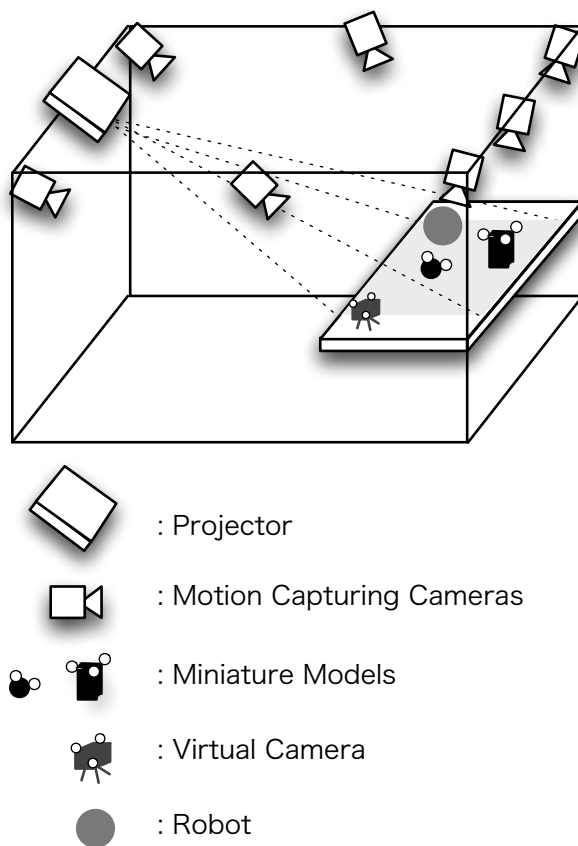


図3 プロトタイプの構成。

Fig. 3 The settings of the prototype.

4.2 デモンストレーション

Hakoniwaのコンセプトの有効性を確かめるために、プロトタイプを用いて、シーン制作を試みた。シーンは、2人のキャラクターがボールを投げ合うものである。このとき、ボールは、キャラクターがボールに接触しながら回転

*1 <http://www.gosphero.com/>

したときに投げられるようにイベントを作成し、投げるとき、ボールに接触した時にはエフェクトがかかるようなイベントを割り当てた。

また、キャラクター同士がボールを投げ合う様子を仮想カメラを操作し、撮影範囲を決定することで撮影できるようにした。図1は、デモンストレーションの一部を図示したものである。図1:左のように、ユーザはキャラクターおよび仮想カメラを操作することができる。仮想カメラからは図1:右のような映像を撮影することができ、ミニチュアを操作することで直感的にシーンレイアウト設定を行うことができる。

4.3 残された課題

プロジェクションマッピングの遅れ

Hakoniwaでは、大きく以下のプロセスで実世界のキャラクターへのテクスチャの表現を行なっている。

- (1) 実世界のキャラクターの動きをモーションキャプチャする
 - (2) 3DCGで構成された仮想空間において、(1)をリアルタイムに構成する
 - (3) (2)でリアルタイムにレンダリングされた結果をプロジェクタを用いて実世界のキャラクターに投影する
- このそれぞれは遅れ要素となるために、速い動きをしたときに、実世界の正しい位置にテクスチャが投影されないことがあった。

この問題の解決方法として、動作予測によるプロジェクションマッピング画像の生成が考えられる。例えば、物体 x の時刻 $t+1$ のときの物体の位置 $p_x(t+1)$ は、速度 v_x と位置 $p_x(t)$ から予測することができる。また、ロボットの動きのように予め動きがわかっているものもあるため、これらを補正することでプロジェクションマッピングのずれを低減することが出来る。

また、人間がキャラクターを動かす場合の動作予測は3D空間上の手の軌道に関する動作予測とも関連するため、これらに関する既存の研究を参照することで、問題を解決できる可能性がある。

反復的なシーン設定

今回の実装では、ロボットを1体のみをボールに割り当てて使用したために、Hakoniwaの特徴である反復的なシーンレイアウト設定を行うことはできなかった。今後は、実世界のキャラクターに対してロボット台座をつけるなどの改良を行ったプロトタイプの実装を進めることによって、Hakoniwaのコンセプトの有効性を確認したいと考える。

5. おわりに

本稿では、ユーザがテーブル上で直接操作できるミニチュアモデルとロボット、それらに3Dモデルを投影するプロジェクタからなる箱庭環境Hakoniwaのコンセプトを

示した。Hakoniwaでは、実空間と仮想空間をミニチュアモデルへのプロジェクションマッピングと、モデルのモーションキャプチャ、ロボット制御などの技術を用いて結びつけることによって、実空間と仮想空間を相互に強化する。具体的には、

- (1) ミニチュアモデルを用いた直感的な操作
- (2) 実空間の物理的制約を仮想空間に導入することを可能にし、仮想空間を強化する。また、ロボットを用いることで、
- (3) 仮想空間でのイベントを現実空間へ再現すること、
- (4) 段階的・反復的にシーンレイアウト設定を行うことを可能にし、実空間を強化する。

我々は前述のコンセプトに基づいたプロトタイプを実装し、コンセプトの有効性を確かめた。今後は、プロトタイプの実装を進め、そのユーザ評価などからコンセプトの評価と深化を進めたいと考える。

参考文献

- [1] Held, R., Gupta, A., Curless, B. and Agrawala, M.: 3D puppetry: a kinect-based interface for 3D animation, *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 423–434 (2012).
- [2] Raskar, R., Welch, G. and Chen, W.: Table-Top Spatially-Augmented Reality: Bringing Physical Models to Life with Projected Imagery, *The 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality* (1999).
- [3] Zhou, F., Duh, H. B.-L. and Billinghurst, M.: Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR, *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, ISMAR '08, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, pp. 193–202 (2008).
- [4] Lee, W. and Park, J.: Augmented Foam: A Tangible Augmented Reality for Product Design, *Fourth IEEE / ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR05)*, pp. 106–109 (2005).
- [5] Yoshizaki, W., Mochimaru, M., Sugiura, Y., Chiou, A. C., Hashimoto, S., Inami, M., Igarashi, T., Akazawa, Y., Kawachi, K. and Kagami, S.: An actuated physical puppet as an input device for controlling a digital manikin, *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11*, New York, New York, USA, ACM Press, p. 637 (2011).
- [6] Rekimoto, J. and Sciammarella, E.: ToolStone: effective use of the physical manipulation vocabularies of input devices, *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '00, New York, NY, USA, ACM, pp. 109–117 (2000).
- [7] Möller, T., Haines, E. and Hoffman, N.: *Real-time rendering*, AK Peters Limited (2008).
- [8] Lee, J., Post, R. and Ishii, H.: ZeroN: mid-air tangible interaction enabled by computer controlled magnetic levitation, *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 327–336 (2011).