

インタラクティブだまし絵表現の提案と実装

藤木 淳*, 牛尼 剛聡**, 富松 潔**

*九州大学大学院芸術工学府, **九州大学大学院芸術工学研究院

実世界では有り得ない、もしくは有り得ないと解釈させることを描写する表現は、静止画や動画像等でしばしば用いられる。本論文では、体験者が操作可能なインタラクティブだまし絵とそのアルゴリズムを紹介する。体験者が配置したブロックや階段上をキャラクターは実際には有り得ない徘徊動作を行う。このような表現には、キャラクターが離れているが繋がっているように見えるブロック間を移動できる、足元にあるように見えるブロック上に着地することができる等がある。本研究では「OLE Coordinate System」において動作の確認を行った。

Designing and Implementing the Interactive Optical Illusion

Jun Fujiki*, Taketoshi Ushiyama**, Kisyoshi Tomimatsu**

*Graduate School of Design, Kyushu University

**Faculty of Design, Kyushu University

The optical illusion expression, which is not possible in the real world or makes viewer to interpret it, is often used in still image and animation. We present some interactive illusion expressions that enable the character to act an impossible motion on the block and the stairs in the virtual 3D world and the algorithm. For instance, the character can move between blocks placed away that seem to be connecting and he can land on a block placed away that seem to be positioning under him. We confirm it in OLE Coordinate System.

1. はじめに

本論文では、体験者が操作可能なインタラクティブだまし絵システムを提案する。静止画、動画像におけるだまし絵は人手による編集によって制作可能であるが、これをインタラクティブに行うためには体験者の操作に基づいて動的にだまし絵を構成するアルゴリズムが必要となる。ここでは、主観空間と呼ぶ空間を用いる技法や奥行き情報を用いる技法、対象を探索する技法等を用いて実現可能なことを、OLE Coordinate System において確認した。本論文では、OLE Coordinate System を通して提案するインタラクティブだまし絵表現の紹介とそれを実現する手法を述べる。

2. 関連研究・作品

先行研究として、藤木らはスクリーンに対するオブジェクトの位置関係から2次元移動したブロックの奥行きを決定する操作インタフェースを持つブロックベースモデリングソフト^[1-3]を開発した。本研究は、新しいインタラクティブ表現を追及するものとして、描画されたイメージをもとにユーザが実世界では有り得ないと知覚するだまし絵の様な表現に注目し、表現の提案と技法の開発を行う。

だまし絵をモチーフにした作品は芸術分野においては M. C. エッシャーの作品が有名であるが、動画像においてだまし絵表現を用いた作品も存在する。鶴野の「ANIMATION OF M. C. ESCHER'S BELVEDERE^[4]」は M. C. エッシャ

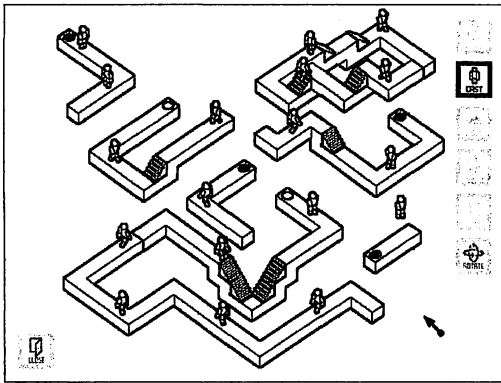


図1. 「OLE Coordinate System」の画面イメージ

一の「物見の塔」が回転する。Yee の「3D Illusion in Motion^[5]」は落ちてくるブロックが不可能物体を作っていく。動画作品において技法の開発は必ずしも必要ではないが、インタラクティブだまし絵を行うためにはリアルタイムで動作可能とする技法が必要となる。

だまし絵をモチーフにした作品は芸術分野においては M. C. エッシャーの作品が有名であるが、だまし絵表現を用いた動画作品も存在する。鶴野の「ANIMATION OF M. C. ESCHER'S BELVEDERE^[4]」は M. C. エッシャーの「物見の塔」が回転する。Yee の「3D Illusion in Motion^[5]」は落ちてくるブロックが不可能物体を作る。動画作品において技法の開発は必ずしも必要ではないが、インタラクティブだまし絵を行うにあたってはリアルタイムで動作可能とする技法が必要となる。

エッシャーの作品に見られる表現を解析し実現する技法には、Kaplan らのもとの図形をある程度保つ範囲で平面充填図形に変形する技法^[6]や、Yen らの球形状に隙間無く埋める図形を生成する技法^[7]、Scott の循環する無限階段をインタラクティブに作成しこの上をボールが飛び跳ねる技法^[8]がある。また、杉原は不可能物体を体系的に扱う研究を行っている^[9]。

本研究では、キャラクターの振る舞いから、形状とそれまでのキャラクターの位置関係に辻褄が合わないと感じるだまし効果を得る点でこれらの表現とは異なる。また、コンピュータ上で再現する新しい技法の開発が必要となる。

3. OLE Coordinate System の概説

図1に OLE Coordinate System の画面表示例を示す。OLE Coordinate System は、ユーザが

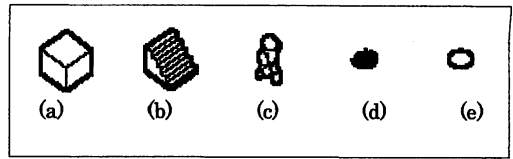


図2. 登場するオブジェクト

配置したブロックオブジェクト (図2(a): 以下、ブロック) や階段オブジェクト上 (図2(b): 以下、階段) を複数のキャラクターオブジェクト (図2(c): 以下、キャラクタ) が実世界では有り得ない徘徊動作可能なソフトウェアである¹。

ユーザが配置したキャラクタは、自動的にブロック上を歩きだし、移動先に階段がある場合は上り下りし、ブロック上に落とし穴オブジェクト (図2(d): 以下、落とし穴) がある時は落下、ジャンプ台オブジェクト (図2(e): 以下、ジャンプ台) がある時は飛び跳ねる。また、進路に道が無い場合や分かれ道や障害物となるブロックに差し掛かった時は進路方向を変更する。

このような実世界を模倣した動作に加え、OLE Coordinate System は実世界では起こり得ないが2次元描画されたイメージでは有り得る動作を可能とする。ユーザは視点変更やオブジェクトの配置により、これらの振る舞いを変更することができる。

4. だまし絵デザイン

OLE Coordinate System では、ユーザは自由にキャラクターやブロック、階段等を配置し、視点を変更することができる。キャラクターの振る舞いはスクリーン上に描画された2次元イメージから推測される3次元計上に基づいて決定される。しかし、1つの2次元イメージから推測される3次元形状が一意に定まらないことがある。その結果、その振る舞いが、実世界では有り得ない違和感のある動作であっても、ユーザはそのことを解釈し理解できることがある。インタラクティブ性を有しただまし絵は、このような違和感からユーザの好奇心を刺激

¹ OLE Coordinate System は著者サイト

<http://tserve01.aid.design.kyushu-u.ac.jp/~fujikiよりダウンロード可能となっている。DirectX9ランタイムのインストールされたWindowsマシンで動作する。>

する。本論文では、インタラクティブだまし絵を構成する4つの振る舞いを提案する。2次元ビューにもとづいて3次元的な動きを定義することにより、従来の3次元的な動きの規則では実現できなかった表現を行う。なお、本だまし表現を成立するために、平行投影を用いる。

4.1. 主観的移动

ユーザにより配置されたキャラクターは、不連続なオブジェクト間での移動を行う。3次元空間上でブロックや階段が実際には不連続であっても、2次元描画されたイメージでは繋がっているように視点変更した場合に連続的な動作を行う(図3)。このような実際にはあり得ないが描画イメージからは有り得ると解釈できる移動動作を「主観的移动」と呼ぶ。主観的移动を行った後に視点を回転移動して見ると、実際に離れたブロック上に移っていることが確認できる。

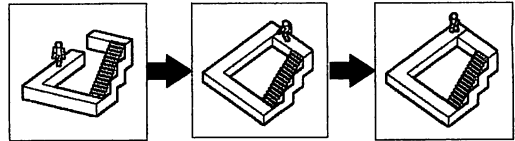


図3. 不連続なブロック間を渡るキャラクター

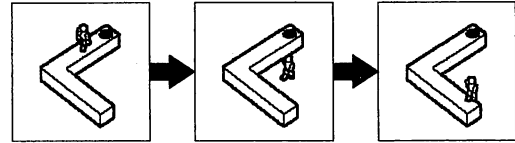


図4. 足元のないブロックに着地するキャラクター

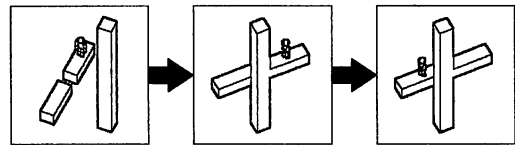


図5. ブロックがあるように振る舞うキャラクター

4.2. 主観的着地

配置した落とし穴に到達した場合や、キャラクターが存在するブロックが消された場合にキャラクターは落下し、ブロックや階段に着地する。この時、3次元空間内で実際には載っていないけれども、2次元イメージにおいてキャラクターがブロックや階段に重なる時にユーザは「この上に載っている」と知覚することがあるように、キャラクターは実際にこれらのオブジェクト上に載ることができる(図4)。ここでは、このような有り得ないが2次元イメージからは有り得ると解釈できる着地動作を「主観的着地」と呼ぶ。

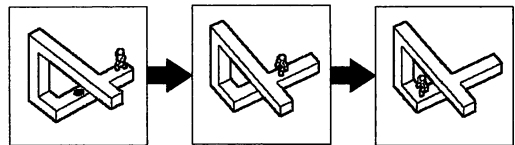


図6. 見えない落とし穴を無視するキャラクター

4.3. 主観的存在

ブロックが不連続であっても、他のオブジェクトが不連続部分に重なって描画される場合、ユーザは「見えていない場所にブロックが存在する」と知覚するかもしれない。このように状況では、キャラクターは存在しないブロックが存在しているような振る舞いをする(図5)。このような実際には存在しないが描画イメージからは存在しているような知覚を反映した振る舞いを「主観的存在」と呼ぶ。主観的移动との区別として、主観的移动が移動元と移動先との2オブジェクトによる見かけ上の連続性を利用したものであるのに対し、主観的存在では移動元と移動先の間第3のオブジェクトの影響により見かけ上の連続性が成立する。

4.4. 主観的不在

キャラクターは落とし穴に到達すると落下し、ジャンプ台では飛び上がる。実際に仮想3次元空間内の落とし穴やジャンプ台に到達しても、これらが描画されない時にユーザが「これらのオブジェクトが存在しない」と知覚するようにキャラクターは振舞う(図6)。このように描画されないものの影響を無視する振る舞いを「主観的不在」と呼ぶ。

5. アルゴリズム

本章では、前章で紹介しただまし絵表現をOLE Coordinate Systemで実現するために用いた技法について述べる。

5.1. 主観的移动

接続しているように見えるオブジェクト間の移動を実現するためには、接続しているように見えるオブジェクトを考慮した進路判断と、これらのオブジェクト間移動の問題を解決し

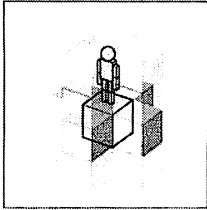


図 7. オブジェクト情報を保持する空間

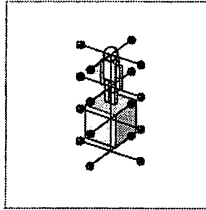


図 8. 隣接すべきオブジェクトの描画位置

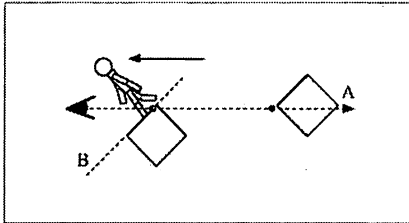


図 9. 3次元空間の不連続な移動

なければならない。それぞれのアルゴリズムを説明する。

5.1.1. 進路の決定

キャラクターの基本動作は1ブロック分先のブロックや階段の上面の中央位置を目指して前進する。生成時のキャラクターは、キャラクターに最も近いオブジェクトを目標とする。目標に到着した場合、キャラクターの周囲4方向のオブジェクトから新しい目標を決定する。この決定には左手法^[10]を用いる。左手法はロボット制御で用いられることの多い手法で、下記に示す条件分岐で記述できる。

```

IF 左に進める THEN
    左を向く
ELSE IF 前に進める THEN
    前に行く
ELSE IF 右に進める THEN
    右に向く

```

キャラクターがどこにも移動できなくなる状況として、進路上に障害物が存在する場合や道となるオブジェクトがない場合がある。本システムでは、接続しているように見えるオブジェクトに対してもこの進路決定を適用可能とする仕組みをとる。具体的なプロセスを順に示す。

1) 周囲4方向のオブジェクト情報の初期化

図 7 に示すようにキャラクターの前後左右4

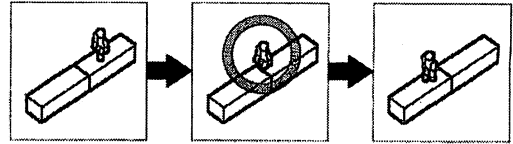


図 10. 主観空間を横切る際に生じる好ましくない描画

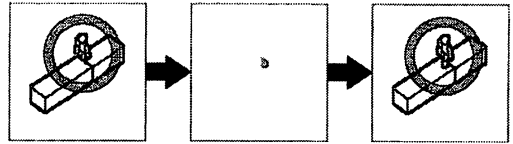


図 11. 交差判定による描画の修正

方向に高さ4ブロック分のオブジェクト情報を保持できる空間を用意する。ここでは、このオブジェクトの情報を格納する空間を「主観空間」と定義する。1段目の主観空間は階段を下った先のための情報、2段目はキャラクター直下のブロック情報である。本システムでは、キャラクターの高さをブロック2つ分としており、3、4段目はキャラクターの周囲情報のために用いる。初期状態として、この各主観空間に3次元位置が一致するオブジェクトの情報を格納する。

2) 隣接すべきオブジェクトの描画位置の算出

各主観空間の重心のスクリーン座標を座標変換により算出する。図 8 の黒丸は主観空間の重心のスクリーン座標を示す。

3) オブジェクト情報の入れ替え

キャラクター周囲にある可視オブジェクトの重心のスクリーン座標と処理 2) で算出した主観空間の重心のスクリーン座標を比較し、この位置がほぼ一致する場合、主観空間のオブジェクト情報を一致したオブジェクトの情報に書き換える。

すべてのキャラクター周囲のオブジェクトに処理 3) を施した主観空間に対し、左手法を適用し進路の決定を行う。進路が決定されると、進路方向に1ブロック離れたオブジェクトを次の目標とする。

5.1.2. 目的地への移動

主観的移動を考慮して、ここでは、キャラクターが目標とするオブジェクト情報を持つ主観空間に移った際に、そのオブジェクトの存在する空間側にキャラクターを移動させる方法をと

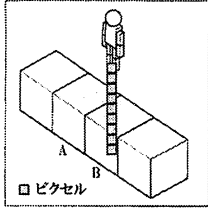


図 12. 候補オブジェクトの抽出

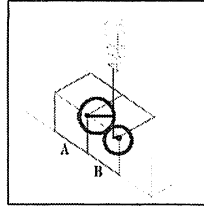


図 13. 理想的な着地可能オブジェクトの選定

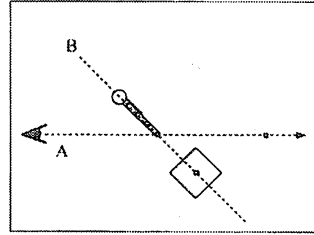


図 14. 着地対象オブジェクト上への移動

る(図 9)。この位置は、キャラクタの足元を通る視線方向ベクトル(図中 A)と移動目的対象とするオブジェクトの上面(図中 B)との交点である。ただし、この処理だけでは、図 10 のように主観空間に入る直前に、手前にある移動目的対象オブジェクトに一部描画が遮られる場合がある。これを回避するため、主観空間横断処理を行った後で、キャラクタと前方にあるオブジェクトとの描画イメージを比較し交差する場合、前述の処理により前方のオブジェクトの方へ移動させる(図 11)。下方方向からのアングルの場合は、逆に後方のオブジェクトに遮られる方が好ましいため、後方のオブジェクトとの比較を行い、交差している場合は後方オブジェクト側に移動させる。

5.2. 主観的着地

主観的着地は、可能な限りオブジェクトの中央付近に落下して見ることが好ましい。このような最も中央付近に落下可能なオブジェクトにキャラクタを着地させる手順を次に説明する。

1) 着地可能オブジェクトの探索

キャラクタの重心のスクリーン座標から下方方向に数ピクセル走査して、各ピクセルを描画したオブジェクトを見つける。図 12 では 2 つの灰色のブロック A、B がこの走査により見つかったことを示している。ただし、この処理では、落下直後、直前に載っていたオブジェクトも候補として選んでしまうため、落下しない場合がある。そのため、キャラクタの描画が障害物により遮られる場合は、通常の落下を行う。

2) 理想的な着地可能オブジェクトの選択

着地すべきオブジェクトは中央のスクリーン座標の X 座標からキャラクタのスクリーン座標の X 座標との距離が短い方のオブジェクトとする。図 13 では、オブジェクト A よりも

オブジェクト B の方が短いため、オブジェクト B が着地すべきオブジェクトとなる。

3) 着地対象オブジェクト上への移動

図 14 に示すように、視線方向ベクトル(図中 A)と着地対象オブジェクトの中央を通りオブジェクトに対して垂直且つカメラ方向を向く平面(図中 B)との交点にキャラクタを移動させた後、通常の落下移動を適用する。

以下、落下中はこの処理を繰り返す。なお、オブジェクトに着地した際の目標は、キャラクタにもっとも近いオブジェクト上の中央位置とする。

5.3. 主観的存在

主観的存在は、ユーザに見えない不連続な部分がオブジェクトの背後にあるように知覚される場所を特定し、不連続の部分が連続であるとしてキャラクタを動作させる。ここでは、離れている距離をブロック 1 つ分、対象をブロックに限定して解決する。特定処理と移動処理を次に述べる。

5.3.1. 繋がっているように見える場所の特定

キャラクタ直下のブロックから 1 ブロック空いてブロックが存在する場合に、空いている空間にブロックがあると仮定して仮想ブロックを描画処理する。この処理は実際には描画しない。この仮想ブロックが最前面となるピクセルを持たない時、主観的存在が成立したと見なし、位置対応する主観空間に仮想ブロック情報を持たせる。進路決定時には仮想ブロックも通常のブロックとして扱い処理する。

5.3.2. 足場のない場所に対する移動

位置対応する主観空間内の足場に仮想ブロックがある時、通常のブロックと同様に処理する。

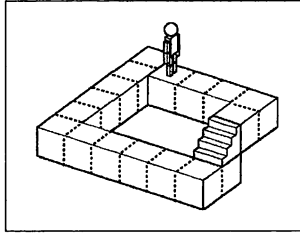


図 15. 主観的移動の対処できない場合

5. 4. 主観的不在

落とし穴やジャンプ台の可視状態の判定は、そのオブジェクトを描画したピクセルの有無を調べることで可能である。描画ピクセルを持たない落とし穴やジャンプ台に対しては処理を無視する。

6. 結果

上記手法を用いて実装した OLE Coordinate System において、提案するインタラクティブだまし絵が表現可能となったことを確認した。しかし、まだ、いくつかの制限事項や解決しなければならない問題が存在する。

7. まとめ・今後の課題

本研究では4つのインタラクティブだまし絵表現を提案し、それを実現する技法の考案を行った。実装した OLE Coordinate System において、体験者の好奇心向上の可能性と、提案技法により実現可能なことを確認した。

主観的移動は図 15 に示すような主観空間の重心のスクリーン位置とオブジェクトの重心のスクリーン位置が一致しなくても成立すべき状況が存在するが、今回用いた手法ではこれに対処できない。

主観的着地はオブジェクトの中央位置に必ず着地することが望まれる。

主観的存在においては、現段階では1ブロック離れたブロック間のみ対応だが、これをより離れた距離で、階段にも対応できるようにする。

主観的跳躍後の落下時には好ましくない着地が起きることが確認されている。

全体として、今回用いた技法はアドホックな対策を取った感は否めない。本研究で最も重要とするところはインタラクション表現としての新規性であるが、これらの振る舞いを統一的に扱える技法の追求は認知を考慮した知覚モデルを導き、認知分野に貢献できることが期待

できる。これらの問題を解決していくと共に、更なる表現の追及を行っていきたい。

参考文献

1. 藤木 淳, 牛尼 剛聡, 富松 潔, “Incompatible BLOCK: 不思議さの伴うインタフェース”, 情報処理学会インタラクション2006, pp213-214, 2006年
2. Jun Fujiki, Taketoshi Ushiyama, Kiyoshi Tomimatsu, "A View-Oriented Interface for Block-Based Modeling", ACM SIGGRAPH2006 sketches, 2006
3. Jun Fujiki, Taketoshi Ushiyama, Kiyoshi Tomimatsu, "Incompatible BLOCK: Wonders Accompanied Interface", ACM SIGGRAPH2006 Emerging Technologies, 2006
4. Sachiko Tsuruno, "ANIMATION OF M.C.ESCHER'S BELVEDERE", ACM SIGGRAPH'97 Electronic Theater, 1997
5. Yee Siong Leow, "3D Illusion in Motion ", ACM SIGGRAPH2006 Animation Theater, 2006
6. Craig S. Kaplan, David H. Salesin, Escherization, Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp499-510, 2000
7. Yen, J. and C. Sequin, Escher sphere construction kit, Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics, pp95-98, 2001
8. Jun Fujiki, Taketoshi Ushiyama, Kiyoshi Tomimatsu, "Implementing the Continuous Staircase Illusion in OpenGL", ACM SIGGRAPH2002 Sketches & Applications, 2002
9. 杉原厚吉, “不可能物体の数理”, 森北出版, 2005
10. http://www.robotics.ee.shibaura-it.ac.jp/manual/chap4/L_HANDexp.htm