

動的仮想3次元空間の表示アルゴリズム

計良 拓行 大野 義夫

慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻

本論文では、動的仮想3次元空間において自動的にカメラ配置を決定し、高品質の映像を得るための表示アルゴリズムを提案する。仮想空間の表示に関しては、シーンの状況を表すイディオムとカメラの動作を指定するカメラモジュールの2つの要素からなる階層化有限状態マシンを用いることで、自動的にシーンの状況を判断し、最適なカメラ配置を決定することが可能になった。しかし、動的な仮想空間を表示するには、より柔軟で複雑なカメラ配置が要求される。本論文で提案するアルゴリズムは、複数のイディオムとカメラモジュールをカメラの配置に影響させることによって、動的仮想3次元空間の表示に適したカメラワークを実現するものである。

Display Algorithm for Dynamically Changing Virtual Reality World

Hiroyuki Kera Yoshio Ohno

School of Science for Open and Environmental System, Graduate School of Keio University

In this paper, we propose an algorithm for displaying a virtual-reality world that changes dynamically by selecting optimum camera position. Hierarchical finite-state automata have been used for the display of VR world. They consist of the idioms that represent the scene status, and of camera modules. They specify the camera location by deciding the scene status automatically.

But for the dynamically changing VR reality world, more flexible and complex camera control is needed. Our algorithm realizes such camera work suitable for dynamic VR 3D world by affecting idioms and camera modules to the camera position.

1. 背景および目的

仮想3次元空間は、新たなコミュニケーションの場として浸透しつつある。この仮想空間でのコミュニケーションは、大きな発展が望める一方、空間の把握や移動が困難であること、ユーザが求めるカメラアングルを提供しなければならないことなどの多くの問題を抱えている。これらの問題は、実際の映画撮影などにも共通するものであり、映画製作者は Cinematography というシーンを効果的に撮影するためのルールや習慣を培っ

てきた。そして、Cinematography の規則を符号化し、階層化有限状態マシンとして記述した Virtual Cinematographer を用いることで、リアルタイムに変化する仮想空間においても、自動的にカメラ配置と画面の切り替えを行うことが可能になった[1]。しかし、そのカメラ配置システムでは、スポーツ中継などの動的に変化する仮想空間に対応する柔軟なカメラ配置を行うことができない。

本研究は、Virtual Cinematographer のカメラ配置システムを発展させ、スポーツ中継などの、シ

ーンがより動的に変化する仮想空間における表示アルゴリズムを提案、実装し、その評価を行う。

2. Cinematography

Cinematographyとは、各フレームに映り込む映像の品質を高めることを目的とした映画撮影法であり、この手法に基づくことで、各々の場面の状況に応じたカメラワーク（カメラの一連の動作）、カメラアングル（被写体に対するカメラの角度）を導き出すことが可能となる[2]。

2.1. 映画の階層化

場面状況、役者の行動などにより、1本の映画は様々なシーンに分割することができ、各シーンは1つ以上のショット（カメラが回り続けている間隔）で構成されている。Cinematographyでは、映画をシーン、ショットというように階層化することで、そのシーンに必要なカメラ配置、照明効果などの要素を明確する。

2.2. Line of interest とカメラの配置

カメラは、シーンに仮想的に引かれる1本の直線Line of interestに基づいて配置され、Line of interestは、2人の役者を結ぶ直線や役者が向いている方向などに設定される。また、ショットを撮るカメラの高さや距離も重要な要素となる。

2.3. 制約条件

Cinematographyは、シーンを効果的に撮影するために、カメラや役者の配置に関して以下のような制約条件を設定している。

- カメラを交差させない：ショットが切り替わる場合、カメラはline of interestを横切ってはならない。
- ジャンプカットを避ける：ショットが切り替わる際に、視点の位置、役者の数などが極端に変化させない
- 役者が先行する：役者の動きは他のあらゆるものより先行し、カメラもその動きを追う。

3. Virtual Cinematographer

映画撮影の場合は、あらかじめシーンを設定する脚本が存在し、さらに撮影後に映像を編集することができる。しかし、仮想空間においてはシーンの状況やアバターの動作がリアルタイムに変化し、カメラが捉えた映像を編集し直すことは不

可能である。

Virtual Cinematographerは、リアルタイムに変化する仮想空間において、最適なカメラワークを自動的に決定するために、Cinematographyを符号化し、カメラモジュールとイディオムという2つの要素を用いることで階層化有限状態マシンとして記述したものである[1]。

3.1. カメラモジュール

カメラモジュールは、シーンに存在するアバターなどのオブジェクトを主な入力として、カメラ配置と動作を決定する役割を持つ。以下に代表的なカメラモジュールの例を挙げる。

- apex(actor1,actor2)：2人のアバターを結ぶ直線を底辺とする三角形の頂点から撮るモジュール。
- external(actor1,actor2)：1人のアバターの肩越しにもう1人のアバターを撮るモジュール。
- internal(actor1 [,actor2])：2人のアバターの内側から片方のアバターを撮るモジュール。

3.2. イディオム

イディオムは、ショットをつないで1つのシーンを構成する役割を持ち、図1のように上方が全体的なもの、下方が特殊な状況表現するような階層構造になっている。この階層構造により、現在のシーン状況を適切に表現するイディオムを求め、そのイディオムから特定のカメラモジュールが呼び出される[1]。

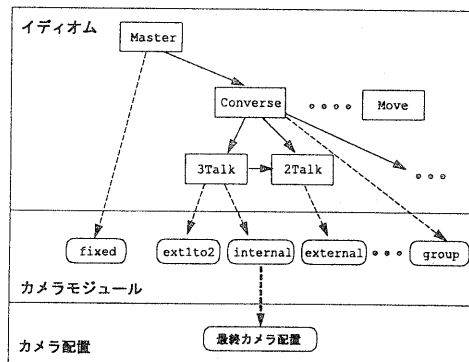


図1. Virtual Cinematographyのアルゴリズム（設定：仮想のパーティー）

4. 本研究の手法

4.1. 表示アルゴリズム

Virtual Cinematographer で用いられているカメラ配置のアルゴリズムをスポーツ中継のような動的な仮想空間に適用した場合には、以下のような問題が生じる。

- 頻繁に変化するシーンの状況や、アバターの動作に対応できない。
- ショットの切り替えが必要以上に発生し、シーンの状況の把握が困難になる。
- オブジェクトの相対位置だけでなく、絶対座標も重要な要素となる。

本研究では、それらの問題を考慮して、より柔軟なカメラ配置を可能にするために、図2に示すアルゴリズムを用いる。このアルゴリズムはVirtual Cinematographerとは異なり、シーン状況を表現する複数のイデオムから呼ばれるカメラモジュールが、基本となるカメラ配置に対して座標変換を行い、最終的なカメラ配置を決定するものである。

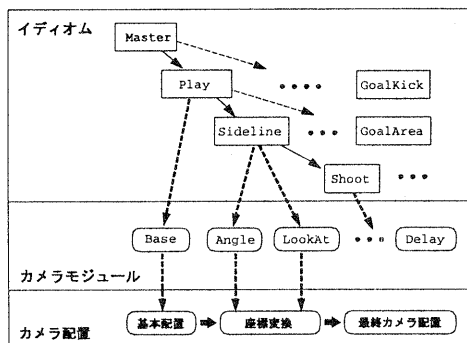


図2. 本研究のアルゴリズム
(設定: サッカー中継)

4.2. カメラモジュール

Virtual Cinematographer で用いられているカメラモジュールは、カメラの座標を指定する形式であるが、本アルゴリズムでは新たに座標の変換を行うモジュールが必要となり、それらはカメラ配置を決定する過程において最も重要な役割を持つ。

また、カメラの配置を以下の3つの要素で指定することにより、カメラモジュールは必要な要素

のみを的確に変換することができ、より柔軟なカメラの配置が可能になる。

- 注視点: 映像の中心に捉える対象を決定する。
- 単位方向ベクトル: 注視点からカメラへ向けたベクトル。カメラアングルを決定する。
- 焦点距離: 注視点からカメラまでの距離。ズームの割合を決定する。

4.3. イデオム

Virtual Cinematographer と同様に、本アルゴリズムにおいてもイデオムは階層構造となる。

Virtual Cinematographer のアルゴリズムは、イデオムの階層を下り、最終的に選び出された最下層のイデオムを用いてシーン状況を表現し、そのイデオムのみがカメラモジュールを呼び出すように設計されている。このカメラ配置のアルゴリズムでは、動的仮想空間に対応するような柔軟なカメラ配置を行うことができず、カメラ配置のパターンは使用できる座標指定形式のカメラモジュールの数に依存しているため、カメラ配置の自由度には限界がある。

本アルゴリズムでは、階層の異なる複数のイデオムを用いてシーン状況を表現できるようにイデオムを設定する。このようにイデオムを構成することにより、シーン状況を表現するすべてのイデオムが、必要に応じて座標指定形式や座標変換形式のカメラモジュールを呼び出すことが可能になる。各カメラモジュールはオブジェクトの座標などを入力とし、その入力に応じて座標指定、座標変換を行うことから、複数のカメラモジュールが適用された最終的なカメラ配置はより複雑なものとなる。

5. 適用例

5.1. 適用モデル

本研究ではロボカップ・シミュレーションリーグを対象とする。ロボカップ・シミュレーションリーグとは、ソフトウェアエージェントを用い、サーバ・クライアント方式で行われるサッカーのシミュレーションである[4]。

本研究では、ボール、各プレイヤーの位置や状態が含まれるログを利用し、そのログから仮想3次元空間を構築し、表示するアプリケーションを実装した。

5.2. システム構成

実装したアプリケーションのシステムを図 3 に示す。実装には C 言語を使用し、2D・3D グラフィックスの API として OpenGL、ツールキット GLUT、ユーザインターフェースライブラリ GLUI を使用した。

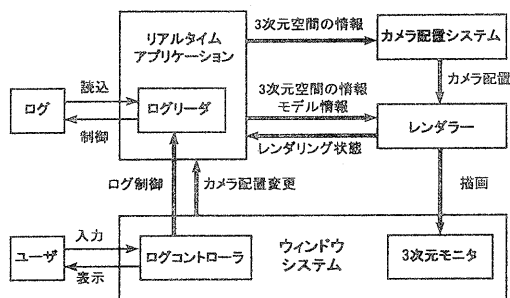


図 3. 表示アプリケーションのシステム構成

本研究で提案した表示アルゴリズムは、カメラ配置システムとして実装され、リアルタイムアプリケーションから送られてくるプレイヤーやボールの座標情報から、そのシーン状況を判断し、最適なカメラ配置を決定する。そして、リアルタイムアプリケーションからのオブジェクトの情報と、カメラ配置システムからのカメラ配置の情報を用い、レンダラーは仮想空間の情報を映像化する。

5.3. イディオムの設定

サッカーの試合状況を表現するために、イディオムを以下に挙げる 3 つのグループに階層化した。

- 試合状況：試合の進行状況を表すイベント（試合続行、ゴールキックなど）に関するイディオム
- ボール位置：フィールド上のボールの位置（ライン際、ゴール付近など）に関するイディオム
- 周辺状況：ボールとその周辺状況（シュートなど）に関するイディオム

これらのイディオムの階層構造により、「試合続行」中に、ボールが「ゴール付近」にあり、「シュート」を打ったというように、シーンの状況が表現される。

5.4. カメラモジュールの設定

使用したカメラモジュールを以下に挙げる。

- 基本配置モジュール：試合進行状況ごとのカメラの基本配置を指定する。このカメラ配置に対して他のモジュールが座標変換を行う。
- 注視点補正モジュール：注視点がライン付近にある場合に注視点の座標を補正し、背景部分（フィールドの外側）が映る領域を減少させ、フィールドが映る領域を大きくする。
- ゴール付近での補正モジュール：ゴール付近の状況を捉えるために、カメラアングルと焦点距離を変更する。
- 仰角補正モジュール：映像に臨場感を持たせるために、カメラの仰角を変化させる。
- 焦点距離補正モジュール：周辺状況を捉えるために、焦点距離をボールの移動速度に応じて変化させる。
- 基本配置補間モジュール：試合の進行状況が変化した際に、ジャンプショットを避けるために、以前の基本配置から現在の基本配置への座標の補間を行う。
- 遅延モジュール：前ステップでのカメラの配置（注視点とカメラの座標）と現ステップで求められたカメラ配置を内挿することで、カメラの移動に遅延を発生させる。注視点とカメラの座標のそれぞれに異なる割合で内挿することで、ボールの動きをカメラの動きより先行させ、映像をより自然なものにすることができる。

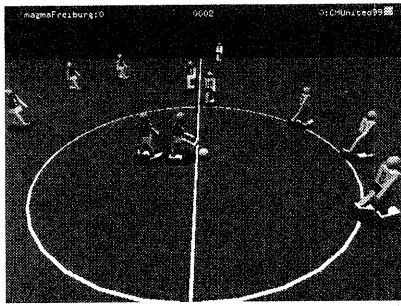
5.5. 結果

実装したアプリケーションの実行画面を図 4 に示す。

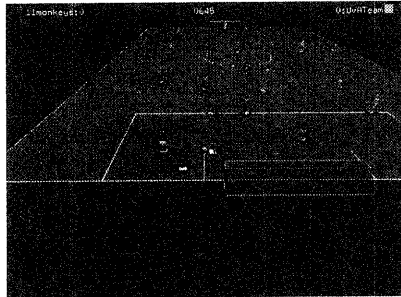
5.6. 評価

まず、各カメラモジュールに対して、定量的に測定可能な数値を用いて評価を行った。

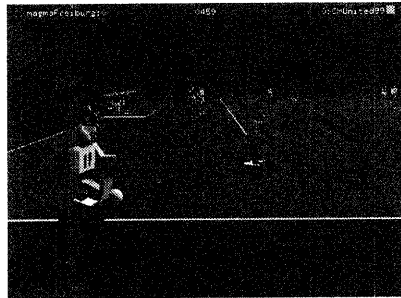
- 基本配置補間モジュールによる注視点、カメラの座標の変化（ジャンプショットの回避）
- 注視点の座標と背景画像の割合
- ゴール付近の表示領域
- ボールの移動速度と焦点距離の変化
- 遅延モジュールによって発生する注視点、カメラの遅延



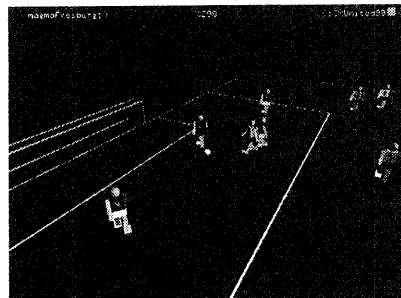
a. 基本配置 (試合続行中)



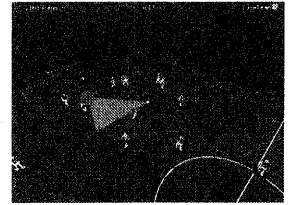
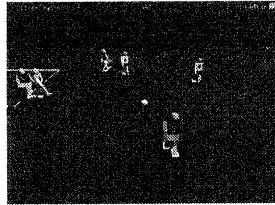
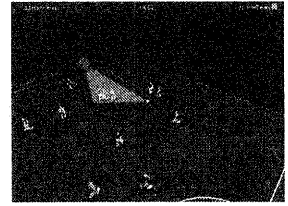
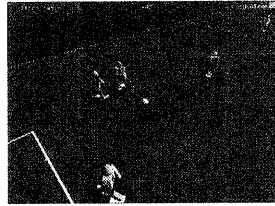
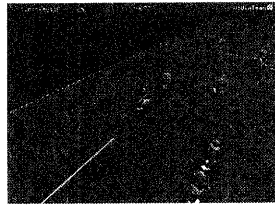
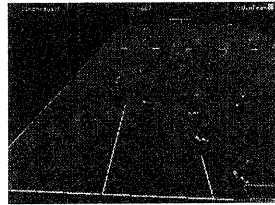
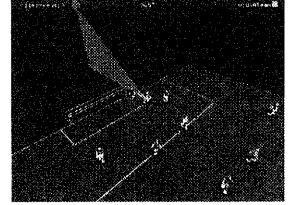
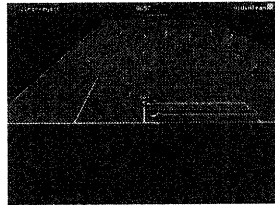
b. 基本配置 (ゴールキック時)



c. 仰角補正モジュールの適用



d. ゴール付近での補正モジュールの適用



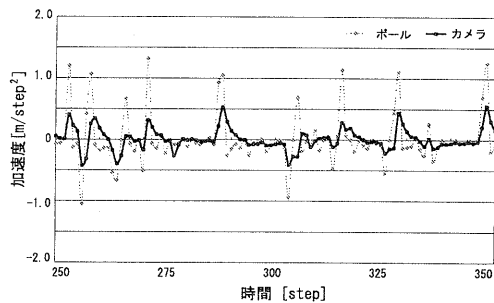
(i) カメラが捉える映像

(ii) カメラ配置の変化

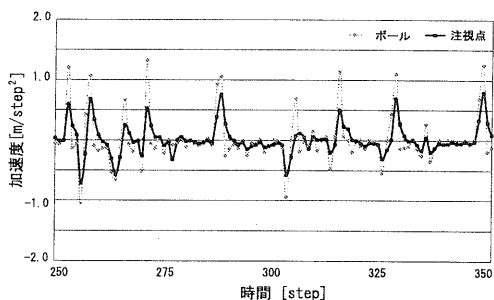
e. 基本配置補間モジュールの適用

図 4. 実行画面

図 5 に遅延モジュールに関する評価の一部を示す。このグラフから、注視点、カメラの加速度の変化が、ボールの加速度の変化よりも滑らかであり、急激にカメラアングルが切り替わることなく、自然な映像が得られていることが分かる。なお、他の評価項目に関しても、各カメラモジュールがそれぞれの目的に対して有効であることが確かめられた。



a. ボールとカメラの関係



b. ボールと注視点の関係

図 5. 遅延モジュールの適用結果

また、映像の評価は一般的に人間の感覚が大きく影響するため、実際に映像を被験者に見せ、以下の2つの項目を評価する実験を行った。

- 各カメラモジュールの適用によって得られる映像の評価
- 複数のカメラモジュールを適用することによって得られる映像の評価

実験の結果、一部のカメラモジュールを適用した映像を除いて、ほとんどの被験者がこの表示アルゴリズムによって得られた映像に満足していることが確かめられた。

6. 結論

本研究では、動的な仮想空間において柔軟にカメラ配置を決定し、高品質の映像を得るための表示アルゴリズムを提案した。そして、本アルゴリズムの適用例として、サッカーシミュレーションの表示アプリケーションを実装し、その有効性を確かめた。

ここではサッカーの試合を表示するためのイデオム、カメラモジュールを設定したが、この表示アルゴリズムは、対象とする仮想空間に応じたイデオムとカメラモジュールを設定することで、あらゆる仮想空間の表示に応用可能である。

参考文献

- [1] Li-Wei He, Michael F. Cohen, David H. Salesin. The Virtual Cinematographer: A Paradigm for Automatic Real-Time Camera Control and Directing. *ACM SIGGRAPH '96 Computer Graphics Proceedings Annual Conference Series*, 1996, 217-224.
- [2] David B. Christianson, Sean E. Anderson, Li-wei He, David H. Salesin, David S. Weld, Michael F. Cohen. Declarative Camera Control for Automatic Cinematography. *In Proceedings of AAAI-96*, August 1996, <http://www.cs.washington.edu/homes/salesin/>.
- [3] John Funge, Xiaoyuan Tu, Demetri Terzopolos. Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning and Planning for Intelligent Characters. *ACM SIGGRAPH '99 Computer Graphics Proceedings Annual Conference Series*, 1999, 29-38.
- [4] RoboCup Official Web Site, <http://www.robocup.org/>.