

## 仮想生物の行動シミュレーション

藤田 卓志 林 一司 松本 智佳子 村上 公一  
(株) 富士通研究所

人工現実感による仮想生物との対話環境を試作したので報告する。まず、生物の行動について考察し、生物が周囲の環境とインタラクトしながら自律的に行動するモデルを示す。これに基づいた計算モデルとして、仮想生物の特徴を状態変数およびその変化規則によって表現し、行動をリアルタイムでシミュレートする方法を提案する。人間側のインタフェースとしては、装着型のセンサおよび表示装置を想定し、仮想世界中のユーザエージェントを通じて仮想生物とインタラクトする方法を示す。これらの実現例として、2種類の仮想生物と人間がインタラクトする仮想世界を示す。

## Behavior Simulation of Virtual Creatures

Takushi Fujita Kazushi Hayashi Chikako Matsumoto Kouichi Murakami  
Fujitsu Laboratories Limited  
1015, Kamikodanaka, Nakahara-ku, Kawasaki 211, Japan

We produced an environment for the interaction with virtual creatures using artificial reality. First of all, the action of creatures are considered. And we show the model on which creatures acts in autonomy as they interact with their surroundings. Based on this, characteristics of virtual creatures are expressed by the state variables and their change rules as a computational model. And the method of simulating the action by real time is proposed. We assume the installation type sensors and display device on man side. And we show the method for the interaction with virtual creatures through a user agent in a virtual world. As the example of achiveng these, we show the virtual world where man and two kinds of creatures interact with each other.

## 1. まえがき

新しいヒューマンインタフェースの形として人工現実感が注目されている。これは、各種センサによって人間の動作を検出し、それを反映させながら仮想世界の推移を求め、さらにそれを人間の五感に直接働きかける出力機器を通してフィードバックすることにより、現実世界に近い環境を提供するものである。この人工現実感の技術は、3次元形状の操作など、対話型の環境が要求される応用において、大きな効果を発揮するものと期待される1)2)。

この人工現実感の応用例として考えられるものに、対話型ストーリーがある3)。これは、体験者が人工現実感によって仮想世界に入り込み、仮想世界とインタラクトしながら、第一人称的にストーリーを体験するものであり、新しい形のメディアとして有望である。このような人工現実感の応用において重要な役割を果たすと考えられるのが、仮想世界に息づく仮想生物である。仮想生物は、周囲の仮想世界から影響を受けながら、個々の性質に応じて自律的に行動することによって仮想世界とインタラクトし、ストーリーを形成する。

本研究では、このような人工現実感による対話型ストーリーの実現性を調査することを目的として、仮想生物との対話環境システムを試作した4)。以下、まずシステム概要を示した後、対話環境において生物らしさを表現するための要素について考察し、それを実現するための仮想生物のモデルを提案する。また、それに基づいて試作した対話環境システムについて述べる。さらに、本システムで実際に動作している仮想世界の例を示す。

## 2. 仮想生物との対話環境

本研究で想定する仮想世界との対話環境は、

体験者が仮想世界の中に入り込み、身振りなどによって直接的に仮想生物とインタラクトし、現実感のある仮想世界を体感するものである。登場する仮想生物は簡単な知能を持ち、人間の身振りに対して反応するほか、他の仮想生物や障害物とも作用する。

このような環境を実現するためのシステムの構成例を図1に示す。このシステムは、体験者が装着する入出力機器と、仮想世界の状態推移を求める計算機からなる。

このシステムの中心となるのは、高度な画像生成能力を備えた計算機である。ここでは、仮想世界のモデルを保持し、体験者の動作に応じた仮想世界の状態推移をリアルタイムで求める。また、その結果を即時に映像化して、体験者にフィードバックする。

体験者は、仮想環境とインタラクトするためのセンサおよびヘッドマウントディスプレイを装着する。センサでは、手の位置や方向、手の

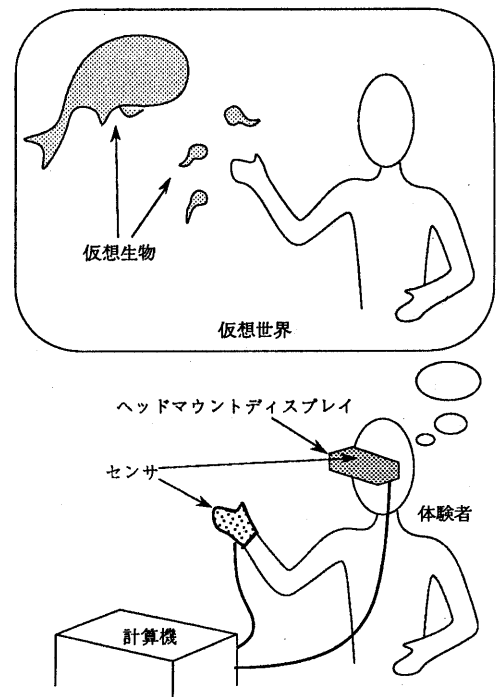


図1. 仮想生物との対話環境

形などを検出する。ヘッドマウントディスプレイには、頭の位置および方向にもとづいて生成された仮想世界の情景を表示する。

このようなシステムで高い現実感を得るために最も重要なのは、仮想世界の状態推移のモデリングである。特に生物を表現するためには、物理法則のほかに、各生物の個性に応じた能動的な動きも表す必要がある。以下の章で、このような生物らしい動きの生成について考察し、その実現例を示す。

### 3. 生物らしさの表現

仮想生物のモデルを作成するために、まず簡単な生物について、その行動が示す生物らしさを考察する。

例えば、図2のA、Bのような2種類の架空の生物を考える。これらは互いに強者弱者の関係を持ち、弱者であるAが複数と、強者であるBが一匹存在するとする。このような場合、各々の生物の行動に関しては、例えば次のような規則が考えられる。

#### 〈生物A〉

- ・ Bが近付くと速度を上げて逃げる。
- ・ 仲間が近付くとよろこぶ。
- ・ 人間が可愛がると、次第になつく。

#### 〈生物B〉

- ・ 視野にAが入ると追う。
- ・ 疲れるとAを追うのをやめる。
- ・ Aが見つからないときは適当に回遊する。

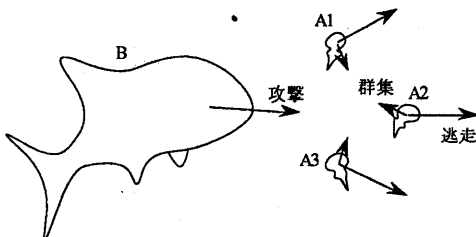


図2. 仮想生物の例

以上、ごく簡単な規則を考えたが、これによってある程度の生物らしさが表現できると考えられる。これらの規則をまとめてみると、次のような特徴を持つ行動が多いことがわかる。

- 1) 行動の対象物が存在する。
- 2) 一つの動作をある程度の時間継続する。
- 3) 急激な刺激に対して敏感に反応する。
- 4) 感情などの内的な要因の影響を受ける。

生物らしい行動を表現するためには、このような特徴を十分表現できるモデルを用いる必要がある。

### 4. 世界モデル

仮想生物が行動する仮想世界のモデルとしては、図3に示すように、各生物が自ら自分の周囲の世界の状態を観測し、それを判断しながら行動するようなモデルを想定する。このようなモデルの利点は、多種多用の個性を持った生物がインタラクトするような世界を自然に記述できることである。

仮想生物が行動する仮想3次元世界のことを生物にとっての環境と呼ぶ。この環境には、複数の生物や障害物が存在し、それぞれ他の生物の行動に影響を及ぼす。これらの生物や障害物の情報のうち、他の生物の行動決定に必要なのは、環境の側から観測できる情報のみである。したがって、これらの情報を状態変数とし

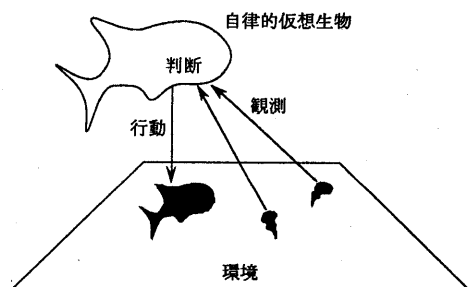


図3. 世界モデル

て一元管理すれば、各生物の行動は、その変数にアクセスすることによって独立に決定できる。計算機上ではこれを共有メモリなどを用いて実現する。

これらの変数のうち、生物の状態を表す変数は全ていずれかの生物に従属しているものとし、その生物の状態変化に応じて更新されるものとする。各生物の状態変化については、以下の章で詳しく述べる。

## 5. 生物モデル

ここでは、仮想生物の個体の行動モデルを示し、そのモデルにもとづいたシミュレーションによる行動生成について述べる。

### 5. 1 仮想生物の基本要素

生物の個体の基本的な機能をモデル化した例を図4に示す。このモデルは、生物の個体が自分の感覚器などを用いて得た情報をもとに状況を判断して、自律的に行動を決定するものである。

ここでは、生物の行動決定のための情報を、環境との関係に着目して以下の3種類に分類して考える。

#### (1) 外部状態

生物の状態のうち、自分以外から観測できるものをここでは外部状態と呼ぶことにする。例としては、生物の位置や姿勢、表情や声などに関する情報が挙げられる。

#### (2) 内部状態

生物の状態のうち、外部からは直接観測できないものを内部状態と呼ぶことにする。これには、例えば嬉しさや怒りなどの精神的状態、疲労度や空腹度のような身体的状態などが含まれる。一連の行動を制御するためのパラメータなどもこれに含める。

#### (3) 感覚

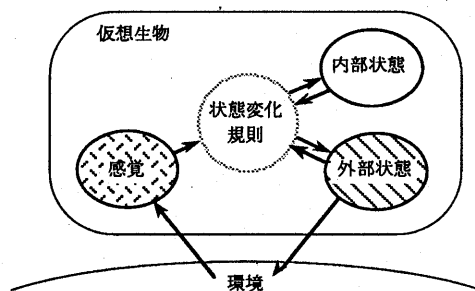


図4. 仮想生物の基本要素

生物が環境から受け取る情報をまとめて感覚として扱う。これは、感覚器を通して得られる五感に相当する感覚の他、衝突などによる物理的な作用に関する情報も含むものとする。

生物の行動は、これらのうちの外部状態の時間的な変化として現れる。内部状態も時間的に変化し、行動に影響するが、外部から直接観測することはできない。一方、感覚は環境から得られる情報であり、他の生物の外部状態や、障害物に関する情報などにあたる。

生物の行動は、これらの変化をリアルタイムでシミュレートすることによって生成する。そのために、各生物について状態の変化の規則を与える。状態変化の規則は、ある時点における生物の状態あるいは感覚に応じた、外部状態と内部状態の変化を規定するものである。

### 5. 2 状態変数による表現

シミュレーションによって行動を求めるために、計算機で扱う形で生物の状態を表現する必要がある。ここでは、生物の各個体に対してプロセスを割当て、各プロセスについて、前節で示した生物モデルを適用し、状態変数を用いて表現する。

外部状態および内部状態は、いずれもある瞬間における生物自身の状態と考えられるから、状態変数という形で表現できる。一方、感覚は、

環境の状態を検出したものであるが、行動決定のための情報と考えた場合は、ある生物の置かれた状態と考えることができる。したがって、これも含めて統一的に状態変数として扱うことにする。状態変数の変化は、後述する状態更新関数によって求める。

外部状態、内部状態および感覚に対応する状態変数をそれぞれ以下のように定義する。

(1) 外部状態変数

外部状態を表す。

状態更新関数により参照および更新される。

更新後の結果は環境に複写される。

(2) 内部状態変数

内部状態を表す。

状態更新関数により参照および更新される。

(3) 参照変数

環境から得た情報を表す。

状態更新関数により参照のみが行なわれる。

参照される前に環境から複写される。

5. 3 状態変数の更新

シミュレーションによる行動生成は、各生物のプロセスごとに適当な間隔でとった評価時刻ごとに状態変数の変化を求め、更新を行なうことによる。このときの更新規則を与えるものを状態更新関数と定義する。

ここで用いる状態更新関数は、ある特定の外部状態変数あるいは内部状態変数の変化を、いくつかの状態変数の値から求めるものである。状態更新関数では、まず引数によって指定された状態変数について、ある同一の評価時刻において確定した値を読み込む。それに基づいて、関数に定義された計算を行い、引数によって指定された外部状態変数や内部状態変数の更新を行なう。

このような状態更新関数を図5に示すようにライブラリ化し、引数とする状態変数との関係をリストによって与えることにより、仮想生物

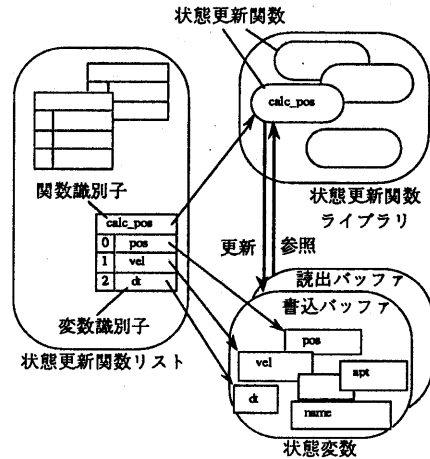


図5. 状態変数の更新

の行動規則を与える。

複雑な行動規則を表現するためには、一つの状態変数に対して複数の状態更新関数が作用することを可能とするほうが有利である。また、更新結果は、リスト中の関数の呼び出し順に無関係であるべきである。そのため、各状態変数に対して、前評価時刻の値を保持する読み出し専用バッファと、現評価時刻の値を保持する書き込み専用バッファを用意する。また、状態更新関数では原則として、前評価時刻に対する状態変数の変化量を求め、それを書き込み専用バッファの値に加算する方法を採用する。

5. 4 シミュレーションアルゴリズム

ここでは、前述までのモデルによる仮想生物の行動生成プロセスにおけるシミュレーションのアルゴリズムを示す。各評価時刻ごとの処理は、以下の手順による。

1) 評価時刻の確定

現評価時刻を確定するとともに、前評価時刻と現評価時刻との時間間隔を求める。

2) 参照変数読み込み

参照変数の値を、環境の対応する変数から読み込む。

### 3) 状態変数の更新

状態更新関数の呼び出しリストに登録された状態変数と状態更新関数の組に基づいて、状態変数の変化を求め、結果を順次、対応する状態変数の書き込みバッファに加算していく。

### 4) バッファの更新

状態変数の書き込みバッファに加算されて確定した値を読み出しバッファに複写する。書き込みバッファの内容は、状態変数が保存値として定義されている場合はそのまま保存し、瞬時値の場合はクリアする。

### 5) 外部変数の書き込み

全ての外部状態変数について、確定した読み出しバッファの値を環境に複写する。

## 6. ヒューマンインタフェース

人間と仮想世界とのインタラクトを実現するための方法について述べる。

### 6. 1 ユーザエージェント

仮想世界の中での体験者を表すものとして、仮想生物に対比させてユーザエージェントを定義する。ユーザエージェントは、体験者と一対一で存在し、体験者からの情報を環境に伝達するとともに、体験者にフィードバックされる仮想世界の情報を環境から取り出すものである。

体験者の動作などの状態は、体験者が装着したセンサなどによって検出されるが、この情報は、仮想生物モデルの外部状態に対応する。一方、体験者にフィードバックされる映像や音は、仮想生物モデルの感覚に対応するものであり、ユーザエージェントが環境から得た情報をもとに生成される。

このように、ユーザエージェントによって体験者を表すことにより、仮想世界における体験者と仮想生物とを等価なものとして扱うことが

できる。

### 6. 2 入力系

本システムでは、体験者が装着するセンサとして、VPL Research社のDataGloveとEyePhoneを使用している。DataGloveは、手に装着する手袋型のセンサであり、指の関節の曲げ角が検出できる。EyePhoneは頭部に装着するディスプレイである。それぞれ位置および方向センサとして、Polhemus Navigation Sciences社の3Space Isotrakを備える。

これらにより得られた情報は、そのままでは動作の意味がわかりにくく、直接他の仮想生物に伝達するのは最適ではない。そこで、まずセンサから得られたデータをもとに体験者の動作の意味を解釈し、それを環境に伝達する。

現在、DataGloveからのデータについては、ニューラルネットワークを用いて動作認識を行なっている5)。これにより、10種類程度の手の動作の識別を行なっており、仮想生物とのインタラクションを容易にしている。

### 6. 3 出力系

シミュレーションによって変化する仮想世界の状態を、実時間で映像および音に変換し、体験者に伝える。映像表示部にはEyePhoneを用いて、体験者が仮想世界にいると仮定したときに見える情景を表示する。

映像生成を行なうためには、仮想世界の生物や障害物の形状やテクスチャなどのデータが必要となるが、一般にこれらのデータは膨大なものとなる。そのため、行動シミュレーションの部分からは独立させて扱うほうが効率的である。本システムでは、仮想生物の詳細な形状データなどは、出力系で管理し、環境から受け取った必要最小限のパラメータを用いて映像生成を行なう。

音についても同様に、環境から受け取ったパ

ラメータをもとに、出力系に用意した音源によって合成している。

## 7. 実験

以上に述べたようなシステムを用いて、簡単な仮想世界を表現する実験を行なった。ここで表現したのは、第3章で述べたような2種類の生物が登場する世界である。

この世界には、3匹の生物Aと1匹の生物Bが登場する。生物Aピョンピョン跳ねながらBから逃げまわる(図6)。また、人の手招きに反応して集まってくる(図7)。一方の生物Bは、普段は世界の中を回遊しているが、自分の視野にAが入ると、そちらに向けて攻撃を仕掛ける(図8)。どちらの仮想生物も、体験者の動作に反応するが、その反応の仕方は異なっている。これを利用して体験者は、Aを安全な所へ導きながら、Bを追い払うことができる。

各々の生物の行動を定義するために用いた状態変数および状態更新関数の数を表1に示す。ここで用いた状態変数は、主として浮動小数点スカラあるいは3次元ベクトルである。状態更新関数はC言語で記述されており、それぞれ10行~数10行である。この関数の多くは、3次元ベクトルとスカラの組み合わせによる積和演算、あるいは、それに条件を付加したものである。

シミュレーションおよび画像生成に用いた計算機はSilicon Graphics社製IRIS-4D/340VGXであり、リアルタイムに近い速度を得ている。

表1. シミュレーションに使用した変数および関数の数

生物	生物A	生物B
外部状態変数	14	14
内部状態変数 (定数を含む)	128	169
参照変数	21	21
状態更新関数	129	143

(ベクトル変数は1変数として計算)

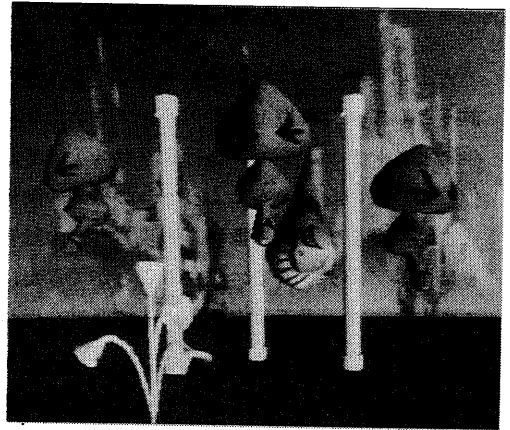


図6. 生物Bから逃げる生物A

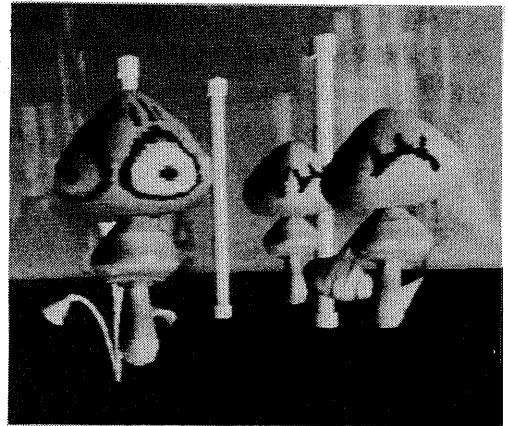


図7. 手招きに反応して集まる生物A

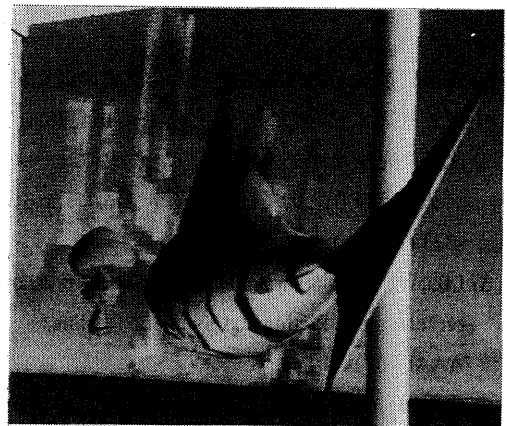


図8. 生物Aを発見して攻撃する生物B

## 8. むすび

人工現実感による対話型ストーリーのための試みとして、計算機上にモデリングされた仮想生物とインタラクションを行なうシステムを試作した。このシステムによって、2種類の簡単な生物が登場する仮想世界を表現し、その動きをほぼリアルタイムで生成することができた。これによって、人工現実感によって簡単な仮想世界の場面を表現できることがわかった。ここに述べたような行動シミュレーションの手法は、アニメーション制作の自動化などにも応用できると考えられる。

一方、対話型ストーリーの実現のためには、多くの問題が残る。なかでも最も大きな課題は、複雑な展開を持ったストーリーをいかに表現し、いかに生成するかという点である。今後、これを解決するためには、より高度なアプローチが必要になると思われる。

謝辞 本研究を進めるにあたり、御教示、御討論いただいた大阪学院大学大村皓一教授ならびに、仮想生物のデザインにご協力頂いた日本電子専門学校野地朱真殿に感謝致します。

### 参考文献

- 1) 岩田: "盛り上がりを見せる人工現実の研究課題を探る", 日経CG, No.42, pp.154-164 (1990.3)
- 2) 北郷: "究極のマン・マシン・インタフェース "人工現実" とは", 日経バイト, No.77, pp.315-323 (1990.10)
- 3) J.Bates: "Computational Drama in Oz", Workshop on Interactive Fiction and Synthetic Realities, AAAI-90 (1990.7)
- 4) 藤田他: "仮想生物の行動シミュレーション", 第4回札幌国際CGシンポジウム論文集, pp.20-25 (1990.11)

- 5) 牛山他: "時系列ネットワークを用いたジェスチャー認識", 第6回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.187-190 (1990.10)