

## 仮想生物の行動生成モデル

林 一司, 藤田卓志, 松本智佳子  
(株) 富士通研究所

人工現実感における対話的な環境を実現するために仮想生物との対話システムを試作した。実世界での生物の行動について考察し、周囲の環境と自律的に相互作用してゆく行動モデルを考案した。この行動モデルに基づいて状態変数とその変化規則によって仮想生物の行動を実時間でシミュレートする方法を提案している。体験者はこの世界に入り、身振りによって仮想生物と相互作用する。これらの実現例として2種類の仮想生物との対話世界を示す。

## Behavior Model of Virtual Creature

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

We make an interactive environment with virtual creature as a artificial reality. First, the action of creatures which lives in real world are considered. Then we show the model of virtual creature which acts in autonomy. We express the characteristics of virtual creatures by the state variable and their change rule. And the way of simulating the action is proposed. As the example of this system, we show the world in which the man and two kinds of creatures interact.

## 1. はじめに

近頃では「人工現実」という言葉もすっかりおなじみとなり、新しいヒューマンインタフェースの形としてその実用化が進められている。この人工現実感の技術は特に対話的な処理が要求される应用到いて大きな効果を発揮するものと期待されている。本研究では対話的な人工現実の一例として仮想世界に生息している架空の生物（仮想生物）を考え、それらの仮想生物同士或は仮想生物と人間の間での相互作用を行えるような仮想生物システムの試作を行った[1][2][3]。

## 2. 仮想生物システム

今回試作した仮想生物システムは、実世界には存在していない全く新しい世界の創造を試みている。体験者はこの世界に入ることにより実世界とは全く異なった体験を得ることができる。このようなシステムにおいては、提示される世界が現実とは全く切り放された別のものであるため、その中に入っている体験者に対してどのようなしたら現実感を与えられるかが最も大きな問題となっている。特に対話的に処理を主眼として行う人工現実システムでは、対象となる仮想世界の構成が非常に重要である。

そこで我々は仮想的な生物という概念を導入し、それらの仮想生物と体験者との対話的に相互作用を行なうことにより、体験者に現実感を与えるを試みた[4][5]。仮想生物とは基本的には実世界における動物を単純化しモデル化したものである。外見的には、動物と同じ様に外部からの刺激に反応してそれぞれの持っている行動様式（性格）に従って独自の行動を取ると同時に、人間からの働きかけに対しては状況に応じた複雑な反応を示す様な存在である。無機的な計算機の内

部に有機的な仮想生物を導入することにより、実世界での動物との親近感から体験者が仮想世界の存在を違和感無く受け入れられるとなると同時に、仮想世界に対して対話性だけではなく自律性をも与えることができる。しかしながら、実際の生物の行動様式は非常にバラエティに富んでおりその意志や行動の決定のメカニズムは大変複雑である。単純化してあるとはいえ、仮想生物においてもこれらのシミュレーションを行う為に、いろいろな要因を整理してそれを行動のルールとして記述する必要がある。

## 3. 仮想世界のモデル

仮想世界の構築において仮想生物と人間及び仮想生物同士の相互作用を実現する為にはそれぞれの間の通信や実世界とのインタフェースのサポートを行い、そしてそれらが同時に動作しなければならない。そこで仮想世界を環境、仮想生物そしてユーザーエージェントの3つの要素に分解し必要な機能を分担させた(図1)。

- (1) 環境 仮想生物が生息している仮想的な3次元空間。
- (2) 仮想生物 仮想世界における中心的な存在。ルールに従って環境の状況から自分の行動を決める。
- (3) ユーザーエージェント 人間の仮想世

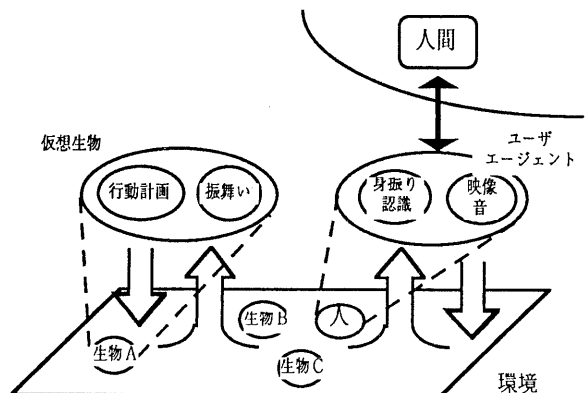


図1 仮想世界の構成

界内での分身。人間に1対1で対応し、実世界とのインタフェースを司る。

この仮想世界の構成では、各生物は独立したオブジェクトとして自ら自分の周囲の世界の状況を観測し行動するようになっている(図2)。このため多種多様の性質を持った生物が相互作用する様な世界を自然に記述することが可能である。

#### 4. 仮想生物

現実世界の生物は各々独立した知能を持ち、自分の状況や周囲の環境に応じて自律的に行動する。これら生物の行動をまとめてみると次のような特徴を持つものが多いことがわかる。

- 1) 行動の対象となる物が存在する。
- 2) 1つの動きをある程度持続さる。
- 3) 特定の刺激には敏感に反応する。
- 4) 感情等の内面的な要因を持つ。

生物らしい行動を表現するには、上記のような特徴を表現できるモデルでなければならない。

#### 5. 行動生成モデル

ここでは、本システムで使用している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。

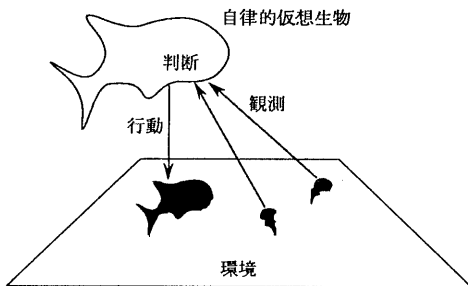


図2 仮想生物のモデル

#### 5. 1 仮想生物の基本要素

仮想生物の個体の基本的な機能のモデルを図3に示す。このモデルでは、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ようになっている。

生物の行動決定の為に使用する情報については、環境との関係に着目して以下の3種類に分類して考えている。

##### (1) 外部状態

仮想生物の状態のうち、第三者から観測できるものをここでは外部状態と定義する。例えば仮想生物の位置や姿勢、表情や声などに関する情報が相当する。

##### (2) 内部状態

仮想生物の状態のうち、第三者からは直接観測できないものを内部状態と定義する。これはさらに

- ① 身体状態
- ② 感情状態
- ③ 短期記憶

の3つに分けて考えられている。疲労度や空腹度のようなものは身体状態に、嬉しさや怒りなどは精神状態に含まれる。仮想生物の一連の行動を制御するためのパラメータなどは身体状態を含めて考えている。これとは別に短期記憶が設定されている。これは中程度の期間

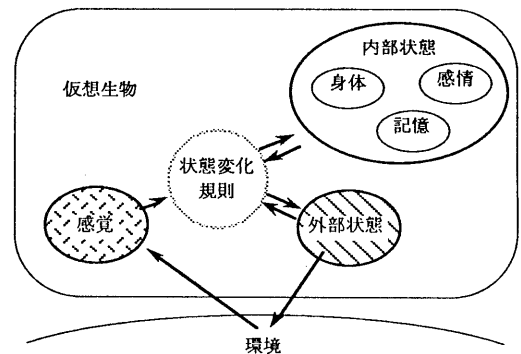


図3 仮想生物の基本要素

持続する状態であり，前の2つの状態とは異なる性格が与えられている．例えば，一次的に襲われるとしばらくの間はそれを記憶する等に用いられる．短期的な学習機能と考えることも可能である．

### (3) 感覚情報

仮想生物が環境から得る情報をまとめて感覚情報として扱う．これは，我々の現実世界における五感に相当する物の他，衝突などによる物理的な作用に関する情報も含めて考えている．

仮想生物の行動は最終的には外部状態の時間的な変化として表される．内部状態も時間的に変化し行動に影響してはいるが，外部から直接観測することはできない．

仮想生物の行動は，これらの変化を実時間でシミュレートすることによって生成されている．そのためにそれぞれの生物について状態の変化の規則が設定されている．状態変化の規則は，ある時点における生物の状態及び感覚に従い，次の時点での外部状態と内部状態の値の求め方を規定している．

## 5. 2 状態変数による表現

先にも述べたように，本システムでは仮想生物の各個体を1つのオブジェクトとして扱っている．実際にはこのオブジェクトは1つのプロセスとして実現されており，各プロセス毎に生物モデルが組み込まれている．

外部状態および内部状態は，いずれもある瞬間における仮想生物自身の状態なので1つの状態変数という形で表現している．また，感覚についても環境の状態を検出したものであるため，仮想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，他の生物から観測が可能となる．

### (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．実際に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の生成は，各生物のプロセス毎に評価時刻ごとの状態変数の変化を求め，更新を行なうことで行われている．このときの更新規則を与えるものが状態更新関数である（図4）．

ここで用いて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

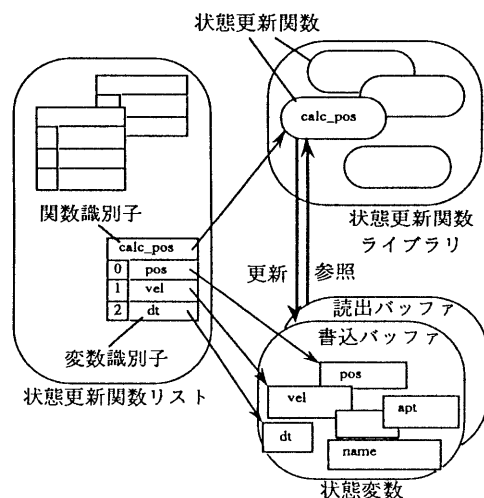


図4 状態変数の更新

の変化を、いくつかの状態変数の値から求める一種のプロダクションルールと考える事ができる。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はルールベースとしてライブラリ化されており、引数とする状態変数と出力となる状態変数の関係をリストによって与えることにより、仮想生物の行動規則を定義している。

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便利である。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事が望ましい。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によるダブルバッファリングを行っている。また、状態更新関数では計算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式を採用している。

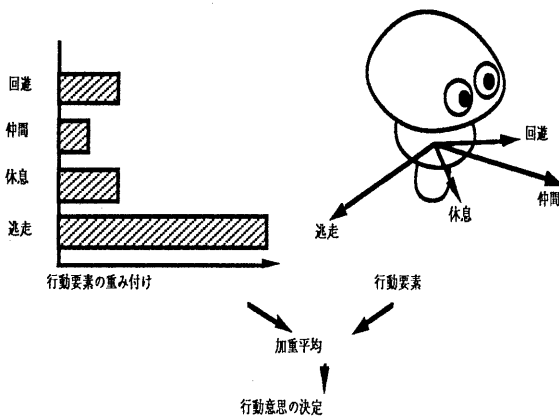


図5 行動の合成

## 5. 4 シミュレーションアルゴリズム

前述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って行われる。

### 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。

## 5. 5 行動要素の合成

このシミュレーションにより仮想生物の行動要素が求められる。実際の行動はこれらの行動要素を条件に応じて合成して決定している。行動要素としては、「逃げる」とか「追う」といった単純なものを考え、まず各々の動作を定義しておく。これらについて、例えば図5に示すように、動機の強さに応じた加重平均によって行動を合成する。このとき使用

する重み付けも一種の状態変数と考えることができ、その変化はやはり状態更新関数によって行われる。特に短期記憶は他の状態変数よりも長い時間軸での変化を司っており、この重みの値の変化に対しても大きな影響を与えている。

## 6. 実現例

本システムを用いて、仮想生物と人間とがリアルタイムで対話する人工現実世界を試作した。この世界に登場する生物は2種類（4匹）であり、それぞれ以下のような性質を与えてある（図6、7）。

生物A（MUSHROOM）3匹

- ・ピョンピョン跳ねまわる。
- ・人の手招きに反応して寄ってくる。
- ・生物1が近付くと逃げる。

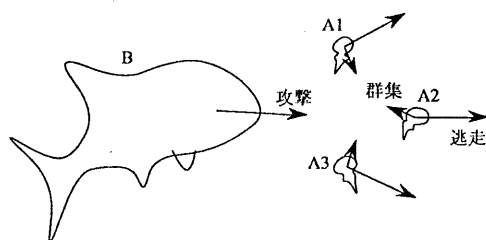


図6 仮想生物の例

表1 状態変数及び更新関数の数

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)

・仲間が近付くと表情を変える。

生物B（FISH）1匹

・時々向きを変えながら回遊する。

・生物2が視野に入ると追いかける。

この例における仮想生物の行動を定義するために使用した状態変数及び状態更新関数の数を表1に示す。ここで使用されている状態更新関数は実時間性を重視してC言語で記述されており、それぞれ10～数10行程度の小規模なものである

## 7. まとめ

人工現実の実現の一環として、仮想生物を棲息させた対話的システムを試作し、その行動モデルを構築した。今回の行動モデルは非常に単純化された内部要素から構成されているが、生成された行動は非常に変化に富んだものであり、また体験者との相互作用も自然な形でできるなど、ほぼ当初の目的を達成したと考えられる。

しかしながら、モデルが単純しすぎた為短期記憶を十分に機能させることができなかった。学習のルールについても状態更新関数と同じレベルで記述を行ったため通常の状態変数との差が明確には表されていない。特に人間との相互作用を考えた場合には、“慣れ”等の概念を表すのに不可欠な

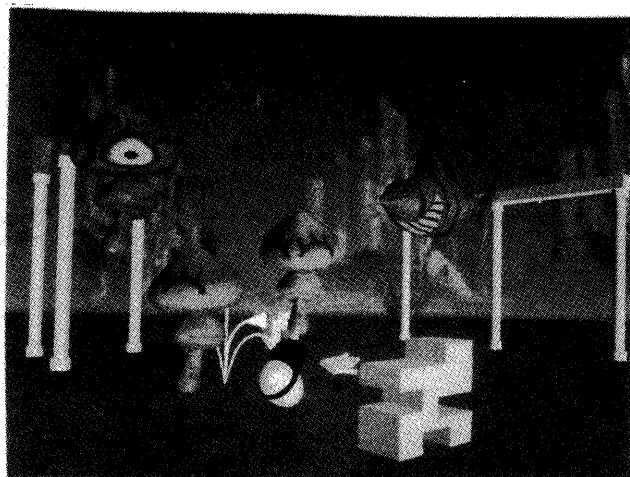


図7 仮想世界の例

機能であり、今後の拡充が必要であろう。

本システムでは体験者との相互作用の種類、登場する生物の種類、振舞いや動きが限られたものであるため[6][7]、体験者に高度な現実感を与えるまで至っていないが、今後の研究よりその可能性は大きいと思われる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり御討論、御指導いただいた大阪学院大学大村皓一教授、並びに森田ヒューマンインタフェース研究部長に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 林他:"人工現実における仮想生物との対話(1)", 第42回情報処理全国大会
- [2] 藤田他: "人工現実感による仮想生物との対話(2)", 第42回情報処理全国大会
- [3] 西山他: "人工現実感による仮想生物との対話(3)", 第42回情報処理全国大会,
- [4] 藤田他: "仮想生物の行動シミュレーション", グラフィクスとCAD研究会,49-8(1991.2)
- [5] 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,pp.20-25(1990.11)
- [6] 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)
- [7] 柿本他: "軸による自由形状変形の制御", 第52回グラフィクスとCAD研究会予稿,(1991.8)