

# 自発的に進化するバーチャルネットワーク環境の構築

## Construction of Virtual Network Environment Enabling Autonomic Evolution

岡部 朗 †      門脇 恒平 †      小坂 隆浩 ‡      佐藤 健哉 †  
Akira Okabe   Kadowaki Kouhei   Takahiro Koita   Kenya Sato

### 1 はじめに

#### 1.1 背景

マーク・ワイザーが示したユビキタス社会 [1] の実現を目指し、あらゆる技術は進歩している。情報科学分野においては、ネットワークの無線化や大規模化、ハードウェアの多様化や小型化や低価格化、ソフトウェアの高性能化が進歩の例として挙げられる。ここでのネットワークとは、通信そのものと通信を可能にする技術、通信が可能となっている関係や環境を意味する。これらネットワークとハードウェア、ソフトウェアの進歩により、誰もが簡単に、もしくは意識することなく、ネットワークとハードウェア、ソフトウェアの恩恵に与ることができる。今後、情報機器はあらゆる物体に内蔵され、情報科学技術と意識させないインタフェースを持ち、自律的動作が可能になると予測される。

#### 1.2 研究目的

前述したような背景の下、今後の情報科学技術のあり方について、様々な構想が成されている。知能を持ったソフトウェアによって人々の安全や安心を実現し、創造性の発揮を助け、精神的満足を求める研究が行われている。知能とは、状況に応じて動作する機能から、人間のように見聞き話し考える機能まで、幅広い意味を表す語であり、状況に応じて動作するソフトウェアはすでに実現されている。

現在、人間と知能を持ったコンピュータに対する構想を示した研究は存在するが、知能を持ったコンピュータ同士のネットワークに焦点を当てた研究はほとんど見られない。知能を持ったコンピュータ同士のネットワークとは、人間が関与せずとも存在するコンピュータだけのネットワークを指す。また、ソフトウェアとハードウェアの双方をまとめて、コンピュータという語で表す。ユビキタス社会ではあらゆる情報機器がネットワークで繋がれており、ネットワーク上の仮想的な空間で、知能を持ったコンピュータ同士はネットワークを自発的に構築する。知能を持ったコンピュータ同士は、ネットワーク上で自発的に相互作用を起こし、自身を変化させ進化する。コンピュータの仮想的なネットワークの環境をここではバーチャルネットワーク環境と呼び、本研究では、知能を持ったコンピュータだけのネットワークに焦点を当て、知能を持ったコンピュータ同士のバーチャルネットワーク環境という新しい概念を提唱する。

### 2 関連研究

#### 2.1 妖精・妖怪の復権 [2]

前田らは、妖精と妖怪という概念を用いて、情報科学技術が取り組むべき課題を示した。妖精・妖怪は、身近

にいつも寄り添い、見守り、そっと支えてくれる存在である。妖精・妖怪の役割は、人間と森羅万象とのコミュニケーションの仲介役を勤めることである。情報科学技術が妖精・妖怪となり、人間に精神的な安定と豊かさを提供する必要がある。

妖精・妖怪そのものと、妖精・妖怪が棲む世界を実現するための技術の、それぞれあるいは双方合わせてを、環境知能という語で表す。環境知能は、一個体が全知全能なのではなく、それぞれに能力が異なり個性を持っている。同様にその有り様も様々である。そのため、群となることで大きな力を発揮し、環境知能の個々が自らの個性を伸ばしたり、時には機能分化や機能統合を行い進化する。

#### 2.2 空間知能化 [3]

橋本らは空間知能化により、情報科学技術をベースとした建築空間とロボティクス技術の融合がもたらす可能性を示した。空間知能化とは物理的空間全体を知能化することである。空間が「見る・聞く・働きかける」ことにより、人間の知的能力を十分に発揮できる環境を提供し、利便性や安心感、安全性などによるアメニティの実現を目指す。ここで扱う空間とは、人間を含めての空間全体のことであり、空間全体を一つの工学システムとみなしている。空間という性質上、工学系と情報系のコラボレーションが重要となる。

#### 2.3 本研究との比較

妖精・妖怪の復権の主題は人間に対する振舞い方や有り様である。空間知能化の主題は人間を含めた空間そのものにある。空間知能化での空間とは、人間と人間の周りに存在するコンピュータであると考えられる。よって、空間に働きかけることは、コンピュータ、つまり妖精・妖怪に働きかけることと同義であると考えられる。

これらの関連研究は、人間と複数の知能が存在し、相互に影響し合っている状況下での、空間に存在する人間と知能の関わりに重点を置いている。よって、人間が存在する空間での人間を中心とした研究であると言える。本研究は、人間が存在するしないに関わらず存在する、知能を持ったコンピュータ同士の関係やネットワークに重点を置いている。

### 3 情報世界の構築

知能を持ったコンピュータ同士のネットワークとは、人間が関与せずとも存在する知能を持ったコンピュータだけで構成されるネットワークである。コンピュータやネットワークの設定は人間が行うが、一度行えば人間が手を加えずとも動作しネットワークに繋がった状態となる。ユビキタス社会とは、人間がいつでもどこでも情報を活用できる社会であり、知能を持ったコンピュータについても同様である。人間の存否に関わらず知能を持ったコンピュータ同士はネットワークを持ち、知能を持ったコンピュータ同士はネットワークを介してコミュニ

† 同志社大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

‡ 同志社大学 理工学部 情報システムデザイン学科

ケーションができる。

図1のように、複数の人間がいれば、相互コミュニケーションが行われ1つの社会が形成される。同様に複数の知能を持ったコンピュータが存在すれば、コンピュータ同士は相互にネットワークを介してコミュニケーションを行い、社会を形成する。知能を持ったコンピュータのネットワークが社会を形成することで、様々な情報交換や情報改変が行われ、知能を持ったコンピュータ自身と知能を持ったコンピュータの社会全体が進化する。ここでの社会とは、相互に影響し合う森羅万象の集団または共同体を表す語である。

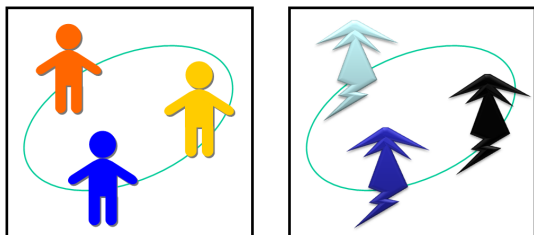


図1 人間社会と知能を持ったコンピュータ社会

知能を持ったコンピュータの社会は、人間社会と随従関係とはならず、協力関係を築く。社会同士の相互作用により人間に、知能を持ったコンピュータ同士のネットワークは一つの社会である、という視点を与える。本研究では、知能を持ったコンピュータのネットワークによる社会と個々の社会の全集合を情報世界と名付け、情報世界というバーチャルネットワーク環境の構築を主題とする。

## 4 ハーミットモデル

### 4.1 提案

情報世界に存在し、ネットワークを自由に移動する知能を持ったソフトウェアを、本論文ではハーミットという名称で定義する。ハーミットはネットワークを介しての自由な移動が可能であり、ハーミット同士で交流をすることで、相互の情報交換が可能となる。また物理的障害や人間の操作によるハーミットの消滅は、ハーミット自身が避けるべきことである。

ハーミットは、移動性(ネットワーク間移動)、分散性(ハーミット同士での情報交換)、自律性(自律的移動と情報交換)を持っているため、エージェントの概念により実現することが可能である。エージェントとは、ユーザや他のソフトウェアの仲介を行う、自律性や分散性、移動性を持つソフトウェアを説明する概念であり、またそのソフトウェアそのものを表す語である[4, 5, 6, 7]。エージェントの適用例としては、ビデオゲームにおけるキャラクタ、サッカーロボットやヒューマノイドロボット、金融市場のシミュレーション手法などが挙げられる。ハーミットは、情報世界での、エージェント技術を利用したソフトウェアである。

ハーミット同士が作り出す社会に人間が参加することで、情報世界と人間世界の間相互作用が発生する。ハーミットの社会に人間が参加し相互作用を起こす様子をハーミットモデルと定義する。ハーミットは人間の道具ではなく、一つの知能を持った存在である。ハーミットは情報世界を自由に作り変えていく存在であり、人間に付き従う存在ではなく、人間と相互に影響を与え合う存在である。

### 4.2 プロトタイプ概要

#### 4.2.1 概要

本研究でプロトタイプを作成する目的は、情報世界とハーミットモデルを具体的なアプリケーションとして示すことにある。そこで、ハーミットがネットワークを介して他ハーミットの元へ移動し、ハーミット同士で情報を交換し、それを人間が使用するというプロトタイプを作成した。

ハーミットモデルのプロトタイプにおいてハーミットが扱う情報は、辞書データと地域データである。辞書データはMicrosoft IMEより出力できるテキストデータとし、地域データは同志社大学京田辺校地もしくは今出川校地の名称と住所を保持するテキストデータとした。ハーミットは、辞書データを扱うDictionaryカテゴリと地域データを扱うPoint Of Informationカテゴリのどちらかを持ち、カテゴリにより辞書データまたは地域データを交換し結合する。ある程度の情報交換が行われたら、生成元コンピュータに帰還し、情報をテキストデータとして指定されたコンピュータ上の記憶領域に書き出す。生成元コンピュータとは、そのハーミットが作成されたコンピュータである。コンピュータの終了時には他コンピュータへ移動するか、指定されたコンピュータ上の記憶領域に自身を退避する。

#### 4.2.2 開発環境の考察

ハーミットのネットワークを自由に移動できるという特徴から、オーバーレイネットワークの概念を適用できる。オーバーレイネットワークとは、ネットワークに繋がる機器が爆発的に増加している中で、性能と耐故障性を保つために構成されたアプリケーションレベルでの自律的・非集中的ネットワークのことである[8]。

またハーミットについて次のような特徴も挙げられる。

- 不特定多数のハーミットと通信を行う
- 通信時にはサーバやクライアントといった特定の役割を持たない
- ネットワークに繋がっている不特定多数の中から通信相手を選び移動する

以上の特徴より、通信方式はP2P(Peer to Peer)通信が望ましいと考えられ、本研究では、PIAX[9]を用いてハーミットモデルのプロトタイプの実装を行った。PIAX(P2P Interactive Agent eXtensions)は、ユビキタスコンピューティングのニーズに応えるエージェントベースのP2Pプラットフォームであり、モバイルエージェント機能とP2Pネットワーク機能とをあわせ持つJavaのクラスライブラリである。分散エージェントを使ったユビキタスアプリケーションの開発のためのSDK(Software Development Kit)であると同時に、ユビキタスサービスのためのプラットフォームでもある。ハーミットをPIAXのエージェントを拡張することで実現し、ハーミットと人間の相互作用を発生させ、ハーミットモデルのプロトタイプとした。

### 4.3 プロトタイプ実装

#### 4.3.1 実装内容

実装環境を表1に示す。エージェントの生成とネットワーク上の移動はPIAXにより可能となっている。しかし、エージェントには自身以外の情報を扱う機能が存在しない。そのため、自身以外の情報とともに移動する

機能も実装されていない。エージェントの移動についても、生成元コンピュータの情報保持やホップ数による移動先選択などは作成、設定しなければならない。

表1 実装環境

OS(Windows)	XP Professional SP2
PIAX	PIAX1.0.0
Programming Languages	Java (J2SDK Ver.1.6.0)

また、エージェントを指定されたコンピュータ上の記憶領域に退避させる機能と退避させたエージェントを復活させる機能は存在するが、両機能ともにPIAXを停止しない状況という条件の下でしか動作しない。以上より、ハーミットモデルのプロトタイプに必要でありPIAXで実装されていない項目として、以下のような機能が挙げられる。

- エージェントが情報を保持・取得・出力・管理する機能
- エージェントが情報とともに移動するための機能
- PIAX再起動後のエージェントの復活を可能にする機能
- エージェントのホップ数と移動先選択に関する機能

以上の4点をPIAXを拡張することにより実装し、ハーミットを動作させるための環境を構築した。また、ハーミットの動作シナリオを作成した。

4.3.2 情報を保持・取得・出力・管理する機能の実装

PIAXでのエージェントは、ID、カテゴリ、名前で管理されている。IDは8バイトのランダム数であり、固有の変化しない値である。

ハーミットは複数の情報を保持し管理する。情報はそれを保持するハーミットのみがアクセスできる。PIAXのエージェントに倣い図2のように、ハーミットをID・カテゴリ・名前で管理する。また、ハーミットが保持する情報も同様に管理する。

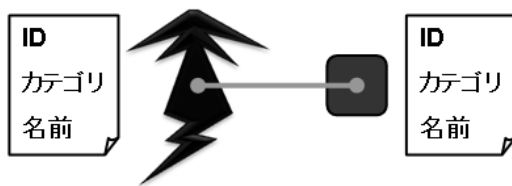


図2 ハーミットと情報の管理形式

人間は、ハーミットと取得したい情報のIDやカテゴリ、名前を指定することで、取得したい情報を得ることが可能となる。ハーミットは人間が直接入力する情報だけでなく、指定されたコンピュータ上の記憶領域に存在する任意のファイルの情報を取得することも可能である。同様に情報の書き出しも任意の場所に対して行うことが可能である。

また、ハーミットは情報を改変することが可能である。本研究では図3のように、同カテゴリの他ハーミットが保持している情報と自身の情報を一つに結合する処理を行う。ハーミットと情報の関係を以上のように規定し、情報部分を実装した。

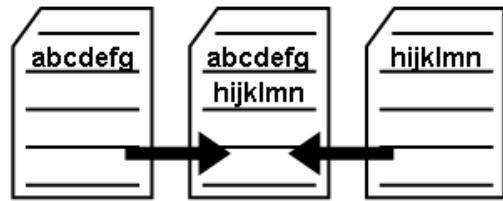


図3 情報の結合処理

4.3.3 情報とともに移動するための機能の実装

エージェントが他コンピュータに移動、または指定されたコンピュータ上の記憶領域に退避する場合、jarファイル形式に変換される。jar(JavaARchive)ファイルとは、java言語においてクラスライブラリなどに使用される、ZIP形式の圧縮方式である。

PIAXはエージェントの情報のみをjarファイルへと変換する。しかし、ハーミットは自身以外の情報を保持するため、保持する情報もハーミットと同jarファイルに圧縮する必要が生じた。さらに、jarファイルからハーミットを復活させるための処理も、保持している情報部分の追加処理が必要となった。PIAXの機能を拡張し、必要な圧縮機能と復活機能を実装した。

4.3.4 PIAX再起動後の復活を可能にする機能の実装

ハーミットが退避する条件は以下の2点である。

- ハーミットに退避の依頼を行った場合
- PIAXが停止する際にハーミットが他コンピュータへと移動できなかった場合

ハーミットに退避の依頼を行うことは、本研究のプロトタイプではできない。本来ならば、人間が退避を依頼した場合、退避するかしないかはハーミットが判断する。

エージェントをjarファイルとして指定されたコンピュータ上の記憶領域に書き出す機能とjarファイルからエージェントを復活させる機能は、PIAXに存在する。復活させる機能は、エージェントがPIAX上に存在しているという情報を利用する。PIAXを停止しない限り、エージェントが存在するという情報はPIAX上に残るため、jarファイルからエージェントを復活させることが可能となる。しかし、PIAXが停止してしまうとエージェントが存在するという情報は消えてしまい、jarファイルからの復活が不可能になってしまう。そこで、PIAXにエージェントの情報がない状態から、jarファイルよりエージェントの情報を取得し、エージェントを復活させることが可能となる機能を実装した。

4.3.5 ホップ数と移動先選択に関する機能の実装

本研究でのハーミットが他コンピュータに移動する条件は、以下の二つである。

- 情報交換の終了
- PIAXの停止

情報交換の終了による移動は、新たな情報交換を行うためのものである。PIAXの停止による移動は、自身の消滅を回避するためのものであり、移動が不可能な場合は指定されたコンピュータ上の記憶領域に自身を退避させる。

移動先コンピュータの決定は、閾値ホップ数と現在のホップ数で行う。現在のホップ数の値が、閾値ホップ数



の値より小さければ任意のコンピュータへ移動し、同値もしくは大きければ生成元コンピュータへと移動する。任意のコンピュータは、本研究ではランダムに選択するものとし、近接しているコンピュータのいずれかとなる。以上の条件で移動に関する機能の実装を行った。

#### 4.4 動作と応用

図4に動作手順を示し、動作シナリオと応用例を挙げる。

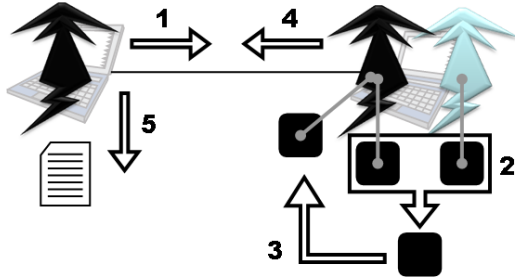


図4 プロトタイプ動作手順

1. 他コンピュータへ移動
2. 保持している情報と他ハーミットの情報を結合
3. 結合した情報を保持
4. 他 or 生成元コンピュータへ移動
5. 情報の書き出し

シナリオ1 ハーミットは辞書データを他ハーミットと交換し、語彙を増やす。生成元コンピュータに帰還し結果を出力する。人間は出力された結果を辞書に読み込ませ、コンピュータの辞書機能を強化する。

応用例 ハーミットに言語処理の機能が実装された場合、辞書データを自身の語彙増強に使用可能となる。辞書データではなく言語による交流の中で学習していくことも可能となる。

シナリオ2 ハーミットは地域データを他ハーミットと交換し、名所情報を集める。生成元コンピュータに帰還し結果を出力する。人間は出力された結果を、地図表示などに使用する。

応用例 ハーミットにモバイル機器への移動、言語処理、地図表示機能が加わることで、モバイル機器による自動名所案内が可能となる。

#### 4.5 評価と考察

LANに接続された二台のコンピュータ間でハーミットの移動を行い、移動時間を計測した。変化項目は、ハーミットの情報保持数とし、比較対象は、PIAXのエージェントと情報保持数の異なるハーミットとした。評価目的は、ハーミットが情報を保持することで起こる、移動時間の変化を調査し考察することである。表2に評価を行った環境を示す。

表2 評価環境

OS(Windows)	XP Professional SP2
Processor	Pentium4 3.60GHz
Memory	1022MB
Network	Local IP Network

表3に評価の結果を示す。計測はそれぞれ10回ずつ行い、10回の平均値を比較項目とした。括弧内の数字は、ハーミットが保持している情報数である。ハーミッ

トは、生成元コンピュータ情報と閾値ホップ数、現在のホップ数を一つのまとまりとし、一つのまとまりを一つの情報として保持する。

表3 コンピュータ間の移動時間 (msec)

計測対象	PIAX Agent	Hermit(5)
計測値	1016.5	1081.8
計測対象	Hermit(50)	Hermit(100)
計測値	1192.5	1442.7

計測値より、情報保持数が多いハーミットほど、コンピュータ間の移動に多くの時間が必要であると理解できる。また、それぞれの時間差の比較から、情報保持数の増加に伴い、移動時間の増加量が増大する、ということが導き出せる。これは、ネットワークを移動する情報量の増加と、jarファイルへの圧縮処理の増加という、二つの増加要因の存在が原因だと考えられる。

しかし、PIAXのエージェントと情報を100個保持するハーミットとの時間差は400msec程度しかない。また、ハーミットは人間のために行動を行うわけではなく、短時間での移動は必要ない。よって、情報を保持したハーミットの移動時間の増加は問題ないと考えられる。

## 5 おわりに

本研究では、人間が関与せずとも存在する知能を持ったコンピュータだけのネットワークに注目し、知能を持ったコンピュータが作り出す情報世界というバーチャルネットワーク環境の概念を示した。

また、情報世界に存在する、ネットワークを自由に移動する知能を持ったソフトウェアをハーミットと定義し、ハーミットモデルの提案、および、プロトタイプの実装を行った。ハーミットモデルのプロトタイプ実装により、P2Pオーバーレイネットワークにおけるハーミットの移動と情報交換が実現し、小規模なバーチャルネットワーク環境の構築が実現した。

## 参考文献

- [1] Weiser, M.: The Computer for the 21st Century, ScientificAmerican, No.11 (1991).
- [2] 前田英作, 南泰浩, 堂坂浩二: 妖精・妖怪の復権 - 新しい環境知能像の提案 -, 情報処理, Vol.47, No.6, pp.624-640 (2006).
- [3] 橋本 秀紀, 渡邊 朗子: 空間知能化のデザイン, NTT 出版 (2004).
- [4] 武田英明: webの進化とエージェント, セマンティックWeb, 情報処理, Vol.48, No.3, pp.229-235 (2007).
- [5] 中西英之, Katherine Isbister: ビデオゲームに浸透するエージェント技術, 情報処理, Vol.48, No.3, pp.250-256 (2007).
- [6] 石塚満: 生命的エージェントによるインターフェース/メディア, 情報処理, Vol.48, No.3, pp.257-263 (2007).
- [7] 吉岡信和, 本位田真一: ユビキタス環境で活躍するエージェント, 情報処理, Vol.48, No.3, pp.264-270 (2007).
- [8] 首藤一幸, 田中良夫, 関口智嗣: オーバーレイ構築ツールキット Overlay Weaver, 先進的計算基盤システムシンポジウム (SACIS2006) 論文集, pp.183-191 (2006).
- [9] 吉田 幹, 奥田 剛, 寺西 裕一, 春本 要, 下條 真司: マルチオーバーレイと分散エージェントの機構を統合したP2PプラットフォームPIAX, 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.1, pp.402-413 (2008).