

実空間指向エンターテインメントアプリケーションの自律分散動作機構

川西 直[†] 川原 圭博[†] 板生 知子^{*}
森川 博之[‡] 青山 友紀[†]

あらまし 来るべきユビキタスコンピューティング環境では、センサや無線通信技術により実空間と仮想空間とが密に相互接続されることにより、実空間情報を利用したエンターテインメントアプリケーションを提供することが可能になると考えられている。我々は、このようなアプリケーションがユビキタスコンピューティング環境におけるキラードアプリケーションのひとつになりうると考え、実空間情報を元に動的に構築される仮想空間上に自律分散的に生息するモンスターを、実空間を移動して収集するゲームとして、実空間指向エンターテインメントアプリケーション「ユビキタスモンスター (Ubiquitous Monster)」を提案し、適応型サービスプラットフォーム「Jack-in-the-Net (Ja-Net)」上への試作を進めている。本稿では、ユビキタスモンスターのモンスターを Ja-Net の自律分散コンポーネントである Cyber-Entity (CE) として設計し、実空間情報を元に自律分散動作させる機構について述べる。

Autonomous Distributed Mechanism for Real-World Oriented Entertainment Application

Nao Kawanishi[†] Yoshihiro Kawahara[†] Tomoko Itao^{*}
Hiroyuki Morikawa[‡] Tomonori Aoyama[†]

Abstract Ubiquitous computing environment will converge real and virtual worlds and serve as a platform for real-world-oriented, entertainment applications that use various sensor data. With this vision, we propose a new monster-collection game called "Ubiquitous Monster" where many autonomous entities called monsters live in networked computer-nodes, autonomously migrate among nodes, and interact with other monsters. Mobile users collect monsters that appear at each environment as they travel among these environments. Different monsters may appear in different environments depending on local sensor data. We have been developing Ubiquitous Monster using an adaptive networking service platform called Ja-Net where monsters are implemented as Ja-Net's autonomous service components called "cyber-entities". In this paper, we describe a mechanism to achieve autonomous and distributed behavior control of monsters based on real-world sensor data.

1 はじめに

コンピュータテクノロジーによって生み出された数多の産物の中で、コンピュータエンターテインメントの果たした功績は非常に大きく、こと日本のコンピュータゲームに関しては、社会的/経済的/文化的に非常に重要な地位を確立したと言えるであろう。国内におけるコンピュータゲームの歴史を軽く紐解いてみれば、古

くはアーケードゲームとしてのインベーダーゲームの流行から、家庭用ゲーム機の火付け役となるファミリーコンピュータの登場、そして、生活必需品となった携帯電話上で動作可能なゲームや、さらには世界中の人とインターネットを介して遊ぶことのできるネットワークゲームの普及、とその時代その時代のコンピュータテクノロジーを取り入れ、進化してきた。最近では、実空間情報を利用したエンターテインメントアプリケーションが、徐々にサービスとして提供されるようになりつつある。携帯電話に搭載された GPS を用いて実空間における互いの位置を知らせ合うアプリケーション [6] や、太陽センサで太陽の光を屋外で実際に集めることで仮想空間のキャラクターの力となるゲーム [7] など、様々な実空間情報を用いることで、エンターテインメントの新しい可能性に挑戦している。

一方、我々を取り巻くコンピュータ (コンピューティ

[†] 東京大学大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
The University of Tokyo

^{*} NTT 未来ネット研究所
NTT Network Innovation Laboratories

[‡] 東京大学大学院新領域創成科学研究科
Graduate School of Frontier Sciences, The University of
Tokyo

ング資源)の数は増加の一途を辿っており、また携帯電話などのデバイスの小型化や情報家電への組み込みといった傾向も見受けられるようになり、Mark Weiser 氏の提唱した「ユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing)」[1]の世界へ少なからず近づいていっていると感じられるようになってきた。ユビキタスコンピューティング環境においては、生活空間に埋め込まれた無数のコンピュータが、ユーザの嗜好や状態を把握し、互いに有機的に接続し合うことで、状況に応じたサービスを動的に提供してくれるようになることが期待されている。その実現のためは、我々の生活する実空間とコンピュータネットワークの作り出す仮想空間を密に連携させることが必要不可欠であり、センサネットワーク [2] やユーザコンテキストの抽出などの研究が盛んに行われている。

こうした社会・技術の流れの中で、実空間情報を利用したエンターテインメントアプリケーションが、ユビキタスコンピューティング環境のキラーアプリケーションのひとつとして期待されつつある。ユビキタスコンピューティングゲームの分野では、ユビキタスコンピューティング環境に向けたゲームデザインが議論されており [3]、近距離センサを用いて実空間上での距離の近さを仮想空間での近さへと取り込む海賊ゲーム [4] や、トレーディングカードゲームのカードに計算能力を持たせ、カード同士を近距離で通信させることでカードゲームのルールなどをカード自身に処理させるようなゲーム [5] など、幾つものゲームのテストベッドが提案・実装・検証されている。

我々は、生活空間に埋め込まれる無数のセンサから取得される実空間情報を元に、仮想空間を動的に構築し、その上でモンスターを自律分散動作させ、ユーザは実空間を移動してモンスタを収集する、実空間指向のエンターテインメントアプリケーションとして、「ユビキタスモンスター (Ubiquitous Monster)」を提案し、適応型サービスプラットフォームである「Jack-in-the-Net (Ja-Net)」上で実装を進めている [11]。本稿では、ユビキタスモンスタのモンスタを Ja-Net の自律分散コンポーネントである Cyber-Entity (CE) として設計し、実空間情報を元に仮想空間中でモンスタを自律分散動作させる機構について述べる。

2 実空間指向エンターテインメントアプリケーション「ユビキタスモンスター」

2.1 ユビキタスモンスター

携帯用ゲーム機で発売され、爆発的な人気を博した「ポケットモンスター」[8]は、エリアによって異なるモンスターが現れる仮想空間を旅して、モンスタを集めて育て、友達と対戦したり交換したりするゲームで

ある。このようなゲームをユビキタスコンピューティング環境へと移植して拡張することを考えてみる。

あらゆるものがネットワーク接続されるユビキタスコンピューティング環境では、センサを用いて実空間の情報を仮想空間へと取り込むことや、逆に仮想空間の情報をを用いて実空間のアクチュエータなどを制御することなどが可能となり、我々の生活する実空間とコンピュータネットワークの作り出す仮想空間の密な相互接続が実現される。実空間のあらゆるイベントを仮想空間で把握することができ、また仮想空間のあらゆる処理結果を実空間で反映させることができる。よって、ユビキタスコンピューティング環境でポケットモンスターのようなゲームを発展させようとする、実空間と仮想空間の相互作用によって絶えず動的に変化し続けるモンスター収集ゲームが可能となる。

まず、モンスターとモンスタの登場するエリアの関係をどう作り出すかを考えると、従来のゲームでは基本的にアプリケーション提供者がプログラムした対応関係で遊ぶことしかできなかったが、ユビキタスコンピューティング環境では、センサから取得される実空間情報を元に対応するモンスターを決定することができる。例えば、実空間が明るい場所では明るいところが好きなモンスターが、実空間が寒い場所では寒いところが好きなモンスターが登場するようにすることが可能である。また、実空間情報は、アプリケーションの提供者や参加者だけでなく、実空間に存在するあらゆるオブジェクトの影響を受けて時々刻々と変化するので、実空間の同じ場所でも明るいときと暗いときとで登場するモンスターを変化させることも可能である。

さらに、実空間中のエリアに対応する場を仮想空間中に構築し、その上でモンスターを生物的に動作させることで、実空間の影響を受けて動的に変化するモンスターによる生態系を実現できる。例えば、明るい場所を好むモンスターは、実空間が明るい場所を好んで住み着き、繁殖することができるが、実空間が暗くなると次第に弱ってしまい、別の明るい場所を探して仮想空間を移動しないと死んでしまう、といった生物的な振る舞いをさせることが可能である。また、モンスターは確率的に突然変異を起こし、好みの環境を変化させることで、実空間の環境変化によってモンスターが全滅せずに生き残る可能性を残す。なお、実空間中のエリアに対応する仮想空間中の場を、以下「モンスターフィールド」と呼ぶ。

ゲーム参加者であるユーザは、実空間を移動してモンスターを収集する。実空間中のあるエリアへユーザが接近すると、そのエリアに対応するモンスターフィールドに生息するモンスターがユーザ端末へと現れ、ユーザはそれを捕まえることができる。ユーザが捕まえたモンスターは、また仮想空間中のモンスターフィール

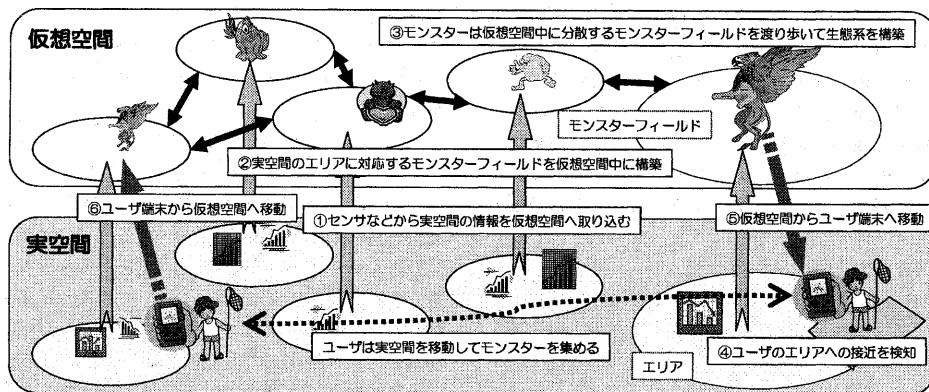


図 1: ユビキタスモンスター

ドへと戻すことも可能で、あるエリアで捕まえたモンスターを別のエリアで戻すことで、モンスターは元々存在していたのとは別のモンスターフィールドへと移動することができ、実空間のユーザの営みで仮想空間中のモンスターの生態系を変化させることも可能である。

このようにユビキタスコンピューティング環境で実現されるモンスター収集ゲームは、ユーザが実空間のどこにいてもその場にに応じたモンスターが登場することになる。まさに「どこにでもいる」モンスターを収集するこのゲームを、我々は「ユビキタスモンスター (Ubiquitous Monster)」(図 1) と名付けた。

2.2 技術課題

ユビキタスモンスターを実現するための技術課題としては、「実空間情報をセンサなどを介して仮想空間へと取り込む」フェーズ、「取り込まれた実空間情報を元に、仮想空間中でモンスターを生物的に動作させる」フェーズ、「実空間を移動するユーザの接近を検知して、ユーザ端末上にモンスターを登場させる」フェーズがある。

実空間情報をセンサなどを介して仮想空間へと取り込む

実空間中に配置されたセンサから取得される情報をエリアごとに管理し、そのエリアに対応するモンスターフィールドを仮想空間中に構築する。実空間が明るいエリアでは、明るさを取得するセンサの値が大きくなり、それを元に構築されるモンスターフィールドも明るくなる。センサの位置管理と位置による実空間情報の集約などが重要となる。

取り込まれた実空間情報を元に、仮想空間中でモンスターを生物的に動作させる

モンスターフィールド上で動作するモンスターはそれぞれ実空間情報に対する嗜好を保持しており、自分のいるモンスターフィールドの実空間情報に応じて、

生物的に動作する。嗜好に合うモンスターフィールドは居心地がよく、長期滞在できるが、逆に嗜好が合わないと居心地が悪く、その場から逃げやすくなるようなモンスターにする。実空間情報とのインタラクションで動作する機構が重要である。

実空間を移動するユーザの接近を検知して、ユーザ端末上にモンスターを登場させる

実空間を移動して仮想空間中に生息するモンスターを収集するユーザが実空間中のあるエリアに接近したことを検知し、そのエリアに対応するモンスターフィールドに生息するモンスターをユーザ端末へと登場させる。どのユーザがどのエリアに接近したのかを検知する手法と、そのユーザに対して情報発信する仕組みが重要となる。

3 Ja-Net 上でのユビキタスモンスターの実装

2 で述べたシナリオを元にユビキタスモンスターを実現するためには、

- 膨大な数のモンスターを収容可能である
- モンスターは実空間情報に対して生物的に振る舞う
- モンスターはそれぞれ独自の性質を持っている
- モンスターの性質は突然変異的に変化しうる

といった要件を満たすシステムでなければならない。

まず、我々の考えるシナリオでは、ゲームが進行する物理空間は特定の部屋や施設の中に閉じたものではなく、地理的に分散したオープンなスペースを想定している。このため、膨大な数のモンスターを集中的に管理することは困難であり、分散的なシステム構成が必須である。また、新たなセンサを追加するなど、今まで取得できなかった実空間情報が取得できるようになっ

たときに、それに応じた生物的な動作の追加を容易に実現するためには、システム全体として扱うことのできる実空間情報と動作の機構をあらかじめ決定的に定義するのではなく、モンスターレベルで新しい実空間情報に対する動作を柔軟に追加できるシステムが必要である。このためには、モンスターがそれぞれ自律的に実空間情報とインタラクションできるシステムが望ましい。

以上の点を考慮して、ユビキタスコンピューティング環境における実空間指向の適応型サービス連携プラットフォームである「Jack-in-the-Net(Ja-Net)」[9, 10]上へユビキタスモンスターを実装することにした。

3.1 Ja-Net

Ja-Net は、ユーザや多種多様なコンテンツ、ソフトウェア、デバイスなどを自律的なコンポーネントとしてモデル化し、ユーザの嗜好や行動パターンなどに応じてそれらを組み合わせることでアドホックにサービスを生成し、環境の変化に対し追従できることを目標としている。Ja-Net のアーキテクチャを図2に示す。

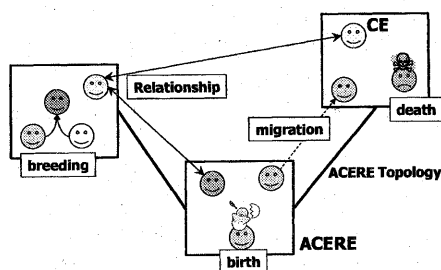


図2: Ja-Net のアーキテクチャ

Ja-Net の世界では、多種多様なデバイス、ソフトウェア、情報コンテンツ、ユーザをサービスの構成要素とし、これらを自律的なコンポーネントである Cyber-Entity(CE) として扱う。CE は何らかのサービスを提供することのできるコンポーネントであり、移動・交配・死などの生物的動作を行う機能を持っている。CE は他の CE と自律的にインタラクションすることでサービスを創発して提供することができ、インタラクションする相手として有効な CE との間にリレーションシップと呼ばれる論理リンクを生成する。CE は ACERE(Abstract Cyber-Entity Runtime Environment) と呼ばれる実行環境上で実行される。ACERE はパソコンや PDA などのコンピュータ上で動作するソフトウェアプラットフォームであり、CE は ACERE 間を自由に移動することが可能である。

3.2 Ja-Net 上でのユビキタスモンスターの実装

Ja-Net では、CE の動作や CE 間のインタラクションを、時々刻々と変化する実空間のイベントをトリガとして駆動するアクティブなアプリケーションの実装

が可能である。モンスターを CE として実装することで、センサなどを用いて取り込まれた実空間情報を元にして、移動や交配などの生物的な動作をさせることが可能となる。

CE は実行環境である ACERE 間を自由に移動できるように設計されているので、モンスターフィールドを ACERE として実装することで、実空間に対応する仮想空間を渡り歩かせることが可能となる。また、ユーザの持ち歩くゲーム端末上に ACERE を搭載することで、仮想空間中のモンスターフィールドからユーザのゲーム端末へとモンスターを移動させることも可能となる。ユーザ端末上でも CE を継続して実行できるので、その後ゲーム端末上でモンスターを育成することが可能である。そして、ゲーム端末から仮想空間中のモンスターフィールドへと逆に戻すことも実現可能である。

ユビキタスモンスターは複数のモンスター・複数のユーザを想定しており、モンスター同士の関係に応じた動作はゲームシナリオ的に重要なポイントとなってくる。CE 間に生成されるリレーションシップのメカニズムを用いることでモンスターの群制御を実現することができる。

4 実空間情報に基づいたモンスターの自律分散動作機構

ここでは、アプリケーションとしての鍵となるモンスターの自律分散動作機構を Ja-Net 上で実現するために、仮想空間中で実空間情報を表すセンサ CE の設計、自律分散動作するモンスターであるモンスター CE の設計を述べる。そして、センサ CE とのインタラクションによってモンスター CE を自律分散動作させる機構を説明する。

4.1 センサ CE によるデータの伝播

様々なセンサから取得される実空間情報を仮想空間中で表現する CE としてセンサ CE を設計する。センサ CE は、各 ACERE の対応する実空間からセンサを介して取得される情報を元に、センサの種類とその値のペアからなる情報を保持する CE として、ACERE 上に生成される。ACERE 上に生成されたセンサ CE は同一 ACERE 上のはかの CE に対して到着メッセージを投げ、他の CE からの応答を待ち、保持するセンサ情報を通知することが可能である。実空間の変化を仮想空間へと伝えるためには、センサから取得される実空間情報を絶えず更新する必要があるため、センサ CE は一定時間ごとに生成されるものとし、生成されたセンサ CE は一定時間経過すると消滅するものとする。

近隣の ACERE 同士で実空間情報を緩く共有するため、各 ACERE で生成されたセンサ CE は、確率的に

隣接する ACERE へ自分のコピーを送信するようにする。コピーされたセンサ CE は、普通のセンサ CE と同様、到着メッセージを投げると共に、さらに自分のコピーを隣接する ACERE に確率的に送信する。センサ CE は、コピーされる度にコピー元の ACERE の ID を履歴として保持し、すでに履歴にある ACERE へコピーされた場合は到着メッセージを出さずに消滅する。

4.2 モンスター CE の動作制御パラメタ

自律分散動作するモンスターを実現するために、モンスターを表す CE としてモンスター CE を設計する。モンスター CE は、CE としての基本的な機能の他に、仮想空間中で生存するために必要な「エネルギー」と、実空間情報に対する嗜好を表す「嗜好特性」というパラメタを持つものとする。

エネルギーは、モンスター CE が仮想空間中で生存するために必要な生物的な体力を表すパラメタで、ACERER 間を移動する際になどに消費し、エネルギーの残量が 0 になるとモンスターは死滅するものとする。また、モンスターは ACERE 上に存在するだけで、一定時間ごとにエネルギーを消費することとする。存在するためのエネルギーの消費量は、同一 ACERE 上に存在するモンスターの数に応じた値とし、モンスターが多くなるにしたがって消費量も多くなるようにする。これにより、同一 ACERE 上に多数のモンスターが存在する状況では存在するためのエネルギーの消費量が過剰になり、次第にエネルギー残量が減り、ACERE 上での生物的な生存競争を実現する。

嗜好特性は、モンスター CE の実空間情報に対する嗜好を表すパラメタで、嗜好特性に応じてエネルギーの変化が生じたり、移動したりといった生物的な振る舞いを自律分散的に行う。嗜好特性は、明るさや温度と言ったセンサの種類と、それぞれのセンサに対する嗜好の度合いを表す「快適指数」のペアから定義され、それぞれのモンスターに固有の快適指数を持たせることで、同じ実空間情報に対しても異なる振る舞いをさせることが可能となる。嗜好特性の例を表 1 に示す。

表 1: モンスターの嗜好特性の例

センサの種類	明るさ	温度	湿度	...
快適指数	5	2	9	...

4.3 センサ CE とモンスター CE のインタラクション

モンスター CE とセンサ CE のインタラクションの流れを図 3 に示す。同一 ACERE 上に登場したセンサ CE からの到着メッセージを受信したモンスター CE は、センサ CE との通信を開始する。ここで、センサ CE が同一 ACERE 上で生成されたセンサ CE の場合と、異なる ACERE からコピーされたセンサ CE の場合とで、異なる動作をする。これらのセンサ CE の違

いは、コピーされた履歴で確認できる。

同一 ACERE 上で生成されたセンサ CE の場合

到着メッセージを出したセンサ CE が同一 ACERE 上で生成されたセンサ CE の場合は、モンスター CE はセンサ CE の種類に対応する自分の快適指数とセンサ CE の持つ値とを比較し、エネルギー変化量を算出して変化させる。快適指数の値とセンサ CE の値の差が少ないほどエネルギーが上昇し、差が大きくなるに従ってエネルギーの上昇が少なくなり、差が大きすぎる場合は逆にエネルギーが減少する。自分の嗜好特性に登録されていない種類のセンサに対しては中立とし、エネルギーの変化は生じないものとする。

自分の嗜好特性が実空間情報に近いモンスター CE はエネルギーの残量が上昇し、ある閾値を超えると確率的に自分のコピーを生成するものとする。コピーする際にはエネルギーを消費し、消費した後のエネルギーの値を持つコピーが生成される。

一方、自分の嗜好特性が実空間情報と大きく異なるモンスター CE は、エネルギーの消費量が大きくなり、エネルギーの残量が 0 を下回ると死滅する。

また、モンスター CE の嗜好特性は非常に低い確率ではあるが、突然変異的に変化するものとする。突然変異によって、嗜好特性の快適指数が変化したり、あるいは新たな種類のセンサの項目を追加することができる。これにより、同種のモンスター CE ばかりが存在する中に異種のモンスター CE が誕生し、環境の急な変化に対してロバストな生態系を実現することができる。

異なる ACERE からコピーされたセンサ CE の場合

到着メッセージを出したセンサ CE が異なる ACERE からコピーされたセンサ CE の場合も、モンスター CE はセンサ CE の情報からエネルギー変化量を算出するが、エネルギーの変化は生じないものとする。ここでモンスター CE は、自分のエネルギーの残量が少ないほど、また算出したエネルギー変化量が大きいほど、高確率でセンサ CE のコピー元の ACERE へと移動を試みる。これは、センサ CE のコピーされた経路を逆に辿ることとなり、これを繰り返すことで、そのセンサ CE が生成された ACERE へと辿りつくことで、最終的にエネルギーを得ようとする動作を実現するものである。

5 おわりに

本稿では、実空間と仮想空間を密に連携させることで実現されるエンターテインメントアプリケーションであるユビキタスモンスターにおいて、実空間情報を元にした仮想空間中でのモンスターの自律分散動作機構の設計について、ユビキタスモンスターを Ja-Net 上

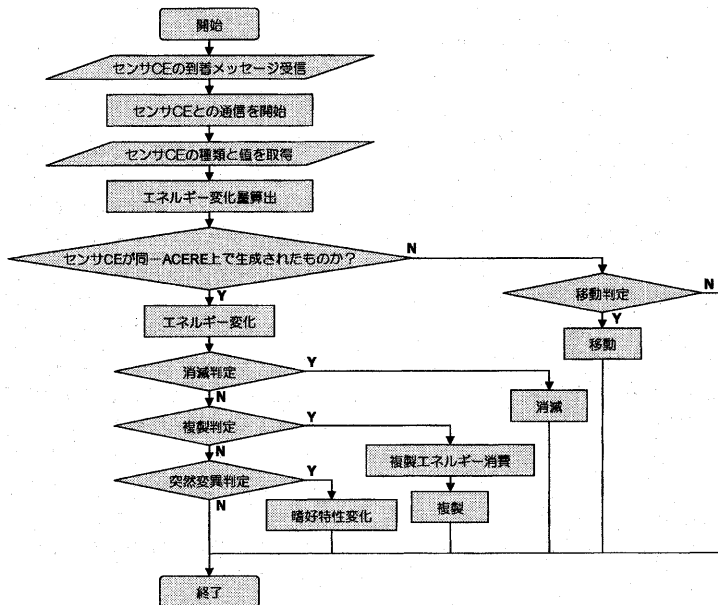


図 3: センサ CE とのインタラクションによるモンスター CE の処理フロー

に実装し、モンスターと実空間情報を CE として扱うことで、それらの間のインタラクションによって基本的な自律分散動作を実現する手法について述べた。

現在、実空間のイベントに対する基本的な動作の他に、モンスター CE 同士のインタラクションによる交配を CE のリレーションシップのメカニズムを用いて実現する手法や、それぞれのモンスター CE に固有の動作機構を動的に柔軟に追加・削除する手法について検討している。また、ユビキタスモンスターだけでなく、様々な実空間指向のアプリケーションのために必要な実空間指向のセンサミドルウェアについても検討している。

参考文献

- [1] Mark Weiser: "The Computer for the Twenty-First Century," Scientific American, pp. 94-10, September 1991.
- [2] 永原 崇範, 鹿島 拓也, 猿渡 俊介, 川原 圭博, 南 正輝, 森川 博之, 青山 友紀, 篠田 庄司: "ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U³ (U-cube) の設計と実装," 電子情報通信学会技術研究報告, IN2003-43, March 2003.
- [3] Staffan Björk, Jussi Holopainen, Peter Ljungstrand and Regan Mandryk: "Special Issue on Ubiquitous Games," Personal and Ubiquitous Computing, Vol. 6, No. 5-6, December 2002, pp. 358-361.
- [4] Staffan Björk, Jennica Falk, Rebecca Hansson, and

Peter Ljungstrand: "Pirates! Using the Physical World as a Game Board," Paper at Interact 2001, IFIP TC.13 Conference on Human-Computer Interaction, July 9-13, Tokyo, Japan.

- [5] Staffan Björk, Jussi Holopainen, Peter Ljungstrand and Karl-Petter Akeson: "Designing Ubiquitous Computing Games - A Report from a Workshop Exploring Ubiquitous Computing Entertainment," Personal and Ubiquitous Computing January, Volume 6, Issue 5-6, pp. 443 - 458.
- [6] アプリックス・ドット・ネット 「スーパー鬼ごっこ」 <http://www.aplix.net/onigokko/>
- [7] Konami 「ボクらの太陽」 <http://www.konamijpn.com/products/boktai/japanese/>
- [8] ポケットモンスターオフィシャルサイト <http://www.pokemon.co.jp/>
- [9] 須田達也, 板生知子, 中村哲也, 松尾真人: "サービス創発のための適応型ネットワークアーキテクチャ," 電子通信学会論文誌, vol. J84-B No.3, pp.310-320, March 2001.
- [10] T. Itao, T. Nakamura, M. Matsuo, T. Suda and T. Aoyama: "Service Emergence based on Relationship among Self-Organizing Entities," Proc. of IEEE SAINT Symposium, Jan. 2002.
- [11] 川西 直, 川原 圭博, 板生 知子, 森川 博之, 青山 友紀: "実空間センサ情報を用いたエンターテインメントアプリケーションの実現機構," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-21, September 2003.