

Refereed Conference paper

放送型サイバースペースにおけるオブジェクトの人気度および アバタとの距離を考慮したスケジューリング方式

永石 博憲[†] 小川 剛史[‡] 原 隆浩[†] 西尾 章治郎[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: {nagaishi.hironori, hara, nishio}@ist.osaka-u.ac.jp,

[‡] 大阪大学サイバーメディアセンター情報メディア教育研究部門

〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32

E-mail: ogawa@ime.cmc.osaka-u.ac.jp

大規模な仮想空間システムでは、クライアント数の増加に伴うサーバへの負荷の増大が問題となる。そこで筆者らの研究グループでは、サーバにおける負荷を削減するために放送型サイバースペースを提案し、これまでに空間モデルデータのスケジューリング方式、およびクライアントにおけるプリフェッチ方式を提案してきた。本稿では、オブジェクトの属性情報や移動データを放送する環境を想定し、これらのデータを効率よく提供するために、仮想空間におけるオブジェクトの人気度の偏り、オブジェクトの閲覧者であるアバタとオブジェクトの距離、およびデータの放送時間間隔を考慮したスケジューリング方式を提案する。また、本稿では提案したスケジューリング方式を評価し、結果について議論する。

A Scheduling Method Considering Object Popularity and Distance between Objects in a Broadcast-based Cyberspace

Hironori NAGAISHI[†] Takefumi OGAWA[‡] Takahiro HARA[†] Shojiro NISHIO[†]

[†]Dept. of Multimedia Eng., Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: {nagaishi.hironori, hara, nishio}@ist.osaka-u.ac.jp,

[‡]Infomedia Education Division, Cybermedia Center, Osaka University

1-32 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, 560-0043, Japan

E-mail: ogawa@ime.cmc.osaka-u.ac.jp

In large-scale networked virtual environments, excessive load on the server occurs due to an increase of clients. In order to reduce the server load, we previously proposed the broadcast-based cyberspace, methods of scheduling spacial data at the server, and prefetching methods at clients. In this paper, we assume an environment where the information on positions and properties of objects is broadcasted as data items and propose a scheduling method for improving broadcast efficiency. Our method considers the object popularity, distance between objects and avatars which observes the object, and the broadcast period. Moreover, we also show the results of simulation experiments regarding the performance of our proposed method.

1 はじめに

近年のネットワーク技術の発展と高性能な計算機の普及に伴い、計算機上に大規模な仮想空間を構築し、地理的に離れている多数のユーザがインターネットを介してその仮想空間を共有する仮想空間システムが登場している。仮想空間システムの例として、仮想社会の参加者同士のコミュニケーション支援や行動解析に用いられる InterSpace[2] や、PAW[3], FreeWalk[6] などが挙げられる。これまでに開発された仮想空間システムの多くはクライアント・サーバ型のアーキテクチャを用いて構成さ

れるが、サーバ側に処理が集中することから、大規模なシステムではサーバにかかる負荷が増大する。そのためユーザ数が増加するたびにサーバを多重化して対応しなければならなかった。

筆者らの研究グループでは、この問題を解決するため、仮想空間を構成するデータをプッシュ型の放送型配信を用いてクライアントへ提供する、放送型サイバースペースを提案している [8]。これまでに、仮想空間をいくつかの部分空間に分割し、部分空間のモデルデータを放送する環境において、サーバにおける放送スケジューリング手法 [7]、ならびにク

クライアントにおけるプリフェッチ手法 [4] を提案してきた。また、サーバがオブジェクトの位置情報や属性情報といったモデルデータに比べて更新頻度の高いデータを放送する環境において、仮想空間を分割する場合におけるオブジェクトの密度、および空間の連続性を考慮したスケジューリング方式を提案している [5]。

本稿では、仮想空間を分割せず、オブジェクトを単位として更新頻度の高いデータを放送する環境を想定し、円滑なインタラクションのために、人気度が高く多くのアバタ（ユーザ）に閲覧されているオブジェクト、ならびにアバタとの距離が近いオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送するようなスケジューリング方式を提案する。

以降、2章では、放送型サイバースペースの概要を述べ、3章で想定環境について説明する。4章において提案方式の詳細を述べ、5章でシミュレーションによる提案方式の評価結果を示す。最後に6章で本稿のまとめを述べる。

2 放送型サイバースペース

放送型サイバースペースの概略を図1に示す。放送型サイバースペースは、クライアント・サーバ型のアーキテクチャを用いて構成される。クライアント・サーバ間のネットワーク帯域として、放送通信によるデータ配信帯域、およびサーバへのアップリンクを想定する。仮想空間におけるオブジェクトの位置情報や属性情報といった仮想空間の更新データは、前者の放送帯域を用いてクライアントに提供され、後者のアップリンクは、クライアントがサーバの保持する仮想空間の情報を更新するために使用される。アップリンクにより仮想空間の更新情報をサーバに集約し、サーバにおいて更新データを構成して放送する。

サーバは、ウォークスルー型の仮想空間を管理し、仮想空間に存在するオブジェクトの位置情報や属性情報をオブジェクトごとに放送の基本単位となるデータアイテムとして、クライアントに対して繰り返し放送する。放送型のデータ配信方式を用いることにより、多数のクライアントが同時に仮想空間に参加してもサーバにおけるスループットの低下は少ない。

サーバがオブジェクトの位置情報や属性情報を放送する場合、それぞれのデータアイテムの放送時間間隔を考慮する必要がある。データアイテムの放送時間間隔が大きい場合、クライアントはデータアイテムに含まれるオブジェクトの最新の位置情報や属性情報を取得できないため、滑らかにオブジェクトを表示することができない。そのため、各データア

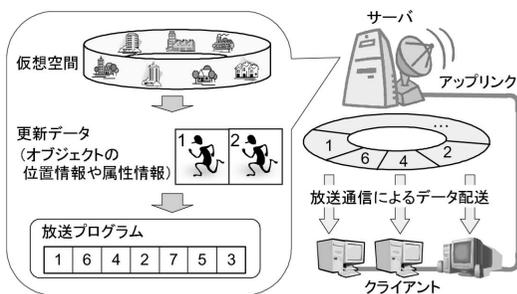


図 1: 放送型サイバースペース

アイテムの放送時間間隔に上限を設け、それを満たすようにデータアイテムを放送する。

一方、ウォークスルー型の仮想空間システムでは、クライアントは仮想空間におけるアバタの視野を画面に表示する。そのため、クライアントは、アバタの視野の範囲に存在するオブジェクトのデータアイテムを受信し、データアイテムを受信するたびに端末上の仮想空間の表示を更新する。アバタの視野を画面に表示する場合、仮想空間においてアバタとの距離が近いオブジェクトほどユーザに注目されている可能性が高く、視覚的に重要なオブジェクトであると考えられる。そのため、このようなオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送する必要がある。

3 想定環境

本稿では、アバタの行動特性として同調行動を仮定し、仮想空間におけるオブジェクトの人気度に偏りがある環境を想定する。

ユーザは、関心をもった画面上のオブジェクトに対して、その詳細を調べる、あるいはオブジェクトが他のアバタであった場合には話しかけるなどのインタラクションを行う。その際、ユーザは自身のアバタを対象のオブジェクトに対して移動させ接近することが一般的である。同調行動とは、アバタ（ユーザ）の関心が他のアバタの行動に影響を受け、他のアバタに同調することである。たとえば、現実世界において、人が集まっている場所を発見するとそれに関心をもち、同調して自分も寄ってみるといった行動が見られるが、仮想空間におけるアバタの行動に同調行動を仮定することにより、仮想空間において”人だかり”が形成されると考えられる。結果として、多くのアバタに注目され人気を集めているオブジェクトの周辺にアバタが集合し、オブジェクトの人気度の分布に偏りが発生する。

このような環境では、多くのアバタの視野に入っているオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送することにより、このようなオブジェクトの更新頻

度が多数のクライアントにおいて同時に上昇し、画面上で滑らかに表示されるオブジェクトの数をシステム全体として増加させることが可能である。そのため、人気度の高いオブジェクトのデータを頻繁に放送することが有効である。

なお、本稿では、アバタは視野に入っているオブジェクトをすべて閲覧していると考え、オブジェクトの人気度は、そのオブジェクトを視野の範囲におさめているアバタの数と定義している。

本稿で想定する放送型サイバースペースのシステム環境を以下に示す。

- 仮想空間上を移動するオブジェクトの総数は一定である。
- 各データアイテムのサイズはすべて等しいものとする。
- アバタはオブジェクトとして扱われ、他のユーザが操作するアバタはオブジェクトと同様に表示される。
- 簡単のため、アバタの視野をオブジェクトを中心とした円で表現する。

4 提案方式

本章では、アバタとオブジェクトの距離、オブジェクトの人気度の偏り、およびデータの放送時間間隔を考慮したスケジューリング方式としてPIDR(Popularity / Distance regarding Remaining time)方式について述べる。

放送型サイバースペースでは、アバタとオブジェクトの距離やオブジェクトの人気度といった情報はリアルタイムに変化するため、これらの情報を事前に取得する必要のある静的なスケジューリング方式では対応できない。そのため、動的なスケジューリング方式として、放送するデータアイテムを逐次選択し放送する方式を採用する。サーバは、各オブジェクトについて、オブジェクトを視野におさめているアバタとの距離、人気度、および放送時間間隔の上限をリアルタイムに取得するものとし、これらの値をもとにスケジューリングを行う。

PIDR方式では、アバタにとって視覚的に重要なオブジェクトを頻繁に更新するために、アバタとの距離が近いオブジェクトのデータを頻繁に放送すると同時に、滑らかに表示されるオブジェクトの数をシステム全体として増加させるために、人気度の高いオブジェクトのデータの放送頻度を上げる。また、いずれの方式も放送時間間隔の上限を満たせなくなる可能性があるデータアイテムの放送を優先する。そこで、PIDR方式では、次の式により優先度 $P(t)$ を計算し、 $P(t)$ の大きなデータアイテムを逐次放送する。

$$P(t) = \frac{P}{D(d-t)} \cdot balancer$$

この式において、 P はオブジェクトの人気度(Popularity)、 D は最も近い位置に存在するアバタとの距離(Distance)、 t は現在時刻、 d は放送時間間隔の上限を満たせなくなる時刻を表わす。 $balancer$ は、優先度の大きな一部のデータアイテムが偏って放送されることを防止するために導入し、次式で表される。

$$balancer = \frac{E}{U}$$

E はデータアイテムが最後に放送されてからの経過時間(Elapsed time)、 U は放送時間間隔の上限(Upper-bound)を表しており、 $balancer$ は、データアイテムの放送直後は低い値をとり、放送時間間隔の上限を満たせなくなる時刻が近づくにつれて大きくなる。 $balancer$ を導入しない場合、放送時間間隔の上限が小さなデータアイテムは放送直後も優先度が高く、連続して放送される可能性がある。そこで、優先度に $balancer$ を導入することにより、放送直後のデータアイテムの優先度を下げ同じデータアイテムが連続して放送されることを防止し、一部のデータアイテムの放送頻度が偏って大きくなる現象を回避できる。なお、 t, d, E , および U の値は1データアイテムの放送にかかる時間を単位として表す。

優先度 $P(t)$ について、時刻 t において放送時間間隔の上限を満たせないデータアイテムは、 $d-t$ により表される放送時間間隔の上限までの残り時間(Remaining time)が負となる。このようなデータアイテムが発生した場合、タイムアウトとして放送せず、新たな放送時間間隔の上限として d に更新時間間隔の上限を加える。タイムアウトしたオブジェクトは更新回数が減少する。また、PIDR方式を適用した場合、人気度が0のオブジェクトは優先度が0となり選択されないため配信されない。

PIDR方式では、人気度に応じてオブジェクトの放送頻度を制御することにより、頻繁に更新されるオブジェクトの数をシステム全体として増加させると同時に、個々のアバタにとって重要と考えられる、アバタとの距離が近いオブジェクトの更新頻度を向上させることを狙いとしている。たとえば、人気度が低いオブジェクトを閲覧している際に、人気度のみにより放送頻度が決定される場合、このオブジェクトは更新頻度が低く、閲覧しているアバタ(ユーザ)にとって不快と考えられる。このような場合に、人気度に加えてアバタとの距離を考慮することによ

り、人気度が低いオブジェクトを閲覧しているアバタにおいても、距離が近ければオブジェクトは頻繁に更新され、滑らかに表示することができる。

5 性能評価

シミュレーション実験によって提案方式の性能評価を行った。以下ではその結果および考察について述べる。

5.1 アバタの行動

オブジェクトの人気度に偏りのある環境をシミュレートするため、アバタは以下に示す行動をとるものとした。なお、ここでいうアクセスとは、アバタが関心のあるオブジェクトに接近することを意味している。

1. アバタは、視野に入っている他のすべてのオブジェクトについて人気度をチェックし、人気度が v_a 以上のオブジェクトをアクセス対象とする。ただし、直前にアクセス対象としたオブジェクトを除く。
2. 1の条件に該当するオブジェクトが複数ある場合、人気度が最大のオブジェクトをアクセス対象とする。
3. 1の条件に該当するオブジェクトがない場合、ランダムな地点に移動しながら随時アクセス対象を判定する。
4. アクセス対象のオブジェクトに対して直線で移動し、 v_b の距離まで近付く。その後 v_c 秒間アクセスする。対象が移動している場合にも追従して、アクセスを継続する。
5. アクセス終了後、1に戻る。

シミュレーションでは、アバタの視野を 50 メートル、 $v_a = 4$ 、 $v_c = 10$ 秒とし、 v_b は 1 秒間の移動距離とした。また、オブジェクト同士は 1 メートル以上近づかないようにした。これらのアバタの行動を 2,000 個のオブジェクトでシミュレートし、得られたオブジェクトの人気度の分布の例を図 2 に示す。横軸に人気度の降順にオブジェクトが並び、縦軸が人気度を表す。図 2 より、オブジェクトの人気度に偏りがある環境を設定できたことが確認できる。

5.2 シミュレーション環境

シミュレーションで用いたパラメータを表 1 に示す。シミュレーションでは、仮想都市のような空間を想定し、上下と左右が接続された、一辺の長さが 2,500m の正方形の領域を仮想空間とした。仮想空間に存在するオブジェクトの総数を 2,000 とし、初期状態として領域上にランダムに配置した。サーバ

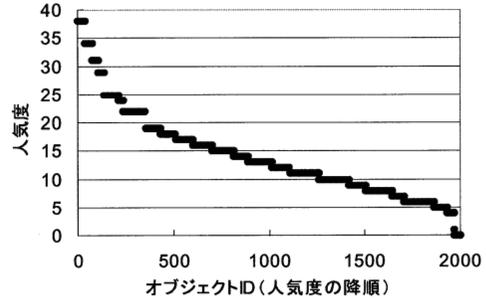


図 2: 人気度の分布

表 1: パラメータ

パラメータ	値
仮想空間の大きさ	2,500 × 2,500[m ²]
データサイズ	20[bytes/object]
放送帯域	4[Mbps]
オブジェクトの総数	2,000[個]
移動速度の平均	約 4[m/s]
移動速度の下限	2.5[m/s]
移動速度の上限	10[m/s]

は、データアイテムを 4Mbps の帯域を用いて放送する。データアイテムのサイズは 20 バイトとした。

また、移動速度の小さなオブジェクトが比較的多い環境を想定し、オブジェクトの移動速度は、毎秒 2.5 メートル以上 10 メートル以下の値をとるよう指数分布的に発生させた乱数とし、オブジェクトごとに設定した。放送時間間隔の上限は、移動速度の逆数とすることにより、100 ミリ秒以上 400 ミリ秒以下の値がオブジェクトごとに設定されている。これは、オブジェクトの更新頻度に対して、オブジェクトが 1m 移動するごとに最低 1 回の更新が要求されることに等しい。なお、シミュレーション時間を 50 秒とし、簡単のため、オブジェクトとアバタの距離、および人気度の更新を 1 秒おきとし、放送時間間隔の上限は変化しないこととした。

以上のような環境設定の下で、各データアイテムについて、放送時間間隔の上限を満たせなかった場合の超過回数の合計、ならびに 1 秒おきに放送頻度を測定した。測定のタイミングは、アバタとの距離、および人気度を更新する直前である。これらの値、およびオブジェクトとアバタの距離を用いて、平均超過回数、視野の更新頻度、および視野のスコアを算出し、評価項目とした。

比較方式として、CycRnd 方式、LRF 方式、IDR 方式、ならびに PIR 方式を適用した場合の結果を

測定した。これらの方式の概要を次に示す。なお、IDR方式およびPIR方式はそれぞれ優先度 $P(t)$ を用い、 $P(t)$ の大きなデータアイテムを逐次放送する。各変数は提案方式（PIDR方式）と同じ意味で用いる。

CycRnd(Cyclic Random) 方式

一周期に一度ずつデータアイテムを放送するようなプログラムをランダムに作成する。プログラムは一周期ごとに更新する。

LRF(Least Remaining time First) 方式

放送時間間隔の上限が満たせなくなる時刻までの残り時間が最小のオブジェクトのデータを放送する。

IDR(1 / Distance / Remaining time) 方式

次式の優先度 $P(t)$ に基づき、放送時間間隔の上限を満たす範囲内で、近い位置にアバタが存在するオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送する。

$$P(t) = \frac{1}{D(d-t)} \cdot balancer$$

人気度が0のオブジェクトは D の値が視野の大きさを超えるため、 D に非常に大きな値を設定している。

PIR(Popularity / Remaining time) 方式

次式の優先度 $P(t)$ に基づき、放送時間間隔の上限を満たす範囲内で、人気度の大きなオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送する。

$$P(t) = \frac{P}{d-t} \cdot balancer$$

提案方式と比較方式を適用する場合にオブジェクトの人気度の分布を同一の条件とするため、人気度の分布の変化が収束していることを確認した後にすべての方式を順に適用して測定を行った。

5.3 平均超過回数

平均超過回数を図3に示す。縦軸は平均超過回数を表しており、これは各データアイテムについて測定した超過回数の合計をオブジェクト数で割った値である。なお、人気度が0のオブジェクトはいずれのアバタからもアクセスされおらず、放送時間間隔の上限を満たせなくとも問題ないため、人気度が0のオブジェクトのデータアイテムは超過回数に算入していない。

図3より、放送時間間隔の上限を考慮しないCycRnd方式のみ超過が発生することが分かる。また、LRF方式だけでなく、CycRnd方式を除く方式ではいずれも平均超過回数が0となることから、優先度 $P(t)$ を用いるIDR方式、PIR方式、および

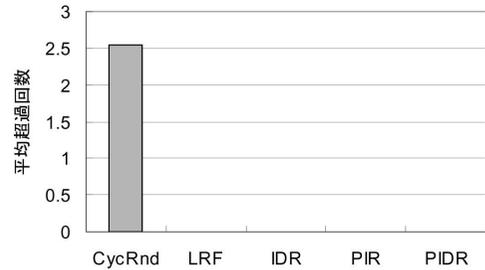


図3: 平均超過回数

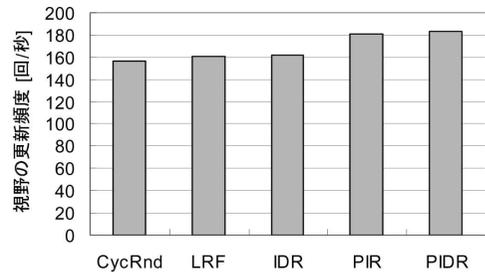


図4: 視野の更新頻度

PIDR方式では、放送時間間隔の制限が人気度 P や最も近い位置に存在するアバタとの距離 D といった要素に比べて十分強く作用するといえる。

5.4 視野の更新頻度

アバタが閲覧しているオブジェクトの更新頻度を考察するため、各アバタの視野について、視野の範囲内に存在するオブジェクトの更新頻度を合計した値を視野の更新頻度とし、オブジェクトごとに1秒ごとの値を算出した。視野の更新頻度が大きいほど、アバタが閲覧しているオブジェクトが頻繁に更新されることを表す。

すべてのオブジェクトについて視野の更新頻度の平均を求め、シミュレーション中において平均した値を図4に示す。図4より、PIR方式およびPIDR方式を適用した場合、LRF方式に比べて視野の更新頻度がそれぞれ13%、14%向上しており、人気度の高いオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送することにより、アバタが閲覧しているオブジェクトの更新頻度を全体として向上できることがわかる。また、PIR方式とPIDR方式を比較した場合、いずれの方式を適用しても視野の更新頻度が同程度向上することから、PIDR方式の優先度 $P(t)$ において P に加えて D を作用させても、人気度の高いオブジェクトのデータアイテムを頻繁に放送できることが分かる。

5.5 視野のスコア

視野の範囲内に存在するオブジェクトの更新頻度と距離の関係を考察するため、視野のスコアとして、アバタが閲覧しているオブジェクトのデータアイテムの放送頻度をアバタとの距離で割り、これを視野内のオブジェクトについて平均した値を求めた。視野のスコアが大きいほど、アバタの視野において、近い位置に存在するオブジェクトが頻繁に更新されることを表す。

各アバタの視野のスコアの平均を1秒ごとに算出し、シミュレーション中において平均した値を図5に示す。図5より、CycRnd方式による視野のスコアが大きいことがわかるが、図3よりCycRnd方式では超過が発生する。そこでLRF方式と比較すると、IDR方式の値が最も大きく、視野のスコアは約4%向上する。一方、PIDR方式を適用した場合、LRF方式に比べて視野のスコアは約3%向上する。オブジェクトとの距離を考慮した放送スケジューリングにより、アバタに近い位置に存在するオブジェクトを頻繁に更新できることがわかる。また、PIDR方式を適用した場合、IDR方式より値が小さいことから、PIDR方式では人気度の大きなオブジェクトが頻繁に更新される場合が多く、 P と D を同時に用いて優先度 $P(t)$ を算出する場合、人気度 P が強く作用すると考えられる。

6 まとめ

本稿では、アバタが仮想空間をウォークスルーするような放送型サイバースペースにおいて、サーバがオブジェクトの位置情報や属性情報といった、モデルデータに比べて更新頻度が高いデータを放送する環境を想定し、アバタとオブジェクトの距離、およびオブジェクトの人気度の偏りを考慮したPIDR方式を提案した。PIDR方式では、人気度の高いオブジェクトのデータが頻繁に放送されるため、多くのアバタが閲覧するオブジェクトを滑らかに表示できると同時に、アバタの視野において、アバタに位置が近く重要と考えられるオブジェクトのデータを頻繁に更新できる。

現在、距離と人気度の影響の調整方法について検討しており、今後はPIDR方式の拡張として、視覚的な重要度のモデル [1] に基づきオブジェクトの重要度を算出する方法について考案する予定である。また、提案方式における計算量の評価、ならびにその削減方式の検討が今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究 (B)(2)(15300033), (A)(2)(17200006), 特定領域研究 (2)(16016260), および、文部科学省 21 世紀

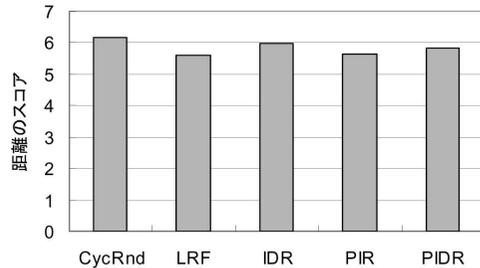


図 5: 視野内の距離のスコア

COE プログラム (研究拠点形成費補助金)「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] J. Chim, R. Lau, H.V. Leong, and A. Si, "CyberWalk: A Web-based Distributed Virtual Walk-through Environment," IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 5, No. 4, pp. 503-515 (2003).
- [2] 井上 雅之, 宇佐美 潔忠, 清末 悌之, 石橋 聡, 長谷 雅彦, "3 次元仮想社会 InterSpace におけるコミュニティ形成過程とコミュニケーションメディア利用推移に関する考察," 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 10, pp. 2670-2678 (2000).
- [3] 松田 晃一, 三宅 貴浩, "パーソナルエージェント指向仮想社会 PAW(第 2 版)の構築と評価," 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 10, pp. 2698-2707 (2000).
- [4] 永石 博憲, 小川 剛史, 原 隆浩, 西尾 章治郎, "放送型サイバースペースにおけるアバタの移動特性を考慮した空間モデルデータのプリフェッチ方式," 情報処理学会データベースシステム研究会報告 (2005-DBS-137), Vol. 2005, No. 68, pp.699-704 (2005).
- [5] 永石 博憲, 小川 剛史, 原 隆浩, 西尾 章治郎: "放送型サイバースペースにおけるアバタの密度および空間の連続性を考慮したスケジューリング方式," 情報処理学会データベースシステム研究会報告 (2006-DBS-138), Vol. 2006, No. 9, pp. 83-88 (2006).
- [6] H. Nakanishi, "FreeWalk: A Social Interaction Platform for Group Behavior in a Virtual Space," International Journal of Human Computer Studies, Vol. 60, No. 4, pp. 421-454 (2004).
- [7] 小川 剛史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎, "放送型サイバースペースにおけるアバタの移動速度を考慮した放送スケジューリング手法," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2003), pp. 325-328 (2003).
- [8] T. Ogawa, M. Tsukamoto, and S. Nishio, "Virtual Space Broadcasting Based on the Speed of Avatar Movement," Proc. of IASTED Int'l Conf. on Internet and Multimedia Systems and Applications (EuroIMSA 2005), pp. 311-317 (2005).