

## 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

永石 博憲<sup>†</sup>      小川 剛史<sup>‡</sup>      原 隆浩<sup>†</sup>      西尾 章治郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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,

<sup>‡</sup> 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、アバタ（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、アバタ（オブジェクト）の仮想空間における分布の偏り、データの放送時間間隔、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。

### Scheduling Methods Considering Avatar Density and Spatial Continuity in a Broadcast-based Cyberspace

Hironori NAGAISHI<sup>†</sup>      Takefumi OGAWA<sup>‡</sup>      Takahiro HARA<sup>†</sup>      Shojiro NISHIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>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,

<sup>‡</sup>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, the excessive load to the server occurs due to an increase of clients. In order to reduce the server load, we have previously proposed the broadcast-based cyberspace, scheduling methods of the spacial data at a server, and prefetching methods at clients. In this paper, we assume an environment where the information on avatar(object)s' positions and properties is broadcasted as data items and propose few scheduling methods for improving broadcast efficiency. Our methods consider the avatar(object) density, the broadcast period, and the spatial continuity. Moreover, we evaluate the performance of the proposed methods by simulation experiments.

## 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[5] 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 [7]。これまでに、サーバが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

[6], ならびに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。

本稿では, 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, 円滑なインタラクションのために, オブジェクトの密度が高い部分空間のデータアイテムを頻りに放送するようなスケジューリング方式, ならびに空間を表示する際の不整合を抑制するために, 隣接する部分空間のデータアイテム同士を放送プログラムにおいてできるだけ並べて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と想定環境について説明する。3章において提案方式の詳細を述べ, 4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5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送帯域, およびサーバへのアップリンクを想定する。仮想空間内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を構成するデータは, 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。

サーバは, 仮想空間をいくつかの部分空間に分割し, 部分空間に存在するオブジェクトの位置情報や属性情報を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必要がある。

また, 放送型サイバースペースでは, オブジェク

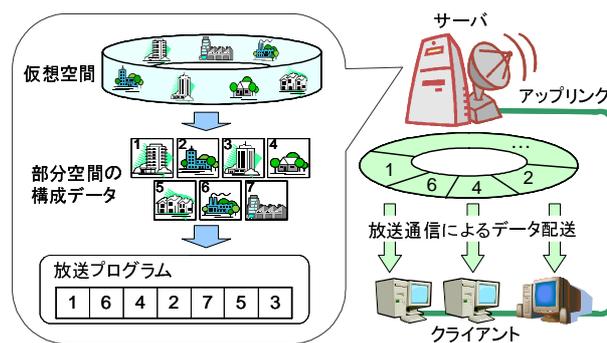


図 1: 放送型サイバースペース

トの密度を考慮することが有効である。特定の部分空間において, オブジェクトの密度が高い場合, その部分空間でオブジェクト同士がインタラクションを行う可能性が高い。インタラクションを行う際には, 周辺の仮想空間の更新頻度を高くするため, オブジェクトの密度が高い部分空間のデータアイテムは, 密度の低い部分空間のものよりも頻りに放送する必要がある。

一方, 仮想空間は意味的な連続性をもつため, 隣接する部分空間同士の空間の連続性に依りて, それぞれの部分空間同士の意味的な関連性の強さを定義できる。本稿では, このような部分空間同士の関連性を接続強度として捉える。接続強度の大きな部分空間のデータアイテム同士が時間的に離れて放送された場合, それらの境界を移動するオブジェクトの表示の不整合などが発生したり, 不整合による影響が大きくなると考えられるため, サーバにおいて不整合を抑制するようなスケジューリングを行う必要がある。

本稿における放送型サイバースペースの想定環境を以下に示す。

- 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。
- サーバは, 平面状の仮想空間を同じ広さの  $M$  個の部分空間に分割する。
- 各データアイテムのサイズは, 対応する部分空間に存在するオブジェクトの数に比例するものとする。
- クライアントは, データアイテムを受信するたびに端末上の部分空間の表示を更新する。

## 3 提案方式

本章では, オブジェクトの密度を考慮したスケジューリング方式として RID 方式を, 空間の連続性を考慮したスケジューリング方式として LinkDFS

方式を提案する。RID方式では、円滑なインタラクションを実現するために、オブジェクトの密度が高い部分空間のデータアイテムを頻繁に放送する。LinkDFS方式では、複数の部分空間を表示する際の不整合を抑制するため、接続強度と放送時間間隔の上限を考慮し、隣接する部分空間のデータアイテム同士を放送プログラムにおいてできるだけ並べて放送する。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。そのため、サーバは優先して放送すべきデータアイテムのキューをもち、キューにデータアイテムがある場合はこれを放送する。

サーバは、各部分空間について、部分空間内に存在するオブジェクトの数、放送時間間隔の上限、隣接する部分空間の数、およびそれらの部分空間との接続強度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データアイテムを逐次選択し放送する。

以下、それぞれの方式について説明する。

### 3.1 RID(Remaining time/Density)方式

ブル型の放送型データ配信において、 $RxW$ (Request  $\times$  Waiting time)スケジューリングアルゴリズムが提案されている [1]。 $RxW$ アルゴリズムは、 $R \times W$ の値が大きなデータを優先して放送する。この値が大きなデータは、クライアントからの要求が多く、かつ要求が送信されてからの経過時間が大きいことを表しており、 $RxW$ アルゴリズムによりクライアントからの要求が多いデータを頻繁に放送できる。

RID方式では、オブジェクトの密度が高く、放送時間間隔の上限までの残り時間が短い部分空間のデータアイテムを優先的に放送するため、 $RxW$ アルゴリズムで利用されているパラメータをオブジェクトの密度(Density)の逆数、および放送時間間隔の上限までの残り時間(Remaining time)として、評価値を決定することとした。なお、サーバは、各部分空間のデータアイテムについて、 $R/D$ の値が小さなデータアイテムを優先して放送する。 $R/D$ の値が小さなデータアイテムは、部分空間におけるオブジェクトの密度が高く、放送時間間隔の上限を満たせなくなる時刻に近いことを示す。

サーバはDリストとRリストをもち、それぞれのリストに各部分空間におけるオブジェクトの密度と放送時間間隔の上限までの残り時間を保持する。Rリストの初期値は、データアイテムの放送時間間

隔の上限からデータアイテム自身を放送する際の所要時間を引いた値である。以下に、データアイテムの放送手順を示す。サーバは、手順1から5を繰り返し実行する。

1.  $R/D$ の値が最小となるデータアイテムを探索し、次に放送するデータアイテムの候補とする。
2. 候補としたデータアイテムを放送することによって放送時間間隔の上限を満たせなくなるデータアイテムがある場合、そのデータアイテムを優先して放送する。
3. 手順2の条件に該当するデータアイテムがなければ、候補としていたデータアイテムを放送する。
4. 手順2の条件に該当するデータアイテムが複数ある場合、手順2の処理を行っても放送時間間隔の上限を満たせないデータアイテムが発生するため、手順2で放送されなかったものをキューに入れる。
5. Dリスト、Rリストを更新する。

### 3.2 LinkDFS方式

サーバは、部分空間の隣接関係を保持するため、任意のデータアイテムを根とし、周囲の部分空間のデータアイテムを節点とする木を作成する。初期状態における木の根は、最初に放送するデータアイテムである。

図2に示すような格子状に分割された部分空間が与えられた場合に、サーバにおいて作成される木の例を図3に示す。図2において、枠で囲まれる四角形は個々の部分空間を、枠線上の数値は部分空間同士の接続強度を表し、数値が大きいほど部分空間同士の接続強度が強いことを表す。また、接続強度を一部省略している。図3に示す木の例は、図2における部分空間  $a$  を根とした、 $a$  および  $a$  から部分空間二個分の距離内にある周辺の部分空間  $b, c, \dots, m$  についての木である。木の枝は部分空間同士が隣接していることを表し、枝に付けられた重みが隣接する部分空間同士の接続強度を表す。

LinkDFS方式は、深さ優先探索(DFS)に基づき、隣接する部分空間のデータアイテム順番に放送する。以下にデータアイテムの放送手順について示す。サーバは、手順1から5を実行する動作を繰り返す。

1. 深さ1のデータアイテムの中から根との接続強度が最大のデータアイテムを選択し、次に放送するデータアイテムの候補とする。

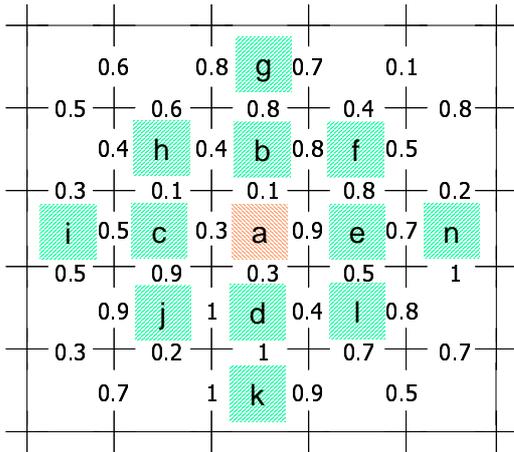


図 2: 部分空間の例

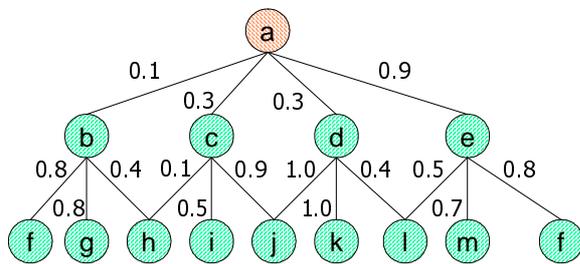


図 3: 木による部分空間の隣接関係の表現

2. 候補としたデータアイテムを放送することによって放送時間間隔の上限を満たせなくなるデータアイテムがある場合、そのデータアイテムを優先して放送する。
3. 手順 2 の条件に該当するデータアイテムがなければ、候補としていたデータアイテムを放送する。
4. 手順 2 の条件に該当するデータアイテムが複数ある場合、手順 2 の処理を行っても放送時間間隔の上限を満たせないデータアイテムが発生するため、手順 2 で放送されなかったものをキューに入れる。
5. 放送したアイテムを根とする木を作成する。

図 3 の例では、手順 1 において、部分空間  $a$  との接続強度が最も大きな部分空間  $e$  が選択される。また、手順 3 において部分空間  $e$  が放送された場合、部分空間  $e$  を根として木を更新する。ただし、部分空間  $e$  の直前に部分空間  $a$  が放送されていた場合、部分空間  $a$  は部分空間  $e$  の子とならないものとする。

LinkDFS 方式では、隣接し、かつ接続強度が大きな部分空間のデータアイテム同士の放送時間間隔を短くする。

表 1: パラメータ設定

パラメータ	値
放送データサイズ	20[B/object]
仮想空間の大きさ	6,000 × 6,000[m <sup>2</sup> ]
仮想空間の分割数 $M$	6 × 6
放送帯域	20[Mbps]
オブジェクトの総数	30,000[個]
オブジェクトの密度比	4:2:1
放送時間間隔の上限	100 ~ 400[ms]
シミュレーション時間	1,000[秒]

## 4 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。

### 4.1 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、上下と左右が接続された、一辺の長さが 6,000m の正方形の領域を仮想空間とし、仮想空間を格子状に 36 分割した。サーバは、部分空間のデータアイテムを 20Mbps の帯域を用いて放送する。仮想空間に存在するオブジェクトの総数を 30,000 とした。部分空間におけるオブジェクトの密度が高い部分空間、中程度の部分空間、および低い部分空間を 12 個ずつ作成し、それらの密度の比を 4:2:1 とした。部分空間のデータアイテムのサイズは、部分空間に存在するオブジェクトの数に 20 B を掛けたものとした。また、オブジェクトごとに放送時間間隔の上限を設定し、部分空間に存在するオブジェクトからランダムに選んだオブジェクトの値をデータアイテムの放送時間間隔の上限とした。放送時間間隔の上限は 100 ミリ秒以上 400 ミリ秒以下の値のみをとるように指数分布的に発生させた乱数とした。放送時間間隔の上限は、値の大きなものが値の小さなものに比べて多くなる。部分空間同士の接続強度は 0 から 1.0 の間の値をとる乱数により発生させた。なお、シミュレーション時間を 1,000 秒とし、簡単のため、各部分空間におけるオブジェクトの密度、放送時間間隔の上限、および接続強度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、放送回数、ならびに放送時間間隔の上限を満たせなかった場合の超過時間の合計を測定した。超過時間については、実際の放送時間間隔が放

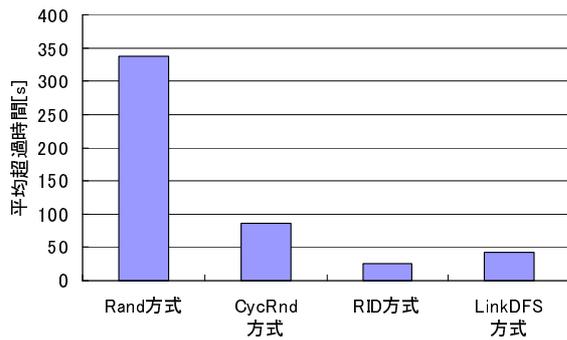


図 4: 平均超過時間

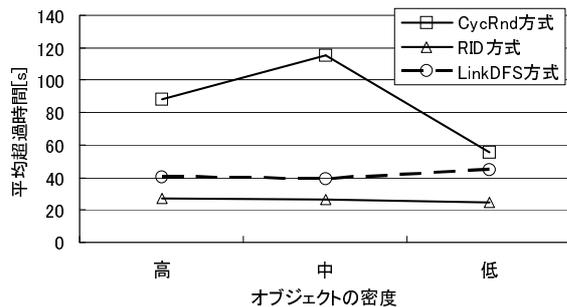


図 5: オブジェクトの密度ごとの平均超過時間

送時間間隔の上限より大きい場合、その差が超過時間として加算される。また、データアイテムを放送するたびに、隣接部分空間の放送時間差を測定し、値を合計した。これは、放送した部分空間とそれに隣接する部分空間の放送時刻の差である。ただし、隣接する部分空間同士の放送頻度が異なり、一方が放送されてから他方が複数回放送される場合、他方が最初に放送された時刻の差をもとに隣接部分空間の放送時間差を計算する。

## 4.2 平均超過時間

提案方式を適用した場合における平均超過時間を図 4 に示す。縦軸は平均超過時間を表しており、各データアイテムについて測定した超過時間の合計を仮想空間の分割数で割った値である。

比較方式として、データアイテムを逐次ランダムに選択して放送する方法 (Random)、および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方法 (Cyclic-Random) を適用した結果を示している。以降、それぞれの方法を Rand 方式、CycRnd 方式と略す。

RID 方式と LinkDFS 方式は放送時間間隔の上限を考慮するため、放送時間間隔の上限を考慮しない Rand 方式、CycRnd 方式に比べて平均超過時間は小さくなる。図 4 より、RID 方式を適用した場合

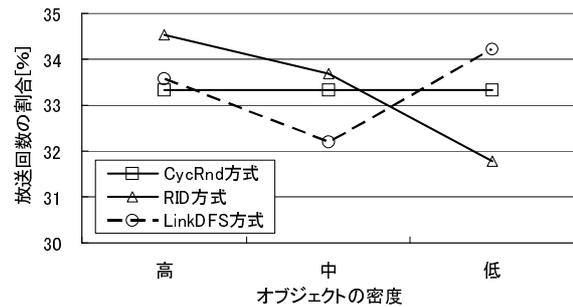


図 6: オブジェクトの密度ごとの放送回数の割合

の平均超過時間が LinkDFS 方式より小さいことが分かる。これは、RID 方式により、放送時間間隔の上限が満たせなくなる時刻より早い時点で、放送時間間隔の上限が迫っているデータアイテムを放送する頻度が高くなるためと考えられる。

オブジェクトの密度が異なる部分空間ごとの平均超過時間を図 5 に示す。なお、Rand 方式については平均超過時間が非常に大きいため示していない。図 5 より、LinkDFS 方式により、オブジェクトの密度に関わらず、CycRnd 方式に比べて平均超過時間を削減できることが分かる。また、RID 方式を適用することにより、オブジェクトの密度に関わらず、平均超過時間を大幅に削減できる。

## 4.3 放送回数の割合

スケジューリング方式として CycRnd 方式、RID 方式、および LinkDFS 方式を適用した場合における、オブジェクトの密度が異なる部分空間ごとの放送回数の割合を図 6 に示す。縦軸は、データアイテムの放送回数をオブジェクトの密度が異なる部分空間ごとに合計したものを、データアイテムの放送回数の総和で割った値であり、放送回数の割合を示す。

図 6 より、RID 方式では、オブジェクト密度が高い部分空間のデータアイテムがオブジェクト密度の低い部分空間より頻繁に放送されている。また、図 5 に示した結果と合わせると、オブジェクトの密度が低い部分空間のデータアイテムの放送頻度が小さくなっているが、放送時間間隔の上限をほぼ満たして放送できていることが分かる。一方、LinkDFS 方式を適用した場合、オブジェクトの密度が低い部分空間のデータアイテムの放送回数が増加している。これは、オブジェクトの密度が低い部分空間のデータアイテムは他に比べてサイズが小さく、LinkDFS 方式の手順 2 において優先して放送される頻度が高くなるためである。また、LinkDFS 方式では、オブジェクトの密度が中程度のものについては放送回数が減少する。

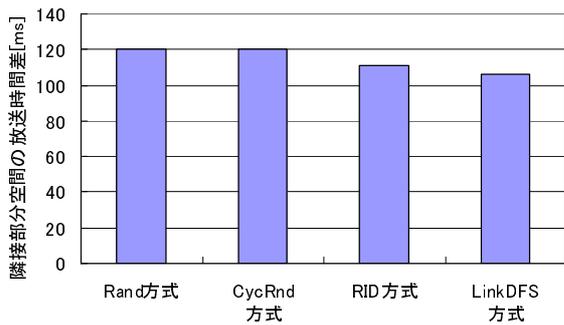


図 7: 隣接部分空間の放送時間差

#### 4.4 隣接部分空間の放送時間差

Rand 方式, CycRnd 方式, RID 方式, および LinkDFS 方式を適用した場合における隣接部分空間の放送時間差を図 7 に示す。縦軸の値は、隣接部分空間の放送時間差の平均値であり、単位はミリ秒である。

図 7 より, RID 方式, および LinkDFS 方式を適用することにより, Rand 方式または CycRnd 方式に比べて隣接部分空間の放送時間差を短縮できることが分かる。これは, Rand 方式と CycRnd 方式が放送時間間隔の上限を考慮していないのに対し, RID 方式, および LinkDFS 方式はこれを考慮しているためである。また, LinkDFS 方式を適用した場合, RID 方式に比べて隣接部分空間の放送時間差が短縮される。これは, LinkDFS 方式では隣接する部分空間のデータアイテムを連続して放送する頻度が高いためであり, 空間の連続性を考慮することにより, 隣接部分空間の放送時間差を短縮できることを示している。

### 5 まとめ

本稿では, 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, 部分空間におけるオブジェクト密度を考慮した RID 方式と空間の連続性を考慮した LinkDFS 方式を提案した。RID 方式では, 多数のオブジェクトが存在する部分空間のデータが頻繁に放送されるため, オブジェクト同士の円滑なインタラクションが実現できる。LinkDFS 方式では, 例えば頻繁にオブジェクトが行き来するといった接続強度の高い部分空間のデータアイテムを短い時間間隔で放送することで, 部分空間の境界付近における表示の不整合を抑制できると考えられる。

今後は, クライアントがサーバにより放送される

データを受信し, 仮想空間の表示を更新する場合において, 表示されるオブジェクトの位置の誤差, および部分空間の境界付近における表示の不整合について, 定量的に考察する予定である。また, オブジェクト密度, 放送時間間隔の上限および部分空間の接続強度の関連性についての検討や, オブジェクト密度と部分空間の接続強度の双方を考慮したスケジューリング方式の考案など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 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] D. Aksoy, M.J. Franklin, and S. Zdonik, "Data Staging For On-Demand Broadcast," in Proc. Conf. Very Large Data Bases(VLDB2001), pp. 571-580(2001).
- [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] 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).
- [6] 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).
- [7] 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).