

## 放送帯域幅と仮想空間内でのユーザ移動速度を考慮した 放送型仮想空間システムの提案

小川 剛史<sup>†</sup>      塚本 昌彦<sup>‡</sup>      西尾 章治郎<sup>‡</sup>

<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

<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

E-mail: <sup>†</sup>ogawa@ime.cmc.osaka-u.ac.jp    <sup>‡</sup>{tuka,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

本稿では、多数のユーザが広大な空間を共有して利用する仮想空間システムにおいて、空間を構成する大量のモデルデータを効率よくユーザへ配信するため、データ放送を用いた仮想空間システムを提案する。提案システムでは、利用する仮想空間を複数の部分空間に分割し、各部分空間のデータを1つのデータアイテムとしてサーバから繰り返しクライアントへ放送する。また、放送帯域幅と仮想空間内でのユーザの移動速度を考慮して、部分空間を切り替える際の待ち時間を低減する放送プログラムのスケジューリング方式についての検討を行った。

### A Proposal of a Broadcasting Virtual Space System Considering Broadcast Bandwidth and User's Movement Speed in Virtual Space

Takefumi OGAWA<sup>†</sup>      Masahiko TSUKAMOTO<sup>‡</sup>      Shojiro NISHIO<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Infomedia Education Division, Cybermedia Center, Osaka University

<sup>‡</sup>Dept. of Multimedia Eng., Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

In this paper, we propose a virtual space system using broadcast technology in order to provide users with a large volume of model data. In our system, a server divides virtual space into multiple partial spaces, and repeatedly broadcasts the model data of partial space to clients using a broadband channel. We investigate two scheduling strategies of the broadcast program in order to shorten the average waiting time when a user migrate to next partial space considering broadcast bandwidth between a server and clients and user's movement speed in virtual space.

## 1 はじめに

近年のコンピュータ技術、および、ネットワーク技術の発展により、大規模な仮想空間を大勢の人々がネットワークを用いて共有して利用する形態の仮想空間システムが多数登場している。実用化されている典型的な例では、ファイナルファンタジー XI<sup>1</sup>やウルティマオンライン<sup>2</sup>などに代表されるオンラインロールプレイングゲーム (RPG) や、InterSpace[3] や PAW[6]、FreeWalk[7] のように仮想社会を構築してユーザのコミュニケーションを支援するシステム、NPSNET[5] のように軍事シミュレーション環境を構築して軍事訓練を支援するシステムなどが挙げられる。

これまでのシステムの多くは、サーバ・クライアント型のアーキテクチャを用いて構成され [2, 8]、サーバが仮想空間を構成するモデルデータや、仮想空間内で発生するイベントに関するデータをすべて管理して、クライアントに提供していた。そのため、クライアント数の増加に伴うサーバ負荷の増大や、クライアントが大規模でリアリティの高い仮想空間のデータをサーバから取得する際のネットワーク負荷の増大などが問

題となる。

全国各地に分散したユーザがインターネットを介して利用するオンライン RPG では、PPP を利用しているユーザでも快適にゲームに参加できるように、クライアントからサーバへ送信するデータをユーザが操作したキャラクタの動きに関するデータなどに限定している。オブジェクトの衝突判定やステータスのチェックといった処理はすべてサーバ上でを行い結果だけをクライアントへ送信する。この場合、仮想空間を構成するモデルデータはあらかじめクライアントが保持しておかなければならない。つまり、リアリティの高い仮想空間を利用するためには、クライアントにおいて、より多くのディスクスペースが必要になったり、広大な仮想空間をレンダリングするための計算パワーが必要になるなど、計算機資源に対する負担も大きくなる。

これらのシステムが多数のユーザを獲得し、運用を維持し続けるためには、安定したシステムを提供すること、ユーザを飽きさせないことが重要であり、システムのバグ修正やシナリオの追加などを定期的に行う必要がある。しかし、クライアントにシステムの一部がインストールされている場合には、各クライアントでアップデート作業をする必要がありユーザの負荷

<sup>1</sup><http://www.playonline.com/ff11/home/>

<sup>2</sup><http://www.jp.uo.com/>

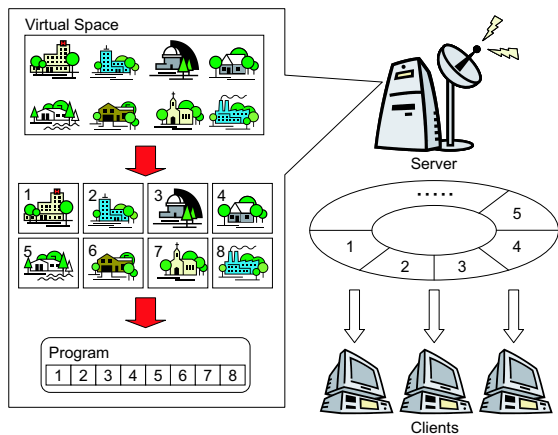


図 1: 放送型サイバースペース

が増えることや迅速に対応できないことが問題となる。

本稿では、広大な仮想空間を大多数のユーザで利用するためのアーキテクチャとして放送型サイバースペースを提案する。放送型サイバースペースとは、放送型のデータ配信を用いて仮想空間情報をユーザへ提供するシステムである。これにより、従来のシステムで問題となっていた、提供するデータの増大やクライアント数の増加に伴う、システム全体の負荷を低減できる。

また、ユーザが仮想空間を移動する際のシステムのレスポンスが速くなるように、仮想空間内でのユーザの移動速度とデータ配信を行う際のサーバ・クライアント間の帯域幅の関係を考慮した放送データのスケジューリング方式についても検討する。

以下では、2章で本稿で提案する放送型サイバースペースの概要について述べ、3章では放送型サイバースペースにおいて、ユーザが空間を移動するときの待ち時間を最小にするモデルデータの放送時間間隔について述べる。4章でユーザの移動を考慮した放送プログラムのスケジューリング方式について述べ、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

本稿で提案する放送型サイバースペースの概要を図1に示す。

一般に、仮想空間システムは、サーバ・クライアント型のアーキテクチャを用いて構築される。サーバからクライアントへは仮想空間を構成するモデルデータや仮想空間内を活動する他のユーザの動きなどリアルタイムに変化するデータが提供され、非常に多くのデータが送信される。これに対して、クライアントからサーバへ送信されるデータはユーザが操作するキャラクタの行動に関するデータに限られ、サーバから受信するデータと比較するとデータ量は非常に少ない。したがって、放送型サイバースペースでは、衛星放送などの非

対称な通信技術を用いて仮想空間システムを構築することで、サーバ・クライアント間における情報交換の効率を向上できる。

サーバは、クライアントへ提供する仮想空間のモデルデータや仮想空間内で発生したイベントなどリアルタイムに更新される情報などのデータをすべて管理しており、これらのデータをクライアントへ放送する際の基本単位となるデータアイテムに分割し、一定の周期で繰り返して放送する。

クライアントは必要なデータを必要なときに取得するだけでなく、常に放送されるデータを監視する必要はない。そのためクライアントの負荷増加はほとんどなく、ノート型コンピュータにおいては電力消費を低減できる。

サーバでは、クライアント数が増加してもデータを放送する部分に関して変更を必要としないため、クライアント数増加に伴うシステム負荷の増加は少ない。

仮想空間において建物の追加などのデータ更新が発生した場合には、各クライアントが仮想空間のデータを保持していないため、サーバ側のデータを更新するだけでよく、仮想空間のメンテナンスコストも低減できる。

一方、放送型のデータ配信を利用する場合、サーバは多種のデータを周期的に放送するため、クライアントは常に必要なデータを受信できるとは限らない。したがって、データを受信できなかった場合には、次にデータが放送されるまで待つ必要がある。また、建物の追加のように頻繁には発生しないデータの修正は可能であるが、ユーザの動きのようにリアルタイムに変化するデータを放送することは困難である。

なお本稿では、簡単のために次のようなシステム環境を想定する。

- サーバは1つとする。
- サーバは仮想空間のモデルデータを定期的にクライアントへ放送する。
- 仮想空間を同じ広さの  $M$  個の部分空間  $PS_i (i = 1, 2, \dots, M)$  に分割して、各部分空間を構成するデータ  $D_i (i = 1, 2, \dots, M)$  を1つのデータアイテムとして放送する。
- 各データアイテムのサイズはすべて同じとし、1アイテムを放送するために必要な時間を  $L$  とする。
- サーバは各アイテムを1周期の放送プログラムの間で1度だけ放送し、1周期を放送するために必要な時間は  $ML$  である。
- クライアントの仮想空間ブラウザは、1つのデータアイテムを受信すれば部分空間として仮想空間を表示できる。但しデータアイテムを完全に受信するまでは空間の表示はできない。

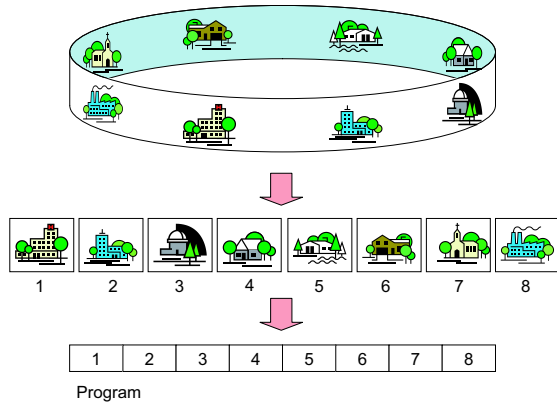


図 2: 放送プログラムの作成

- ユーザは幅  $W$  の部分空間を横方向に平均  $v$  で移動して、部分空間を通り抜ける。

### 3 移動のための待ち時間

本章では、部分空間内でのユーザの平均移動速度と隣接する部分空間のモデルデータが放送される時間間隔が与えられた場合に、ユーザが隣接する部分空間へ移動するときに発生する待ち時間を求める。

クライアントでは、ユーザが  $PS_i$  を  $PS_{i+1}$  の方向に向かって移動しているとき、 $PS_i$  と  $PS_{i+1}$  の接続部分にユーザが到達すると部分空間の切り替えが発生する。このとき、クライアントが  $D_{i+1}$  を既にもっていれば、即座に  $PS_{i+1}$  を表示できるものとし、部分空間を表示するために必要な時間は無視する。 $D_{i+1}$  をもっていなければ、サーバから  $D_{i+1}$  が放送されるのを待ち、データの受信が完了してから  $PS_{i+1}$  を表示する。この  $D_{i+1}$  の受信を完了するまでの時間をユーザの待ち時間  $T$  とする。

ここでは、簡単のために、放送する仮想空間は図 2 に示すように 1 方向に広がる空間であるとし、ユーザが空間の右の端に到達すれば空間の左の端に出てくるように、空間の両端がつながっているものとする。この空間のモデルデータを空間の広がっている方向に分割して部分空間  $PS_i (i = 1, 2, \dots, M)$  を構成し、サーバは各モデルデータ  $D_i$  を放送する。データアイテム  $D_i$  と  $D_{i+1}$  は時間間隔  $kL (1, 2, \dots, M-1)$  で放送される。

また、ユーザは一定の方向へ移動し続けるものとし、 $PS_1$  から  $PS_M$  へ向かう方向を順方向、 $PS_M$  から  $PS_1$  へ向かう方向を逆方向と呼ぶこととする。

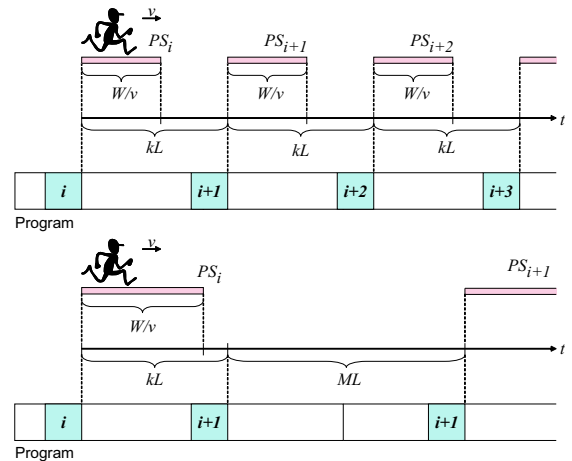


図 3: ユーザの移動速度と放送プログラムの関係 (バッファ数 1, 順方向)

#### 3.1 バッファ数 1 の場合

クライアントがバッファを 1 つだけもち、部分空間の表示とデータアイテムの受信に利用している場合は、ユーザが部分空間の端に到達すると次の部分空間データに対するアクセス要求が発生し、受信を開始する。

##### 3.1.1 順方向

ユーザの移動速度と放送プログラムの関係を図 3 に示す。 $D_i$  の放送が開始されてから、 $D_{i+1}$  の放送が開始されるまで、 $kL$  の時間がある。 $PS_i$  を移動している間に  $D_{i+1}$  の放送が開始されると、次の周期で放送される  $D_{i+1}$  を受信しなければならない。したがって、 $0 < W/v \leq (k-1)L$  のとき

$$T = kL - \frac{W}{v}$$

となり、 $T$  は  $W/v = (k-1)L$  のとき、最小値  $T = L$  となる。同様に、 $((n-1)M + k - 1)L < W/v < (nM + k - 1)L$  のとき

$$T = (nM + k)L - \frac{W}{v}$$

となり、 $T$  は  $W/v = (nM + k - 1)L$  のとき、最小値  $T = L$  となる。

##### 3.1.2 逆方向

ユーザの移動速度と放送プログラムの関係を図 4 に示す。 $D_i$  の放送が開始されてから、 $D_{i-1}$  の放送が開始されるまで、 $(M-k)L$  の時間がある。逆方向移動と同様に  $PS_i$  を移動している間に  $D_{i-1}$  の放送が開始されると、次の周期で放送される  $D_{i-1}$  を受信するこ

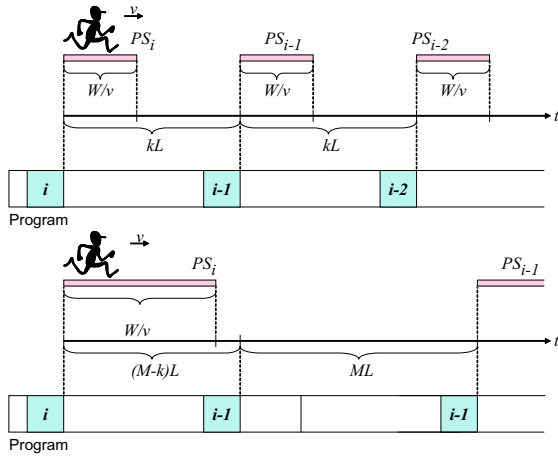


図 4: ユーザの移動速度と放送プログラムの関係 (バッファ数 1, 逆方向)

となる。したがって、 $0 < W/v \leq (M - k - 1)L$  のとき

$$T = (M - k)L - \frac{W}{v}$$

となり、 $T$  は  $W/v = (M - k - 1)L$  のとき、最小値  $T = L$  となる。同様に  $(nM - k - 1)L < W/v < ((n + 1)M - k - 1)L$  のとき

$$T = ((n + 1)M - k)L - \frac{W}{v}$$

なり、 $T$  は  $W/v = ((n + 1)M - k - 1)L$  のとき、最小値  $T = L$  となる。

### 3.2 バッファ数 2 の場合

クライアントは、部分空間を表示している場合でも、サーバから放送されるデータアイテムを受信できる。例えばユーザが順方向に移動しているとすると、クライアントが  $PS_i$  を表示したとき、同時に  $D_{i+1}$  へのアクセス要求を出す。

#### 3.2.1 順方向

ユーザの移動速度と放送プログラムの関係を図 5 に示す。 $D_{i+1}$  の放送が完了するまでに  $PS_i$  を移動するユーザが空間の端に到達すると待ち時間が生じる。 $0 < W/v \leq kL$  のとき

$$T = kL - \frac{W}{v}$$

となり、 $T$  は  $W/v = kL$  のとき、最小値  $T = 0$  となる。

ユーザが  $PS_i$  の空間の端に到達するまでに、 $D_{i+1}$  の放送が完了すると、クライアントはそのデータを受

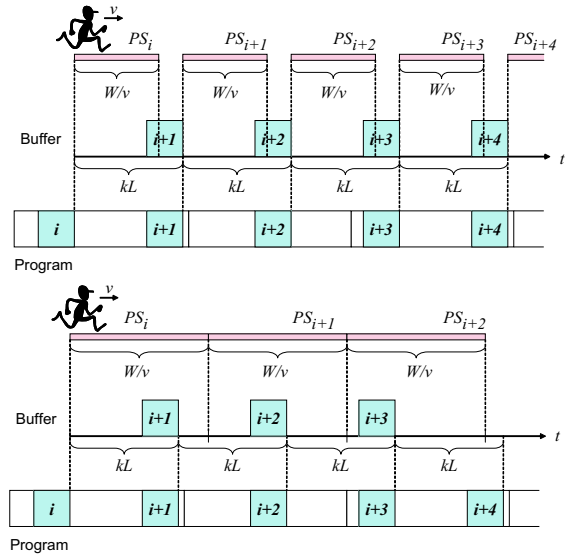


図 5: ユーザの移動速度と放送プログラムの関係 (バッファ数 2, 順方向)

信バッファを用いてプリフェッチでき、ユーザは  $PS_i$  から  $PS_{i+1}$  へは待ち時間なしで移動できる。但し、

$$n = \left\lfloor \frac{(k - 1)vL}{W - kvL} + 1 \right\rfloor$$

で初めて  $PS_{i+(n-2)}$  を移動中に  $D_{i+n}$  の放送が開始されてしまうため、 $PS_{i+(n-1)}$  を移動中に  $D_{i+n}$  を受信できない。したがって、平均待ち時間は、

$$T = kL + \frac{ML}{n} - \frac{n - 1}{n} \frac{W}{v}$$

となる。

#### 3.2.2 逆方向

ユーザの移動速度と放送プログラムの関係を図 6 に示す。 $D_{i-1}$  の放送が完了するまでに  $PS_i$  を移動するユーザが空間の端に到達すると待ち時間が生じる。 $0 < W/v \leq (M - k)L$  のとき

$$T = (M - k)L - \frac{W}{v}$$

となり、 $T$  は  $W/v = (M - k)L$  のとき、最小値  $T = 0$  となる。

ユーザが  $PS_i$  の空間の端に到達するまでに、 $D_{i-1}$  の放送が完了すると、クライアントはそのデータを受信バッファを用いてプリフェッチでき、ユーザは  $PS_i$  から  $PS_{i-1}$  へは待ち時間なしで移動できる。但し、

$$n = \left\lfloor \frac{(M - k - 1)vL}{W - (M - k)vL} + 1 \right\rfloor$$

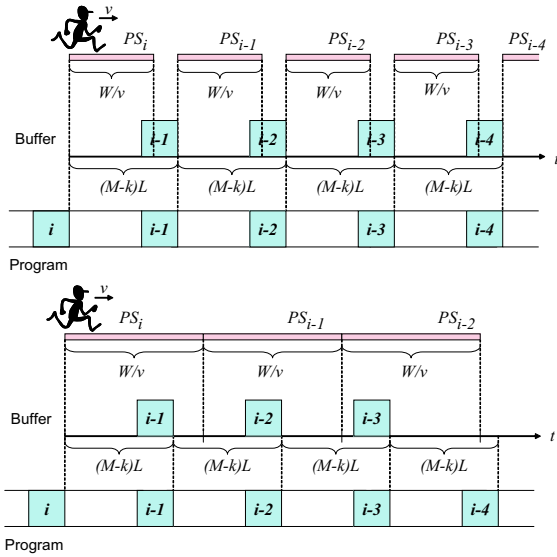


図 6: ユーザの移動速度と放送プログラムの関係 (バッファ数 2, 逆方向)

で初めて  $PS_{i-(n-2)}$  を移動中に  $D_{i-n}$  の放送が開始されてしまうため,  $PS_{i-(n-1)}$  を移動中に  $D_{i-n}$  を受信できない. したがって, 平均待ち時間は,

$$T = (M - k)L + \frac{ML}{n} - \frac{n-1}{n} \frac{W}{v}$$

となる.

## 4 スケジューリング方式

前章では, ある部分空間のモデルデータが放送されてから, 一定時間後にその隣の部分空間のモデルデータが放送される場合を想定して, ユーザが隣の部分空間へ移動する際に生じる待ち時間を計算した. これらの計算結果を考慮して, ユーザの待ち時間を短くする放送プログラムを作成するための  $k$  の値を決定すればよいが, 実際には, ユーザが,  $PS_i$  から  $PS_{i+1}$  へ移動する際の待ち時間を最小にするように, 放送プログラムにおいて  $D_i$  と  $D_{i+1}$  を配置したとしても  $PS_{i+1}$  から  $PS_i$  へ移動する際の待ち時間は最小とならない.

そこで, 本章では, ユーザの移動方向に偏りがある場合とない場合を想定して, ユーザの移動速度と各データアイテムの放送時間を考慮した放送プログラムのスケジューリング方式を提案する.

### 4.1 PTA 方式

クライアントがデータ受信専用のバッファをもたない場合, ユーザが部分空間を通過した直後に移動先の部分空間のデータが放送されれば, 隣の部分空間へ移

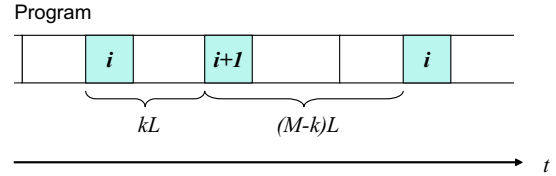


図 7: データアイテムの放送間隔

動する際の待ち時間が最も短くなる. また, データ受信専用のバッファをもっている場合は, ユーザが部分空間を移動中に次の移動先となる部分空間データを完全に受信できれば, ユーザの待ち時間は 0 となり, ユーザは即座に隣の部分空間へ移動できる.

PTA (Passage Time Arrangement) 方式では, 部分空間内におけるユーザの移動速度と部分空間の幅から, ユーザが部分空間を通過する時間を算出し, この通過時間を基にデータアイテムを放送する時間間隔を決定する.

例えばクライアントが受信専用バッファをもたない場合, 順方向に移動するユーザの待ち時間を最短にする  $k$  は

$$\frac{W}{vL} - nM + 1 \leq k < \frac{W}{vL} - (n-1)M + 1$$

のとき

$$k = \frac{W}{vL} - nM + 1$$

となる. 逆方向に移動するユーザの待ち時間を最短にする  $k$  は

$$nM - \frac{W}{vL} - 1 < k \leq (n+1)M - \frac{W}{vL} - 1$$

のとき

$$k = (n+1)M - \frac{W}{vL} - 1$$

となる.

PTA 方式では, 特定の方向へ移動する場合の待ち時間を最短にできるが, それ以外の方向にユーザが移動する場合には待ち時間が長くなってしまふ. したがって, 例えばゲームのようにシナリオにそってユーザが仮想空間内行動する場合など, 仮想空間内におけるユーザの移動方向が決まっていたり, ユーザの移動方向に偏りがある場合に, システム全体としてのユーザの待ち時間を短くでき, モデルデータを効率的にクライアントへ提供できる.

### 4.2 MA 方式

PTA 方式では, 特定の方向に移動するユーザの待ち時間を最短にする  $k$  を用いて放送プログラムを作成したが, 仮想空間内でのユーザの移動方向が決まってい

k=1	1	2	3	4	5	6	7	8
k=3	1	4	7	2	5	8	3	6
k=5	1	6	3	8	5	2	7	4
k=7	1	8	7	6	5	4	3	2

図 8:  $M = 8$  のプログラム例

なかったり、移動方向に偏りが無い場合には、システムを利用する半数のユーザが、部分空間を移動する度に長い時間待たなければならなくなる。

そこで、MA (Middle Arrangement) 方式では、どの方向に移動している場合でも、同じ時間待てば隣の部分空間へ移動できるように  $k$  を決定し、放送プログラムを作成する。

図 7 に示すとおり、 $D_i$  が放送されてから時間間隔  $kL$  で  $D_{i+1}$  が放送される場合、 $D_{i+1}$  が放送されてから  $D_i$  が放送されるまでの時間は、 $(M - k)L$  となる。したがって、順方向に移動するユーザと逆方向に移動するユーザの待ち時間をできる限り等しくするため、ユーザの移動速度に関係なく、

$$\left| k - \frac{M}{2} \right|$$

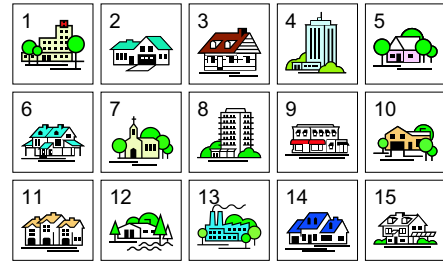
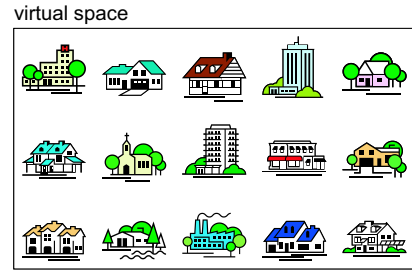
を最小にする  $k$  を用いて放送プログラムを作成する。

### 4.3 $k$ の決定方法

前節において、PTA 方式と MA 方式の各方式における  $k$  の算出方法を示したが、実際には示した式で算出した  $k$  で放送プログラムが作成できるとは限らない。例えば、MA 方式では  $|k - M/2|$  を最小にする  $k$  で放送プログラムを作成すれば  $PS_i$  から  $PS_{i+1}$  へ移動する場合と  $PS_{i+1}$  から  $PS_i$  へ移動する場合の待ち時間を等しくなることが分かっており、 $M = 8$  のときは、 $k = 4$  を使って放送プログラムを作成することになるが、周期  $8L$  の放送プログラムにおいて、時間間隔  $4L$  で隣り合う部分空間のモデルデータが放送される放送プログラムを生成することは不可能である。

$D_i$  が放送されてから、時間間隔  $kL$  で  $D_{i+1}$  が放送されるプログラムを作成するためには、 $k < M$  を満たす自然数の中で  $M$  と互いに素な数を用いる必要がある。図 8 に  $M = 8$  の場合に生成できるプログラムの例を示す。 $M = 8$  のとき、 $k = 1, 3, 5, 7$  である。

したがって、PTA 方式や MA 方式において  $k$  を決定する場合、全アイテム数  $M$  と互いに素な数の中から、前節で示した式を満たす  $k$  を選択することになる。



channel1	1	2	3	4	5
channel2	6	7	8	9	10
channel3	11	12	13	14	15

図 9: 一般的な仮想空間の放送

### 4.4 仮想空間の分割方法

これまでの議論では、空間が 1 方向に広がり、両端でつながっている空間モデルを放送する場合を想定して、ユーザの待ち時間を短くする放送プログラムのスケジューリング方式について述べてきたが、一般的な仮想空間のモデルデータを放送する場合にも同様の方式を利用することが可能である。

図 9 にその概要を示す。一般的な仮想空間のモデルデータを放送する場合は、仮想空間を上から見て同じ広さの部分空間  $PS_{i,j} (i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N)$  に分割して、 $N$  個のチャンネルを用いて放送する。つまり、サーバは各部分空間を構成するデータ  $D_{i,j} (i = 1, \dots, M)$  をチャンネル  $j$  を用いて放送することにする。

各チャンネル内では、PTA 方式や MA 方式を用いて放送プログラムを作成し、放送することが可能である。

本節では、チャンネル間においても、チャンネル  $j$  で  $D_{i,j}$  の放送が開始されてから、 $kL$  後にチャンネル  $j + 1$  で  $D_{i,j+1}$  の放送が開始されるように、チャンネル間の放送時刻を  $kL$  ずらした場合はユーザの平均待ち時間を求める。簡単のためクライアントがチャンネルを切り替えるオーバーヘッドはないものとし、 $M = N$  であるとす。

以下では、クライアントのバッファ数が 2 の場合についてのみ示す。

#### 4.4.1 $PS_{i,j}$ $PS_{i+1,j}$ 方向, $PS_{i,j}$ $PS_{i,j+1}$ 方向

$D_{i,j}$  が放送されてから,  $D_{i+1,j}$  および  $D_{i,j+1}$  が放送されるまでは,  $kL$  ある. したがって,  $0 < \frac{W}{v} \leq kL$  のとき, 平均待ち時間は

$$T = kL - \frac{W}{v}$$

となり,  $kL < \frac{W}{v} < ML$  のとき

$$T = kL + \frac{ML}{n} - \frac{n-1}{n} \frac{W}{v}$$

となる. 但し,  $n$  は以下の式を満たす数である.

$$n = \left\lfloor \frac{(k-1)vL}{W - kvL} + 1 \right\rfloor$$

#### 4.4.2 $PS_{i,j}$ $PS_{i-1,j}$ 方向, $PS_{i,j}$ $PS_{i,j-1}$ 方向

$D_{i,j}$  が放送されてから,  $D_{i-1,j}$  および  $D_{i,j-1}$  が放送されるまでは,  $(M-k)L$  ある. したがって,  $0 < \frac{W}{v} \leq (M-k)L$  のとき, 平均待ち時間は

$$T = (M-k)L - \frac{W}{v}$$

となり,  $kL < \frac{W}{v} < ML$  のとき

$$T = (M-k)L + \frac{ML}{n} - \frac{n-1}{n} \frac{W}{v}$$

となる. 但し,  $n$  は以下の式で表される.

$$n = \left\lfloor \frac{(M-k-1)vL}{W - (M-k)vL} + 1 \right\rfloor$$

#### 4.4.3 $PS_{i,j}$ $PS_{i+1,j+1}$ 方向

$D_{i,j}$  が放送されてから,  $D_{i+1,j+1}$  が放送されるまでは,  $2kL$  ある. したがって,  $0 < \frac{W}{v} \leq 2kL$  のとき, 平均待ち時間は

$$T = 2kL - \frac{W}{v}$$

となり,  $2kL < \frac{W}{v} < ML$  のとき

$$T = 2kL + \frac{ML}{n} - \frac{n-1}{n} \frac{W}{v}$$

となる. 但し,  $n$  は以下の式で表される.

$$n = \left\lfloor \frac{(k-1)vL}{W - 2kvL} + 1 \right\rfloor$$

#### 4.4.4 $PS_{i,j}$ $PS_{i-1,j-1}$ 方向

$D_{i,j}$  が放送されてから,  $D_{i-1,j-1}$  が放送されるまでは,  $(M-2k)L$  ある. したがって,  $0 < \frac{W}{v} \leq (M-2k)L$  のとき, 平均待ち時間は

$$T = (M-2k)L - \frac{W}{v}$$

となり,  $(M-2k)L < \frac{W}{v} < ML$  のとき

$$T = (M-2k)L + \frac{ML}{n} - \frac{n-1}{n} \frac{W}{v}$$

となる. 但し,  $n$  は以下の式で表される.

$$n = \left\lfloor \frac{(M-2k-1)vL}{W - (M-2k)vL} + 1 \right\rfloor$$

#### 4.4.5 $PS_{i,j}$ $PS_{i+1,j-1}$ 方向, $PS_{i,j}$ $PS_{i-1,j+1}$ 方向

$D_{i,j}$  が放送されてから,  $D_{i+1,j-1}$  および  $D_{i-1,j+1}$  が放送されるまでは,  $ML$  ある. したがって,  $0 < \frac{W}{v} \leq ML$  のとき, 平均待ち時間は

$$T = ML - \frac{W}{v}$$

となる.

以上の結果から,  $k$  を決定すれば同一チャンネルで放送されている空間を移動する場合に限らず, 異なるチャンネルで放送される空間を移動する場合にも, PTA 方式や MA 方式が適用できる. また, 同一放送周期内においてアイテム間の放送間隔を決定する  $k$  は, 自然数でなければならなかったが, チャンネル間の放送間隔を決定する場合は, 自然数である必要がない. したがって, チャンネル間で MA 方式を利用する場合には,

$$k = \frac{M}{2}$$

なる  $k$  を用いて放送間隔を決定する.

## 5 関連研究

放送型のデータ配信機構を用いた放送型情報システムに関する研究が多数行われており, その性能向上を目的として, サーバ側の放送データのスケジューリング戦略や, クライアント側のキャッシュ戦略, プッシュ型とプル型の融合戦略などさまざまな研究が報告されている [1, 4].

UFL 方式 [9] では, サーバから放送される各データ間に相関性がある場合, 各データに対してある時間間隔で連続してアクセス要求を起こすことに着目し, アイテム間の最適な放送時間間隔の計算値を用いて放送プログラムをスケジュールすることで各アイテムへの平均応答時間を低減している. 放送型サイバースペースでは, ユーザが部分空間を順番に移動するため, 隣の部分空間のデータアイテムへは必ずある時間後にアクセスすることが予想できる. したがって, UFL 方式を放送型サイバースペースに適用することが可能である. しかし, UFL 方式では, 特に関連性の高いアイテムの放送時間間隔が優先的に最適値に近くなるよう放

送プログラムを構築しているのに対し、仮想空間においては、隣接する各部分空間の関連の度合いを定義することは困難であり、検討が必要である。

CBS方式 [10] では、サーバから放送される複数のデータに対して同時にアクセス要求が生じる場合に、それらのデータアイテムを放送プログラム内に隣接して配置することで平均応答時間を短縮している。放送型サイバースペースでは、クライアントのバッファ数が2つ以上の場合、ユーザの進行方向にある複数のモデルデータに対してアクセス要求が生じるため、CBS方式を適用できる。また、文献 [10] では、クライアントにおけるキャッシング方式についても議論されており、次回放送されるまでの時間が長いアイテムをキャッシュに保持することで、平均待ち時間低減するPT方式とCB-PT方式においてさらにアイテム間の相関性を考慮したCB-PT方式が提案されている。放送型サイバースペースにおいても同様の方式が採用でき、ユーザの空間内での移動がスムーズになる。ただし、CB-PT方式は待ち時間が最悪のケースにならないようにキャッシュするアイテムを決定しているが、放送型サイバースペースでは全体としての待ち時間が最悪になったとしても、ユーザの行き先のモデルデータを保持するようなユーザの移動方向を考慮してキャッシングする必要がある。

このように放送するデータ間の相関性を考慮してサーバにおける放送プログラムのスケジューリング方式やクライアントにおけるキャッシング方式が提案されており、従来の方式を放送型サイバースペースに応用して性能を向上させることが可能であると考えられる。しかし、放送するデータが空間情報に関するデータであるため、空間トポロジに基づくアクセス要求の発生や、空間の連続性からすべてのデータ間に相関性があるなど、考慮すべき点が多数存在するため、今後の検討が必要である。

## 6 まとめ

本稿では、広大な仮想空間を多数のユーザが共有して利用する仮想空間システムにおいて、空間を構成する大量のデータを効率よくユーザへ配信するために、データ放送を用いた放送型サイバースペースを提案した。また、放送型サイバースペースにおいて、ユーザが仮想空間内を移動する際の待ち時間を低減し、できる限りスムーズな移動を可能にするための放送プログラムのスケジューリング方式の提案も行った。提案手法では、空間データを配信する際の放送帯域幅と空間内を移動するユーザの速度を考慮して、クライアントがデータアイテムへアクセスするときの平均待ち時間を短くしている。

今後は、効果的な仮想空間の分割方法に関する検討やユーザのランダムな移動に対応した放送プログラム

のスケジューリング方式を考案する予定である。また、クライアントにおけるユーザの移動速度を考慮したモデルデータのプリフェッチング方式やキャッシング方式についても考案する予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省振興調整費「モバイル環境向P2P型情報共有基盤の確立」、および文部科学省特定研究領域(C)「Grid技術を適応した新しい研究手法とデータ管理技術の研究」(プロジェクト番号:13224059)、文部科学省21世紀COEプログラム(研究拠点形成費補助金)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] Acharya, S., Franklin, M., and Zdonik, S.: "Balancing Push and Pull for Data Broadcast," *Proc. of ACM SIGMOD Conference*, pp. 183-194 (1997).
- [2] Greenhalgh, C. M. and Benford, S. D.: "MASSIVE: A Virtual Reality System for Tele-conferencing," *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 2, No. 3, pp. 239-261 (1995).
- [3] 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に推移に関する考察," *情報処理学会論文誌*, Vol. 41, No. 10, pp. 2670-2678 (2000).
- [4] Lin, L. and Xingming, Z.: "Heuristic Multi-Disk Scheduling for Data Broadcasting," *Proc. of Int'l Workshop on Satellite-Based Information Services(WOSBIS'97)*, pp. 1-5 (1997)
- [5] Macedonia, M. and Zyda, M.: "NPSNET: A network software architecture for large-scale virtual environments," *Presence*, Vol. 4, No. 5, pp. 265-287, (1994).
- [6] 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).
- [7] Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T., and Ishida, T.: "FreeWalk: Supporting Casual Meetings in a Network," *Proc. of International Conference on Computer Supported Cooperative Work(CSCW-96)*, pp. 308-314 (1996).
- [8] 大輪卓之, 三宅貴浩, 松田晃一, 賀川能明: "3次元仮想空間サービス「virtorn hills」の実装と考察," *日本バーチャリアリティ学会研究報告*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-6 (2002).
- [9] Yajima, E., Hara, T., Tsukamoto, M., and Nishio, S.: "Scheduling Strategies of Correlated Broadcast Data in Push-Based Systems," *Information Systems and Operational Research (INFOR)*, Vol. 39, No. 2, pp. 152-173 (2001).
- [10] Yajima, E., Hara, T., Tsukamoto, M., and Nishio, S.: "Scheduling and Caching Strategies for Correlated Data in Push-Based Systems," *ACM Applied Computing Review (ACM ACR)*, Vol. 9, No. 1, pp. 22-28 (2001).