

デジタルシティの3次元インタフェースの設計と実装

伊藤 英明^{†,††} テー シューリン^{†*} 中西 英之^{†,††} 羽河 利英^{†**}

Design and Implementation of 3D Interface for Digital City

Hideaki ITO^{†,††}, Siewling TEH^{†*}, Hideyuki NAKANISHI^{†,††},
and Toshihide HAGAWA^{†**}

あらまし 我々はデジタルシティの3次元インタフェースとして、仮想空間ソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、現実と同じ構造をもつ仮想空間の中で数百体の人体型エージェントと数十人のアバタとが映像や音声によりインタラクションを行うことで、サイバースペース上に新しいコミュニティを形成することを目的としている。この目的のうち、仮想空間はVRMLで作成された現実の都市と同じ構造をもつ空間の構造データを3次元コミュニケーションツールに読み込むことで実現した。一方、アバタやエージェントに関しては、アニメーションにより2足歩行を行い、混雑した場所での歩行時は他者を自然に回避し、更に発話時には空間内の音場を再現する機能を実装することで現実感や操作性を増した。こうした高度な機能をもつ3次元空間を実現するには、従来は高い性能をもつコンピュータの使用が前提とされてきた。しかし、デジタルシティは一般の市民が自宅の計算機環境から気軽に参加できるものでなければならず、更に、できるだけ多くの市民が同時に空間を共有できることが望まれる。そのためには、インタフェースに必要とされるコンピュータの性能やネットワーク帯域を抑えなければならない。この問題を解決するため、我々はマルチユーザ環境における効率的な音場生成技術を開発し、仮想空間上に実装した。評価の結果、提案技術は仮想空間ソフトウェアが消費する計算機資源を抑える目的に対して有効であることがわかった。

キーワード デジタルシティ, 仮想空間, 社会的インタラクション, 3次元音場, エージェント

1. ま え が き

3次元空間を用いたコミュニケーションは、従来のビデオ会議やチャットシステムと比較し、よりカジュアルで、より現実に近い性質をもつ[1]。こうした3次元空間を使用し、現実に存在する地域コミュニティがもつ情報の再構成や情報発信を行ったり、地域に生活する人々の日常的な活動をネットワーク上に再現することで、現実の都市をサイバースペースへと拡張することを目的としたものがデジタルシティである。

このうち、情報提供に関しては必ずしも3次元のインタフェースを必要とせず、地図やテキストへのハイパーリンクといった、既存のWeb技術で実現できる[2]。

しかし、サイバースペースへの都市の拡張には、そのインタフェースとして3次元空間の利用が効果的である[3]~[5]。

3次元空間上で現実の都市を再現するには、実空間と同様の構造をもつ仮想空間をつくとともに、そうした仮想空間において、現実の都市で発生する人と人のインタラクションを再現しなければならない。ここで“コミュニケーション”ではなく“インタラクション”と述べた理由は、都市の日常生活で無意識に引き起こされる人間行動を、仮想空間内で再現するという我々の目的を強調するためである。

仮想空間においては、人は他の参加者以外に、エージェントとともインタラクションを行うことができる。人とインタラクションを行うエージェントは社会的エージェントと呼ばれ、多くの先行研究がある。例えば、サイバースペースの情報提供を行うエージェント[6]や、役割に応じて会話をを行うエージェント[7]、初対面のユーザ同士の会話を支援するエージェント[8]、あるいは人間関係に影響を与えるエージェント[9]に関する研究などである。しかし、これら先行研究で

[†] 京都大学社会情報学専攻, 京都市
Dept. of Social Informatics, Kyoto Univ., Yoshidahonmachi,
Sakyo, Kyoto-shi, 606-8501 Japan

^{††} 科学技術振興事業団 CREST デジタルシティプロジェクト, 京都市
JST CREST Digital City Project, Nijo Kawaramachi,
Kyoto-shi, 604-0924 Japan

* 現在, ソニー株式会社ネットワークアプリケーション&ソリューションズ技術部

** 現在, シャープ株式会社技術本部システム開発センター

扱うインタラクションは、人とエージェントが1対1か、それに近い状況に限ったものである。その一方、我々はデジタルシティにおいて多数の人と多数のエージェントが入り交じった状態で、人もエージェントも同じようにインタラクションを行う空間の研究を行っている。

更に、こうしたデジタルシティの実用的な応用例としては、実際には行うことが難しい大規模な集団行動の仮想空間上での再現が挙げられる [10]。例えば、1000人の避難者が参加する避難訓練を現実に行うことは難しい。しかし、デジタルシティの仮想空間では、1000人の避難者のうちの900人をソフトウェアエージェントでシミュレートし、残り100人が家庭からインターネットを介して参加することで、こうした大規模な避難訓練を行い、地域の危機管理に貢献することも可能となる。

このようなデジタルシティを実現するため、仮想空間において、現実と同じ外見をもつ都市や、その都市における人間行動を再現するためのインタフェースを実装した。

2. デジタルシティとそのインタフェース

2.1 設 計

我々が考えるデジタルシティのインタフェースとしての仮想空間は次の特徴をもつ。

- (1) 現実の都市と同じ構造をもつ
- (2) 多数のアバタが映像と音声で同時にコミュニケーション可能である
- (3) 仮想都市の住人としてのエージェントが存在
- (4) 音源の位置を考慮した音場を合成

すなわち、現実と同じ構造をもつ仮想空間を実装し、その中で数百体の人体型エージェントを動かすことにより、実際の都市に近いリアリティをもつ仮想都市を再現する。こうした仮想都市に多数の市民がアバタとして各家庭から参加し、他のアバタやエージェントとインタラクションを行うことで、サイバースペース上に新しいコミュニティを形成することを目的としたものが我々が考えるデジタルシティである (図1)。

デジタルシティは、市民が各家庭から参加することを前提としており、したがってそのインタフェースは一般的に普及した計算機及びネットワーク環境で使用可能なものでなければならない。更に、そうした限られたリソースの中で多数の参加者が映像/音声通信を利用することを考えると、参加者が増加した際のス



図1 3D 京都
Fig.1 3D Kyoto-city.

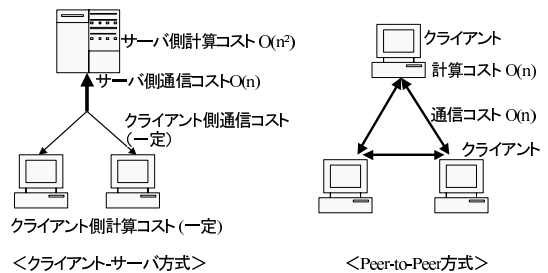


図2 通信方式の比較

Fig.2 Comparison between client-server and client-client communication.

ケーラビリティの確保が特に重要である。

そこでデジタルシティで用いる通信方式について考察すると、図2に示すように通信方式の違いにより、参加者の増加により負荷のかかる箇所が異なる。

すなわち、図2左側で示すサーバ・クライアント方式では、参加者数の増加に伴いサーバ側の通信量及びデータ処理コストが増加する。一方、図2右側のクライアント間通信では、参加者数に応じて各クライアントごとの通信量及びデータ処理コストが増加する。以上の考察及び市民が利用できる計算機リソースの制限が厳しいことを考慮すれば、通信にはサーバ・クライアント方式を用い、クライアント側をインタフェースとし使用することが好ましい。しかし、それでは参加者が増加した際にサーバ側の過負荷が問題となることが考えられる。

ところで、デジタルシティで使用される主な通信は音声及び映像通信である。音声通信はアバタ間のコミュニケーションにおいて主要なメディアとして使用され、また各クライアントから送られた音声をもとに音場

の合成処理を行う必要がある．一方の映像通信は，コミュニケーションのメディアとしては補助的な役割をもち，音場合成のように受信時に特殊な処理を行う必要はない．よって，音声通信にはサーバ・クライアント方式を使い，狭帯域のユーザでも安定して使用できるように設計し，映像通信ではサーバ側のネットワーク負荷を考慮してクライアント間通信を使用することにした．

通信方式で以上の設計を行う際は，音場の合成処理について考察する必要がある．音場の合成をサーバ側で行う場合，前述のように，空間に存在する音源（エージェント及びアバタ）数の 2 乗のオーダでサーバ側の計算コストが増加する．これではデジタルシティ上で数百人のエージェントとアバタを動かす際，サーバ側の負荷が問題となる可能性がある．したがって，サーバで音場合成を行う際に必要となる計算コストを抑える仕組みが必要となる．

こうした計算機リソースに関する課題とは別に，多数のエージェントとアバタが空間を共有するデジタルシティのインタフェースではアバタ移動時の操作性が問題となることが考えられる．従来の仮想空間を用いたコミュニケーションツールとは違い，デジタルシティでは現実の繁華街の混雑した様子を数百体のエージェントを用いて再現し，その中で参加者はアバタを操作しなければならない．アバタが他のアバタやエージェントの体をすり抜けることができないのは当然だが，キーボードやマウスで操作する際に意識的に他者を避けて歩くことは利用者の大きな負担となる．したがって，人体同士では利用者が特に意識せずとも，実空間で我々が行うのと同様の自然な回避行動をとる機能が望まれる．

更にエージェント機能に関しては，数百体ものエージェントの動作を記述し，制御するための方法を用意しなければならない．

2.2 実装

2.2.1 システム構成

まず，システム全体の実装について図 3 に示す．この図のうち，上半分に位置するのはサーバであり，下半分に位置するのはデジタルシティのインタフェースとしてのクライアントである．この図のように，サーバはアバタやエージェント，そして都市の構造物によって構成される空間情報を管理する．また，サーバの負荷を下げるため都市をいくつかの区画に分割してその区画ごとに別々のサーバで管理させるとともに，全体

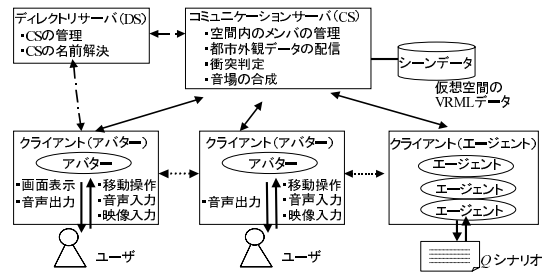


図 3 システム構成図

Fig. 3 System architecture.

のサーバを統括するサーバを一つ置くことにした．なお，以下では前者のサーバをコミュニケーションサーバ (CS) と呼び，後者のサーバをディレクトリサーバ (DS) と呼ぶことにする．一方，クライアントは，アバタとエージェントの二つに分かれる．アバタはユーザからの入力をデジタルシティへと反映させると同時に，デジタルシティの情報をユーザへと出力する．またエージェントは，デジタルシティを歩行する群集や，都市の案内人としてユーザとインタラクションを行う．

仮想空間の構造モデルは VRML の形式で作成され，シーンデータとしてサーバ (CS) からクライアントへダウンロードして利用するほか，事前に各クライアントのローカルディスクへ保存しておき，そこから読み込むことも可能である．

サーバ (CS) は音場の合成処理を行うほか，アバタやエージェントの衝突判定を行う．この際，単に衝突判定を行うのではなく，磁場モデル [11] を用いることで人体同士の自然な回避行動を実現している．磁場モデルは，群衆の動きをシミュレートする際に使われるモデルであり，歩行者に正の磁極，建物や障害物にも正の磁極，そして歩行者の歩行目的地に負の磁極を与える．これら磁極が周辺に作る磁場から歩行者が受ける磁力により，歩行者の新しい位置や速度を決定する．

また，エージェントが起動するクライアントでは， Q 言語 [12] と呼ばれる言語で記述されたシナリオファイルをローカルディスクから読み込むことで，エージェントの動作を制御する．なお Q 言語の詳細については文献 [12] を，またクライアントへ Q 処理系を組み込んだ実装の詳細については文献 [13] を参照して頂きたい．

2.2.2 計算量を抑えた音場合成手法の実装

3 次元音場は，一般的には水平方向，垂直方向，そして音源からの距離の 3 要素により合成されるが，本

実装ではアバタやエージェントが水平方向にしか移動しないため、水平方向及び距離のみを考慮した音場を実装した。具体的には、水平方向の音場は Interaural Intensity Difference (IID) 及び Interaural Time Difference (ITD) により実現し、距離は音源からの距離に比例して音量を減衰させることで処理した。IID とは、例えば頭の右側に音源を置いたときは、右の耳ではより大きな音として聞こえ、左の耳にはソフトな音として聞こえる現象であり、実装時は、アバタの両耳から音源までの距離により左右の音量を変更することで実現した。また ITD とは、先と同様に頭の右側に音源を置いた際、音は左の耳より右の耳にわずかに早く到達するという現象のことであり、その時間差は図 4 に示すように、頭の半径を a とし、前方から音源までの角度を θ 、音速を c とすると、 $ITD = \frac{a}{c}(\theta + \sin \theta)$ により計算した。

更に、CG の分野で使用されている Level Of Detail (LOD) の技術をこうした音場の合成処理に適用することで、音源が増加した際の計算コストの抑制を図ることにした。LOD とは、同じ物体でもユーザの近くにあるものは丁寧に、遠くにあるものは粗く描画することでリアリティと描画速度の両立を図る手法である。この LOD のアイデアを音源のグループ化に適用し、聞き手から遠くにある複数の音源を一つにまとめて処理することで計算コストの抑制を図る。

文献 [14] によれば、人が音源の位置を判別できる精度は水平方向において、前方で 2 度、横には 10 度、後方では 6 度ほどである。こうした聴覚精度の誤差を利用し、仮想空間において距離的に近い複数の音源をまとめて一つの音源として処理することで、適切な音場を合成しながら、音場合成にかかる計算コストを減らす技術を開発した。そのアルゴリズムは、次のとおり

である。

(1) すべての音源 (アバタ) を、その位置に基づいてグループ分けする。

(2) 各グループ内でそれぞれ音声データを合計し、グループごとに保存する。

(3) すべてのアバタに対し、次の操作を行うも、アバタから各グループの重心への距離が十分であったならば、グループの重心に先ほど保存した音声データをもつ仮想的な音源があると考えて、アバタと仮想的な音源との位置関係に基づいて処理を進める。一方、もしアバタから各グループの重心への距離が十分でなければ、個別にグループ内のアバタと、聴き手であるアバタとの位置関係に基づいて処理を進める。

ここで重要となるのは、アバタのグループ分けの方法である。基本的には、なるべく距離の近いアバタごとに集まるようグループに分ければよい。しかし、アバタは刻々と移動する可能性があるため、移動後のアバタの位置によって、グループを動的に変更しなければならない。だが、こうしたグループの再構成の計算コストが大きければ、提案手法で音場合成自体の計算コストを抑えても、アプリケーション全体では逆効果になる可能性もある。そこで、我々は空間データベースのインデクシング手法である R-tree [15] を応用することで、この問題を解決した。

R-tree は、空間的な多次元データにインデックスを付けるために用いられる手法であり、図 5 及び図 6 はそれぞれ R-tree の木構造及び、それに対応する各ノードがつくる矩形領域である。これらの図で示される R-tree では、一つのノードがもつエントリの最大値は 3 であり、合計 12 個のデータヘインデックスを付けている。

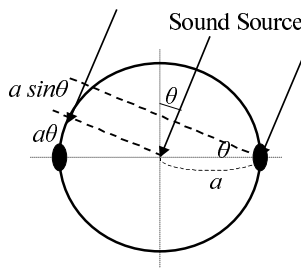


図 4 両耳間時間差
Fig. 4 Interaural time difference.

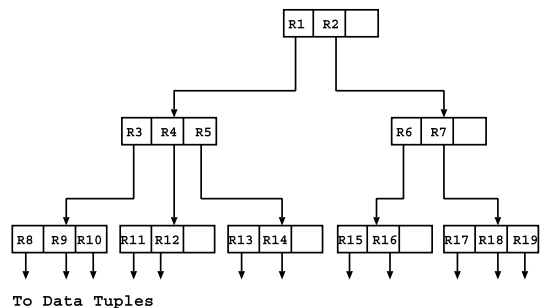


図 5 R-tree の階層構造
Fig. 5 Hierarchical structure of R-tree.

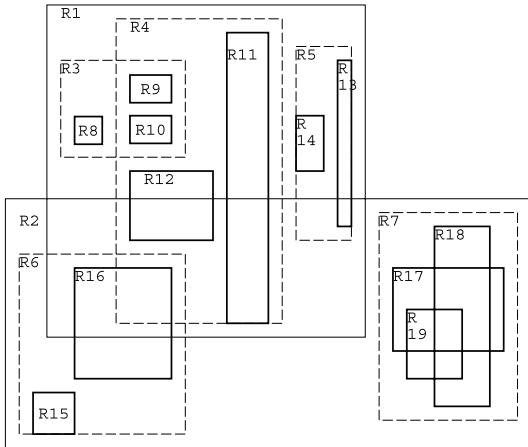


図 6 R-tree による矩形領域
Fig. 6 Clusters made with R-tree method.

このように、R-tree は平衡木による階層構造をもつ。更に、葉ノードは検索対象とするデータへのポインタをもち、それ以外のノードは子ノードへのポインタと、より階層が下のノードのエントリがもつすべての矩形領域を含む矩形領域をもつ。また木へデータを追加する際にはデータの検索性能を上げるため、できるだけ空間的にかたまるよう、すなわち図 6 において同じ矩形領域にはなるべく近いデータ同士が含まれるように操作される。我々は、この性質を位置的に近い音源をグループにまとめる際に利用した。

こうした目的で R-tree を使用するメリットは、階層構造をもつために音源の移動による木構造の更新処理を素早く行える点にある。例えば、グループ R4 に含まれる音源が移動しグループ R5 の場所に近づいた際、グループ R4 及びグループ R5 の矩形領域が変わる可能性があるが、これは主に図 5 における R4, R5 の二つのエントリより下の木構造のみに影響する。こうした R-tree の性質は、仮想空間におけるアバタのように対象データが頻りに移動する可能性があるアプリケーションで毎回木全体を計算しなおす必要がなく、計算量を抑える目的に有効である。

しかし、音場の合成にこの R-tree をそのまま適用するわけにはいかない。例えば、図 7 は平面に配置された 11 個のアバタを R-tree アルゴリズムによりクラスタリングした結果である。しかし、この図の上半分を占めるような大きなグループを一つの音源として扱おうと、正確な音場を再現することはできない。そこで、

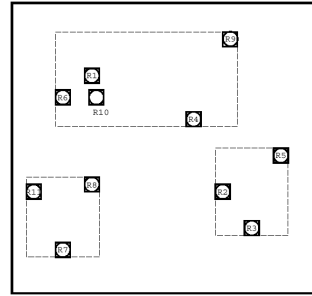


図 7 R-tree による分割
Fig. 7 R-tree clustering.

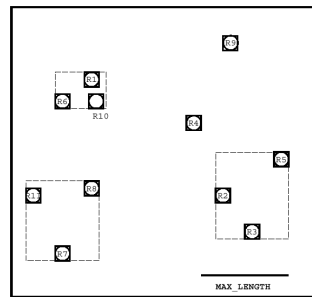


図 8 MAXLENGTH 付き R-tree による分割
Fig. 8 R-tree clustering with MAXLENGTH restriction.

グループの 1 辺の長さの最大値を MAXLENGTH として定義し、この長さ以上のグループを作るようなノードへの挿入を行わないよう R-tree のアルゴリズムを修正した。この修正済み R-tree により、図 7 と同じ配置のアバタをクラスタリングした結果が図 8 である。このように、MAXLENGTH を設定した図 8 では、合成される音場が不自然になるほど離れた音源同士はグループ化されない。

なお、実装の際には二つのことに注意する必要がある。一つは処理の対象をグループ化することにより、生成される音場が不自然にならないことであり、もう一つはグループ化の処理に要するコストが、グループ化により低減できる処理コストを上回らないことである。これに関する詳細な議論は後ほど評価の節で行う。

3. 音場合成手法の評価

まず提案手法によりどの程度サーバの計算コストを減らすことができるのかをシミュレーションで検証した。次に、提案手法が従来手法と比較しどの程度正確な音場を合成できるのかを調べるため被験者を用いて

評価を行った。

3.1 音場合成の計算コストの評価

シミュレーションでは、1 辺が 64m の正方形の地形に $n \times 10$ ($n = 1 \dots 10$) 人のアバタをランダムに配置し、全アバタが発話した際に要する総計算コストを、従来手法と提案手法との 2 通りの方法でそれぞれ 100 回計算した後平均をとり、結果の比較を行った。なお、実験に使用した MAXLENGTH は 10m である。また音場合成の計算コストは、音源間の角度計算や距離の計算、左右の耳に届くまでの遅延の計算、及び距離による減衰等に要した計算回数を合計したものである。また、R-tree の 1 ノードが含むエントリの数の最大値を 5 とし、最小値を 2 とした。このシミュレーションの結果を、図 9 に示す。この結果、従来手法では人数の増加に伴って $O(n^2)$ で計算回数が増加する一方、提案手法では、その増加の割合が数分の 1 に抑えられており、提案手法により大幅な計算コストの削減が見込めることがわかった。

この評価は、純粋に音場合成に要する処理コストの比較であり、提案手法において R-tree を使用する際に生じるコストは含まれていない。しかし、これらコストは次の三つの理由により提案手法の有効性に影響は与えないと思われる。すなわち、R-tree の生成及び音源の移動に伴う R-tree の更新に要する計算コストに関して、(1) R-tree の生成コストは $O(n \log n)$ であり、これは音場合成自体のコスト $O(n^2)$ に比較し十分小さいこと (2) 文献 [15] に示されるデータ挿入に要する計算時間の評価から、数百程度のデータ数では十分に高速に木構造の生成を行うことができるといえること (3) 前述のように、提案システムで R-tree を生成する必要があるのは実行時の適当なタイミングの

1 度だけであり、それ以降はある音源が自分の属するグループの領域より外に移動した際、移動した音源へのエントリ近くの R-tree の一部に対しポインタの挿入・削除といった操作を行うだけでよく、この操作は $O(\log n)$ で実行可能であること、更に文献 [1] から仮想空間ではアバタは比較的一定個所に静止する傾向が強いという結果が得られていること、という三つの理由により、提案手法の有効性を検証する上で影響はないと考えられる。

3.2 音場の再現性に関する評価

前述した、音源のグループ化技術により生成される音場の精度を評価するため、次に述べる内容の実験を行った。実験は合計 27 名の学生に、提案手法を用いて生成された音場と従来の手法により生成された音場の両方を聞かせることで進められた。

まず仮想空間において、被験者のアバタの前方、32m 四方のランダムな位置に 35 体の音源となるアバタを配置する。この音源アバタには、図 10 のように、それぞれ A ~ Z, 1 ~ 8 までのラベルを付ける。被験者には実験の前に 3 分間、各アバタからの音がどのように聞こえるかを実際に体験してもらった後、本実験を行った。なお、提案手法における MAXLENGTH は 5m とした。本実験では、35 体のいずれかのアバタから音を鳴らし、被験者は音源であると思われるアバタをラベルで回答する。そして、被験者が選んだアバタと音を出したアバタとの距離を計算し、ずれの大きさにより従来手法と提案手法の音場の再現能力を比較した。その際、水平及び遠近感の音場の合成能力を別々に評価するため、以下の三つの実験をまとめて 1 セットとし、1 人の被験者で従来手法と提案手法により各

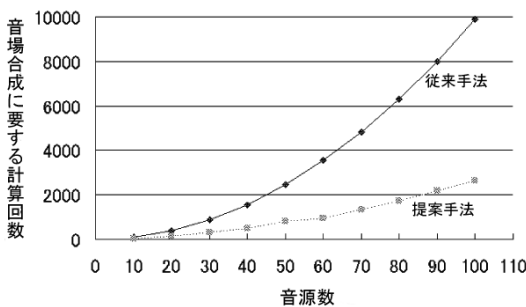


図 9 性能比較 (音場合成処理回数)

Fig. 9 Performance comparison: Number of sound events.

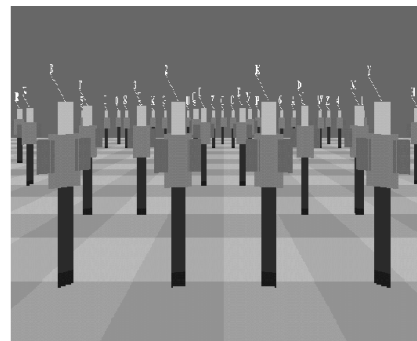


図 10 評価に用いた仮想空間

Fig. 10 Screen shot of the virtual space for the experiment.

表 1 実験結果の統計量

Table 1 Descriptive statistics of the experiment result.

	N	Mean	Min.	Max.	Std. Dev.
従来手法 (水平)	46	5.29	0.0	14.87	4.26
提案手法 (水平)	46	5.94	0.0	14.22	4.81
従来手法 (遠近)	52	5.84	0.0	18.03	5.29
提案手法 (遠近)	52	5.77	0.0	18.25	5.77
従来手法 (全体)	50	4.35	0.0	13.04	3.58
提案手法 (全体)	50	5.66	0.0	17.80	4.97

1 セットずつ実験を行った。すなわち、一つ目の実験は、音源とするアバタをある横 1 列のみに限定した実験であり、これで水平方向の音場の精度を評価した。また、二つ目は音源とするアバタをある縦 1 列に限定した実験であり、これにより音の遠近感の再現精度を評価した。そして三つ目は、全アバタを対象として実験を行った。その実験の結果をまとめたものが表 1 である。

この表において、Mean, Min., Max. はそれぞれ、被験者が感じた音源の位置と実際に音を出したアバタの位置との距離の平均値、最小値、最大値である。そして、統計的に従来手法と提案手法との差の有無を調べるため、二つの手法で得た結果に t 検定を行った。その結果、水平方向では $t(45) = -0.75, P > 0.453$ 、遠近感では $t(51) = -1.51, P > 0.255$ 、また全体を対象とした結果では $t(49) = -1.56, P > 0.124$ となり、いずれの場合でも従来手法と提案手法との間に有意差は認められなかった。

以上のことから、前節で提案した音場生成の手法は、従来の音場生成手法と比較して性能的に劣ることなく、計算コストを抑えることができたといえる。

4. む す び

多数のエージェントとアバタが現実と同じ構造をもつ仮想空間を共有しインタラクションを行うことを目的としたデジタルシティのインタフェースを設計・実装した。

設計の際、このインタフェースは多数の市民により各家庭から使用されることを前提としているため、仮想空間へ多くの参加者が加わった際のスケーラビリティを限られた計算機資源を用いて確保することを課題とした。

その結果、アバタ間の音声通信は、参加者が増加してもクライアント側の負荷が変わらない、サーバ・クライアント方式で実装した。しかし、この方式では参

加者数の 2 乗のオーダでサーバ側の音場合成に要する負荷が増加する問題があった。そこで、LOD のアイデアを音源のグループ化に適用し、音場合成の計算コストを抑える手法を提案した。更に、提案手法を仮想空間で実装し、その評価を行った。

シミュレーション及び被験者実験による評価の結果、提案手法では従来と大差のない精度の音場を、従来手法より少ない計算コストにより生成でき、提案手法の有効性が示された。

謝辞 本研究にあたり、京都大学社会情報学専攻の石田亨教授には、親身になって御指導を頂いた。また、アバタの歩行動作の実装では、京都大学人間生活環境工学講座の岡崎甚幸教授による磁気モデルのアイデアを使用させて頂いた。

本研究は、科学技術振興事業団 (JST) 戦略的基礎研究推進事業：デジタルシティのユニバーサルデザインプロジェクトの一環として開発された。

文 献

- [1] H. Nakanishi, C. Yoshida, T. Nishimura, and T. Ishida, "Freewalk: A 3d virtual space for casual meetings," *IEEE Multimedia*, vol.6, no.2, pp.20-28, 1999.
- [2] 平松 薫, 小林堅治, B. Benjamin, 石田 亨, 赤塚純一, "デジタルシティのための地図インタフェース," *情処学論*, vol.41, no.12, pp.3315-3323, 2000.
- [3] R. Linturi, M.-R. Koivunen, and J. Sulkanen, "Helsinki arena 2000 — augmenting a real city to a virtual one," *LNCS*, no.1765, pp.83-96, 2000.
- [4] F.L. Diberder, "特集デジタルシティール・ドゥージュエム・モンド," *bit*, vol.33, pp.21-24, 共立出版, 東京, 2001.
- [5] T. Ishida, "Digital city kyoto: Social information infrastructure for everyday life," *Commun. ACM*, vol.45, no.7, pp.76-81, 2002.
- [6] L. Foner, "Entertaining agents: a sociological case study," *International Conference on Autonomous Agents (AGENTS-97)*, pp.122-129, 1997.
- [7] K. Isbister and B. Hayes-roth, "Social implications of using synthetic characters," *IJCAI-97*, pp.19-20, 1997.
- [8] K. Isbister, H. Nakanishi, T. Ishida, and C. Nass, "Helper agent: Designing an assistant for human-human interaction in a virtual meeting space," *CHI-2000*, pp.57-64, 2000.
- [9] H. Nakanishi, S. Nakazawa, T. Ishida, K. Takanashi, and K. Isbister, "Can software agents influence human relations? — balance theory in agent-mediated communities," *AAMAS-2003, 2003 (to appear)*
- [10] 石田 亨, 中西英之, 高田司郎, "デジタルシティにおける危機管理シミュレーション," *システム制御情報学会誌*, vol.46, no.9, pp.8-15, 2002.
- [11] 岡崎甚幸, "建築空間における歩行のためのシミュレーション"

ンモデルの研究その1:磁気モデルの応用による歩行モデル; 日本建築学会論文報告集, vol.283, pp.111-117, 1979.

- [12] T. Ishida, "Q: A scenario description language for interactive agents," IEEE Comput., vol.35, no.11, pp.54-59, 2002.
- [13] 伊藤英明, 中西英之, 石田 亨, スコット ブレイブ, クリフォード ナス, "社会心理学実験のための仮想空間環境の実装" 情処学論, vol.44, no.2, pp.256-265, 2003.
- [14] J. Blauert, "Localization and the law of the first wavefront in the median plane," J. Acoust. Soc. Am., vol.50, pp.466-470, 1971.
- [15] A. Guttman, "R-trees: A dynamic index structure for spatial searching," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp.45-47, 1984.

(平成14年9月2日受付, 15年1月10日再受付)



羽河 利英

2001 京都大学情報学研究科社会情報学専攻修士課程了。現在, シャープ(株)技術本部システム開発センター。



伊藤 英明

1999 京大・工・資源工学卒。現在, 同大学情報学研究科社会情報学専攻博士課程在学中。デジタルシティ, ユビキタスシステム及び社会的エージェントに興味をもつ。



テー シューリン

2001 京大・工・情報学卒。現在, ソニー(株)ネットワークアプリケーション & コンテンツサービスセクターネットワークアプリケーション & ソリューションズ技術部。



中西 英之

1996 京大・工・情報工学卒, 1998 同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程了。2001 同大学院情報学研究科社会情報学専攻博士課程了。同年同専攻助手, 現在に至る。その間, 2000 スタンフォード大学コミュニケーション学科客員研究員。博士(情報学)。協調仮想環境, 社会的エージェント, デジタルシティの研究に従事。