

WWW上での共有擬似3次元空間の実現

小川 剛史 塚本 昌彦 西尾 章治郎

大阪大学大学院工学研究科 情報システム工学専攻

〒565-0871 吹田市山田丘2-1

{ogawa,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

筆者らは、デジタルカメラやビデオカメラで撮影した風景写真を背景に、WWW上で擬似3次元空間を構築する手法IBNR(Image Based Non-Rendering)を提案している。IBNRを用いることで、ユーザはWWW上で公開できる3次元空間を容易に構築できる。これまでのIBNRでは、ユーザ間のインタラクションについては考慮していないため、サイバーモールの仮想店舗などのWebアプリケーションを構築したとしても、店員と客の間でのやり取りのような現実の空間で行われている人と人のコミュニケーションが実現できなかった。本稿では、IBNRをマルチユーザ化することにより、WWW上でインタラクティブなシステムを構築するための基盤となる共有擬似3次元空間を実現する。さらに構築した共有擬似3次元空間を利用したコミュニケーションの方法やWebアプリケーションについて議論する。

キーワード: WWW, ヒューマンコミュニケーション, 擬似3次元空間, Dynamic HTML, Active Server Pages

Realizing Collaborative Pseudo-3D Space on WWW

Takefumi OGAWA Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka 565-0871, Japan

{ogawa,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

We have proposed so far a method to build virtual space using pictures taken by digital cameras or digital video cameras, which we named the image based non-rendering (IBNR). Using IBNR, users can construct virtual space which can be opened to the public on the world wide web. However, interaction among multiple users was not realized in this system. Therefore, even if we construct web applications such as cyber-mall using IBNR, users cannot communicate with other users in a manner similar to the situation in the real world where a customer can talk with a store assistant. In this paper, we expand the IBNR system to realize collaborative pseudo-3D space which forms a basis of interactive systems constructed on WWW. Moreover, we discuss communication methods and web applications using this collaborative pseudo-3D space.

Keywords: WWW, human communication, Pseudo-3D Space, Dynamic HTML, Active Server Pages

1 はじめに

3次元グラフィックスを高速に処理できるハードウェアの普及に伴ない、さまざまな場面で3次元空間が利用されるようになってきた。その結果、計算機上に構築した3次元空間を用いて、人々のコミュニケーションや協調作業、遠隔作業などを支援する研究が盛んに行われている[4, 8]。また、インターネットで公開する仮想美術館やゲームなどにも3次元空間は積極的に利用され、計算機上の3次元空間に触れる機会が増加している。特にゲームでは何万ポリゴンからなる複雑な3次元空間が構築されており、ユーザはその3次元空間の中を自由に行動できるようになっている。

一般に、ゲームで用いられているような複雑な3次元空間を構築するには多大なコストが必要となり、容易に構築することはできない。したがって、ユーザは3次元アートの会社やゲーム会社などの専門家が構築した3次元空間を体験するのみで、自らがそのような3次元空間

を構築することはほとんどありえない。また、インターネット上で3次元空間を構築するためにVRML(Virtual Reality Modeling Language)のような仮想空間記述言語がよく利用されているが、できあがる仮想空間はリアリティの低い空間であることが多く、ユーザに大きな没入感を与えるような空間からは程遠い。

しかし一般ユーザであっても、リアルな3次元空間を構築したいという要望が高まっている。例えば、ある店舗の経営者がインターネット通販を始めるために、サイバーモールに参加する場合や博物館や美術館をインターネットを通して世界中の人々に紹介したい場合などはその典型である。

そこで筆者らは、デジタルカメラで撮影した写真をもとに、容易に3次元空間を構築する手法IBNR(Image Based Non-Rendering)を提案している[5]。IBNRを用いることで、上に挙げた仮想店舗や仮想博物館、仮想美術館などをWWW上で容易に構築できる。本稿ではIBNRをマルチユーザ化することにより、インタラ

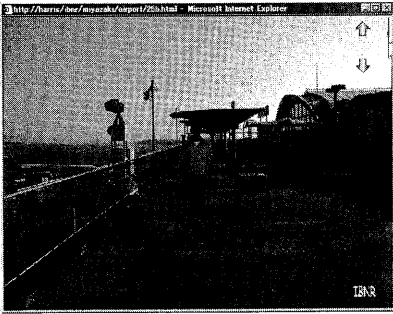


図 1: IBNR の表示例

クティブなシステムをWWW上で構築するための基盤となる共有擬似3次元空間を実現する。

以下、2章でIBNRについて説明し、3章でマルチユーザIBNRについて説明する。4章でマルチユーザIBNRシステムの設計と実装について述べ、5章で本システムの考察を行う。最後に6章において本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2 IBNR

実写画像は現実空間の様子を詳細に記録した、非常に情報量の豊富なコンテンツである。また、近年のデジタルカメラやデジタルビデオなどデジタル入力機器の普及に伴い、実写画像をデジタルデータとして容易に取得できるようになってきた。このような点に注目して、筆者らの提案するIBNRでは、実写画像を背景とした擬似3次元空間を構築している。

IBNRの表示例を図1に示す。風景を撮影した静止画の背景にユーザの操作するアバタの静止画を合成している。ユーザの操作に応じて、アバタの画像の表示サイズや表示位置を変更することで、静止画における奥行き感を表現し、擬似的に3次元空間を構築している。例えば、何度か前進キー（例えば‘t’）を入力するとアバタの画像を拡大し、適切な位置へ移動させることで、アバタが前進したように見せる。進行方向を変更したい場合には、回転キー（例えば‘f’）を入力すると、アバタの画像が切り替わり、前進キーの入力による進行方向が切り替わる。アバタが移動を繰り返す、ある位置まで移動すると他の視点から撮影した画像を背景とするシーンに切り替わる。このシーン切り替えによって空間的な広がり表現している。各シーンの右上部に表示される矢印は、その方向に他のシーンへのリンクが設定されていることを示している。図1では、上向き、下向きの矢印が表示されているので、奥、手前の2方向にアバタを進めれば他のシーンへと切り替わる。

さらに筆者らは、このようなシーンを作成するためのツールをこれまでに実装してきており[6, 7]、各背景においてアバタの移動できる領域である床領域とシーン間のリンク関係などの設定をドローツールのような感覚で行え、擬似3次元空間を容易に構築できる。

3 マルチユーザIBNR

IBNRをマルチユーザ化することにより、WWW上でのコミュニケーションシステムとして利用できる。また、マルチユーザIBNRを拡張して、サイバーモールの仮想店舗や仮想博物館などのWebアプリケーションシステムを構築することも可能である。本章では、マルチユーザIBNRについて説明する。

3.1 コミュニケーションシステムとしてのマルチユーザIBNR

通常のコミュニケーションはさまざまな要素が複雑に絡み合っており成り立っている[2]。例えば、会話に対する相手の関心度は、表情やジェスチャ、視線、声色などから判断することができ、言葉によるメッセージ以外の情報のやり取りが実際のコミュニケーションでは行われている。また、公園のベンチでする会話と満員電車の中でする会話の内容が異なるように、コミュニケーションを行う場所はその内容に影響を与える[3]。これらのことからコミュニケーションシステムを構築する際には、コミュニケーションに用いられるどの要素を重視するかを明確にする必要がある。

コミュニケーションにおいて、人間同士の距離も重要な要素となる[3]。相手のことを深く理解したり、会話の内容を深く煮詰めたりする場合には、できるだけ近い距離で相手と対面して会話するのが望ましい。しかし、現代社会において、コミュニケーションを行いたい相手が遠隔地におり、直接会って会話することが困難な場合も多い。そのため、コミュニケーション支援システムでは、人と人との物理的距離を排除することも重要な着眼点といえる。

今日、遠隔地にいる人々とコミュニケーションをとる際、最も手軽な手段は電話である。電話では相手が遠隔地にいる場合でも、声が近く聞こえコミュニケーションが行えることから物理的距離の問題を解決している。しかし、電話では対面コミュニケーションほど相手の存在感はなく、言葉以外による情報の伝達も実現されていない。相手の顔が見えないために、相手が何を考えているのかが分からず、会話がやり辛くなるなどの問題が生じることがある。さらに電話によるコミュニケーションは、基本的に1対1のコミュニケーションであり、不特定多数の人々との会話の実現できない。

これに対して、IBNRをマルチユーザ化することにより、仮想空間を利用したコミュニケーション支援システムのように、計算機上に構築した3次元空間をコミュニケーションの場として人々に提供できる。ユーザはインターネット等を通してこの3次元空間にアクセスし、同じ空間にアクセスしている他のユーザとコミュニケーションが行える。相手のアバタを目の前にしてコミュニケーションが行えることから、相手の存在感も強く対面コミュニケーションに近いコミュニケーションの実現が期待できる。言葉以外のものから得られる情報に関しても、ユーザの顔や全身を撮影したビ

デオ画像をアバタに利用することで得られるようになる。電話とは異なり、多対多のコミュニケーションが実現できる。

特に、風景写真を利用して構築した空間でコミュニケーションを実現した場合、以下のような利用方法が考えられる。

- 相手にリラックスして会話してもらいたいときにはレストランや開放感のある広々とした草原のシーンで会話する。
- ロマンチックな雰囲気や恋人と会話したい場合には、夕暮れの海辺を選ぶ。
- 重要な話し合いは、会議室で行う。
- 人に聞かれたくない内容の話をする場所には、人気がない路地裏を選ぶ。

このようにユーザの心理状態に応じて背景を選択し、リアルな場所の雰囲気の中でコミュニケーションが可能となる。

他にも、建物の前で会話していれば、その建物自身についての会話が始まったり、この建物が立つ前には、どのような感じであったのかなど、場所が話題を提供することも期待できる。気に入った場所にいれば、同じ感性をもつ人々が集まってきて、偶然の出会いが生じる可能性もある。

3.2 Web アプリケーションシステムとしてのマルチユーザ IBNR

IBNR は、リアルな仮想空間を簡易に構築する手法として有効である。構築できる擬似3次元空間は視点固定されているために、その応用分野は観光案内や建築物紹介などの比較的自由的な視点変更を必要としないものに限定されるが、IBNR をマルチユーザ化することでより柔軟な Web アプリケーションが構築できる。

例えば、IBNR を用いると次のような仮想店舗を容易に構築できる。店内の写真をデジタルカメラで撮影し擬似3次元空間を構築する。商品の陳列棚の前にアバタが来ると、商品の詳細情報を記したページが表示されるようにリンクを設定しておく。利用者が気に入れば、商品購入フォームに必要事項を記入してもらい商品の注文を受ける。このような仮想店舗の集まるサイバーモールでは、実写画像を通してユーザに店の雰囲気が良く伝わり、実際のショッピングのように店を見た様子で自分の欲しい商品がありそうかどうか予想できる。このサイバーモールをマルチユーザ化することにより、全てのユーザが自分の写真をアバタに利用していれば、店に入っている客の姿から、店に置かれている商品がどのような年齢層を対象としているのかが分かったり、店員アバタから商品の説明を受けることもでき、より実際の店舗に近い仮想店舗が構築できる。

仮想博物館も IBNR で構築するには、先に述べた仮想店舗のように展示物の前にアバタが来ると、展示物に関する詳細な情報を記したページを表示するようになる。実写画像を利用して構築した博物館は、例えばその建物の古さから博物館自体の歴史をユーザに

感じさせたり、博物館の雰囲気を伝えることが可能である。さらにマルチユーザの仮想博物館では、学芸員アバタの説明を受けたり、博物館にいる他のユーザとの議論を通して、展示物に対するより深い理解が期待できる。他にも、自分の気に入った作品を眺めていると、同じ展示物に興味をもった人との出会いも期待できる。

不動産会社では、売り家の IBNR を構築することで、Web 上で物件の紹介が行える。IBNR では、部屋の隅々までチェックすることは困難であるが、実写画像を利用しているため、実際に物件に行かなければ分からないような、日の当たり具合や窓からの景色などをユーザは知ることができる。物件紹介システムにおいてマルチユーザ化を実現すると、紹介者と購入者との間で実際の物件の様子を見ながら意見の交換ができたり、見学者の数から物件の人気が分かるなどの利点がある。

4 システムの構成

本章ではマルチユーザ IBNR のシステム構成および実装について述べる。

4.1 モジュール構成

これまでの IBNR では、すべての処理をクライアントである Web ブラウザ上で行っていた。IBNR をマルチユーザ化するためには、各ユーザの情報を共有する仕組みが必要となる。そのため、全ユーザのデータを一括して管理する IBNR サーバとシーンを表示する IBNR クライアントで実現する。IBNR サーバでの処理をデータ管理のみに限定しているのは、多数のユーザがアクセスした場合でも、できる限りサーバの負荷を低減するためである。

サーバ、クライアント間でのデータ交換について図 2 に示す。ユーザがアバタを移動させた場合にクライアントからサーバへアバタの位置などのデータが送られる。これに対して、サーバからクライアントへは定期的に全ユーザのアバタ情報が送られ、そのデータをもとに同じシーンに存在するアバタの姿を表示する。以下では、IBNR サーバと IBNR クライアントについて詳しく述べる。

4.1.1 IBNR サーバ

IBNR サーバは、ユーザ登録部、データ更新部、ページ更新部の 3 つのモジュールから構成される。

ユーザ登録部: ユーザのログイン時にクライアントより、ユーザ名、アバタファイルの URL などの初期設定パラメータを受け、ユーザ情報を保存するための前処理を行う。また、ユーザがログアウトした場合の処理も行う。

データ更新部: ユーザがアバタを移動させた場合や他のユーザへのメッセージを入力した場合に、クラ

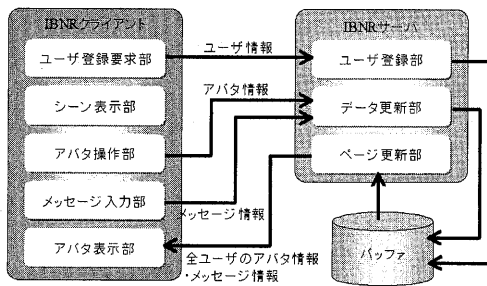


図 2: サーバ、クライアント間のデータ交換

クライアントからのデータ更新要求を受け、データの更新を行う。

ページ更新部: 各クライアントからの定期的にデータ送信要求を受け、全ユーザのデータを送信する。

4.1.2 IBNR クライアント

IBNR クライアントは、ユーザ登録要求部、シーン表示部、アバタ操作部、メッセージ入力部、アバタ表示部の 5 つのモジュールから構成される。

ユーザ登録要求部: ユーザからユーザ名、アバタファイル URL を入力を受け、サーバにデータを送信する。

シーン表示部: まず、シーンの背景、リンクの有無を示す矢印をシーンのパラメータを基に表示する。次に、現在のシーンの前に訪れていたシーン名から現在のシーンにおけるアバタの初期位置、初期方向を決定し、アバタ画像を表示する。

アバタ操作部: ユーザによるキー入力を検出し、入力されたキーに応じて、アバタの表示サイズ、表示位置を決定し、アバタを移動させる。その後、アバタの現在位置と方向をサーバへ送信する。

メッセージ入力部: ユーザからのメッセージ入力を受け、サーバへ送信する。

アバタ表示部: アバタ表示部は、他のユーザが操作するアバタを表示する。定期的にサーバから全ユーザのアバタデータを取得し、まず、そのデータを基に同じシーンに訪れているユーザを特定する。その後、アバタ操作部と同様にアバタ画像の適切なサイズ、位置を計算し、表示する。

4.2 実装

IBNR サーバと IBNR クライアントをそれぞれ ASP(Active Server Pages) と DynamicHTML を用いて実装する。IBNR サーバでは、ユーザ単位でデータの管理を行わなければならない。しかし、Web サーバではユーザを特定する機能を有していない。そこでユーザ単位で処理を分割でき、異なるページにアクセスし

てもデータを保持するセッション管理機能が基本機能として利用できる ASP をサーバの実装に利用する。一方、IBNR クライアントでは、ユーザの操作に応じてアバタの画像サイズや表示位置を変化させるために、Web ページ内のオブジェクトを動的に変化させる必要がある。このようなシステムを WWW 上で構築する場合、HTML では Web ページの内容を変化させる度に、サーバから新たな Web ページをダウンロードしなければならない。ページ内容の変更が頻繁に発生する場合にはシステムのレスポンスが低下してしまう。したがって、IBNR の実装にはこれまで DynamicHTML を用いてきた。IBNR クライアントはこれまで実装してきた DynamicHTML によるシステムを拡張することで実現する。

マルチユーザ IBNR システムは、ユーザ登録を行うログインページとマルチユーザ IBNR を表示するメインページから構成される。メインページはシーンページ、コントロールページ、データ管理ページの 3 つのページからなり、HTML のフレーム機能を用いてインクルードしている。シーンページが IBNR シーンを表示し、コントロールページが他のユーザのアバタを操作する。また、データ管理ページがアバタ情報・メッセージを格納する。コントロールページとデータ管理ページは隠しフレームに読み込み、ユーザからは見えないようにしている。

ログインページ: ユーザ登録を行うページ。ユーザ登録要求部が、フォームでユーザ名とアバタ画像の URL の入力を受け、それぞれを変数 name、avafile に格納してメインページに送信する。ユーザ独自のアバタを指定することもできる。

メインページ: ASP スクリプトが、Request オブジェクトの QueryString メソッドを用いて HTTP クエリ文字列を取得し、ユーザの登録を行う。

シーンページ: IBNR シーンを表示するページ。シーン表示モジュール、アバタ操作モジュール、メッセージ入力モジュールから構成される。シーン表示モジュールでは背景の表示とリンクを示す矢印の表示を行い、アバタ操作モジュールではユーザのキー入力を検出し、その入力に応じてアバタの表示位置、表示サイズを変更する。その後、データ管理ページにアバタの X 座標と Y 座標、向きをそれぞれ変数 x, y, dir に格納してデータ管理ページに送信する。例えばアバタの座標が (100,200)、アバタが右向きの場合には、DataManagement.asp?x=100&y=200&dir=3 を読み込む。また、メッセージ入力モジュールでは、メッセージ入力画面においてユーザのメッセージ入力を受け、メッセージを画面に吹き出しの形で表示する。吹き出しはアバタに対して左上に表示し、発言後 20 秒で非表示にする。また、メッセージ入力画面において何も入力されなければ吹き出しを非表示にする。アバタ操作モジュールと同様にデータ管理モジュールに、メッセージとメッセージ入力時刻を変数 msg, msgtime に格納して送信する。

コントロールページ: ユーザのアバタ操作は、シーン

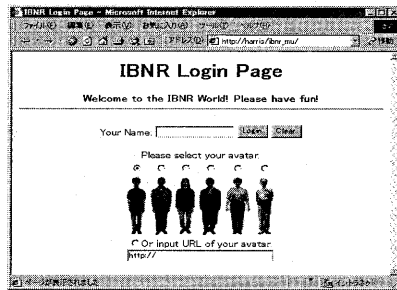
ページのアバタ操作モジュールでクライアント側で処理できるが、他のユーザが操作するアバタはサーバから取得する情報を基に表示しなければならない。前でも述べたとおり、WWWではサーバから情報を取得するにはブラウザにページを読み込まなければならない。リアルタイムに最新状態を反映するには定期的にページをダウンロードしなければならない。コントロールページではHTMLのMETAタグを利用して、1秒毎にページをリロードし、サーバから他のユーザのアバタ情報を取得する。全ユーザのデータは、Applicationオブジェクトを利用して管理しており、コントロールページでは全ユーザのデータを以下のフォーマットで文字列として受信する。

```
¥user;scene;x;y;dir;avafile;msgtime;msg¥user2;...
```

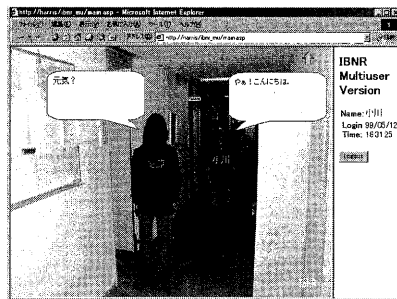
変数 user, scene, x, y, dir, avafile, msgtime, msg は、それぞれログイン名、シーン名、アバタのX座標、アバタのY座標、アバタの向き、アバタファイルのURL、最新メッセージ入力時刻、最新メッセージを示している。各パラメータは';'で連結して1ユーザ分のデータを構成し、さらに各ユーザのデータを'¥'で連結して全ユーザデータとしている。ブラウザでは得た情報を基に、同じシーンに存在するアバタを特定して表示する。頻繁にリロードを行うと画面のチラツキが生じるため、このページは非表示ページにしている。

データ管理ページ: 全ユーザの情報を管理するページ。シーンページから送信されるHTTPクエリ文字列をメインページと同様にRequestオブジェクトのQueryStringメソッドを利用してデータを受信し、データ管理モジュールがデータの更新を行う。データ管理ページに関しても非表示ページにしている。

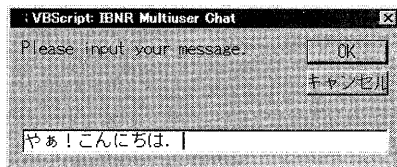
図3にマルチユーザIBNRの画面例を示す。図3(a)のログイン画面では、ログイン名を入力し、利用するアバタを選択する。あらかじめ、6人のアバタを用意している。ウィンドウ下部のテキストボックスで、URLを直接指定して独自のアバタファイルを利用することもできる。ログイン後は図3(b)のメイン画面上で、アバタを用いてウォークスルーする。Webページ上のオブジェクト数を動的に変化させるにはWebページを再度ダウンロードする必要があり、システムのレスポンスが低下するため、1つのシーンに表示できる最大アバタ数を10人と限定し、それ以上のアバタは表示しないようにした。メッセージの入力は、メッセージ入力要求キー(例えば'm')を押すと表示されるメッセージ入力ウィンドウで行う(図3(c))。メッセージを表示する吹き出しはアバタと共に表示するため、異なるシーンにいるユーザからメッセージを見られることはない。



(a) ログイン画面



(b) メイン画面



(c) メッセージ入力画面

図3: マルチユーザIBNRの画面例

5 考察

マルチユーザIBNRを用いて、図4, 5に示すような草原と夕暮れの浜辺を背景とするシーンを構築した。人と人が同じ空間を共有している場合に、場所によって共有の度合いが異なる。まず、都会の路上のシーンで会話するのと比較して、草原のシーンではリラックスして会話できると考えられる。また、夕暮れの浜辺のシーンでは、恋人同士がロマンチックな会話をしやすい。これらは、共有する場所が人の行動を制限しているからである。文献[3]でも、このような共有場面が人と人のコミュニケーションに与える影響について議論されている。

実装したマルチユーザIBNRには、まだ、以下のような問題が残されている。

- 同じシーンにいるユーザのアバタしか見ることができないため、隣のシーンに誰がいるのか分からない。したがって、例えば長い廊下を複数のシーンに分割して擬似3次元空間を構築している場合には、現実空間では見えるはずの廊下の奥にいる



図 4: マルチユーザ IBNR の例: 草原



図 5: マルチユーザ IBNR の例: 夕暮れの浜辺

ユーザの姿が見えず、擬似 3 次元空間内で人を探すことは困難である。

- 同じシーンにいるユーザとしか会話できない、そのため、ある部屋を複数のシーンに分割して、構築した場合には、同じ部屋にいるにもかかわらず、相手と会話できない問題が生じる。
- アバタが静止画であるため、会話におけるユーザの関心度などを表情や仕種などから知ることができない。

擬似 3 次元空間をできる限り現実空間と同じ状況にするには、これらの問題を解決する必要がある。システムでは、全ユーザのデータを一括して管理し、各ユーザ存在するシーンを特定することができるため、今後、隣のシーンにいるユーザのアバタやメッセージを表示できるように拡張することも可能である。

ユーザの表情や仕種の伝達についても、現在 WWW 上でビデオストリームを配信するシステムなどが存在しており、それらのシステムを応用したり、ビデオ画像を利用できるようにシステムを拡張することも考えている。

6 おわりに

本稿では、IBNR をマルチユーザ化することにより、Web 上でインタラクティブなアプリケーションを構築するため基盤となる共有擬似 3 次元空間を実現した。実装したシステムを基にして、サイバーモールや仮想博物館などのアプリケーションを容易に構築できる。

IBNR のデモやツールのダウンロードは、以下の URL

で行える。

<http://www.nishio.ise.eng.osaka-u.ac.jp/IBNR/index.html>
現時点では Microsoft Internet Explorer 4.0 以上でのみ動作する。

今後の課題としては、共有擬似 3 次元空間上でのコミュニケーションをより円滑に行えるようにするためのシステムの拡張や既存の仮想空間データの再利用を目的とした、VRML で記述したデータから IBNR のシーンを生成する VRML コンパイラの実装が挙げられる。また、マルチユーザ IBNR に基づくアプリケーションの構築支援システムの実装が挙げられる。

謝辞

末筆ながら、本研究を進めるにあたって、有益な御助言を頂いた春本要助手、原隆浩助手に衷心より感謝の意を表す。また、貴重な御助言を頂いた宮原伸二氏、中尾太郎氏をはじめ当研究室諸氏に謝意を表す。なお、本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」(プロジェクト番号: JSPS-RFTF97P00501) によっている。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 大坊 郁夫: “しくさのコミュニケーション,” セレクション社会心理学-14, サイエンス社 (1998).
- [2] 黒川 隆夫: “ノンバーバルインタフェース,” ヒューマンコミュニケーション工学シリーズ, オーム社 (1994).
- [3] 松尾 太加志: “コミュニケーションの心理学,” ナカニシヤ出版 (1999).
- [4] Ogawa, T., Sakane, Y., Yanagisawa, Y., Tsukamoto, M., and Nishio, S.: “Design and Implementation of a Communication Support System based on Projection of Real Space on Virtual Space,” in Proc. of 1997 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'97), Vol.1, pp.247-250 (1997).
- [5] 小川 剛史, 中村 聡史, 坂根 裕, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: “静止画を用いた三次元空間のブラウジング手法について,” 情報処理学会研究報告 (データベースシステム研究会 98-DBS-116(2)), Vol.98, No.58, pp.217-224 (1998).
- [6] 小川 剛史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: “静止画を用いた擬似三次元空間構築ツールの設計と実装,” インタラクティブシステムとソフトウェア IV, 日本ソフトウェア科学会, p.193 (1998)[ポスター発表, 概要のみ掲載].
- [7] 小川 剛史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: “静止画を用いた擬似三次元空間構築ツール,” 第 10 回データ工学ワークショップ (DEWS99) 論文集 (1999).
- [8] 菅原 昌平, 清末 徳之, 山名 岳志, 加藤 洋一, 田尻 哲男: “多人数参加型環境を実現した三次元サイバースペース～インタースペース TM のアーキテクチャ,” 日本バーチャリアリティ学会研究報告, Vol.1, No.1, pp.43-48 (1997).