

3次元直接操作インタフェース

—仮想空間での室内配置支援のための試作—

吉村 哲也 中村 康浩 杉浦雅貴
松下電器産業株式会社 情報通信東京研究所

仮想的な室内でユーザが直接操作感の下、家具などの立体を配置できるインタフェースシステムを試作した。本報告ではその試作システムの概要と試作結果について述べる。本試作システムは3次元デジタイザをユーザの操作デバイスとして採用し、次の特徴を持つ。(1)3次元デジタイザと連動するビームカーソルによる容易な3次元指示方式、(2)家具を持ち上げ移動させ下ろすという日常的な配置感覚で家具を移動できるように導入した配置のための移動シミュレーション機能、及び、(3)直接操作感を実現するための高速な応答性である。

DEVELOPMENT OF
A 3-D DIRECT MANIPULATION INTERFACE
A Prototype For Interior Layout Design With Kinetic Simulation In Virtual Space

Tetsuya Yoshimura Yasuhiro Nakamura Masataka Sugiura
TOKYO INFORMATION AND COMMUNICATIONS RESEARCH LABORATORY
MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD
3-10-1, Higashimita, Tama-Ku, Kawasaki 214, Japan

We developed a prototype system for interior layout design in virtual space with 3-D Direct Manipulation Interface. In this paper, we discuss about the prototype and the results. The prototype has a 3-D digitizer as user's input device, and three features:

(1) A beam cursor.

This cursor is controlled by 3-D digitizer and emitting beam, with which user can easily select objects in virtual space.

(2) Kinetic simulation for user layout task.

Users usually pick up, move, and put objects to layout. In our system with the kinetic simulation, user can layout in the same manner.

(3) High response.

To put directness into interface, we developed high speed processing.

1 はじめに

近年、リアルタイムに3次元コンピュータグラフィックス映像を作り出す技術の進歩が著しい。この技術を利用し、仮想現実空間、3次元CAD、データ解析のための視覚化（データビジュアライザ）などのアプリケーション開発が盛んである。

しかし、先進的な仮想現実空間のシステムにおいても、まだ直接操作性は不十分であり、使い易いヒューマンインタフェースの実現が待たれる。

我々は、グラフィカルワークステーション（以後GWSと略す）に表示される仮想的な3次元空間内で、目的を持ったユーザが作業できる直接操作インタフェース実現を目指し研究を行なっている。[1]

直接操作性が不十分であることの主な原因としては以下のものが考えられる。

(1) 3次元空間での指示の問題

平面上を走査する従来のマウスを使用しているシステムでは、ユーザは3次元空間を直接的に指定することは困難である。

(2) 立体配置の問題

立体同志の重なりを排除する処理を行っているシステムが少なく、立体同士が仮想世界では擦り抜けてしまい、現実空間に近い立体配置ができない。

(3) 応答性の問題

2次元の直接操作インタフェースに比較し、3次元仮想世界では次元が増えた分、データ量と処理コストが増加している。そのため、直接操作感を実現する高速な応答性が得られない。

我々は室内レイアウト作成支援の仕事を実例に、これらの課題を解決し、良好な3次元直接操作インタフェースを実現するシステムを試作した。

本稿では、試作システムの概要を述べ、その後、試作結果について報告する。

2 試作システムの概要

試作システムは図1に示すような仮想的な室内の家具類レイアウトを、ユーザが直接操作感をもって行えることを目的としている。

試作システムの特徴は次の3点である。

(1) 3次元指示方式

(2) 配置のための移動シミュレーション機能

(3) 応答性の実現

以下、システムの構成と特徴について説明する。

2.1 システム構成

使用したハードウェアは、図2に示す通りGWSと3次元デジタイザから構成される。仕様は図中に示す通りである。

試作システムの内部は図3に示すように

(1)仮想世界、(2)マネージメント処理部、(3)入出力デバイス、(4)形状データベースから構成される。以下、それぞれについて説明する。

(1)仮想世界

ユーザが直接操作により作業を行う仮想的な3次元世界のことを仮想世界と呼ぶ。

仮想世界の中には下に述べる(a)配置立体、(b)道具、(c)環境、(d)空間が含まれている。

試作システムは(a)配置立体や(b)道具の直接操作性を提供するだけでなく(c)環境と(d)空間に対する操作にも直接操作性を提供している。詳細は文献[1]を参照されたい。

(a)配置立体

室内にレイアウトする対象であり、テーブル、棚、椅子、床、壁、積木、時計をデフォルトとして用意した。

また、後に述べる(4)形状データベースから読み込んだ形状も配置立体として扱う。

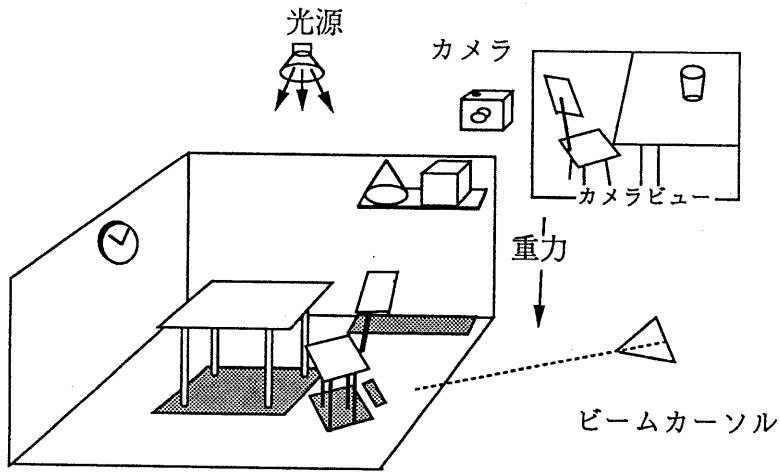


図1 仮想世界

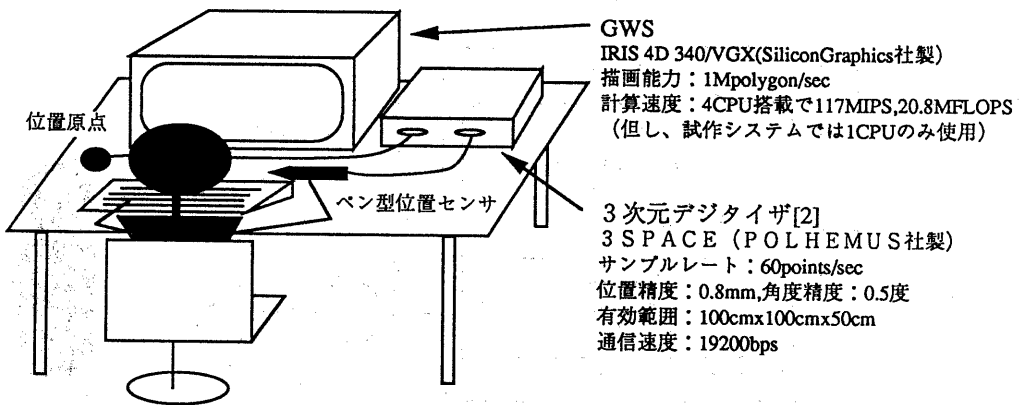


図2 ハードウェア構成

(b) 道具

仮想世界内での操作を行うための道具類であり、以下の3種を用意している。

ビームカーソル

操作デバイス（図2中のペン型位置センサ）である3スペースに連動し仮想世界の中を移動し、立体や他の道具の選択移動に用いる基本的な道具である。

カメラ

室内の様子をカメラの位置方向から見た映像としてカメラビューのwindowに表示する。位置と方向は直接操作により設定できる。

ライト

環境の光源に対応し、位置と方向が直接操作により設定できる。

(c) 環境

仮想世界内で配置の仕事を容易にする目的で導入した環境である。

重力

日常、物体を持ち上げ落せば、ものにぶつかり安定な状態で停止する。試作システムではこの動きをシミュレートする機能（配置のための移動シミュレーション、詳細は後述）を用意した。

影

立体に上方から光線を当てた時、床にできる影である。この影により、立体間の位置関係をユーザに自然な形で提示できる。

光源

仮想世界に光の効果を加味した映像を作り出ため光源機能である。光源効果を加えた映像はGWSの描画エンジンで作成している。

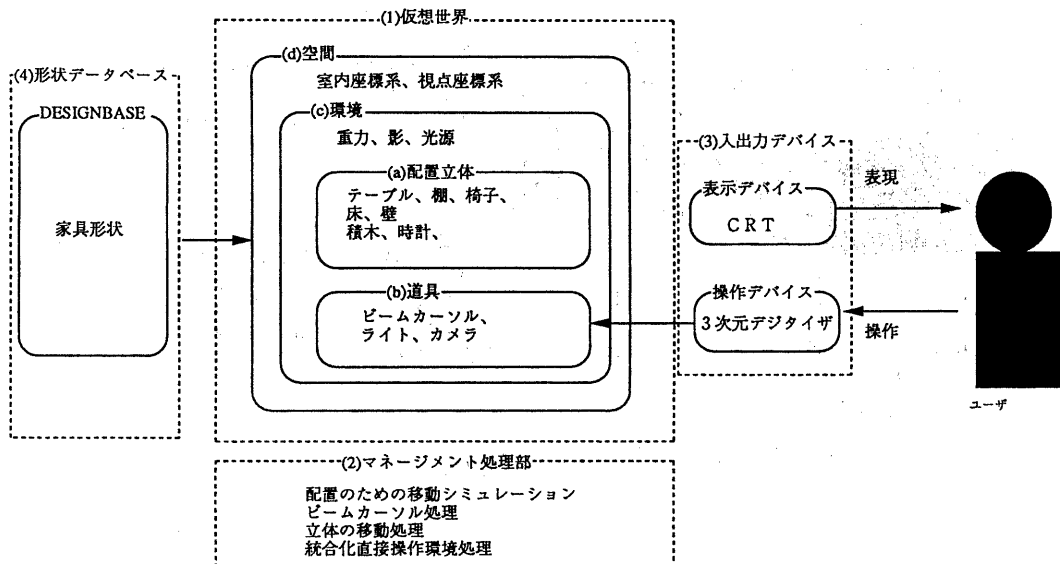


図3 内部構成

(d)空間

試作システムでは仮想世界内の室内座標系とユーザの視点座標系を任意に設定できる。

(2)マネージメント処理部

仮想世界の管理と、環境と道具の機能実現を行っている。

ここでは以下の処理を行っている。

- ・配置のための移動シミュレーション処理
- ・配置立体及び道具の移動処理
- ・統合化直接操作環境処理（環境である光源を立体であるライトと連結し、環境要素を直接操作できるようにするための処理。詳細は文献[1]参照のこと）

など

(3)入出力デバイス

ユーザの操作する操作デバイスの移動量などのデータを取り込み、また、仮想世界をユーザに提示する。

(4)形状データベース

外部の世界と仮想世界を結びつける形状データベースであり、試作システムでは、DESIGNBASE（リコー社製）でデザインした家具類の形状が仮想世界に表現できる。

2. 2 3次元指示方式

試作システムでは、3次元デジタルのペン型センサ（図2ハードウェア参照）をユーザの操作デバイスとして採用した。この3次元デジタルはデータグローブなどの他の3次元データを入力するデバイスに比較し、シンプルで、精度とスピードに優れている。

この図4に示すように3次元デジタルのペン型センサと次の特徴を持つビームカーソルが連動する。

ビームカーソルの位置方向

ペン型センサの3次元の位置と方向をビームカーソルのそれと対応づけ、3次元的な直接操作でビームカーソルを移動できるようにした。

ビームの機能

カーソルからレーザー光線（ビーム）のような直線を出し、立体の表面にビームが当たるとそこで光線は止まる。このビームにより対象選択を行う。このビームの機能により次の効果が生まれ、選択が容易になった。

- ・操作デバイスを手元で回転させるだけで遠くの立体も簡単に選択できる。
- ・ビームの先端部分が止まっている立体が選択できる対象であることから、選択できる対象の把握が容易になった。

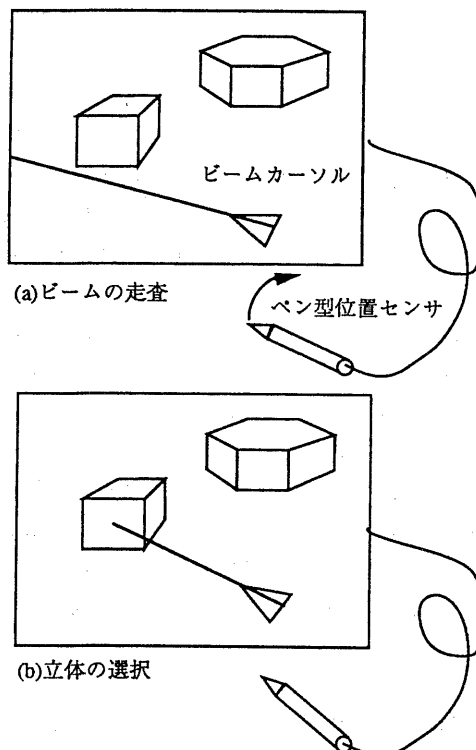


図4 ビームカーソル

2. 3 配置のための移動シミュレーション

ユーザが、家具類を持ち上げ移動させ下ろすという日常のかつ直接的な感覚で仮想世界でも配置の仕事を行えるようにするには、日常的な立体の落下過程をシミュレートすることが効果的である。

従来の仮想現実等のシステムでもデータグローブでつかんでいたものを放すと落下する機能はあったが、例えば、図5 (a)にあるように中途半端な状況で停止するものが多い。これでは、床の上に家具を配置することなどが簡単にできない。これは、計算コストなどの関係で、静的な立体間の干渉チェック処理を採用していたためである。

試作システムでは図5 (b)に示すように立体を放すと重力に従い落下し、他のものに接触すれば安定な状態まで移動し停止する機能を環境として仮想世界に導入した。試作システムでは、従来の干渉チェック処理に替え、移動軌道を考慮した衝突チェック処理を採用し、現実に近いシミュレーションを実現した。次節でこの処理の高速化の手法について述べる。

2. 4 移動シミュレーションの高速化処理

移動シミュレーションを自然にかつ高速に行うために以下の手法を取った。

(1) 衝突しない立体の排除

立体を、これを包む外接球で代表し、最初に、それら間での衝突チェックを行うことにより、衝突可能性のない立体を高速に排除し、時間のかかる衝突チェックの対象を減らした。

(2) 移動の単純化

立体の移動を、軌道に沿った平行移動と、姿勢の変化に対応する回転移動に分け、それぞれに対して処理することで計算コストをおさえた。

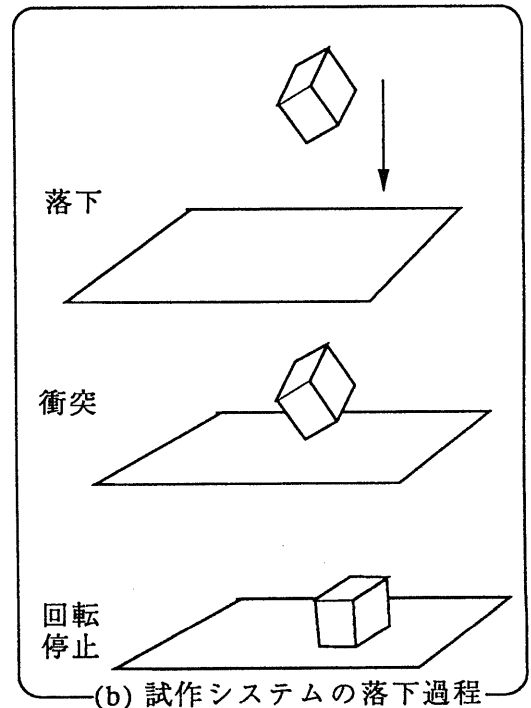
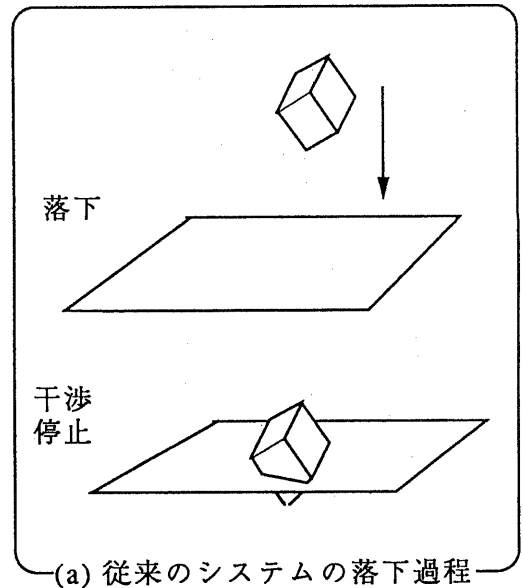


図5 配置のための移動シミュレーション

3 試作システムの評価

3.1 操作性

図6は試作システムを使って立体の配置を行う作業の例である。この簡単な例からも試作システムの優れた直接操作性を評価することができた。

(1) 選択

ビームカーソルから出ている光線を移動させたい立体に当て、ボタンを押すことで、立体を選択することができる。(図6-a)

(2) 移動

選択された立体は次にボタンが押されるまで、立体がビームにより串座しされたような状態で移動する。(図6-b)

(3) 落下配置

移動後、ボタンを押すことでビームカーソルと立体の連動は止まり、解放される。解放時に、落下のボタンを押すことで、解放後すぐに重力環境に従い落下移動が起こる。(図6-c-1、図6-c-2)

(4) 確認

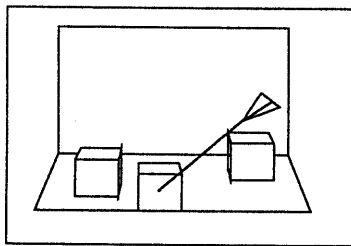
空間を左右に水平回転させ、配置を確認する。(図6-d)

3.2 家具の配置

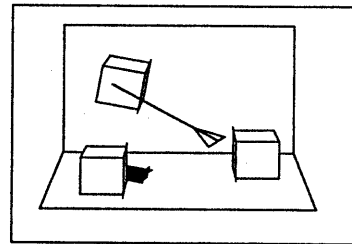
試作システムを用いて、家具類を配置する作業を行い、家具類が直接操作感の下、配置できることを確認した。試作システムの試用によって、以下の結果を得た。

(a)家具類を床、テーブル、棚などに配置する際、影が役に立っている。CRT画面に表示されている3次元空間の映像だけからでは、立体の前後関係が正確に認識できない。落下配置させる立体の影が下の立体にかかっていることで、落下させる位置をユーザは制御できる。

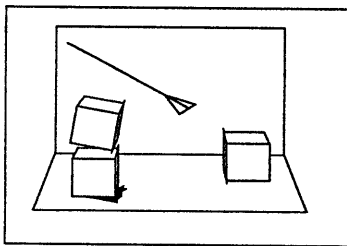
(b)重力方向を下方だけでなく、ビームカーソルのビームで指定できるようにした。これにより、壁に時計を取り付ける作業ができるようになった。



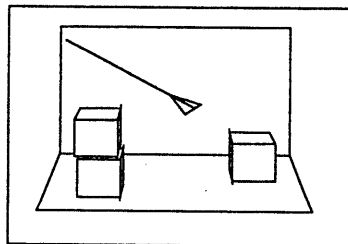
a 選択：ビームが照射されているものを選択できる



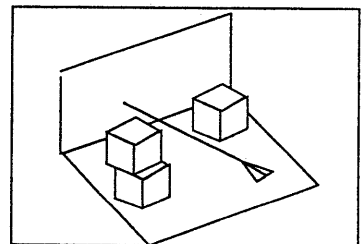
b 移動：ビームカーソルと立体の関係が固定され移動する。



c-1 落下配置 (落下途中)



c-2 落下配置 (落下終了)



d 確認：床の水平回転により配置を確認する。

図6 操作性

(c)中がくぼんでいるコップを逆さに円錐の先などの突起にはめることができる。

(d)テーブルなどの端に迫り出すように立体を置けばバランスを崩し、縁から転げ落ちる。

(e)20面体などの丸い立体を傾いた場所に置けば転がる。

また、試作システムで導入した環境（重力、影、光源）は、必ずしも現実世界を忠実にシミュレートするものである必要はない。例えば、壁にものを取りつける作業に対しては、壁に向かう方向の重力を設定するのが効果的である。試作システムの影も配置のための補助図形であり、光源の位置方向とは無関係であるがなら支障はない。

すなわち、試作システムで導入した環境は正確に実環境をシミュレートするものではなく、直接操作のために効果的と考えられる環境を用意した。いわば、この環境は環境のメタファと呼べるものである。

3. 3 処理速度

以下の実験条件の下、前述の図6に示した(a)選択、(b)移動、(c)落下配置、(d)確認に分けて、表示リフレッシュのサイクル時間を計測した。その結果を表1に示す。

実験条件

- ・仮想世界内に存在する全面数は364面。
- ・配置立体は30面で構成される椅子。
- ・作業内容は椅子を床の上に配置する作業。
- ・光源処理は行わない。

表1 処理サイクル時間

| | | |
|----------|---|--------|
| (a) 選択 | : | 約 90ms |
| (b) 移動 | : | 約 90ms |
| (c) 落下配置 | | |
| 非接触状況 | : | 約100ms |
| 接触状況 | : | 約250ms |
| (d) 確認 | : | 約120ms |

なお、表中、処理サイクル時間とは、3次元デジタイザから位置データを取り、マネジメント処理を行い表示を更新する時間である。

また、(c)の非接触状況とは、落下移動立体が他の静止立体と交錯していない状況であり、接触状況とは、落下移動立体が他の静止立体のため回転や滑り移動を行っている状況である。

文献[3]によれば、仮想空間で作業を行うためには毎秒5フレームの更新が必要である。試作システムにおいて、移動シミュレーションで250msかかる部分があるが概ねこの条件は満たされている。

なお、椅子を床の上に落下配置する場合、通常で落下開始から停止まで約4秒であった。

4 まとめ

仮想的な室内の家具類の配置ができる直接操作インタフェースを試作した。この試作システムの概要について述べた。

このシステムの特徴は次の3点である。

- (1)直接操作のための3次元指示方式
- (2)配置のための移動シミュレーション
- (3)直接操作感を実現する応答性

今後は、この試作システムの問題点を洗いだし、改善を行う予定である。

参考文献

- [1]中村康浩、吉村哲也、杉浦雅貴、"3次元直接操作インタフェースの実現"情報処理学会グラフィックスとCAD研究会報告、1992
- [2]POLHEMUS Co., "3space USER'S MANUAL", Polhemus A Kaiser Aerospace & Electronic s Company, 1987
- [3]佐藤隆宣、"運動視差表示遅れによる観察者のタスクへの影響"計測自動制御学会ヒューマン・コンピュータ第6会ヒューマン・コンピュータ・システム