ヒューマンインタフェース 84－1
情 報 メ デ ィ ア 35－1
（1999．8．20）

仮想空間上のカーソルへの付帯表現によるユーザモデル

古屋利光　坂本忠明　今宮淳美

山梨大学コンピュータメディア工学科
〒400-8511　甲府市武田 4-3-11

本論文では，三次元仮想空間における 3D カーソルの表現に注目したユーザの操作への影響を分析した結果を述べる．視点は，Leach らによって提案された三次元 GUI 上の 3D カーソルにクロスヘアとパラフィンの付帯表現を加えることにある．このための実験環境の作成と，実施による分析から，ユーザの認知的負荷の軽減や操作性の向上が図れることを検証した．

User model in additional representation of 3D cursor for virtual space

Furuya Toshimitsu Tadaaki Skamoto　Atsumi Imamiya

Department of Computer Science and Media Engineering
Yamanashi University
Takeda 4-3-11, Kofu, Japan, 400-8511

In this paper, we describe influence of user operation on the representation of accompanying with 3D cursor for three-dimensional virtual space. We know the 3D cursor in Leach's three dimensions GUI environment. We added the representation of paraffin and the cross-hair to it. In results, we obtained the easy operation and the reduction of the acknowledgment load to the user.

1 はじめに

三次元ＧＵＩの構成要素のひとつとして，三次元仮想空間上の定位（現在どこに注目しているかの位置及び，今後どの方向に進むかの進行方向）をユーザに把握させるために立体的なカーソル（３Ｄカーソル）の提供がある[1]．

３Ｄカーソルを用いることによって，ユーザは三次元仮想空間上でより直感的な操作感を得ることができ，認知的負荷も軽減できる．また，ネットワーク上のコンピュータを仲介とするコラボレーション環境では，各ユーザの注視点をカーソルで表現できる[2]．しかし，ユーザが容易に空間定位が把握できる立体表現であるかどうかを検討する研究は見られない．

本論文では，三次元仮想空間において，空間定位の把握のために３Ｄカーソルに情報を付加し，その表現の違いがユーザの操作にどのように影響するかを実験，分析する．

2 関連研究

Leach らは２ＤＧＵＩを上回る直感的な操作感を提供する３ＤＧＵＩを提唱し，その要素として３Ｄカーソル，３Ｄウインドウマネージャ，３Ｄポインティングデバイス等を挙げている[1]．３Ｄカーソルの提供で，３Ｄオブジェクトに対するより直感的なインタラクションを実現し，３Ｄウインドウマネージャの提供で，２Ｄワークスペースを効率的に管理することによって window thrashing[3]の問題を解決している．また，入力装置（ポインティングデバイス）には，３Ｄのデータ入力をリアルタイムに扱えるスペースボースを使用し，直感的な３Ｄデータ入力を実現した．

Leach らの３ＤＧＵＩ要素のプロトタイプは，ユーザビリティテストによって，その操作性がユーザのサンンルグルーンータ意デーィア入れられたことが確認されている．

彼らの課題として，では，ＵＩーおアるウインドウマにージャ，るーソルカソのルのの供現，２はとでは入力したイユのザ操作用，ではウインドウマにージャとではるーソルの統合がをげられている．

我々は，Le. chLらのe a のc のh らとして，てはるーソルのよって提間デ位置をユーザが直感デークロスきていると，またではるーソルのラ現法ーついての検えがこ分スあると一ついて実目した．

3 カーソルへの付帯表現（位置情報の視覚化）

LLでは，ＵＩ環境ーおアるではウインドウマにージャ，ではるーソルの使用を考えた場合，ではるーソルの操的ーおいてユーザはるーソルの位置をクロしーくい場合がある．これは，従来の２はるーソル位置のルのがＸＹ性（が下，左右）スあるのーr して，ではるーソルスは，さらーｔ性（奥ｎき）のルのが　ｏるためスある．

LL従来の２は，ＵＩーおいては，オブジェｉｄの重なｇがｈ覚デーラ現されている．このオブジェｉｄのｓ重なｇ”をｓ奥ｎき”と解釈すれば，２は，ＵＩーおいても情Ｇがでってラ現されているといえＵＩスある．しとし，実要のとこ素２は，ＵＩの重なｇ（または奥ｎき）は2.5ってスあｇ，距(　の概念がい置しない．どちらのウインドウが手前・奥ーあるのとがラ現されるのみス，どれだア手前･奥一位置しているとはラ現されていない．では，ＵＩーおアるではるーソル等のオブジェｉｄは実要ーでってラ現されて，オブジェｉｄ間の重なｇのラ現ー　えて，Ｕの重な）たオブジェｉｄ間の距(　もラ現されている．

LLしとし，しィユンレイ平面とら与えられる情Ｇは本質的に２次元であるため，２次元平面上に擬似的に３次元仮想空間を展開することになる．そのため，ユーザが直感的に３Ｄカーソルの空間定位を把握することは難しいと考えられる．

３Ｄカーソルの空間定位を示すために３次元仮想空間内での位置関係を可視化する方法が考えられる．仮想空間内での位置関係を可視化することにより，ユーザは３Ｄカーソルの空間定位を把握できる．本論文では３Ｄカーソルの空間定位を把握しやすくするために３Ｄカーソルの位置情報を可視化し，その付帯情報表現を表示することにより３Ｄカーソルの空間定位の把握を容易にさせる．

3.1 クロスヘア（分割型）

従来の 2.5DGUIのグラフィックアプリケーション等で用いられてきたクロスヘアカーソルを利用する．3Dカーソルの重心を原点とし，仮想空間内の上下および左右の各壁面に接触する地点まで直線を描く表現である（図1）．

ユーザは，各壁面の接触地点（4つ）を見ることで仮想空間上の位置関係を把握する．空間定位の把握には，4つの接触点のうち，少なくとも2点をユーザは見つけなければならないことから分割型の付帯表現と定義する．各軸によって縦・横の座標が把握でき，仮想空間中のオブジェクトとの交点から奥行きが把握できると考えられる．

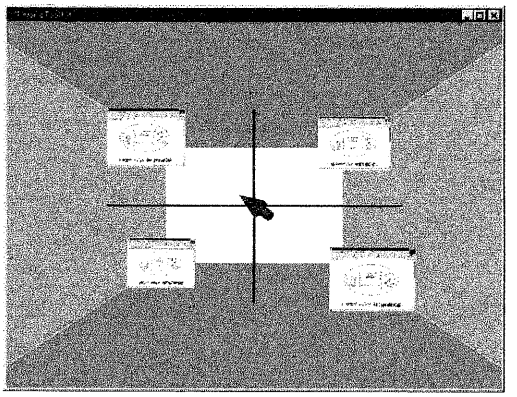
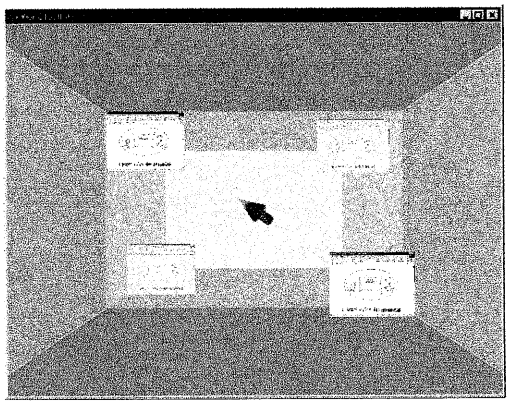


図1：クロスヘアーカーソル

3.2 パラフィン（統合型）

3Dカーソルの重心を通るディスプレイ平面と平行で半透明な平面のパラフィンを表示する（図2）．

平面の表示から，仮想空間を平面で切るので，3次元仮想空間を平面（従来の2Dカーソルの操作感覚）＋奥行きの感覚でとらえることがでる．ユーザは上下左右いずれかの壁面と反透明平面との交わりを見ることで，クロスヘアカーソルと同様に空間定位を把握できる．いずれかの交わりのーザのーンプルグにこと的らけ合れらたことがと定義さにているらと．的らの仮想空しルいる，3にら，のDGU仮想空しルいる Iお来らイDカージルらカソ感覚）＋奥行2ら感覚，とらえにことデ，2にと考えらスにて

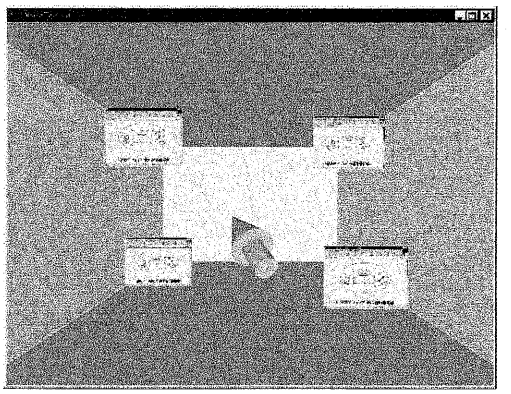


交イ：利用フィンカージル

4 実験

4.1 実験アプリケーション

DGU仮想空しとDDカージルら実装はは World Tool Kit とC言語ル使 したてDGU仮想空しはのユー視らソ点領次ル元空とがら間位置を元，ユ直の感るら把握はで的ーきかま表現ル法したとが，ユに I交D)てこら間位置をはつつらウイン分ウデあ置してユにてつつらウイン分ウら大2さは同考，のえスぞス操は作してくにて従来者は目軸とさにウイン分ウル（上さにた下はDDカージルルカソさにてDDカージルは仮想空しをル左右は）動さにことデ，2にて



交D：実来 DGU仮想空し

4.2 入力装置

三GU仮想空し奥らカージルルカソさにこと的らの従来者らカソ行荷ルわめさオにブェデユにて

えらた下は 外重的 らら覚究と同様はの三GUデータをリアルタイムにコンピュータに入力できるスペースボールを使用する.

4.3 実験タスク

被験者はスペースボールを使って3Dカーソルを動かし，3次元仮想空間上の4種類のウインドウ（右上，右下，左上，左下に配置）のうちひとつを選択する課題を実行する．カーソルの初期位置は画面中央である．左上，右下のウインドウは初期位置のカーソルより手前に配置してあり，左下，右上のウインドウは初期位置のカーソルより奥に配置してある．実験者は実験時に選択するウインドウを指示する．被験者は指示されたウインドウに3Dカーソルを移動させ，3Dカーソルがウインドウと重なった時点で，被験者がスペースボールのボタンを押して，課題を終了する．

なお，実験する前に，被験者がスペースボール操作に慣れるために10分間の操作訓練をおこなわせる．被験者がスペースボールの操作に慣れたと判断するまで，さらに3分間の操作訓練を繰り返す．10分間内に被験者が主観的にスペースボールの操作に慣れたと判断した場合，その時点で操作訓練終了とする．操作訓練においては図3の実験環境に4つのウインドウのない3次元仮想空間を用いる．実験及びスペースボールの操作訓練時，利き手でスペースボールを操作できるように利き手側（右利きならば右側）に配置する．

4.4 記録データ

3Dカーソルへの付帯表現による操作時間の違いを調べるために，操作時間を測定，記録する．被験者がスペースボールに力を加えた時点を操作開始として計測，スペースボール上のボタンを押した時点がタスク終了時となる．

また，3Dカーソルへの付帯表現による操作距離の違いをみるために操作軌跡を記録する．1フレーム毎にXYZ軸についての移動量（差分）を記録し，カーソル移動距離を計算する．さらに，タスク終了のボタンを押した時点で実験者が指示したウインドウと3Dカーソルが接触しているか否かを記録し，被験者の操作過程や分析結果裏付けのため口述記録を採る．

4.5 実験手順

スペースボール操作訓練後に本実験をおこなう．最初に付帯表現のないカーソルについて，右上，右下，左下，左上の順にウインドウの選択をするように被験者に指示する．続いてクロスヘアカーうち，ついてを同ることからウ合ンのウこ付帯表現定すす．最面，示仮想空ン間でうち，ついてを同る，実3 表次元(う．3種Dこ間でうちカー，ついてソルウ合ンのウこ付帯表現定すすこら操作被3 者）合奥 行きルこウ合ンのウ付帯えがク表次元(う．(次操実3 れこ図想表口述フ録ン てフ録すす.

4.6 被験者

被3 者） 行実人こには生次よびには使生ら用した利き 行ソ人操左利きき人ら用す.

5 分析

仮想空間上こウ合ンのウ表付帯すすえがク，次いて操被3 者こえがク実行時間ン間でうち内あり画こフ録中ら操3D間でうち，付帯 た情報カーこ違い，よすユでつウイち表ド配す．置て，操さ時間分析操操さり画分析操操さ時間ン操さり画の関係分析を示す.

5.1 操作時間分析

付帯表現ごとの操作時間をウインドウの配置の違いごとにグループ化する．それら付帯表現ごとのグループ間での，操作時間の違いを分散分析で検討する（表中の単位は秒）．その結果，各付帯表現でのグループ（ウインドウの配置）において，操作時間に差がないことがわかった．次に，ウインドウの配置ごとに操作時間をまとめ，付帯表現ごとにグループ化する．このグループに対しても前述と同様に分散分析で検討する（表1）．全てのウインドウ配置の場合において，操作時間に違いが得られなかった.

5.2 操作距離分析

ここでは，プログラムの描画処理ごとでのXYZ軸方向のそれぞれの差分を2乗し，その和の平方根を操作距離とする．距離の単位は仮想空間の

表1. 操作時間（秒）の基本統計量と分散分析

ウインドウ配置右下の場合

	３Ｄカーソルのみ	クロスヘア	パラフィン
平均	4.4	3.8	4.2
ＳＴＤ	1.7	1.3	2.1

	SS	df	MS	F	検定
条件	3.3	2	1.7	1.4	
個人差	105.1	15	7.0		
残差	35.5	30	1.2		
全体	144.0	47			

大きさ指定の数値と同じである.

$$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

操作時間分析と同様に，グループ化して検討すると，各付帯表現でのグループにおいて，ウインドウ配置別による操作距離に差がないことがわかった．次にウインドウの配置ごとに付帯表現を検討した．すると，右下，右上，左下の場合において操作距離に差があった．前述と同様なＬＳＤ法での適用で操作距離の大小を検討すると，右下，右上，左下の場合；

付帯表現なし＞クロスヘア≒パラフィン

である.

5.3 操作時間と操作距離の関係分析

(1) ウインドウ配置右下の場合

３種類の表現の異なるカーソルそれぞれについて，カーソルの操作距離に対する操作時間を予測する．その結果,

Case 1: 付帯表現なし

Time = 0.022*Distance r2 = 0.891

Case 2: ３Ｄカーソル＋クロスヘア

Time = 0.022*Distance r2 = 0.923

Case 3: ３Ｄカーソル＋パラフィン

Time = 0.026*Distance r2 = 0.867

であった．この式から，単位距離を進む場合に，３Ｄカーソル＋パラフィンが最も時間がかからないということがわかる.

(2) ウインドウ配置右上の場合

ここでは,

Case 1: 付帯表現なし

Time = 0.022*Distance r2 = 0.871

Case 2: ３Ｄカーソル＋クロスヘア

Time = 0.026*Distance r2 = 0.886

Case 3: ３Ｄカーソル＋パラフィン

Time = 0.03*Distance r2 = 0.887

であった．この場合も，単位距離を進む場合に，３Ｄカーソル＋パラフィンが最も時間がかからないことがわかる.

(3) ウインドウ配置左下の場合

ここでは,

Case 1: 付帯表現なし

Time = 0.022*Distance r2 = 0.850

Case 2: ３Ｄカーソル＋クロスヘア

Time = 0.043*Distance r2 = 0.218

Case 3: ３Ｄカーソル＋パラフィン

Time = 0.027*Distance r2 = 0.865

であった．第２式は説明率が低いが，３Ｄカーソル＋クロスヘアが最も時間がかからないことを示す.

(4) ウインドウ配置左上の場合

ここでは,

Case 1: 付帯表現なし

Time = 0.028Distance r2 = 0.891

Case 2: ３Ｄカーソル＋クロスヘア

Time = 0.03Distance r2 = 0.923

Case 3: ３Ｄカーソル＋パラフィン

Time = 0.032Distance r2 = 0.867

であった．この場合も，単位距離を進む場合に，３Ｄカーソル＋パラフィンが最も時間がかからないことがわかる.

6 考察

パラフィンでは，壁面とパラフィン面の交わりと３Ｄカーソルの位置を見ることで空間定位を把握する．一方，クロスヘアでは，壁面との交わり２点と３Ｄカーソルの位置を見る必要がある.

実験後の被験者アンケートによると，パラフィ

ンは空間定位を把握しやすいと答えている．そのため，パラフィンの提示状況において，被験者が３Ｄカーソルを見ることで得る情報は縦・横軸上の位置情報である．被験者は３Ｄカーソルの立体表現による空間定位の情報をほとんど必要としない．一方，クロスヘアにおいては，それほど空間定位を把握しやすいとは答えていない．壁面との交わり２点を見る必要があり，この２点の観測結果を統合した上での空間定位の把握という認知的負荷がかかることを理由としている．さらに，３Ｄカーソルの立体表現による空間定位情報も活用している状況にあった．

操作時間分析から，被験者が空間定位を把握するために見ている位置は，左側の壁面にあると考えられる．パラフィンの実験状況では，左上に配置されたウインドウによって壁面とパラフィンの交わりが隠れて，空間定位を把握しにくくなったことから多くの操作時間を要したと考えられる．クロスヘアにおいても，左上のウインドウが壁面との交わりを隠す．このため，被験者はクロスヘアでの空間定位の把握をせず，３Ｄカーソルの立体表現を使うことになる．左下配置においては，壁面との交わりが隠れないので，空間定位が把握しやすかったと考えられる．

操作距離分析の結果，空間定位が把握しやすいと，３Ｄカーソルの移動方法は直線的となり，操作距離が短くなると考えられる．一方，把握しにくいと余分にカーソルを移動させ，操作距離が長くなると考えられる．これが実験結果に反映されている．また，前述の結果において，クロスヘアとパラフィンの移動距離が一致していることから，２つの付帯表現では同程度に空間定位を把握していると考えられる．

今回の実験から，被験者が３Ｄカーソルを操作する場合での認知的な負荷を軽減することができたことが確認できる．被験者の認知から判断に至るまでの時間について短縮できたことをユーザモデルから確認できる．

7 おわりに

本論文では，位置情報を視覚的に表現した３Ｄカーソルと空間を作成し，３Ｄカーソルの位置情報の視覚化によるユーザの操作への影響を分析した．その結果として，３Ｄカーソルの位置情報を可視化した付帯表現によってユーザの３Ｄカーソル操作の冗長さを短縮できることが検証できた．

また，被験者のスペースボールの操作データ（操作時間，操作距離）から分析をおこなったが，視線データを付け加えることでさらに詳しいデータが得られると考えている．

なお本研究は通信放送機構受託研究の一部として支援されている．

参考文献

[1] Leach G., Al-Qaimari G., Gtieve M., Jinks N. and Mckay C. ; Elements of a three-dimensional graphical user interface, IFIP(Interact'97: Human-Computer Interaction Conference), pp. 69-76, 1997.

[2] 岡田謙一，松下温；静止画像を用いた狭帯域ネットワーク用多地点会議システム，情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 10, pp. 2762-2769, 1998.

[3] Henderson, D. A. and Card, S. K. Rooms: The use of multiple virtual workspaces to reduse space contention in a window-based graphical user interface. ACM Transactions on Graphics, Vol. 5, No. 3, pp. 211-243, 1986.