

のリアルワールドとやっぱり仮想空間とが一緒になる。そのためには、やはり単純にブラウン管があってキーボードがあってという風な軽工業的なマルチメディアあるいはバーチャルリアリティとそういったようなものから、むしろ重工業化って言いますかね、これは、今重厚長大が重要であるというようなことを言うのは非常に勇気がいることではあるんですけども、あえて言いますとですね、情報が軽薄短小だというステレオタイプは1980年代の話であって、1990年代は、もうちょっと重厚長大復権と言いますかですね、重厚長大的な部分に情報が積極的に入っていく、そうじゃないとバーチャルリアリティという技術が社会に対して入っていかないのではないかと、という気がするわけでありませぬ。

だから、そういう意味から言うと、最初CAVEから話を

してて、ちょっと最終的な結論とどうなっているの、とまだ十分御理解いただけたかどうか分かりませんが、少なくともCAVEみたいな空間をいじって、それをリアルワールドを実際に、単純な記号だけの情報論からですね、こういう風な現実ですよ、こういうのね、現実問題と、現実問題と言うか現実の空間的ないわゆる技術と、バーチャルリアリティみたいな情報を中心としたような技術とが一緒になってくる。そういうことによって、また次のバーチャルリアリティの新しい発展があるのではないかな、という風に考えているわけでありませぬ。

ちょっとオーバーいたしましたけれども、一応これでお話を終らせていただきます。御静聴どうもありがとうございました。

(News Letter No. 4より転載)



バーチャルリアリティの最新技術 (2)

佐藤 誠 (東京工業大学)

【概要】

仮想環境において、実世界と同じような自然な感覚で設計作業をすすめるためには、視覚情報や聴覚情報ばかりでなく、力覚や触覚といった感覚を操作者の指先に直接返す必要がある。このようなマルチモーダルな仮想操作環境の具体例を幾つか紹介した。実世界での設計作業においては、人間はいろいろな意味で巧みに協調作業を行っている。まず、親指と人差し指の間の協調動作がある。物体を持ち上げたり、回したりするための基本動作である。さらに、知恵の輪のように複数の物体をはめ合わせたり、粘土のように柔軟かなものを変形するためには、片手だけではやりにくい。両手による協調作業が必要である。また、多人数の共同作業においても、協調作業は不可欠である。作業員間の位置関係や、対象物の配置の仕方にも考慮が要する。このような様々な協調作業をどのように仮想環境上で実現することができるか。その現状と今後の展望を述べた。

【講演口述記録】

東京工業大学の佐藤です。

広瀬先生が最初に少し言われましたけれど、最新技術

ということなんですが、これは岩田先生や広瀬先生にお任せした方が多分いいと思ひまして、私は非常に個人的に今興味持ってることを少しお話をさせて頂きたいと思ひます。あまり最新技術ではないかも知れませんがいくつかの具体例と、私のところでやっている研究を御覧頂くということにしたいと思ひます。

ところで、広瀬先生がCAVEの話をされましたけど、東工大でもベンチャービジネスラボというラボラトリーが出来まして、そこにケーブルが設置されます。実は、私のおります長津田キャンパスと違って大岡山のキャンパスなので、詳しいことはよく分からない面もあるのですが、6月中には完成して公開がありますので、“東大より早い”ですからぜひ見てみたいという方は、東工大の大岡山キャンパスの方に来て頂ければと思ひます。

さきほど広瀬先生は「重工業」と言われましたけど、私は残念ながら機械工学科を出ておりませんので、相変わらず「軽工業」ですが、今日も「軽工業」の話になります。バーチャルリアリティの技術と申しまして、バーチャルリアリティのためのヒューマンインタフェースということと、ヒューマンインタフェースのためのバーチャルリアリティの2つの側面があると思ひます。ここではどちら

かという後者のことを、お話ししたいと思います。

テーマといたしましては協調作業ということを考えてみたいと思います。我々の日常の生活において、さまざまな協調作業をしてるわけですが、そういう協調作業を前提としたヒューマンインタフェースを考えてみたいと思います。これはうちの息子の絵本の中から探して来た絵です。「おむすびころりん」という童話がありまして、その中で、ネズミ達がおじいさんをもてなすために一生懸命準備をしているのですが、ここにいろいろな作業形態が描かれています。実は協調作業と言っても広く考えればいろいろな作業があります。この辺で何匹かのネズミが一緒にお餅をついていますが、このように多人数でやる協調作業、あるいは共同作業と言った方がいいのかもしれない、こういう作業ももちろんあります。2人で何か物を持ったり、これはちょっと重そうな物を持っていますが、こういう2人とかあるいは3人の協調作業というのがありますよね。それから、この辺のネズミはおにぎりを握っていますけど、これは両手を使っている。両手というのもある意味では協調しなくてはいけなわけですから、両手を使った作業も一種の協調作業といえます。ここでは、片手で餅をひねって1つ取りだそうとしているのかな。片手でやっておりますけれどこれもよく見るといろいろな指を使っていますね。人間の場合親指と他の指が向き合っていますが、こういう指同士でやはり協調作業をしています。結局協調作業というのは、対象物に対してコオペレーション、あるいはコーディネートと言うのでしょうか、いくつかの操作するものが同時に作用して、ある仕事を行なうことだと思います。ですから、その操作するものが、指先から一個人ということまで広げて考えると、さまざまな協調作業があるわけです。協調作業では対象物を介していろいろな情報が伝わり合うことにより、うまく作業が進みます。それから協調作業では空間的あるいは物理的ないろいろな制約を受けます。そういう制約を受けながら、単独でやるよりもはるかに効率的な作業が出来る、そういうことが協調作業の一番の本質だと思います。

これはろくろ作業の例です。この場合も両手で左右から押しながら作業するわけですが、両手には形状に関するさまざまな情報が感覚として伝わります。このように視覚、聴覚だけでなく触覚、力覚という感覚が協調作業においては非常に重要性が高いわけです。それでは、どのように協調作業のできるインタフェースの場を作っていったらいいのでしょうか。もちろん、これにはユニークな解があるわけではなく、個々の作業内容によって、それに応じた環境を作らなくては行けないと思います。ここでは、私

が最近面白いなと思った協調作業の具体的な環境について幾つか紹介したいと思います。

はじめに、触覚や力覚をどのように出すかということですが、機械的なもの、圧力を使うもの、張力を使うものなど様々な伝達の仕方があります。本当は私は電気出身ですから、電磁力を使いたいわけですが、これはなかなか難しい。

このファントムという装置は、岩田先生が後で御紹介されるかも知れませんが、ファントムという名前の機械的なリンク機構を使った力覚提示装置です。このキャップを指先にはめて操作することで、指先の三次元の位置情報が入力できて、しかも指先に力が返るという装置です。数年前に何かの機会に、MITの学生が発表しているのを見て、なかなか洒落た、シンプルな装置だと思っていたのですが、さすがに向こうはベンチャービジネスラボなどと言わなくても、早速センサブルデバイスという会社を作って、製品化しています。詳しい説明は省略いたしますが、とても軽量にできていますから、比較的繊細な力覚が出せまじし、操作中の重量感があまりありません。両指の協調作業の構成例がパンフレットに出ています、こんな形に、装置を2台用意して、親指と人差指にキャップをはめて操作します。この図では、何かシリンダ状の部品を扱っています。このようにすると、部品を持ったという感覚を指先に感じながら操作することができるわけです。機械式の力覚提示装置を使ったスマートな両指の協調作業の環境ではないかと思います。

次に御紹介する二つの研究は、1995年6月のIEEEの雑誌に出ていた Virtual environment research のサーベイからのものです。一つは「Two handed special interface tools for neurosurgical planning」という題名で、両手を使って操作する環境を紹介しています。応用分野は、脳外科手術のプランニングです。実際のお医者さんに既存の三次元形状の操作環境を試してもらっていろいろな意見を聞いて、それに基づいた新しい環境を提案した、という内容です。例えばマウスを使って三次元オブジェクトを操作してもらっても、どうも使いづらい。お医者さんはどういう希望を持ったかということ、やはり頭蓋骨をしっかり押さえないという。それではということで、この図のように左手に実際の患者さんの頭に相当する人形の頭を握って操作してもらうことにしたわけです。多分、この人形の中には、6自由度のセンサがあって、左手でこれを動かすと、その動きに応じてディスプレイ上の頭のモデルも動くわけです。この図は、頭のいろいろな切断面の様子を見ることにより、内部の状態を知ろうとしている操作だと思うのですが、右手

には切断面に対応する道具を使い、左右の手を操りながら、いろいろな頭の断面を観察することができるのです。手術のシミュレーションでは、右手の道具を持ち替えるわけです。この図は、メスのような形のスタイラスを用いて手術のプランニングをしているところです。既存のデバイスに囚われずに、とてもユニークな操作環境を提案している点が面白いと思います。

もう1つの研究は"Responsive workbench"という題名で、何人かの人が同じ作業場で、互いにいろいろな反応を見ながら作業のできる環境の提案です。これは、ドイツのある研究所の開発なのですが、医者教育、車のデザイン、および建築物の設計という3つに应用分野を絞って、協調作業の環境を検討したものです。

この図は、解剖学の教育の場面だと思えますが、大型のディスプレイが作業台のように横に寝かせてあります。普通は大型ディスプレイは立てて使うのですが、このように横に寝かせたところが面白いと思います。解剖学の教育ですから当然こういう位置に配置するのが自然なのかもしれません。ちょうどテーブルの前に、先生と生徒という関係だと思えますが、2人の人間が立って、先生が1つ1つ骨を取り上げながら説明をして、隣りの生徒に教えているところです。

このように、複数の人の共同作業の場合は触覚も大事だと思えますが、参加する人の位置関係やディスプレイの配置なども、いろいろ工夫が必要なのだと思います。NITの研究所でも少し前に、クリアボードなどCSCWのための面白いディスプレイを提案しておりました。プラズマディスプレイとか、様々な大型の平面ディスプレイがこれから出てくると考えられますから、これらをうまく利用すると、面白い環境を構成できる可能性があるのではないかと思います。

説明をし損ないましたけれど、これは車のデザインで風洞実験を仮想的に行なって、その結果を見下ろして皆が相談し合っている場面だと思えます。これは、建築の設計の場合ですね。いずれも非常に面白い協調作業の環境ではないかと思います。

残りの時間は、私の所の研究を紹介させていただきます。もう何度も耳にタコができる程聞いている方もおられると思いますが、初めての方もおられると思いますので、私の所で協調作業をどのように考えているかということをお話したいと思えます。私の所では、スパイダーといって糸を使った装置を用いています。こういう立方体の櫓を組んで4本の糸を指先のキャップに張り、力覚を生成する研究をしています。この指先のキャップが1つだけです

と、これでも結構いろいろなことができるのですが、ポインティングが基本操作となります。この図のようにハノイの塔というゲームでピースを掴む場合には、親指と人差指がどうしても必要になります。この場合には、先程のキャップを2組用意すればいいのです。少し両指の動かせる範囲が狭くなりますが、ある程度の作業は自由にできます。

実際に積木を持ち上げてどこかに置く、Pick-and-Place作業と呼びますが、こういう作業に力覚が果して本当に必要かということですが、インタフェースとしては議論のあるところで、難しい問題です。ここでは実際の効果を調べてみたのでご紹介します。

作業の正確度と作業時間を色々な重さの積木を使って実世界で測定してみました。軽い発砲スチロールで作った積木から、重い鉛の積木まで、実際に作業してみますと正確度と作業時間に最適性がでてきます。積木の場合には、木で作った積木が一番いいのです。やはりこれは、人間が森の猿のような生活をしてきたころから受け継がれてきたものだと思います。多分、いまの日常生活の中でも一番平均的に持つことの多い重さなのではないかと思えます。こういう積木の重さが与えられることによって、操作はし易く、それだけでなく快適性が高いのです。仮想環境で力覚を表現することもやはり、同じような効果があるということです。次は両手ですね。こういう風に2つのオブジェクトを持って、はめ合わせという作業を行なうことを考えてみます。実際にやってみると分かるのですが、片手で1つの積木をまず置いて、次にもう1つの積木を動かすという作業はとてもやりにくいのです。両手でそれぞれを持つと、相互の相対的な位置関係はほぼ自由にとれて、接触させることができます。両手の作業というのははめ合わせ作業、あるいは知恵の輪のような操作ですね、これらには非常に必要なわけです。両手作業の環境は、先程の片手のための装置を単純に並べればいいのです。もちろん紐の数が増えてきて、手が互いに絡まるという心配もありますけれど、ある程度の両手作業はできます。残りは多人数による協調作業ということですが、ここでは2人の人が共同で三次元形状を設計するような作業を考えます。2人の場合には両者が対話する空間と、オブジェクトの空間が必要です。そしてそれらの空間のスムーズな切り替えが重要です。実世界では、無意識の内に目線とか体の動作を見て、うまく切り替えをしています。仮想環境でもこういう空間をちゃんと確保していなければなりません。素直な考え方としては、実際の実世界にできるだけ合わせて空間を作ればいい。この図は実際に2人の操作者の配置ですが、この1人の操作者を仮想的に入れ替え、対話空間とオブジ

ェクト空間を構成するようにディスプレイを配置します。先程のスパイダーの装置も、オブジェクト空間に置かれます。このような環境ができれば、ネットワークで繋いで、遠隔的に共同作業ができるのです。

少し分かりにくいと思いますが、こちらが実際の操作者が積木を相手に手渡しているところです。正面のディスプレイに相手の身体が映しだされ、あたかも実世界と同じように仮想の積木の手渡しができます。このとき、実世界では全く無意識にやっていることですが、相手が積木を掴んだかどうかを指先で感じてパッと手を離す、といったスムーズな動作は触覚、力覚を表現することにより、はじめてできることなのです。

以上、いくつかの研究紹介と、私のところの話を致しましたけれど、最後にバーチャルリアリティをインタフェースに使う、インタフェースのためのVRということの、今後についてお話したいと思います。これはある典型的な先生の部屋の写真です。恐らく、皆さんの作業場はこんなに汚くはない、もっときれいだという方もおられるかも知れません。机の上は書類がいっぱいになっていて、さらに別の机の上にもはみ出しています。この辺にワークステーションの環境が見えます。標準的な環境だと思うのですが、これを将来どのような姿にしていくかということですよ。非常に似た部屋の写真を見つけてきたので、少し余談ですが御紹介します。暗くて少し見にくいですがとても似てますよね。これは誰の机なのかお分かりでしょうか？実はこれは、アインシュタインのプリンストン高等研究所の部屋の机なのです。ああやっぱりアインシュタインもこんな机の上で仕事をしていたと安心していいのかわか。こういう机の上だから彼のような仕事ができるというわけでもないんですが、やっぱり仕事が色々溜ってるところになってしまうのです。これはいつごろの写真でしょうか。こういう環境は昔も今もあんまり変わらないのかな、という気がします。

VR学会が今日設立されましたが、これから20年先はいたいどうなるのでしょうか。これからの若い人が、恐らく20年先を見て研究されていくと思うのですが、こういう20年先に環境をどのようにしたいかということを一所懸命考えて、いい環境を作っていくということだと思います。いつもこれは学生に話すことですが、今から20年以

上前を遡って今の環境を見通した人のスケッチをお見せしたいと思います。モニター、キーボードとマウス。今の環境と大体似てますね。実はいくつかの点で少し違うんです。間違い探しという問題を与えると、学生は一生懸命見つけます。皆さんはお分かりになりますか。答を申しあげますと、まずモニターの形が丸いんです。これを見るとやはり60年代から70年代の時代なんです。当時四角いモニターは無かったのです。つぎにこのキーボードですね。少し形が違いますよね。これは、年配の方は覚えておられると思いますが、テレタイプというプリンタ付きの入力装置をイメージした図です。あとはですね、これはなかなか気づきにくいのですが、マウスの尻尾がちゃんと尻尾の位置にあるということです。この図に出会う前に、マウスはなぜ目の先から尻尾が出るんだろうかと、疑問に思っていたのですが、これを見て納得しました。最初のころはやはりちゃんと尻尾の位置に出たということです。

このようにいくつか小さな違いはありますが、全体として今日の環境を非常によく表わしていると思います。実は、この図はマウスの特許の中から抜き出したものです。これがその特許ですが、下にはマウスの形が描かれています。この特許は、ダグラス・エンゲルバートによって1970年に提出されたものです。今から20年以上前に、彼ははっきりと今日の計算機環境というものを見通していたんだなと、感心いたします。ヒューマンインタフェースのことを考えると、私はいつもこの特許のことが頭に浮かぶものですから、今日も紹介させていただきました。

今から振り返ると、この20年余りのヒューマンインタフェースの歴史というのは、机の上、あるいは紙という物理環境をいかにバーチャルな世界に造り込むかに腐心した時代だったと思います。机や紙を仮想化し、さらにそれを越える環境を作り上げたわけですね。ですから、これからの20年というのは、先ほどお見せした机を含めた部屋の環境をどのようにしていくのか、どのようなデスクサイドのバーチャルリアリティの世界を付け加えていくのか、ということが大きなテーマだと思います。若い人には、ダグラス・エンゲルハートのように先を見通して努力して欲しいな、と考えます。20年後をとっても楽しみにしております。

(News Letter No. 5より転載)