



VRにおける計測技術研究委員会

北村喜文

委員長

内海 章

幹 事

バーチャルリアリティの技術は、センシングのための技術、シミュレーション技術、ディスプレイ技術の3つの基本要素技術から構成されるといわれることが多い。これらのうち、人の3次元空間中での動きを読み取り、どこでどんな行為が行われたかをコンピュータに知らせるためのセンシング（計測）のための技術は、この行為に応じて自動的に3次元空間でのさまざまな振る舞いをシミュレーションし、さらにその結果を適切な感覚器官への刺激としてディスプレイするという一連の流れを作る上で最も重要な要素技術の1つであると言える。VRにおける計測技術研究委員会は、この要素技術にスポットを当てた研究委員会である。

平成11年度に、日本学術会議工学共通基盤研究連絡委員会計測工学専門委員会が、計測工学の学問としての基盤性と今後の発展の必要に鑑み、計測工学の体系化小委員会を設けて計測工学の体系化に向けた調査研究を進めることとなった。このため関連する国内各学会に、それぞれの分野における計測技術の現状と今後のニーズについての調査研究を遂行し、報告書として提出してほしい旨の要請がなされた。そこで、館会長（当時）の特命を受け、この要請に答えるための調査・研究活動を推進することを目的として、本研究委員会は平成10年11月に認可を受け、活動を開始した。

本研究委員会では、バーチャルリアリティの各方面で利用されている計測技術の現状と問題点などについて、委員の連絡会・研究会と講演会を中心にして情報収集し、バーチャルリアリティの分野における計測技術の現状と今後のニーズについての調査報告書としてまとめ、提出した。我々の報告書を元にして、日本学術会議工学共通基盤研究連絡委員会計測工学専門委員会報告「計測工学の体系化について—計測工学の役割と教育・研究の課題及

び提言」が、同委員会から平成12年7月に出されている。本報告書は、本学会研究報告Vol. 4, No. 4「バーチャルリアリティの分野における計測技術の現状と今後のニーズ」として本研究委員会のWebページ（<http://www.human.eie.eng.osaka-u.ac.jp/VRMT>）でも公開しているが、本稿ではその概要を紹介する。

なお、報告書には110件を越える参考文献とURLも記載されており、本学会員がセンシング技術について研究する場合の参考資料としても有用であると思われる。

バーチャルリアリティの分野における計測技術の現状と今後のニーズ

コンピュータによって生成された3次元世界（仮想世界）と人間との間の“五感”を介しての関わり合いがバーチャルリアリティの中心的課題であるため、必然的に「人」と「3次元世界」に対する計測技術が多く提案・利用されてきた。具体的には、人間の行動・運動・操作等をコンピュータに伝えるための手段や、3次元世界そのものを観察・構成するための手段として、計測技術が幅広く研究され、これを用いた装置が多く用いられてきた。人間の行動や運動を計測する技術は、主には、身振り・手振り・ジェスチャなどの計測、すなわち、モーションキャプチャと呼ばれる技術や、トラッカーと呼ばれる位置・方位を計測するための装置が利用されてきた。他にも、生体計測、触覚・力覚等のセンシングなども人間の行動や運動を計測する技術として利用されてきている。また最近では、生成された仮想世界を人間がどのように知覚しているかや、人体へ及ぼす影響を考慮・評価するためにも計測技術が積極的に利用されるようになってきている。

一方、3次元世界を構成するための計測技術としては、上記の人間に対する技術を利用する場合もあるが、距離

画像入力装置や特殊な画像センサ等を用いた環境情報の計測結果を用いて、リアリティ高い3次元世界を効率よく構成する3-D スキャニングの手法が研究されてきている。また近年では、仮想世界と現実世界を融合して提示する拡張現実や複合現実感と呼ばれる研究が、バーチャルリアリティの分野では盛んになってきているが、このようなシステムでは、融合する際の両者間の位置ずれなどが問題になることが多く、正確に両者を位置ずれなく重ね合わせるレジストレーションのための計測技術が注目を集めてきている。またこうした研究の展開を背景として、従来は研究室など屋内に限られた場所でのみ構築されてきたバーチャルリアリティのシステムは、実世界を幅広く対象として、積極的に屋外へ出て行き始めている。この動きはモバイルコンピューティングなどの流れと歩調を合わせ、位置計測技術にも新たな展開が見られるようになってきた。

以上のようなバーチャルリアリティの分野における計測技術の現状と今後のニーズを、5つの計測技術項目に分けて概要を述べる。各項目では、計測技術の現状として、計測対象の種類、各観測量や計測情報について適用されている計測原理・方式の種類、各観測量と計測情報の間の関連について、それぞれの計測技術ごとに述べる。また応用技術としての今後のニーズについて、計測技術上のトピックス、新しい計測技術の要望とブレークスルーの可能性、VRの技術分野における固有の計測環境の特徴や計測技術上の問題点、その他教育や研究開発などとの関連で注意すべきことなどについて述べる。なお報告書では、各計測技術について、できる限り多くの参考文献と参考URLを掲載したので、不足する情報や曖昧な点などの調査・確認のためのポイントとして役立つと思われる。

1. モーションキャプチャ・トラッカー（室内用）

人間が何らかの働きかけを行うことによって、バーチャルな世界は自立的にその状態を変化させ、その結果としての情報を人の五感に対して提示する。こうしたインタラクションを実現する基本的な技術の一つとして、身振り・手振り・ジェスチャなど人間の行動や運動を計測する技術がよく研究されてきた。これらは、モーションキャプチャやトラッカーと呼ばれる技術として、広く利用されている。

モーションキャプチャの位置・姿勢計測対象は、通常、対象物体（部位）の特定点であるが、多くの場合、直接計測されるのは対象物体に貼付したセンサまたはマーカの位置・姿勢である。その場合も貼付したセンサ/マー

カーと対象物体（部位）が剛体運動すると見なせる場合は、センサ/マーカの位置・姿勢から対象物体の位置・姿勢を容易に算出できる。マーカ位置のみを検出するシステムでは、姿勢を検出するため1物体（部位）について3点以上のマーカが必要である。対象物にセンサまたはマーカを装着しなければならない場合には、人体の動き検出においてはユーザへの負担が大きい。そのため、コンピュータビジョンの技術を用いてマーカ類を用いない非接触の人物追跡の研究が近年活発に行われている。そのためには対象に関するモデルが必須となるが、人体の精緻なモデルを使って詳細な動き推定を目指す手法や、簡易なモデルにより位置・方向などの基本的な情報を安定に検出することを目指す手法等が検討されている。今後は、多視点情報の利用等によるより安定な手法の構築が望まれる。

モーションキャプチャでは計測データ内での整合のみに着目することが多い。しかし、拡張現実や複合現実感システムでは、動きの計測値と表示系やほかの計測系との位置ずれが、実用上の大きな問題である。モーションキャプチャの応用範囲を広げる意味でも、今後このような不整合の解消手法（レジストレーション）が、重要である。人を中心としたリアルタイムでインタラクティブなVRシステムの要素技術としてモーションキャプチャを考えた場合、安定性および汎用性の面で、既存の手法はまだ十分とはいえない。装置装着によるユーザへの負担の緩和を図りながら、一般的な環境で動作可能な手法について引き続き検討していく必要がある。

2. 広域トラッカー（屋外用）

従来は研究室など限られた場所でのみ構築されてきたバーチャルリアリティのシステムは、実世界を幅広く対象として、積極的に屋外へ出て行き始めている。この動きはトラッカーなど位置計測技術にも新たな展開が見られるようになってきた。現在もっとも一般的な広域トラッカーはGPS（Global Positioning System）受信機であろう。GPSによる測位には、常に天空の4個以上のGPS衛星を捕捉する必要がある。つまり、天空が開かれている海上、砂漠、湿原、高原、山頂などが良い環境である。GPSを使った測位の精度は一般には3-10 mと考えられているが、3cm以下の精度を実時間で出すことができる手法として、搬送波を利用したRTK（Real-Time Kinematic）測位があるが、GPS衛星を同時に5個以上捕捉しなければならない。

GPSは基本的には位置センサであり、それだけでは方

向（方位）センサとしての機能は持たない。2つのGPS受信機を使ってベクトルを作り、方向センサとして利用する方法もあるが、2つのGPS受信機間の距離を十分長くとる必要がある。一般には方向センサとして、ジャイロや地磁気方位センサなど他のセンサを併用するが多い。

GPS測位の大まかな原理は、受信機の位置 (x, y, h) と時間 (t) の4つを未知数と考え、4つの衛星の既知の位置と時間のデータとGPS受信機までの電波の到達時間を用いて各衛星と受信機間の距離に関する4変数連立方程式を組み立て、解を求めるといったものである。実際には、衛星の時計の誤差、衛星の軌道の誤差、電離層遅延、対流圏遅延なども未知数として加味した連立方程式を解いている。都市では、ビルディングなどが電波を反射して、同じ衛星の電波を別の方向から受信するマルチパスの問題がある。

電波が届かない場合やマルチパスが生じる場合に、加速度センサなどの他のセンサとの連携による精度の向上が考えられる。しかし、これらの技術を駆使しても、現在の技術では、屋外での複合現実感を考えた場合、実世界映像へCG映像を重ね合わせて表示するためのレジストレーションの目的には十分な位置精度を保証できてはいない。同時に、実時間高精度の広域トラッカーの小型化、省電力化も重要な問題である。

3. 生体計測

各種感覚に関する生体の計測は古く（18世紀）から行われており、非常に多くの研究報告が発表されている。こうした生体計測手法を用いた装置は主に診断を目的とした医療分野で開発されてきた。一般に、計算機によって作り出された仮想空間に没入した場合、ヒトは強い違和感や不快感を訴えるケースが多いのが実状である。これは、ヒトに関する生体計測が非常に困難であるために未知の部分が多いことと、医療技術分野で培われてきた計測手法による結果が、必ずしもそのままの形でVR技術分野に適用できるわけではないことを意味している。このような問題に対して、さまざまな研究が各方面で積極的に行われてきている。

VRにおける生体計測技術は、おおむね次の2つの目的で利用されることが多い。

- ① 人体への影響を考慮するために、計測結果を生体の状態を推測するパラメータとして評価に利用する。
 - ② 装置の性能向上のために、計測結果をヒトの知覚・認知特性として、装置の設計指標に反映させる。
- ②の目的で計測されたデータに基づき設計・開発した

VR機器によって、生体計測結果に基づいたより高度の臨場感が得られるだけでなく、①の目的で計測されたデータを利用して、精神的・身体的に危険な状態を未然に防ぐことを考慮された適切なバーチャルスペースが構築される。

医療分野等における生体・生理計測は、各個別の生体組織の機能診断が主流であるのに対して、バーチャルリアリティでの生体計測は、一般に、ヒトの認知・感情といった心理状態に深く関連したレベルを要求されるので、各計測対象の複合的な相互関係を明らかにする必要があり、非常に高度な技術が必要である。また、計測対象が直接的に計測できることはまれであり、計測対象の変化を反映する観測量を特定し、その関連を明らかにすることも重要な研究課題であると言える。測定の精度がヒトの感覚特性の分解能以上に向上させることも求められるが、同時に、ヒトの心理・生理状態に影響を与えないような計測方法を確立しなければならないなど、多くの課題がある。

4. 触覚・力覚のセンシング

バーチャルな世界と人とのインタラクションを実現する基本的な技術の一つとして、触覚・力覚等のセンシングなども人間の行動や運動を計測する技術としてよく利用されてきている。人間と仮想環境との間に作用している触覚や力覚を正確に計測することができれば、触覚・力覚による情報入力、触覚・力覚の知覚心理への影響の評価、触覚・力覚ディスプレイの制御などへの利用を考えることができる。

しかし、人は触覚や力覚を非常に複雑な仕組みによって検知しているため、特定のセンサによりそれらの感覚をすべて計測することは非常に困難な課題である。人は触覚や力覚を知覚する際に、これらを数値として感じるのではなく、状況や目的に応じてさまざまな感覚として認識している。従って、基本的には接触覚や圧覚、運動覚を検知しても、特に対応する感覚受容器は知られていないかゆみやくすぐったさをはじめ、形状覚、硬さ覚、材質覚などを感じることもある。このような各観測量と計測情報の間の関連についても詳しくはわかっていない。

人の皮膚感覚に相当する情報をセンシングするセンサとして、触覚センサがある。しかし、人のように多様な触覚をすべて計測することは技術的に難しいため、機能を絞って開発されている。実現の形態としては、各情報を個別のセンサを用意して検知する集中形と、面状に分布する力や変位を検知し、その出力群パターンを解釈するこ

とにより種々の情報を引き出すセンサである分布形の2つのタイプがある。一方、力を検出するセンサの原理に基づいて分類すると、歪みゲージを用いたもの、圧電素子を用いたもの、光センサを用いたもの、差動トランスや容量形変位計を用いたもの等に分類できるが、VRやロボットに用いられるもののほとんどは歪みゲージを用いており、並進3軸と回転3軸のあわせて6自由度を計測する。

感覚の特性が十分明らかになっていないという問題もあるため、力覚センサに比べて触覚センサはまだまだ発展途上の技術であると言える。分布形触覚センサは、薄くて柔らかく、さまざまな3次元形状にフィットするセンサができると、計測の範囲が広がると思われる。力覚センサについては、0.1[gf]以下の微細な力が計測でき、また柔らかいセンサの開発が望まれる。

5. 環境情報の計測、3-D スキャニング

リアリティ高い仮想世界を構成するためには、現実存在する3次元世界を忠実に摸すことも有力な方法の一つであり、そのためには、現実世界そのものを計測する技術が必要となる。現実存在する世界と同様のバーチャルな世界を計算機内に実現するためや、実世界とバーチャルな世界の双方を利用した複合現実感を実装するために

は、「実世界」を計測して計算機にその情報を入力することが必要である。また、実存する物体を仮想物体として計算機によって再現するためには、3次元物体の属性(色、形、大きさ等)を計測することが必要となる。しかし、実物体や実世界中には多種多様な種類の情報が存在するため、利用目的に応じて必要な情報が異なる。VRでよく用いられる主な環境情報・物体情報の種類は、画像(光)、距離情報(距離,位置,形状)、音情報(音)、光源情報(光)などである。その他、温度、風力、材質などもおもしろい計測対象である。

VRにおける計測技術研究委員会メンバー

有川正俊	(東京大学空間情報科学研究センター)
幹事	内海章 (ATR 知能映像通信研究所)
委員長	北村喜文 (大阪大学大学院工学研究科 電子情報エネルギー工学専攻)
	坂口正道 (岩手大学工学部 機械工学科)
	清水俊治 (富山県工業技術センター 生活工学研究所)
	山澤一誠 (奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科)