

最小 VR の探求と私の研究

○長谷川 晶一 (東京工業大学)

Minimal VR and My Research

*S. Hasegawa (Tokyo Institute of Technology)

Abstract— This paper proposes to research for minimal virtual reality. Minimal virtual reality is a virtual reality, which naturally and intuitively realize the target task of an virtual reality with minimal interface devices and simulation models. This paper describes definition and meanings of minimal virtual reality and introduce author's researches from this viewpoint.

Index terms— Virtual Reality, Minimalism, Minimal Virtual Reality

1 はじめに

体感ゲームやカメラ付き端末による AR、マルチタッチ操作のアプリなどには VR 世界に没入しないものの VR のような分かりやすさと直感性を持つものもある。VR 学会 10 周年記念シンポジウムでの清川の指摘¹⁾のとおり、見かけや形は VR でないが実質的に VR である Virtual VR として VR が浸透しているのだと思う。一方で真の VR から程遠い「VR っぽい何か」も目にする。そこで、VR の本質に必要な最小限のモデルと提示を持つ「最小 VR」について考える。また最小 VR の探求の中に、筆者のやってきた研究の一部を位置付けてみる。

2 最小 VR

典型的な VR の応用では VR 世界に没入し、あたかも実世界で行うかのように、VR 世界で何らかのタスクを行う。最小 VR は VR の機能や利点を含むので、完全没入せずとも VR と同様にタスクを行える必要がある。すると最小 VR は、タスクの対象を VR と同様にユーザに伝え、VR と同様のインタラクションを可能にするはずである。タスクの対象、HCI でいうメンタルモデルをユーザが獲得でき、ユーザの行動に応じてシステムが期待通りに反応することが最小 VR の必要条件であり、加えてユーザが労せずにメンタルモデルとその操作法を獲得できるという VR の利点を備えることが最小 VR の十分条件だと考える。これを最小限のモデルと提示で実現するものを最小 VR と定義する。以下では、タスクに必要なシミュレーションモデルを基点にして必要な提示を考えるという設計指針を示すと共に、ユーザが労せずにモデルとその操作を獲得できるようにするための自然な提示について考察する。最小 VR が、CUI → GUI → NUI と直感性と自然さを求めるユーザインタフェース²⁾と、Virtual VR として浸透する VR の合流地点での指針になると期待する。

2.1 タスクとモデリングの視点

何でも扱える汎用 VR シミュレーションができればどんなタスクの対象も再現できるはずだが、化学反応の再現のために原子のシミュレーションまで行えば計算量も初期値設定も大変なことになる。日常世界のほとんどの現象は原子と電磁気と重力で説明できるから、無限に計算できるなら何でも再現できるシミュレーションが可能だと考えられる。実際には、現在の計算機で

は、分子動力学のシミュレーションは 10^9 程度の原子数が限界で、時間も数 ns がせいぜいという世界らしい。 6.02×10^{23} のアボガドロ数と比べると道のりの遠さが分かる。加えて、原子の初期配置を決めることは非常に難しい問題だろう。また、提示デバイスの駆動信号に変換するためには、対象とユーザの身体の原子の相互作用のシミュレーションも必要で大変そうだ。

VR のシミュレーションはデータや計算量が少ないより限定されたモデルについて行うことになる。ユーザが行い得るインタラクションも制限されるので、タスクに必要なインタラクションが可能なシミュレーションとモデルを何とか作ることになる。例えば、剛体の動力学シミュレーションは多くの機構の運動を再現でき、積み木を積むタスクも再現できるが、積み木を鋸で切断したいとなると対応できない。より複雑なタスク、例えば料理をシミュレーションしようとするれば、変形、液体、熱伝達、化学反応とモデリングは多岐に渡る。タスクを例えばステーキを焼くと限定したり、出来上がりを入れ替えるといった課程の省略をしたりしたくなる。新しいタスクを扱うには、既存のモデルで再現できるか考え、不足があればモデルの追加変更が必要になる。このようにシミュレーションモデルはタスクの視点からの設計と拡張を余儀なくされる。

ということは、逆にあるシミュレーションモデルで行えるタスクという形でタスクを分類できるだろう。様々なタスクに対して、再現するために必要なシミュレーションモデルを作成することは、人が行うタスクを分類することに繋がると期待する。

ところで、追加変更が必要ならばそれに対応できるライブラリを準備したくなるが、これも容易でない。拡張の視点はタスクに依存する。似たタスクを実現できたライブラリならば大丈夫だとわかるが、新たなタスクのどこが既存ライブラリに難しいかは、タスクとライブラリに精通しないと判断が難しい。ゲームとゲームエンジンの関係が好例だと思う。このため、どんな拡張に対しても何をすれば良いか把握できている自分のところで開発したライブラリを使いたくなる。Not invented here syndrome と言われ褒められたことではないのだが、例えばシミュレーションの状態を高速に記録・再生する機能を後付するには、対象ソフトの深い理解に加えて構造の大変更が必要になることもあるなど、似たライブラリの開発は研究段階では避けられ

ない面もある。

2.2 モデルを伝えるために必要な感覚提示

タスク再現に必要な十分モデルを作っても、ユーザに伝わらなければ無駄になってしまう。伝えたいモデルに対して十分な感覚提示とレンダリングが必要になる。タスクとその対象の再現に最小限必要なモデルを作っておけば、そのモデルの伝達に必要な十分システムが最小 VR になるはずである。そうすると、必要な感覚の種類や解像度、更新周期などを、タスクの種類ごと＝シミュレーションモデルの種類ごとにまとめることができれば、最小 VR 設計の助けになると思う。

器用な操作に力覚提示が必要なこと、映像から接触を検出することが難しく、力や振動、音が手がかりになることなど、いろいろな知見がある。心理学のハンドブック等書かれている内容もあるが、感覚だけではなく、認識、比較、分類、学習、操作等、タスク遂行に用いる人の能力でタスクとシミュレーションモデルを大分類し、それぞれに必要な感覚提示とレンダリングを整理できないだろうか。

2.3 自然な提示のためのモデルとレンダリング

最小 VR でも、VR 同様の直感的でわかりやすい自然な提示が期待される。自然な提示とは何だろうか。シースルー HMD による単色の矢印の重量と駅の標識の矢印を比べると、前者は向きを示すことに加えて、実世界とは別の提示レイヤーの存在を示すという余計な提示をし、実世界から浮いてしまう。その結果、実世界との関係が分かりにくくなる。駅の標識の矢印もそれが紙に手書きして貼られたものならば、何か緊急の事態が起きたことも示してしまう。向きだけを自然に指示するのは意外と難しい。

HMD に重畳された矢印は矢印のアイデアには近いかもしれないが、実世界で人が出会う矢印はアイデアではなくインスタンスなので、その場に存在することが自然なインスタンスを提示しなければならない。それは典型的なインスタンスであるべきだが、典型＝アイデア自体ではない。この典型的な矢印の解像度は低くなく背景の影響も受ける。森の中では木片で作られた矢印が典型かもしれない。形状設計のための 3DCAD にリアルなシェーディングや影をつけるとわかりやすいのも同じ事情だと思う。

伝えたいことを丁度伝える矢印はデザイナの作品だが、バーチャルカヌーのための水の表現は VR の研究になる。典型的な水の映像、音、力覚、挙動を提示しようと思えば、精緻なモデルのシミュレーションが欲しくなる。写真より線画がわかりやすいなど、情報を減らす方が良い場合もあるが、情報量より S/N 比が重要なためと思う。神は細部に宿るという言葉があるが、作品を仕上げるには表現したいこと以外の情報＝ノイズをなくすために細部の作りこみが必要になるという意味だと考えたい。S/N 比を上げるには、レンダリングや提示でのノイズはなくさねばならず、信号の元になるモデルはしっかりしていなければならないだろう。ノンフォトリアリスティックレンダリングによる線画の提示はリアリスティックなシェーディングよりシンプルに見えるが、シミュレーションやモデルがそれに合わせて単純になるわけではない。

積み木の提示も、典型的なインスタンスは、色や形

だけでなく、例えば木の材質感も持つはずである。力覚インタフェースは、形状提示だけでなく、接触時の振動を再現することで材質感の一部を提示できる。こういった細部の提示が自然さに必要な場合には、そのためのモデルと提示も最小 VR に含めるべきだと思う。

3 筆者の研究の紹介

本節では、最小 VR の探求の中に、筆者のこれまでの研究の一部を位置付けてみる。これまで筆者は最小ではなく汎用 VR を指向して物理シミュレーションを研究してきたが、可搬性や開発効率のために結果としてデモは最小に近い構成で作ってきた。ただしデモの目的はデバイスやシミュレーション手法といった技術を見せることを目的に行っていて、タスク指向で最小 VR を作るという意識はなかった。

筆者は、学部サークルで、VR 用インタフェースデバイスの制作³⁾をした後、研究室に所属し、力覚インタフェース SPIDAR のデモの作成⁴⁾から研究をスタートした。その後、剛体運動シミュレータと力覚インタフェースをつなぐ階層的な力覚レンダリングを提案したところから、リアルタイムシミュレーションの研究に向かった。

3.1 階層的な力覚レンダリング

力覚インタフェースの制御は高速 (1kHz 程度以上) に行う必要がある。一方シミュレータを 1kHz で動かすと計算が大変で使用可能なオブジェクト数が制限される。シミュレーションは 30Hz くらいで済ませるためのコードを書き続けて不連続な出力が禁忌だと気づいた。出力が連続にする工夫は、中間表現⁵⁾と呼ばれている手法になっていた。

人の触覚は 1kHz 以上にも感度を持つようだが⁶⁾、1kHz で物体運動を把握しているわけではない。このため、力覚インタフェースと上手につなげば、物理シミュレーションはより低い更新周期でも問題が生じない⁷⁾。

人の側に感覚・知覚・認識と階層があり、処理速度も捉える範囲も異なるので、提示する側に必要な時間、空間の解像度が異なるということだと思う。力覚の場合、感覚以前に、力覚インタフェースが手指に力を加え歪を生じさせるという機械的な伝達の部分が高い時間解像度を要求しているようにも見える。柔らかな対象の提示や力覚インタフェースが柔らかい場合には、高い更新周期は必要ないが、不連続な入力が必要な高周波数成分を発生することが問題なのだと思う。

3.2 カヌーのデモ

水面での水の運動方程式は、幾つかの簡略化により、流速と波高の波動方程式になる。しかし、船の後ろの波やカヌーのオールの回りの流れはこれだけでは再現できない。そこで、流れが複雑な領域の圧力の時系列を予め計算・記録しておき、船やオールの動きに合わせて読みだすことで水の運動を再現し、波の形やオールにかかる力のリアリティを向上させた⁸⁾。これにより、オールで水を掻いた感が出てくる。このシステムは、現実のカヌーが上手い人ほど上手く漕げ、またシステムで上達した人は現実にも上手くカヌーが漕げるものになった。もし、水の抵抗感の精細な提示により、カヌーの操作が水を意識したものになり、カヌーの名手

ほど上手に漕ぐことができるようになるのならば、必要なモデルだったのだと言えるのではないだろうか。

3.3 料理のシミュレーション

加熱調理の効果の学習支援のため、食材の熱伝達と運動のシミュレーションを作成し、フライパンを揺らしたり、フライ返しで返したりできる VR システムを作成した⁹⁾。現実での調理でも練習になるが、シミュレーションでは、表面だけでなく内部の温度を可視化できるので、何が起きているのかを把握しやすいと考えた。

ステーキを焼く調理について、現実の料理と比較したところ、現実には、柔らかさ、肉汁の出方、音が手がかりになっていることが分かり、現在これらの再現とそのためモデル（変形、肉の変性や油分や水分の移動）を研究している。

3.4 スキーの加重中心のフィードバック

体が思った通りに動けば、スポーツの技術はすぐに上達する。物理的に体が動かさないという原因以外に、身体像（自分の身体の姿勢の認識）が分からなかったり、誤っていたりするために上手く動けないということも多い。ダンスならば鏡を見ながら練習するところだろうけれども、スキーではそうは行かないので、カメラで撮影して HMD で見ながら滑る装置を作った¹⁰⁾。しかし、見るべき点を理解し、意識しながら滑走するのは難しかった。そこで、加重中心を計測し、音高としてフィードバックする装置を作った¹¹⁾。こちらは、分かりやすく、後傾の癖が強い使用者の姿勢を変えることができた。

身体像というモデルを変化させるために必要な提示は、身体の映像ではなく、音による加重中心の前後位置のフィードバックだったということだと思っている。これは、加重中心がスキーで重要なので、その点に意識を向けさせるためにも、提示を絞ることが奏功したのだと思う。

AR など実世界指向のシステムでは、モデルはシステムでなく人の側にあるので、システムがモデルを持つ必要がない。もし持つとしても現実とずれては困る。しかし、モデルを分析し、何をどうやって調節するかを考えることは必要だと思う。

4 おわりに

これまで筆者は汎用 VR を指向して物理シミュレーションを研究してきた。最近、スキー滑走中の姿勢改善のためのシステムを最小限の構成作ったところ、ある程度うまく機能したため、最小限の提示について考えはじめた。VR の応用を今以上に開拓するために、最小 VR とその設計指針は重要だと思う。AR やトレイグジスタンスではモデルはユーザの中だけに存在し、システム側がシミュレーションを持たない場合も多いが、ユーザに持たせたいモデルを基点にすることは大切だと思う。

参考文献

- 1) 清川 清: 「バーチャル VR」 ～ バーチャル化する VR 技術, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.11 No.3, pp.185, 2006.
- 2) Natural User Interface, Wikipedia English, (http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_user_interface, 2013 年 10 月 27 日参照).

- 3) Gravity on Demand, IVRC 20 year's history archive, (<http://ivrc.net/archive/gravity-on-demand1995/>, 2013 年 10 月 27 日参照).
- 4) M. Sato, L. Bouguila, T. Endo, S. Hasegawa, Y. Eguchi, K. Hatano: Virtual Basketball, SIGGRAPH 97 The Electric Garden, 1997.
- 5) Y. Adachi, T. Kumano, K. Ogino: Intermediate representation for stiff virtual objects, Proc. of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'95), pp.203-210, 1995.
- 6) K. B. Shimoga: A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation. II. Finger touch feedback, Virtual Reality Annual International Symposium, pp.271-279, 1993.
- 7) 須佐 育弥, 大内 政義, 岩下克, 佐藤 誠, 長谷川 晶一: 局所的な高速物理シミュレーションによる高解像度力覚提示の実現, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.4, pp.463-471, 2009.
- 8) S. Hasegawa, Y. Dobashi, M. Kato, M. Sato, T. Yamamoto, T. Nishita: Virtual Canoe: Real-Time Realistic Water Simulation for Haptic Interaction, Proc. Siggraph 2005 Emerging Technology Project, 2005.
- 9) F. Kato, S. Hasegawa: Interactive Cooking Simulator: Showing food ingredients appearance changes in frying pan cooking, 5th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities (CEA) in conjunction with the ACM International Conference on Multimedia, 2013.
- 10) S. Hasegawa: Augmented ski, <http://haselab.net/~hase/ski/ski.php>, 2013 年 10 月 27 日参照.
- 11) S. Hasegawa, S. Ishijima, F. Kato, H. Mitake, M. Sato: Realtime sonification of the center of gravity for skiing, AH'12 Proc. of the 3rd Augmented Human International Conference, 2012.