

ネットワーク VR のための基盤技術

- 動作と行動を伝達する実時間通信へ向けて -

Platform for Networked Virtual Reality

- Towards Real-time Motion-based Communication -

柳田 康幸

Yasuyuki YANAGIDA

- 1964年10月17日生まれ
1990年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、同年同大学先端科学技術研究センター助手、1997年同大学大学院工学系研究科助手。
- 研究・専門テーマはテレレイグジスタンス、バーチャルリアリティ、ヒューマンインタフェース
- 東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

1 はじめに

近年、ネットワークを介して物理的に離れた場所に存在するユーザが、ネットワークを介してバーチャル空間を共有し、インタラクションを行う試みが盛んに行われている。その本質は物理的に離れた場所に存在するユーザ同士が空間を共有することであり、その意味において、ネットワーク VR は、テレレイグジスタンス（遠隔臨場感制御）と表裏一体をなすものである。両者の違いは計算機内に構築されたバーチャル空間へアクセスするか、あるいはロボットを介して外界物理世界とのやりとりを行うかどうかという点に集約され、特にユーザから見た場合、両者はアクセス先の空間が「実物」かどうかだけの差である。このため、これらはほぼ共通の基盤技術を利用することができると考えられる。現在、テレレイグジスタンス技術とネットワーク技術を融合させたアールキューブ構想⁽¹⁾に基づく研究開発が進行しており、VR ある

いはロボティクスとネットワーク分野との本格的な共同作業が必要になってきている。

このようなシステムを実現するための基盤技術には、臨場感を伴う感覚提示技術の発展のみならず、通信のためのハードウェア的な進歩や通信プロトコルの体系整備などが含まれる。本解説では、VR およびテレレイグジスタンスに特有の連続的な「動作」をネットワーク通信における情報コンテンツとして位置づけ、現在の通信環境について概説を行うとともに、この立場から見た次世代ネットワークへの展望を述べる。

2 動作と行動：ネットワーク上を伝達する新しい情報コンテンツ

ネットワーク VR やテレレイグジスタンスにおいては、それぞれのサイトにおける人間あるいはロボットの動作・行動や、バーチャル空間/実空間の状態変化をリアルタイムに通信してそれぞれのサイトにおける整合性を保持する必要がある。アプリケーションの用途や形態によっては実写画像、音声なども互いに送受信する。これらのうち、画像や音声に関しては遠隔会議システムの守備範囲であり、マルチメディア通信分野などで活発な研究開発が行われている。しかしながら、人間の連続的な動作や行動の伝達に関しては、共通プラットフォームが確立されておらず、各システムごとにまちまちな手段や形式によりやりとりが行われており、未だ黎明期にあると言える。

連続的な動作の伝達においては、遅延の絶対量とその変動が共に少ない実時間での通信が必要である。ところがこれまで、情報ネットワークの高速化・大容量化を語る上で帯域幅の値が用いられることはあっても遅延時間について言及されることは少なかった。動作の伝達に必要なのは少量のデータの頻繁な更新であり、ビデオ・オン・デマンドなどのアプリケーションが要求する型の QoS (Quality of Service) とはいささか様相が異なる。次章

ではこの立場から見た現在および近い将来のネットワーク通信環境を概観する。

3 情報通信ネットワークの現状と動向

3.1 ハードウェア

現在の一般的なコンピュータにとっての標準的なネットワークインタフェースといえば、Ethernet (10Mbps, IEEE 802.3), Fast Ethernet (100Mbps, IEEE 802.3u)である。この系統はさらに Gigabit Ethernet (1Gbps, IEEE 802.3z)へと高速化が進められている。これらは通信媒体を共有するために CSMA/CD 方式を採用しており、ネットワークが混雑した場合に遅延時間が不規則に変動するため、ロボット制御など高度な実時間性を要する分野への適用には注意が必要である。しかし近年は高速化や switching 技術および全二重通信方式の普及により、事実上通信路を占有し collision が生じない環境を利用することが可能になっており、この問題はルータやスイッチにおけるトラフィック制御の問題へとシフトしつつある。

一方、高解像度実写動画像などを含む様々な種類の情報通信を行うためのバックボーンとして、ATM (Asynchronous Transfer Mode)ネットワークが利用され始めている。ATM は従来の電話なども包含する次世代の統合ネットワークサービスである B-ISDN の基盤技術として、技術開発と標準化が進められている。近年、ATM 上で LAN と同様の通信を行うための技術開発が活発に行われており、LAN, WAN 双方におけるプラットフォームとしての発展が期待されている。

3.2 データ形式と通信プロトコル

遠隔サイトとの間の情報交換を行う際に必要なのは、データの形式と手順である。ここでは連続的動作の通信の実現へ向けたネットワークユーザとしての立場からいくつかのトピックについてピックアップする。

IPv6

IP (Internet Protocol)はインターネットにおける中核技術であるが、従来のインターネットは時間的品質があまりに貧弱であり、実時間通信には適していない。現在の IPv4 における様々な問題を解決するため、IETF の IPng (IP Next Generation)ワーキンググループにより次世代の仕様として IPv6⁽²⁾が制定されている。IPv6 における traffic class というというフィールド(当初案では priority という

名前)を有効に利用できれば、実時間性の高い通信データをスムーズに伝送することができるようになる可能性がある。

RTP, RSVP

音声や動画などのストリームを IP ネットワークの上で伝送する場合はデータの連続性が要求され、サーバからユーザのクライアントマシンまでよどみなくデータが流れることが必要である。これらのデータを使用する遠隔会議の実現を目的として、RTP (Real-time Transport Protocol)⁽³⁾が開発されている。RTP はパケットにシーケンス番号やタイムスタンプなどをつけてカプセル化したものであり、受信側はこれらの情報をストリームデータの再生に利用する。

RTP はその伝送を UDP/IP に任せているため、それ自体ではリアルタイム性の保証を行うことができない。この問題に対し、リアルタイムデータが流れるネットワーク経路上で帯域幅の確保を行うことを目的として資源予約プロトコル RSVP (resource ReSerVation Protocol)⁽⁴⁾が開発されている。RSVP は仕組みが複雑すぎるといった批判もあるが、現状で RTP と RSVP の組み合わせはインターネット上でリアルタイム通信を行うための有力な候補である。

DIS, VRTP

VR 関連の通信分野では、多数のユーザが参加する大規模バーチャル空間を構成するためのプロトコルとして、DIS (Distributed Interactive Simulation) プロトコルが開発されている。これは IP ネットワークのマルチキャスト機能を利用しており、米国においては大規模な軍事用シミュレーション(NPSNET)などに利用されている。現在、VRML により記述されたバーチャル空間を共有するためのソフトウェアシステム VRTP (Virtual Reality Transfer Protocol)⁽⁵⁾が提唱されており、DIS はそのベース技術として利用されている。

RCML/RCTP

一般ユーザへ連続動作による遠隔ロボット操作の世界を紹介することを目的として、アールキューブ構想に基づくエントリーレベルのシステムという位置づけでソフトウェア体系の開発が行われている。RCML (R-Cubed Manipulation Language)⁽⁶⁾はネットワークに接続されたロボットの構成(自由度配置などのジオメトリ)制御に必要な情報、またロボットから入手可能な情報(カメラ、関節のステータスなど)の種類を記述する形式である。

現在までに VRML97 をベースに拡張機能の記述形式を規定する形で試験的実装が行われており、さらに次世代 VRML の動向に沿って次期バージョンの実装が XML ベースで進められている。

このシステムでは遠隔ロボットサイトとの通信手段として RCTP (R-Cubed Transfer Protocol)を提供している。RCTP は主に連続的な制御情報のやりとりを行うものであり、高速ネットワークを利用した場合には高い情報更新レートを実現するため、オーバーヘッドがなるべく少なくなるよう設計されている。

4 次世代ネットワークへの展望

以上のように、ネットワーク型 VR やアールキューブの実現へ向けた技術要素は着実に育ってきている。だがここではあえて考えられる問題点について指摘しておきたい。まず、「リアルタイム」に対する要求レベルの問題である。次世代ネットワークを流れる有力なコンテンツであるビデオストリームは一方方向の伝達であるが、ネットワーク VR やテレイグジスタンスにおいては双方方向の実時間通信が行われる。一方方向ストリームの伝送では遅延の変動を吸収できる時間分だけバッファリングしておけばよいが、こうした手法は余計な遅延を生じることになり、VR やテレイグジスタンスにおいて人間も含めた双方方向の情報ループが構成される場合システム全体が不安定になる要因となる。また、リアルタイム性を語る上で前述の遅延時間に対する考慮も重要である。遅延の保証は難しい問題であるが動作の伝達にとっては切実な要求である。

実時間通信を行う場合、経由する通信路上でのデータ欠落や遅延変動を嫌うため、従来は point-to-point の電話型ネットワークが利用されてきた。将来のネットワークにとっては、こうした電話型ネットワークと計算機による情報ネットワークとの統合が重要な課題となるであろう。時間的品質の向上へ向けた一つの動きが前述した RTP/RSVP であるが、IP ネットワークの上でどこまでの実時間性を実現できるかは未知数である。

ATM は、こうした種々の問題を解決するプラットフォームとしての可能性を秘めている。ATM は元来電話型ネットワークの将来形として発達してきたものであり、帯

域幅確保の仕組みは最初から備わっている。ATM は様々な伝送形態や回線の有効利用に対応するため、AAL (ATM Adaptation Layer) においていくつかの上位プロトコル向けサービスを提供している。この仕組みの上に IP や Ethernet 相当の機能を実現する研究開発と標準化が盛んに行われているが、その具体的設計には期待と不安が交錯する。IP は基本的にコネクションレスの通信であり「実時間性を重視しない」と見なされる場合が多いようであるが、IP ネットワーク上に構築したい実時間アプリケーションの要求は存在するのである。将来 ATM などを基盤とした高速・広帯域ネットワークが整備された時に、動作の伝達というアプリケーション分野が容易に実現できるよう、実時間性に関する考慮と対策が十分に行われることを期待したい。

5 むすび

VR およびテレイグジスタンスの立場から、現在の通信ネットワークの技術を概観するとともに、次世代ネットワークに対する展望を述べた。次世代高速ネットワークを流れる情報コンテンツとして、電話が担ってきた音声や、従来の意味でのマルチメディア情報(文書、静止画、動画など)だけでなく、人間や機械の生の行動や動作という極めて実時間性要求の高い種類が存在することを強調しておく。これらの多種多様な情報がシームレスに利用できてこそ使いやすいネットワーク環境と言えるのではないだろうか。

参考文献

- (1) 通産省アールキューブ研究会:「アールキューブ」, 日刊工業新聞社 (1996)
- (2) Deering and Hinden: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC2460 (1998)
- (3) Schulzrinne, et al: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC1889 (1996)
- (4) Braden, Ed., et. al.: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Functional Specification, RFC2205 (1997)
- (5) URL <http://www.web3d.org/WorkingGroups/vrtp/>
- (6) URL <http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/projects/RCML/>