

触覚メディア通信と QoS

Haptic Media Communications and QoS

大西 仁 石橋 豊

Abstract

近年、情報を触覚・力覚モダリティで入出力する触覚インタフェース装置が普及し、これらを通信ネットワークで結ぶことにより、遠隔制御や遠隔での協調作業への応用が試みられている。しかし、インターネット等の QoS が保証されていない通信ネットワークで触覚情報を伝達すると、パケット損や遅延等の QoS 低下により、ユーザが違和感や操作性の低下を感じたり、作業自体が成立しなくなることがある。そこで、QoS が保証されていない通信ネットワークを介して触覚を含む作業の操作性を高く保つためには QoS 制御が必要になる。本稿では、まず触覚インタフェース装置及びそれを用いたアプリケーション、特に通信ネットワークを介した協調作業への応用を紹介する。次いで、通信ネットワークの QoS がユーザに与える影響とその影響を軽減・解消するための QoS 制御について解説する。

キーワード：触覚インタフェース装置、触覚メディア通信、QoS (Quality of Service)、QoS 制御

1. 触覚インタフェース装置

触覚インタフェース装置は、触覚^(注1)の入出力装置であり、仮想物体の形状、表面の凹凸などの手触り感、硬軟、質量やユーザの働きかけに対する反力等を表現することができる。触覚インタフェース装置の機能及び構造には様々なタイプがある。例えば、視覚障害者の感覚代行装置として開発されたオプタコン (optacon: Optical-to-Tactile-CONverter) に端を発する、マトリクス状に配置したピンが上下に振動し、指や手の平に微妙な皮膚感覚情報を出力する皮膚感覚ディスプレイ、マニピュレータを介してユーザが仮想物体に触れたり動かすことができ、物体の質感や反力をフィードバックする力覚ディスプレイ (図 1) は、典型的な触覚インタフェース装置である。近年、様々な触覚情報を入出力する多彩な触覚インタフェース装置が開発されている^{(1),(2)}。

触覚インタフェース装置により、ユーザは仮想空間内の物体に触れて物体の硬軟や表面の凹凸などを感じるこ

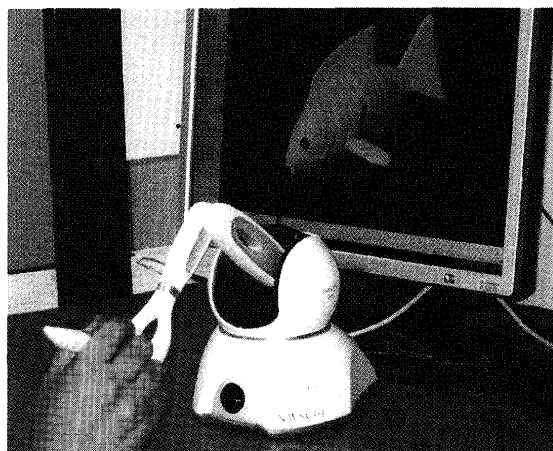


図 1 力覚ディスプレイ PHANTOM (SenSable Technologies) 魚の胸びれ部に触っている。

とができるので、仮想現実感システムにより臨場感を持たせることができる。例えば、外科手術のシミュレータ⁽³⁾は臨床経験の少ない新人医師が、患部の構造や質感、術式を学習するのに有効である。また、遠隔制御において操作者に微妙な感覚がフィードバックされれば、より精密な作業が可能になる。

(注 1) 本稿では、触や圧といった機械的刺激の受容で生じる感覚全般を触覚と呼ぶことにする。

大西 仁 正員 独立行政法人メディア教育開発センター研究開発部

E-mail ohnishi@nime.ac.jp

石橋 豊 正員 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

E-mail ishibas@nitech.ac.jp

Hitoshi OHNISHI, Member (Research and Development Department, National Institute of Multimedia Education, Chiba-shi, 261-0014 Japan) and Yutaka ISHIBASHI, Member (Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466-8555 Japan).

電子情報通信学会誌 Vol.91 No.2 pp.108-112 2008年2月

2. 触覚メディア通信と QoS

2.1 触覚メディア通信

通信ネットワークで触覚インタフェース装置を備えたシステムを結ぶことにより、遠隔地間で触覚情報を共有することが可能になる。本稿では、触覚情報の共有を含む通信を触覚メディア通信と呼ぶことにする。触覚メディア通信は、機器操作、工業製品の共同デザイン、技能的作業の支援や指導といった触覚情報が重要な作業を遠隔で行うことを可能にする。宇宙や危険な場所での繊細な作業を遠隔制御で行うこと、高度な技術を要する外科手術を熟練した専門家が遠隔から実施あるいは支援することは、典型的な応用のイメージであろう。

触覚メディア通信の応用分野は特殊環境や高度な専門領域に限定されるわけではない。触覚インタフェース装置が普及すれば、テレビ放送やインターネット等で受容している視聴覚情報に触覚情報を加えることにより、様々な情報に触ることができるようになる。例えば、最近の博物館（美術館、科学館等を含む）では、所蔵品の写真やCGと解説、更にインタラクティブ性を持たせて館内を仮想的に体験できる仮想博物館をインターネットで公開する活動が盛んになっている。仮想博物館に触覚メディア通信を適用した「触る分散仮想博物館」⁽⁴⁾は、館の内外から仮想化された展示品を自由に触ることができる。博物館の展示品の多くは保全のため触ることができないが、触る分散仮想博物館であれば貴重な展示品を傷つけることなく、彫刻像のみ遣い、油絵の厚く塗り込められた絵の具の感触と筆遣い、恐竜の皮膚の肌触り等を体験することができる。

触覚メディア通信は、手先の動きや力加減を伝達できるので、技能の指導への応用も注目されている。例えば、遠隔習字教示システム⁽⁵⁾は、指導者が「筆」に見立てた触覚インタフェース装置で手本となる文字を書くと、指導者の運筆が学習者側の「筆」に伝わり、学習者は握っ

た「筆」に誘導されて手本どおりの文字を書くことができる（図2）。学習者の運筆が手本から外れると、手本の軌道へ引き戻される。一般に技能の指導は、手先の動きや力加減を伝達できないことが多いが、遠隔習字教示システムの例のように、触覚メディア通信を用いることにより「手に手を取った」指導が可能になる。団塊世代の熟練工の大量退職に伴い、技能の継承が社会的な問題になっているが、触覚メディア通信はこの問題を解決する可能性を秘めている。

2.2 通信ネットワークの QoS が触覚メディア通信へ与える影響

触覚メディア通信をインターネットのように QoS の保証がない通信ネットワークを介して行う場合、通信ネットワークの QoS 低下の影響で、出力される触覚情報に変容し、ユーザが違和感や操作性の低下を感じたり、作業自体が成立しなくなることがある。通信ネットワークの QoS が問題になることは視聴覚通信でも同様であるが、出力がユーザや環境に対して物理的に働く触覚メディア通信ではその影響がより深刻になる。

例えば、通信ネットワークでパケット損が生じると、力が不連続的に変化し、ユーザは手に衝撃を受けたり、がたつきを感じたりする。通信の遅延量が揺らぐ場合も似たような影響を与える。図3はパケット損と遅延の揺らぎの影響を例示している。触覚インタフェース装置を円滑に動作させるために、通常 1kHz 程度の頻度で位置・姿勢情報のサンプリングが行われるので、各時刻における情報量自体は小さくても、伝送されるパケット数が多くなるので、トラヒックは大きくなる。そのため、帯域幅が十分確保されていないとパケット損や遅延が生じ、出力が円滑でなくなる。

触覚メディア通信の特徴的な問題として、視聴覚通信に比べて通信の遅延に厳しいことが挙げられる。視聴覚通信では片道で 150ms 以内の遅延であれば、特に問題

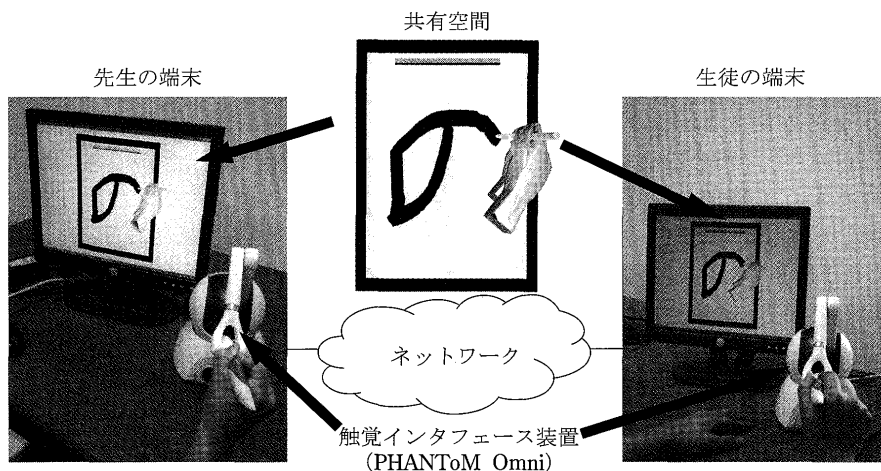


図2 遠隔習字教示システム

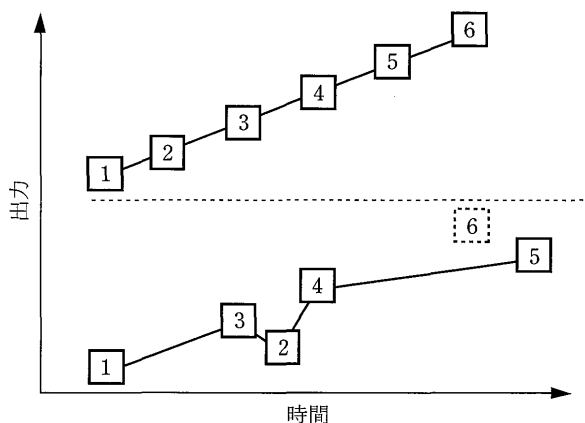


図3 パケット損と遅延揺らぎの影響 上段は損失と遅延がない場合、下段は2番目と5番目のパケットが遅れ、6番目のパケットが損失して、出力が乱れた例。

はないとされている⁽⁶⁾。実際、携帯電話では通常200ms以上の遅延が生じているが、特に問題とはなっていない。ところが、触覚メディア通信ではわずか数十msの遅延でも違和感が生じる⁽⁷⁾。

通信の遅延は、遅延の揺らぎがなければ、信号の構造を変化させない。そのため、視聴覚通信であれば、衛星中継のように1~3sの遅延があっても、会話自体は成立する。ところが、触覚メディア通信では、遅延により予想外に大きな反力が出力されたり、大きな振動が生じたりする。例えば、弾性体を押す状況を考える。ユーザは遅延がない状態での経験に基づいて弾性体を押すと、遅延のために押し込んだ量に応じた反力はその瞬間に出力されないで、期待したより小さな反力がフィードバックされる。そのため、ユーザは押込量が足りないと感じ、更に弾性体を押し込んでしまう。すると、結果的には意図したより押込量が大きくなり、ユーザが想定したより大きな反力が遅れてフィードバックされてしまう。

この問題を更に複雑にしているのは、出力の不連続性や遅延といった信号の物理的な変化がそのとおりに知覚されないことである。例えば、弾性体を押す場合、先の例のように押し込み過ぎることがなければ、遅延により反力は時間的にずれるだけなのだが、ユーザはそのようには感じず、あたかも弾性が減少したように感じる⁽⁸⁾。また、情報が届くまでユーザを待たせるために、触覚インタフェース装置をロックして動かさないようにすると、ユーザはロック解除後の弾性を実際より大きく感じる⁽⁹⁾。このように、ユーザの知覚は物理量をそのまま反映するのではなく、複雑な過程を経た産物であることから、信号の物理的な変化がユーザの知覚をどのように変化させているかを注意深く調べる必要がある。

2.3 触覚メディア通信におけるQoS制御

2.2で述べたように、触覚メディア通信は視聴覚通信

より通信ネットワークのQoSへの要求が厳しい。触覚メディア通信の要求をそのまま受け入れた通信ネットワークを構築することは、経済的に厳しいだけでなく、遅延に関しては物理的にも実現が難しい。そのため、QoSに制約のある通信ネットワークの下でも、操作性を維持するQoS制御技術が重要になる。触覚メディア通信におけるQoS制御法は様々なものが提案されているが⁽¹⁰⁾、ここではトラフィック制御とメディア同期制御について述べる。

2.3.1 トラフィック制御

限られた通信ネットワークの帯域幅を効果的に使用するために、まず思いつくのがトラフィックの削減である。視聴覚通信においては、音声・映像信号を圧縮するために様々な符号化法が提案されている。しかし、触覚情報の場合には状況が異なる。各時刻における触覚情報は、オブジェクトあるいは触覚インタフェース装置のカーソルの位置・姿勢情報と力情報で、速度情報やシーケンス番号などの情報を付加しても情報量は小さく、圧縮をかけても大きな効果は期待できない。1パケットに複数の時刻分の触覚情報を詰め込んで伝送すれば、トラフィックを減少させることができる。この方法では遅延が生じるため、遅延に厳しい触覚メディア通信では適用限界があるが、遅延の許容範囲内であれば有効な方法である⁽¹¹⁾。

遅延を生じさせないでトラフィック削減を行うには、サンプリングされる位置情報を間引いて伝送すればよい。もちろん、ただ位置情報を間引くだけでは出力が円滑でなくなってしまう。そこで、推測航法(dead reckoning)⁽¹²⁾と呼ばれるトラフィック制御法では、触覚情報を管理するサーバから触覚情報(位置情報)の送信を減らし、触覚インタフェース装置が接続されたクライアントでローカルに位置情報を予測する。位置情報の簡単な予測法は、例えば次式のような一次予測である。

$$x_n = x_{n-1} + (x_{n-1} - x_{n-2}) = 2x_{n-1} - x_{n-2}$$

ここで、 x_n は時刻 n における位置情報を表す。予測誤差があらかじめ設定したしきい値以下(許容範囲内)であればサーバからは位置情報を送信しないので、トラフィックを削減することができ、予測誤差がしきい値を超えたときのみ位置情報を送信して、位置情報の補正を行い操作性を維持する。補正においては、位置情報を一気に変更すると、出力が円滑でなくなってしまうので操作性の低下を招くことから、図4に示すように徐々に変更する方が有効な場合が多い。

推測航法のもう一つの利点は、パケット損や遅延による位置情報の欠損を予測により埋めることができることである。位置情報の予測は遅延補償のための予測制御、次に述べるメディア同期制御にも用いることができる。

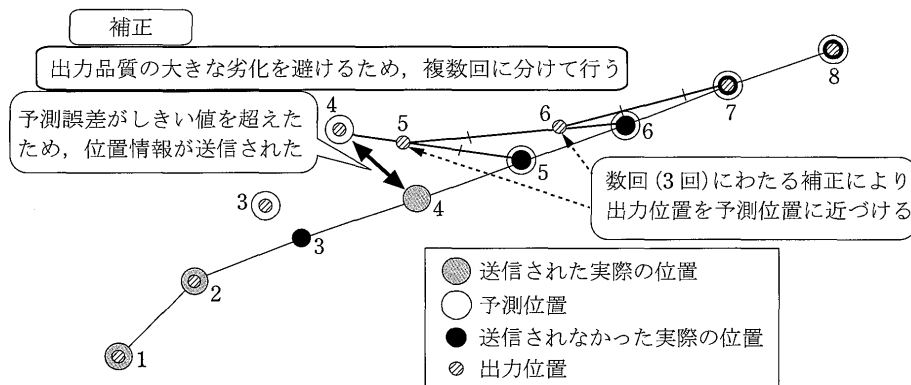


図4 推測航法 (dead reckoning)

2.3.2 メディア同期制御

出力される情報の時間構造を制御することをメディア同期制御と呼ぶ。このうち、単一ストリーム内の時間構造を維持するための制御をメディア内同期制御、触覚情報と聴覚情報のように複数メディア間の時間関係を維持するための制御をメディア間同期制御、複数の端末が存在するときに各端末に情報が届くタイミングをそろえる制御を端末間同期制御と呼ぶ。誌面の都合で、ここではメディア内同期制御にのみついて述べる。

通信ネットワークを介して伝達された位置情報は、遅延の揺らぎのために時間的に等間隔でなくなったり、順序が入れ換って届く。これらをそのまま出力すると出力の円滑さが損なわれる。そこで、時間構造を整えて出力を正常にするのがメディア内同期制御である。時間構造を整える簡単な方法は、届いた位置情報をいったんバッファリングして、位置情報の順序と間隔を整えて出力する方式である。遅延の大きさがバッファの容量以内なら、正しい順序で等間隔に出力することができる。また、バッファの容量を超えて遅延したり、パケット損で届かなかった位置情報についても、先に述べたような予測を用いることにより、ある程度欠損を埋めることができる。

バッファの容量を大きくすれば、大きな遅延の揺らぎを吸収できるが、その分出力の遅延が大きくなってしまい、触覚メディア通信としては不都合である。そこで、遅延の揺らぎが小さいときにはバッファの容量を小さくして、小さな遅延で時間的構造の整った位置情報を出力し、遅延の揺らぎが大きいときには、バッファの容量を大きくし、遅延の影響を可能なかぎり抑えつつ時間的構造の整った位置情報を出力しようとするのが、VTR (Virtual-Time Rendering) と呼ばれるメディア内同期制御法である⁽¹³⁾。

3. おわりに

「百聞は一見にしかず」といわれているが、触覚インタフェース装置を介して仮想物体に触れる感覚、通信

ネットワークの QoS 低下に伴い生じる違和感、そして触覚メディア通信の魅力は、正に実際に触れることにより初めて（そして直ちに）理解できるものであり、機会があれば是非とも体験して頂きたい。

文 献

- (1) 吉川恒夫 (ゲストエディタ), 「ハプティックインターフェイス」特集, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.3, no.3, pp.63-147, 1998.
- (2) 篠田裕之, 高橋秀智 (ゲストエディタ), 「触・力覚情報の処理と呈示」特集, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.11, no.1, pp.1-131, 2006.
- (3) 鈴木薫之, 鈴木直樹, 服部麻木, 林部充宏, 大竹義人, 小林 進, 橋爪 誠, 「臓器変形モデルと力覚フィードバックデバイスを用いた手術シミュレータの開発」, 日本バーチャルリアリティ学会誌, vol.9, no.2, pp.33-38, 2004.
- (4) 浅野寿朗, 石橋 豊, 峯澤聡司, 「触る分散仮想博物館における展示オブジェクト表示と解説情報ストーリーミング開始の適応制御」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.11, no.1, pp.27-38, March 2006.
- (5) Y. Ishibashi and T. Asano, "Media synchronization control with prediction in a remote haptic calligraphy system," Proc. ACM SIGCHI ACE'07, pp.79-86, June 2007.
- (6) ITU-T, "One-way transmission time," ITU-T Recommendation, G.144, 2003.
- (7) S. Matsumoto, I. Fukuda, H. Morino, K. Hikichi, K. Sezaki, and Y. Yasuda, "The influences of network issues on haptic collaboration in shared virtual environments," Proceedings of the Fifth PHANTOM Users Group Workshop, 2000.
- (8) H. Ohnishi and K. Mochizuki, "Effect of delay of feedback force on perception of elastic force: A psychophysical approach," IEICE Trans. Commun., vol.E90-B, no.1, pp.12-20, Jan. 2007.
- (9) 大西 仁, 林 大作, 中村直人, 望月 要, 「力覚ディスプレイの端末ロックが力知覚に与える影響」, 信学技報, CQ2007-11, pp.61-64, April 2007.
- (10) 石橋 豊, 「触覚メディアを用いた分散仮想環境における QoS 制御」, 信学技報, CQ2004-120, MVE2004-60, pp.37-42, Jan. 2005.
- (11) M. Fujimoto and Y. Ishibashi, "Packetization interval of haptic media in networked virtual environments," Proc. ACM NetGames'05, Oct. 2005.
- (12) S.K. Singhal and D.R. Cheriton, "Using a position history-based protocol for distributed object visualization," Technical Report, Stanford University, Department of Computer Science, 1994.
- (13) Y. Ishibashi, S. Tasaka, and T. Hasegawa, "The virtual-time rendering algorithm for haptic media synchronization in net-

worked virtual environments,” Proc. the 16th International Workshop on Communication Quality & Reliability (CQR), pp.213-217, May 2002.

(平成 19 年 8 月 13 日受付 平成 19 年 9 月 25 日最終受付)



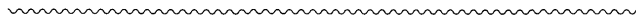
おおにし ひとし
大西 仁 (正員)

平 2 東工大・工・制御卒. 平 7 同大学院博士課程了. 博士 (学術). 現在, メディア教育開発センター准教授. 総合研究大学院大准教授を併任. 最近の主な興味は, 情報通信環境での認知特性を調べ, 情報通信システムの QoS 向上や認知のメカニズムの解明に生かすこと.



いしばし たかふみ
石橋 豊 (正員)

昭 56 名工大・工・情報卒. 昭 58 同大学院修士課程了. 同年日本電信電話公社 (現 NTT) 入社. NTT ヒューマンインタフェース研究所主任研究員を経て, 平 5 より名工大・電気情報・助教授. 現在, 同大学院教授. 工博. 分散マルチメディアの研究に従事.



正 誤

平成 19 年 12 月号

講演 青色発光デバイスはいかに創られたか

訂正箇所	誤	正
英文目次 (CONTENTS) Speech/Address 下 英文タイトル 並びに p.1009 上 英文タイトル	How We Created the Blue-Light-Emitting Devices Using GaN pn Junctions?	How We Created the Blue-Light-Emitting Devices Using GaN pn Junctions
p.1017 図 9 キャプション 3 行目	電圧特性 (a) と GaN MIS 型青色 LED の同特性 (b);	電圧特性 (左) と GaN MIS 型青色 LED の同特性 (右).
p.1017 右欄 上から 13 行目	…実現においても, p 形伝導の制御と…	…制御においても, p 形伝導の実現と…