

## 力覚及び視覚メディア伝送における QoE 評価と QoS 制御に関する研究

学籍番号 23413522 氏名 長田 純矢  
指導教員名 石橋 豊

### 1 序論

多様な触覚インタフェース装置の登場により、従来から用いられてきた視覚メディアなどに加えて、ネットワークを介して力覚メディアを伝送することが可能となってきた。また、力覚メディアと視覚メディアを併用することにより、遠隔作業などの作業効率が向上すると期待されている。力覚メディアと視覚メディアを併せて用いているシステムの例として、力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システム [1] や遠隔教育システムがある。さらに、視覚メディアについては、通常のビデオの他に、より臨場感の高い映像を体験することが可能となる立体ビデオや、利用者が自由に視点を変更することのできる自由視点ビデオ [2] に関する研究も盛んに行われている。

しかし、インターネットなどの QoS (Quality of Service) 保証のないネットワークを介してこれらのメディアを伝送すると、ネットワーク遅延やその揺らぎなどにより、メディアの時間関係に乱れが生じ、出力品質が劣化し、QoE (Quality of Experience) が大きく低下する可能性がある。この問題を解決するため、メディア同期制御などの QoS 制御を行う必要がある。

前述の遠隔制御システムや遠隔教育システムにおいては、伝達する情報により様々な力覚の制御方式が存在する [3]。文献 [3] では、二つの異なる触覚インタフェース装置を用いて遠隔制御システムを構築し、異なる二つの力覚の制御方式 (Position-Position 制御方式と Position-Force 制御方式) を適用している。そして、各インタフェース装置の位置と反力を計測し、制御方式の比較を行っている。インターネットなどの QoS 保証のないネットワークを介してこれらの制御方式を用いる場合、ネットワーク遅延の影響により、QoE が劣化する恐れがあるため、ネットワーク遅延が QoE に与える影響を調べる必要がある。また、力覚の制御方式や作業内容の違いによって、影響が異なる可能性がある。しかし、二つの制御方式を用いた場合のネットワーク遅延による影響の比較は行われていない。

また、文献 [2] では、自由視点ビデオ伝送における二つの伝送方式 (合成画像伝送方式、画像・奥行き画像伝送方式) に対して、QoE 評価を行い、ネットワーク遅延が視点変更に与える影響を調査している。より臨場感の高い映像を体験するため、自由視点ビデオを立体視することが考えられるが、立体視を行うことにより、二つの伝送方式間の定量的関係が変わる可能性がある。しかし、立体視を行う場合の方式間の比較は行われていない。

さらに、メディア間同期制御により、複数のメディアを同期する場合、一部のメディアのメディア内同期品質が劣化するという問題がある。そこで、文献 [4] では、端末間同期制御を用いて複数メディア間の同期を実現している。しかし、最も遅いもの出力タイミングを合わせているため、インタラクティブ性が大きく損なわれる可能性がある。そのため、メディア内同期品質とインタラクティブ性を高く維持しつつ複数メディア間の同期を実現する制御が必要となる。

そこで、本論文では、力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムにおいて、ネットワーク遅延が QoE に与える影響を調査し、力覚の制御方式の比較を行う。また、遠隔教育システムにおいても、同様の調査を行う。さらに、自由視点ビデオ伝送において、立体視を行う場合に対して、2 方式 (合成画像伝送方式と画像・奥行き画像伝送方式) の比較を QoE 評価によって行う。そして、QoS 制御として、端末間同期制御を用いたメディア間同期アルゴリズムを提案する。

### 2 力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムにおける力覚の制御方式の比較

本章では、力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムにおいて、文字を書く作業と粘土を切る作業を対象とし、ネットワーク遅延が QoE に与える影響を調査し、力覚の制御方式の比較を行う。

#### 2.1 力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システム

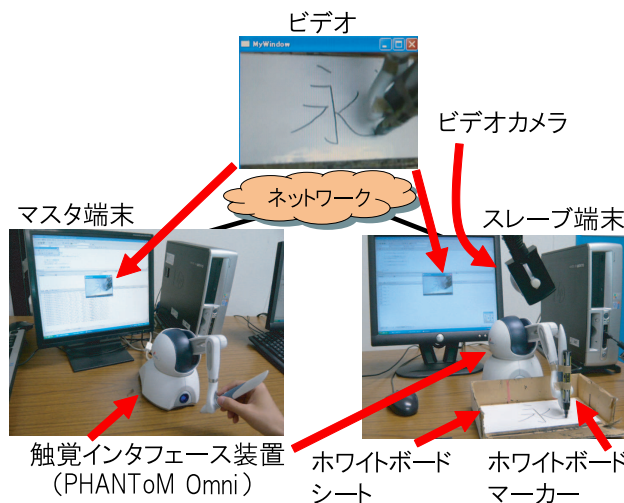


図 1: 遠隔制御システムの構成

力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムの構成を図 1 に示す。本システムは、一台のマスタ端末と一台のスレーブ端末から構成される。各端末には触覚インタフェース装置として、PHANToM Omni (以下、PHANToM と略す) が備え付けられている。文字を書く作業を行う場合には、スレーブ端末の PHANToM スタイルスにはホワイトボードマーカーが取り付けられており、PHANToM の手前にはホワイトボードシートが置かれている。なお、粘土を切る作業を行う場合には、スレーブ端末の PHANToM スタイルスには粘土カッターが取り付けられ、PHANToM の手前には粘土板が置かれる。また、スレーブ端末にはビデオカメラが接続されている。これにより、マスタ端末の利用者は、ビデオを見ながらスレーブ端末の PHANToM を遠隔操作することにより、文字を書いたり、粘土を切ることができる。

#### 2.2 評価方法

評価では、マスタ端末とスレーブ端末は、ネットワークエミュレータ (NIST Net) を介して接続される。そして、NIST Net を用いて、通過する各パケットに対し、固定遅延を付加する。固定遅延は 0ms から 200ms まで 50ms 間隔で変化させる。そして、力覚の制御方式と固定遅延をランダムに選択して、各被験者に提示する。

QoE 評価では、被験者は、マスタ端末において、スレーブ端末の PHANToM を遠隔操作し、文字を書く作業 (以下、評価 1 とする) または粘土を切る作業 (評価 2) を行う。被験者には、文字の書きやすさまたは粘土の切りやすさについて、5 段階妨害尺度 (5: 劣化が分からない、4: 劣化が分かるが気にならない、3: 劣化が気になるが邪魔にならない、2: 劣化が邪魔になる、1: 劣化が非常に邪魔になる) に従って評価をつけてもらい、MOS (Mean Opinion Score) を求める。文字を書く作業における被験者は 22 歳から 28 歳の男女 15 名であり、粘土を切る作業におけるそれは 21 歳から 27 歳の男女 15 名である。

#### 2.3 評価結果と考察

図 2、図 3 にそれぞれ評価 1、評価 2 における MOS を示す。図 2 より、固定遅延が約 0ms より大きくなると、Position-Position 制御方式よりも Position-Force 制御方式の MOS が低くなっていることが分かる。この理由は以下の通りである。Position-Position 制御方式では、固定遅延が増加すると、マスタ端末とスレーブ端末の PHANToM スタイルスの位置の差が大きくなり、マスタ端末において、提示される反力が大きくなる。一方、Position-Force 制御方式では、スレーブ端末で計算された反力がネットワーク遅延の分だけ遅れてマスタ端末で出力されるため、マスタ端末の被験者が動かしている向きの反対方向と提示される反力の向きにずれが生じる。また、文字を書く作業においては、マスタ端末において被験者が PHANToM スタイルスを動かす方向は頻繁に変化する。そこで、Position-

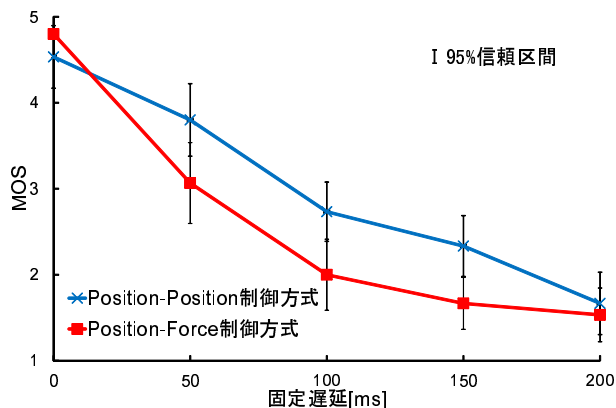


図 2: 固定遅延に対する MOS(評価 1)

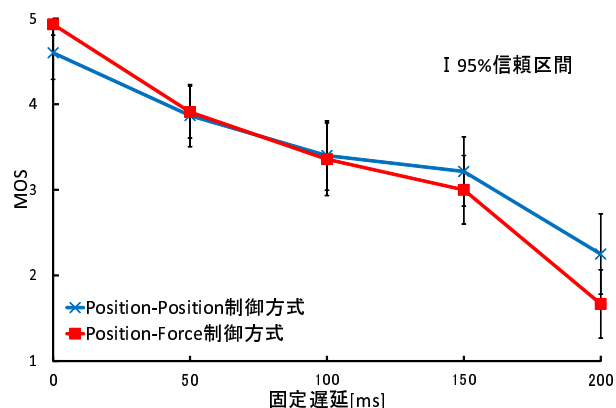


図 3: 固定遅延に対する MOS(評価 2)

Position 制御方式よりも、Position-Force 制御方式を用いる場合の方が、反力の向きのずれにより、文字の書きにくさをより感じやすくなるためである。

図 3 では、図 2 と比べると、Position-Force 制御方式の MOS が少し高くなっている。これは、粘土を切る作業では、文字を書く作業に比べ、直線的な動きが多くなり、ネットワーク遅延が増加しても、反力の方向のずれを感じにくくなるためである。

以上より、遠隔制御システムでは、Position-Position 制御方式を用いるのが望ましい。

### 3 力覚メディア・ビデオを用いた遠隔教育システムにおける力覚の制御方式の比較

本章では、力覚メディア・ビデオを用いた遠隔教育システムにおいて、文字を書く作業を対象とし、QoE 評価によって、力覚の制御方式の比較を行う。

力覚メディア・ビデオを用いた遠隔教育システムは、先生の端末一台と生徒の端末一台から構成される。第 2 章で扱った遠隔制御システムと異なり、このシステムでは、両端末の PHANTOM スタイラスにホワイトボードマーカーが取り付けられており、PHANTOM の手前にホワイトボードシートが置かれる。また、PHANTOM スタイラスをテープで固定せず、両端末の利用者は、PHANTOM スタイラスに手を添えることで操作を行う。さらに、両端末にはビデオカメラが取り付けられており、端末間でビデオを相互に伝送する。先生は、ネットワークを介して PHANTOM を遠隔操作することにより、生徒に文字の書き方を教示することができる。また、生徒が主体となって文字を書くことで、先生が生徒の書いた文字を確認することもできる。そのため、遠隔制御システムと異なり、先生または生徒の端末の利用者のどちらが主体となって文字を書くこともあり得る。

QoE 評価では、端末間に固定遅延を発生させた。そして、被験者に生徒の立場で「永」という文字を書く作業を行ってもらった後、先生の立場で同じ作業を行ってもらった。その結果、Position-Position 制御方式を用いるときには、先生が主体となって文字を書く場合と生徒が主体となって文字を書く場合、書きやすさの MOS に差はほとんどないことが分かった。一方、Position-Force 制御方式を用いるときには、先生が主体となって文字を書く場合と比べて、生徒が主体となって文字を

書く場合には、固定遅延が増大すると MOS が大きく低下することが明らかとなった。従って、遠隔教育システムにおいては、Position-Position 制御方式の方が優れていると言える。

### 4 自由視点立体ビデオ伝送におけるネットワーク遅延の影響

本章では、自由視点立体ビデオ伝送において、文献 [1] で用いられている二つの伝送方式 (合成画像伝送方式と画像・奥行き画像伝送方式) の比較を QoE 評価によって行う。

自由視点立体ビデオ伝送システムは、サーバ端末とクライアント端末から構成される。サーバ端末には、複数台のビデオカメラで撮影したビデオを蓄積したストレージあるいは複数台のビデオカメラが接続されており、必要に応じてビデオ等のデータをクライアント端末に伝送する。クライアント端末では、立体ビデオを表示するための立体ディスプレイが接続されており、受信したデータを基に合成した自由視点立体ビデオが表示される。また、クライアント端末の利用者は、マウスを画面上で移動することによって視点を変更することができ、偏光眼鏡をかけることで立体視が可能となる。

QoE 評価では、端末間に固定遅延を発生させ、クライアント端末の被験者に自由視点立体ビデオを提示した。被験者には、合成画像伝送方式および画像・奥行き画像伝送方式における画像品質、視点変更のインタラクティブ性、総合品質について、ローカルで自由視点立体ビデオの生成を行う場合を基準として評価してもらった。結果として、方式間の優劣関係はほとんど文献 [1] と同様となったが、立体視を行うことにより、両方式ともに、画像品質と総合品質が向上することが分かった。

### 5 端末間同期制御を用いたメディア間同期アルゴリズムの提案

本章では、端末間同期制御を用いたメディア間同期アルゴリズムを提案し、アルゴリズムの動作確認実験を行う。

このアルゴリズムでは、メディア間同期誤差の知覚限界とその限界内でより範囲の狭い運用限界を用いる。知覚限界とは、メディア間同期誤差がこれを下回ればほとんどの人が誤差を知覚しなくなる範囲である。そして、メディア間同期誤差が知覚限界を越えた場合には、誤差が運用限界内に入るように、出力タイミングの修正を行う。さらに、メディアとしてビデオと力覚メディアを対象とし、実験によりアルゴリズムの動作確認を行った。結果として、アルゴリズムは正しく動作していることが示された。

### 6 結論

本論文では、まず、力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムと遠隔教育システムにおいて、二つの力覚の制御方式 (Position-Position 制御方式と Position-Force 制御方式) の比較を QoE 評価により行った。その結果、Position-Force 制御方式よりも Position-Position 制御方式の方が QoE が高くなることが分かった。

次に、自由視点ビデオ伝送において、自由視点ビデオを立体視する場合に対して、ネットワーク遅延が QoE に与える影響を調査し、二つの伝送方式 (合成画像伝送方式と画像・奥行き画像伝送方式) の比較を QoE 評価により行った。そして、立体視の有無に関わらず、方式間の優劣は変わらないことが明らかとなった。また、立体視を行う場合、立体視を行わない場合と比べ、画像品質と総合品質が向上することが判明した。

さらに、QoS 制御として、端末間同期制御を用いたメディア間同期アルゴリズムを提案し、ビデオと力覚メディアを対象とし、動作確認実験を行った。結果として、端末間同期制御を用いたメディア間同期アルゴリズムは正しく動作していることが示された。

今後の課題として、力覚の制御方式の改良を考え、その効果を検証することや、自由視点立体ビデオ伝送において、異なるカメラワークや多様なコンテンツに対して QoE 評価を行うこと、さらに、提案アルゴリズムの QoE 評価による有効性の調査などが挙げられる。

### 7 参考文献

- [1] 渡邊他, VRSJ 論文誌, vol. 15, no. 2, pp. 251-262, June 2010.
- [2] 立松他, 映情学誌, vol. 64, no. 12, pp. 1873-1883, Dec. 2010.
- [3] H. Y. K. Lau et al., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 21, no. 2, pp. 145-152, Apr. 2005. [4] 宮下他, 映情学誌, vol. 66, no. 4, pp. J114-J118, Apr. 2012.