ＪＧＮを用いた双方向遠隔制御について

Experiments on kinesthetic communication over the Giga-bit network

○汐月哲夫（熊本大学工学部）

概要：2000 年 12 月より実施している「ギガビットネットワークによる力覚情報通信システムの運用実験（プロジェクト番号：JGN-G12014）」が本年度をもって終了するにあたり，その総括を行う．

１．概要

一般に，ネットワークを介した双方向遠隔操作システムは，その伝達遅延のために不安定現象を起してしまう．しかし，近年完成の域に達したロバスト制御理論を用いることによりほぼ完全に安定化することが可能である．この研究ではロバスト制御の有効性を確認するための実証実験を JGN を利用して行った. ネットワークに接続した力覚センサを付加した DC サーボモータに，通信遅延特性を考慮してロバスト制御理論にもとづいて設計した制御アルゴリズムを RT-Linux を用いて実装し, 系の安定性と力覚情報の伝達特性に関する実験を行った.

２．目的

ネットワークを介して力覚情報を伝達する技術は，福祉，医療，教育，娯楽，防災，安全，建築，土木などあらゆる分野で必要とされている．特に，医療分野では遠隔手術への期待もあって盛んに研究開発が行われているが，伝達遅延とその揺らぎにともなう不安定性や性能の劣化が問題となっている．本研究の目的は，近年理論的にも実用手段としても確立されたロバスト制御理論がこの問題の解決に有効であることを実証することである．

３．主な研究使用機材及び構成

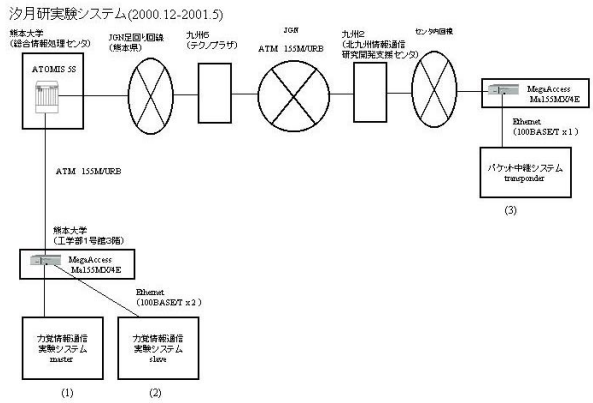

図１．実験に使用したネットワーク構成図

表１．使用した実験装置の諸元

力覚情報通信システム(MF-TX/RX-master/slave)

記号	機能	仕様
PC	DOS/V パソコン	CPU: Pentium 75(XXX MHz) Memory: 32MB HDD:
NIC	ネットワークカード	10BASE-T, NE2000互換
OS	オペレーティングシステム	Linux 2.0.27 RT-Linux 0.5
AD/DA	AD/DA コンバータ	12bit x 2ch(-5V$¥sim$+5V) (aISA-A57, アドテックシステムサイエンス)
ENCC	エンコーダカウンタ	24bit x 2ch(A,B相, TTL入力) (IBX-6201, インターフェース社)
SC	シグナルコンディショナ	1kHz, (HSC-20B, 共和電業)
F-SEN	力覚センサ	+-10Kg(LUB-B, 共和電業)
AMP	サーボアンプ	電圧制御／電流出力／PWM(SMCM4-AI, サーボランド)
DC-MOTOR	DC サーボモータ	110W,75V,2A（L511-042EL8,山洋電気）
RENC	ロータリーエンコーダ	1000p/rev

４．主たる成果

- RT-Linux を用いた実時間制御実験システムの構築： UNIX との共存性，プログラミングの簡便さ，リアルタイム性能の優秀性などの観点から，組み込み用 OS として非常に有用であることが確認できた．簡便な利用手引き（講習会用資料）を作成し普及のための活動に利用している．今後 UML などを考慮した標準化を行う予定である．
- 遅延測定実験： TCP/IP や UDP/IP による伝達遅延の実態をあらゆる状況を想定して実測し解析した．遅延の揺らぎはランダムであり統計的な処理にもとづく確率モデルが適当であると考えられる．パレート(Pareto)分布は有力な候補である．
- 遅延エミュレータの製作： 遅延測定実験の解析結果を元に RT-Linux を活用して遅延，揺らぎ，パケットロス，パケットの順序入れ替えなどが模擬できるエミュレータを開発し，低品質ネットワーク実験に活用している．
- ロバスト制御系設計と実験： 遅延とその揺らぎを制御対象の乗法的摂動（あいまいさ）としてモデルに組み込み，この摂動に対してロバスト（頑強）な制御器を H∞制御理論を用いて導出した．これをパソコンに実装して実験を行い，安定性の増大，力覚情報通信の観点からの透過性，双方向遠隔操作システムとしての操作性の改善が見られた．

これにより，力覚・触覚などの運動感覚をネットワークを介した情報通信のコンテンツとして捉えるための端緒が開かれたと考えることができ，次のステップとしてあらゆる方面への実用的な問題への展開が可能である．ただし，実用にあたっては，ネットワーク品質や制御アルゴリズムとシステムの性能との関係について理論的にも実験的にも詳細な検討が必要であり，それをもとに標準化がなされるべきである．企業化 先に述べたように，福祉，医療，教育，娯楽，防災，安全，建築，土木などあらゆる分野での展開が考えられる．

５．プロジェクトのアピールポイント

本プロジェクトでは，情報通信ネットワークを介して力覚情報を伝えようという試みを行った．そのために最大の問題である伝達遅延にともなう不安定化に対して，ロバスト制御理論が有効であることが実際の実験を通して実証された．ロバスト制御理論による遅延問題の解決はロボティクスや制御理論の分野では広く議論されているが，本プロジェクトはそれを実証するものである．この種の実験を行った例は MIT や一部の大学･研究機関を除いてほとんどなく，JGN のような大規模なネットワークで２年以上に渡り長期に行った実験は皆無である．本プロジェクトの成果は，双方向遠隔操作システムの操作性を力覚フィードバックを行う事によって格段に向上させる効果があり，福祉，医療，教育，娯楽，防災，安全，建築，土木などあらゆる分野での展開が期待でき，その社会的効果は小さくない．

連絡先：

汐月哲夫
熊本大学工学部
数理情報システム工学科 助教授
住所： 熊本市黒髪 2-39-1
TEL： 096-342-3633
FAX： 096-342-3633
E-mail： shio@cs.kumamoto-u.ac.jp