

## インターネットカー：ネットワークを介した 遠隔操作システムの開発と評価\*

2R-7

佐々木 辰則      山下 啓太      安部 謙介      菊池 浩明      中西 祥八郎†

東海大学工学部‡

### 1 はじめに

低コストで双方向の通信を提供するインターネットによって、我々の生活環境が大きく変わろうとしている。インターネットを介した遠隔治療等、その特性を生かした新しい応用も始まっている。その一方で、通信回線の帯域不足や、伝送遅延などの問題が認識され、アプリケーションに応じた品質保証などの技術が要請されている。そこで、我々は、遠隔操作の具体例として、RCカーを取り上げ、インターネット経由で操作するシステムを実現した。通信品質と操作性の関係を明らかにする為に、実装システムを用いて、品質の異なるいくつかの通信メディアを用いた操縦実験を行なった。本稿では、システム実装について述べ、評価実験結果を報告する。

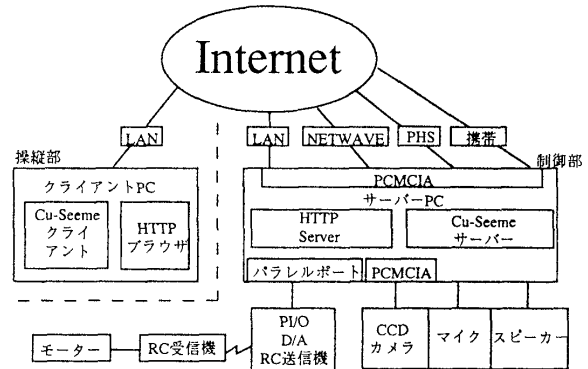


図 1: システム構成図



図 2: インターネットカー

### 2 システム構成

#### 2.1 ハードウェア

図 1に全体のシステム構成を示す。本システムは、ユーザインターフェースを提供し、コマンドを送信する操縦部と RC カー本体である制御部から成る。制御部には、Windows95 の走るノート型 PC を置き、RC カーの走行駆動系と全体の制御を行う。PC には、データの送受を行うネットワークインターフェースと CCD カメラ、マイク、スピーカの入出力機器、及びパラレルポート経由の走行駆動系制御ボードが接続されている。制御ボードは、パラレルポートのデジタル信号を RC 送信機の電圧値へ D/A 変換する。前後、左右各 3 ビットの信号が割り当てられている。なお、本システムでは RC カーに田宮模型の「クラッドバスター」、ノート PC に東芝の Libretto100 (950g) を用いた (図 2)。

#### 2.2 ファームウェア

操縦部と制御部の通信には、TCP/IP 上の HTTP プロトコルと電子会議システム Cu-SeeMe Ver.3.1.1 の独自プロトコルが用いられる。従って、データリンク層が無線 LAN や PHS に置き換わっても影響を受けない。Cu-SeeMe は peer-to-peer の関係だが、HTTP は、操縦側がクライアント (ブラウザ)、ラジコン側がサーバとなる。CGI を経由して、操縦データを受け取り、パラレルポートの制御プログラムや音声データ再生プログラム等を起動する。HTTP サーバには、汎用の OmniServer Ver.2.0b1 を、ブラウザには IE3.0 を利用した。

操縦部のユーザインターフェースを図 3 に示す。左のウィンドウが RC カーに接続したカメラからの動画像、

\*InternetCar: A car remotely controlled via the Internet, Development and Evaluation

†Tatsunori Sasaki, Keita Yamashita, Kensuke Abe, Hiroaki Kikuchi, and Shohachiro Nakanishi

‡Faculty of Engineering, Tokai University

右が操縦用の Web ページである。前進や停止のボタンが、制御信号と時間の組のコマンド列に対応しており、POST メリッドにより符号化、送信される。この一連のコマンド列をアクションと呼ぶ。帯域によっては遅延が無視出来ないほど大きくなる為、全アクションは停止信号で終わる。

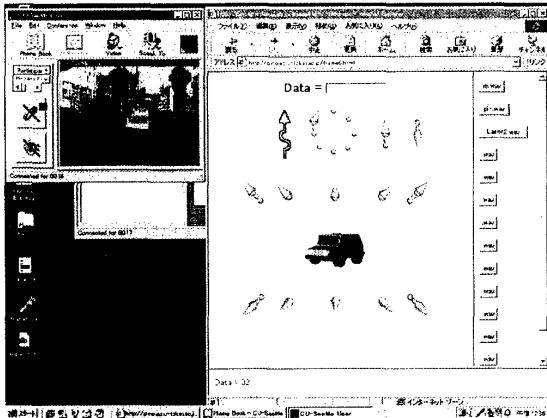


図 3: 制御インターフェース

### 3 評価

#### 3.1 RC 車の動作特性

RC 車のモーターのゲインは、RC 送信機（プロポ）の操縦スティックの傾きに連動する。このスティックの傾きに連動する電圧値  $E_1$  に対する前後モーターへの電流  $I$  の変化を測定した（図 4）。モーターの特性は、非

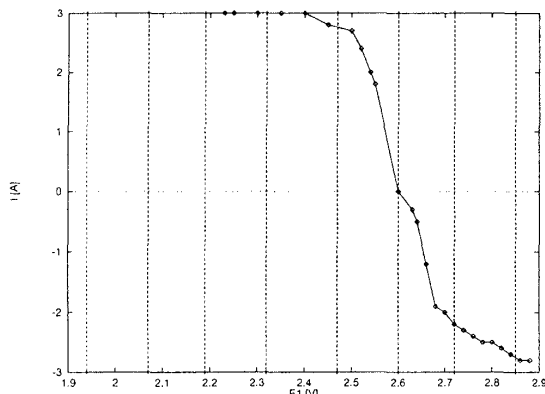


図 4: モーター特性と制御信号

線形な振る舞いをしている。一方、D/A 変換された制御信号は、図の上で 8 本の点線で示されるように線形である。従って、頻繁にチューニングが必要になることがわかった。ただし、左右の特性はこの限りでない。

#### 3.2 通信品質に対する操作性

通信メディアの帯域と通信遅延が、RC 車の操作性にどの様に影響を及ぼすかを調べる為、走行実験を行った。用いたメディアは、LAN (Ethernet, 10 Mbps)、無線 LAN (Xircom 社 WaveLan, 1 Mbps)、PHS (DDI, 32 Kbps)、携帯 (Docomo 1.5 GHz, 9600 bps) の 4 つである。遠隔地にいる 3 名の操縦者 A, B, C の各々が、幅 7m78cm の 2 本のポールの間を 8 の字走行し、経過時間とアクション回数を測定した。CU-SeeMe は、音声の通信を停止し、白黒モーション JPEG、20% の品質、送受信レートを帯域の 80% となるように設定した。帯域に対する単位時間あたりのアクション数を、図 5 に示す。測定は、各メディア毎に複数回行ない、アクション回数が一定となるデータを選んだ。この結果は、

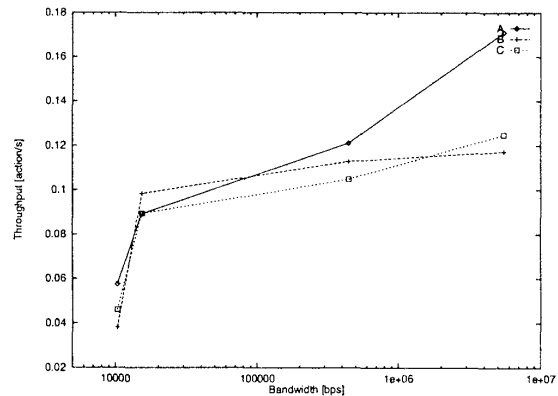


図 5: 各帯域における操作性

帯域が高い程、操作性が良い事を示しているが、帯域に比例しているわけではない。送信されるフレーム数や CPU の負荷などが複雑に影響していることが予想される。なお、被験者によると、遠隔操縦には少なくとも 32 kbps 以上の帯域が必要である。

### 4 終わりに

インターネット経由で RC 車を遠隔操作するシステムを開発し、帯域に対する操作性などの評価を行った。本実装では、操作インターフェースに通常の Web ブラウザを用いており、インターネットに繋がっているところであれば、どこからでも操縦出来る。この簡易性を生かした新しい応用が開けるものと期待している。

### 参考文献

- [1] 岡田他, 「インターネットの測定 第 2 回 ネットワークの中身が見える」, bit, vol.30, No.8, pp.51-58, 1998