

遠隔機器制御プロトコル RACP のフレームワークとその応用

西村 浩[†] 前田 香織^{††} 相原 玲[†]

情報機器や家電機器のネットワーク化により、遠隔地から機器を制御できるようになりつつある。また近年の携帯電話をはじめとする携帯端末の急速な普及は情報通信基盤の整備をさらに加速させ、遠隔機器制御の実現に向けた準備が整った。そこで、本論文では遠隔機器制御プロトコル RACP のフレームワークを設計し、提案する。RACP は、インターネット上でビデオカメラなどマルチメディア機器を制御するためのプロトコル CRCP の拡張となっている。RACP は、制御対象の機能を抽象化し、ネットワーク上を流れる制御コマンドをプロトコルとして標準化し、機器制御がメーカーや機種に依存しないなど、CRCP の特徴を継承している。さらに、機能拡張に対する様々な工夫を施すことにより、多岐にわたる応用が可能となった。本論文では、RACP の詳細と RACP を用いた種々の応用システムの実装と評価について述べる。その結果、RACP プロトコルによるオーバーヘッドが十分に小さいこと、制御対象が容易に拡張可能で、実用性に富むことなどを示す。

A Framework of Remote Appliance Control Protocol (RACP) and Its Applications

KOUJI NISHIMURA,[†] KAORI MAEDA^{††} and REIJI AIBARA[†]

As home appliances have network capability, it becomes available to control such appliances through network like the Internet. Rapid popularization of portable terminals, for example cellular phone, makes the preparation of infrastructure accelerates. The time is ripe to realize remote appliance control through the Internet. In this paper, we design and propose the framework of a new protocol RACP. RACP is the extension of CRCP which controls multimedia devices like video cameras over the Internet. Then RACP inherits the concept of CRCP. For example, the abstraction of target devices, the standardization of commands passing over the Internet and the independence from a manufacturer or a model of device. Furthermore, RACP has a feature of easy to extend the supported devices. We also describe the development and the evaluation of several applications using RACP. From the result, we can find that RACP has a negligible protocol overhead and is easy to extend the supported devices.

1. はじめに

情報機器や家電機器のネットワーク化が進む中で、その利用形態も大きく変化しつつある。以前は利用者は利用する機器の設置場所に赴き、直接あるいは赤外線リモコンなどを用いて、機器が見通せる比較的近距离から機器の制御を行っていた。しかしこれらの機器のネットワーク化により、距離の壁を越え、ネットワークを介してはるか遠方からでも制御できるようになりつつある。一方、近年の携帯電話の高機能化や小型化とその爆発的な普及は、携帯端末の普及と情報通

信基盤の整備をさらに推し進める結果となり、遠隔機器制御の実現に向けての準備は整った。

現在までに多くの機器制御方式が提案^{1)~8)}されているが、それらは必ずしもネットワーク環境を意識して設計されたものではない。これに対し、筆者らはビデオカメラやテープレコーダなどマルチメディア機器を制御対象とした CRCP (Camera Recorder Control Protocol) を提案し、実装と評価を行った⁹⁾。CRCP は当初からネットワーク環境での利用を前提に設計されたものであり、ネットワークと接する点を制御対象や制御者の境界点として、ネットワーク上に流れる制御コマンドを標準化する方式である。CRCP では制御対象を抽象化し、制御インタフェースを共通化するため、たとえばビデオカメラは、そのメーカーや機種に固有の制御手順に依存することなく、同一のコマンドでネットワークを介して制御できるようになった。

[†] 広島大学情報メディア教育研究センター
Information Media Center, Hiroshima University

^{††} 広島市立大学情報処理センター
Information Processing Center, Hiroshima City University

しかし現実には、マルチメディア機器に限らず家電機器などにまで制御対象を拡張可能なプロトコルが必要とされている。CRCP は機能拡張が容易であるよう設計されているが、マルチメディア機器を主な制御対象としていたため、拡張が容易な汎用のプロトコルとするには、フレームワークの再設計が必要であった。

そこで本論文では、CRCP の基本的な考え方や特徴を保持したまま、制御対象を容易に拡張可能とした遠隔機器制御プロトコル RACP (Remote Appliance Control Protocol) のフレームワークを設計する。そしてそのフレームワークに基づいた応用システムの構築と評価を通して、RACP を用いることの利点について議論する。

以下、2章では機器制御方式について考察し、RACP における機器制御の考え方について述べる。3章では RACP のフレームワークを示し、プロトコルの詳細について述べる。4章では RACP のフレームワークに基づいた応用システムとして、遠隔会議装置^{9)~12)}、情報コンセント¹³⁾、赤外線リモコン¹⁴⁾ を制御するシステムを示し、その評価や機器制御に RACP を用いることの利点について述べる。最後に5章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 機器制御方式

2.1 既存の機器制御方式

既存の機器制御方式は制御手順の違いにより以下のように大別できる。

- (1) 制御対象が独自の制御手順(プロトコル)を規定し、制御者がそれを直接使用する方式^{1),2)}。
- (2) 制御対象と制御者が持つ物理インタフェースを共通化し、そのインタフェース上での制御手順を標準化する方式^{3)~5)}。
- (3) 制御対象が標準化された API (Application Program Interface) で動作する制御プログラムを提供し、制御者がその実行環境を提供する方式^{6)~8)}。

これらを図式化すると、図1のようになる。本論文では、制御を行う人や機器を総称して制御者と呼ぶ。

最も多くみられるのは制御方式(1)で、一般に独自方式と呼ばれる制御方式である。この制御方式は、制御手順が機種に依存し、メーカーが異なると制御手順も異なる。ネットワークを介した制御を行うにはゲートウェイを設置する必要があるが、ゲートウェイ間の通信をどのように行うかは規定されておらず、制御対象それぞれに専用の制御機構を用意する必要がある。

制御方式(2)は、インタフェースの規格に標準化

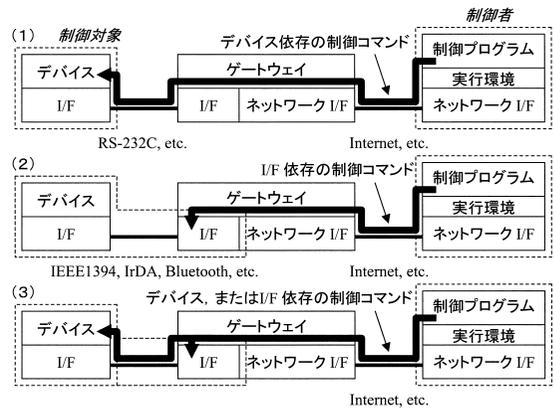


図1 機器制御の方式

Fig. 1 Methods of device control.

された制御手順が組み込まれているものを指す。たとえば、IEEE1394³⁾、IrDA⁴⁾、Bluetooth⁵⁾ などがある。これらは家庭内など比較的狭い範囲での利用が前提であり、ネットワークを介した制御を行うには、制御方式(1)と同様、ゲートウェイの設置が必要である。またインタフェースをまたがる制御については、まだ十分に議論されていない。

制御方式(3)は、制御対象の制御方式そのものを標準化するのではなく、制御を行うプログラムの実行環境を標準化し、プログラムを共通化する方式である。実行環境としてはJVM(Java Virtual Machine)⁵⁾が多く用いられ、JVMをベースとするJini⁶⁾、OSG(Open Services Gateway)⁷⁾、HAVi(Home Audio/Video interoperability)⁸⁾などが提案されている。制御対象は、それ自身あるいはその管理機構から送られる制御プログラムにより制御されるため、ネットワーク上を流れる制御コマンドは制御対象の独自方式であってもかまわない。

このように、いずれの制御方式もネットワーク上を流れる制御コマンドは機種あるいはインタフェースに依存しており、制御対象、制御者ともに様々な機器や機種が接続されることを想定しなければならないインターネット上での相互接続性が十分に考慮されているとはいえない。

2.2 RACP の概念

筆者らが提案するRACPは、インターネットをはじめとする広域ネットワークを介した遠隔機器制御を想定し、ネットワーク上を流れる制御コマンドを標準化することを目的としたCRCPの思想に基づいている。そのため、RACPにおける制御対象とは、制御を受けるデバイスからネットワークとの接点までのすべてを含んでいる。つまり、制御方式(1)や(2)に

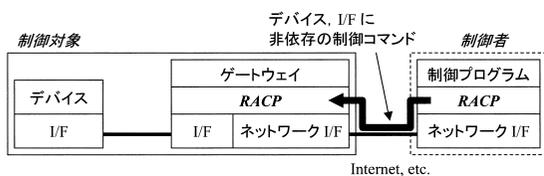


図 2 RACP による機器制御

Fig. 2 Device control by RACP.

おける，制御対象からゲートウェイに至る部分全体を RACP では制御対象とし，ゲートウェイと制御者との間でやりとりされる制御コマンドを標準化する（図 2 参照）。

ネットワーク上を流れる制御コマンド，すなわちネットワークプロトコルを標準化することの利点には，制御対象と制御者の独立性を確保できること，セキュリティの管理が容易となることなどがあげられる．前者の利点により制御対象と制御者それぞれが互いの制御方式の詳細を意識せず個々の機能を開発でき，標準化されたプロトコルによって，機種やメーカを問わず相互接続が可能となる．一方，利用者が未知のプログラムをダウンロードして実行することの危険性は，最近特に強く指摘されているが，後者は，制御方式 (3) のように，制御者にとって未知のプログラムを実行する必要がない方式であることを指している．これらはきわめて重要な RACP の特徴となっている．

機器制御を目的としたネットワークプロトコルには，SNMP (Simple Network Management Protocol)¹⁶⁾ や RTSP (Real-Time Streaming Protocol)¹⁷⁾，Remote Camera Command Language¹⁸⁾，RMCP (Remote Music Control Protocol)¹⁹⁾ などがある．SNMP と RTSP は，IETF (Internet Engineering Task Force) において標準化が進められているプロトコルである．機器制御においては SNMP が最も有力であるが，標準化が進んでいるのは主に機器の状態取得であり，機器制御はメーカが独自に定義できる Enterprises MIB (Management Information Base) に集中しているため，制御方式 (1) と大きな違いはない．RTSP は，少人数の会議において遠隔の会議装置の制御を行うプロトコルとして開発された．そのため，同様の機器を使用する遠隔監視や VoD (Video on Demand) などのアプリケーションには適用可能であるが，その他の機器に対応するための拡張については考慮されていない．また Remote Camera Command Language と RMCP は，それぞれ MBone (Multicast Backbone)²⁰⁾ 環境におけるビデオカメラとビデオスイッチャの制御，MIDI を利用する音響機

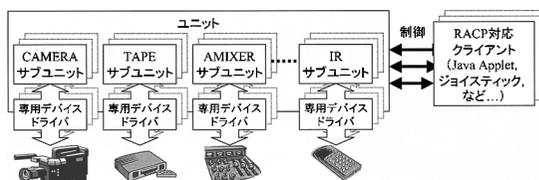


図 3 RACP の概略

Fig. 3 Outline of RACP.

器の制御に特化している．

このように，インターネットに接続された様々な機器の制御に対応できる，拡張性の高いフレームワークを持ったネットワークプロトコルは皆無に等しい．一方 RACP は，当初から機能拡張が容易となるよう考慮して設計されており，筆者らが行った実装と評価を通じて，様々な機器への対応の容易さと先に述べた利点があることが実証された．以下では，筆者らが提案する RACP のフレームワークを詳説し，その応用システムとその評価について述べる．

3. RACP の設計

3.1 RACP の概要

RACP の概略を図 3 に示す．RACP では制御対象をユニットと呼び，その内部に複数のサブユニットを持つ．サブユニットには 0 から始まるサブユニット番号が割り当てられ，同種のサブユニットを複数持つ場合は，サブユニット番号でそれぞれを区別する．ユニットに対する機能拡張は，サブユニットの種類や数の追加あるいはサブユニットコマンドの追加により行う．

実際に制御するデバイス (ビデオカメラやテープレコーダなど) の機能によりサブユニットが持つコマンドは異なるが，ここにはデバイスに固有な情報は含まれない．デバイスへの依存部分は，別の専用デバイスドライバに記述される．このような構造を採用することにより，たとえばビデオカメラのメーカや機種が異なる場合でも，それに対応した専用デバイスドライバへの変更で対応でき，RACP による制御そのものに変更は生じない．

ユニットとクライアント間の通信には，基本的に TCP (Transmission Control Protocol) を使用する．TCP を使用することで，コマンドや応答の順序関係の保存と到達性が保証され，制御の確実性が保証できる．ただしデバイスの制御に赤外線リモコンなどの単方向の制御方式が使用される場合，制御の確実性は目視による確認など別の方法に頼る必要がある．また，制御コマンドの漏洩や偽造に対する安全性の確保については，IPsec などの採用で対応できるであろう．

表 1 RACP のコマンド一覧
Table 1 List of RACP commands.

Subunit	Description	Command Syntax
<i>Unit Commands:</i>		
	USER NAME PASSWORD LOGOUT SET TRAP SHOW STATUS SHOW HELP	USER <i>user-name</i> PASS <i>password</i> QUIT TRAP keyword [{ <i>h1</i> ,..., <i>h4</i> , <i>p1</i> , <i>p2</i> <i>h1</i> ,..., <i>h16</i> , <i>p1</i> , <i>p2</i> <i>host-name port</i> }] STAT [<i>subunit-name</i> [<i>subunit-num</i>]] HELP [<i>subunit-name</i> [<i>subunit-num</i>]]
<i>Subunit Commands:</i>		
TAPE	PLAY RECORD PAUSE FAST FORWARD SHOW TAPE STATUS	TAPE <i>n</i> PLAY [<i>direction</i> [<i>stop-position</i>]] TAPE <i>n</i> REC [<i>direction</i> [<i>stop-position</i>]] TAPE <i>n</i> PAUS TAPE <i>n</i> FF [<i>direction</i> [<i>stop-position</i>]] TAPE <i>n</i> STAT
CAMERA	SET PAN SET TILT SET ZOOM SET FOCUS SET IRIS SET SENSITIVITY SET WHITE BALANCE SET HORIZONTAL SET VERTICAL SET DEPTH SET ROLL SHOW CAMERA STATUS	CAMERA <i>n</i> PAN <i>pan-position</i> CAMERA <i>n</i> TILT <i>tilt-position</i> CAMERA <i>n</i> ZOOM <i>zoom-position</i> CAMERA <i>n</i> FOCU <i>focus</i> CAMERA <i>n</i> IRIS <i>iris</i> CAMERA <i>n</i> SENS <i>sensitivity</i> CAMERA <i>n</i> WHIT <i>white-balance</i> CAMERA <i>n</i> HORI <i>horizontal-position</i> CAMERA <i>n</i> VERT <i>vertical-position</i> CAMERA <i>n</i> DEPT <i>depth-position</i> CAMERA <i>n</i> ROLL <i>roll-position</i> CAMERA <i>n</i> STAT
AMIXER	SET INPUT LEVEL SET OUTPUT LEVEL DATA PORT PASSIVE MODE REPRESENTATION TYPE TRANSFER MODE RETRIEVE ABORT SHOW AMIXER STATUS	AMIXER <i>n</i> INCH <i>channel level</i> AMIXER <i>n</i> OUCH <i>channel level</i> AMIXER <i>n</i> PORT { <i>h1</i> ,..., <i>h4</i> , <i>p1</i> , <i>p2</i> <i>h1</i> ,..., <i>h16</i> , <i>p1</i> , <i>p2</i> <i>host-name port</i> } AMIXER <i>n</i> PASV { <i>h1</i> ,..., <i>h4</i> , <i>p1</i> , <i>p2</i> <i>h1</i> ,..., <i>h16</i> , <i>p1</i> , <i>p2</i> <i>host-name port</i> } AMIXER <i>n</i> TYPE L AMIXER <i>n</i> MODE {S P} AMIXER <i>n</i> RETR AMIXER <i>n</i> ABOR AMIXER <i>n</i> STAT
VLAN	CONFIGURE PORT CONFIGURE FILTER SET TRAP SHOW VLAN STATUS	VLAN <i>n</i> PORT {ADD DEL INI} <i>port1</i> [<i>port2</i> [...]] VLAN <i>n</i> FILT {ADD DEL INI} {IN OUT} <i>port mac1 mac2 ip1 ip2</i> VLAN <i>n</i> TRAP {NONE ALL PORT FILT} VLAN <i>n</i> STAT [{PORT [<i>port</i>] FILT [<i>port mac1 mac2 ip1 ip2</i>]}]
IR	SEND SIGNAL SHOW IR STATUS	IR <i>n</i> SEND <i>signal-pattern</i> IR <i>n</i> STAT

3.2 RACP のコマンド

RACP では telnet などによる制御も可能とするため、ファイル転送の制御を行う FTP (File Transfer Protocol) ²¹⁾ を参考に、コマンドとその応答に ASCII 文字列を使用する。コマンド名の命名方法も FTP のそれを踏襲しているが、同名のコマンドでもその意味や用法は異なる。

RACP のコマンド一覧を表 1 に示す。RACP には、ユニットコマンドとサブユニットコマンドの 2 種類のコマンドがある。前者はすべてのユニットで必ず実装され、ユニットを利用するための利用者認証やユニットの状態表示、ヘルプ表示などが含まれる。一方後者

は、ユニットごとに必要なサブユニットを選択して実装する。

ユニットコマンドのうち、TRAP コマンドは RACP 特有のコマンドである。前述のように、RACP ではユニットに TCP で接続して制御する。FTP もその点では同様であるが、FTP が接続の終了が制御の終了を意味するのに対して、RACP は接続時にユニットの状態を変更しているにすぎず、接続を解除した後も接続時に行った制御が継続している場合がある。TRAP コマンドは、ユニットの状態変化を通知する宛先とキーワードを設定する。通知は UDP (User Datagram Protocol) を用いて送信され、メッセージには指定された

キーワードを含む．通知の受信者はキーワードを照合し，一致した場合はその内容に応じた処理を行う．たとえば，通知を受信後すぐに接続を行い，STAT コマンドでより詳細な状態を取得するなどである．一方キーワードが一致しなかった場合は，通知は破棄される．このように，TRAP コマンドは STAT コマンドの補助的な機能として使用し，また受信の確認応答や再送のための機構を持たない．パケットロスなどの影響によって通知が受け取れない場合があるため，より確実な状態把握が必要な場合は接続を維持するか定期的に接続して，STAT コマンドを発行する必要がある．

以下では，現在定義されているサブユニットおよびサブユニットコマンドを説明する．

3.3 TAPE サブユニット

TAPE サブユニットのコマンドのうち，PLAY，REC，FF は最大 2 つの引数を持つ．第 1 引数はテープの方向と速度を指定する．正数は順方向，負数は逆方向を意味し，たとえば 1 は順方向の 1 倍速，-2 は逆方向の 2 倍速である．第 2 引数はテープの停止位置を指定する．テープ位置に + または - が前置された場合は，現在位置からの相対位置を表す．また指定された停止位置がテープの進行方向に対して後方にある場合は，コマンドは単に終了する．

PLAY (PLAY)

RECORD (REC) 現在のテープ位置から再生(録画・録音)を開始する．

PAUSE (PAUS) 現在位置でテープを停止する．

FAST FORWARD (FF) 現在のテープ位置から早送り(巻き戻し)を開始する．

SHOW STATUS (STAT) 現在の状態を要求する．応答は複数行からなり，1 行目は現在実行中のコマンド(実行中でない場合は PAUS)と現在のテープ位置を示す．2 行目以降は，各行に 1 つずつ実装されているコマンドと引数の有効範囲を表示する．

3.4 CAMERA サブユニット

CAMERA サブユニットの各コマンドは，STAT を除いて 1 つの引数を持ち，カメラのパラメータを設定する．値に + または - が前置された場合は，現在値からの相対値を表す．符号のみが指定された場合は，適当な相対値が指定されたと解釈する．また ++ または -- が前置された場合(値は省略可)は，符号方向に指定された値(または規定値)の速度で連続的に変化する．

SET PAN (PAN) カメラの左右方向の角度を調整する．+ は視界が右方向に移動する．

SET TILT (TILT) カメラの上下方向の角度を調整する．+ は視界が上方向に移動する．

SET ZOOM (ZOOM) カメラの視野角を調整する．+ は視野角を狭く(ズームイン)する．

SET IRIS (IRIS) カメラの絞りを調整する．+ は絞りを開ける．

SET SENSITIVITY (SENS) CCD (Charge Coupled Device) カメラの感度を調整する．+ は CCD の感度を上げる(明るくする)．

SET FOCUS (FOCU) レンズの焦点を調整する．+ は焦点距離を長くする．

SET WHITE BALANCE (WHIT) カメラのホワイトバランスを調整する．K (Kelvin) 単位の色温度で指定する．+ は色温度を上げる．

SET HORIZONTAL (HORI) カメラの水平方向の位置を調整する．+ はカメラ後方から見て右方向に移動する．

SET VERTICAL (VERT) カメラの垂直方向の位置を調整する．+ は上方向に移動する．

SET DEPTH (DEPT) カメラの前後方向の位置を調整する．+ は前方向に移動する．

SET ROLL (ROLL) カメラの回転を調整する．+ はカメラの後方から見て時計方向に回転する．

SHOW STATUS (STAT) 現在の状態を要求する．応答は複数行からなる．1 行目は OK などの文字列で無視してよい．2 行目以降は，各行に 1 つずつ実装されているコマンドと引数の最小値，現在値，最大値を表示する．ただし，各行は適用されるべき順序で表示する．たとえば，ROLL を HORI に先だって実行すべきであれば，ROLL 行は HORI 行よりも先に表示されなければならない．

3.5 AMIXER サブユニット

AMIXER サブユニットでは，音声ミキサが持つ最低限の機能を次のように想定してコマンドを定義した．

- 複数の入出力チャンネルを持つ．
- チャンネルごとに音量の調節が可能である．
- 各チャンネルの音声レベルが表示可能である．

音声レベルの表示は音量調節の結果を表すフィードバック情報で，一般にはレベルメータによりリアルタイムに表示される．レベルメータ情報は，入出力チャンネルに入出力される音声に対して符号化を施したデータであり，一種のストリームと考えることができる．ストリーム伝送の制御は，RACP の対象外である．しかし 4 章で述べるように，レベルメータ情報は音声ミキサの制御において重要な情報であるため，レベルメータ情報の転送も制御の一部としてコマンドを定義

した。

INPUT CHANNEL (INCH)

OUTPUT CHANNEL (OUCH) 入力(出力)

チャンネルのレベルを調整する。第 1 引数はチャンネルを、第 2 引数はレベル値を指定する。+ または - が前置された場合は、現在の値からの相対値を表す。符号のみが指定された場合は、適当な相対値が指定されたと解釈する。

DATA PORT (PORT)

PASSIVE (PASV) レベルメータ情報の転送先のホストとポート番号を指定する。ホストアドレスは DNS (Domain Name System) によるドメイン名で指定できる。またアドレス指定においては、IPv4 か IPv6 か、ユニキャストかマルチキャストかの別を問わない。

REPRESENTATION TYPE (TYPE) レベルメータ情報を表す L を指定する。

TRANSFER MODE (MODE) S はストリーム (TCP), P はパケット (UDP) を意味する。

RETRIEVE (RETR)

ABORT (ABOR) レベルメータ情報の転送を開始 (停止) する。

SHOW STATUS (STAT) 現在の状態を要求する。応答は複数行からなる。1 行目は、レベルメータ情報の転送状況 (RETR か ABOR) と入力チャンネルの数、出力チャンネルの数を表示する。2 行目以降は、入力チャンネル、出力チャンネルの順にレベル値の最小値、現在値、最大値を各行に 1 つずつ表示する。

3.6 VLAN サブユニット

VLAN (Virtual LAN) は、ネットワーク接続装置においてブロードキャストドメインの設定や変更を可能とする機能である。具体的には、ポートあるいは MAC (Media Access Control) アドレス単位でホストのグループ化を行い、異なる VLAN に属するホストどうしは直接通信をできなくする。VLAN サブユニットは、このような機能を持つネットワーク接続装置を制御することを想定している。

CONFIGURE PORT (PORT) VLAN に属するポートを設定する。ADD, DEL, INI はそれぞれ追加、削除、デフォルトである。設定時は、INI を除きポートの状態が UP である必要がある。ここで UP であるとは、電源が正常に供給され利用可能なネットワークインタフェースを持つネットワーク機器がポートに接続され、電氣的に接続されている状態をいう。ポートの状態が DOWN と

なった場合、ポートは現在の VLAN から削除され、INI で設定された VLAN に追加される。INI で設定されていない場合は VLAN 0 が指定されていると見なす。

CONFIGURE FILTER (FILT) VLAN にフィルタを設定する。ADD, DEL, INI はそれぞれ追加、削除、デフォルトである。IN, OUT でフィルタの方向 (それぞれ入力、出力) を指定する。フィルタは (port, mac1, mac2, ip1, ip2) と表現され、入力あるいは出力が許可されるパケットの条件を示す。* はワイルドカードを意味し、指定した項目は任意の値にマッチする。また、mac1 に - を指定した場合は、ip1 に対応する MAC アドレスで補完したうえでフィルタが設定される。ADD により設定されたフィルタについては、定期的に ip1 への到達性と、ip1 と mac1 との照合が行われ、一定期間応答がないか、不一致を検出した場合は、フィルタの設定を時動的に解除する。なお INI により設定されたフィルタについては、確認は行われず設定も解除されない。

SET TRAP (TRAP) 先に述べたユニットコマンドの、TRAP コマンドで指定された宛先に通知するイベントを指定する。NONE, ALL, PORT, FILT はそれぞれ「通知しない」、「すべて通知する」、「PORT の変化のみ通知する」、「FILT の変化のみ通知する」を意味する。デフォルトは ALL である。

SHOW STATUS (STAT) 現在の状態を要求する。応答は複数行からなる。1 行目は、OK などの文字列で無視してよい。2 行目以降は、引数の違いにより異なる。

PORT 各行に 1 つずつポート番号、UP または DOWN の状態を表示し、取得できていれば接続されているホストの MAC アドレスが続く。第 2 引数としてポート番号が指定された場合は、そのポートについての状態のみを表示する。

FILT 各行に 1 つずつ IN または OUT の別、フィルタの内容の順で表示する。INI で設定されたフィルタについては、行の最後に INI と表示する。第 2 引数としてフィルタの内容 (* のみ使用可能) が指定された場合は、そのフィルタにマッチするフィルタを表示する。引数なし 最初に PORT の内容を表示し、続いて FILT の内容を表示する。

3.7 IR サブユニット

IR サブユニットは、赤外線 (InfraRed) を媒体としたデータ送信の制御を行う。赤外線リモコンは、ユニットであると同時に通信媒体でもあり、ユニット内部で IR サブユニットを使用する仮想的なサブユニットを定義することで、赤外線リモコンで制御可能な機器をすべて制御対象とすることができる。

SEND SIGNAL (SEND) 引数で指定される信号パターンを赤外線で送信する。信号パターンのフォーマットは使用するデバイスにより異なる。SHOW STATUS (STAT) 現在の状態を要求する。応答は 1 行であり、サブユニットが利用可能か否かにより、OK または NG を返す。

4. RACP の応用システム

機器制御に RACP を用いる効果を検証するため、前章で定義した RACP を実装し、遠隔会議装置、情報コンセント、赤外線リモコンを制御するシステムを構築した。それぞれのシステムでは、性能や異機種への移植性について評価を行った。構築したシステムは多岐にわたっており、これは RACP の実装の容易さと応用範囲の広さを表している。

4.1 遠隔会議装置制御システム

広帯域なネットワークが比較的安価に利用可能となったことで、遠隔地間を映像と音声で結んでコミュニケーションを行う遠隔講義や遠隔会議がさかんに行われるようになってきた。筆者らが遠隔講義や遠隔会議 (セミナー) を実施してきた経験から、遠隔講義や遠隔会議では、映像や音声の受信者が自らの意志で自由に遠隔地のカメラを制御できることや、複数の音源 (参加者) がある場合には音声ミキサも制御できる必要があることが分かっている^{22),23)}。

そこで筆者らは遠隔会議装置制御システムとして、遠隔のカメラと音声ミキサを制御するシステムを構築した^{9)~12)}。これらのシステムでは、CAMERA サブユニットや AMIXER サブユニットを使用し、性能評価と操作性の主観評価および操作性改善のための検討を行った。

性能評価に関しては、RACP によるプロトコルオーバーヘッドや AMIXER サブユニットにおけるレベルメータ情報の伝搬・表示遅延を実験により定量的に評価した。実験の結果、制御遅延を含む制御時間はそれぞれ 3.5 ms と 6.6 ms であり、制御に影響を与える遅延は発生しなかった。また、レベルメータ情報の伝搬・表示遅延は 130 ms となったが、音声データの伝搬遅延と比較して十分に小さなものであった。

4.2 利用者認証に基づく情報コンセントシステムのアクセス制御

インターネットへの関心の高まりから、つねに小型の端末を携帯し、いつでもどこでも情報が入手できる環境を希望する声は大きい。そのため、オープンスペースに情報コンセントや無線 LAN を設置する大学や公共施設が増えつつある。しかしセキュリティなどの面から、無条件な利用を許可することは難しく、利用者認証に基づくアクセス制限は必須である。

そこで筆者らは、利用者認証に基づいてアクセス制御を行う情報コンセントシステム PortGuard を構築した^{13),24)}。PortGuard は、ネットワーク機器を制御するコントローラと、RACP を用いてコントローラを制御する PortGuard サーバから構成される。PortGuard サーバはダイヤルアップ接続と同様に RADIUS (Remote Access Dialup User Service) を利用して利用者認証を行い、その結果に基づいてコントローラを制御することで、利用者端末のネットワークへの接続性を制御する。

情報コンセントシステムは、一般にスイッチングハブか無線 LAN で構築される。スイッチングハブでは通常 VLAN の切替えによってアクセス制御を行うが、無線 LAN ではアップリンクポートでのフィルタリングによってアクセス制御を行う。RACP による制御方式を採用することで、機器への依存部分はコントローラに集中するため、アクセス制御方式が異なるシステムを短期間で開発できた。

利用者認証を要求して利用可能となるまでの時間は、スイッチングハブで約 1.5 秒、無線 LAN で 1 秒以下であり、その大部分を RACP 以外の RADIUS による認証や VLAN の切替え、フィルタの設定などが占めていた。また無線 LAN を利用するシステムでは、フィルタの増加によるパケット転送性能が劣化しないことや、同時に 60 人の利用者認証が行われた場合の切替え時間などの測定を行い、1 システムあたり 100 人程度の利用に耐えられることを確認した²⁵⁾。

4.3 遠隔赤外線リモコン制御システム

赤外線リモコンは、現在家庭に最も広く普及している遠隔機器制御方式の 1 つである。制御可能距離が 10 m 前後と短いこと、基本的に機器が見通せる必要があることなどの制約はあるが、取扱いが容易でしかも安価であることから、家庭にあるほとんどの家電製品に実装されている。したがって、RACP で赤外線リ

ダムハブを使用するシステムでは、無線 LAN の場合と同様に制御する。

モコンが制御できるようになることは、RACP の適用範囲を格段に広げられることを意味する。

そこで筆者らは、赤外線リモコンを制御する IR サブユニットを定義し、遠隔赤外線リモコン制御システムを構築した¹⁴⁾。このシステムでは、赤外線リモコンを 2 通りに利用する。一方は、今までと同様に赤外線リモコンをユニットとして利用し、クライアントは RACP によって赤外線リモコンそのものを操作する。ここでの操作とは、赤外線リモコンから何らかの信号パターンを送出することを意味し、それに派生して起こる事象には感知しない。もう一方は、赤外線リモコンを通信路の一部として利用する。目的は赤外線リモコンの先のユニットを制御することであり、赤外線リモコンは通信を行うためのデバイスと見なす。

構築したシステムでは、IR サブユニットを専用ドライバとして利用する TAPE サブユニットと TV サブユニットを定義した。国内 12 社のビデオとテレビを制御する信号パターンをデータベースに蓄積し、サブユニットとコマンドからデータベースを検索して適切な信号パターンが送出されるようにした。またその際、RACP を利用する場合と利用しない場合の制御遅延を測定した。それぞれ 53.7 ms と 39.3 ms であり、データベース検索や GUI によるオーバーヘッド（それぞれ約 70 ms と約 160 ms）と比較して十分小さいことを確認した²⁶⁾。また同様な手法により、エアコンなどの他の家電機器も RACP による遠隔制御が可能である。

5. おわりに

本論文では、既存の機器制御の方式について整理を行い、筆者らが提案する遠隔機器制御プロトコル RACP との違いについて述べた。そして RACP のフレームワークの詳細を説明し、そのフレームワークに基づいた応用システムを紹介した。そこでは、RACP のプロトコルオーバーヘッドが十分に小さいことなどの評価を行い、機器制御に RACP を用いる利点や、赤外線リモコン制御システムを応用することでさらに広範な機器への適用が可能であることを示した。

今回示した応用システムはすべて実装が終了しており、ほぼ実用的な段階にある。今後はこれらを遠隔講義などの実践の場で利用し、利用者からのフィードバックによりシステムの有効性の検証を行う。また、電灯線経由で電源の制御などを行う X-10²⁷⁾ にも対応するなど、適用範囲のさらなる拡大を図る。

謝辞 本研究に関して有益なご助言・ご協力をいただいた広島市立大学情報処理センター河野英太郎助手、

同大学大学院情報科学研究科新谷和司氏、広島大学情報メディア教育研究センター田島浩一助手、同大学大学院工学研究科秋成秀紀氏、野村嘉洋氏（株）松下ソフトリサーチ三好陽子氏に感謝します。本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究事業における研究プロジェクト「高度マルチメディア応用システム構築のための先進的ネットワークアーキテクチャの研究」（JSPS-RFTF97R16301）ならびに広島市立大学特定研究費（9960, 0068）の支援を受けて実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Canon Sales Co., Inc.: VC-C4/VC-C4R プログラマーズマニュアル. on-line available at <http://www.canon-sales.co.jp/drv-upd/vcc/vc-c4pgm.html>.
- 2) Sony Corporation: EVI-D30/D31 Command List (Ver. 1.13)—Japanese. on-line available at <http://www.sony.co.jp/Products/ISP/pdf/commandlist/EVID30CLJ.pdf>.
- 3) 1394 Trade Association: 1394 Trade Association: Home. on-line available at <http://www.1394ta.org>.
- 4) The Infrared Data Association: Welcome to IrDA. on-line available at <http://www.irda.org>.
- 5) Bluetooth SIG, Inc.: Bluetooth SIG—Members Area. on-line available at <http://www.bluetooth.com>.
- 6) The Jini Community: www.jini.org Home Page. on-line available at <http://www.jini.org>.
- 7) Open Services Gateway Initiative: OSGi. on-line available at <http://www.osgi.org>.
- 8) HAVi, Inc.: HAVi—Home Audio/Video Interoperability. on-line available at <http://www.havi.org>.
- 9) 西村浩二, 太田昌孝, 前田香織, 相原玲二: インターネット上のマルチメディア機器制御プロトコル, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.2, pp.280-287 (2000).
- 10) 西村浩二, 前田香織, 河野英太郎, 相原玲二: 機器制御プロトコル CRCP を利用した遠隔会議装置制御システム, 情報処理学会研究報告, 99-DSM-15, pp.61-66 (1999).
- 11) Nishimura, K., Maeda, K., Kohno, E. and Aibara, R.: An Integrated Control System for Remote Multimedia Devices over the Internet, *Advanced Research in Computers and Communications in Education*, Vol.1, pp.508-511, IOS Press (1999).
- 12) 前田香織, 河野英太郎, 三好陽子, 西村浩二, 相

- 原玲二：インターネットを利用した遠隔講義のための音声制御，教育システム情報学会誌，Vol.17, No.3, pp.329-338 (2000).
- 13) 西村浩二，秋成秀紀，相原玲二：遠隔機器制御プロトコルによる情報コンセントのアクセス制御，マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO 2000) シンポジウム論文集，pp.523-528 (2000).
- 14) 新谷和司，河野英太郎，前田香織，西村浩二，天野橋太郎：遠隔赤外線リモコン制御システムの開発，電気・情報関連学会中国支部第 51 回連合大会講演論文集，p.217 (2000).
- 15) Sun Microsystems, Inc.: Java (tm) Technology Home Page. on-line available at <http://java.sun.com>.
- 16) SNMP Research International, Inc.: SNMP Research: The Internet Management Experts. on-line available at <http://www.snmp.com>.
- 17) Schulzrinne, H., Rao, A. and Lanphier, R.: Real Time Streaming Protocol (RTSP), RFC 2326 (1998).
- 18) Imaging and Distributed Collaboration Group: Remote Camera and Videoswitcher Control Software, on-line available at <http://www-itg.lbl.gov/mbone/devserv/homepage.html>.
- 19) 後藤真孝，根山 亮，村岡洋一：RMCP:遠隔音楽制御用プロトコルを中心とした音楽情報処理，情報処理学会論文誌，Vol.40, No.3, pp.1335-1345 (1999).
- 20) Macedonia, M.R. and Brutzman, D.P.: Mbone Provides Audio and Video Across the Internet, *IEEE Computer*, Vol.27, No.4, pp.30-36 (1994).
- 21) Postel, J. and Reynolds, J.: File Transfer Protocol (FTP), RFC 959 (1985).
- 22) 前田香織：Multimedia Communication and Education. on-line available at <http://mulcome.ipc.hiroshima-cu.ac.jp>.
- 23) 中国・四国インターネット協議会 (運用技術部会) IPv6 Seminar. on-line available at <http://www.v6.csi2.net/seminar>.
- 24) 広島大学情報メディア教育研究センター (情報通信基盤系): PortGuard. on-line available at <http://www.portguard.org>.
- 25) 野村嘉洋，秋成秀紀，西村浩二，田島浩一，相原玲二：遠隔制御プロトコル RACP を用いた無線 LAN 認証システム，情報処理学会研究報告，2001-DSM-22, pp.45-50 (2001).
- 26) 河野英太郎，新谷和司，前田香織：インターネットを用いた赤外線リモコンによる一般家電遠隔制御，情報処理学会研究報告，2001-DSM-22, pp.33-38 (2001).
- 27) X-10 Technology and Resource Forum: X-10.ORG. on-line available at <http://www.x10.com>.

(平成 13 年 5 月 8 日受付)

(平成 13 年 9 月 12 日採録)



西村 浩二 (正会員)

1990 年広島大学工学部第二類 (電気系) 卒業 . 1992 年同大学大学院工学研究科博士課程前期修了 . 全日空システム企画 (株) を経て , 現在 , 広島大学情報メディア教育研究センター助手 . ネットワーク管理 , 遠隔機器制御プロトコル , 高品質動画像伝送方式に関する研究に従事 . 電子情報通信学会会員 .



前田 香織 (正会員)

1982 年広島大学総合科学部卒業 . 同年同大学工学部助手 . 1990 年 (財) 放射線影響研究所入所 . 1994 年広島市立大学情報科学部助手を経て , 現在 , 同大学情報処理センター助教授 . 博士 (情報工学) . コンピュータネットワーク , マルチメディア通信の教育利用に関する研究に従事 . 電子情報通信学会 , 教育システム情報学会各会員 .



相原 玲二 (正会員)

1981 年広島大学工学部第二類 (電気系) 卒業 . 1986 年同大学大学院博士課程修了 . 同大学同学部助手 , 同大学集積化システム研究センター助教授を経て , 現在 , 同大学情報メディア教育研究センター教授 . 工学博士 . マルチプロセッサシステムの設計 , 製作 , コンピュータネットワークの研究に従事 . 電子情報通信学会 , IEEE Computer Society , Communications Society 各会員 .