

## 実世界情報の配信と操作におけるデバイス制御・管理機構

篠宮 俊輔<sup>†1,†2</sup> 木俣 豊<sup>†1</sup> 土池 政司<sup>†1,†2</sup> 中川 晋一<sup>†1</sup>

概要: インターネットが、情報流通基盤として利用されるようになって以来、Web による情報発信が行われるようになり、情報の蓄積と提供が根本的に変化した。そのような情報インフラの上で、ユーザは Web サーバやデータベースに蓄えられた大量の情報の中から必要な情報を検索して、Web インタフェースを通して情報を見ることが可能となっている。このようなサーバやデータベースにデジタル化されて格納された情報は、格納された時点で、固定化され大きく変化することはない。今後、インターネットは IPv6 による、無数に近い大量のグローバルネットワークアドレスが用意されると、様々な装置がインターネットに接続され、それらが直接接続できる end-to-end モデルが復活し、多様な実世界の情報を提供したり、その情報をリアルタイムに受け取って処理をすることが可能となる。

### Device Control and Management Architecture for the Real-world Information Delivery and Operation

Shunsuke Shinomiya<sup>†1,†2</sup>, Yutaka Kidawara<sup>†1</sup>, Seiji Tsuchiike<sup>†1,†2</sup>, Shin-ichi Nakagawa<sup>†1</sup>

The Internet is a information distribution foundation, where Web servers deliver various types of data resources. The technology has caused the drastic change of information storage and delivery system so that users can retrieve what they need from a large amount of information stored in Web servers or databases. Once digitized and stored, information becomes unfixable, and much changes cannot to be added. In the near future, IPv6 network architecture will come in with enormous number of IP addresses and enable various devices to connect directly to the Internet. The “end-to-end” Internet model will be employed to encourage the real time transmission of various forms of real world information. This paper proposed Network Accessible Device on the Internet Architecture (NADIA), which can process real world information through the Internet. The real-world information management technology using the Internet is also described.

#### 1. はじめに

インターネット上では、多種多様な情報のリソースが分散化されて配置されている。このような、情報空間はサイバースペースと呼ばれ、実空間と区別されている。しかし、インターネットに接続される機器が多様化されるにつれて、実世界の情報がサイバースペースに取り込まれつつあり、両者を区別するのではなくシームレスに接続された情報空間の構築が必要となりつつある。たとえば、インターネットに接続された Web サーバや画像配信サーバはクライアントからの要求に応じて情報を提供するものである。その大部分は、あらかじめサイバースペース内の情報資源として蓄えられたデータを要求に基づいて配信するものともいえる。その一方で、インターネットはその内外から得ら

れた情報資源を流通させるという情報の流通経路としての側面も持っている。たとえば、現在のインターネットでは、テキスト情報を基本として、静止画像や動画、音声などのいわゆるマルチメディアデータなど多種多様なコンテンツ情報が流通している。その一方では、コンテンツ情報だけではなく e-business における決済情報なども流通しており、現実世界における重要な情報も数多く利用されている。さらには、テレビ会議や VoIP などのリアルタイムな情報交換のためのインフラとしても利用されており、既にインターネットは、現実社会の情報の提供や流通を支える大きな役割を持っている。更にインターネットを活用することを目的として、インターネット上のサイバースペースから、積極的に実世界への働きかけを行うための様々な研究が行われている。たとえば、有線や無線の通信手順を用いて行っていた従来の遠隔制御技術をインターネットに適用することで、全世界に跨った実世界

†1 独立行政法人 通信総合研究所 次世代インターネット Gr.  
{shinomiya.kidawara, tuchiike.snakagawa}@crl.go.jp  
†2 株式会社 エグドラジル・テクノロジー  
{shinomiya, tuchiike}@yggdrasil.com

情報の有効活用の可能性を想定できるが、そのようなコンピュータネットワークを利用した遠隔デバイスの研究が活発に行われている。たとえば、Kaplan 達の研究は、一般のラジオコントロールカーのコントローラを 56kbps の IP リンクで接続し、ラジオコントロールカーに積載したカメラの映像をトランスミッタで映像配信サーバに送り、ビデオ映像をキャプチャした上で IP 転送している<sup>1)</sup>。また、ATM ネットワークを用いた同様のシステムの開発が MIT でも開発されている<sup>2)</sup>。

これらは、遠隔操作で移動させ、必要とする遠隔地の映像を取得することを目的としている。このような遠隔地から操作されるデバイスは、コントローラから送られる情報に基づいて、各デバイスが指令値通りに動作するものであり、コントローラからの制御信号が失われると動作できなくなるため、通信の不安定なところでは満足な制御ができなくなる。このような問題に対して、Simmons 達が開発した Xavier は、Web を通じて指令値を与えて操作する一方で、制御信号が失われた場合には、最初に与えられた命令を、デバイス自身が自律的に動作することで実現する機能を持つ<sup>3,4)</sup>。このような仕組みは、不安定な通信環境において実世界情報の取得や操作に必要な不可欠なものであるが、デバイスに各種センサや動作決定のための制御機能を組み込む必要がある。また、Paulous 達は、Web Blimp という Web 画面のインタフェースで制御できる飛行船の開発を行っており、飛行船に取り付けられたカメラで、空中からの実世界情報の取得を実現している<sup>5)</sup>。これらの研究はすべてインターネットを活用することを想定している。このようなインターネットを通じて遠隔で制御されるデバイスを Doherty 達は、Ubiquitous Tele-robotic Device とよび、その遠隔デバイスの可能性や、それらによって実現できる実世界との接点となるアプリケーションの可能性について述べているが、実装にまでは至っていない<sup>6)</sup>。このような研究の一方で、次世代インターネットを想定して IPv6 ネットワークに対応した micronode と呼ばれるネットワークデバイスも既に開発されている<sup>7)</sup>。

これまでのこのような遠隔デバイスは、完成された一つの機能体として利用されており、他の遠隔デバイスとの協調的なデータの交換や、協調動作に関しては十分に考えられていない。しかし、IPv6 による次世代インターネットにおいては、大量の遠隔デバイスがインターネットの接続が可能となるため、それらの遠隔デバイスを協調的に動作させることで、さらに複雑な処理が可能となる。

この目的を実現するためには、ネットワークデバイス

とはどのようなものなのかという定義を行った上で、それらを組み合わせることができるデータモデルが必要となる。また、実際にネットワークに接続できない非常にプリミティブなデバイスに対してネットワークデバイスとしての振る舞いをどのように与えるのかという点も重要な課題であると考えられる。

そこで、我々はネットワークに接続されるデバイスを一つの機能と一つ以上の入力や出力、または、その両方を持つものと定義した。また、複数のネットワークデバイスから構築される遠隔デバイスもまた一つのネットワークデバイスであると定義した。本稿では、そのネットワークデバイスを NAD(Network Accessible Device)と呼ぶ。また、その NAD をインターネット環境で管理するための機構として、NADIA(Network Accessible Device on Internet Architecture)を提案してきた<sup>8)</sup>。NADIA においては、複数の NAD を複合的に扱うことで、一つの機能体を表現することを想定しているが、そのデバイス間における通信には、アクセスコントロールや帯域コントロール、不必要な情報のフィルタリングが必要となる。本稿では、広域ネットワークにおいてこれらの機能を実現するネットワークモデルを提案するとともにその有効性について議論する。

## 2. NADIA:Network Accessible Device on the Internet Architecture

### 2.1 NAD(Network Accessible Device)の概要

カメラ、マイクなどのデバイスがネットワークに接続されると、実世界の様々な情報をデジタル化してネットワーク上で情報交換することが可能となる。また、逆に、地理的な距離を超えて実世界に働きかける事も可能となる。ただし、デバイスは多種多様であり、そこで得られる情報や操作方法は、一様ではなく、外界からの情報を獲得するものや、外界への働きかけを行うもの、また、その両者の性質を持つものなどがある。それらのデバイスが持つ機能を活用するためには、その入力値や出力値が必要となる。例えば、ビデオカメラは、撮影開始と終了を通知する以外に、ズームの倍率や、フォーカスの調整といった入力が必要となり、それらの入力に基づいて得られた映像はデバイスからの出力となる。従って、これは、入出力を持つデバイスとして考えられる。その一方で、モータは、入力値としてパルスや、電圧値等が与えられ動作し、出力値は存在しないが、実際の利用においては、回転数の計測が必要となる場合があり、その場合には、モータに

ロータリーエンコーダが取り付けられて、回転数が計測される。ロータリーエンコーダは、明示的な入力はないが、出力として回転数が得られる。このような、ロータリーエンコーダ付きモータをひとつデバイスとして考えた場合には、入力と出力が存在するデバイスとなる。このように、デバイスは複数のデバイスから組み合わされて一つの機能を実現する複合的なものが存在する。

我々が、提案する NAD(Network Accessible Device) は、機能を定義する Function Element と、入力機能を定義する Input Element, 出力機能を定義する Output Element の 3つの要素を持つ。NAD は、ひとつの Function Element と、一つ以上の Input Element か Output Element, もしくはその両方を持つものと定義する。そして、そのような要素をもつ NAD を基本(Basic)NAD と定義し、基本 NAD を組み合わせたものを複合(Composite)NAD と定義する。また、NAD は、Network に接続が可能であり、ネットワークを用いて情報の交換を可能とするものと定義する。

## 2.2 NADIA の概要

NAD をインターネットに接続することによりさまざまな有用な利用方法が考えられる。インターネットを利用できるようになると、接続された世界中の多数の計算機やデバイスを扱うことができ、また、世界中から利用することができる。それらを組み合わせることによって、統一的な手法で実世界へアクセスできるシステムや実世界デバイスの利用方法を提供することができる。

NADIA では、通信プロトコルとして IPv6 を前提とし、NAD ごとに IP アドレスを割り当て、任意の NAD への直接アクセスを可能とする設計としている。NAD ごとに IP アドレスを割り当てることにより、基本 NAD, 複合 NAD, 複合 NAD に内包された要素としての NAD(要素 NAD)などのすべての NAD に対して直接的、統一的方法でアクセスすることができる。

## 2.3 NAD へのアクセス

これまでに述べたように、NAD は論理的な機能デバイスとして表現される。また、その NAD は、複数のデバイスから構成されている場合がある。本研究においては、NAD へのアクセスを URI 表記で行う事とする。

ホスト名の部分で、NAD を指定し、パス名において、機能を指定する。以下にこれらについて述べる。

### 2.3.1 NAD の特定

NADIA では、NAD の特定に現在の Domain Name Service と同じ名前空間を用い、ホスト名、ドメイン名

により NAD の特定を行う。NAD は BASICNAD のほかに、複数の NAD の組み合わせで構成された複合 NAD がある。このように NAD は、階層構造をとることがあるが、その場合には<要素 NAD 名>.<複合 NAD 名>.<所属ドメイン名>とすることにより、複合 NAD に内包される要素 NAD を特定する。たとえば、apii.net 所属ドメインにある Network Control Car の要素 NAD で ある Amplifier NAD は、"Amplifiere.NetworkControlCar.apiinet"と表記する。

### 2.3.2 NAD が持つ機能の利用

上記のように NAD を特定できた後に、ユーザは、そのデバイスの持つ機能を利用することとなる。例えば、Network Control Car における SteeringAngle 機能を用いる場合には、"CameraCar.apiinet/SteeringAngle/?angle=30" と指定することで、SteeringAngle 機能の利用を可能とする。同様に、複合 NAD を構成する要素としての NAD へアクセスすることもできる。前述の Camera Car NAD が撮影しているカメラの映像をモニタリングしたい場合には、Camera.CameraCar.apiinet/Monitor と指定する。このような記述は、従来のインターネットにおける URI の記述とも適合するものである。したがって、我々が提案する NADIA における NAD とその機能の指定及び利用においては、URI を用いてインターネット上のどこかに存在する NAD へアクセスすることとする。そして、それは、インターネットのサイバースペース上から実世界へのアクセスを実現することとなる。

## 3. NAD の実装

サイバースペースを通じて、実世界への働きかけや実世界の情報を取得する NAD の有効性を検証するために、カメラ付きネットワークコントロールカー NAD "mini0"(図1)を試作した。mini0 は、前述の Camera Car NAD であり、市販の電動ラジオコントロールカーに小型コンピュータを搭載して実現している。カメラ部は Web カメラサーバを利用し、それらを統合的に操作できるソフトウェアと組み合わせ、カメラ付きネットワークコントロールカーとしての複合 NAD となっている。

### 3.1 構成

mini0 は、ネットワークコントロールカー NAD とネットワークカメラ NAD の複合 NAD である。それらの NAD と IEEE802.11b 無線 LAN 装置を HUB で接続することにより、この NAD はリモートコントロール

可能となっている。

One-Chip Micro Controller(PIC16F84A)を介して小型コンピュータ uCsim は、市販ラジオコントローラカーの Servo Controller と Motor Controller を制御している。制御端末は、ネットワークを介して接続された PC である。その PC にはステアリングホイールとペダルが接続されており、Camera NAD からの映像により前方の映像をモニタリングしながら操縦できるインタフェースを提供している。また、Camera NAD は Camera Car NAD の一部として占有されておらず、操縦者以外の人でも車前方の映像を見ることができる。操縦者以外の人々が車前方のカメラ映像を閲覧する場合は、Camera Car NAD としてではなく、Camera NAD としてアクセス可能であり、その映像を自由に第三者が見ることができる。図 2 にその構成を示す。

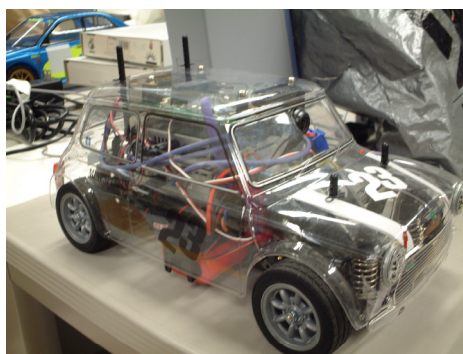


図 1 試作した複合 NAD Mini0 の外観

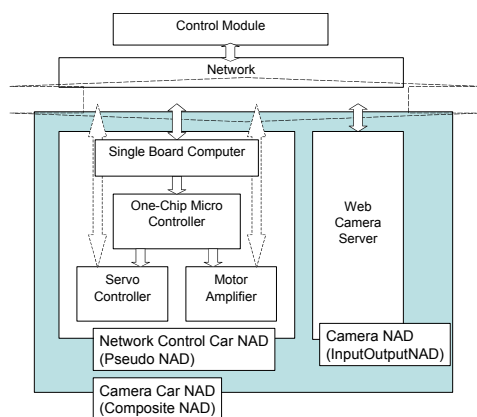


図 2 mini0 の構成

#### 4. NAD への情報記述

##### 4.1 NAD を用いた実世界情報の提供と制御

今回実装をおこなった Camera Car NAD では、ユー

ザが実世界の環境に働きかけを行い、必要な地点に移動をした上で、ユーザが欲する情報を取得することが可能となる。つまり、NAD は実世界とネットワークを結びつけ、ユーザに空間的な制約を超えて情報を提供することを可能とする。つまり NAD はデバイスという概念から、一つの実世界の能動的な情報としてみる事が可能となる。たとえば、Camera Car NAD では、ある博物館などで、所蔵品を次々に見せるように専門家がナビゲーションをすることで、そのカメラの映像は、ある目的を持ったコンテンツとすることができる。また、ユーザが月の映像を見たいときに、Web の検索サイトを用いて“今月の映像”の検索を行った場合に、その月の映像を提供できる望遠鏡の性質を持った NAD が検索され、その問い合わせを与えることで、月の映像を配信することができれば、その望遠鏡 NAD は望遠鏡というデバイスではなく、月の映像という属性を持つコンテンツとして、ネットワーク上に提供することができる。つまり、すでに構築されているインターネットの枠組みにもシームレスに統合することが可能となる。

しかし、その目的を実現するためには、ユーザや検索エンジンにそのデバイスで何を見たり利用することができるのか、また、どのようにすればそれを操作できるのかを通知する必要がある。従って、実世界のリアルタイムな情報をコンテンツとして扱うためには、以下のような情報の検索や提供のための仕組みが必要となる。

- ・ NAD の特性に関する情報提供
- ・ NAD が提供できるコンテンツの情報提供
- ・ NAD によって処理できる入出力データ
- ・ NAD を制御するために必要な情報
- ・ セキュリティ機能
- ・ 複数の NAD を組み合わせた複合 NAD のオーサリング機能

これらの目的を達成するためには、デバイスに関する記述と、NAD を操作したり、NAD からのデータを表示するためのインタフェース機構が必要となる。

##### 4.2 記述情報の属性

デバイスに関する機能や入出力データに関しては、複数のデータを柔軟に記述することが要求されるが、その記述においてはデータの特性を明示的に表現しながら、その対象物の構造についても表現できるものが望ましい。その要求に基づくものとしてメタデータの利用が考えられる。

NAD は、一つの Function Element と一つ以上の Input/Output/InputOutput Element が必要となる。

その特徴を記述するために、以下のような属性を定義する。

- データ種別
  - **DeviceName**: データの名前
  - **DeviceType**: データのタイプ
  - **DataSize**: データのサイズ
  - **DataNumber**: データの個数
- 機能
  - **FunctionName**: 機能名
  - **NADDData**: 必要とするデータ
- 接続属性
  - **ConnectionType**: データの入力もしくは出力
  - **AccessibleDevice**: アクセス可能デバイス名
  - **AccessibleUser**: アクセス可能ユーザ
- 識別情報
  - **DeviceName**: デバイス名
  - **DeviceType**: デバイスカテゴリ
  - **Note**: デバイスに関する注釈

#### 4.3 メタデータによる記述

前節で述べたように、デバイスの記述においては、上記の属性値が必要となり、それを明示的に記述する必要がある。これらの記述に関しては、メタ記述言語が有効である。また、メタデータを用いるためにはデータのスキーマモデルを定義する必要がある。我々は、NADのスキーマモデルを図3のように定義した。

まずこのスキーマモデルの第一層には、NADの識別情報と **FunctionElement** 及び、入出力のための **InputOutputElement** が定義されている。また、オプションとして、複合NADの要素NADを記述するためのフィールドも用意した。また、**InputOutputElement** と **FunctionElement** にもそれぞれ、子供の属性を持っており、それらはNADのスキーマモデルの第二層、三層、四層を構成する。

図3の中で、それぞれのデータ名の後に付与された“+”は、上位の定義の中で複数の定義が可能であることを示しており、“?”はオプションとして、0回以上登場することを示している。

このスキーマモデルは、NADの基本構造を表しており、このスキーマモデルのインスタンスとして各NADを表現することを考える。

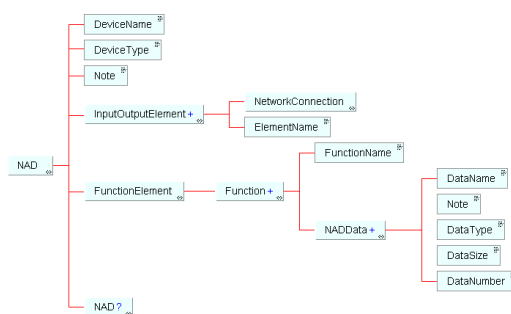


図3 NADのスキーマモデル

## 5. XMLによるNADの記述

前章で述べたスキーマモデルを実現するためには、いくつかの手法が考えられる。我々は、インターネットにおける標準技術を用いることで、既存の仕組みに適合しやすいシステム構築が可能となると考え、このスキーマモデルを基にして、XMLで実装した。本章では、それらの実装例について述べる。

### 5.1 DTDの記述

前節で述べたスキーマモデルに基づいてXMLで表現するためには、その構造をDTD(Document Type Definition)として定義する必要がある。DTDには、タグの親子関係で構造を記述することが可能であり、ドキュメント内で登場する回数なども規定することが出来る。このNADのDTDは、NADの特性を記述する最もプリミティブなものである。

NADの“一つのFunctionElement”と、“一つ以上のInputElement, OutputElement, InputOutputElement”を実現できるようにrootタグのすぐ下のレベルにFunctionElementタグ, InputOutputElementタグを定義した。また、複合NADを構成する要素NADの記述を行うために、入れ子構造としてNADを記述出来るものとした。このNADは、複合デバイスの記述を行う際に、必要に応じて記述できるようにオプション指定としている。設計したDTDを図4に示す。

各種デバイスと通信する際には、このDTDの記述に基づいて、必要とするデータの種別を検索し、その中に記述されている属性値を取得することで、デバイス間でのインタフェースを協調的に整合化することが可能となる。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<!--DTD for NAD Ver. 0.01-->

<!--ROOT TAG NAD-->
<ELEMENT NAD (DeviceName , DeviceType , Note ,
InputOutputElement+ , FunctionElement , NAD?)>
<ELEMENT DeviceName (#PCDATA)>
<ELEMENT DeviceType (#PCDATA)>
<ELEMENT Note (#PCDATA)>

<!--InputOutputElement TAG-->
<ELEMENT InputOutputElement (NetworkConnection ,
ElementName)*>
<ELEMENT NetworkConnection (ConnectionType ,
AccessibleDevice , AccessibleUser)>
<ELEMENT ConnectionType (#PCDATA)>
<ELEMENT AccessibleDevice (#PCDATA)>
<ATTLIST AccessibleDevice e_dtype NMTOKEN #FIXED 'uri' >
<ELEMENT AccessibleUser (#PCDATA)>
<ELEMENT ElementName (#PCDATA)>

<!--FunctionElement TAG-->
<ELEMENT FunctionElement (Function+)>
<!--Function TAG-->
<ELEMENT Function (FunctionName , NADData+)>
<ELEMENT FunctionName (#PCDATA)>
<!--NADData TAG-->
<ELEMENT NADData (DataName , Note , DataType , DataSize ,
DataNumber)*>
<ELEMENT DataType (#PCDATA)>
<ELEMENT DataSize (#PCDATA)>
<ELEMENT DataNumber (#PCDATA)>
<ELEMENT DataName (#PCDATA)>

```

図 4 NAD の DTD

## 5.2 XML での記述

前節の DTD を用いて、NAD の特性について記述することが可能となる。本節では、我々が実装した Camera Car NAD について、その特性を前節の DTD を用いて記述できる。このような XML 記述を行うことで、デバイスの特性を容易に検索することが出来る。例えば、この NAD に関して、デバイス名やその特性を知りたい場合には、DeviceName タグや DeviceType タグを検索すればよい。また、入出力情報を取得したい場合には、InputOutput タグの下位にある NetworkConnection タグを抽出して、必要な情報を手に入れることが出来る。

つまり、XML のパーサ機能を持つことで、任意の特性を抽出することが可能となる。この抽出された結果をネットワークで接続されたデバイス間で送受信することで、両者の間でデバイスの特性を通知したり、入出力情報として必要な情報を入手することが出来る。

## 6. NAD ネットワーク

NAD は、複合的な構造を持つ物が多く、そのデバイスへのアクセス方法で、利用できる情報が異なる。例えば、前述の Camera Car NAD においても、単純に Camera NAD へのアクセスを行う場合と、Camera Car NAD の一部として、Camera.CameraCar.apii.net としてアクセスする場合では、帯域の割り当てやアクセス優先度などが異なる場合が多い。これらの制御を行うためには、ネットワークを再構成することが望ましい。しかし、インターネット上に接続された NAD を

物理的に近隣の場所に集めて、ネットワークを再構築することは事実上不可能である。そこで、我々は、既存のネットワークの上で論理的にネットワークを構築し、複合 NAD のためのネットワークを構築する手法について提案する。

### 6.1 NADIA のネットワークモデル

NAD はネットワークノードをその単位とすることは述べたが、次に複合 NAD とその要素 NAD を構成するネットワークモデルについて述べる。

複合 NAD の Function Element はその要素 NAD に対して、その振る舞いについて規定している。その規定される事項として、複合 NAD の要素 NAD としてのアクセスコントロールおよび、帯域コントロールがある。

NAD の用途や特徴によって、要素 NAD へ対して直接のアクセスを許すことが有用な場合や不都合を生じる場合がある。たとえば、IP コントロールカー NAD の前方の映像を入力しているカメラ NAD の映像が、IP コントロールカーの操縦者以外に閲覧されることは場合によっては有用なこととなるが、モータへの動力のコントロールへのアクセスは多くの場合において問題となる。それは、IP コントロールカーは、モータへの動力とステアリングコントロール機能が協調し動作することにより車の動きをコントロール可能であるが、その片方が他者へわたることにより、その協調が崩れるためである。

しかし、IP コントロールカーのカメラ NAD からの映像をコンテンツとして提供する場合には、操縦者以外にアクセスを許す必要がある。しかし、その IP コントロールカー NAD がそのコンテンツを特定他者へ提供することを目的とした場合にはそれぞれの閲覧者へのアクセスコントロールを行わなければならない。

また、ある複合 NAD の複数の要素 NAD と同時に接続する場合、それぞれの要素 NAD との間で取り扱われるデータの特徴や重要性に応じて、それぞれ消費するネットワーク帯域を制限する必要もある。これは、通信経路の状態が不安定で十分な帯域が確保できない状況において、その NAD のコントロール系のデータと、映像データが取り扱われていた場合、コントロール系のデータを優先する場合などである。このように優先度を取り扱うためには、それぞれのデータの流れを調停する仕組みが必要である。

### 6.2 NAD ルータ

複合 NAD において、アクセスコントロールおよび帯域コントロールの必要性を述べたが、それらを実現する一つの手法として、Function Element によりコン

トロールされる NAD ルータについて述べる。

NAD ルータは、複合 NAD の Function Element により規定されるパラメータに従い、要素 NAD へのアクセスコントロールおよび帯域コントロールを行う NAD である。要素 NAD はこの NAD ルータにより構築されるネットワークの内部に配置され、NAD 外部との通信はこの NAD ルータを通して行われる。

NAD ルータは、Function Element の記述にもとづき、パケットフィルタリングおよびキューイングによりアクセスコントロール、帯域コントロールを実現する。

### 6.3 IPv6 ネットワークでの構成方法

NAD ルータにより構築されるネットワークの内部に要素 NAD を配置することにより、アクセスコントロールおよび帯域コントロールを行うことが可能であるが、この手法では複合 NAD の構成がネットワークトポロジより制限される。複数の NAD を自由に組み合わせ、複合 NAD を構成することが特徴の一つとしてあげられるが、それと NAD を同一のネットワークセグメントに集め、ネットワークを構築することは NADIA の柔軟性を大きく制限することとなる。また、インターネットにおいてそのようなネットワークを構築することは事実上不可能である。

しかし、インターネットにおいても、IP over IP トンネリングを用いることによりネットワークトポロジの制約を受けずに NAD ネットワークを構築することができる。NAD ルータをトンネリングの一端点とし、他方を要素 NAD とすることにより、NAD ルータを中心とした仮想ネットワークを構築、パケットフィルタリングおよびキューイングを実現することができる。図 5 にトンネリングによる仮想ネットワークの概念を示す。

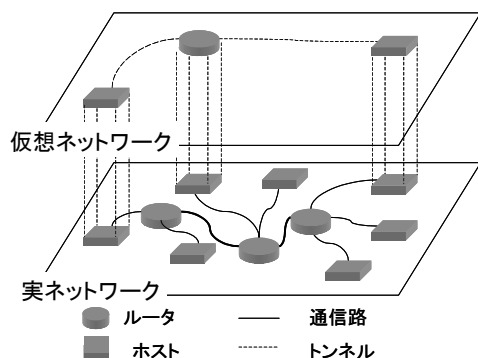


図 5 トンネリングによる仮想ネットワーク

また、仮想的に構築されたネットワークであるため、

その構成の変更を行うことが容易であり、利用者が自由に NAD を組み合わせ新たな NAD を構成するオーサリングを制限することもない。また、そのネットワーク構成はネットワークトポロジに依存していないため、一ノードが任意ネットワークに所属することができ、また、任意であるとともに、複数のネットワークに同時に所属できるため、複数の複合 NAD に所属する要素 NAD も複数の NAD ネットワークに所属することにより実現できる。

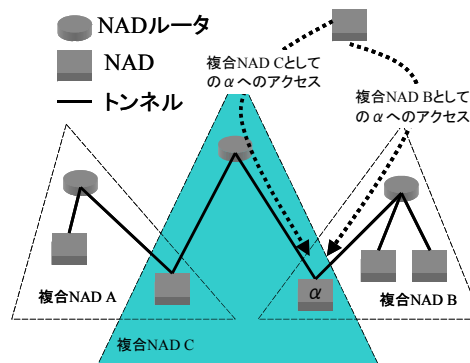


図 6 同一 NAD の複数の複合 NAD への所属

NAD が複数の NAD の要素となる場合の概念図を図 6 に示す。カメラ NAD が、IP コントロールカー NAD のカメラとして利用され、また同時に、その映像を第三者に提供する観光 NAD 用映像ソースの一つとして利用された場合、そのカメラ NAD には、ネットワークトポロジ依存のアドレスのほか、IP コントロールカー NAD ネットワークのアドレスおよび、観光 NAD ネットワークのアドレスが付与される。カメラ NAD は、カメラの閲覧者が接続してきたアドレスにより、IP コントロールカー NAD の要素 NAD (図 6 での複合 NAD B の NAD  $\alpha$ ) への接続であるか、もしくは観光 NAD の要素 NAD (同複合 NAD C の NAD  $\alpha$ ) への接続であるかを区別が可能である。また、NAD が複数の複合 NAD の要素 NAD となった場合、複合 NAD 毎に異なるアドレスがつくため、その NAD が何らの行動を起こす場合にその送信元アドレスおよび受信先アドレスによりその NAD がどの複合 NAD として振る舞っているかを判断することができる。

## 7. おわりに

IPv6 により膨大な数のアドレスが使用可能となり、インターネットは、多様な装置が接続されることが予想されている。また、それらのデバイスは様々な情報

をインターネットに提供することとなり、新しいコンテンツとしての利用も行われるであろう。身の回りのさまざまな物にそれらのアドレスが振られ、ネットワーク接続されていくにつれそれらのデバイスを統一的に扱える手法はますます有用となっていくと予想できる。

実世界の状態を取得して、働きかけを行えるさまざまなデバイスがネットワークに接続されることにより、インターネットは、ディスクに保存されたデータベース上の情報だけではなく、実世界へさえもアクセスが可能となる。しかし、その一方で、ネットワーク上の大量のデバイス間でデータをやりとりする場合には、そのネットワークデバイスの特性を何らかの方法で、利用者や他のネットワークデバイスに通知する必要がある。

我々は、このような多様なデバイスをインターネットに接続して、それらから実世界情報の取得や実世界への働きかけを行うことで、新しいコンテンツの創出や管理を目的として NADIA を提案した。

現在、ネットワークデバイスの特性を記述するためのメタ言語の設計を進めている。このメタ言語を使うことにより、NAD の特性を容易に記述することが出来るようになる。また、本稿で提案したネットワークモデルを用いることで、IPv6 インターネットの特徴であるノード間が end-to-end で接続できる形態を維持しつつ、NAD 間における通信コントロールが安全かつ容易となる。

従って、NADIA においては、これらの提案機能を用いることで、従来の記録媒体へ保存された情報へアクセスする手法と実世界へのアクセス手法を同じように扱うことが可能である。そのため、ネットワーク上のコンピュータへのアクセスと同様な手法で、実世界に対してもシームレスなアクセスができるシステムを構築することが可能となる。これらのシステムの研究開発は今後の課題である。

## 参 考 文 献

- 1) A.E. Kaplan, S. Keshav, N.L. Schryer, J.H. Venutolo :An Internet Accessible Telepresence, Multimedia Systems
- 2) V. Bose: The TNS video Rover. Work by the Telemedia Networks And Systems Group, MIT, <http://www.tns.lcs.mit.edu/vs/rover/rover.html>
- 3) R. Simmons, J. Fernandes, R. Goodwin, S. Koening, J. O'sullivan Xavier: An Autonomous Mobile Robot on the Web, Robotics and Automation Magazine, 1999., <http://www.cs.cmu.edu/Web/People/Xavier/>.
- 4) L.R. Lab: Where in the world is Xavier, the robot?., <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs>.
- 5) E. Paulos and J. Canny: Ubiquitous tele-embodiment: Applications and implications, in Proceedings of International of

- Human-Computer Studies, 1997
- 6) M. Doherty, M. Greene, D. Keaton, C. Och, M. Seidl, W. Waite, and B. Zorn: Programmable Ubiquitous Telerobotic Devices ,in Proceedings of SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies III, Oct. 1997
- 7) Micronde, Internet Node Inc., <http://www.i-node.co.jp/e/index.html>
- 8) 木俣, 篠宮, 櫻田, 北口, 中川: "ネットワークデバイスを用いた実世界情報の配信と管理機構", DbWeb2001, Dec. 2000, pp21-pp.28