

Network Accessible Device の概要と実装

篠宮 俊輔^{†‡}, 木俣 豊[†], 土池 政司^{†‡}, 中川 晋一[†]

[†]独立行政法人 通信総合研究所 [‡]株式会社 ユグドラジル・テクノロジー

概要: 近年, インターネットの普及に伴ってコンピュータネットワークが情報伝達的手段として必要不可欠なものとなりつつある. また, その一方で, インターネットにはコンピュータだけでなく携帯端末や携帯電話等が接続され始めており, さらにはリアルタイムの映像を取得するためのカメラも接続されている. このような傾向は, 今後益々強くなっていくと思われる. 特に IPv6 ネットワークで構築される次世代インターネットにおいては, 大量のグローバルアドレスによってさらに多様なデバイスがネットワークデバイスとしてインターネットに接続されると考えられる. 本稿では, ネットワークに接続されるデバイスを定義して, それらのデバイスを組み合わせることで, 複雑な処理を実現する機構について提案する.

Outline and Implementation of Network Accessible Device

Shunsuke Shinomiya^{†‡}, Yutaka Kidawara[†], Seiji Tsuchiike^{†‡}, Shin-ichi Nakagawa[†]

[†]Communications Research Laboratory [‡]yggr-drasill technology Inc.

Abstract: Being accompanied by the recently widespread Internet, computer networks are becoming an indispensable tool for communication. On the other hand, more and more devices other than computers, such as Personal Digital Assistants(PDAs) or cellular phones are connected to the Internet as well as computers. Moreover, even cameras to take real-time images have been connected to. This tendency seems to grow stronger. Especially on the Next Generation Internet established by IPv6 networks, more and more various devices could be connected to the Internet as network devices with numerous global addresses.

This paper defines devices connected to the network and proposes a system to realize complicated processing by combining these devices.

1. はじめに

インターネットの発達と共にコンピュータネットワークは, 多様化しつつあり, 有線系や無線系の様々なインフラストラクチャが構築されつつある. 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り, あらかじめ蓄えられた映像を要求に基づいて配信するものである. その一方で, ネットワークが持つ双方向性を積極的に使うことで, 遠隔装置の制御や, 遠隔地の情報の取得が可能となっており, 様々な研究が行われている. 遠隔制御のロボット技術などにおいては, 古くから研究がなされているが, インターネットを使うことでさらに可能性が拡大することが予想され, 活発な研究が行われている. しかし, それらの遠隔デバイスは, 単一の機能を持つデバイスを特定のアプリケーションで制御するものであった. 今後の次世代インターネットにおいては, IPv6 に

よって大量のアドレスが付与されるため大量の遠隔デバイスが接続されることが予想される. それらのデバイスは, あらかじめ与えられた機能を実現するだけでなく, それぞれのデバイスの処理をネットワークを介して接続統合することで, さらに複雑な処理を実現することが可能となる.

2. 研究の背景

2.1 関連研究

Kaplan 達の研究^[1]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. また, ATM ネットワークを用いた同様のシステムの開発^[2]が MIT でも開発されている.

しかし, この実現方法においては, 実際に動作するリモー

トコントローラは、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いているだけであり、コントローラからの制御信号が失われるとリモートコントローラは、動作できなくなる。このような問題に対して、Simmons 達が開発した Xavier^{3,4)}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。これは、遠隔デバイスへの接続が不安定な環境においては、必要な機能であるが、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り、多様な環境に適応できる自律デバイスの開発は容易ではなく、利用される環境を特定して設計開発する必要がある。また、その一方で 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⁵⁾を行っており、飛行船に取り付けられたカメラも Web の画面での参照を実現している。

このような遠隔制御のデバイスを Doherty 達は、Ubiquitous Telerobotic Device とよび、これらの遠隔デバイスの可能性や、それらのデバイスによって実現できるアプリケーションについて述べている⁶⁾。また、実際に IPv6 ネットワークに対応した micronode と呼ばれるデバイスも開発されている⁷⁾。

2.2 本稿での提案

前節で述べた遠隔デバイスは、既に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データの交換や、複数の遠隔デバイスの協調動作に関しては、考えられていない。しかし、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に接続されるため、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。

このような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て、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。我々は、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 the Internet Architecture)を提案する。

3. NAD:Network Accessible Device

3.1 コンセプト

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、リアルワールド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リアルワールドに働きかける事が可能となる。ただし、デバイスといっても多種多様であり、そこで得られる情報や操作方法は、一様ではない。たとえば、ビデオカメラは、設置された場所の映像を獲得することができる。このようなデバイスは、リアルワールドの情報を計測し、デジタルデータに変換するリアルワールドに対して受動的な機能を持つ。それに対してモータ等のデバイスは、与えられた指示値に基づいて動作を行い、リアルワールドの物体に対して働きかけを行う能動的な機能を持つ。

それぞれのデバイスには、デバイスが持つ機能を活用するための入力と出力が必要となる。例えば、前述のカメラは、撮影開始と終了を通知する以外に、ズームの倍率、フォーカスの調整といった入力が必要となる。それらの入力に基づいて、得られた映像は出力として得られる。従って、入出力を持つデバイスとなる。一方、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するが、出力値はない。しかし、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のデバイスをと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せられて一つの機能を実現する複合的なものが存在する。

本研究に於いて提案する NAD は、Network に接続が可能であり、ネットワークを用いてネットワークデバイス同士が通信を行うことを可能とする。また、NADIA は、NAD をインターネットに接続して、利用可能とするための機構である。

3.2 NAD Element

NAD を表現する論理的なデータモデルの最小単位は、デバイスへの入力を定義する要素と、デバイスの出力を定義する要素、さらには、デバイスの処理機能を定義する要素で表現されるプリミティブな要素とする。以下にそれぞれの NAD Element について述べる。

3.2.1 NAD Input Element

この Element は、ネットワークやデバイスからの入力を受け取る機能を表す。NAD Input Element はネットワークを通じてデータを受け取り、NAD Function Element にデータを引き渡す。また、NAD Output Element からの入力を受け取ることも可能であり、NAD 間でのデータの受け渡し

を行う。NAD Input 要素には、名前、ID、入力されるべき接続先を属性値として持つ。入力されるべき接続先は、任意の NAD、もしくは特定の NAD の指定が可能である。

3.2.2 NAD Output Element

NAD Output Element とは、デバイスからネットワークや他のデバイスヘデータを出力する機能を表す。NAD Output Element は、NAD Function Element からデータを受け取る。また、NAD Input Element ヘデータを出力することも可能であり、NAD Element 間でデータの受け渡しを行う。NAD Output Element には、名前、ID、出力されるべき接続先を属性値として持つ。出力されるべき接続先は、任意の NAD、もしくは特定の NAD の指定が可能である。

3.2.3 NAD Function Element

各デバイスには入力に応じて処理する機能や、規定された処理によって得られた結果を提供する機能が存在する。NAD Function Element は、そのようなデバイスの処理機能を表す。この Element では、処理機能、入力値、出力値などの記述が行われる。デバイスを利用する場合には、この Element の属性値から処理される機能や必要とするパラメータ、出力されるデータなどを参照することができる。

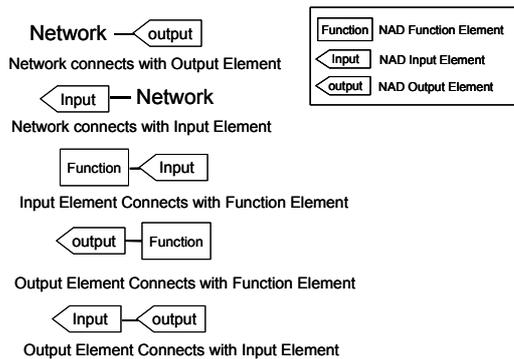


図 1 NAD Element

3.3 Basic NAD

Basic NAD は、NAD として利用できる最小単位とする。本論文では、NAD は、一つ以上の Input Element、もしくは一つ以上の Output Element、またはその両方を持ち、Function Element を持つ物と定義する。そして、最も基本的なデバイスを Basic NAD と呼ぶ。Basic NAD には、Input NAD、Output NAD、Input-Output NAD と呼ぶ 3 つが存在する。

後述の Composite NAD とは異なり、Basic NAD は NAD に NAD を内包していない。

3.3.1 Input NAD

Input NAD は、一つ以上の NAD Input Element と、NAD

Function Element を持つ。利用者は、NAD Function Element に記述された内容に基づいて、利用可能な機能とそれに基づく入力パラメータについての情報を取得することができる。それらの情報に基づいて、NAD Input Element に接続可能な利用者は、利用する機能とパラメータを Input Element からパラメータとして入力することで対象とする Input NAD の操作を可能とする。ネットワークに接続可能なモータは、Input NAD の一つである。

3.3.2 Output NAD

Output NAD は、一つ以上の NAD Output Element と、一つの NAD Function Element を持つ。利用者は、NAD Function Element に記述された内容に基づいて、利用可能な機能とそれに基づく出力値を理解することができる。それらの情報に基づいて、NAD Output Element に接続可能な利用者は、利用する機能とパラメータを Output Element から読み出すことで対象とする Output NAD の情報を得ることができる。ネットワークに接続可能なロータリーエンコーダは、Output NAD の一つである。

3.3.3 Input-Output NAD

Input-Output NAD は、一つ以上の NAD Input Element と、一つ以上の NAD Output Element 及び、NAD Function Element を持つ。また、Output NAD と Input NAD の両者の特性を持つ。この NAD では、NAD Input Element から入力された入力値に基づいて、NAD Function Element で指定された機能によって処理が行われ、出力値が NAD Output Element から読み出される。カメラは、指令値に従って、撮影の開始と終了を指定し、出力としての映像を得ると機能を持つ。従って、カメラは Input-Output NAD の一つである。

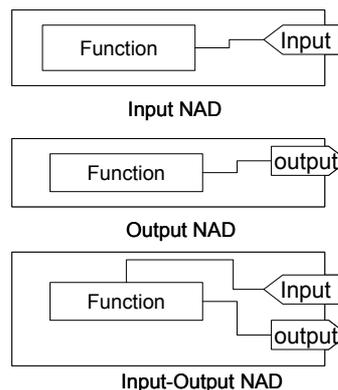


図 2 Basic NAD

3.4 Composite NAD

複雑な処理を実行するためには、複数のデバイスを組み合わせた複合的なデバイスが構築される。複合的なデバイスは、NAD が組み合わされた複合的な NAD として表現される。

Composite NAD を構成する場合には、内包する NAD(要素 NAD)の Input, Output Element を外部からのアクセスを可能としたまま構成する方法と、Function Element がそれらを占有し外部からのアクセスを許さずに構成する方法がある。外部からのアクセスを許して構成した場合には、Composite NAD の要素 NAD も直接利用することができる。占有して構成した場合は、外部からのアクセスはできないため、要素 NAD は Composite NAD の外からは NAD として扱うことはできず、該当 NAD を内包する Composite NAD を通して利用する。すべての要素 NAD へのアクセスを許さない構成とした NAD は外部からは Basic NAD と同様に見える。

3.5 Composite NAD の例

Composite NAD の例として、無線ネットワークでコントロールされるネットワークコントロールカーを考えてみる。このネットワークコントロールカーにおいて、ネットワークで制御するデバイスは、一つのサーボコントローラと一つのアンプから構成される。アンプは、モータの出力をコントロールするため、ネットワークコントロールカーのアクセルに対応する。また、一つのサーボコントローラは、前輪の左右方向の動きをコントロールするため、ステアリングに対応する。このネットワークコントロールカーを構成する NAD を図 3 に示す。

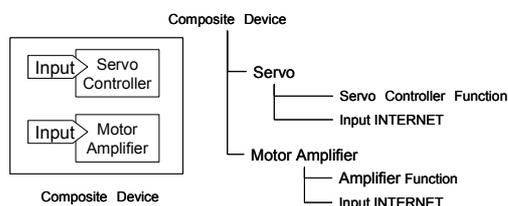


図 3 ネットワークコントロールカーを構成する NAD

但し、これだけでは、単に Servo Controller と、Motor Amplifier という 2つのデバイスが組み合わせただけに過ぎない。これらのデバイスを協調的に動作させるための機能を付与することによって、複合化された NAD としての要素を持つ。例えば、図 3 の NAD を協調的に動作させる機能として、Steering Angle と、Speed Control という操作を提供する。Network Control Car という NAD をコントロールするためには、Servo Controller や Amplifier の制御方法を知る必要はなく、Network Control Car の Steering Control 機能と Speed Control 機能を用いるだけで良い。従って、Network Control Car は、図 4 で示すような Steering Angle と Speed Control という機能を持つ Function Element と、ネットワークからの入力を持つ一つの Input NAD として表現される。

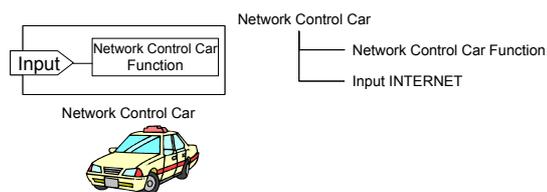


図 4 Network Control Car NAD

次に、このネットワークコントロールカーにカメラが取り付けられたとする。この場合、Network Control Car NAD と Camera NAD によって、それぞれ Camera NAD, Network Control Car NAD にアクセスすることにより、カメラからの映像を見ることとネットワークコントロールカーを動かすことができるが、それぞれの NAD を別々にアクセスしているにすぎない。Camera NAD から送られてくる映像を見ながら、Network Control Car NAD をコントロールできる機能を提供することによりこれら二つの NAD により Camera Car NAD を構成することができる。

また、Camera NAD と画像解析 NAD から、カメラで撮影した映像から目的のオブジェクトを検索する Searcher NAD を構成し、Searcher NAD をさらに Network Control Car NAD と組み合わせることにより、目的の物体を追跡できる Chase Car NAD とすることができる。

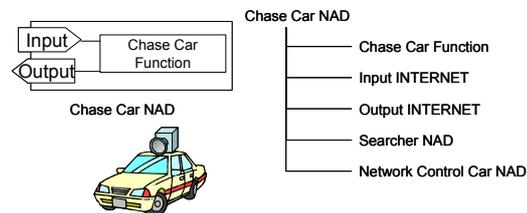


図 5 Chase Car NAD

4. Network Accessible Device on Internet Architecture(NADIA)

4.1 NADIA の概要

これまで述べてきた 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ことにより、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、統一的な手法により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、Basic NAD, Composite NAD,

Composite NAD に内包された 要素 NAD などすべての NAD に対して直接的、統一的な方法でアクセスすることができる。

4.2 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。

4.2.1 NAD の特定

NADIA では、NAD の特定に現在の DNS 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 は基本 NAD 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 の構成として階層構造をとることがあるが、この場合には<要素 NAD 名>.<複合 NAD 名>.<所属ドメイン名>とすることにより、Composite NAD に内包される要素 NAD を特定する。たとえば、APII 所属の Network Control Car を構成している NAD である Motor Amplifier NAD は、”MotorAmplifiere.NetworkControlCar.apii.net” と表記する。

4.2.2 NAD が持つ機能の利用

上記のように NAD を特定できた後に、そのデバイスの持つ機能を利用する場合を考える。例えば、Network Control Car における Steering Control 機能は、”NetworkControlCar.apii.net/SteeringControl/?angle=30” と指定する。

同じように、NAD を構成する要素 NAD へアクセスすることもできる。前述の Chase 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.ChaseCar.apii.net/Monitor と指定する。

URI 表記は現在インターネットにおいて Resource を特定する一般的な表記である。NAD へのアクセスも URI を用いることにより、利用者は従来のどこかに保存された Resource へのアクセスと同じ方法でリアルワールドへアクセスするこ

4.3 NAD のオーサリング

NAD の利用者は、単一の NAD を利用するだけでなく、複数の NAD を組み合わせ、利用者の用途に合わせたさまざまな複合 NAD を構成し、利用することができる。これを、NAD のオーサリングとよび、アクセス可能な NAD を自由に組み合わせることができる。

先に例に挙げた Network Control Car /w Camera NAD を操縦しようとした場合、カメラから送られてくる映像を閲覧するデバイスと、車を操縦する適切な操縦インタフェースとなるデバイスが必要となる。ここで、利用者の PC にマウ

スやキーボードの他に、ステアリングホイール型のゲームコントローラが接続されており、利用者はそのステアリングホイールで操縦をしたいと考えた場合 Network Control Car NAD と Steering Wheel Input NAD, Camera NAD と PC に接続されたディスプレイをオーサリングすることにより、ディスプレイに表示された映像を見ながらステアリングホイールで操縦することができる。また、車から送られてくる映像を保存し、後に再び閲覧したい場合、Camera NAD と映像を記録する NAD も組み合わせてオーサリングしておくことにより、映像を記録することができる。

4.4 NAD の多様性

NAD は、同一の NAD で構成されていても、その一部を見せ方や役割などを他の側面からオーサリングすることにより異なる NAD と見せることができる。

先に例を挙げた Camera Car NAD のカメラの映像をこの NAD の操縦者以外にも閲覧可能とし、映像を閲覧しつつ、音声により Concpit NAD の利用者(運転者)と会話により、遊覧場所のリクエストを行ったり説明を聞くことのできる Tourist NAD を作成、Tourist NAD と Camera Car NAD の Camera により構成される車からの映像を見ることのできる Pleasure NAD からは、Camera Car NAD は、遊覧の映像を送信している Camera NAD としか見えない。

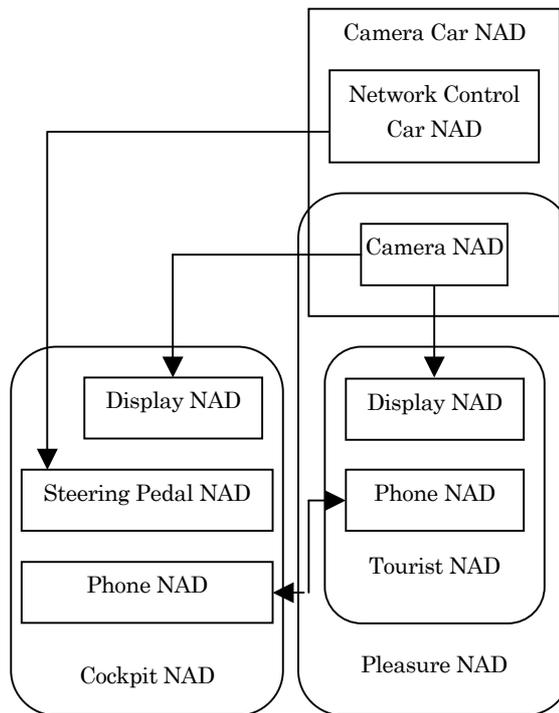


図 6 Pleasure NAD と関連 NAD

このように、NAD は、同一の NAD から構成されていても、複合 NAD の構成や、オーサリングにより本来の NAD とは別の NAD と見える。

5. Pseudo NAD

NADIAにおいて多種多様なデバイスがNADとなることは非常に有用である。しかし、デバイスによっては、IPv6プロトコルの実装が困難なネットワーク機器や、接続するデバイスの個数が非常に多いためにそれぞれのデバイスへのIPv6プロトコルの実装が適しないセンサーなどのデバイスもある。それらのデバイスをネットワークに接続する場合にはIPプロトコルが実装されたネットワーク機器に接続し、仲介させることによりそれぞれのデバイスに対して擬似的に固有のIPアドレスを割り当てることにより、NADと見せることができる。これらの擬似的にIPを割り当てられ実現されているNADをPseudo NADと呼ぶ。

Pseudo NADは、IPアドレスが割り当てられない機器だけでなく、NADの内部デバイスが外部からアクセスすることが有用な場合、擬似的に内部のデバイスにIPアドレスを与えることによりアクセス可能とすることにも使える。

6. 実装

NADの実装として、カメラ付きリモートコントロールカー「mini0」(図7)を試作した。mini0は市販の電動ラジオコントロールカーの受信機部とサーボ、アンプのコントロール部をLinuxをOSとするシングルボードコンピュータとワンチップマイコンで置き換えている。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複合NADを構成している。ネットワークメディアとして、IEEE802.11b無線LAN装置を用い、リモートコントロール可能としている。

ネットワークコントロールカーNADを構成しているServo Controller NADとMotor Amplifier NADはPseudo NADとして実装している。こうして、実際にはワンチップマイコンはネットワーク接続されていないが、Single Board Computerを介して直接アクセスも可能である。



図7 mini0の外観

6.1 構成

mini0の構成を図8に示す。mini0は、Network Control Car NADとCamera 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Single Board Computerで市販ラジオコントロールカーのServo ControllerとMotor Controllerを制御している。Control Moduleはネットワークを介して接続されたPCで、この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Network Control Car NADとして占有していないため、操縦者以外も車前方の映像を見ることができる。この場合、操縦者以外のものが車前方の映像を閲覧する場合は、カメラへはControl Car NADとしてではなく、Camera NADへアクセスすることができる。この場合は、閲覧者からのNetwork Control Carへのアクセスは発生しないため、車のコントロールが閲覧者へわたることはない。

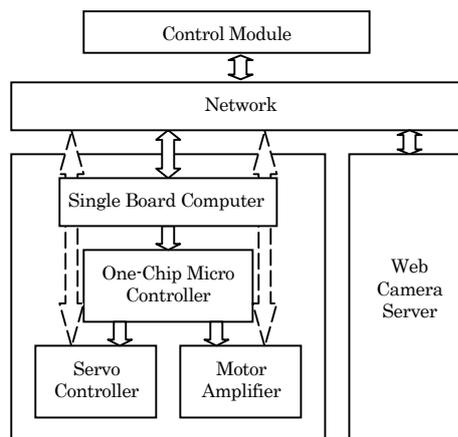


図8 mini0の構成

7. おわりに

リアルワールドの状態を取得、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、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、リアルワールドへさえもアクセスが可能となる。さらに、IPv6により膨大な数のアドレスが使用可能となり、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。

ネットワーク上のデバイス間でデータをやりとりするためには、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。

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できるように、利用者はインターネットに散らばるNADを用途に合わせてオーサリングし新たなNADを作り出すことができるようになる。

さらに、本稿で述べたNADIAは、従来のディスクへ保存された情報へアクセスする手法とリアルワールド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、リアルワールド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.Koenig,J.O'sullivan Xavier:An Autonomous Mobile Robot on the Web,Robotics and Automation Magazine, 1999.[cs.cmu.edu/Web/People/Xavier/](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 TeleroboticDevices ,in Proceedings of SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies III, Oct. 1997
- [7]Micronode, Internet Node Inc.,<http://www.i-node.co.jp/e/index.html>