

# 組込システムのための LAN 接続ユニットの開発

堀場隆広<sup>\*1</sup> 安田篤司<sup>\*2</sup> 盛田耕作<sup>\*3</sup>

## Development of The LAN Connection Unit for an Embedded System

Takahiro HORIBA, Atsushi YASUDA and Kosaku MORITA

Technical Consulting Division, AITEC<sup>\*1</sup>

Planning and Coordination Division, AITEC<sup>\*2</sup>

Research and Development Division, AITEC<sup>\*3</sup>

本研究では、工場の内部にある機器等に組み込んでリモートでモニタリングするために LAN 接続ユニットを試作した。前年度開発した Linux を搭載したマイクロコンピュータのプログラム開発システムを用いて、通信プログラムを作成して LAN 接続ユニットに組み込んだ。これを LAN に接続して、開発システムと LAN 接続ユニット間の通信データの応答時間を測定したところ、3.3msec であった。また、半導体温度センサを LAN 接続ユニットに組み込み、LAN を通して温度を開発システム上の画面に表示できた。

### 1. はじめに

インターネットの急速な発展と通信コストの低価格化により、ホームページや電子メールを用いて世界中のあらゆる情報を瞬時に入手したり、交換したりできるようになってきた。一方、インターネットの利用として、単にホームページや電子メールのように人間のコミュニケーションの手段として利用するだけでなく、最近ではインターネット家電のように人間と機器、機器と機器との情報交換の手段としてもその利用が急速に広まろうとしている。また、多くの生産機器を用いる工場では、安価なインターネットや LAN を用いて、生産機器の状態をモニタリングすることや製品を管理することが求められている。工場内部にある生産機器等を LAN(Local Area Network)やインターネットに接続する利点として、工場内における機器の異常の早期発見、工場内に分散されている機器の有機的な結合による保守管理、機器や製品からのデータ収集による製品の品質管理、工程や製品からのデータの蓄積と分析、工場における機器や製品の遠隔管理、独自回線による機器間の接続に比べ、標準化された安価な LAN の接続機器等を用いることによる機器の変更や機器間の接続コストの低減などが挙げられる。

本研究では、工場における生産機器等を遠隔にモニタ

リングするために、前年度開発したマイクロコンピュータ（以後、マイコンとする。）のプログラム開発システム<sup>1)</sup>を利用して、組込システムのためのネットワーク接続形の LAN 接続ユニット（以後、接続ユニットとする。）と温度測定プログラムを試作した。そして、接続ユニットと開発システム間における通信の応答時間の測定と遠隔による温度測定の実験をしたので報告する。

### 2. 実験方法

ネットワーク接続形の接続ユニットを使ったモニタリング例として、温度のモニタリングの実験を行った。ここでは、半導体温度センサ（以後、温度センサとする。）を用いた温度測定回路とマイコンを用いた接続ユニットの回路の設計と試作をした。これに通信プログラムを組み込んだ。構築した実験システムを写真 1 に示す。

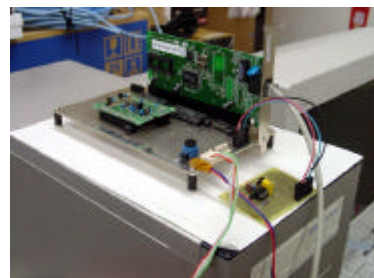


写真 1 実験システム

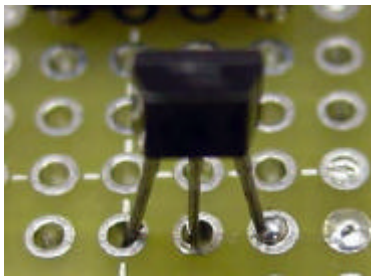
\*1 技術支援部機械電子室 \*2 企画連携部 \*3 基盤技術部

## 2.1 温度測定回路

実験で用いた温度センサを写真2に示す。試作した温度測定回路を図1に示す。デジタル化された温度データから温度への変換は温度センサのデータシートに記載してある温度  $T( )$  と出力電圧  $V_o(V)$  の特性から式(1)に示す直線に近似した。

$$T=a \cdot V_o+b \quad (\text{但し、} a=-58.8, b=118) \quad (1)$$

この式を用いて温度センサの電圧から温度を求めた。



(SEIKO 製 S-8100B)

写真2 温度センサ

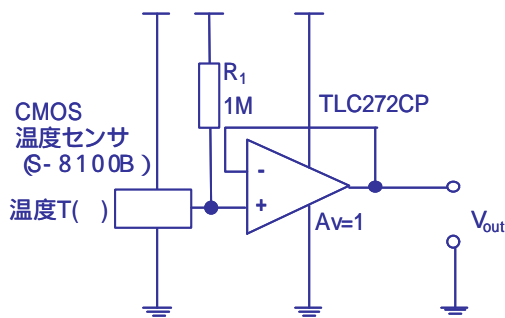


図1 温度測定回路

## 2.2 LAN 接続ユニット

接続ユニットで温度を計測して、LAN に接続されている開発システム上に、これをモニタリングするために、写真1に示す接続ユニットを試作した。試作した接続ユニットの構成は図2で示すように、マイコンボードとネットワークカードから成る。マイコンボードは16ビットのマイコン、2チャンネルのシリアルインタフェース

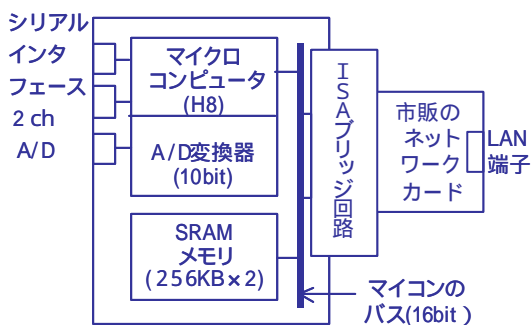


図2 接続ユニットの構成

(以後、RS-232Cとする。)、10ビットのA/D変換器、256Kバイトのスタティックメモリ2個、およびISAバスブリッジ回路から成る。またネットワークカードはAT互換機パソコン用のISAバスを備えた10BASE-Tの市販のものを用いた。

## 2.3 接続ユニットの通信プロトコル

接続ユニットの通信プロトコルは、次の二つの項目を満足するように作成した。

- (1) インターネットに接続できるプロトコルを用いる。
- (2) センサの温度データをUDP(User Datagram Protocol)のパケットに載せて転送できる。

接続ユニットに組み込んだ通信プロトコルの階層構造を図3に示す。プロトコルの階層構造は物理層にイーサネットのハードウェア、データリンク層にイーサネットのネットワーク層にIP(Internet Protocol)、ICMP(Internet Control Message Protocol)、ARP(Address Resolution Protocol)、トランスポート層にUDPを作成した。そして、アプリケーション層としてUDP上に温度データの通信プロトコルのプログラムを作成した。

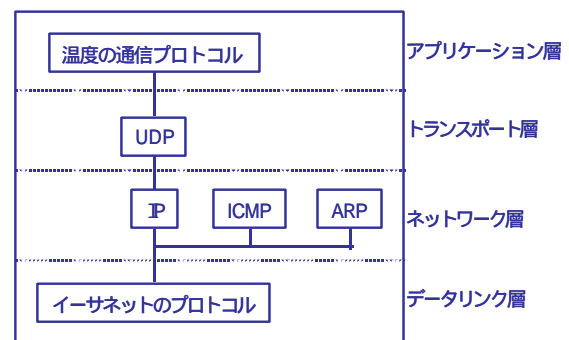


図3 作成した通信パケットの階層構造

## 2.4 通信プログラムの開発

通信プログラムの開発システムとして前年度構築したマイコンのクロス開発環境を用いて作成した。この開発環境はOSにLinux、プログラム言語にC言語を用いた。プログラムの作成は接続ユニットに見立てたLANカードを備えたパソコンと開発システム用パソコンの計2台を用いた。そして、接続ユニットに見立てたパソコンにサーバの役割をさせ、また開発システムのパソコンに温度表示用のクライアントの役割をさせ、それぞれのパソコンに通信プログラムを作成した。そして、この2台のパソコンの通信プログラムが完全に動作するまで、プログラムのデバッグをした。次に、接続ユニットの役割をさせたパソコンを外し、製作した接続ユニットをLANに取り付け、接続ユニットの通信プログラムを作成した。接続ユニットのプログラム開発システムの構成を

図4に示す。このシステムは開発システムと接続ユニットをRS-232CとLANで接続された構成になっている。RS-232Cはプログラム開発時にプログラムの転送およびプログラム実行時のデバッグ情報の出力用に用いた。LANは温度センサからの電圧を接続ユニットに温度データとして変換して接続ユニットから開発システムに転送するために用いた。今回通信にRS-232CとLANの2系統を用いて、プログラムを開発した理由はイーサネットの protocols や IP や UDP のプログラムがたいへん複雑であり、直接に通信プロトコルのプログラムを作成してデバッグすることが困難だからである。そこで、比較的作成が簡単なRS-232Cの通信プログラムを作成してから、LANの通信プログラムを作成した。

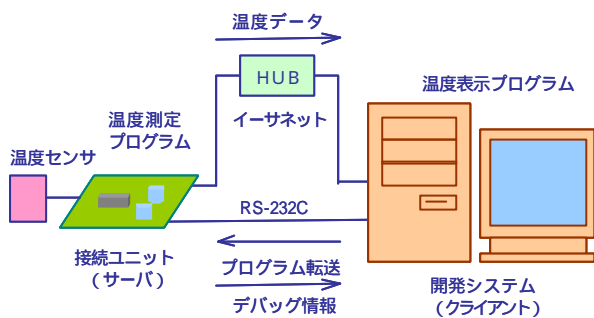


図4 通信プログラムの開発システム

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 パケットの応答時間の測定

パケットの応答時間を計測するために、接続ユニットにICMPを受信できるように接続ユニットのIP層にネットワークの障害を調べるICMPの一部を実装してパケットの応答時間を計測した。このとき開発システムに表示されたデータの応答時間の表示を写真3に示す。実験

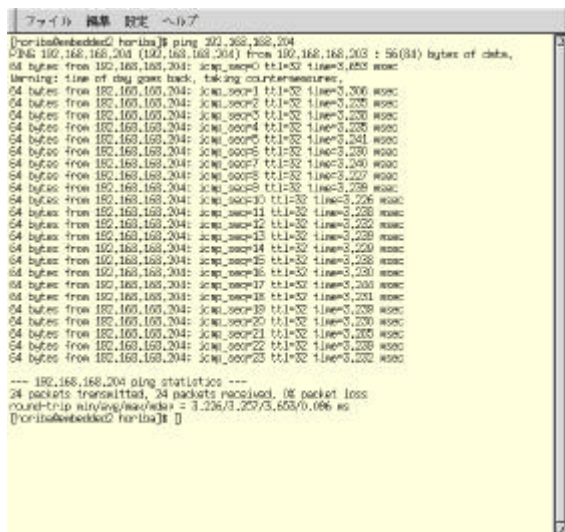


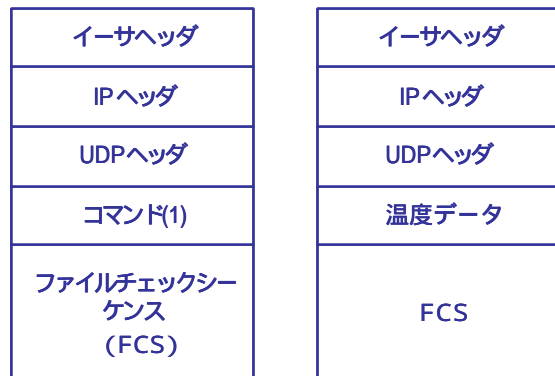
写真3 通信の応答時間の測定

の結果、接続ユニットと開発システム間の応答時間は最

大値で3.653msec、最小で3.226msec、平均で3.257msecであった。この実験により、接続ユニットの物理層とデータリンク層のイーサネットの protocols と IP 層の protocols が正しく動作していることが確認できた。また、一般のパソコン間でICMPの応答時間を計測した値と比べると、接続ユニットの応答時間が若干遅い理由は、接続ユニットに組み込まれたマイコンのクロックが20MHzと遅いので、処理能力が低いことや、作成した通信プログラムの最適化があまりされていないことなどが考えられる。

#### 3.2 リモートによる温度の計測

次に、温度データの転送実験を行った。温度データの転送実験はトランスポート層のUDPの中にアプリケーション層として温度データの packets を埋め込んだ。このときの packets の構造を図5に示す。温度表示する開



(a) クライアントからの温度データ要求パケット (b) サーバからの温度返答パケット

図5 通信パケットの構造

発システムから接続ユニットへの温度データの要求パケットの構造を図5(a)に示す。このパケットはイーサヘッド、IPヘッダ、UDPヘッダがあり、UDPのデータの中に温度表示のコマンドを埋め込んだ。このパケットをLANに接続した接続ユニットが受け取る。接続ユニットは受け取ったパケットの構造を解析して、新たに図5(b)の返答パケットを作成し、送り先のアドレスと送り元のアドレスと現在のA/D変換された温度データを組み込んで、返答パケットとしてデータを返す。開発システムの温度表示プログラムがこの返答パケットを受信するとパケットを解析して開発システムのウィンドウのテキスト画面に数値として温度を表示する。このときの表示画面を写真4に示す。このウィンドウのテキスト画面では、左から温度センサの出力電圧のA/D変換値、温度センサの出力電圧、温度の順に表示される。実験において、UDPを用いた温度の計測はRS-232Cを用いて通信した場合よりもかなり高速に通信できることが分かった。現在、

要求バケットのコマンドは外部のセンサが温度センサのみであるので、温度のコマンドだけであるが、今後の接続ユニットのセンサ等に応じて拡張ができるようになっている。

#### 4. 結び

本研究では、試作した接続ユニットに温度センサを取り付け、温度をリモートによって計測した。これによって、接続ユニットから開発システムに UDP を用いて温度データが転送できることを確認した。

今後の課題として、試作した接続ユニットは、マイコンの基板にパソコン用のイーサネットカードを取り付けたため、かなり大きなものになっているので、容易に機器に組み込めるようにさらに小型化する必要がある。また、通信プロトコルに UDP を用いているので、より信頼性を上げるために TCP(Transmission Control Protocol)を利用できるように改良する必要がある。そして、接続ユニットに取り付けた温度センサの温度をホームページとして発信できるようなプログラムを構築して、インターネットのブラウザ上に温度を表示できるようにし、だれにでも容易に使える接続ユニットにしていきたいと考えている。

#### 文献

- 1)堀場,安田,盛田:愛知県工業技術センター研究報告,37,12(2001)

ID	Unit	Voltage (V)	Temperature (C)
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	24.58
327	bin	1.58668	24.58
328	bin	1.60196	24.29
323	bin	1.60196	24.29
327	bin	1.58668	