

携帯電話網を用いた独立型 VPN による センサ情報遠隔監視制御システム

柴田幸司[†], 花田一磨[†], 中坂慎吾^{††}

A Remote Monitoring and Control System for Sensor Information Based on a Stand-Alone VPN over a Mobile Telephone Network

Kouji SHIBATA[†] Kazuma HANADA[†] and Shingo NAKASAKA^{††}

ABSTRACT

In this study, an encrypted closed line was created over the Internet by building a stand-alone VPN with a VPN access router for 3G wireless networks and a data communication terminal combination. It was also confirmed that information on temperature in locations remote from sensors could be acquired through a web browser using a smart device such as a tablet computer by connecting the equipment used to transmit and receive sensor information for the Ethernet to this VPN. The system can be set up anywhere because the WAN port of the router is connected to the mobile telephone network. The results confirmed that this technology can be used to transmit information on sensors and switch circuit control over a public line with no risk of sniffing. The technique can be applied for a range of purposes, including the monitoring of electricity consumption and remote management of crops. The authors also believe the system has strong potential in education relating to information, communication and computer network technology on campus.

Key Words: internet, VPN, mobile telephone network, mobile communication, remote control

キーワード: インターネット, VPN, 携帯電話網, 移動体通信, 遠隔制御

1. はじめに

近年のインターネットの普及により、従来は専用回線が必要であった遠隔地からのセンサ情報の取得システムが安価にて構築可能となってきた。一方、携帯電話網を用いたデータ通信もここ数年で大きな進化を遂げ通信速度が

年々高速化され、従来は不可能であった大きなデータをやり取りするカメラの高解像度な動画情報でさえも、移動体からインターネットへ無線にて伝送が可能となった。そこで本研究では携帯電話を用いたデータ通信端末とVPN(Virtual Private Network)アクセッスルータとの組み合わせにより、たとえば山中など電話線の敷設が不可能な地域でも利用可能なインターネットに無線で接続する独立型VPNを構築した。そして、このVPNにセンサ取得装置を接続し、実際にタブレットコンピュータなどのスマートデバイスを用いセンサから遠く離れた場所からでもWebブラウザ

平成 24 年 1 月 6 日受理

[†] 工学部電気電子システム学科・講師

^{††} 工学部電子知能システム学科・4 年

にて温度情報が取得可能であることを確認した。

2. システムの概要

本システムは図 1 および 2 に示すとおり、3G 回線対応 VPN ルータ、モバイル回線端末およびイーサネットに対応したセンサ情報取得装置からなる。ここでルータには Web ブラウザにて各種設定を容易に行うことができるヤマハの RTX810 を選定した。また、モバイル回線端末には送信最大 5.7Mbps/受信最大 7.2Mbps の通信速度での docomo 回線によるデータ通信が可能となる LG の L-05A を選んだ。さらに、センサ情報取得装置には NIC (Network Interface Card) および Web サーバを内蔵しており、イーサネット経由にて Web ブラウザより各種センサ情報の取得やスイッチ回路の制御が容易に行えるトライステートの PICNIC を採用した。このシステム一式を任意の場所に配置すれば、携帯電話回線およびインターネットを介し、センサから得られた情報を世界中どこにいてもスマートフォンなどで確認が可能となる。

実際の構成は VPN ルータである RTX810 の USB 端子にモバイル回線端末の L-05A を差し込み、LAN 端子には 10BASE-T のイーサネットケーブルを介しセンサ情報取得装置である PICNIC を接続する。なお、この LAN 端子に Web サーバを内蔵したネットワークカメラを取り付ければ、遠く離れた場所にて画像情報も取得可能となる。

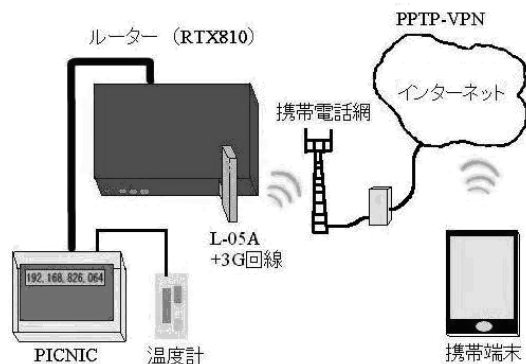


図 1 システムの構成



図 2 システムの構成

本来 VPN ルータである RTX810 は WAN 端子に FTTH や ADSL などの固定ブロードバンド回線を接続し、インターネットにアクセス可能な SOHO などでの小規模な LAN の構築を想定した製品であり、USB 端子に取り付けられたモバイル回線端末は固定の WAN 回線が使用不可など非常時の代替手段としての運用が想定されているが、今回の構成ではこれを独立型 VPN の構築のため積極的に利用している。なお、家庭向けの安価なブロードバンド回線対応の Wi-Fi ルータにも携帯電話網への接続が可能なタイプも存在するが、現時点ではそれらはダイナミック DNS や VPN が利用できない物がほとんどであり、IPSec などへの拡張も視野に入れている今回の用途には適さないと判断した。実際のルータの設定は RTX810 の LAN 端子に取り付けられたノート PC などで行うことができるが、本来の用途よりこの端子に複数のパーソナルコンピュータや Wi-Fi ルータを接続すれば、安定した電源さえ確保されれば災害などによる非常時にもインターネットに接続可能となる自立した VPN-LAN が構築され、情報収集や連絡手段として有用なシステムとなる。

3. センサ情報取得装置

ルータの LAN ポートに接続するセンサ情報取得装置は、図 3 に示す NIC および Web サーバを内蔵し

トライステートのPICNICを用いた。この装置はPICによりNICを制御し、内蔵のA/DおよびD/Aコンバータを駆使してイーサネットに接続された端末のWebブラウザにてセンサ情報の監視や制御を可能とする。温度センサ部の回路図は図4に示すとおり、センサ素子として集積回路のLM35DZを使い、出力電圧をオペアンプICのLM358を使用した非反転増幅回路により増幅してPICのアナログ端子に入力させた。オペアンプの増幅率は4倍としたが、この設定ではセンサICの温度が100℃の時に最大出力電圧が4Vとなるので、理論上の分解能は0.122℃となる。一方、気象庁の温度データの分解能は0.1℃であるため実用上問題ないと考えた。試作した温度センサを図5に示す。なお、1つのPICNICで複数点での温度を測定したい場合には同じ回路を作成し、オペアンプからの出力電圧をRA1～RA3のアナログ端子に入力すれば良い。



図 3 WEBでセンサ情報が取得可能なPICNIC

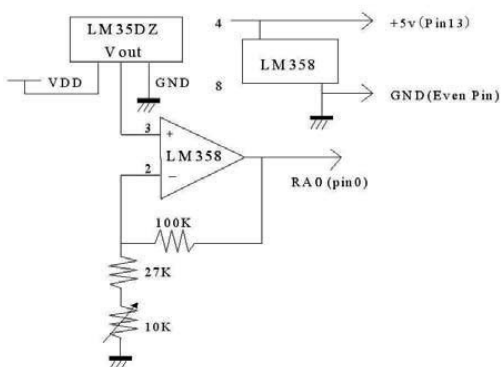


図 4 温度センサ部の回路図

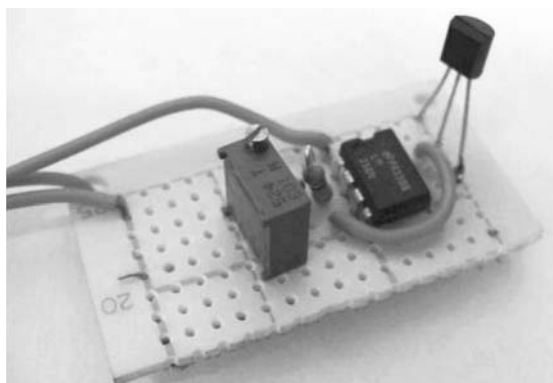


図 5 試作した温度センサ

4. インターネット関連の設定

本システムでは外部からスマートフォンなどによりインターネットを介して自立した LAN 内部にアクセスさせるため、ルータの WAN 側のポートにはグローバル IP アドレスを割り当てる必要がある。さらにインターネットへの接続に携帯電話網を想定していることから、モバイル回線端末である L-05A に挿入する SIM はモバイルルネッサンスのプリペイドタイプとした。この SIM は機器に固定グローバル IP アドレスを割り当てることから、ネットボランチ DNS などのサービスを利用することなくルータの NAT 機能のみにより公衆回線であるインターネットから LAN 内部へのアクセスが可能となる。これを実際に実現するためには VPN によりクライアントの LAN または端末とホストとの間にトンネルを構築する必要があり、センターと拠点のトンネリングにて、おのおのの LAN に多くの端末が接続される場合には一般に VPN ルータを 2 つ必要とする IPSec プロトコルを用いるが、ここでは安価な構成が可能でスマートフォンやタブレットコンピュータなどのスマートデバイスとも親和性の高い PPTP (Point to Tunneling Protocol) を採用した。さらに RTX810 は PPTP サーバを内蔵しているため別途サーバを立ち上げる必要がなく、1 つのルータのみで外部から LAN への VPN でのアクセスが可能となり、クライアント側もプライ

ベート IP アドレスでの利用が可能であることから大幅なコスト削減が見込める。

PPTP の具体的な設定では、暗号鍵生成の認証方式としてセキュリティの実績を有する MS-CHAP v2 を採用した。また、ルータの LAN 端子に接続された各機器への IP アドレスの割り当てに関してまず、LAN 側のネットワークアドレスは 192.168.26.0/24 すなわち、ネットマスクを 255.255.255.0 とした。ここで LAN 端子に接続される機器としては、設定のためのパーソナルコンピュータ、センサ情報取得システム、ネットワークカメラ等が考えられるが、VPN が確立している状態で外部から LAN 内部にアクセスするには、ポート開放などを行わない場合はセンサ情報取得装置に割り当てる各プライベート IP アドレスを固定する必要がある。そのため、設定用のパーソナルコンピュータ等へは DHCP サーバからプライベート IP アドレスを 192.168.26.32～192.168.26.63 の範囲で配布し、外部からのアクセスを必要とする 2 台の PICNIC はそれぞれ 192.168.26.64、192.168.26.65 の固定プライベート IP アドレスを設定した。これにより、任意の場所から各端末の情報が Web ブラウザにて同時に確認が可能となる。この状態にて、さらにインターネット経由で PPTP にて本システムに接続時の管理画面を図 6 に示す。これより 3G 回線にてルータの WAN 側に固定されたグローバル IP アドレス 49.243.23.**が割り当てられていることが分かるとともに、VPN 接続での通信が行なわれていることも確認できる。実際にルータのモバイル回線と DHCP および PPTP サーバを設定時に生成したコマンドの一部を図 7 に示す。



図 6 ルータの接続状態の確認

```
#### PP 3 ####
pp select 3
pp name PRV/2/1/5/0/0:モバイルルネッサンス
pp bind usb1
pp auth accept pap chap
pp auth myname user@3gd.ynmb1.net 3gd
ppp lcp mru off 1792
ppp lcp accm on
ppp lcp pfc on
ppp ipcp ipaddress on
ip pp nat descriptor 1200
mobile auto connect on
mobile access-point name ynmb1.net cid=1
mobile access limit length off
pp enable 3
```

```
# Provider information
provider set 3 モバイルルネッサンス
provider dns server 3 202.216.22.** 202.216.22.**
provider select 3
```

```
#### PP anonymous ####
pp select anonymous
pp name RAS/VPN:
pp bind tunnel1
pp auth request mschap-v2
pp auth username shibata *****
ppp ipcp ipaddress on
ppp ccp type mppe-any
ip pp remote address pool dhcp
pptp service type server
pp enable anonymous
```

図 7 ルータの設定結果

5. 遠隔監視の実例

これらのシステムにより外部からセンサ情報を監視制御するためには、さらにインターネットに接続された端末側のVPNの設定が必要であり、今回はWindows XPを搭載したノートPCおよびAndroid OS 3.1を搭載したタブレットPCを用意した。なお、両端末とも学内のLANに頼らずシステムを完結させるため、いずれも携帯電話回線

からアクセスしている。これらの設定の後、Windows XPより監視制御システムのLAN内に入り込み、Webブラウザにて2つのPICNICのセンサ情報を表示した結果を図8に示す。これより、192.168.26.64、192.168.26.65の固定プライベートIPアドレスを割り当てたPICNICの情報が同時に確認できていることが分かる。さらに、アドレスが64のPICNICのRA1端子から121なる値が出力されており、これは製作した外付け温度センサの測定値である。PICNICはセンサで取得した電圧値を基準電圧を5Vとして10bitでA/D変換し0～1023の値として出力する。これより1bitは5/1023VでありLM35DZの出力電圧は10mV/℃であるから、出力電圧の100倍が実際に観測した温度となる。また、今回はオペアンプを用いて出力電圧を4倍に設定しているため、PICNICの表示値×(5/1023)×(100/4)にて温度が計算できる。これより121の時には14.9℃と計算され、RA5端子にて観測された内蔵の温度センサーによる測定値である14℃との差異は0.9℃となり概ね一致した。今回は準備の都合上、LAN端子に接続したセンサ情報取得機器は2台としたが、ネットワークカメラなどさらに多くの機器を接続すれば、遠隔地にてそれらの情報を同時に取得が可能となる。

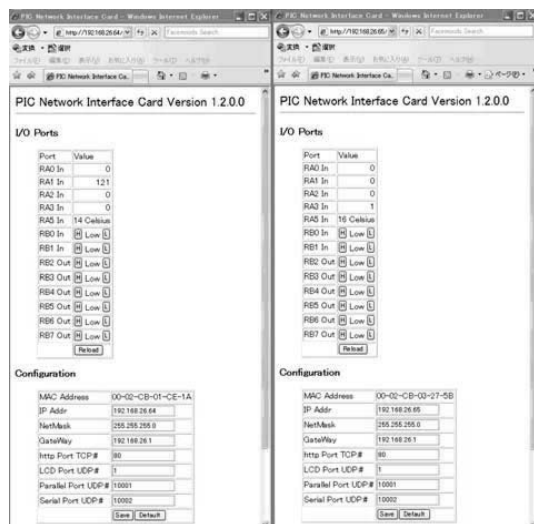


図 8 Windows XPでのセンサ情報の表示結果

また近年、スマートフォンやタブレットPCが普及し、これらを用い出張先などからインターネットへのアクセスにより、ノートPCなどを立ち上げなくても手軽に情報取得が可能となっており、遠隔監視制御システムへの応用も期待される。そこで、一例としてAndroid OS 3.1を搭載したタブレットPCでもVPNの設定をしてセンサ情報の取得が可能かを確認した。その結果は図9に示すとおり、適切な設定により異なるOSの端末からも携帯電話網を介して本システムにアクセスが可能であることを確認できた。また、これらの応用として図10に示すように端末で取得した情報をWindows上でExcelに書き出し、演算処理等で温度の異常を監視したり、Webブラウザとの併用により機器のONおよびOFFの制御も可能である。

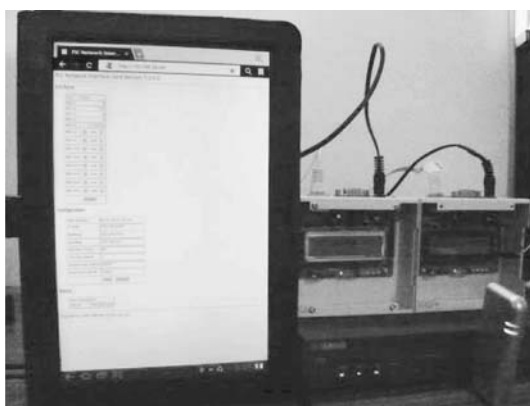


図 9 タブレットPCによるセンサ情報の表示結果

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
12	ポート名	接続機器	設置場所	Status	Input	Output	計算値	設定値	状態
13	RA0	電圧計算クランプ	ヒーター	IN	0	0			
14	RA1	温度センサ 1	乾燥室A	IN	0.826	0	20.6	18	異常(高温)
15	RA2	温度センサ 2	乾燥室B	IN	0	0			
16	RA3	温度センサ 3	ヒーター室	IN	0	0			
17	RA4	本体温度センサ	本体	IN	22.5	0	22.5	25	正常
18	RB0			IN	0	0			
19	RB1			IN	0	0			
20	RB2	制御用リレー		OUT	0	0			
21	RB3			OUT	0	0			
22	RB4			OUT	0	0			
23	RB5			OUT	0	0			
24	RB6			OUT	0	0			
25	RB7			OUT	0	0			
26	LCD								
27	LCD					ABCDE			
28	スキャン開始				60000				
29	スキャン実測				80				
30	取得日時								

図 10 EXCELでの監視例

6. まとめ

本研究では 3G 回線対応 VPN アクセスルータを用いて独立型 VPN を構成し、ネットワーク対応のセンサ情報送受信装置との組み合わせにより、インターネット上に張られた暗号化された閉じた回線による遠隔地のセンサ情報取得システムを構築した。そして、外部の任意の場所からインターネットを介してスマートデバイスにより本システムに接続し、センサ情報が取得可能であることを確認した。その際、WAN ポートに携帯電話回線を用いることにより、山間部など固定電話の敷設が不可能な場所に設置された本システムが他人に盗聴されることなくセンサ情報の確認およびスイッチ回路の制御が可能であることを示した。この成果はたとえば遠隔地での電力使用量の把握や農作物の管理、さらには沿岸部での海産物の監視などへ応用できるほか、学内における情報通信およびネットワーク技術の教育にも有用であると考えられる。今後の課

題としては太陽電池などによる独立電源や蓄電設備との組み合わせなどが考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、匠技術研究所の谷山亮治氏にはインターネットVPNの構築法や3G回線のルータへの接続の設定等でご指導を頂きました。また、卒業生の榎林史祥君には在学時に本研究を精力的に進めてくださいました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 谷山 亮治: 企業ネットをじぶんで作ろう, pp.148-158, 日経BP社, 2011.
- 2) ギガアクセスルータ RTX810 取り扱い 説明書, Yamaha, 2011.
- 3) トライステート社ホームページ <http://www.tristate.ne.jp/new-pic-nic/new-pic-nic.htm>

要 旨

本研究では携帯電話回線に対応するVPNアクセスルータとデータ通信端末との組み合わせにより独立型VPNを構築することによりインターネット上に暗号化された閉じた回線を実現した。さらに、このVPNにイーサネット対応のセンサ情報送受信装置を接続し、実際にタブレットコンピュータなどのスマートデバイスを用いセンサから遠く離れた場所からでもWebブラウザ上で温度情報を取得が可能であることを確認した。本システムはルータのWANポートに携帯電話網を接続することから任意の場所に設置が可能であり、これらの技術により公衆回線から他人に安易に盗聴されることなくセンサ情報の確認およびスイッチ回路の制御が可能であることを示した。この成果はたとえば電気の使用量の把握や農作物の遠隔管理などへ応用できるほか、学内におけるネットワークの教育にも有用であると考えられる。

キーワード: インターネット, VPN, 携帯電話網, 移動体通信, 遠隔制御