

Linux マイコンを用いた組込み VPN による 超小型センサ情報遠隔監視システムの開発

柴田 幸司[†]・花田 一磨[†]・落合 翼^{††}

A Remote Monitoring System for Sensor Information Based on a Stand-Alone VPN using a Linux Micro Computer

Kouji SHIBATA[†], Kazuma HANADA[†] and Tsubasa OCHIAI^{††}

ABSTRACT

In this study, an encrypted closed line was created over the Internet by building a stand-alone VPN with a Linux Micro-Computer and a data communication terminal for mobile telephone network 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 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, NAT transversal, remote monitoring system, Raspberry Pi

キーワード: インターネット, VPN, 携帯電話網, NAT越え, 遠隔監視, ラズベリーパイ

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、モバイル回線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。このような背景において我々は携帯電話網やWiMAXとVPN(Virtual Private Network)アクセ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、Webブラウザにてセンサ取得装置からの情報を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取得可能であることを確認している^{1,2)}。しかし従来のシステムではプライベートな回線構築のため高価な専用のVPNル

平成 26 年 1 月 8 日受付

[†] 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

ータが必要であり、遠隔地に設置されるシステムコストの多くを占めていた。また、従来のVPNは携帯電話網等を介し遠隔地の装置へアクセスする為、インターネットサービスプロバイダからVPN機器へ固定グローバルIPアドレスを割り当てる必要があり、これも運用費用に負担となっていた。

そこで、本研究ではセンサ類とインターネットとのインターフェースにLinuxマイコンを用い、さらにこのマイコンにVPNプログラムを組み込みUSB等によりセンサ機器を接続することにより、VPNルータやセンサ情報取得装置を不要とし、超小型かつ安価なセンサ情報遠隔監視システムを構築した。その際、VPNは外部からNATによりダイナミックに配布されたプライベートIPアドレスでも動作するようにした。さらに、本システムにdocomoのLTE回線対応のUSBモデムを直接接続し制御することにより、従来別途必要であったモバイルルータさえも不用とし、極めてシンプルに安価でシステムを構築した。これらを用い、遠隔地からのノートPCやタブレットPCでの温度・湿度データおよびカメラ画像を取得出来たので、その手法につき報告する。

2. システムの概要

本システムは図1および2に示す通り、Linuxマイコン、USBモデム、さらに温・湿度やWebカメラなどのセンサ類から構成される。ここで、Linuxマイコンは教育用として世界中に安価で配布され、専用ドライバ等の開発により種々の用途へ実績のあるARMベースのRaspberry Piを用い、USBモデムにはdocomoの携帯電話回線への接続用としてLGのL-02Cを選択した。さらに、センサに用いるWebカメラは市販されている一般的なUSB接続の物を使用し、温・湿度センサには有志によりLinuxによる計測の実測があるストロベリー・リナックスのUSBRH-FGを採用した。

実際にはこのシステムからの情報を遠隔地にて取得するため、Linuxマイコンとクライアント

となる端末との間はソフトウェアによる組込みVPNによりセキュアな接続を行なっている。その際、Webサーバとして働くLinuxマイコンはプライベートIPアドレスを固定せずダイナミックに配布されても、NATおよびファイアウォールを容易に超えてVPN接続できる様にし、ランニングコストを大幅に抑えている。

このシステム一式を任意の場所に配置すれば、携帯電話回線と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極めて安価に監視可能となる。

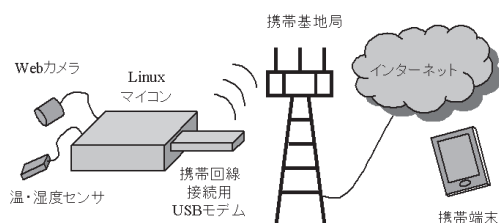


図1 システムの構成

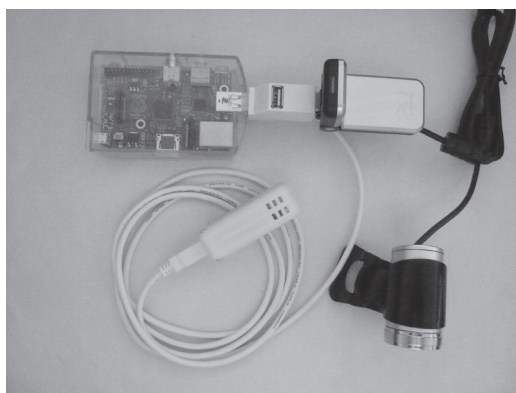


図2 システムの構成

3. LinuxマイコンからWi-FiでのVPNへの接続

そこで、まずは図3に示す基本的な構成にて無線LANルータから複数の場所に設置したセンサ情報遠隔監視システムへのVPNでの接続を確認するとともに、実際に各種センサを接続して遠隔地からのセンサ情報の取得を確認した。その為に行なった作業手順は以下の通りである。

1. Raspberry PiへのLinux OSのインストール
2. LAN（IPアドレス、ゲートウェイ、DNS）の設定
3. Raspberry Piに接続されたWi-Fi子機の設定
4. VPNプログラムのインストールと設定
5. ファイアウォールの設定（port 22, 80など接続許可）
6. Web（HTTP）サーバ、PHPソフトウェアのインストール
7. Webカメラ・モーションキャプチャプログラムのインストール
8. 温・湿度センサ情報取得プログラムのインストール
9. ホームページ記述ファイル（index.php）の書き換え

システムに用いた機器のうち、Raspberry Piに接続する無線LAN子機はバッファローのWLI-UC-GNMを選定し、また親機はWZR-450HPとした。なお、今回の設定では今後の種々の回線への対応を考え、LinuxマイコンへはWi-Fi親機からDHCPサーバにてダイナミックなプライベートIPアドレスを割り当てている。

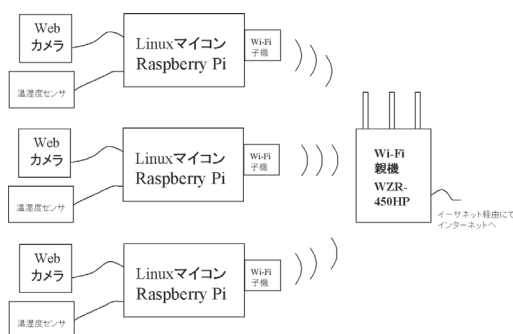


図 3 Wi-Fi経由でのVPN接続のための構成

このようなシステムでは、運用コスト削減のためVPNの方式選定が重要となるが、本システムではプライベートIPアドレスにてサーバの設置ができ、NATやファイアウォールを越えたVPNの構築が容易なLogMeIn社のHAMACHIを用いた。このVPNを運用する為には、サーバおよびホストとなるコンピュータそれぞれに専用のプログラムをインストール必要がある。実際に1から5までの作業により、遠隔地のセンサシステムとクライアントとの接続状態をWinos XPのコンピュータにて確認した様子を図4に示す。これよりHAMACHIにて構築したVPN上にWi-Fi接続した複数のRaspberry Piが現れていることが確認できる。

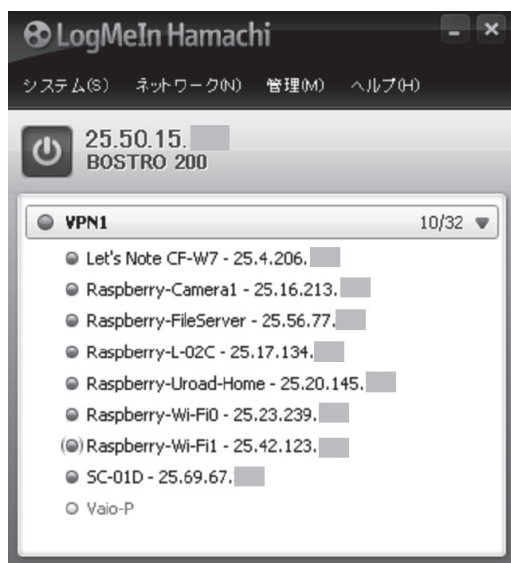


図 4 HAMACHIによる各コンピュータ同士の接続

また、ホームページ関係のソフトウェアはHTTPサーバのapache2の他に、温・湿度センサの情報もWebブラウザにて確認する為、PHP5もインストールしている。

さらに、WebカメラのモーションキャプチャプログラムはMOTIONを採用した。このソフトのインストールにより、USB接続されたWebカメラの画像を遠方からWebブラウザにて確認できるほか、風景が変化時の画像データをマイコン内部に蓄積が可能となる。よって、FTPにてセンサシステムに接続すれば、遠隔地でのこれら画像データの取得も容易である。一方、USB接続の温・湿度センサ（USB-RH）の情報をRaspberry Piに取り込むためのプログラムは他のLinux OSにて動作させるため記述されたC言語のプログラムのソースファイルを変更後にmakeしてRaspberry Pi用の実行ファイルを生成し、これをOSに登録することによりコマンド上で機能呼び出せるようにした。これに加え、遠隔地からWebブラウザにて確認するための図5に示すindex.phpなるファイルを記述し/var/wwwに配置した。

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="ja">
<head>
<meta http-equiv="Content-type" content="text/html;charset=UTF-8">
<title>研究室の温度および湿度</title>
</head>
<body>
<font size="7">
温度 湿度
<br>
<?php
echo exec('/usr/local/bin/usbbrh');
?>
<br>
<a href="http://25.42.***.***:8081"></a>
<br>
</font>
```

図 5 記述したindex.phpファイルの内容

以上の6~9を含む作業を実施の後、VPN経由にて遠隔地のWinows XPのコンピュータからWebブラウザのFirefoxにて確認した様子を図6に示す。これより、画面からカメラ画像と温湿度情報が確認できる。重要なのは本センサシステムのネットワークへの接続に用いられているマイコンにはDHCPにてダイナミックにプライベートIPアドレスが割り当てられ、インターネットへの接続がWi-Fiに限らず有線や携帯電話回線など刻々と変化しても、アクセス回線を切り替えVPNに常時接続が可能という点である。



図 6 Webブラウザによるカメラ画像と温湿度情報の確認

ここまでの各種プログラムのインストールによる OS の稼動状況を top コマンドにより確認した画面は図 7 に示す通り、HAMACHI、apache2、

motion、usrh 等の各種プログラムが稼動している様子が確認できる。

```

task: 10120.25 up 2 days, 8:42, 1 user, load average: 0.07, 0.03, 0.07
Tasks: 93 total, 1 running, 62 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
Uptime: 9.2 min, 0.7 sec, 8.71 kb, 8.71 kb, 0.0 kb, 0.0 kb, 8.0 kb, 0.0 kb
Mem: 44336 total, 18888 used, 23456 free, 65932 buffers
0 MB swap, 0.00% total, 0.00% used, 232.96 free, 35920 cached

```

図 7 Linuxマイコン Raspberry Piの接続状態の確認

4. 携帯電話回線でのVPNへの接続

そこでさらに、本センサシステムの携帯電話回線でのHAMACHI-VPNへの接続も試みた。その手順としてRaspberry PiにUSB接続のモデムを挿入し携帯電話回線経由でのインターネットを接続を実現するため、マイコンにwvdialなるソフトをインストールした。このプログラムはモデムにATコマンドを送ることによりPPP(Point to Point Protocol)によるインターネットへの接続を実現するもので、今回はUSBモデムとしてLGのL-02Cを制御しNTT docomoのMVNOであるExcite LTEに接続するため図8の設定ファイルを記述し/etc/wvdial.confとして配置した。実際にwvdialを動作させdocomo回線に接続した状態は図9に示す様にUSBモデムのLEDが青色に点灯しており、

LTE での接続が確認できる。さらに SSH にてログインした Raspberry Pi から traceroute による google DNS の IP アドレスである 8.8.8.8 へ接続した様子は図 10 に示す通り、インターネットサービスプロバイダである IJ を経た google DNS までの接続の経路が確認できる。よって Excite LTE は端末にプライベート IP アドレスを割り当てることから、NAT 越えによる安価かつ安定的に接続可能な VPN が構築出来たことになる。

```
[Dialer Defaults]
Init1=ATH
Init2=AT&F
Init3=ATZ
Init4=AT&F
Init5=ATZ
Init6=ATQ0 V1 E1 S0=0 &C1 &D2 +FCLASS=0
Init7=AT+CGDCONT=1,"IP","vmobile.jp"
Dial Attempts=3
Stupid Mode=1
Modem Type=Analog Modem
Dial Command=ATD
Stupid Mode=on
Baud=460800
New PPPD=yes
APN=vmobile.jp
Modem=/dev/ttyUSB2
ISDN=0
Phone=*99**2#
Password=excite
Username=bb@excite.co.jp
Carrier Check=off
Check Def Route=on
Abort on No Dialtone=off
```

図 8 /etc/wvdial.conf の設定情報

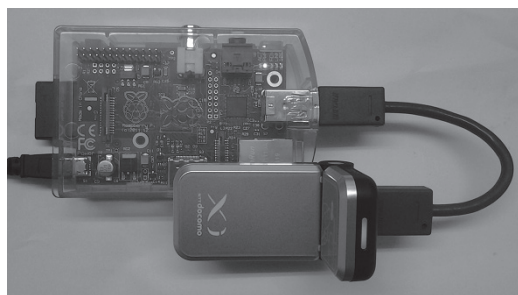


図 9 docomo 携帯電話網経由での接続の確認

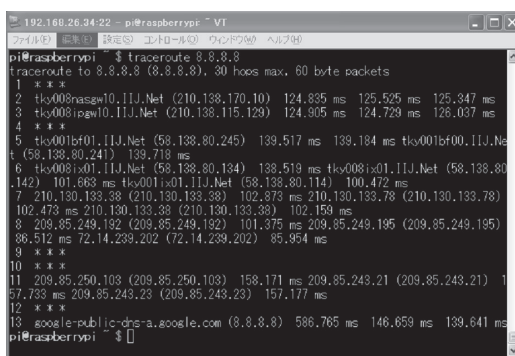


図 10 携帯電話網を経由した google DNS への接続の確認

5. 携帯端末からの接続

さらに、携帯端末からの接続例として Android OS 4.0.4 を搭載したタブレットコンピュータである Samsung の Galaxy TAB 10.1 (SC-01D) を HAMACHI ネットワークに登録し、PPTP 経由にて VPN へ接続した様子を図 11 に示す。これより遠隔地の携帯端末経由からも温湿度やカメラ画像が確認できることが分かる。



図 11 Android OS を搭載したタブレット PC での表示結果

6. まとめ

本研究では Linux マイコンを用い組込み型 VPN を構成し、Web カメラや温湿度センサ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超小型で安価な遠隔地のセンサ情報を取得するシステムを構築した。そして、外部の任意の場所からスマートデバイスなどにより本システムに接続し、カメラ画像や温湿度などのセンサ情報が取得可能であることを確認した。その際、インターネットへの接続に携帯電話回線を接続することにより、任意の場所に設置された本システムにて他人に盗聴されることなくセンサ情報の確認が可能であることを示した。この成果はたとえば防災システムや遠隔地での電力使用量の把握や農作物の管理、さらに沿岸部での海産物の監視などへ

応用でき、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。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。

参考文献

- 1) 柴田, 花田, 中坂 “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” 八戸工業大学紀要 31, pp147-152, 2012-3.
- 2) 柴田, 花田, 大久保 “WiMAX 網を用いた独立型 VPN によるセンサからの高速波形遠隔監視システム” 八戸工業大学紀要 32, pp129-134, 2013-3.
- 3) 渡辺, 大谷 “棚田オンラインプロジェクト” 信学技報 vol. 108(74), 1A2008-9, pp.43-48, 2008-5
- 4) Raspberry Pi ホームページ <http://www.raspberrypi.org/>

要 旨

本研究ではLinuxマイコンと携帯電話網に接続可能なUSBモデムとの組み合わせにより、超小型で安価な組込み型VPNを構築した。さらに、このシステムにWEBカメラや温湿度センサを接続し、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ブラウザにてカメラ画像や温湿度センサなどの情報を取得が可能であることを示した。本システムはインターネットへの接続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、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が可能である。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さらには海産物の盗難の監視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。

キーワード: インターネット, VPN, 携帯電話網, 移動体通信, 遠隔監視, ラズベリーパイ