八戸工業大学紀要 第 35 巻 (2016) pp. 39-46

Linux マイコンによる遠隔監視システムへの時系列な気圧データ取り込み法の検討

柴田 幸司[†]・菊地 桐吾[††]・花田 一磨[†††]

Study on Acquisition Method of Atmospheric Pressure Time Series Data to Sensor Information Remote Monitoring System using a ARM-based Linux Microcomputer

Kouji SHIBATA[†], Tohgo KIKUCHI[††] and Kazuma HANADA[†††]

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 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: *M2M, IoT, cellular network, remote monitoring, Raspberry Pi, VPN, embedded Linux*

キーワード : M2M，IoT，携帯電話網，遠隔監視，ラズベリーパイ， VPN，組込みLinux

1. はじめに

インターネットによるモバイルデータ通信はここ数年で大幅に高速かつ低遅延化され、従来は専用回線が必要だった遠隔地からのセンサ情報の取得システムが安価に構築可能となり[1)]、カメラの高解像度な動画情報なども、任意の場所にある移動体から無線で伝送可能となった[2)]。さらに、マイコンを実装したセンサ機器同士がLANや公衆ネットワークを介し直接情報のやり取りを行うセンサネットワークはIoTやM2Mとして、家庭や工場だけでなく植物園や家庭菜園での水分管理、農業や漁業や交通、GPS情報と組み合わせた船舶への設置や車載による移動体などからの各種情報の発信、ヘルスケア、観光業への応用など、ビックデータ解析などと連携した幅広い用途への展開が期待されている。この様な背景にて筆者らは以前、センサ類とインターネットのインターフェースにLinuxマイコンを用いVPNプログラムを組み込み

平成 28 年 1 月 8 日受付

† 工学部電気電子システム学科・准教授

†† 工学部電子電子システム学科・4 年

††† 工学部電気電子システム学科・講師

USBによりセンサ機器を接続し、VPNルータやセンサ情報取得装置を不要とした超小型かつ安価で運用コストが低く極めて汎用性の高い遠隔監視システムを構築した。マイコンに組み込んだVPNプログラムはプロバイダなどからNATやファイアウォールを介しダイナミックに配布されたプライベートIPアドレスでも動作させ、高価なVPNルータを不要とし極めて安価な運用コストで端末とサーバ間のP2P接続を実現した。さらにA/Dコンバータを内蔵したセンサをUSBでマイコンに接続しデータを取り込みセンサ情報取得装置も不要とした。これにより、シンプルかつ低い運用コストで遠隔地からノートPC、タブレットPCやスマホなどで温度・湿度データおよびカメラ画像が取得出来ている[3-7]。システムのCPUには市販のスマホやタブレットなどへ組み込まれ、量産効果で大幅な原価低減が実現されたARMコアを実装し[8]、OSは無料オープンソースなソフトウェアとして機能やインストール容量や処理速度が洗練され、CPUへの負荷も少ないマルチタスクOSのLinuxを用いたため任意言語でのセンサネットワークが安価に構築可能で、USBやI2Cの汎用インターフェースを介し自由に任意なセンサの追加が可能で極めて汎用性が高い。これらセンサネットワークはIoT端末にプライベートIPアドレスを付与しても動作可能なVPNにて構築したため、震災の発生時も固定回線、Wi-Fi、携帯電話網など状況に応じアクセス回線を瞬時に切り替え、インターネットとの通信が途切れること無く安定した柔軟なシステムの運用が実現できる。しかしこれらを屋外に設置し農業用や漁業用のデータの取得や防災用のテレメータシステムなどを構築するためには、多くのセンサからの情報を取り込み集計し解析する必要がある。本研究では、筆者らが開発したLinuxマイコンを用いた超小型遠隔監視システムへの気圧の時系列データの取り込み法とhttpサーバでの公開法を文献[9-11]を参考に検討した。

2. システム概要

今回動作を確認したシステムは**図1**および**図2**の通り、制御用のマイコンと気圧センサモジュールから構成される。システムに用いた気圧センサには、I2C、SPIの2つのインターフェースが使え、I2C使用時は2つのアドレスから選択が可能なSTマイクロ社の3x3x1mm角の1チップ気圧センサをモジュールにしたストロベリーリナックス社の絶対圧気圧センサであるLPS331を使用した。本チップのセンサ部はMEMS技術にて作成され、高精度・高分解能を実現するため、24bitのA/Dコンバータが実装されている。また、気圧の分解能は0.020mbar、精度は±0.1hPa で、変化を精密に感知できる。本研究で構築したシステムでは、マイコンと気圧センサ間の通信にシリアルデータの転送が容易に実現可能なI2Cインターフェースを用いた。センサチップとマイコンとの結線はそれぞれ、SCL（4番）、SDA（6番）はマイコンのSCL（5番）およびSDA（3番）ピンと接続し、SDO/SAO（7番）、CS（8番）、VDD（14番）、VCCA（15番）はマイコンの3.3V（1番）と接続、GND（16番）はマイコンのGND（1番）と接続した。なお、今回はI2Cインターフェースを有するセンサをマイコンに接続することによる基本情報の取得を目的としたため、センサモジュールとマイコン間の配線および、追加で電子回路素子を接続するためブレッドボードを使用した。この配線状態は**図3**に示す通り、ICモジュールや抵抗などの電子部品が効率よく配置できている。

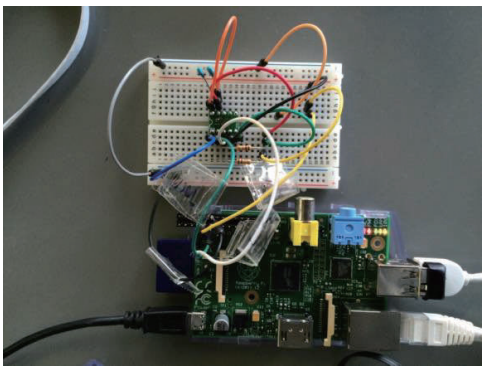

図1　システムの写真

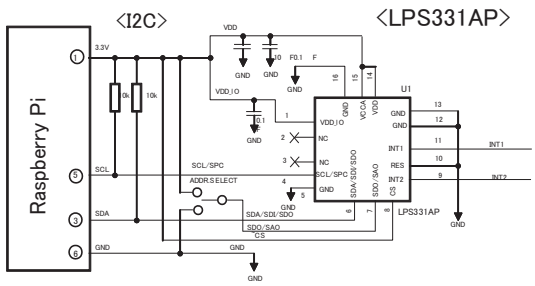

図2　システムの回路図

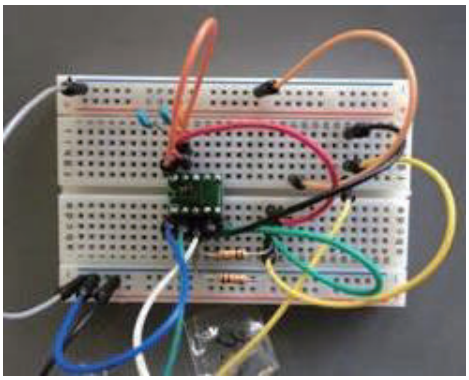

図3　気圧データモジュールの配線

3. I2C通信の有効化

先の手順にてラズベリーパイに I2C の端子を介しセンサの接続を完了後、I2C デバイスとの通信を有効にさせるため

sudo nano /etc/modules

と入力して設定ファイルを開いて「i2c-dev」なる記述にて、ラズベリーパイが認識できるデバイス名を追加した。また、Raspberry Pi の module のデフォルト設定では「I2C」および「SPI」通信はブラックリストに記述されているため

sudo nano /etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf

にてブラックリストの設定ファイルを呼び出し「i2c-bcm2708」の行を「#」によりコメントアウトしてブラックリストから外し、「Ctrl+o」で上書き保存「Ctrl+x」で終了した。

次に i2c- tools のインストールを行う。I2C (Inter-Integrated Circuit)とは、主に同じ回路上またはチップ間で通信する用途のシリアル通信方式の一つであり、SCL（シリアル・クロック）と、双方向の SDA（シリアル・データ）の 2 本の信号線（GND は含まない）にて通信する。バスには複数のスレーブを接続でき、マスタは個別に決められたスレーブのアドレスを指定してスレーブを選択してからそのスレーブと通信するが、ビットレートにより標準モード、ファースト・モード、ハイスピード・モードがある。今回はセンサモジュールからの気圧データの取り込みのため、最初に Linux のコマンドラインから以下の 2 つのコマンドを入力して I2C および Python に関連するソフトウェアをインストールした。

sudo apt-get install i2c-tools
sudo apt-get install python-smbus

さらに「**raspi-config**」の「**Advanced option**」にて I2C を有効化する。これにより、マイコンによる I2C での通信が可能となったので、デバイスアドレスの確認のため

「sudo i2cdetect -y 1」

と入力した結果、**図 4** のように「0x5d」として気圧センサモジュールの LPS331AP を認識した。さらに、センサとマイコンが I2C を介し正しく通信されていることを確認するため、

「sudo i2cget -y 1 0x5d 0x0f」

と入力すると、**図 5** の様にセンサーから「0xbb」という返答があり、マイコンとセンサ間で正しく通信が出来ていることが確認できた。

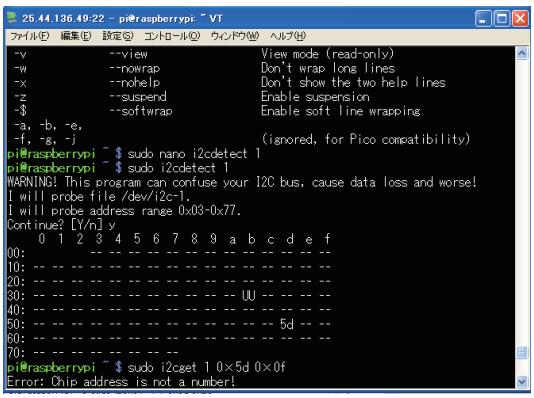

図4　デバイスアドレスの確認

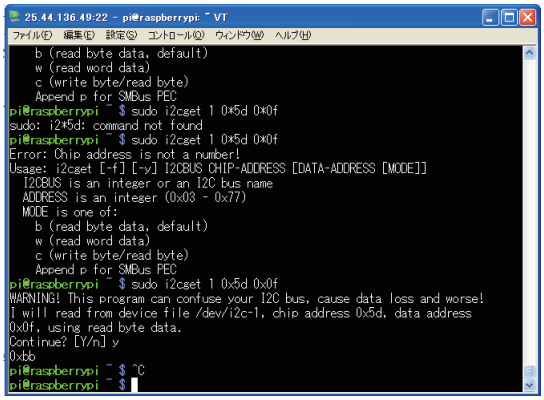

図5　デバイス通信の確認

4. 気圧データの取り込み

マイコンと気圧センサモジュール間で I2C にてシリアル通信ができたので、デバイスをアクティブにする為、下記 2 つのコマンドを入力した。

sudo i2cset -y 1 0x5d 0x20 0x90

sudo i2cget -y 1 0x5d 0x20

なお、シャットダウンによる再度起動時には、このコマンドを再度入力しないと気圧を正しく読み出せなくなるので注意を要する。上記の入力でデバイスをアクティブにした後、センサモジュールにて感知している気圧データである 3byte を 3 つのコマンドで読み出した。

sudo i2cget 1 0x5d 0x28

sudo i2cget 1 0x5d 0x29

sudo i2cget 1 0x5d 0x2a

この入力コマンドにて、アドレス 5d に割り当てられたセンサモジュールから I2C 経由にて、「0x**28**」のレジスタからは最下位バイト、「0x**29**」および「0x**2a**」のレジスタからは中位および最上位バイトの気圧の値を読み出している。なお、センサモジュールの内部レジスタには 24 ビットの気圧データが「2^{12}=4096」通りの気圧の値として収納されている。その結果、今回は実際にセンサモジュールから I2C を介し、上記のコマンドの入力にて「0x28＝0x**68**」「0x29＝0x**1f**」「0x2a=0x**3f**」と読み出すことが出来た。よって、この 3byte の値から以下のコマンドを入力して 10 進数の値に変換した。

sudo perl –e ‘print(0x 読み出した 3byte/4096)’

これより一例として、「sudo perl –e ‘print(0x3f1f68/4096)’」を入力すると、**図 6** の様に「1009.962890625(hPa)」なる気圧データを読み出しに成功した。

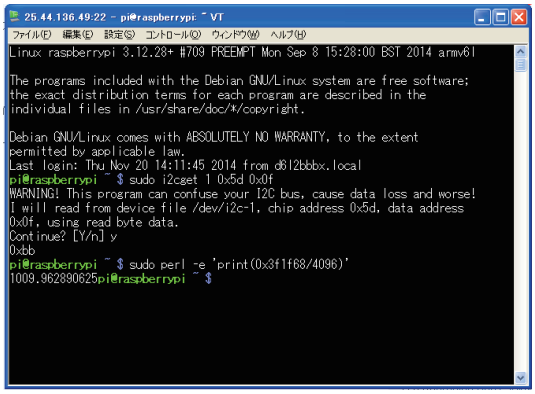

図 6 センサからの気圧データの取り込み

そこで、上記の構成および手順にて 2015 年 1 月 26 日～2 月 3 日までの期間、気圧を測定した結果を**表 1** に示す。この結果、マイコンで測定した結果と気象庁が公開した八戸市街での測定値では若干の差異が見られた。原因として、気象庁により開示されている気圧データは海抜 0m での基準となる気圧「1013(hPa)」からデータを基に計測結果を補正している。これに対し、マイコンによる気圧データの取得は八戸工大の 4 階研究室内にて行っている。ここで、八戸工大の立地する土地の標高は 98m であり、更に 1 階分の高さが 3m だとすれば研究室までの標高は 110m となるが、一方で気圧は「10m につき 1(hPa)」変化する。そのため、11(hPa)前後の誤差が生じてしまうと考えられる。

表1 八戸工大における気圧の時間変化と温度、天気との関係

日付 (2015 年)	気圧(hPa) (ﾏｲｺﾝ)	気圧(hPa) (気象庁)	温度 (℃)	天気
1 月 26 日	996	1019	8.9/-2.5	曇時々雨
1 月 27 日	992	1006	7.9/-1.9	曇時々雨
1 月 28 日	1002	1013	-1/-4.5	曇
1 月 29 日	1012	1025	2/-4.9	曇時々晴
1 月 30 日	1005	1019	3.9/-3	曇後雪
1 月 31 日	994	1005	4/-0.5	曇時々雪
2 月 1 日	1001	1011	2.6/-3	晴
2 月 2 日	1006	1020	3/-3	曇時々晴
2 月 3 日	1010	1024	2/-1℃	晴時々曇

注：気象庁の値は八戸市街での値

5. スクリプトによるデータの自動取得

上記設定やコマンドの入力で気圧データの読み出しに成功したが、現状では手動でコマンドを入力せねばデータの読み出しが出来ない。そこで、気圧データの自動取得のため文献 [5]を参考にスクリプト構築を行った。まずエディタを用い

sudo nano /usr/modules/lps331ap.sh

で設定ファイルを開き、**図 7** の Linux のスクリプトを書き込み「Ctrl+o」で上書き保存し「Ctrl+x」で終了した。なお下記スクリプトでは後述の通り Munin にて気圧情報を取り込むため、さらに **/home/pi/test1** にテキストをファイルを書き出した。

```
#!/bin/bash
WHO_AM_I=`sudo i2cget -y 1 0x5d 0x0f`
if [ $WHO_AM_I != "0xbb" ]; then
 echo "device NG"
 exit 1
fi
### set active mode
sudo i2cset -y 1 0x5d 0x20 0x90
### read pres data
PressOut_XL=`sudo i2cget -y 1 0x5d 0x28`
PressOut_L=`sudo i2cget -y 1 0x5d 0x29`
PressOut_H=`sudo i2cget -y 1 0x5d 0x2a`
RawDatHex=`echo
"0x${PressOut_H:2:2}${PressOut_L:2:2}${PressOut_XL:2:2}"`
RawDatDec=`printf %d $RawDatHex`
echo "scale=2;$RawDatDec/4096" |bc
echo "scale=2;$RawDatDec/4096" |bc > /home/pi/test1
### set power down
sudo i2cset -y 1 0x5d 0x20 0x00
```

図 7 記述したスクリプトファイルの内容

但し、root ユーザでなければ生成したスクリプトファイル“**lps331ap.sh**”を実行できないため

sudo chmod u+x ping.sh

としてユーザにスクリプトの実行権限を与え、さらに

cd /usr/modules
sudo chmod 774 lps331ap.sh

でアクセス権限を拡大し、コマンドラインより

sudo /usr/modules/lps331ap.sh

と入力したところ、**図 8** の通り 1001.44 hPa なる値が出力され、単一のコマンドの入力のみによる 10 進数での気圧データの取得に成功した。

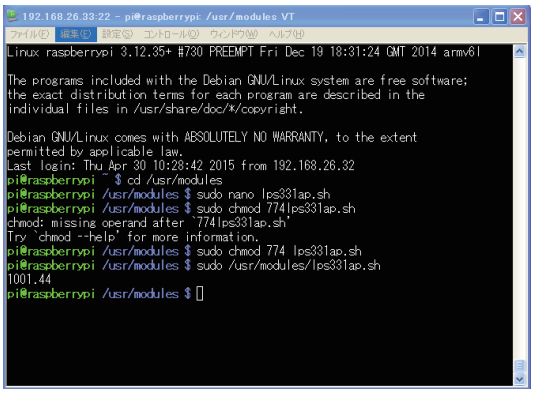

図 8 スクリプトファイルによる気圧データの自動取得

5. 温湿度および気圧の時系列データの取得

次にマイコンに接続した USB 接続の温湿度センサからの時系列情報の表示の為、下記 4 つのコマンドで MUNIN の環境設定をした。具体的には

sudo chmod 755 /usr/share/munin/plugins/usbrh
sudo ln –s /usr/share/munin/plugins/usbrh/etc/munin/plugins
sudo /etc/init.d/munin-node restart
sudo service munin-node restart

のコマンドを入力して再起動させた。これにより MUNIN が起動され温湿度センサーの情報が反映されたので、離れた PC のブラウザ上からセンサ情報を時系列で確認するため、Web ブラウザの下記 URL 欄に IP アドレスを入力した。なおこの IP アドレスは HAMACHI のものである。

http://25.44.136.49/sensors-day.html **(1 日の取得データ)**
http://25.44.136.49/sensors-week.html **(1 週間の取得データ)**

これにより、**図 9** および**図 10** の様に温度・湿度が時系列のグラフで表示されることが確認できた。

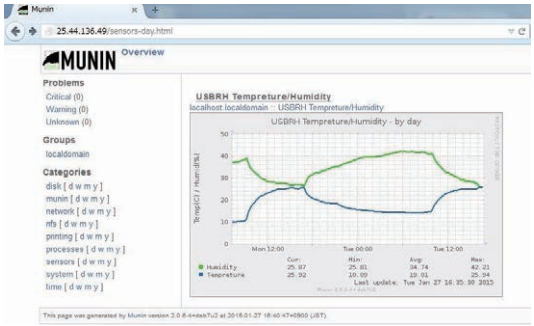

図 9　一日での取得データ

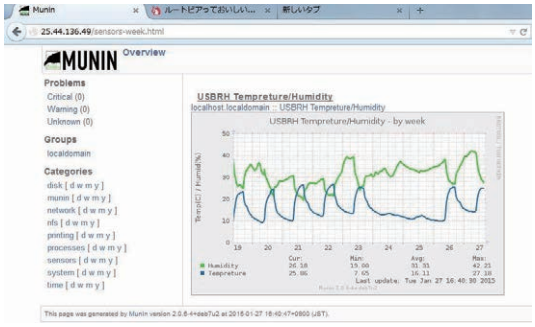

図 10　一週間での取得データ

そこでさらに、気圧センサの LPS331 でも時系列データを取得するため、下記の /home/pi/tesxt1 のファイルに保存されている数値を MUNIN で読込む下記のスクリプト

```
#!/bin/bash
 #%# family=auto
 #%# capabilities=autoconf
LPS331="/usr/modules/./lps331ap.sh"
available="yes"
case $1 in
config)
    echo "graph_title LPS331 Atmospheric Pressure"
    echo "graph_category sensors2"
    echo "graph_vlabel Pressure (hPa)"
    echo "graph_args --rigid -l 900 --u 1100"
    echo "pressure.label Atmospheric Pressure"
    echo "pressure.draw LINE2"
    exit 0
    ;;
autoconf)
    if [ "$available" = "yes" ]; then
      echo "yes"
      exit 0
    else
      echo "no (daemon isn't running)"
      exit 1
    fi
    ;;
snmpconf|suggest)
    exit 0
    ;;
*)
    ;;
esac
#データの読み出し
values=(`$LPS331`)

OLDIFS=$IFS
IFS=

exec < /home/pi/test1
 while read LINE

 do
  echo "pressure.value" $LINE
 done

IFS=$OLDIFS
```

を記述し、“/usr/share/munin/plugins/lps331b”なるファイル名として配置して“chmod 775 lps331b”にてアクセス権限を変更した。さらに

sudo nano /etc/munin/plugin-conf.d/munin-node

にて、Munin の設定ファイルを呼び出し、このファイルに

[lps331b]
user root

の記述を追加して、Munin にてスクリプト llps331b を root 権限で実行させた。さらに

cd /etc/munin/plugins/
sudo ln -s /usr/share/munin/plugins/lps331b lps331b

としてシンボリックリンクを作成してから該当プロセスを一度 kill したのち“sudo munin-node restart”した。また、先の気圧センサからの情報を自動的に所得する**図 7** のスクリプトを Linux の標準コマンドの cron にて“sudo nano crontab -e”から

00 * * * * /usr/modules/sudo lps331ap.sh
20 * * * * /usr/modules/sudo lps331ap.sh
40 * * * * /usr/modules/sudo lps331ap.sh

の命令を配置して定期的に実行したところ、下記の通り気圧の時系列データが Web ブラウザ上でグラフとして取得できた。これらの結果を**図 11**～**図 13** に示す。その結果、**図 11** では 1 日間の 1020hPa～998hPa の気圧変化が確認できる。さらに、**図 11** および**図 12** では一週間および一ヶ月にわたり、気圧の変化を取得できていることも確認できる。よって、今後は GPS などとの組み合わせにより、高低差や地理の連続変化と気圧との相関性についても検討を行う予定である。

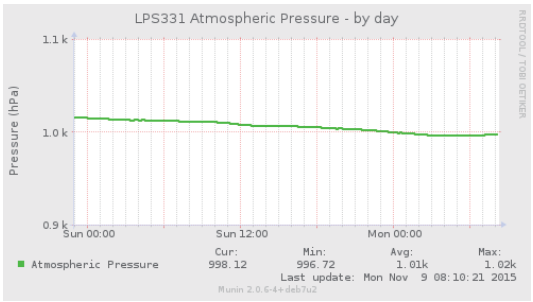

図 11　一日間にわたる気圧の変化

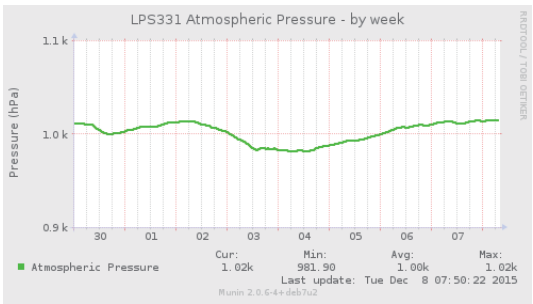

図 12　一週間にわたる気圧の変化

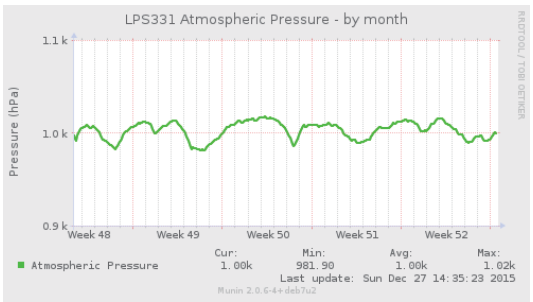

図 13　一ヶ月にわたる気圧の変化

6. まとめ

本報告では、筆者らが開発した遠隔監視システムについて、機器を屋外に設置し農業用や漁業用のデータを取得して防災用のテレメータシステムなどを構築するため、さらに多くのセンサ情報を取り込む必要があったため、気圧データの取り込み法について検討した。その結果、I2C を利用することにより、マイコンに接続されたセンサモジュールにて気圧データが容易に取り出せることを確認した。今後は GPS などとの組み合わせ、高低差や地理の連続変化と気圧との相関性も検討を行う予定である。さらに、実験を行ったセンサ回路を基板化してシステムに組み込み、百葉箱内への設置および屋外での長期運用のための機器の改良につき検討が必要である。

謝 辞

本研究内容に関し、在学時に精力的に研究を遂行して下さった、卒業生の赤塚優磨君に感謝いたします。

参考文献

1) 渡辺, 大谷 “棚田オンラインプロジェクト” 信学技報 vol. 108(74), IA2008-9, pp.43-48, 2008-5.

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) 柴田幸司, 花田一磨, 落合 翼 “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” 八戸工業大学紀要 33, pp115-120, 2014-3.

4) 柴田幸司, 花田一磨, 飯野真弘, 武　美里, 赤塚優磨 “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と教育への応用” 信学技報 教育工学研究会, Vol.114, No.441, ET2014-83, 2015-1.

5) 柴田幸司, 飯野真弘, 武　美里, 赤塚優磨, 花田一磨 “震災対応のための Linux マイコンを用いた超小型センサ情報遠隔監視システムの開発とネットワーク教育への適用,” 電子情報通信学会総合大会, D-15-5, 2015-3.

6) K. Shibata and K. Hanada “Development of an Ultra-small Sensor Information Remote Monitoring System with an Embedded VPN and Linux Microcomputer Operation”, Proceedings of International Conference on Engineering and Applied Science, ICEAS2015, Sapporo, Japan, 2015-7.

7) 成田博貴, 菊地桐吾, 柴田幸司 “Linux マイコンによる安価な超小型センサ情報遠隔監視システムの開発とネットワーク教育への応用,” 2015 年度電気関係学会東北支部連合大会, 1D01, 2015-8.

8) Raspberry Pi ホームページ http://www.raspberrypi.org/

9) 気圧センサー参考 1 , “ルートビアっておいしいよね” http://mutsumi3memo.blog.fc2.com/blog-entry-25.html

10) 気圧センサー参考 2, “迷える子羊の苦悩”, http://44781184.at.webry.info/theme/0532575e5c.html

11) センサ参考 4, “超小型 PC「Raspberry Pi」で夏休み自由課題・第 3 回 気圧・温度センサーを動かして数値を記録” http://news.mynavi.jp/articles/2014/08/19/raspberry-pi3/

要　旨

筆者らは以前、ARM-Linuxマイコンである Raspberry Piと3.9Gの携帯電話網に接続可能なUSBモデムを組み合わせ、プライベートIPアドレスでも動作する超小型で低消費電力かつ安価な運用コストの低い NAT越えが容易な組込み型VPNを構築した。さらに格安な市販のWEBカメラや温湿度センサを接続してタブレットコンピュータやスマートフォン（スマホ）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ブラウザでセキュアにカメラ画像や温度・湿度の情報が取得可能であることを示した。本システムは高品質なMVNOなどのLTEの4G携帯電話回線キャリアを介しモバイルでインターネットに接続するため、山中や海上など任意の場所へユビキタスに設置が可能である。成果は電気の使用量の把握や農業では農作物などの遠隔管理、漁業では海岸での海産物の盗難の監視、さらに気圧センサや太陽光パネルなど独立電源との組み合わせでテレメータや百葉箱などの定点観測などMachine to Machine（M2M）やInternet of Things (IoT)用途へ応用できるほか、学内のネットワーク教育にも有用と考える。これらを屋外に設置して農業や漁業に活用できるデータを取得したり、防災用のテレメータシステムを構築するためには、さらに多くのセンサ情報を汎用的なインターフェースを介し、効率良く取り込む必要がある。そこで本研究では、筆者らが開発したLinuxマイコンを用いた超小型遠隔監視システムへの気圧データの取り込み法につき検討した。その結果、I2Cインターフェースを有するセンサモジュールを付加した電子部品とともにマイコンに接続し制御することで、気圧の時系列データが容易に取得出来ることが確認できた。

キーワード：M2M，IoT，携帯電話網，遠隔監視，ラズベリーパイ， VPN，組込みLinux