

# 携帯電話網の死活監視機能を有するLinuxマイコンによる安価なセンサ情報遠隔監視システムの構築

若沢 卓道<sup>†</sup>・中山 滉平<sup>††</sup>・柴田 幸司<sup>†††</sup>・花田 一磨<sup>††††</sup>

## Construction of inexpensive sensor information remote monitoring system using Linux microcomputer with life/death monitoring function via cellular network

Takumichi WAKASAWA<sup>†</sup>, Kouhei NAKAYAMA<sup>††</sup>, Kouji SHIBATA<sup>†††</sup> and Kazuma HANADA<sup>††††</sup>

### ABSTRACT

One of my authors has built up a mechanism to connect securely over VPN by using various network functions of Linux microcomputer Raspberry Pi. We also confirmed that this system can be connected even from remote locations, and it is possible to acquire temperature and humidity information and video information. In this study, we created a program that allows Raspberry Pi to participate continuously in the network.

**Key Words:** Remote Control, Remote Monitoring, Raspberry Pi, Embedded Linux, Alive Monitoring

**キーワード:** 遠隔制御, 遠隔監視, ラズベリーパイ, 組み込みLinux, 死活監視

### 1. 背景と目的

インターネットの普及は昨今飛躍的なもので、それに伴いデータ通信の品質や高速化、低遅延化が進んでいる。また、従来ではテレメータ・システム等の実現にはISDN等の専用回線が必要

だったが、近年では仮想プライベートネットワーク(VPN)を用いることにより、安価かつ安全に遠隔地にクライアントからサーバ等にアクセスすることが可能となった。これにより、例えばセンサ情報の場合は温度や湿度情報に加え、映像や音声情報などもセキュアに送信することが可能となった。更に、近年の高速かつ低遅延な携帯電話回線網の普及により、マイコンを実装したセンサ機器がLANや公衆ネットワークだけでなく、携帯電話回線網などを介して、直接情報のやり取りを行うことができる。この技術の応用として、家庭や工場に加えて、公共交通機関や農業など様々な場所にネットワーク端末を設置し、作業や移動に必要なコストの最適化だ

---

平成 30年 1月 9日 受付

<sup>†</sup> 工学部電気電子システム学科・卒業生

<sup>††</sup> 工学部電気電子システム学科・4年

<sup>†††</sup> 工学部電気電子システム学科・准教授

<sup>††††</sup> 工学部電気電子システム学科・講師

けでなく、リアルタイムモニタリングのデータ共有などを行うことができる<sup>1),2)</sup>。このネットワーク技術はIoTやM2Mと呼ばれ、モバイル・インターネット技術などと組み合わせ、幅広い用途への発展が期待されている。これに対して筆者の一人は以前、LinuxマイコンであるRaspberry Piの多様なネットワーク機能を利用して、VPN上に接続させセキュアな通信が可能となる仕組みを構築している。そして、このシステムが遠く離れた場所からもクライアントから接続することができ、温度湿度などのセンサ情報や映像情報の取得が可能となることを示した<sup>3)7)</sup>。

そこで本研究では、これらの研究を発展させてアクセス回線には携帯電話網を用い、インターネットを介して遠隔地で確認可能な監視カメラ及び温度湿度取得システムを構成した。ここで、アクセス回線には携帯回線網を使用した。ネットワークがしばしば切断される場合があり、これに対してインターネットへの常時接続を実現するため、死活監視プログラムをマイコンに組み込んだ。その結果、提案システムは1ヶ月半以上もの間、携帯電話網及びVPNを介し常時接続が維持出来ることを確認した。

## 2. 開発したシステムの概要

本システムでは、Linux OSが動作するマイコンであるRaspberry Piが継続的にネットワークに参加できるようにインターネットVPNを介した回線設計をしつつ、カメラ画像やセンサ情報の遠隔監視システムを構築した。図1はシステム構成図であり、Raspberry Piに携帯回線モデムであるL-02C及び監視カメラとして使うWEBカメラ、気温湿度情報を取得するセンサ、また接続状況が視覚的に把握できるよう通信状況を把握するためのLED点滅表示板が接続されている。ここでWEBカメラにはUSB接続の一般的な物を用い、温湿度センサにはストロベリーリナックスのUSBRHを使用した。なお、WEBカメラおよびUSBRHを用いたVPNを介した遠隔監視のためのマイコンの設

定法については、文献<sup>3),4)</sup>および<sup>7)</sup>にて詳細に解説している。LED表示は図2に示すとおり、DNSの状態を表示するDNSランプ、VPNの状態を表示するVPNランプ、システムの状態を表示するSYSランプに区分されており、DNSランプ及びVPNランプではPingを送信し正しく到達が確認できた場合、数秒間緩やかに点滅して点灯を維持する。一方、到達できない場合は激しく点滅する。その後、復帰を試みる場合、SYSランプは激しく点滅し再起動を行う。また、SYSランプは1分間ごとに緩やかに点滅し、死活監視が正しく動作していることを表示する。なお、これらLEDが接続されるRaspberry PiのGPIO番号は11,13,15,GNDの3つで、LEDに直列に200Ωの制限抵抗を接続することで構成される。実際に公共施設への恒久的な設置を想定してシステム一式を防水ケース内に挿入して構成した装置を図3に示す。また、提案システムではマイコンとクライアントPC間はVPNサービスであるHamachiにより、セキュアな接続を確保している。そして、マイコンがVPNを介したインターネット接続を死守する様にサーバ#1、#2と通信している。この概念は図4に示す通り、僻地から研究室のクライアント端末までVPNサービスを介して安全な情報取得をするものである。以上のネットワークの構成にてHamachi VPNに接続することによって、研究室から異なる地域へ設置したマイコンを監視及び制御が可能となった。

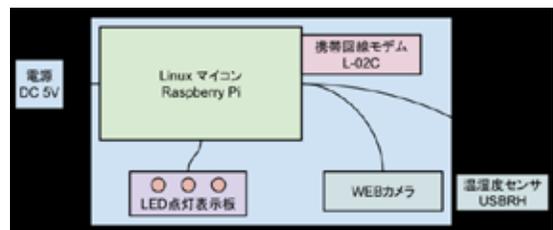


図1 構築したシステムの構成図

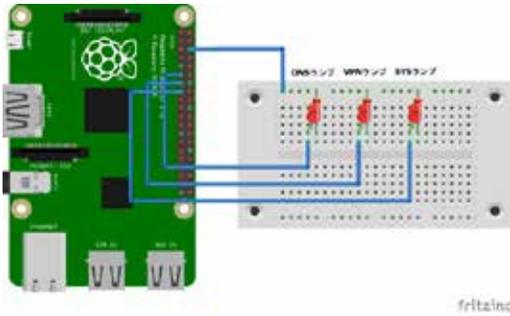


図 2 LED表示板



図 3 死活監視プログラムを適用した装置

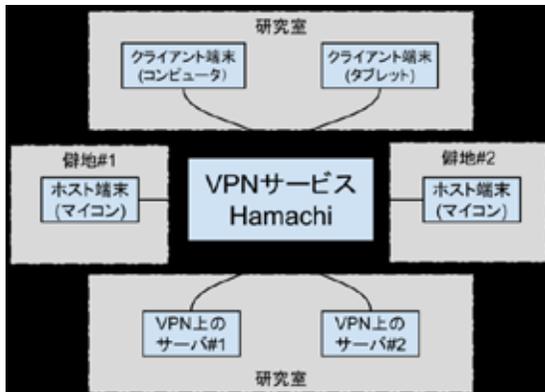


図 4 VPN Hamachiサービス

の設置を想定し、インターネットへの接続に用いるアクセス回線には携帯電話網を使用する。その際、Raspberry Pi にて携帯電話モデムである L-02C を USB 端子に直接接続し、マイコンからモデムに AT コマンドを送信することにより PPP(Point-to-Point Protocol)によるインターネットへの接続を実現する。そのため、マイコンに wvdial というアプリケーションをインストールした。この設定ファイルを図 5 に示す。アプリケーションをマイコンにインストール後、任意のエディタにて設定ファイル” /etc/wvdial.conf” の編集を行う。設定には、Raspberry Pi と L-02C 間で通信するための AT コマンドも記述され、自動再接続の設定などが内包されている。また、今回使用している携帯回線網は NTT Docomo の MVNO である Excite LTE の SIM を使い接続するもので、設定ファイルについても Excite 社の APN(Access Point Name)に準拠している。

```
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install wvdial
$ sudo vi /etc/wvdial.conf
[Dialer Defaults]
```

```
Carrier Check      = on
Check DefRoute    = yes
Abort on No Dialtone = off
Auto Reconnect    = on
```

```
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       = yes
Baud               = 460800
New PPPD          = yes
APN                = vmobile.jp
Modem              = /dev/ttyUSB2
ISDN               = 0
Phone              = *99**1#
Password          = excite
Username           = bb@excite.co.jp
```

図 5 wvdialの設定

### 3. システムの構築手順

提案システムでは、海岸線や山中など僻地へ

そして、これらの作業により、構成機器にて一時的にLTEにて高速かつ低遅延にインターネットに接続出来る。しかしながら、上記PPPの設定のみでは、例えば携帯回線モデムのハングアップ

時に常時接続が保持されない問題が発生した。そこで更に、マイコンに死活監視制御のプログラムも常駐させた。

インターネット及びVPNに常時接続させるプログラムの動作アルゴリズムを図6及び図7に示す。提案するシステムでは、まず死活監視を適用した端末(ここではマイコン)からGoogleのDNSである”8.8.8.8”にPingを送信し、インターネットに接続していることを確認する。そして接続が確認できない場合、再度GoogleのDNSにPingを送信し、それでも接続が確認できない場合は、Raspberry Pi本体を再起動し再接続を試みる。インターネットの接続が完了した場合、次の処理としてVPNサービスであるHamachiに接続されているかを確認する。その為、VPN上にある常時安定的に運用しているサーバにPingを送信する。

今回は図6に示す様に2箇所安定したサーバを配置しているため、図7のように生存するサーバが1箇所でもあれば死活監視プログラムはRaspberry Piに対して再起動要求を行わない。一方、2箇所ともPingが正常に到達しない場合、Raspberry Pi自身がVPNの機能が停止していると見なし、死活監視を適用した端末は死活監視プログラムにより再度Hamachi VPNにログインするコマンドを要求し実行する。そして、再度VPN上のサーバ#1及び#2にPingを送信して応答を確認し、到達しない場合端末は再起動を持ってPPPによる携帯電話網を介したネットワークへの経由でのインターネットへの再度の参加を促す。この処理を追加することによりVPNへの接続状態を死守し、マイコンがインターネットに接続されているにもかかわらず、外部からマイコンにアクセスで出来ない状態を回避している。図8のPythonプログラムは死活監視プログラム本体であり、ネットワーク及びVPNへの接続を継続させ、LEDにてネットワークの状態を表示する機能を有している。この死活監視プログラムを常に動作させる為には、Raspberry Piの起動時若しくは再起動後にプログラムを起動し常駐させる必要があり、この設定は図9に記載する。このプログラムを”/etc/rc.local”に設置することにより、Raspberry Pi起動時に自動

で起動し常駐する。また、Pythonによるプログラムを実行時、コマンドの最後に”&”を付け足すことにより、バックグラウンドモードにて起動するようになる。

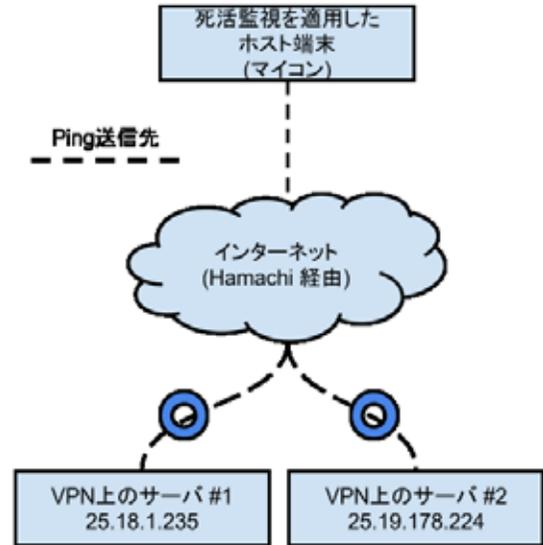


図 6 VPN上のサーバへPing送信

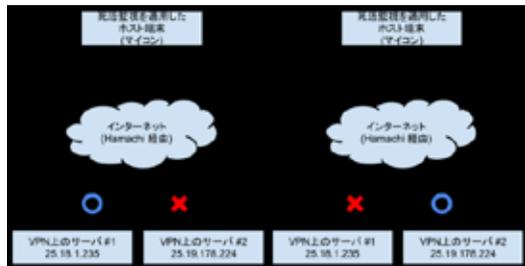


図 7 VPN上の代替機能

```

#!/usr/bin/python
import sys
import os
import time
import subprocess
import socket
import ipaddress
import netifaces
import time

def ping(host):
    ip = ipaddress.ip_address(host)
    if ip.is_loopback():
        return True
    try:
        sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
        sock.settimeout(5)
        result = sock.connect_ex((host, 80))
        sock.close()
        return result == 0
    except:
        return False

def check_internet():
    return ping("8.8.8.8")

def check_vpn_servers():
    servers = ["25.18.1.235", "25.19.178.224"]
    for server in servers:
        if not ping(server):
            return False
    return True

def main():
    while True:
        if not check_internet():
            print("インターネット接続が切断されました。再起動します。")
            time.sleep(5)
            os.system("sudo systemctl restart networkd")
            time.sleep(5)
        if not check_vpn_servers():
            print("VPN上のサーバに接続できません。VPNを再接続します。")
            time.sleep(5)
            os.system("sudo systemctl restart hamachi")
            time.sleep(5)
        time.sleep(10)

if __name__ == "__main__":
    main()
    
```



ラフ情報の確認が理由と思われる、また、week51に送信データのみが多いのはMotionの画像データの確認やMuninでのグラフ情報の確認が理由と思われる。

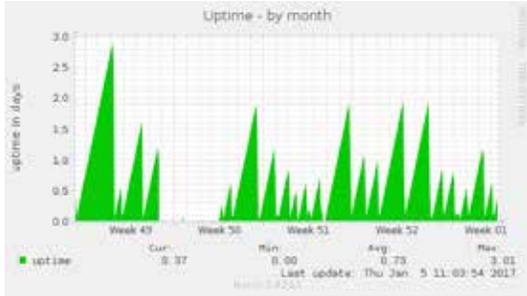


図 10 Uptime

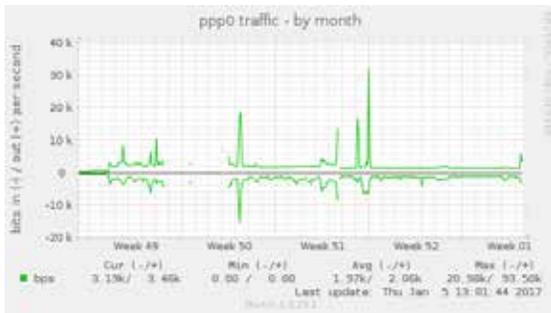


図 11 L02-C Traffic

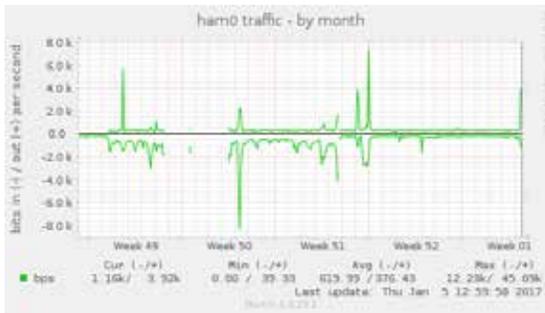


図 12 Hamachi Traffic

なお、本装置には USB 接続の温湿度センサも接続しており、同じく Munin にて温度・湿度の時系列データを VPN を介して遠隔地から取得出来る様に別途設定を施している。その結果は図 13 に示す通り、Munin にて 2016 年の week52 から、1 ヶ月間の温度・湿度データが確認出来ている。また、2016 年の week51 から 2016 年の week01 に

かけて温度が下がり続けていることから、このデータは妥当であると考える。

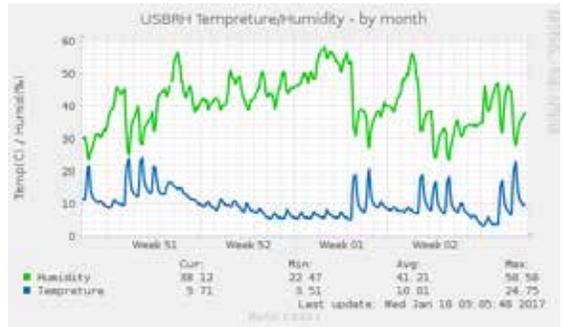


図 13 温湿度情報

## 5. 遠隔監視システム運用の状況

この様に、システムにプログラムを常駐させることにより、インターネット VPN を介した安定した死活監視制御が可能となったため、実際に VPN を介して画像データの転送を行った。その際、回線速度が 200kbps と低速のため、監視カメラのアプリケーションである Motion の”motion.conf”設定で転送する画像をサイズは 320\*240、フレームレートは 2fps と低解像度に指定し、円滑な通信を確保するものとした。

図 14 は装置の画像であり、これを実際に異なる地域にて運用及び検証を行った。その際、今回は屋内での設置を想定したため、外部の USB 電源供給によって Raspberry Pi を起動させ、WEB カメラから映像情報を携帯電話回線網接続によって取得した。図 15 は青森県階上町の室内の窓際に設置時における WEB カメラによる画像取得結果であり、1 日間の連続稼働が確認できた。



図 14 遠隔監視システムの LTE での稼働状況



図 16 青森県十和田市での運用状況

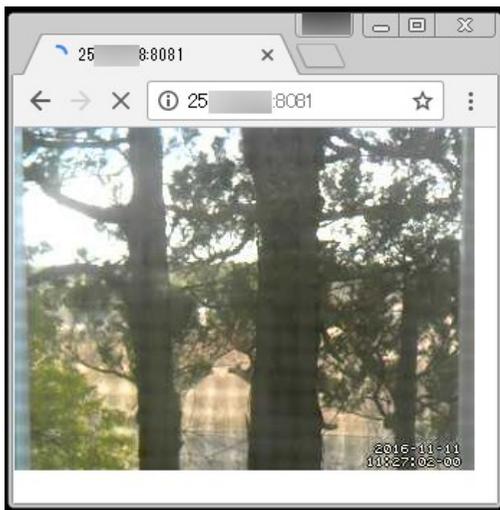


図 15 青森県階上町での運用状態

そこで、システム一式を青森県十和田市の山中に移設した。その時の画像を図 16 及び図 17 に示す。この結果、こちらは 1 週間程の連続稼働が確認できた。以上の検証から開発した装置にて実際のフィールドでの運用により、継続的にネットワークに接続し、センサ情報やカメラ画像を送信し続けていることを確認できた。なお、本装置はその後、八戸工業大学内に移動し、携帯電話回線網を介して継続的に動作試験を行っている。その結果、2017 年 1 月中旬まで 1 ヶ月半以上にわたり、安定的に動作していることを確認している。

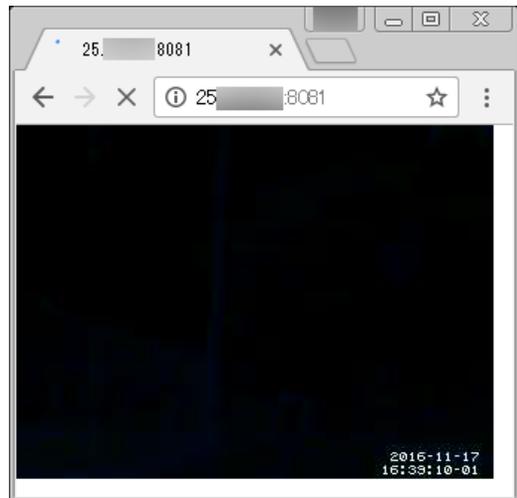


図 17 青森県十和田市での運用状況(夜間)

## 6. まとめ

本研究では、Linux OSが動作するマイコンである Raspberry Pi と携帯電話網に接続できるモデムの L-02C を携帯電話網を介してネットワークに参加させることで任意の場所に設置可能な遠隔監視システムを構築した。その際、モデムによるインターネットセッション切断に対する問題に対処する為、更に死活監視プログラムを作成し常

駐させた。プログラムの作成にはPythonを用いて再起動するように設定し、視覚的に状態を把握するためのLED表示版を設置、状態を簡易的に解るようにした。

構築したシステムは継続的にマイコンにネットワーク参加を促すものであり、実際に異なる地域に設置し、継続運用を確認することができた。本機能は今後、SNSのBot装置などにも適用できるものと考えている。

### 参考文献

1) Zhen Zhu and Ruchun Cui, "Remote Intelligent Monitoring System Based on Embedded Internet Technology," Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 2665-2669, 2007-8.

2) Y. Ha, "Dynamic Integration of Zigbee Home Networks into Home Gateways Using OSGi Service Registry," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 55, no.2, 2009.

3) 柴田幸司, 花田一磨, 落合翼 "Linux マイコンを用いた組み込み 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, 赤塚一磨 "Linux マイコンを用いた組み込み 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", Proc. 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.

### 要 旨

筆者の一人は以前、Linux マイコンである Raspberry Pi の多様なネットワーク機能を利用して、携帯電話経由にてインターネット及び VPN 上に接続させセキュアな通信が可能となる仕組みを構築している。そして、このシステムが遠く離れた場所からもクライアントに接続して温度湿度などのセンサ情報や映像情報が取得できることを示した。本研究では、これらに更にインターネットおよび VPN 接続を維持するための死活監視機能を追加して Raspberry Pi による遠隔監視システムをネットワークに継続的に参加させる仕組みを構築し、継続的にインターネット VPN に接続できることを確認した。

**キーワード:** 遠隔制御, 遠隔監視, ラズベリーパイ, 組み込みLinux, 死活監視