

自作OSを使ってセンサノードを作ってみた

Langur

1. はじめに

かつてトランジスタ技術に DIP パッケージの ARM マイコンが付録されたことがあり、当該号の特集記事は付録マイコンとブレッドボードを使って実験する内容でした [1]. ブレッドボードを使うことでハンダ付けすることなくハードウェアの実験を手軽に行うことができたので、ハードウェアの勉強をしつつ組み込み OS の実装を進めるにあたって非常に良い環境でした。開発した OS を Xiao(Xiǎo Is An Operating system) と命名し、2018/2/11(日) より GitHub にて MIT ライセンスで公開 [2] しています。

一方、無線センサネットワーク (WSN) で用いるセンサノードは省電力性が最重要課題ではありますが、アプリケーションの開発効率やソースコードの見通しの面で OS を利用できると嬉しい場合があります。開発した OS はコンパクトであり、処理する命令数も少ないため試しに簡易的な温湿度センサノードとして構築してみました。

2. WSN システム

2.1 WSN

WSN はセンサノードと呼ばれる 1 つ以上のセンサを用いた情報収集機構と収集した情報を伝送するための無線通信機構を備えた装置によって構成されます。センサノードによって収集したデータはコーディネータと呼ばれる装置に集約されます。

センサノードは様々な場所に設置されるのでバッテリー駆動の方が都合がよく、設置後に長期間の連続稼働するように低消費電力で稼働することが重要です。また、消費電力やコストを抑えるために少ない資源での動作やメンテナンスフリーで動作する高可用性が求められます。

2.2 システム構成

今回作成したシステムを図 1. に示します。センサノードは温湿度センサと 920MHz 帯の無線通信モジュールを搭載し、OS として Xiǎo を採用したので Xiao Node と呼ぶことにしました。コーディネータは Raspberry Pi 3 と 920MHz 帯の無線通信モジュールで構成し、Xiao Node から伝送されたデータを解析・整形後 Web 上のサーバに JSON 形式のデータを HTTP で伝送することで DB に格納します。

また、PC から Web 上のサーバの可視化サイトへアクセス

スすることで収集したデータを閲覧できるようにしました。

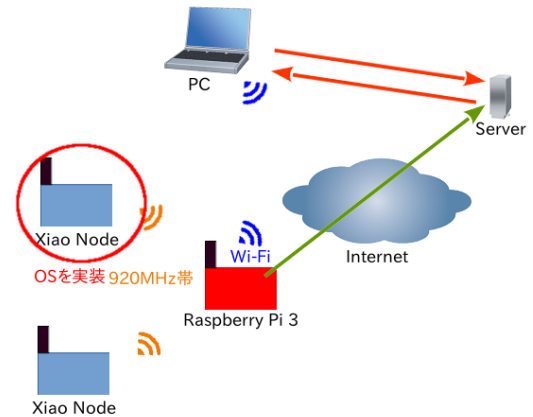


図 1. システム構成

2.3 Xiao Node

2.3.1 Xiao Node の構成部品

Xiao Node に使用した主な部品を表 1. に、写真を図 2. に示します。電源との接続はコネクタにし、バッテリーと AC アダプタのどちらでも駆動できるようにしました。

表 1. Xiao Node の部品表

	メーカー	品番
CPU	NXP 社	LPC1114FN28/102
温湿度センサ	SENSIRION 社	SHT31-DIS
通信モジュール	インタープラン社	IM920

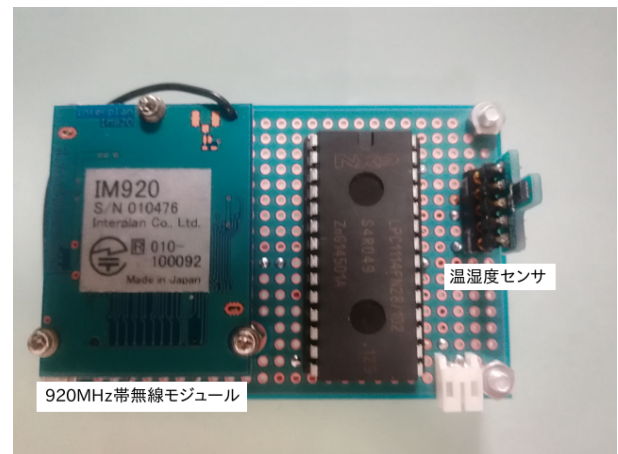


図 2. Xiao Node

2.3.2 CPU

かつてトランジスタ技術に付録された [1]NXP 社の DIP パッケージの ARM Cortex-M0 マイコンである LPC1114FN28/102[3] を採用しました。2019/2/10 現在秋葉原や通販で入手可能であり、NXP 社のサイト [3] を確認したところ数量がまとまれば Digi-Key 経由で相談することが可能なようです。

2.3.3 温湿度センサ

SENSIRION 社の高精度温湿度センサである SHT31-DIS[4] を搭載したモジュール [5] を採用しています。SHT31-DIS は I²C 経由でデータを読みだすため、LPC1114FN28/102 の I²C バスを有効にしておきます。

I²C はかつてドライバを作成しており、流用することで開発期間を短縮できました。

2.3.4 通信モジュール

国内で免許が不要で利用できる無線システムが使える周波数帯は限られています。このとき無線システムは技術基準に適合していることを総務省に登録されている必要があります。

電波の周波数帯が高い場合は電波が直進しやすく伝送できる情報量が多くなる一方、周波数帯が低い場合は電波が回り込み易く伝送できる情報が少なくなります。Wi-Fi の場合 5GHz 帯を用いる場合はアクセスポイントとの距離が離れると SSID を発見できなくなる一方 2.4GHz 帯を用いる場合は 5GHz 帯の SSID を見つけられなくなっても同一アクセスポイントの SSID を発見できる点から確認しやすいかと思います。今回は条件が合えば数 km 先までデータ伝送が可能な 920MHz 帯のモジュールを採用することにしました。

LPC1114FN28/102 との接続性の面から UART 経由で通信可能なインタープラン社の 920MHz 帯の無線通信モジュールである IM920[6] を採用しています。IM920 は独自の通信プロトコルを用いているので、今後 IM920 以外の Wi-SUN や LoRaWAN 等規格化された通信モジュールにも対応できたらと考えています。

920MHz 帯を利用する場合には規格 [7] を満たした装置を使用する必要があります。出力電力が 20mW 以下の特定小電力無線局であり、技術基準に適合していることが証明されている場合には免許・登録不要で利用できます。920MHz 帯は一定時間以内に送信できる時間が制限されるので画像のような大容量データを伝送するのに向きません。

2.3.5 Xiao Node のタスク構成

Xiao Node のタスク構成を図 3. に示します。環境データを取得する Sensor タスクとデータを伝送する Serial タスクとから構成し、センサの生データを送ります。

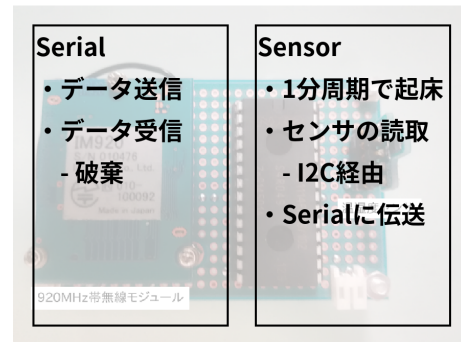


図 3. タスク構成

2.4 Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3[8] は USB-Serial 経由で IM920 と接続し、Xiao Node からの情報を解析します。Xiao Node から送られるセンサのデータは生の値であり、物理量に変換する必要があります。



図 4. Raspberry Pi 3 と IM920

IM920 との接続は本来であれば Raspberry Pi 3 の UART を利用したいのですが CPU のベースクロックを固定しても安定した通信ができなかったため、今回は USB-Serial 経由でデータ収集することにしました。

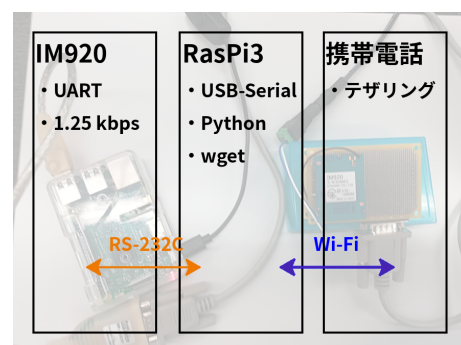


図 5. Raspberry Pi 3 のシステム構成

解析したデータは Wi-Fi 経由で Web 上のサーバへ JSON 形式のデータとして HTTP リクエストに埋め込む形で伝送します。これらの一連の動作をするプログラムは Python でコーディングしました。図 5. のシステム一式で Xiao

Node と連携するコーディネータとして動作します。

2.5 Server

LAMP 構成のサーバーを構築してあり, Raspberry Pi 3 から送られてくるデータを DB に蓄えます. 受信プログラムは PHP を採用し, DB には MySQL を採用しました. 受信したデータが正規のものであることを確認する機構を設け, 正規のデータを受信した場合のみ DB にデータを格納しています.

PC から特定の URL(<http://iot.osarusystem.com/node1.html>, <http://iot.osarusystem.com/node2.html>) へアクセスすると Xiao Node から送られてきたデータを可視化します. 可視化には D3.js を使用しました.

3. 実証実験

3.1 実験概要

開発したシステムを用いて以下の要領で屋内外にセンサノードを設置し, データ収集の実証実験をしました.

日時 ... 2019/2/9 (日) 0:00-23:59
場所 ... Langur 自宅
天候 ... 雨のち曇

3.2 実験結果と考察

取得した温湿度データをグラフ化したものを図 6., 図 7. にそれぞれ示します. グラフの作成には gnuplot[9] を用いました.

今回 1 分周期でデータを取得しましたが, 実際には徐々に遅れが生じました. CPU のクロックを内蔵 RC 発信器を用いていたため精度があまり良くない点と時刻の補正を行う仕組みを持たせていなかった点が原因と考えられます.

バッテリーとして単 3 乾電池を 2 本使用していますがどのくらい持つか検証できていないので今後検証していきたいと考えています.

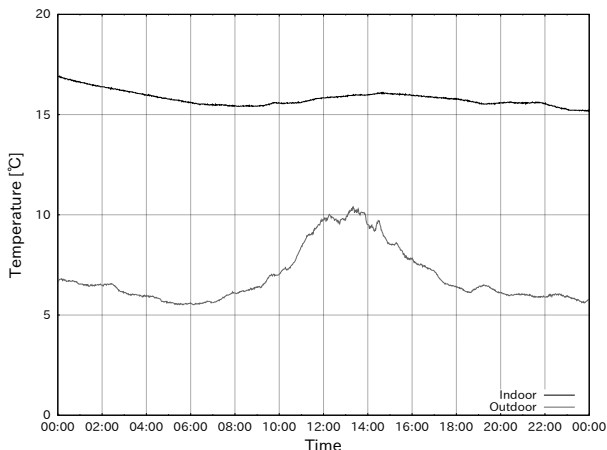


図 6. 2019/2/9 の屋内外における温度の変化

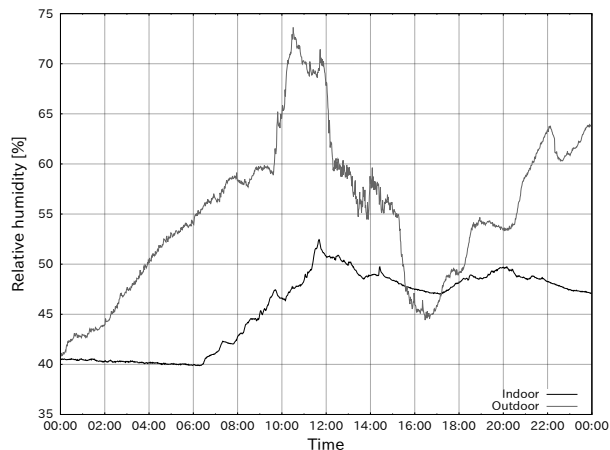


図 7. 2019/2/9 の屋内外における相対湿度の変化

4. 他のセンサの読み出し例

Xiao Node を作成するにあたって I²C 経由でデータを送受信するモジュールを用いましたが, LPC1114FN28/102 には A/D コンバータが内蔵されているのでアナログデバイスを接続しセンサとして利用することが可能です.

今回, 以下の 3 種類のデバイスをセンサとして用い, 抵抗値の変化による電圧変化を検出しフルカラー LED の色を PWM 制御により逐次変化させます.

- 回転角度センサ (Potentiometer) ... 赤
- 光センサ (Photoresistor) ... 緑
- 温度センサ (Thermistor) ... 青

回転角度センサは可変抵抗, 光センサは CdS セル, 温度センサはサーミスタをそれぞれ使用しています.

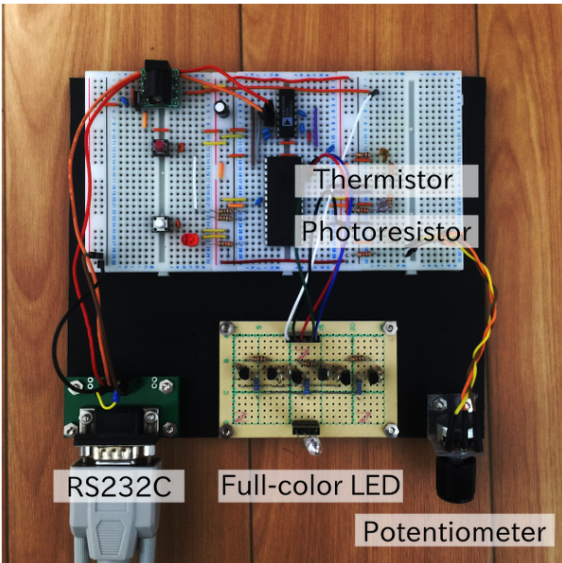


図 7. 2019/2/9 の屋内外における相対湿度の変化

Appendix

Xiǎo 概要

Xiǎo は世の中に数ある自作系 OS のうちの 1 つで、ARM Cortex-M シリーズのプロセッサを主にターゲットにしています。OS を自作する上で、坂井弘亮氏が著された 12 ステップ本 [10] を参考にしました。

GitHub にて MIT ライセンスで公開 [2] していますが、開発環境や構築方法をまとめたドキュメントの準備ができていない点が課題です。

制約事項

坂井氏が 12 ステップ本の中でターゲットとした AKI-H8/3069F に搭載されている H8/3069 に比べ、LPC1114FN28/102 は RAM・ROM とともに貧弱です。比較すると以下ようになります。

	LPC1114FN28/102	AKI-H8/3069F
RAM [kB]	4	16
ROM [kB]	32	512

そのため、12 ステップ本の KOZOS のように XMODEM で OS のイメージをロードするのではなく、直接 ROM に焼き込む形を取ることにしました。

開発環境

開発環境としては、GNU Binutils と GNU GCC を使用します。ROM を焼くためには lpc21isp を使います。それぞれの Version は以下のとおりです。

- GNU Binutils ... 2.23.2
- GNU GCC ... 4.8.1
- lpc21isp ... 1.97

本当は 12 ステップ本と同じ Version を使いたかったのですが、GCC の 3.6 系では ARM Cortex-m0 をサポートしていないため断念しました。また、開発ツールを生成する際のアーキテクチャは arm-none-eabi を選択しました。

Xiǎo Project

- Xiǎo Project とは
ハードウェア、ソフトウェア共に自作を楽しむプロジェクトです。筐体や回路を作成したり、制御するソフトウェアを作成して楽しめます。
- Web サイト
<http://www.osarusystem.com/xiao/>

浜松 OS 自作友の会

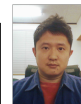
- 浜松 OS 自作友の会とは
静岡県浜松市周辺の OS の自作に興味がある人や OS に関連することに関心がある人が集まって、もくもく会や飲み会をする地域コミュニティです。とくに縛りを設けることなく、ゆるく活動しています。
- Web サイト
<http://osdev-hamamatsu.osarusystem.com/>
- Google Group
<http://groups.google.com/d/forum/osdev-hamamatsu>

著者情報

おまえ誰よ?

なまえ	Langur
ねんれい	0x22
せいべつ	🇯🇵

2019年2月10日 現在



きかん	おしごと
2007年 4月 ~	ネットワーク機器の開発など
2017年10月	
2017年 4月 ~	大学院生 修士課程 農業IoTなど
現在	
2017年11月 ~	Webアプリ開発やインフラ構築など
現在	

しよそく
Xiao Project 浜松OS自作友の会 Hamamatsu.rb OSC浜名湖実行委員会 osdev-jp 東海道らぐ

げんこ
アセンブラ, C, C++, Go, Java, AWK, Tcl, Lua, LISP, Pascal, Perl, PHP, Python, Ruby, Objective-C, JavaScript, TypeScript, PostScript, VHDL, VerilogHDL ... etc

さいと	http://www.osarusystem.com/
-----	---

でいすとり	Ubuntu, CentOS, FreeBSD
-------	-------------------------

ついった	@osarusystem
------	--------------

えていた	Emacs
------	-------

参考文献

- [1] 島田 義人, " チョコッとお試し! ARM32 ビット・マイコン, " トラ技, 49 巻, 10 号, pp.15-153, Oct. 2012.
- [2] <https://github.com/Langur/xiao>
- [3] <https://www.nxp.com/part/LPC1114FN28>
- [4] <https://www.sensirion.com/jp/environmental-sensors/humidity-sensors/digital-humidity-sensors-for-various-applications/>
- [5] <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-12125/>
- [6] <https://www.interplan.co.jp/solution/wireless/im920/im920.php>
- [7] ARIB STD-T108 1.2 版, (社) 電波産業界, 2018
- [8] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [9] <http://www.gnuplot.info/>
- [10] 坂井 弘亮, 12 ステップで作る組込み OS 自作入門, (株) カットシステム, 東京, 2010