

組込みLinuxシステムに関する調査研究

中川 晋輔

組込みシステムの要素技術は幅広い分野の産業を支える重要な技術である。本研究では、組込みLinuxシステムの開発手順および開発環境構築方法について調査を行い、その応用例として温湿度測定システムの試作を行った。

キーワード： 組込みLinux、オープンソースソフトウェア、TCP/IP

1. はじめに

組込みシステムとは、各種の機械や機器に組み込まれ、その制御を行うコンピュータシステムのことをいう⁽¹⁾。その要素技術は、自動車、家電、工作機械など、幅広い分野の産業を支える極めて重要な技術となっている。

本研究では、オープンソースソフトウェアを組込みシステムに利用することを目的に、組込みLinuxシステムの開発手順および開発環境構築方法について調査を行い、応用例として温湿度測定システムを試作した。以下、これらについて報告する。

2. 組込みLinux

Linuxは、マルチタスク、仮想メモリ、共有ライブラリ、デマンドローディング、メモリ管理、ネットワーク機能などを含んだUNIXクローンのOSである。Linuxはもともとデスクトップ環境向けに開発されたが、現在では、ネットワークサーバのOSとしても広く利用されている。そして近年、組込みシステムの分野でも採用されるようになってきた。Linuxはソースが入手可能でロイヤリティフリー、またデバイスドライバ、ネットワークプロトコルスタック等のミドルウェアが豊富で動作が安定しているなどの特徴がある。これらのメリットがあることから、組込みシステムの分野でOSにLinuxを採用することが増えてきている⁽²⁾。

3. 組込みLinuxシステムの試作

3.1 組込みLinuxシステムの開発手順

組込みLinuxシステムの開発では、プログラムを開発する環境（以下、ホストと呼ぶ）と動作させる環境（以下、ターゲットと呼ぶ）が異なり、作成したソフトウェアを開発側から動作側へ転送して実行するクロス開発という手法を採用している。今回の温湿度測定システムの開発は、以下の手順で行った。

- ① ハードウェアの選定
- ② Linuxカーネルソースの入手
- ③ 開発環境の構築
- ④ ブートローダ/ROMモニタの用意
- ⑤ Linuxカーネルのハードウェアへの移植
- ⑥ Linuxカーネルのコンフィグレーション
- ⑦ デバイスドライバの開発
- ⑧ ユーザーランドの構築
- ⑨ アプリケーションの開発
- ⑩ ハードウェアへの搭載（ROM化）

3.2 温湿度測定システムの概要

温湿度測定システムの概要を図1に示す。

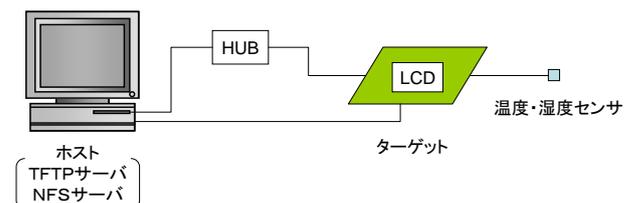


図1 温湿度測定システムの概要

機能は以下のとおりである。

- ① 温度・湿度センサを用いて室内の温度と湿度を測定
- ② 測定値をLCDパネルに表示
- ③ ネットワークを通して測定値をホストへ転送

3.3 温湿度測定システムの仕様

ターゲットは(株)秋月電子通商のAKI-H8/3069FフラッシュマイコンLANボード、温度・湿度センサはSensirion社のSHT11、LCDモジュールはSUNLIKE社のSCI1602BS*Bである。また、ターゲットに外部メモリとして16MBのDRAM(沖電気工業(株)MSM5117800F-60)を増設した。ターゲットの仕様を表1に、温度・湿度センサの仕様および外観を表2、図2に示す。

表1 ターゲットの仕様

AKI-H8/3069FフラッシュマイコンLANボード	
CPU	H8/3069F
ROM (フラッシュメモリ)	512KB
RAM	16KB
外部メモリ	16MB DRAM+16MB DRAM
ネットワーク コントローラ	RTL8019AS (NE2000互換)

表2 温度・湿度センサの仕様

SHT11		
	温度	湿度
測定範囲	-40~+123.8°C	0~100%RH
分解能	0.01/14ビット	0.03/12ビット



図2 温度・湿度センサ

3.4 Linuxカーネルソースの入手

通常、LinuxカーネルソースはWebサイト「The Linux Kernel Archives」⁽³⁾から最新のソースコードを入手することができる。今回はターゲットのCPUに株式会社ルネサステクノロジのH8/300Hを選定したため、フルスペックのLinuxではなく、マイクロコントローラ用のLinuxであるuClinux⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾を採用した。

3.5 開発環境の構築

クロス開発ツールには、半導体ベンダが提供する開発環境、サードパーティが提供する開発環境、およびFree Software Foundation(FSF)が提供するオープンソースのGNU開発環境などがあるが、今回は、オープンソースが利用できるGNU開発環境を採用した⁽⁷⁾。また、開発したプログラムを転送するためのファイル転送サーバ(TFTPサーバ)もホストに構築した。使用した開発ツールを表3に示す。ターゲットとホストが同じOS(Linux)を使用することで、特殊な場合を除き、ロジックの検証をホスト上で行うことが可能になる。

表3 開発ツール

ホストのOS	Linux (Fedora Core 5)
コンパイラ	gcc-3.4.3
バイナリユーティリティ	binutils-2.15
ライブラリ	newlib-1.13.0
デバッガ	insight-6.0
ライター	h8write

3.6 Linuxカーネルの構築

Linuxカーネルは、コンフィグレーションツールを利用し、必要なデバイスドライバや機能を組み込むことができる。一般的なコンフィグレーションの方法には、テキスト形式(make config)、簡易グラフィックメニュー形式(make menuconfig)、GUI形式(make xconfig)の3種類がある。今回は、ソースコードベースのディストリビューションであるuClinux-distを用いた。簡易グラフィックメニュー形式での設定画面を図3に示す。

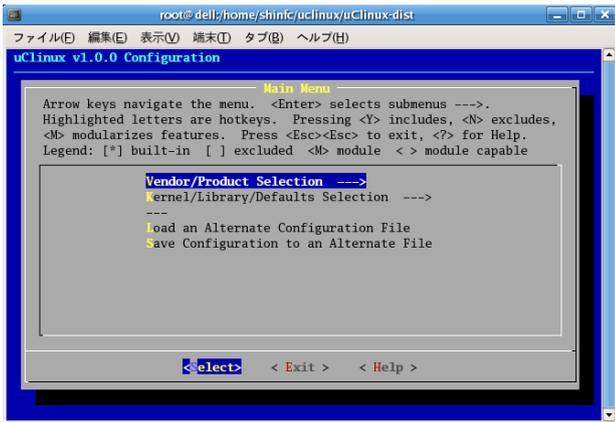


図3 簡易グラフィックメニュー設定画面

Linuxカーネル自体は、自分自身を起動する機能を持っていない。そのため、パソコンのBIOSに相当するブートローダが必要となる。今回は、RedHat社が開発したRedBootを採用した。

3.7 アプリケーションの開発

3.7.1 温湿度測定回路

温湿度測定回路を図4に示す。温度・湿度センサはH8マイコンのI/Oポート6に、LCDモジュールはI/Oポート4に接続し、H8マイコンと温度・湿度センサ間にはシリアル通信を行う。

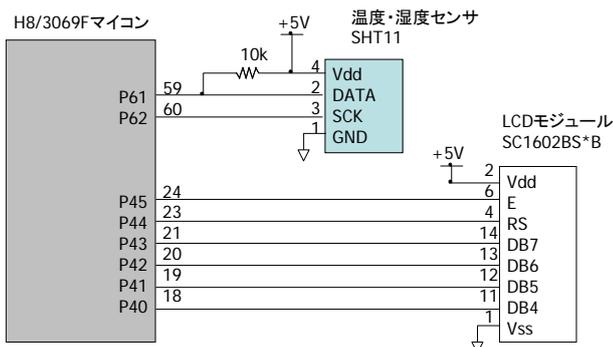


図4 温湿度測定回路

3.7.2 温湿度測定プログラム

温湿度測定プログラムのフローチャートを図5に示す。温度と湿度の測定は、H8マイコンで作成したクロック (SCK) に同期させてデータライン (DATA) を「High」および「Low」に変動させることにより行う。

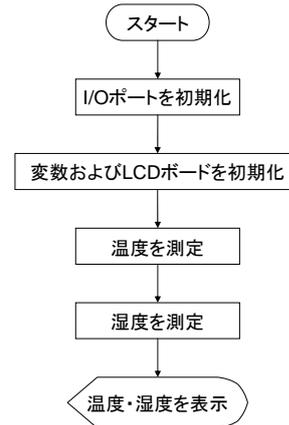


図5 温湿度測定プログラムのフローチャート

温度・湿度センサの読み取り値から温度および相対湿度への変換はデータシートに記載されている次式にて求めた。

$$T = d_1 + d_2 D_T$$

T: 温度 [°C]

d_1 、 d_2 : 温度変換係数 ($d_1 = -40.0$ $d_2 = 0.01$)

D_T : 温度読み取り値

$$H = c_1 + c_2 D_H + c_3 D_H^2$$

H: 相対湿度 [%RH]

c_1 、 c_2 、 c_3 : 相対湿度変換係数

($c_1 = -4$ $c_2 = 0.0405$ $c_3 = -2.8 \times 10^{-6}$)

D_H : 湿度読み取り値

湿度の測定を例に、H8マイコンと温度・湿度センサ間で送受信する信号のタイムチャートを図6に示す。

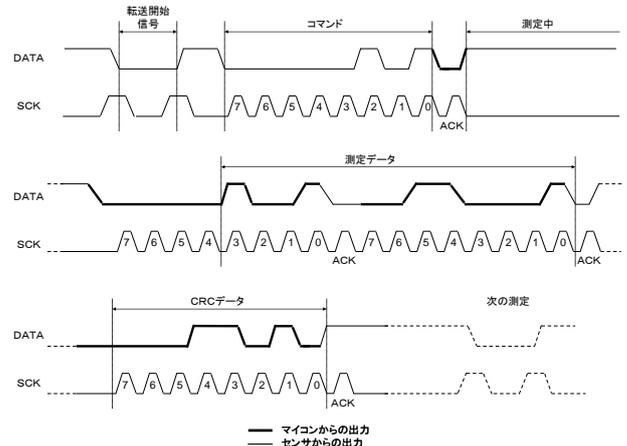


図6 湿度測定時のタイムチャート例

さらに、測定値をネットワークを通してホストへ転送するためにTCP/IPプロトコルを利用した。測定値転送プログラムのフローチャートを図7に示す。

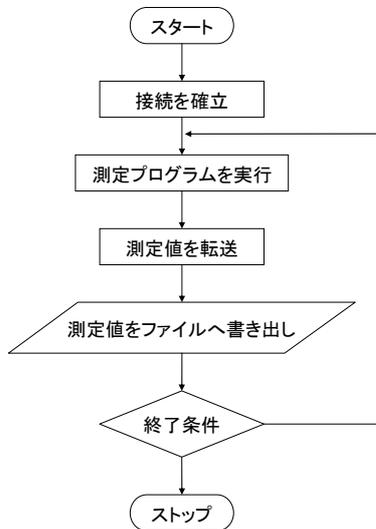


図7 測定値転送プログラムのフローチャート

3.8 ハードウェアへの搭載

今回試作したシステムのカーネルおよびファイルシステムの容量は合計1.4Mバイトであるが、ターゲットの内蔵メモリは512Kバイトである。そこで、NFSサーバをホスト上に構築し、カーネルをターゲットの外付けDRAMに転送して動かす方法を用いた。

3.9 温湿度測定システムの動作結果

温湿度測定システムの外観を図8に示す。恒温恒湿槽を使用し、システムの動作を行った。恒温恒湿槽は運転開始1時間後に温度5.0℃、湿度3.0%RHとなるように設定し、その状態を1時間保った。測定状況を図9に、転送された測定値を図10に示す。転送された測定値は左から温度、湿度、測定日時の順でファイルに保存される。また、測定値の時系列での変化を図11に示す。恒温恒湿槽の設定温度および設定湿度とほぼ同じ値を測定できていることが分かる。

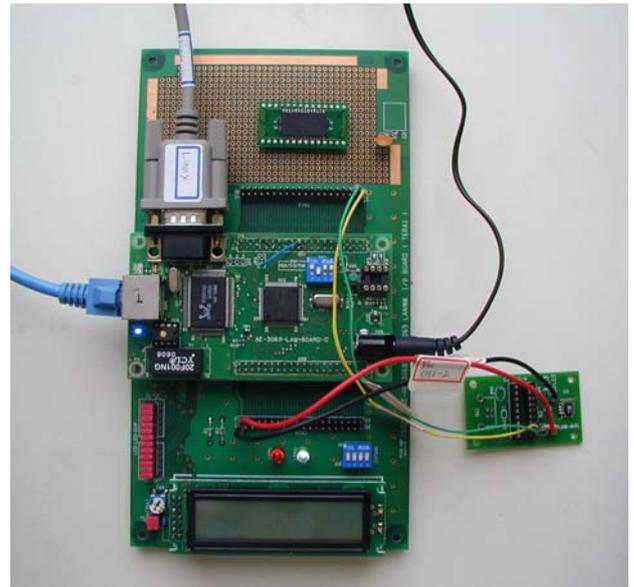


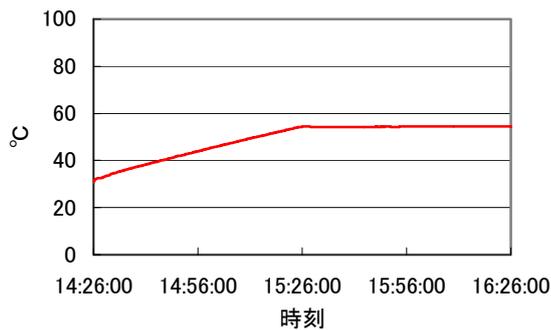
図8 温湿度測定システムの外観



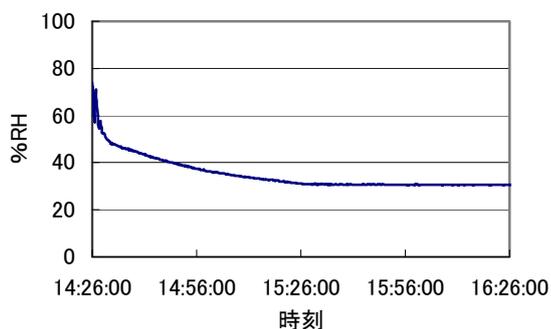
図9 恒温恒湿槽での温度と湿度の測定

温度(°C)	湿度%RH	測定日時↓
30.6	73.9	2008/3/7 - 14:26:2↓
31.2	72.1	2008/3/7 - 14:26:10↓
31.6	67.4	2008/3/7 - 14:26:17↓
32.0	63.1	2008/3/7 - 14:26:25↓
32.1	59.5	2008/3/7 - 14:26:33↓
32.2	57.1	2008/3/7 - 14:26:41↓
32.3	61.9	2008/3/7 - 14:26:48↓
32.3	68.0	2008/3/7 - 14:26:56↓
32.4	71.1	2008/3/7 - 14:27:4↓
32.5	69.5	2008/3/7 - 14:27:12↓
32.6	66.2	2008/3/7 - 14:27:19↓
32.6	62.6	2008/3/7 - 14:27:27↓
32.6	59.6	2008/3/7 - 14:27:35↓
32.6	57.2	2008/3/7 - 14:27:43↓
32.6	55.2	2008/3/7 - 14:27:50↓
32.5	54.5	2008/3/7 - 14:27:58↓
32.5	55.8	2008/3/7 - 14:28:6↓
32.5	57.4	2008/3/7 - 14:28:13↓
32.6	57.8	2008/3/7 - 14:28:21↓
32.7	57.1	2008/3/7 - 14:28:29↓
32.8	55.5	2008/3/7 - 14:28:37↓
32.9	53.9	2008/3/7 - 14:28:44↓
33.0	52.8	2008/3/7 - 14:28:52↓

図10 測定値転送結果



(a) 温度



(b) 相対湿度

図 1 1 測定値の時系列変化

- (4) <http://uclinux-h8.oscj.net/>
- (5) <http://uclinux.quake4.jp/uClinux/Chapter2/uClinux-dist-sbcrbook20070218.tar.gz>
- (6) <http://uclinux-h8.sourceforge.jp/>
- (7) http://uclinux.quake4.jp/uClinux/Chapter4/h8tools_bin.tar.gz

4. おわりに

組込みLinuxシステムの開発手順および開発環境構築方法を調査し、温湿度測定システムを試作した。また、恒温恒湿槽を用いてシステムの動作検証を行った。その結果、温度、湿度ともに正常に測定できること、さらに測定値をホストへ転送できることが確認できた。

今後は、カーネルをターゲット上に搭載し、単体でも動作可能なシステムに改良する予定である。

文献

- (1) 高田広章、組込みシステム開発の要素技術と標準化、情報処理Vol. 46 No. 7 (2005年4月) p417-422
- (2) 2006年度 組込みシステムにおけるリアルタイムOSの利用動向に関するアンケート調査報告書、社団法人トロン協会
<http://www.assoc.tron.org/jpn/research/data/survey2006J.pdf>
- (3) <http://www.kernel.org>