

RTOS 向け USB ミドルウェアの開発

苫小牧工業高等専門学校 ○菅原 吉平, 吉村 斎, 阿部 司, 稲川 清

要 旨

本研究では、我々が開発したマイコンボード上で動作する USB ホスト/ファンクションモジュールのミドルウェアを開発する。このミドルウェアは、USB の仕様に準拠した CDC, MSC および HID から構成される。これらを用いることで、RTOS は USB 仮想シリアルポート、ファイルシステムおよびキーボード入力機能を具備する。さらに、サービスコールの拡張を行うことにより、RTOS のアプリケーションプログラムでこれらを利用できる。

1. はじめに

USB は、情報機器と情報端末との通信に広く利用されており、USB の技術的進展を考慮すると、USB ミドルウェアの開発は重要である。

我々は、先行研究[1]においてルネサスエレクトロニクス株式会社 (以下、ルネサス社) 製 RX62N マイコン搭載の組込みシステム教材「TECL(Technology Education Computer Laboratory)」を開発している。TECL は、USB A 端子(ホスト用)と USB Mini-B 端子(ファンクション用)を装備しており、RX62N の USB2.0 ホスト/ファンクションモジュールの入出力端子として、ハードウェアとしては使用可能である。

また、実験・実習では、統合開発環境 CS+ (ルネサス社) と TECL 上において動作する RTOS (Real Time Operating System) の TOPPERS/ASP カーネル (以下、ASP カーネル) を使用している。これは RX62N 用に移植されたものであるが[1]、USB 端子を利用した実験・実習教材を開発するためには、USB ミドルウェアの開発が必要不可欠となる。

現在、TOPPERS プロジェクトでは、STM32 や Cyclone V をターゲットとした組込みソフトウェアプラットフォームが開発されている[2]。これには USB ミドルウェアが存在している。しかし、RX62N に対応していない。

本研究では、CDC (Communication Device Class), MSC (Mass Storage Class), HID (Human Interface Device) の仕様に準拠したミドルウェアを、それぞれ TECL 上で動作させ、ASP カーネルに実現し、TECL を USB ファンクション・ホストともに使用できるようにすることが目的である。

2. 研究概要

本研究の開発・実行環境を図 1 に示す。

本研究では、ルネサス社製の Renesas Starter Kit+ for RX62N (以下、RSK) 用のサンプルプログラム¹(以下、RSP)を使用する。RSP には CDC, MSC および HID にそれぞれ準拠しているプログラムが存在する。

先行研究[3]において、TECL での RSP (ファンクションの CDC) の動作確認を行い、ソースコードの解析を行った。RSP の構造を図 2[4]に示す。また、先行研究[5]において、RSP (ファンクションの CDC) を ASP カーネルに実現し、ASP カーネルのサービスコールを拡張した。

USB ファンクション用のミドルウェアを実現する手順を以下に示す。以下の実装方法は先行研究[5]を参考とした。

(1) RTOS を使用しない動作確認

(2) RSP を ASP カーネルに実装する。

- ・ユーザアプリケーション上に RSP を実装し、動作を確認する。

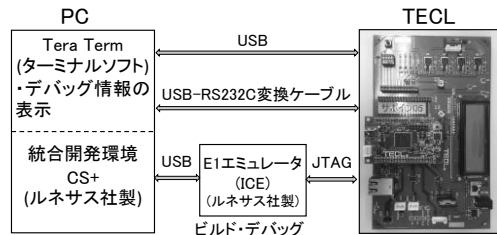


図 1 開発・実行環境

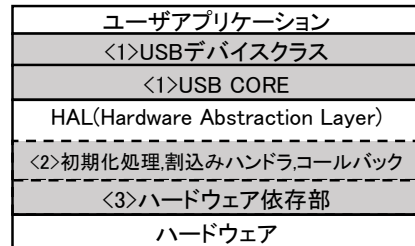


図 2 RSP の階層構造

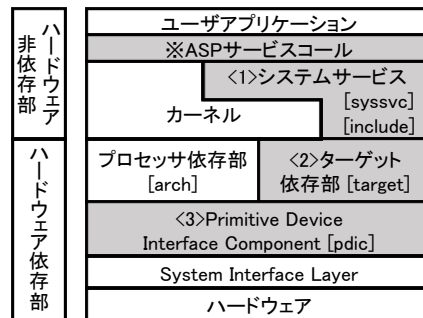


図 3 ASP カーネルの階層構造

- ・図 2 と図 3 の灰色の階層の番号が一致するように、RSP を ASP カーネル上でミドルウェア化する。
- (3) サービスコールの追加
- ・(2) で実装した関数群を用いて、図 2 の ASP サービスコール層に新しいサービスコールを追加し、MSC や HID をユーザアプリケーションから使用できるようにする。

その後、ルネサス社製の USB ホスト用サンプルプログラム²を使用し、TECL を USB ホストとする USB ミドルウェアを実現する。なお、このサンプルプログラムも RSK 用

1. RX62N CS+ 用ルネサススタータキットのサンプルコード
<https://www.renesas.com/ia-ip/software/D3013173.html>

2. RX62N 用のサンプルコード
<https://www.renesas.com/jp/ja/products/microcontrollers-microprocessors/rx/rx600/rx621-62n.html#sampleCodes>

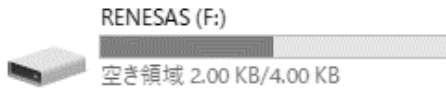


図4 TECL を PMSC デバイスとして動作させた場合

となっている。

RSK と TECL では RX62N のピン数が異なることから、USB モジュールのポート数が異なる (RSK は 2 つ、TECL は 1 つ)。そのため、ファンクションではポートを変更しないが、ホストでは変更する必要がある。

3. USB デバイスクラス

USB デバイスクラスとは、同様の機能を持つ USB 機器に対して、USB.org[6]によって、構成や転送プロトコルが規定されている仕様群である。

本研究では、ルネサス社から提供されているサンプルプログラムが、ファンクション・ホストともに CDC、MSC および HID に対応しているため、それを使用した。

4. RTOS を使用しない場合の動作確認

4.1 USB ファンクションの動作確認

(1)ファンクションの MSC を動作させる RSP は、RSK を USB メモリとして動作する。ファンクションのプログラムのため、RSP のソースコードは変更しない。RSP を実行し、PC 上に USB メモリとして表示されたことを確認した (図 4)。

(2)ファンクションの HID を動作させる RSP は、RSK を HID デバイスとして動作する。このプログラムにおいても、4.1 節同様にソースコードは変更しない。TECL 上で RSP を実行し、PC 上に HID デバイスとして認識されることを確認した。

4.2 USB ホストの動作確認

(1)ホストの MSC のサンプルプログラムは、RSK に接続した USB メモリに 0~9 の数字を順に、ルートフォルダのテキストファイルに 512 個書き込む。TECL に対応するために、先述したように USB のポートを変更した。変更したプログラムを実行し、USB メモリのルートフォルダに、テキストファイルが作成され、0~9 の数字が 512 個書き込まれたことを確認した。

(2)ホストの HID のサンプルプログラムは、キーボードと RSK を接続した場合、最後に入力されたキーデータを LCD に表示する。TECL に対応するために、USB のポートの変更の他に、LCD への入出力ポートを変更した。TECL と USB キーボードを接続して、'a' のキーを押下し、入力した文字が表示されたことを確認した。

5. ASP カーネルへの RSP の実装

本章では、ASP カーネル上での HID (ファンクション) の動作確認について説明する。

はじめに、ASP カーネルのユーザアプリケーションとして RSP を実装し、TECL が PC 上に HID デバイスとして認識されることが確認できた。

次に、上記のプログラムを使用し、RSP (図 2) の灰色の <1>から<3>と番号付けしている層内にある関数を、ハードウェア非依存とハードウェア依存とに分割し、ASP カーネルの各階層に配置する。

RSP を調査した結果、USB デバイスクラス層と USB CORE 層はハードウェア非依存、HAL 層には、ハードウェア非依存とハードウェア依存の関数が存在する。

以上の事実を踏まえて、USB デバイスクラス層と USB CORE 層内の関数は、ASP カーネルのハードウェア非依存部に配置し、HAL 層内の関数は target と pdic へ配置する。

以下に、ASP カーネルで USB を動作させる RSP を実装した方法を示す。

- (1) システムサービス (syssvc)
 - RSP の USB デバイスクラス層を実装した。
- (2) プロセッサ依存部 (arch)
 - RX62N の USB 周辺レジスタの定義を追記した。
- (3) ターゲット依存部 (target)
 - RSP の HAL 層に存在する、USB モジュールの初期化処理関数、割込みハンドラと割込みに関するコールバック関数を実装し、USB の割込み処理を可能とした。
- (4) シリアルドライバ依存部 (Primitive Device Interface Component, pdic)
 - RSP の HAL 層に存在する、ASP カーネルの target 層から呼び出されるハードウェアに依存している関数を実装した。
- (5) System Interface Layer (SIL)
 - レジスタの値を読み書きする場合は、SIL の関数を経由して行うように実装した。

以上の方法により実装し、先述のプログラムと同様に動作するプログラムを実行した。その結果、RSP と同様に、USB ファンクションの HID デバイスとして、PC 上に認識されることが確認できた。

6. おわりに

本研究では、MSC や HID に準拠したサンプルプログラムの TECL での動作が確認できた。また、ファンクションの HID を動作させる RSP を ASP カーネルに実装した。しかし、MSC は動作確認ができていないため、HID と同様の実装方法では実行できないと考えられる。

今後は、ファンクションの MSC と USB ホストの USB ミドルウェアを ASP カーネルで動作するように実装し、ユーザアプリケーションから使用可能なサービスコールを追加する。また、標準化のために、参考文献[2]や参考文献[7]を参考にし、USB ミドルウェアを設計し直す。

参考文献

- [1]組込みシステム教材の開発と導入
大西孝臣, 山本椋太, 木下大輔, 三上剛, 阿部司, 吉村斎, 高専教育 第 38 号(2015) pp.90-95
- [2]TOPPERS BASE PLATFORM
<https://www.toppers.jp/edu-baseplatform.html>
- [3]USB 仮想シリアルポートの基礎研究
菅原吉平, 吉村斎, 阿部司, 山本椋太, 第 17 回複雑系マイクロシンポジウム講演論文集(2018) pp.25-26
- [4]RX62N Group RSK+ USB Function Sample Code User's Manual Rev.1.00 (2010)
- [5]USB 仮想シリアルポートの実装と RTOS のサービスコールの拡張
菅原吉平, 吉村斎, 阿部司, 2018 年度精密工学会北海道支部学術講演会論文集, pp.77-78
- [6]Defined Class Codes | USB-IF
<https://www.usb.org/defined-class-codes>
- [7]μITRON4.0 仕様研究会 デバイスドライバ設計ガイドライン中間報告書
<http://www.ertl.jp/ITRON/GUIDE/FILE/devguide-9911j.pdf>