# EV3RTの内部構造と進んだ使い方

## Beta 7・7-1

２０１８年６月１６日

名古屋大学　大学院情報学研究科
附属組込みシステム研究センター
李　奕驍

# 発表内容

- EV3RTの内部構造の解説
  - アーキテクチャの概要
  - ベースシステムの解説
  - ユーザアプリケーションとSDK
- 動作ローディング機能
  - Dynamic Module Loader
  - アプリケーションモジュール
  - アプリのローディングの流れ
- 進んだ使い方

# 発表内容

- EV3RTの内部構造の解説
  - アーキテクチャの概要
  - ベースシステムの解説
  - ユーザアプリケーションとSDK
- 動作ローディング機能
  - Dynamic Module Loader
  - アプリケーションモジュール
  - アプリのローディングの流れ
- 進んだ使い方

# EV3RTの二つの実行形式

- 動的ローディング形式
  - 普通のユーザアプリを開発する時に推奨
  - アプリは動的ローディング用モジュールとしてビルド
    - EV3を再起動せずに、アプリを更新できる
    - SDカード、Bluetoothからロードできる
  - 非特権モードで動作、アプリからプラットフォームを保護
    - 制限：特権モードのドライバAPI等ローレベルの機能は使用できない
- スタンドアローン形式
  - プラットフォーム開発等フル機能を使いたい場合に有用
    - 動的ローダ自体もこの形式のアプリの一つである
  - アプリとベースシステムは一つのバイナリとしてビルド
    - EV3ブートローダが直接にサポートする実行形式（uImage）
    - SDカードのルートフォルダに入れることで動作可能

# EV3RTの二つの実行形式

- ビルド方式はmakeコマンドの引数で指定

```
Dynamic:      make app=<folder name> → Loader用Module
Standalone:   make img=<folder name> → U-Boot用uImage
```

- ソースコードの中でビルド方式をマクロで判定できる
  - 普通のアプリの開発者は意識しなくても良い
  - プラットフォームを改造・拡張するときに有用
    - e.g. ev3api.h, app_common.cfg

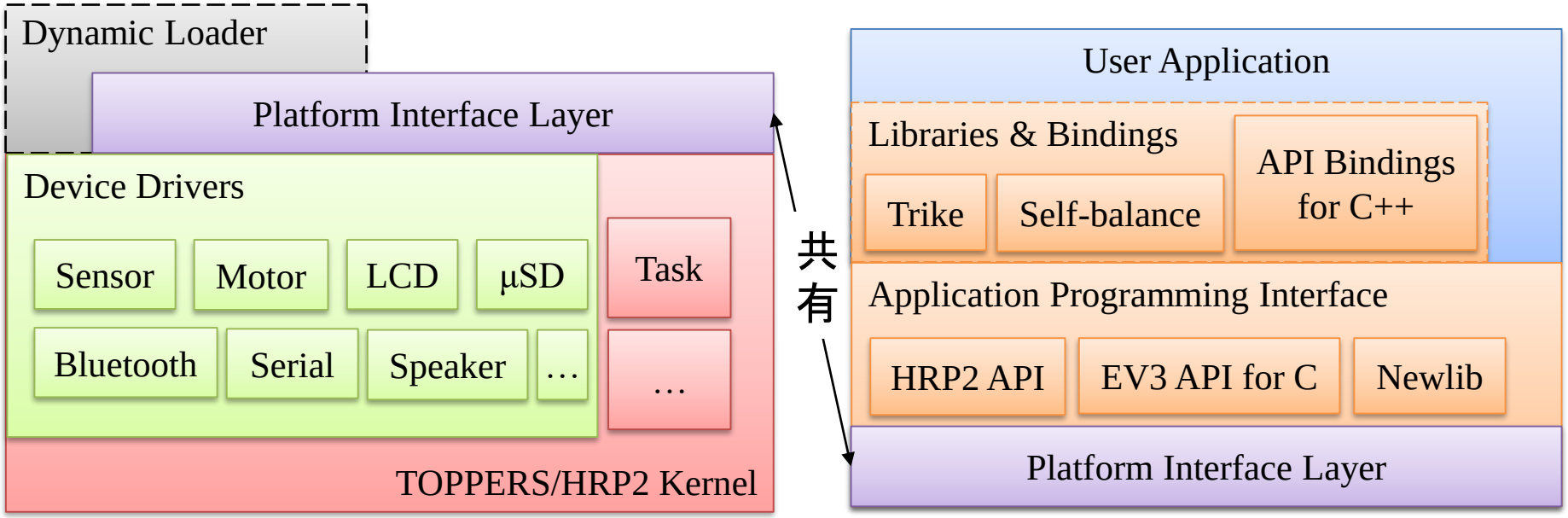
```
#if defined(BUILD_MODULE)
#include "module_cfg.h"
#else
#include "kernel_cfg.h"
#endif
```

```
#if !defined(BUILD_MODULE)
INCLUDE("ev3.cfg");
#endif

INCLUDE("ev3api.cfg");
```

# EV3RTのアーキテクチャ

- 動的形式のアーキテクチャは2つの部分に分けられる




ベースシステム（+ローダ）

主に特権モード
uImageとしてビルド

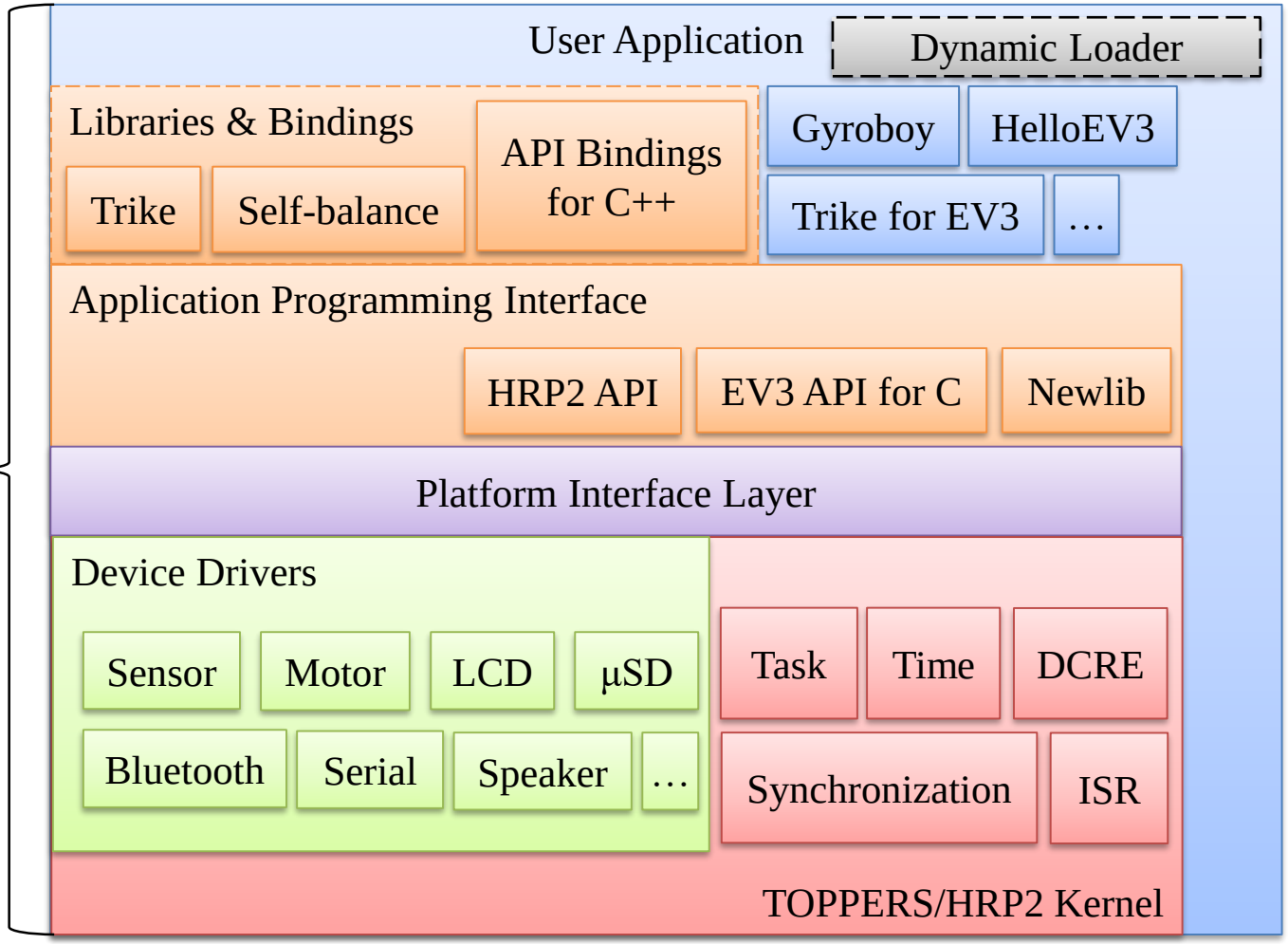
ユーザアプリ

非特権モード
専用ユーザドメイン
（TDOM_APP）
指定したAPIで開発

# EV3RTのアーキテクチャ

- スタンドアローン形式の場合のアーキテクチャ

任意のドメイン
特権/非特権
全機能利用可能



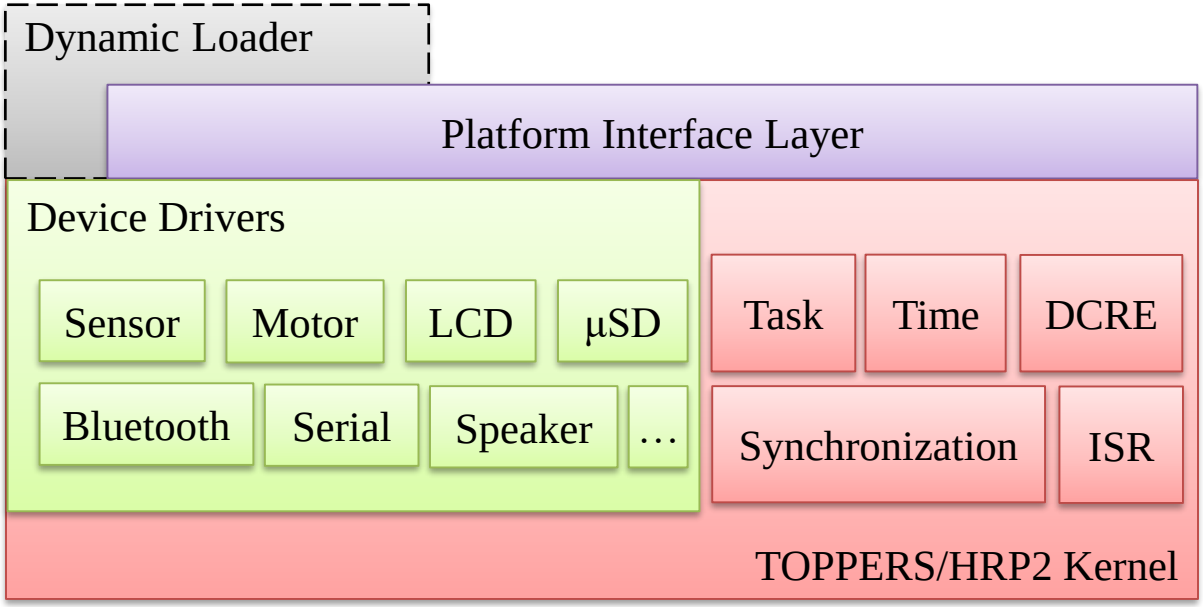

※開発者が自由に改造できるため、動的形式に基づいて解説

# 発表内容

- EV3RTの内部構造の解説
  - アーキテクチャの概要
  - **ベースシステムの解説**
  - ユーザアプリケーションとSDK
- 動作ローディング機能
  - Dynamic Module Loader
  - アプリケーションモジュール
  - アプリのローディングの流れ
- 進んだ使い方

# EV3RTのベースシステム

- ユーザアプリの実行をサポートするためのサービスを提供するシステムソフトウェア
- モジュール構成
  - HRP2 Kernel
  - 各種ドライバ
  - Platform I/F
  - ミドルウェア (e.g. Loader)



# EV3RTのベースシステム

- TOPPERS/HRP2カーネル
  - 静的リアルタイムオペレーティングシステム
    - 利用可能なリソースはcfgファイルで静的に定義
  - 保護機能
    - メモリアクセスの保護
    - カーネルオブジェクトのアクセス保護
  - 拡張サービスコール機能
    - 例：ユーザアプリからドライバを安全にアクセスするために必要
  - 動的生成機能拡張（DCRE、Dynamic CReation Extension）

# EV3RTのベースシステム

- HRP2カーネルの動的生成機能拡張（DCRE）
  - C言語でのカーネルオブジェクトの動的生成が可能に

```
ER_ID tskid = acre_tsk(pk_ctsk); // C言語でタスクを生成
```

  - Cfgで動的に生成できるリソースの最大数を静的指定・確保

```
AID_TSK(32); // 最大32個のタスクが生成できる
```

  - Dynamic Loaderやドライバ等を開発するために導入
    - ユーザアプリの開発では直接に使えない
      - ✓DCREはミドルウェアの開発向け、細粒度の保護機能が無い
        - » 生成できるタスクの属性を制限しない
        - » 例：カーネルドメインのタスクを生成して保護機能を回避
    - EV3RTではシステムタスク（カーネルドメイン）からしか利用できない
      - ✓スタンドアローン形式ではシステムタスクを定義できる

# EV3RTのベースシステム

- 幾つかのドライバ・ミドルウェアの内部実装について
  - Linuxドライバの再利用
  - 高精度アラームハンドラ
  - ユーザドメインのボタンハンドラ・周期ハンドラ
  - BluetoothスタックドライバとQoS確保
  - TCP/IPのサポート
  - 汎用ミドルウェアとNewlib Support Package

# EV3RTのベースシステム

- Linuxドライバの再利用
  - 課題：EV3の専用ドライバをゼロから実装するのは困難
    - 機能向上に伴って、NXTと比べてドライバの規模が膨大に
    - センサ、モータの詳細仕様に関するドキュメントは公開されていない
  - 簡易のLinux Kernel Driver Interface互換レイヤを作成
    - センサ等の専用ドライバはほぼLinux独自の機能に依存しない
      - ✓OSカーネルの基本機能だけ使用した場合が多い
    - TOPPERSカーネルで一部のLinuxカーネルの機能を実装
      - ✓メモリ管理・アクセス機能
      - ✓カーネルロギング機能
      - ✓同期機能（spin lock、mutex、semaphore）
      - ✓割込みハンドラ管理機能
      - ✓高精度カーネルタイマ（hrtimer）

# EV3RTのベースシステム

- 互換レイヤを使ってLinuxドライバを導入
  - PWM制御モジュールの例

```
// Include the common part for a driver
#include "driver_common.h"
```

**共通なヘッダファイル**

Linux Kernel Driver Interface

```
// Hacks for this module
#define InitGpio PWM_InitGpio
static void SetGpioRisingIrq(...) {
...
}
```

**モジュール毎のHacks**

名前衝突を回避するマクロ定義

モジュール内の関数の再実装（GPIO割込みの対応等）…

```
// Include the source file to reuse
#include "d_pwm.c"
```

**Linuxドライバの再利用**

保守性を向上するため、原則として、コードは変更しない

しかし、不要な部分をコメントアウトする

```
// Init
static void initialize(...) {
...
    ModuleInit();
...
}
```

**初期化関数の作成**

モジュールの初期化関数を呼び出す

# EV3RTのベースシステム

- 以下のLinuxデバイスドライバを再利用した
  - LCD
  - PWM制御モジュール（モータ）
  - Analog入出力制御モジュール（Analogセンサとバッテリー）
  - UARTセンサ
  - Soft UARTポート
  - Soft I2Cポート
  - スピーカ

32,183行 ⇒ 1,033行

95%以上の作業量削減

- オーバヘッド評価（モータドライバの場合）

| Function | Average time | Maximum |
|---|---|---|
| ev3_motor_set_speed() | 4.54 us | 40 us |
| ev3_motor_set_speed()[Linux] | 596 us | 3424 us |

# EV3RTのベースシステム

- 高精度アラームハンドラ機能のドライバ
  - HRP2のタイマ管理機能はミリ秒単位しか対応していない
    - 第三世代TOPPERSカーネル（HRP3）はマイクロ秒単位
  - マイクロ秒精度で動作するドライバ（Analogセンサ等）が存在するため、より高精度なアラームハンドラ機能が必要
  - HRP2カーネルはマクロでタイムティック周期を変更できる
    - タイムティック周期＝（TIC_NUME / TIC_DENO）ミリ秒
    - TIC_DENOを大きく設定して、より高精度のタイムティックが得られる
  - 標準のアラームハンドラ機能を参考してタイムティック精度で動作するアラームハンドラ機能を実装した

```
acre_hires_alm(...) // 高精度アラームハンドラの生成
sta_hires_alm(...)  // 高精度アラームハンドラの動作開始
stp_hires_alm(...)  // 高精度アラームハンドラの動作停止
```

# EV3RTのベースシステム

- 高精度アラームハンドラ機能のティック周期の課題
  - 引数の単位はマイクロ秒で、実際の動作はティック精度
  - アラームの起動時刻はティック単位で切り捨てる
    - Tick: 100us, Almtim: 125us => 実際のAlmtim: 100us
    - 切り捨てられた場合はWarning Logを出力
  - ティック周期を全ての高精度アラームハンドラの相対起動時刻の最大公約数に設定しないと精確に動作できない

| 機能 | 起動周期 |
|---|---|
| サウンド再生 | 125 μs |
| Analogセンサ情報更新 | 200 μs |

- 上記の例の場合、ティック周期を25usにしないといけない
  - ✓周期が早すぎると、リアルタイム性に悪影響が出る
  - ✓現時点は、サウンド再生の処理精度を犠牲にして100usに設定

# EV3RTのベースシステム

- ユーザドメインのボタンハンドラ機能
  - EV3RTのユーザアプリはボタンハンドラを登録できる
  - ボタンハンドラはGPIOの割込みにより起動
    - 割込み処理の中で直接に呼び出されると保護機能が適用できない
  - この課題ためにボタンハンドラ用のフラグとタスクを用意
    - ボタンのGPIO割込みでイベントフラグをセット
      - ✓iset_flg(current_button_flag, 1 << BRICK_BUTTON_BACK)
    - ユーザドメインのタスクはフラグをチェックしてハンドラを呼び出す
      - ✓wai_flg(BTN_CLICK_FLG, …) => handlers[i](exinfs[i])
    - ボタンハンドラのタスク優先度（TMIN_APP_TPRI-1）はアプリの全てのタスクよりも高いため、長い処理を行う時は要注意

# EV3RTのベースシステム

- ユーザドメインの周期ハンドラ機能
  - TOPPERSの標準の周期ハンドラはボタンハンドラと同様に割込み処理から呼び出されるので保護機能が使えない
  - 周期ハンドラの定義や数はボタンと違って固定されていない
    - ボタンハンドラと同じ手法で対応できない
  - アプリの周期ハンドラ毎にTOPPERSの周期ハンドラと実行用タスクを生成して、TOPPERSの周期ハンドラでタスクを起動
    - 優先度はボタンハンドラと同じTMIN_APP_TPRI-1、長い処理を行う時、ハンドラからact_tskでアプリの普通のタスクを起動したほうが良い
  - 提供するAPI

```
EV3_CRE_CYC(...) // 静的API、パラメータはCRE_CYCと同じ
ev3_sta_cyc(...) // ユーザドメイン周期ハンドラの動作開始
ev3_stp_cyc(...) // ユーザドメイン周期ハンドラの動作停止
```

# EV3RTのベースシステム

- ユーザドメインの周期ハンドラ機能
  - ユーザドメインの周期ハンドラの静的API定義は動的に生成するコードに変換される

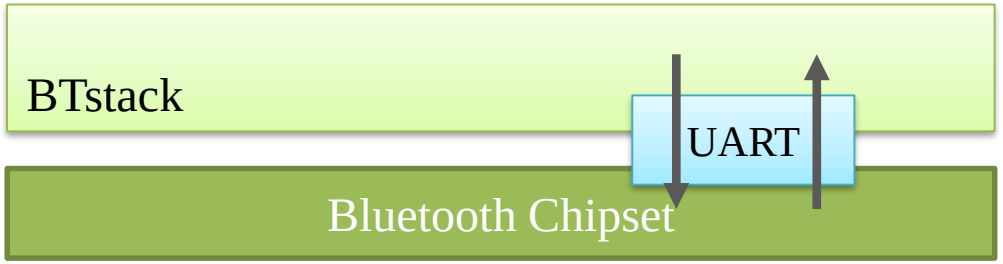
```
EV3_CRE_CYC(EV3_CYC1,{TA_STA,0,test_ev3_cychdr,500,0});
```

```
void _initialize_ev3api_cyc() {
    ...
    pk_ccyc.cycatr = TA_STA; pk_ccyc.exinf = 0;
    pk_ccyc.cychdr = test_ev3_cychdr;
    pk_ccyc.cyctim = 500; pk_ccyc.cycphs = 0;
    ercd = _ev3_acre_cyc(&pk_ccyc);
    _ev3api_id_EV3_CYC1 = ercd; }
```

  - アプリの初期化タスクで呼び出される ⇑

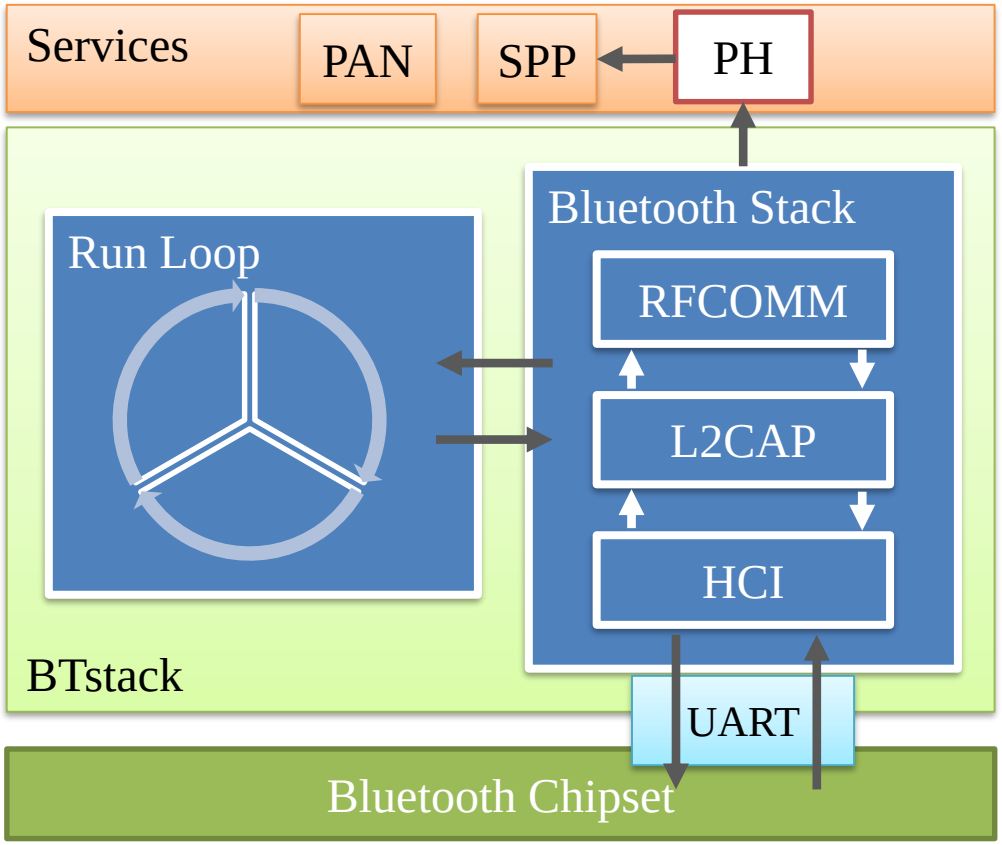
# EV3RTのベースシステム

- Bluetoothのドライバ
  - EV3に標準のBluetoothチップ（CC256x, v2.1 EDR）が搭載されているため、標準のBluetoothスタックドライバが必要
  - BTstackというオープンソースのスタックドライバを移植
    - 軽量で組込み向け、OSなしでも動作できる
    - 機能が豊富、Bluetooth SIGにより認証済み
    - 対応するチップが多い、EV3のCC256xもサポートする
    - EV3RT用fork：https://github.com/ev3rt-git/btstack
  - CC256xとSoCはUARTで通信しているので移植はとても簡単
    - UART操作関数でBTstackのHCIインタフェースを実現したら良い



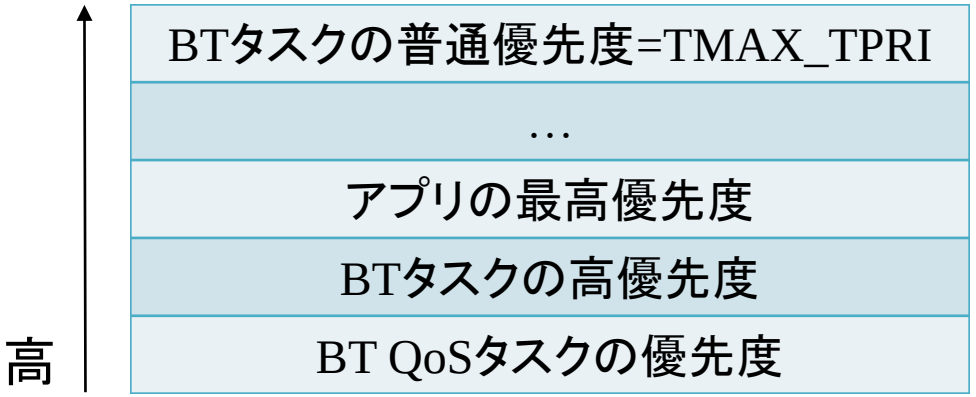
# EV3RTのベースシステム

- Bluetoothのドライバ
  - BTstackのAPIを使ってSPPとPANのサービスを実装した
    - Serial Port Profile
    - Personal Area Network
  - TOPPERS SIOドライバでも使えるようにした。接続された時にopen、切れたらclose
  - 受送信データを処理するためにRun Loopが必要。Run Loop用のBTタスクを作成した



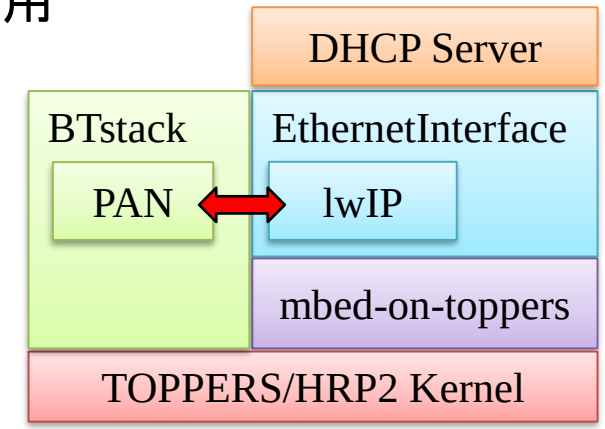
# EV3RTのベースシステム

- Bluetooth通信のQoS確保（BTタスクの優先度）
  - アプリより高い優先度で動作すると
    - 高速で通信する場合、アプリのリアルタイム性に悪影響
  - アプリより低い優先度で動作すると
    - スタベーションで接続が切れてしまう可能性がある
  - 接続を保護するために、QoSタスクで動的にBTタスクの優先度を上げる
    - 現時点のポリシー　20ミリ秒ごとに1ミリ、BTタスクをアプリより高い優先度に
      - ✓参考：倒立制御処理　5ミリ秒周期で動作、実行時間は1ミリ秒以内
    - 課題：より精確なKeep Aliveポリシーを使う



# EV3RTのベースシステム

- TCP/IPのサポート
  - HTTP（Bluetooth PAN）でのアプリ更新のために必要
    - Beta 7以前はBluetooth SPPのみ対応、アップロードの時、毎回Tera Term等からファイルやSPPの番号（環境依存）を指定する必要がある
    - Beta 7では「make upload」コマンドだけで簡単にアップロードできる
  - 課題：TOPPERS/HRP2用DHCPサーバのミドルウェアがない
    - EV3とPCのIPアドレスを自動設定するために必要
  - ARM mbed OS互換レイヤ（mbed-on-toppers）で対応
    - TCP/IPスタック（lwIP）とDHCPサーバを使用
    - BTstack PANとlwIPのbridgeを実装
  - ソースコードはパッケージにない
    - サイズが大きいので…
    - https://github.com/ev3rt-git



# EV3RTのベースシステム

- BTstack以外にも、汎用ミドルウェアを使用
  - 汎用FATファイルシステムモジュール FatFS
    - Windows互換FATファイルシステムをサポート
    - 下位レイヤインターフェースを実装して、SDカードを操作できる
  - Two-Level Segregate Fit（TLSF）メモリアロケータ
    - リアルタイムシステム向けの動的メモリアロケータ
      - ✓動的生成機能拡張と標準Cライブラリのために導入
      - ✓O(1)の計算量でmalloc/free
    - 複数のメモリプールが対応
      - ✓ベースシステム（カーネル）用メモリプールとアプリ用メモリプールを別々に管理できるのでHRP2のメモリ保護機能との相性が良い

# EV3RTのベースシステム

- Newlib Support Package
  - ミドルウェアはそれぞれ独自のAPIを持っている
    - 標準Cライブラリ（Newlib）でAPIの違いを吸収
      - ✓開発者の学習コストを削減できる
  - TLSFアロケータで動的メモリ管理のシステムコールを実現
    - _malloc_r/_free_r/_calloc_r/_realloc_rを実装してNewlib本来のアロケータをoverrideした
  - FatFSでファイル操作機能をサポート
    - FatFSはFile Descriptorを使ってないため、NewlibのFile DescriptorでFatFSのデータ構造（FIL）を管理する機能を実装した
    - fopen/read/write等の関数でSDカードを操作できるようになった
  - Bluetooth通信のためのFD（SIO_BT_FILENO）を作成
    - 通信用の特殊なFD、fprintf/fscanf等で簡単にBluetooth機能を使える

# EV3RTのベースシステム

- Platform Interface Layer
  - 保守性を向上するために、ユーザアプリからアクセスすることがあるドライバに対してある程度安定したI/Fが必要
  - PILはユーザアプリとベースシステム間のI/Fを定義する
    - 共有メモリ（brickinfo_t）
    - 拡張サービスコール
  - PILにバージョン番号がある
    - ベースシステムは同じPILバージョンのアプリしかロードできない
      - ✓Beta 6-2（PIL Ver.5）とBeta 7（PIL Ver. 6）
    - 同じPIL番号のベースシステムはアプリのバイナリ互換性を持つ
      - ✓Bug fixの場合、アプリをリコンパイル必要がない e.g. β6-2→β6-3

# EV3RTのベースシステム

- Platform Interface Layer
  - 共有メモリ（brickinfo_t）のインタフェース
    - アプリから直接アクセス可能のメモリ領域のポインタの集合
    - ベースシステムはドライバの初期化で該当のポインタをセット
    - SVC _fetch_brick_info()でベースシステムのbrickinfo_tを取得できる
    - オーバヘッドは拡張サービスコールよりずっと小さい

```
typedef struct {
    uart_data_t      *uart_sensors;
    analog_data_t    *analog_sensors;
    i2c_data_t       *i2c_sensors;
    motor_data_t     *motor_data;
    uint8_t          *motor_ready;
    volatile bool_t  *button_pressed;
    bitmap_t         *lcd_screen;
    font_t           *font_w6h8;
    font_t           *font_w10h16;
    void             *app_heap;
    int16_t          *motor_current;
    int16_t          *battery_current;
    int16_t          *battery_voltage;
    int16_t          *battery_temp;
} brickinfo_t;
```

# EV3RTのベースシステム

- Platform Interface Layer
  - 拡張サービスコールのインタフェース
    - モータ制御等共有メモリだけでは実現できない機能がある
      - ✓特権モードでコードを実行する必要がある
    - ベースシステムに拡張サービスコールを生成・実装

```
#define TFN_FETCH_BRICK_INFO (24)
ER_UINT extsvc_fetch_brick_info(intptr_t p_brickinfo, intptr_t par2,
        intptr_t par3, intptr_t par4, intptr_t par5, ID cdmid) {
    return _fetch_brick_info((brickinfo_t*)p_brickinfo, cdmid);
}
// DEF_SVC(TFN_FETCH_BRICK_INFO, { TA_NULL, extsvc_fetch_brick_info, 1024 });
```

    - PILにユーザアプリから拡張サービスコールを呼び出す関数を定義

```
static inline ER fetch_brick_info(brickinfo_t *p_brickinfo) {
    ER_UINT ercd = cal_svc(TFN_FETCH_BRICK_INFO, (intptr_t)p_brickinfo, (intptr_t)0, (intptr_t)0, 0, 0);
    return ercd;
}
```

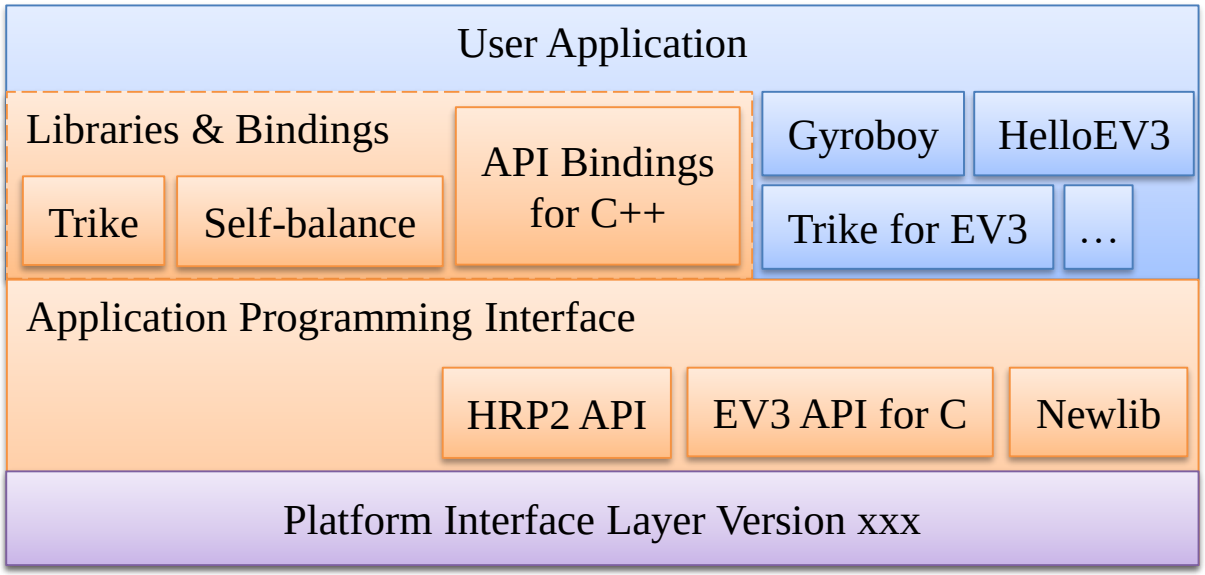
    - ユーザアプリのコンパイルはベースシステムのソースに依存しない
      - ✓独立したモジュールとしてビルド可能

# 発表内容

- EV3RTの内部構造の解説
  - アーキテクチャの概要
  - ベースシステムの解説
  - **ユーザアプリケーションとSDK**
- 動作ローディング機能
  - Dynamic Module Loader
  - アプリケーションモジュール
  - アプリのローディングの流れ
- 進んだ使い方

# EV3RTのユーザアプリケーションとSDK

- ユーザアプリ：Mindstorms EV3を制御するプログラム
  - EV3RTが提供するソフトウェア開発キットで作成できる
  - 特定のユーザドメイン（TDOM_APP）で動作
  - 動的ローディング用のアプリモジュールとしてビルド可能
- ソフトウェア開発キット（SDK）の構成
  - API
  - 静的ライブラリ
  - サンプル（& Workspace）




Loadable Application Module

# EV3RTのユーザアプリケーションとSDK

- Application Programming Interface
  - TOPPERS/HRP2カーネル静的API
    - cfgファイルに記述して、カーネルオブジェクトを静的に定義・生成
    - 保護ドメインはTDOM_APPか無所属でないといけない [Dynamic]
  - TOPPERS/HRP2カーネルAPI（サービスコール）
    - RTOS機能（タスク管理、同期・通信、タイマ等）
  - 標準Cライブラリ（Newlib）
    - 動的メモリ管理、ファイル操作（Bluetooth通信含む）、入出力関数等
  - EV3RT C言語 API
    - モータ、センサ、スピーカ、LCD等EV3RT独自の機能
    - Platform Interface Layerを用いて実装
    - ソースコードはsdk/common/ev3apiにある

# EV3RTのユーザアプリケーションとSDK

- 静的ライブラリ
  - アプリの開発ではAPIの他にオプションのライブラリも使える
  - EV3RTはライブラリを簡単に開発・導入できる機能を持つ
    - ライブラリのプロジェクトフォルダはsdk/common/libの下に

```
sdk/common/library/libcpp-ev3   ETロボコン用C++ライブラリ
sdk/common/library/libcpp-test  サンプルライブラリ
```

    - アプリのMakefile（ev3way-cpp/Makefile.incの例）で導入できる

```
...
# Include libraries
include $(EV3RT_SDK_LIB_DIR)/libcpp-ev3/Makefile
...
```

# EV3RTのユーザアプリケーションとSDK

- 静的ライブラリの開発
  - ライブラリ・プロジェクト・フォルダの構成

```
Makefile                          ライブラリのMakefile
src/*                             ライブラリのソースコード
include/*                         アプリが使えるヘッダファイル
<libname>-[loadable|standalone].a 静的lib（オプション）
```

  - ライブラリのMakefile

```
THIS_LIB_NAME := <libname>          # ライブラリの名前
THIS_LIB_OBJS := c-1.o c-2.o        # C言語オブジェクト
THIS_LIB_CXXOBJS := cpp-1.o cpp-2.o # C++オブジェクト
include $(EV3RT_SDK_LIB_DIR)/../Makefile.slib
```

  - 静的ライブラリ（.a）が無い場合、アプリのビルドで自動生成

# EV3RTのユーザアプリケーションとSDK

- ユーザアプリケーション実行時の主なタスク構成

| 優先度 | タスク | 周期 | 実行時間 |
|---|---|---|---|
| 1 | システム初期化 | once | / |
| 2 | USB | / | / |
| 3 | Bluetooth（高） | 20ms | <1ms |
| 4 | LCDリフレッシュ | 40ms | <1ms |
| 6 | BUSY | / | / |
| 7 | アプリ初期化 | once | / |
| >= TMIN_APP_TPRI | ユーザ アプリケーション | | |
| TMAX_TPRI | Bluetooth（低） | | |

  - BUSYタスクは単純な無限ループ
    - システム初期化の途中でアプリのタスクの実行を一時停止できる

# EV3RTのユーザアプリケーションとSDK

- ユーザアプリケーションの初期化タスク（一部省略）

```
void _app_init_task(intptr_t unused) {
    brick_misc_command(CMD_BUSY_WAIT_INIT, 0);

    ER ercd = fetch_brick_info(&_global_ev3_brick_info);

    _initialize_ev3api_lcd();
    _initialize_ev3api_motor();
    _initialize_ev3api_newlib();
    _initialize_ev3api_sensor();

    // Call C++ global constructors
    extern func_ptr __init_array_start[0], __init_array_end[0];
    for (func_ptr* func = __init_array_start; func != __init_array_end; func++)
        (*func)();

    // EV3_CRE_CYC
    _initialize_ev3api_cyc();
}
```

  - C++ Global Constructorには待ち状態になるコードを使っては行けない

# 発表内容

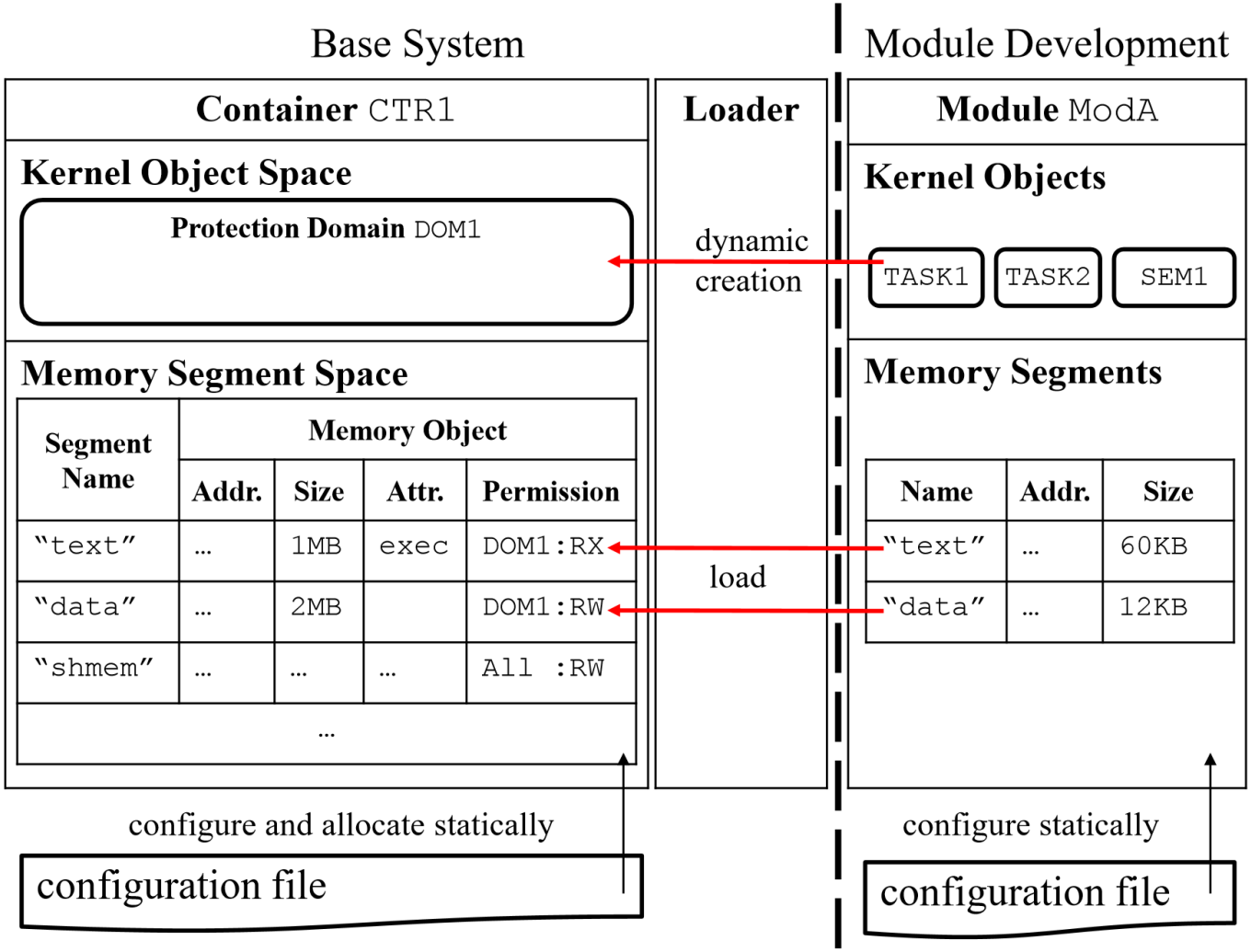
- EV3RTの内部構造の解説
  - アーキテクチャの概要
  - ベースシステムの解説
  - ユーザアプリケーションとSDK
- **動作ローディング機能**
  - Dynamic Module Loader
  - アプリケーションモジュール
  - アプリのローディングの流れ
- 進んだ使い方

# 動的ローディング機能

- Dynamic Module Loader
  - 静的OS（HRP2）のために開発されたモジュールを（EV3RTのベースシステムに）動的に追加・削除するための機能
  - モジュールの保護設定とリソースはコンパイル時に決まる
    - cfgファイルに記入した静的APIから生成
    - HRP2 DCRE（動的生成機能拡張）のAPIは使用できない
    - モジュール毎には一つの専用のユーザドメインしか使えない
      - ✓汎用OSのプロセスに似た概念
  - ベースシステムはモジュール実行用のコンテナを用意
    - モジュールが使える最大リソース（タスク等）を静的に確保
    - モジュールの保護機能（メモリアクセス権等）を静的に設定
  - ローディング：DCREを使って、モジュールの実行ファイルを指定のコンテナに展開して、動作を開始すること

# 動的ローディング機能

- Dynamic Module Loaderの概略図



# 動的ローディング機能

- 動的ローディング用アプリケーションモジュール
  - 独立のELFファイルとしてビルド
    - ベースシステムのコードに依存しない → 動的シンボル解決は不要
    - PIL、API、ライブラリは静的にリンク → 動的リンク機構は不要
    - 単一のドメイン（TDOM_APP）に属するため、コードとデータのメモリ保護設定は単純で、textセクションとdataセクションがあれば十分
  - cfgファイルの内容をELFファイルに格納する
    - ローダでモジュールのオブジェクトを動的に生成するために必要
    - Module Configuration Tableのコードをコンパイル時に生成する
  - ローダからオブジェクトのIDを取得する方法が必要
    - ユーザアプリに使うIDの実際の値はロードしないと分からない
  - ローディング用メモリ領域のアドレスは固定ではない
    - ベースシステムの設定等により変化
    - 完全位置独立コード（-mno-pic-data-is-text-relative）に指定

# 動的ローディング機能

- cfgファイルを格納するModule Configuration Table
  - MOD_CFG_ENTRY（Module Configuration Entry）の配列

```
typedef struct {
    FN sfncd; const void *argument; void *retvalptr;
} MOD_CFG_ENTRY;
```

    - sfncd：静的機能コード　e.g. TSFN_CRE_TSK/SEM/FLG/MTX
    - argument：引数へのポインタ、生成情報のパケットの場合が多い
    - retvalptr：　動的生成の関数の戻り値を格納する変数へのポインタ
  - 静的API　CRE_TSKの例：

CRE_TSK(APP_INIT_TASK, { TA_ACT, 0, _app_init_task, TPRI_APP_INIT_TASK, STACK_SIZE, NULL });

```
ID _module_id_APP_INIT_TASK __attribute__((section (".module.text")));
static const T_CTSK _module_ctsk_tab[] = {
    { TA_ACT, 0, _app_init_task, TPRI_APP_INIT_TASK, ROUND_STK_T(STACK_SIZE), ... },
};
const MOD_CFG_ENTRY _module_cfg_tab[] = {
    { TSFN_CRE_TSK, &_module_ctsk_tab[0], &_module_id_APP_INIT_TASK },
};
```

# 動的ローディング機能

- オブジェクトID生成の流れ
  1. オブジェクトIDのマクロと格納するための変数を定義

```
extern ID _module_id_APP_INIT_TASK;
#define APP_INIT_TASK ((const ID)(_module_id_APP_INIT_TASK))
```

  2. オブジェクトIDの変数をMod Cfg Entryの戻り値として登録

```
const MOD_CFG_ENTRY _module_cfg_tab[] = {
    { TSFN_CRE_TSK, &_module_ctsk_tab[0], &_module_id_APP_INIT_TASK },
};
```

  3. ローダが動的生成関数acre_yyy()を呼び出してオブジェクトIDをMod Cfg Entryの戻り値として設定
  4. これで、オブジェクトIDのマクロは実際の値になる

# 動的ローディング機能

- モジュールのローディング操作の流れ
  0. 動的モジュールのセクションを格納する領域を用意

```
static STK_T app_text_mempool[COUNT_STK_T(TMAX_APP_TEXT_SIZE)]
        __attribute__((section(".app_text_mempool"),nocommon));
static STK_T app_data_mempool[COUNT_STK_T(TMAX_APP_DATA_SIZE)]
        __attribute__((section(".app_data_mempool"),nocommon));
```

  1. ELFファイルのセクションを上記の領域にコピー
  2. 完全位置独立コードのrelocationを行う
  3. Module Cfg Tableを参照して順次にオブジェクトを生成
  4. 生成したオブジェクトのIDをretvalptrに格納
  5. 全てのオブジェクトが生成されたら、ロード完了
  6. 生成に失敗するオブジェクトがあったら、各retvalptrを参考して今まで生成した全てのオブジェクトを削除

※Unloadは生成したタスクを強制終了してオブジェクトを削除

# 発表内容

- EV3RTの内部構造の解説
  - アーキテクチャの概要
  - ベースシステムの解説
  - ユーザアプリケーションとSDK
- 動作ローディング機能
  - Dynamic Module Loader
  - アプリケーションモジュール
  - アプリのローディングの流れ
- **進んだ使い方**

# EV3RTの進んだ使い方

- スタンドアローン形式で、より高度な開発ができる
  - プラットフォームの開発・拡張
    - application loader
    - mruby on ev3rt+tecs
  - ベースシステムのカスタマイズ
  - TOPPERS/HRP2カーネルの全機能が自由に利用できる
  - デバイスドライバ・ミドルウェアの直接アクセス

# EV3RTの進んだ使い方

- ベースシステムのカスタマイズ
  - 動的ローディングの制限を変更する時はリビルトが必要
    - 静的に生成されたページテーブルの情報が変わった
    - 設定ファイルを書き換えるだけで対応できない

```
$ cd base-workspace; make app=loader
```

  - カスタマイズ可能な項目はev3.hにまとめてある

```
#define TMAX_APP_TSK_NUM     (32)
#define TMAX_APP_SEM_NUM     (16)
#define TMAX_APP_FLG_NUM     (16)
#define TMAX_APP_DTQ_NUM     (16)
…
#define TMAX_APP_TEXT_SIZE   (1024 * 1024)
#define TMAX_APP_DATA_SIZE   (1024 * 1024)
#define TMAX_APP_BINARY_SIZE (1024 * 1024)
```

e.g.
Application
Moduleの
リソース制限

# EV3RTの進んだ使い方

- HRP2カーネルの全機能が自由に利用できる
  - 動的ローディング形式では、アプリの障害からLoaderとベースシステムを守るために、アプリには幾つかの制限が存在
    - 全てのオブジェクトは単一のユーザドメイン（TDOM_APP）に属する
    - 使用可能な最高優先度（TMIN_APP_PRI）が存在する
  - スタンドアローン形式では、上記の制限がなくて、cfgファイルでアプリケーションを自由に設計できる
    - メリット
      - ✓HPR2の全ての機能（動的生成機能拡張を含む）が使える
    - デメリット
      - ✓Loaderが使えなくなって、アプリの更新に手間がかかる
      - ✓カーネルドメインを利用する場合、デバッグは難しくなる

# EV3RTの進んだ使い方

- デバイスドライバ・ミドルウェアの直接アクセス
  - アプリ開発の利便性を向上するために、BluetoothやFatFSのようなミドルウェアは標準Cライブラリ経由で使う
  - 学習コストはなくなったが、フル機能は使用できない
  - 例：標準BluetoothスタックのBTstackはSPP、PANの他
    - Bluetooth HID => キーボード、ゲームコントローラ等
    - Bluetooth OBEX => ファイル転送サービス
      等様々なプロトコルも対応
  - 例：lwIPまたはmbedのEthernetInterfaceでTCP/IP通信
    - アプリのアップロードでしか使用していないが、lwIPのAPI等を使えばPCとのsocket通信ができ、PC経由でインターネット利用も実現可能

# EV3RTの進んだ使い方

- EV3間通信機能はBeta 7で実験的にサポートした
  - アプリ「test-spp-master」と「test-spp-slave」を提供
    - masterにslaveのEV3のBT Addr.とPin Codeを指定して接続を行う
      - ✓「 spp_master_test_connect_ev3(remote_addr, remote_pincode); 」
      - ✓BT Addr.はEV3RTの起動時のバナーで確認できる
    - SPPベースで、PC間との通信と同様にファイル操作で行う
      - ✓Master
        - »「 FILE *bt_slave = spp_master_test_open_file(); 」
        - »「 fprintf(bt_slave, "MOTOR %d\n", power10 / 10); 」
      - ✓Slave
        - »「 FILE *bt = ev3_serial_open_file(EV3_SERIAL_BT); 」
        - »「 sscanf(buf, "MOTOR %d", &power); 」

ご清聴ありがとうございました