

組み込みシステム向けFRP言語における 離散イベント機構の実装とその評価

十河健人・森口草介・渡部卓雄（東京工業大学）

概要

- 離散イベントを導入した組み込みシステム向けFRP言語である PbEmfrp, EvEmfrpの処理系を実装した
- 処理系を用いて評価実験を行い, 有用性を示した

関数リアクティブプログラミング(FRP)

- リアクティブシステムを記述するプログラミングパラダイム
- 時間と共に変化する値である**時変値**を宣言的に組み合わせる
- Emfrp [1]: 小規模組み込みシステム向けFRP言語

PbEmfrp[2]

- 周期的タスクを記述できるよう Emfrpを拡張した言語
 - Emfrpは周期的タスクの扱いに課題
 - 冗長な記述
 - 必要以上に高い頻度の無駄な計算
 - 時変値の更新は周期的なタイミングで行われる
 - 周期的タイミング(φ, π): (開始時刻, 周期) [ms]
 - 時変値は自身の更新タイミングを型として持つ
 - 入出力時変値は**タイミング注釈**で指定
 - 他の時変値は依存関係により決定
 - タイミングが異なる時変値同士での演算
 - 時変値合成: 異なるタイミングを合成
 - 部分化: 部分的なタイミングを持つ時変値を生成
 - @now参照: どのタイミングからでも参照できる時変値を生成

```
module FanController
in tmp: Float '(500, 1000),
   hmd: Float 'tmp
out fan: Bool '_'

func calcDi(tmp, hmd) = ...

node init[0.0, 0.0, 0.0] tmpHistory = tmp
node init[0.0, 0.0, 0.0] hmdHistory = hmd

node tmpAve = (tmpHistory +. tmpHistory@last[1] +.
              tmpHistory@last[2] +. tmpHistory@last[3]) /. 4.0

node hmdAve = (hmdHistory +. hmdHistory@last[1] +.
              hmdHistory@last[2] +. hmdHistory@last[3]) /. 4.0

node di = calcDi(
  tmpAve @> '(2500, 3000), hmdAve @> '(2500, 3000)
)

node init[False] fan = di >=. th@last[1]

node th = 75.0 +. (if fan then -.0.5 else 0.5)
```

タイミング注釈.
明示的に指定したり,
他のノードを参照したりできる.
'(500, 1000)'は開始時刻500ms,
周期1000msのタイミングを表す.

initで初期値を定義する.
複数定義することもできる.
初期値をもつ時変値は@lastで
過去の更新での値を取得できる.

タイミングの部分化.
タイミング(500, 1000)を
(2500, 3000)に変更.

EvEmfrp[3]

- PbEmfrpを拡張し, 非周期的なイベントを扱えるようにした言語
- 非周期的タイミングを導入
 - ラベルを用いて '\$ α ' のように記述

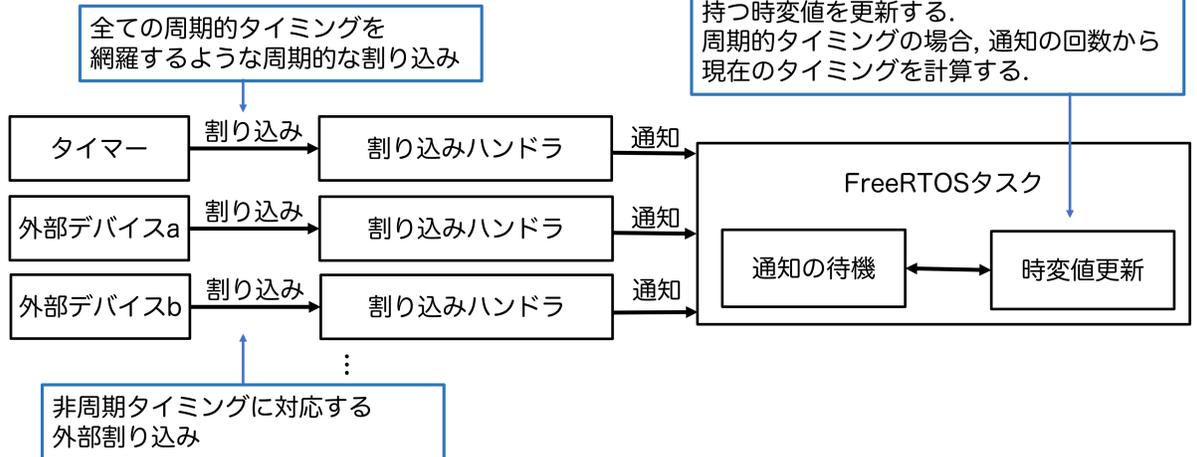
```
module PIRLight
in pirTime: Int '$pir,
   timerTime: Int '(10000, 10000)
out led: Bool '_'
...
```

処理系の実装

- PbEmfrp, EvEmfrpの処理系をRust言語で実装
- ランタイムを含むC++コードを生成
 - 既存手法を改善し, 一部の組み込みシステムではオーバーヘッドになりうる剰余演算を用いないランタイム生成も可能

ランタイム

- 割り込みとFreeRTOSを用いて実装



評価実験

- PbEmfrpとEmfrpそれぞれで同等の動作をするプログラム(FanControllerシステム)を実装
- 実行環境
 - Arduino Uno互換ボード (ATmega328P-PU: CPU 16MHz, Flash 32KB, SRAM 2KB)
 - STM32 Nucleoボード (STM32F401RE: CPU 84MHz, Flash 512KB, SRAM 96KB)

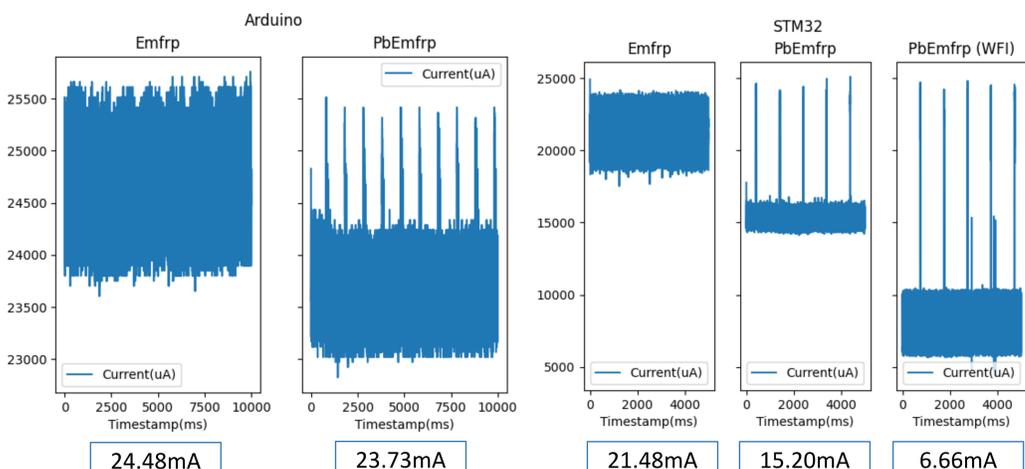
プログラムサイズ

- Arduinoボード向けにコンパイルした実行可能ファイルのサイズ
- FreeRTOSライブラリの影響でtextセクション増加

	text [byte]	data [byte]	bss [byte]
Emfrp	7366	68	509
PbEmfrp	12684	60	440

消費電流

- Arduinoボード, STM32ボードそれぞれの消費電流
- STM32ボードではWFI命令を使用したものも計測



実行時間

- Arduinoボードで1回の時変値更新にかかる時間を測定
- PbEmfrpは最大と最小の幅が大きい
 - タイミングが異なる時変値の更新処理が省略されている

	平均値 [μs]	最小値 [μs]	最大値 [μs]
Emfrp	176	172	184
PbEmfrp	216	184	300
PbEmfrp (剰余演算なし)	88	84	136

[1] Sawada et al. Emfrp: A functional reactive programming language for small-scale embedded systems. MODULARITY Companion (CROW 2016), pp. 36-44, 2016

[2] 辻他. 小規模組み込みシステム向けFRP言語における周期的タスクの記述方式. 日本ソフトウェア学会第38回大会, 2021.

[3] 辻裕太. 組み込みシステム向けFRP言語における離散イベントの時間的特徴づけと実装方式. 修士論文, 東京工業大学情報理工学院, 2022.