



組み込みリアルタイムシステム

分散リアルタイム処理用プロセッサ

CPU, SoC, SiP, リアルタイムOS

研究概要

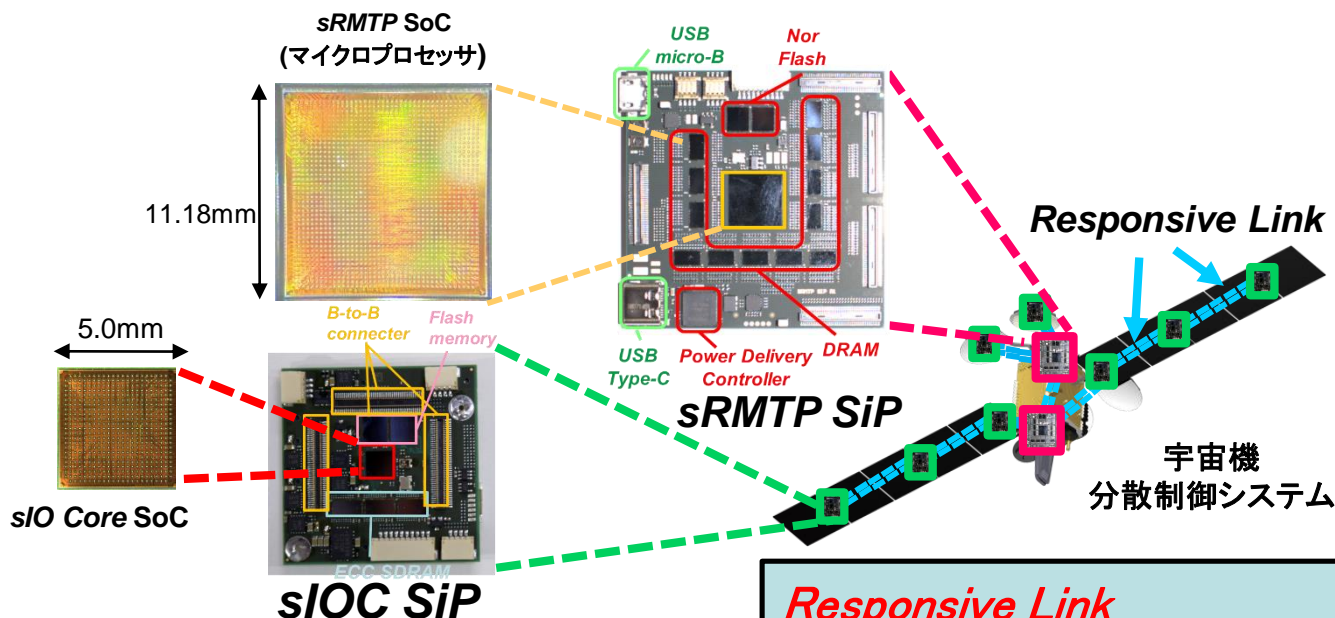
宇宙機、ロボット、車等の組み込みリアルタイムシステムでは処理や通信の結果だけでなく、デッドラインや周期などの時間制約を満たすことで動作が保証されます。宇宙機の場合、過酷な宇宙環境で宇宙放射線、振動、熱等の影響下でも動作し続けることが要求されます。これらの環境下で宇宙機の分散制御を実現するためにリアルタイム処理用CPU、リアルタイム通信、メモリ、IOを1つのLSIに集積したSoC (System-on-Chip)、及び当該SoC、DRAM、Flash、コネクタ等を集積した超小型基板であるSiP (System-in-Package)、更にはリアルタイムOS等の研究開発を行っています。

sRMTP (Space Responsive Multithreaded Processor)

分散リアルタイム処理用SoC

リアルタイム処理プロセッシングユニット *RMTPU*

- リアルタイム実行機構
- マルチメディア演算ユニット
- トレース機構
- 宇宙空間でも使用可能なDependable機構



sI/O Core (Space IO Core)

IO制御用プロセッサ

- 宇宙機のセンサ、アクチュエータなどの処理
- Dependable機構

Responsive Link

リアルタイム通信機構

- 通信のプリエンプション(優先度によるパケットの追い越し)
- パケットの加減速制御
- エラー訂正可能なline code

研究者名

山崎 信行 教授

お問合せ先

contact@ny.ics.keio.ac.jp
http://www.ny.ics.keio.ac.jp/



分散リアルタイム処理用プロセッサ

sRMTP (space Responsive Multithreaded Processor)

ハードウェアによるリアルタイム処理/通信(演算処理時間及び通信時間の保証)

リアルタイム処理/通信:

- 時間制約(デッドラインや周期)を優先度に変換
- 優先度に基づいてプリエンプシオンを行いながら処理/通信

分散リアルタイム処理に必要な機能を1チップに集積したSoC (System-on-Chip):

低消費電力機構: IPブロック単位の動的電圧周波数制御機構 (DVFS)

低消費電力セル (HighVt) と高性能セル (LowVt) を用いた複合設計

消費電力: 0.1~1W

1) リアルタイム処理用マルチスレッドプロセッサ: RMT PU (Processing Unit)

ハードウェアによるリアルタイム処理のサポート

- IPC制御機構

- 8スレッド同時実行優先度付きSMT
- 32エントリコンテキストキャッシュ
- 割り込みによるスレッド起床
- 2Dベクトル演算

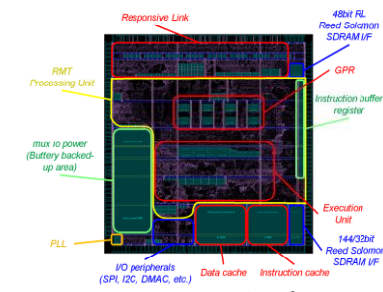
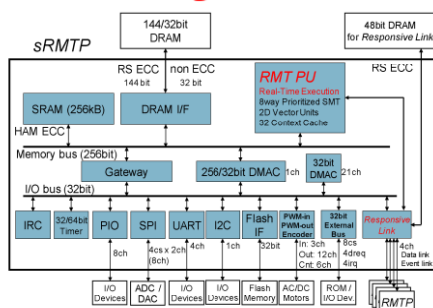
2) リアルタイム通信: Responsive Link

3) 制御用I/O: PWM output x 12, PWM input x 3

Pulse Counter x 6, SPI (4cs x 2ch) など

4) 宇宙空間でも使用可能なDependable機構

- ECC付きSRAM, キャッシュ: 1bit誤り訂正
- ECC付きSDRAM: 1byte誤り訂正
- 外部ピン制御によって全てのI/OのHiZ制御が可能
- N重冗長が可能
- MicroReset: 各I/Oを細粒度でReset可能



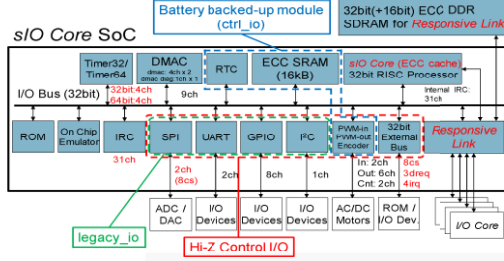
sRMTPのレイアウト

I/O 制御用プロセッサ I/O Core

- Flower Core (RMT PU 互換シングルプロセッサ)
- Responsive Link内蔵
- 共通のBtoBコネクタを持つ拡張基板をスタック可能

sI/O Core

- 宇宙機やロボット等制御用のI/O処理
- sRMTPのDependable機構と同様の機構を内蔵



sI/O Core SiP

背景	<p>アプリケーション(ロボット, 宇宙機など)のVLSIシステムへの要求</p> <ul style="list-style-type: none"> ・要求仕様(リアルタイム性, 演算量, 通信量, 消費電力, サイズなど) ・ディペンダビリティの要求定義(信頼性, 可用性, 安全性)
研究内容	<p>ソフトウェア及びハードウェア(アーキテクチャ)のコーデザイン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ソフトウェアで行うべき処理とハードウェアで行うべき処理の切り分け ・QoSを制御可能なRT-OS, スケジューラなどの研究開発 ・プロセッサアーキテクチャ, オンチップネットワーク, チップ間通信リンク, 動的電圧周波数制御 (RT-DVFS) の研究開発



Responsive Multithreaded Processor (RMTP)

RMT PU (Responsive Multithreaded Processing Unit)

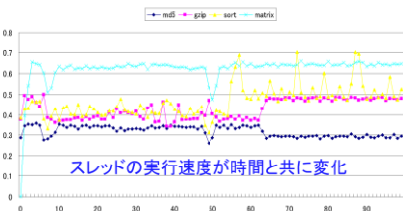
ハードウェアによるリアルタイム処理のサポート(演算処理時間及び通信時間の保証)

- 時間制約(デッドラインや周期)を優先度に変換
- 優先度に基づいてプリエンプションを行いながら処理/通信

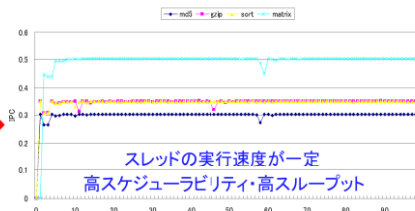
スケジューリング理論

1) IPC制御機構:スレッドごとの実行速度を制御
高トータルスループット・高スケジューラビリティ

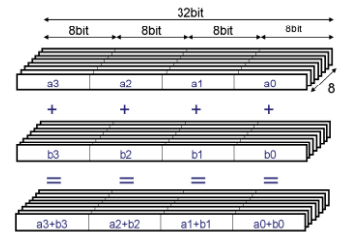
2) 2次元ベクトル演算器
256個の演算を1命令で実行可能
- 8bit Integer



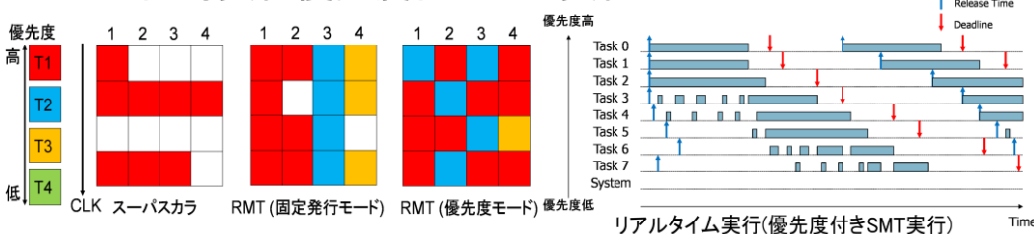
マルチスレッド実行 (IPC制御なし)



マルチスレッド実行 (IPC制御あり)

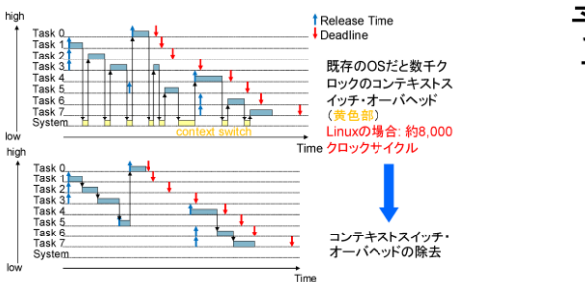


3) 8スレッド同時実行優先度付きSMT実行



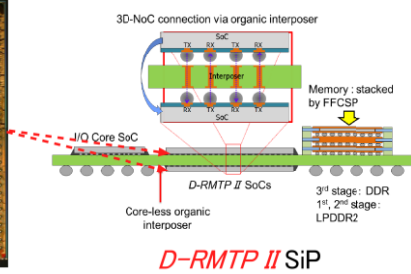
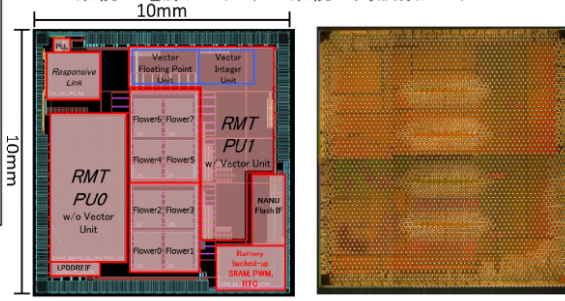
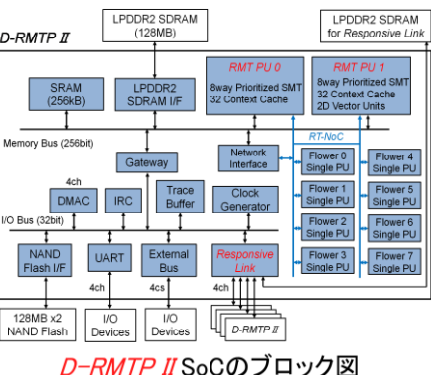
4) 32エン트리コンテキストキャッシュ 5) 割り込みによるスレッドの起床

予め起床させるスレッドと対応する割り込みを設定
→対応するスレッドが1クロックで起床



並列分散リアルタイム処理用マルチコアプロセッサ D-RMTP II (高性能版)

- ヘテロジニアス・マルチスレッド・マルチコア・プロセッサ
- 大 (RMT PU w/ vector) x1, 中 (RMT PU w/o vector) x1, 小 (Flower) x8
- 3次元RT-NoC: チップ内コアの接続, チップ間接続用バンプ
- 製造プロセス: TSMC 65nm
- 8系統の電源ドメイン, 20系統の周波数ドメイン





リアルタイム通信規格 *Responsive Link*

通信遅延を保証するリアルタイム通信

パケットの追い越しを実現したリアルタイム通信規格

リアルタイム通信

- End-to-Endの通信遅延を保証し、時間制約を満たす

通信遅延の保証

- 時間制約を優先度に変換
- リアルタイムスケジューリングアルゴリズムの応用
- ⇒ **タスクのプリエンプションに相当する機能**

通信におけるプリエンプション

- 優先度によるパケットの追い越し

1. 優先度によるパケットの追い越し

- 通信におけるプリエンプションを実現
 - 高優先度パケットは低優先度パケットを追い越し可能
- パケットの優先度を通信ノード毎に付け替え可能
 - パケットの追い越しを分散管理型で制御可能

2. データ通信とイベント通信の分離

- 固定パケットサイズ
 - データ通信: 64B
 - イベント通信: 16B
- ソフトリアルタイム(バンド幅保証) : 高スループット
- ハードリアルタイム(レイテンシ保証): 低遅延

リアルタイム通信におけるトレードオフ

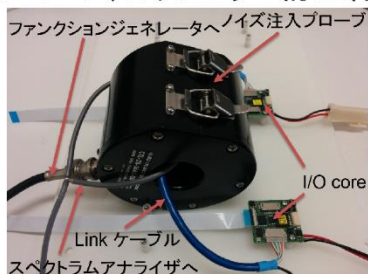
パケットサイズ	大	小
スループット	大	小
レイテンシ	大	小



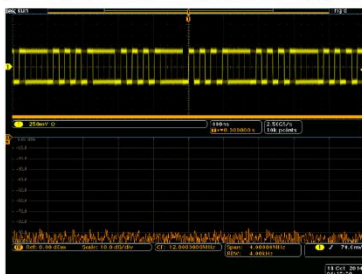
データリンクとイベントリンクの分離

4. 様々なコーデックの使用

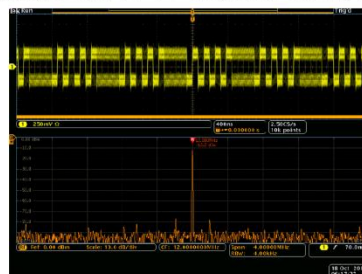
- ラインコード: Bitstuffing + NRZI, 8b10b, **4b10b** (1bitエラー訂正)
- ビットエラー訂正符号: Hamming (1bitエラー訂正) (8bit, 12bit), BCH (2bitエラー訂正) (8bit, 16bit)
- ブロックエラー訂正符号: Reed-Solomon (1byteエラー訂正) (4byte, 6byte)
- ラインコード、ビットエラー訂正符号、ブロックエラー訂正符号を通信環境に合わせて動的に選択可能



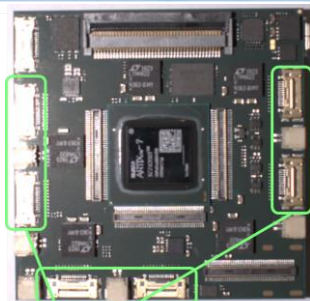
ノイズ耐性実験(Bitstuffing + NRZI)



ノイズなし: 0[V], 0[dBm]



可動最大ノイズ: 14[V], +17.5[dBm]

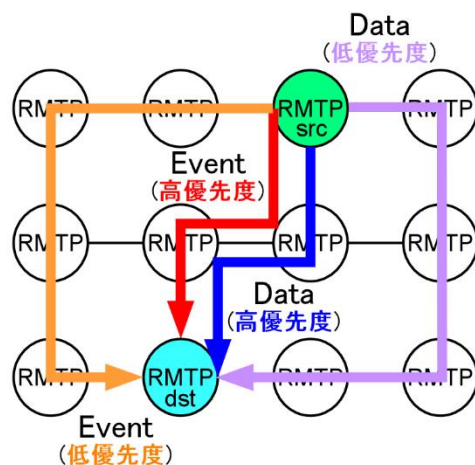


SRMTP SiP

Responsive Link I/F

3. 柔軟なルーティング

- データとイベントの独立したルーティング
- 全く同じネットワークアドレスを持つパケットの経路を優先度によって別々に設定可能
- トポロジーフリー
- Point-to-Point
- 分散管理型



Responsive Linkのルーティング



リアルタイム処理を実現するOS

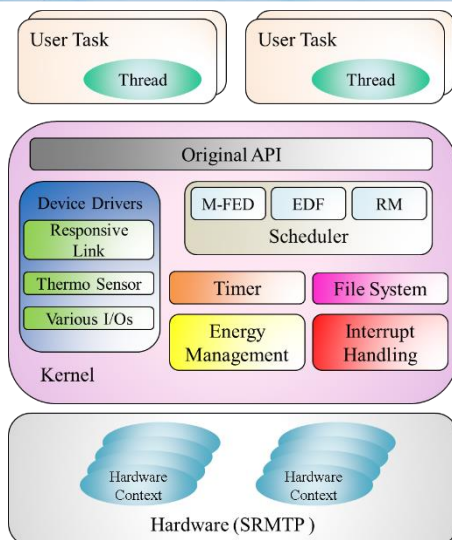
Favor OS

リアルタイム処理をサポートする専用OS

RMTPの専用機構を使用し高精度なリアルタイム処理をサポート

主な機能

- ・専用命令によるスレッド生成、コンテキストキャッシュの利用
- ・各種I/O用デバイスドライバ(UART, *Responsive Link*等)
- ・スケジューリングアルゴリズムによるタスク実行



リアルタイムスケジューリング

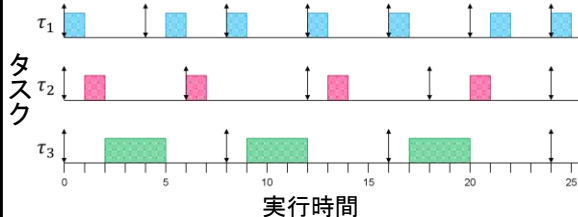
タスクの時間制約を優先度に変換し実行

スケジューリングアルゴリズムに沿ってOSがタスクをリリースし、リアルタイム性を実現

スケジューリングアルゴリズム

- EDF (Earliest Deadline First) - RM (Rate Monotonic)
- SS (Sporadic Server) - インプリサイス計算モデル

FAVOR OS



スケジューリング例

Release Time
到着時刻(実行開始可能時刻)

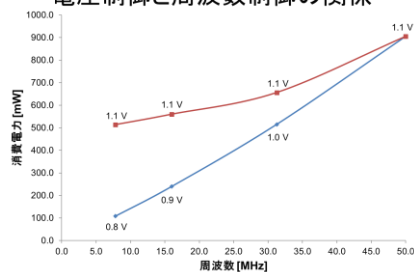
Deadline
締切時刻

タスク	最悪実行時間	周期
τ_1	1	4
τ_2	1	6
τ_3	3	8

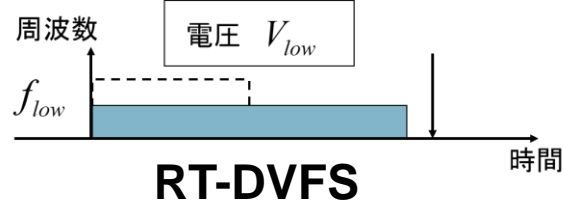
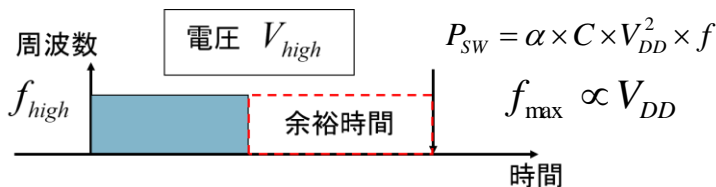
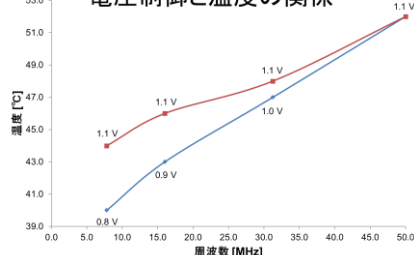
RT-DVFS

- ・リアルタイム性を保証した上で動的に供給電圧と動作周波数を制御し、消費電力を削減
- ・リアルタイム性と消費電力、双方に対して要求が存在する組み込みリアルタイムシステム独自の研究

電圧制御と周波数制御の関係



電圧制御と温度の関係



RT-DVFS