
NCESシンポジウム2022

IoT制御システムの信頼性と生産性の向上技術

2022年10月31日

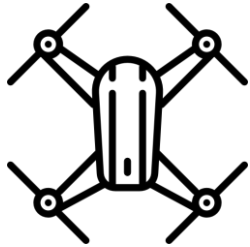
名古屋大学大学院 情報学研究科

附属組込みシステム研究センター

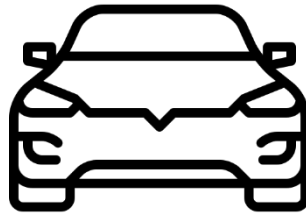
李 奕驍

背景

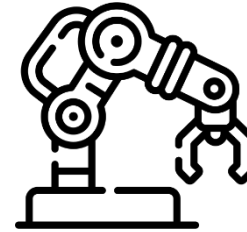
制御システムのIoT化に伴って、信頼性と生産性の向上が重要
主な研究対象：



ドローン



自動車



ロボット

組み込み向けソフトウェアプラットフォーム（SPF）の多様化

RTOSベースSPF
例：モータ制御

micro-ROS

Zephyr

ESP32

LinuxベースSPF
例：車載IVI

AGL

Linux

Raspberry Pi 4

Heterogeneous構成
例：高性能ドローン

PX4

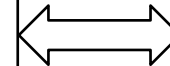
NuttX

STM32

ROS2

Linux

Jetson



研究活動

・保護機能付き高信頼RTOS

TOPPERS/HRP3カーネル（シングルコア向け）

- ・ uITRON系静的RTOS、動的生成機能、TECS部品化技術
- ・パーティショニング機能で不具合の波及を防止



マルチコア向け

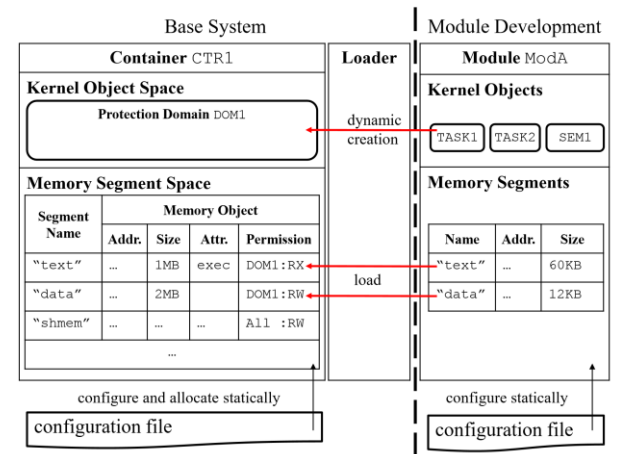
- ・ TOPPERS/HRMP3 : HRP3のマルチコア対応版
- ・ TOPPERS/ATK2-SC3-MC : 車載向けAUTOSAR Classic Platform仕様OS

HRP3ベースSPFの例（EV3RT）

- ・ ユーザアプリの不具合検出
- ・ 動的ローディング機能の実現（概要→）

ほかの活用方法について検討中

- ・ 飛行中ドローンの不具合からのリカバリ
- ・ Pub/Sub通信の高信頼化

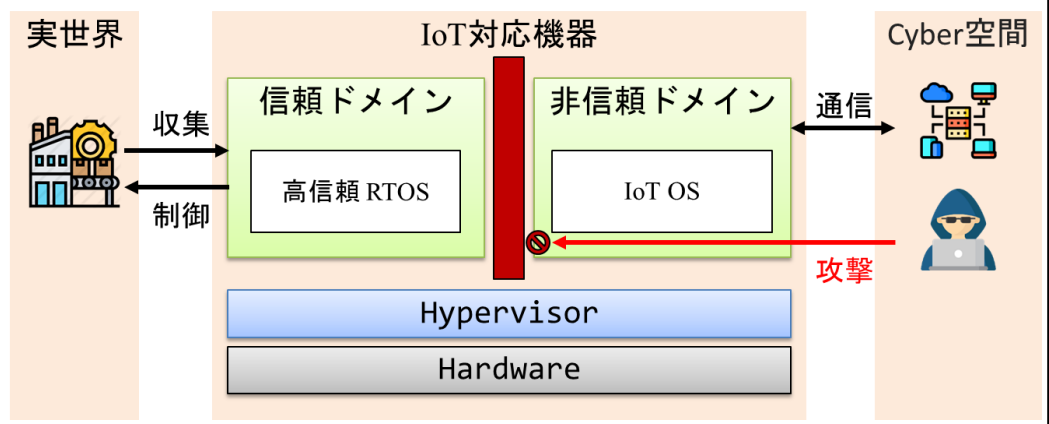


研究活動

・制約付きIoT機器向け軽量仮想化技術

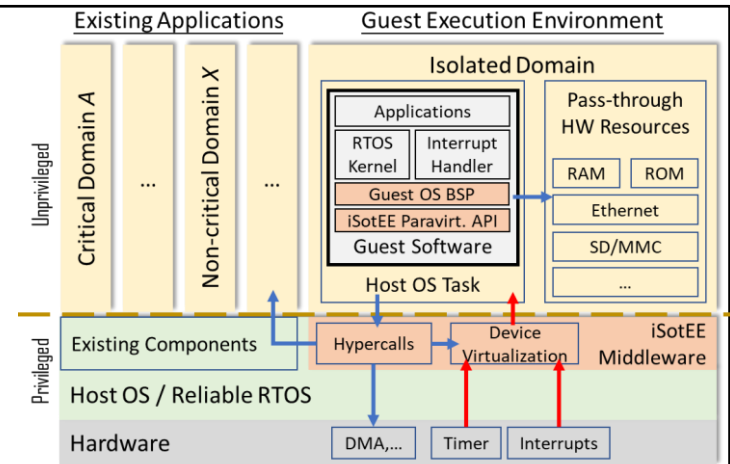
Dual OS構成

- ・信頼性と生産性の両立が可能
高信頼RTOS + IoT OS
- ・リソース制約が厳しいIoT機器の殆どはHW仮想化なく
既存手法でDual OS構築できず



iSotEE Hypervisor Middleware

- ・HRP3保護機能活用でHW仮想化支援が不要
Cortex-M4、Renesas RX等主流マイコン対応可
- ・信頼側はNative実行でリアルタイム性保証
予測可能なオーバヘッド（最大5%程度）
- ・IoT OSで豊富な通信ミドルウェアが使える
Unikernel（Library OS）風で性能向上



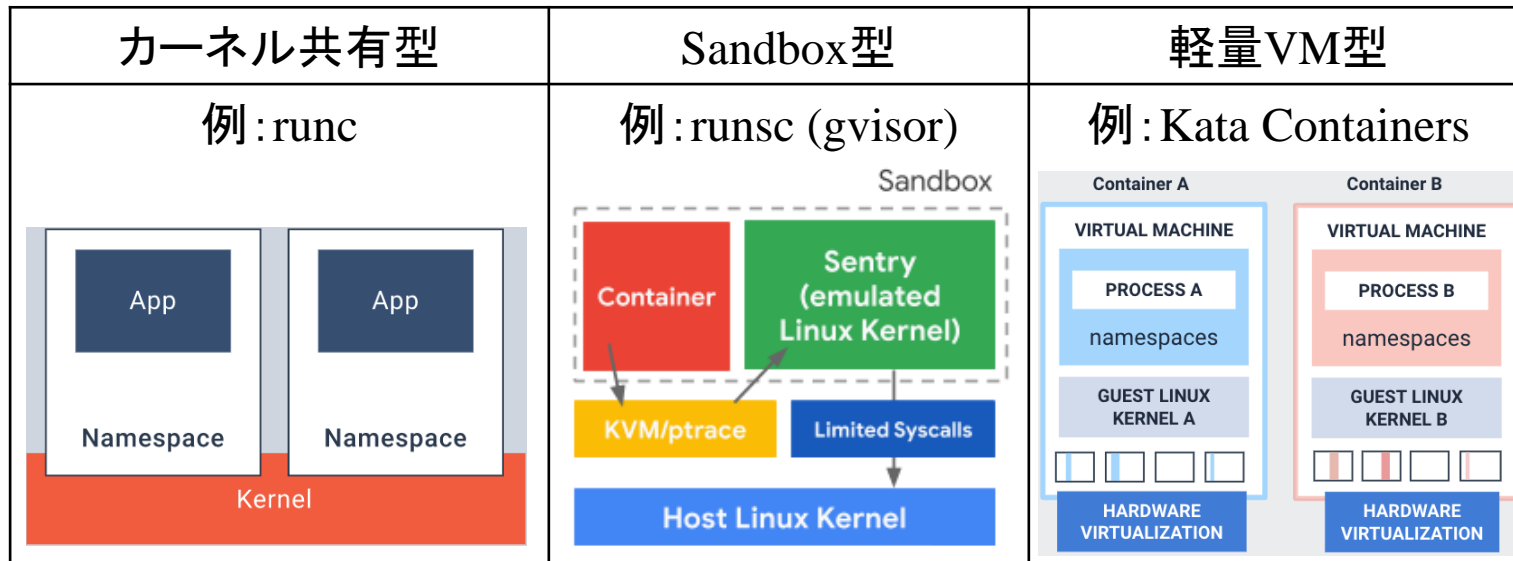
※ iSotEE: A Hypervisor Middleware for IoT-enabled Resource-constrained Reliable Systems, IEEE Access, Volume 10, 2022 (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144044>)

研究活動

・コンテナの性能・セキュリティ分析手法

OCI Runtime（低レベルランタイム）

- ・コンテナアーキテクチャ内、リソース分離を実現する部分
- ・実装によって性能・セキュリティの特性が大きく異なる



各種OCI Runtimeの量的評価手法の確立とツール開発

- ・アプリや環境の要件に合わせて最適なRuntimeが選択可能
- ・近年、伝統のカーネル共有型の脆弱性が深刻化 今年：CVE-2022-{0492,2588}

研究活動

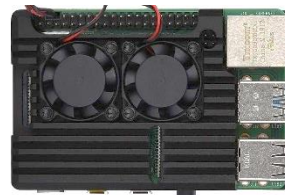
・省電力高性能ドローン開発基盤

高性能ドローン

- ・ 複雑な機能の実現に必要（自律飛行、位置推定、常時監視等）
- ・ 小型軽量化、省電力化がボトルネック

Flight Controller

- ・ リアルタイム制御
- ・ Cortex-Mマイコン



Companion Computer

- ・ 高性能処理、通信
- ・ 例：RasPi4、Jetson

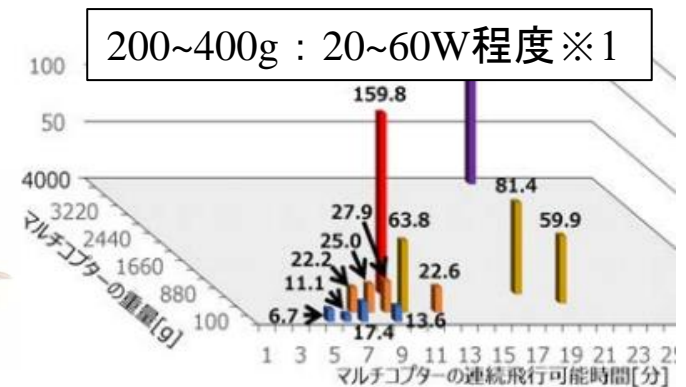
電力↑
発熱↑
重量↑

超低消費電力マイコンSony SPRESENSEをCompanion Computerに活用

- ・ 機能が豊富（無線、センサ、AI、GNSS）

	SPRESENSE	Raspberry Pi 4
CPU	6C / 156 MHz	4C / 1.5GHz
重量	25g(Ext付き)	170g(Case付き)
消費電力	102mW(※2)	6400mW(※3)

QAV250で試作中
約400g



※1: <https://www.ieice.org/publications/conference-FIT-DVDs/FIT2019/data/pdf/CC-003.pdf>

※2: <https://www.aps-web.jp/academy/amp/10632/> ※3: <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>

研究活動

• ロック設計・実装によるRTOS性能影響評価

組込みシステムのコア数が急速に増加中

- 多くの既存RTOSに課題あり
2~4コア程度と想定
スケールしないGiant Lock
公平でないTest-and-set実装
- OSの設計・実装によって
性能が大きく異なる可能性

用途	製品	コア数	アーキテクチャ
Edge Computing	NXP LX2160A	16	ARM Cortex-A72
	Kalray MPPA3-80	80	Kalray VLIW
Microcontroller	SONY SPRESENSE	6	ARM Cortex-M4F
	Infineon TC397	6	Infineon TriCore
	NXP S32S24	8	ARM Cortex-R52
	Renesas RH850/U2B	8	Renesas RH850

TOPPERS/FMPの評価実験で細粒度ロックの優位性を検証

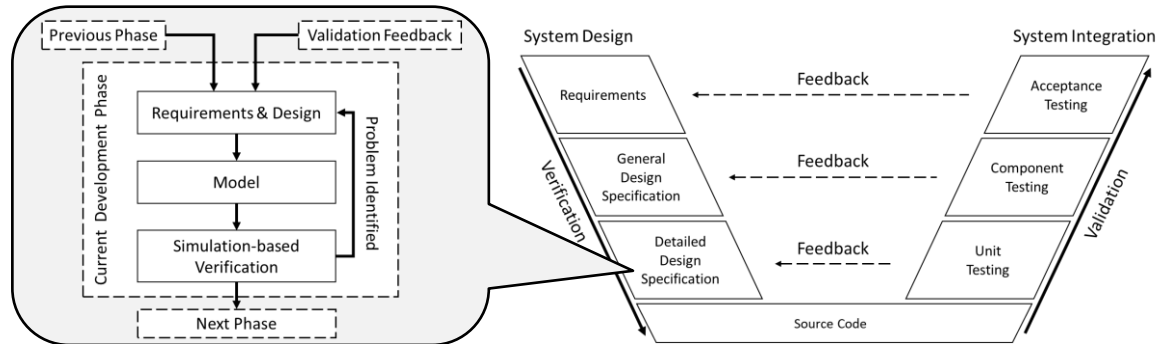
- 数少ない（唯一？）Giantと細粒度ロック両方対応のオープンソースRTOS
- ロック設計を考慮した実験設計
カーネルのソースコードを分析し、ロック獲得の実装パターンを整理
負荷の組み合わせで、様々な条件での性能特徴を計測
- 4コアでの評価が完了し、実験データを整理中
今後：手法のツール化、TOPPERS/FMP3の細粒度ロック対応の検討

研究活動

・シミュレーションで自動運転V&Vを改善

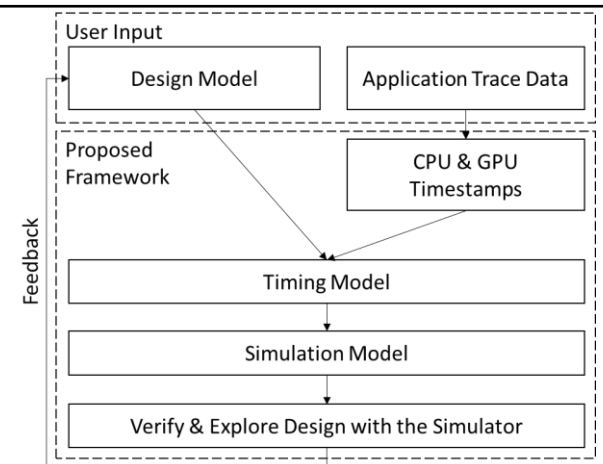
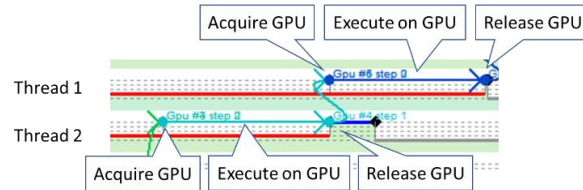
V&Vの効率化に問題の早期発見が重要

- ・シミュレーションは効果的な手法だが、複雑な自動運転アプリの高精度モデル作成は容易でない



計測データを活用したシミュレーション手法

- ・入力：設計モデル、アプリ実行トレースデータ
- ・商用シミュレータchronSIMのモデル生成を実装
実行時間分布とGPU処理を対応できるように拡張
- ・高精度モデルで設計と実装が不一致の問題を特定できた



※ Agile Software Design Verification and Validation (V&V) for Automated Driving, FISITA Web Congress 2020 (<https://www.fisita.com/library/fisita-world-congress/2020/f2020-ves-017>)

-
- ご清聴ありがとうございました