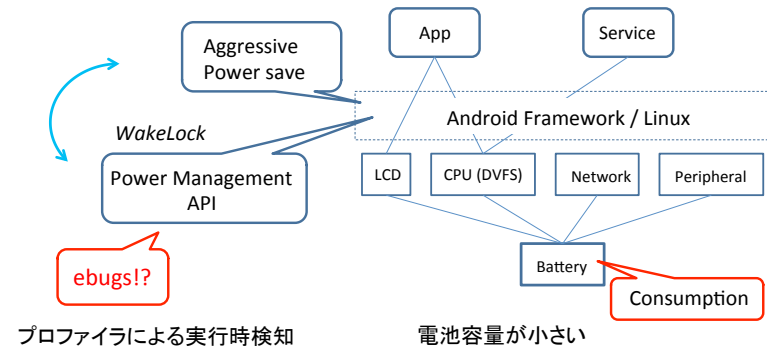


企画セッション「スマートタブレットの省電力」 ソフトウェア工学からみた電力消費の問題

中島 震
国立情報学研究所, 東京

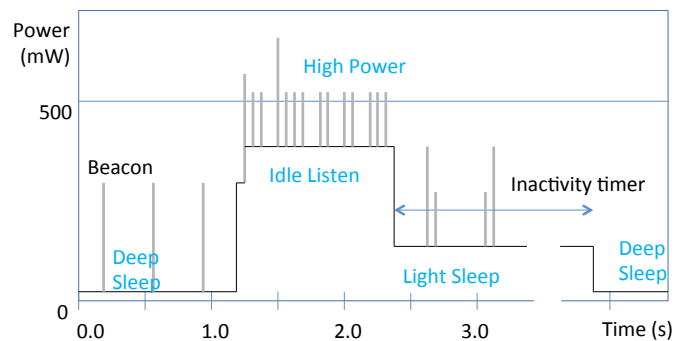
アンドロイド・フレームワーク

A Pathak et al, Hotnets'11 (2011) : ebugs = energy bugs



エネルギー消費の例

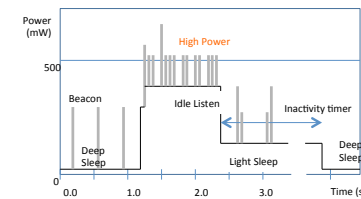
Wi-Fi STA パワーセーブ・モード



J. Manweiler and R.R. Choudhury, MobiSys'11, (2011)

電力消費の振る舞い

電力消費測定結果の例

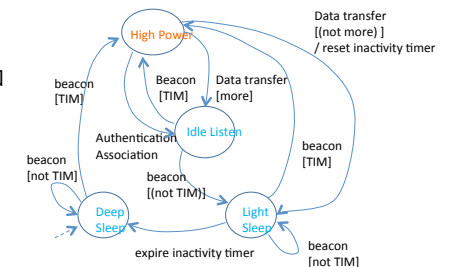


「電力状態」間の状態遷移

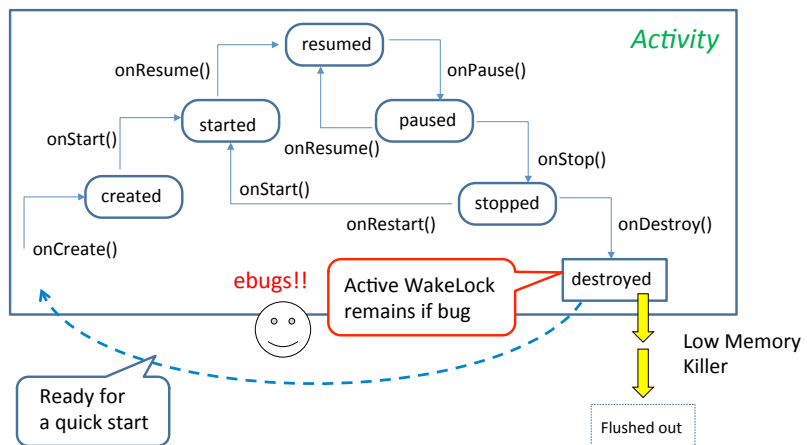
消費電力 = 状態遷移列に沿って総和

$$P_{st}^j = M_{st} \times (t^{j+1} - t^j)$$

$$P = \sum_j P_{st}^j$$



アプリ実行と非同期



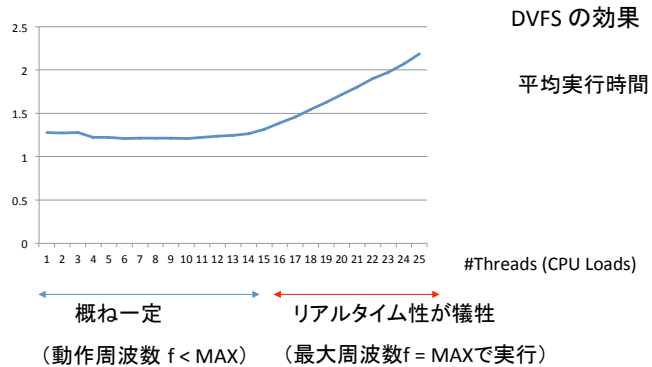
電力バグの検知

- プロファイラによる方法
 - プログラム実行による実測
 - 性能測定の方法を応用
- いくつかの問題点
 - 電力消費はプログラム実行と非同期: FWKの改造
 - カバレッジの問題: テスティングと同様
 - APIの誤使用: 本質的には、設計の不具合
 - 実行・測定環境の影響

A Pathak et al, EuroSys 2012
L.Zhang et al, CODES+ISSS 2012

実行負荷の変化

Nexus 7 (2012 Model) ... NVIDIA Tegra3 (ARM Cores)

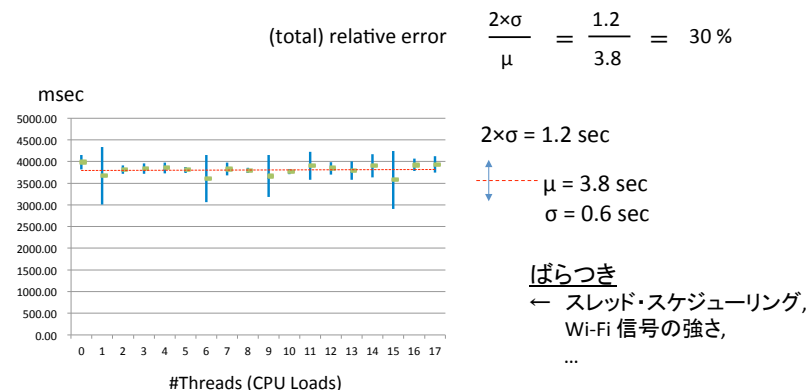


DVFS の効果
平均実行時間

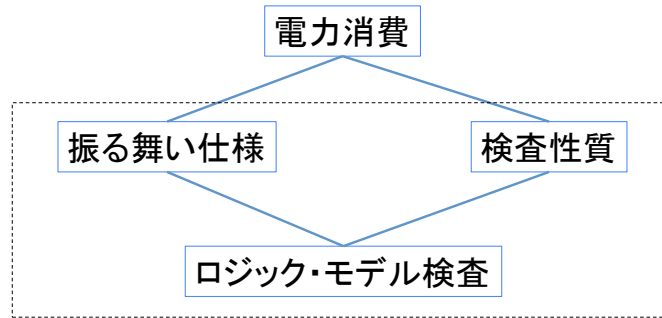
中島: 信学会SIGSS 2014.3

実行時間の測定

Wi-Fi アプリケーションの実行時間 (CPU 負荷に対する変化)



モデルベースの解析

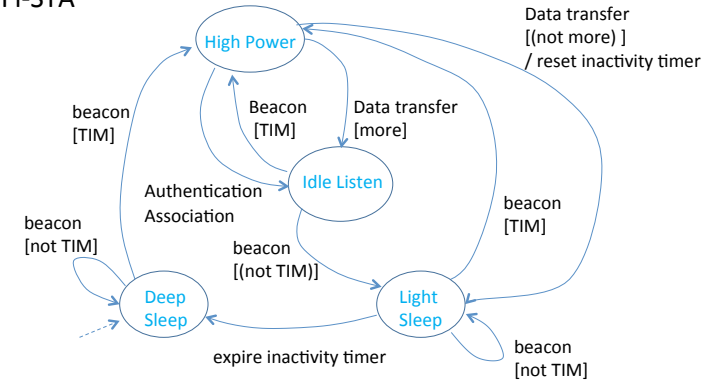


中島: 情処SIGEMB 2013.9
 中島: 情処SIGEMB 2014.9

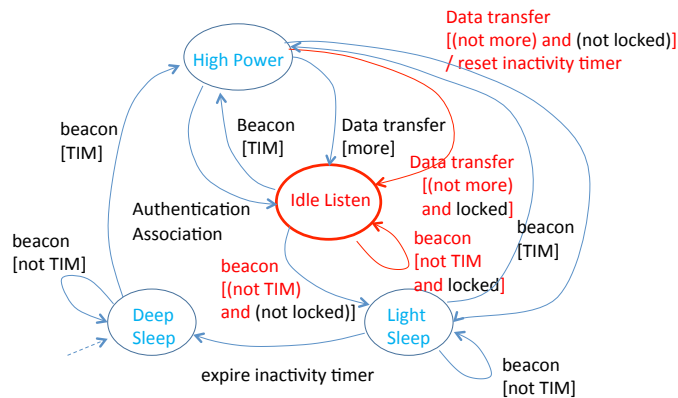
電力消費オートマトン(PCA)

S. Nakajima, ACES-MB'13, (2013)

WiFi-STA



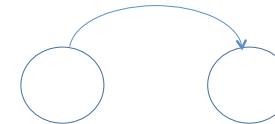
Wi-Fi STA with WiFiLock



電力消費オートマトンの形式化

- 表現したいこと
 - 離散遷移 + タイマ・タイムアウト
 - 状態で電力消費
 - 単位時間あたりの電力消費 M
 - => 滞留時間 Δt の時、 $M * \Delta t$

edge <label, guard, update >



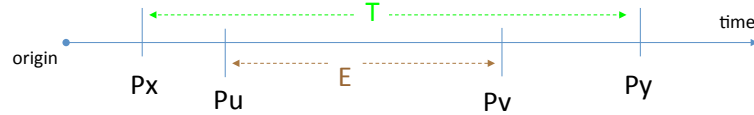
$$dP_{st}/dt = M_{st}$$

中島: 日本ソフト科学会 2014.9

検査性質

有界時間区間でのコスト制約問題

(何らかの方法で指定された)有界時間区間 (T)での電力消費(E)は？



簡単な例として、 $P_x = P_u$ 、 $P_y = P_v$ とすると

有界な区間 $\langle \rangle (\text{IdleListen} \wedge \langle \rangle (\text{expire}))$

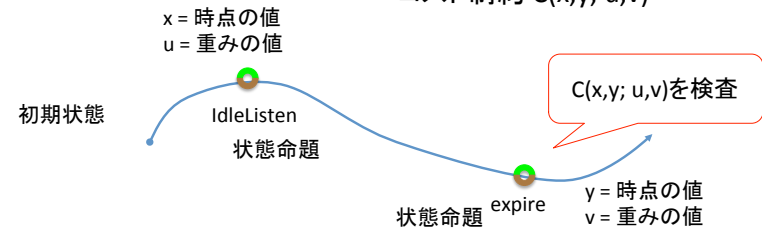
$(0 < T(\text{IdleListen}, \text{expire}) \leq 1000) \wedge (0 < E(\text{IdleListen}, \text{expire}) \leq 50)$

fWLTL: 凍結限量子を持つLTLで表現

fWLTL検査式の例

$\langle \rangle F^x.F^m u. (\text{IdleListen} \wedge \langle \rangle F^y.F^m v. (\text{expire} \wedge (x < y \leq x + 1000) \wedge (u < v \leq u + 50)))$

コスト制約 $C(x,y; u,v)$



解析の方法

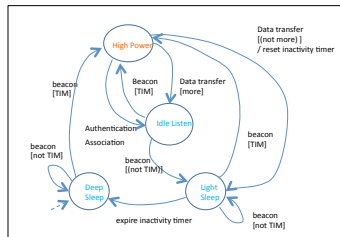
ロジック・モデル検査

限量変数の束縛環境

$A, \Gamma \models \psi$

PCA振る舞い記述

fWLTL論理式



$\langle \rangle F^x.F^m u. (\text{IdleListen} \wedge \langle \rangle F^y.F^m v. (\text{expire} \wedge (x < y \leq x + 1000) \wedge (u < v \leq u + 50)))$

参考:リアルタイム時相論理

LTL

$\Box (\text{IdleListen} \rightarrow \langle \rangle \text{expire})$

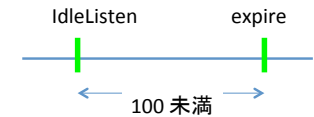
MTL

$\Box (\text{IdleListen} \rightarrow \langle \rangle \{<100\} \text{expire})$

TPTL

$\Box (F^x. \text{IdleListen} \rightarrow \langle \rangle F^y. (\text{expire} \wedge (x < y < x + 100)))$

fWLTL はTPTLの拡張



参考:UPPAAL

- 振る舞い記述
 - 時間オートマトン (Safety Timed Automaton)
クロック変数 X : $dx/dt = 1$
- 検査性質
 - TCTLのサブクラス
 - $A[] p(X), E<> p(X), A<> p(X), E[] p(X), A[](\rho(X) \rightarrow A<> q(X))$
- 検証アルゴリズム
 - 記号モデル検査 : 検査式ごとのアルゴリズム

モデル検査問題の複雑さ

知られている事実いくつか: 決定可能性

Metric Temporal Logic のモデル検査 (Timed Automata) : 離散時間のみ可能
TPTL (= LTL + 時点に関する凍結限量子 F^x) は MTL を含む
ConstraintLTL (F^x と F^m_u の両方) : 離散時間かつ等号制約のみ可能

→ PCA/fWLTL のモデル検査は決定不能

困難さの主な理由

連続時間 → 無限の状態
コスト制約の表現力
凍結限量子の場所

おわりに

- 電力消費の問題
 - ロジック・モデル検査として定式化
 - 表現力が大きいことから決定不能
 - 最近の研究 → 自動検査
 - fWLTLのサブセット
 - 検査パターンの限定
 - Cyber-Physical Systems (CPS)
 - 連続量・不確定な量の取り扱い
 - 電力消費の問題 → CPSの特徴
- 中島: 信学会SIGSS 2014.10