

# 超低消費電力組み込みソフトウェアプラットフォーム：TK-SLP (T-Kernel Super-Low Power)の研究開発 (115103011)

## TK-SLP: Super Low Power Embedded Software Platform

### 研究代表者

坂村 健 株式会社横須賀テレコムリサーチパーク  
Ken Sakamura Yokosuka Telecom Research Park

### 研究分担者

越塚 登† 石川 千秋† 鶴坂 智則† 恩本 浩二† 神尾 真人† 小林 真輔†  
新堂 克徳† 中西 奏† 中村 圭一† 矢代 武嗣† 由良 修二† 渡邊 徹志†

†株式会社横須賀テレコムリサーチパーク  
†Yokosuka Telecom Research Park

研究期間 平成 23 年度～平成 25 年度

## 概要

本研究では、組み込みシステム全体の省電力化をする組み込みソフトウェアプラットフォーム"TK-SLP (T-Kernel Super Low Power)"を実現した。TK-SLP は、電子ペーパー (EPD) 向け GUI ツールキットや機器消費電力のモニタリング機能、デマンドフィードバックといった、機器の省電力化に有効な機能を備え、それらをアプリケーションソフトウェアから簡便に利用可能にする省電力 API を提供する。

### 1. まえがき

近年、IoT (Internet of Things) 時代となり、一兆個もの膨大なコンピュータノードがインターネットに接続されるとも言われており、これらのノードである組み込みコンピュータシステムの省電力化は、社会的に大きな課題となっている。この問題に対して、ハードウェアや OS による、個々の組み込み機器を省電力化するハードウェア技術や OS 技術には多くの取組みがある。一方、IoT と言われるように、今日の組み込み機器はネットワーク接続され、分散システムを構成する要素となっており、ノード単体ではなく、分散システム全体での省電力化が求められている。そのため、アプリケーションレベルやユーザインタフェースレベルでも省電力機能を実現することが有効である。

そこで、本研究ではアプリケーションやユーザインタフェースという高いレイヤにおいて省電力を実現するために、以下の 3 機能を対象とした。第一は、GUI を省電力化するための、EPD (Electronic Paper Display、電子ペーパー) による GUI 機能である。第二は、利用者の節電操作を促進するための消費電力の見える化に用いる、消費電力モニタリング機能である。第三は、システム全体の電力消費状況に応じて自動電源オフ等を行うための、デマンドフィードバック機能である。

本研究では、これらの機能をアプリケーションプログラマが簡単に利用できる API を提供する、組み込み機器向けの省電力システム開発プラットフォーム、"TK-SLP (T-Kernel Super Low Power)"を開発した。特に、GUI 機能では、LCD (Liquid Crystal Display、液晶ディスプレイ) 用の GUI を実現するアプリケーションプログラムのソースコードを変更せずに EPD 向けの GUI を実現できる点が特長である。

## 2. 研究開発内容及び成果

### 2.1. T-Kernel SLP の全体構成

T-Kernel SLP は、OS 拡張部の上位に、GUI 機能を司る Qt (キョウト) モジュール、消費電力モニタリング機能を司る Power Manager、デマンドフィードバック機能

を実現する Context Manager を持つ (図 1)。以下、各機能について述べる。

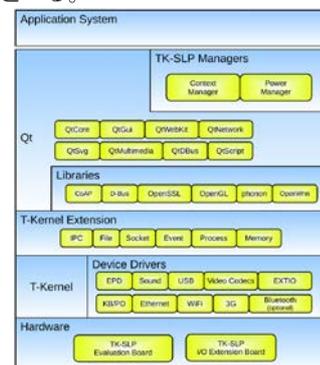


図 1 T-Kernel SLP のソフトウェア構成

### 2.2. EPD による GUI 機能

EPD は、超低消費電力特性をもつデバイスとして着目されている。一方、EPD は LCD のように画面更新が素早くないため、EPD を利用した GUI ソフトウェアを既存の LCD 向け GUI ツールキットを利用して構築した場合、画面のちらつきが多発し実用的なシステムにならない。

この問題を解決するために、我々は、まず既存の様々なプラットフォームにおける GUI の動向について調査し、得られた知見をもとに、EPD に適した GUI の操作仕様書を作成した。続いて、「Qt Embedded」をベースとして、GUI 機能を実現した。これは、Qt が、クロスプラットフォーム GUI ツールキットとして広く利用されており、デスクトップアプリケーションのみならず、組み込みシステムにおける長い実績を持つためである。Qt の API をベースとして GUI 機能を実現することにより、完全に新しい API セットを提供するよりも高いコードの再利用性や低い教育コストを実現できる。この Qt Embedded に EPD 用デバイスドライバと EPD 向けのスクリーンクラス、およびスタイルクラスを追加することにより、開発者がコンパイルし直すことなく、LCD 向けの画面制御やルック&フィールを EPD 向けに変更できるようにした。

## 2.3. 消費電力モニタリング機能

我々は、消費電力モニタリング機能を、M2M (Machine-to-Machine) の考え方に基づいた、ネットワーク指向で機器の消費電力を管理することにより実現した。消費電力モニタリング機能は、組み込み機器の Power Manager、その電力制御や消費電力に関する情報を管理するクラウドサーバ、クラウドサーバを利用して電力の見える化・電力制御を行うためのユーザインタフェースを提供するアプリケーションの 3 つのコンポーネントからなる。それぞれのコンポーネント間を、HTTP または CoAP<sup>1</sup> (Constrained Application Protocol) に基づいて通信するように設計した。たとえば、エアコンに対して CoAP でパス名 "/temperature" の GET メソッドを発行すると現在の温度設定を取得でき、PUT メソッドを発行して温度設定を書き込むと温度設定を外部から変更できる。

組み込み機器内の Power Manager は、ファイルシステムにおける VFS (Virtual File System) の層に相当する機能を CoAP プロトコルによるデバイス制御として実現した。このため、エネルギー管理マネージャを利用するために開発者がすべきことは、CoAP における GET、PUT、POST メソッド要求時の処理を示すコールバック関数を実装してシステムに登録するだけである。

## 2.4. デマンドフィードバック機能

我々は、Context Manager が提供するデマンドフィードバック機能の挙動方針を記述するために、ポリシー記述言語「TK-PML (Power Management Language)」を設計した。条件に応じた挙動など、きめ細かい省電力制御を記述するために、TK-PML に一般的な関数型言語と同様の表現力を持つプログラム記述を導入した。これにより、システム運用者は、通常電源の供給有無や内蔵バッテリーの残量に応じて、無線 LAN アクセスポイントの電源供給可否や接続可能な端末数を制御できる。

TK-PML によるポリシー記述の例を以下に示す。右側の define @wifi = ... の部分が WiFi デバイスの省電力制御内容を決定するポリシーである。ここで注目すべきは、定義式中出现する mode であり、この定義は、前半部分の定義を参照している。

```
define mode =
  cond {
    $extpower -> "usual"
    | $solar && $batt >= 70
      -> "level_1"
    | $batt >= 50 -> "level_2"
    | $batt >= 30 -> "level_3"
    | true -> "critical"
  }

define @wifi =
  match (mode) {
    "usual" -> {power: true,
maxconn: 20}
    | "level_1" | "level_2" ->
{power:true, maxconn: 5}
    | _ when $batt >= 10 -> {power:
true, maxconn: 1}
    | _ -> {power: false}
  }
```

図 2 TK-PML によるポリシー記述の例

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発の成果である TK-SLP は、災害時の情報提供端末に適用できる。災害時には電力供給が不安定になり、電力会社からの電力供給が途絶える可能性もある。そのような環境下での TK-SLP の効果を検証するため、横須賀市が設置した防災情報ステーション端末 (図 2) に TK-SLP を導入し、評価を行った。図 2 設置端末 TK-PML に基づいて機器の電源制御を



図 2 設置端末

記述し、状況に応じて通常時の 1/2~1/5 の消費電力で防災情報ステーションを稼働させられることを確認した。

## 4. むすび

本研究開発では、GUI 機能、消費電力モニタリング機能を、デマンドフィードバック機能の 3 機能をアプリケーションプログラマが簡単に利用できる API を提供する、組み込み機器向けの省電力システム開発プラットフォーム、TK-SLP を開発した。GUI 機能は Qt Embedded に、消費電力モニタリング機能は HTTP と CoAP に基づいているが、いずれも開発者がこれらの技術を意識せずに使えるように構築した。また、デマンドフィードバック機能を実現するために、きめ細かい省電力制御を記述するための言語 TK-PML を設計し、それに基づき各機器を制御する Context Manager を実現した。

本研究開発の成果を防災分野に展開させるために、防災情報ステーション端末に TK-SLP を評価導入し、電源供給状況に応じて消費電力を 1/2~1/5 に抑えられることを確認した。

本研究開発の成果を展開するには、技術者に対する教育が欠かせないと考える。今後は、技術者向けセミナー等を通じた普及啓発に務めたい。

### 【誌上发表リスト】

- [1] Takeshi Yashiro, Tomoki Ban, Shinsuke Kobayashi, Noboru Koshizuka, and Ken Sakamura, "A Framework for Context-Aware Power Management on Embedded Devices", The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012), pp.588-592 (2012年10月4日)
- [2] Takeshi Yashiro, Shinsuke Kobayashi, Noboru Koshizuka, and Ken Sakamura, "A Software HEMS Framework for Consumer Electronics", Proc. IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2013), pp.229-230. (2013年10月2日)
- [3] Takeshi Yashiro, Shinsuke Kobayashi, Noboru Koshizuka, and Ken Sakamura, "A Framework for Inter-Connecting Objects in Smart Homes and Cities", The 1st International Conference on Civil and Building Engineering Informatics. (2013年11月8日)

### 【申請特許リスト】

- [1] 矢代武嗣、小林真輔、坂村 健。電子機器、電源制御方法、及びプログラム。日本、2013年6月27日。
- [2] 矢代武嗣、小林真輔、坂村 健。画像処理装置、電気泳動表示装置、画像処理方法、及びプログラム。日本、2013年6月27日。

### 【国際標準提案リスト】

- [1] T-Engine フォーラム、TEF020-S004、µT-Kernel 2.0 仕様書、2013年7月18日提案、2013年12月24日採択。
- [2] T-Engine フォーラム、ucode 解決プロトコル 2.0 仕様書、2013年12月26日提案。

### 【報道掲載リスト】

- [1] "横須賀市が YRP の T-Kernel SLP による「防災情報ステーション」を採用"、日刊アメリバニユース、(2014年3月19日)。
- [2] "超低消費電力・長時間動作が可能な情報の砦—横須賀市の「防災情報ステーション」に T-Kernel が搭載"、ASCII.jp、2014年3月19日。
- [3] "横須賀市が YRP の T-Kernel SLP による「防災情報ステーション」を採用"、インターネットコム、2014年3月19日。

<sup>1</sup> Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann. "The Constrained Application Protocol (CoAP)," RFC 7252, 2014.