

# アジャイル環境センシングシステム構築に向けた FPGA 遠隔再構成機能の実装

中後 和希<sup>†</sup> 大村 廉<sup>†</sup> 岸野 泰恵<sup>‡</sup> 須山 敬之<sup>‡</sup>

豊橋技術科学大学<sup>†</sup> NTT コミュニケーション科学基礎研究所<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

近年、生物の生態調査などを目的とした、センサネットワークを用いた環境モニタリングが広くおこなわれている。しかし、そのような環境センシングでは、分析目的や必要となる処理が事前に明確となっていない場合が多く、センサネットワークの運用に伴ってハードウェアとソフトウェアを更新していく必要がある。このような状況において、センシングシステムの更新を容易におこなうことができるよう、センサネットワークにおけるアジャイル開発環境が注目されている<sup>[1]</sup>。

一方、センサネットワークにおいても画像認識といった高度な処理を要求されるケースが増えてきている。電池などの限られた電力で動作するセンサノードの CPU で負荷の高い処理をおこなうと、センサノードの寿命を大幅に減少させることになる。この問題に対処するため、センサネットワークに FPGA を導入し、処理の一部をハードウェア化することが考えられる。更新可能な FPGA を導入することで、アジャイル開発の性質を維持しつつ、処理の高速化や低消費電力化が期待できる。

しかし、環境センシングは遠隔地で実施されることも多く、遠隔地にある FPGA の再構成を手作業で実施することは困難である。FPGA を含むセンサネットワークの柔軟な運用を可能にするには、遠隔操作によって FPGA の再構成を実施するシステムが必要である。

そこで本研究では、環境センシングにおけるアジャイル開発を支援する先行研究<sup>[1]</sup>による既存システムを基盤としつつ、FPGA を含むセンサネットワークの運用を容易にするための FPGA 遠隔再構成機能の実装をおこなった。

## 2. 関連研究

Shirai らは、野生動物の生態調査を目的とした継続的な監視および記録を可能にするため、分散センサを用いたネットワークベースの環境センシングシステムを開発している<sup>[1]</sup>。その基盤システムにはセンサノード用小型仮想マシン CILIX<sup>[2]</sup>を使用している。仮想マシンによりハードウェアの差異を吸収することで、移植性の高いセンサアプリケーションの作成を可能にした。同研究は、画像認識などの低性能なセンサノードでは実行困難な処理を FPGA ベースのセンサノード上に実装することを提案しており、実際に開発とテストをおこなっている。しかし、FPGA に実装される機能に再構成の必要が生じた際、遠隔地にある FPGA を手作業で再構成することは困難である。そのために、遠隔操作により FPGA を再構成するシステムが必要となる。

遠隔操作によるインターネットを介した FPGA 遠隔再構成システムの設計と実装をおこなった研究として永田らの研究がある<sup>[3]</sup>。このシステムはローカルマシン、データベースサーバ、FPGA の再構成を担当するコンフィグレータ、FPGA で構成される。コンフィグレーションデータはデータベースサーバ上にアップロードされ、コンフィグレータは HTTP 通信を用いてデータベースサーバからコンフィグレーションデータをダウンロードし FPGA を再構成する。

本研究では、この FPGA 遠隔再構成システムを参考にしつつ、システムを単純化しローカルマシンと FPGA 搭載ボードのみで構成されるシステムを実装した。

## 3. 実験機材

本研究で用いた FPGA 搭載ボードである Zybo Z7 の詳細を表 1 に示す。開発と実験はこのボードを対象としておこなった。

表 1 対象とする FPGA 搭載ボードの詳細

ボード	Zybo Z7-10
SoC	Zynq-7010
CPU	ARM Cortex-A9

Implementation of FPGA Remote Reconfiguration for Agile Environmental Sensing System

<sup>†</sup> Kazuki Chugo, Toyohashi University of Technology

<sup>†</sup> Ren Ohmura, Toyohashi University of Technology

<sup>‡</sup> Yasue Kishino, NTT Communication Science Labs.

<sup>‡</sup> Takayuki Suyama, NTT Communication Science Labs.

## 4. システム概要

### 4.1. 仮想マシン CILIX の移植

本研究では、まず、環境センシングシステムの基盤システムである仮想マシン CILIX を Zybo Z7 向けに移植した。

CILIX 実装はインタプリタ部分とランタイム部分から成る。特に本研究では、デバイス依存の処理を担うランタイム部分を Zybo Z7 向けに再実装した。CILIX 上で動作させるセンサアプリケーションから標準出力やファイルの読み書きを可能にするため、CILIX ランタイムに UART や SD カードのデバイスドライバを組み込んだ。

移植作業の後、簡易実験をおこない、センサアプリケーションから標準出力などを適切に実行できることを確認した。

### 4.2. FPGA 遠隔再構成機能の概要

本研究では、FPGA 搭載ボード Zybo Z7 を対象に、遠隔操作により FPGA の再構成を実行するシステムを開発した。

本システムでは、再構成要求を出すローカルマシン側が HTTP クライアント、再構成対象の FPGA 搭載ボード側が HTTP サーバとなり、インターネットを介してコンフィグレーションデータを転送する。将来的にセンサノードの設定や機能呼び出しを RESTful におこなうことを想定し、FPGA 搭載ボード側をサーバとした。

FPGA 構成時、ローカルマシンは FPGA 搭載ボードに対し、コンフィグレーションデータを含めた HTTP リクエストを送信する。HTTP サーバは、受け取った TCP パケットから HTTP リクエストを構築し、リクエストに含まれるコンフィグレーションデータを基に、デバイスドライバを介して自身の FPGA を再構成する。

### 4.3. システムの実装

本システムの構成を図 1 に示す。移植した CILIX と FPGA 遠隔再構成機能は、Zybo Z7 上で実行する組込みアプリケーションに組み込んだ。FPGA 遠隔再構成機能の主要部分である HTTP サーバについては、ベアメタル環境で動作するように実装し、実装には C 言語を用いた。その基盤となる TCP/IP スタックには、オープンソースの lwIP (Lightweight IP) ライブラリを使用した。

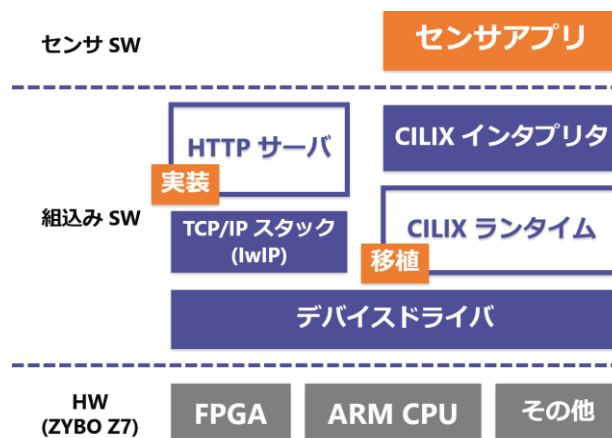


図 1 システム構成

## 5. 実験

動作検証のため、Zybo Z7 に積載されている LED を制御する FPGA 回路を作成し、本システムを使ってインターネットを介した再構成ができるか実験した。実験では、curl コマンドを用いて、ローカルマシンから LED 制御回路のコンフィグレーションデータを HTTP 通信で FPGA 搭載ボードに送信した。その結果、実際に FPGA の再構成が適切におこなわれることを確認した。

## 6. まとめ

本研究では、環境センシングにおけるアジャイル開発の実施を支援するためのシステムの構築を目的とし、FPGA 搭載ボード Zybo Z7 を対象に、センサノード用小型仮想マシン CILIX の移植と、FPGA 遠隔再構成機能の実装をおこなった。これにより、センサノード上の FPGA で実行される高度な処理の更新が可能になった。

今後は、センサノードの設定や機能呼び出しを RESTful におこなうための機能を開発する。

## 参考文献

- [1] Y. Shirai, Y. Kishino, S. Mizutani, Y. Yanagisawa, T. Suyama, T. Otsuka, T. Kitagawa, F. Naya: "Incremental Environmental Monitoring for Revealing the Ecology of Endangered Fish", IEICE Transactions on Communications, Vol. E101.B, No. 10, pp. 2070-2082, 2018.
- [2] Y. Yanagisawa et al., "CILIX: A CIL Virtual Machine for Wireless Sensor Devices," Proc. Int'l Conf. Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA), 2014, pp. 248-254.
- [3] 永田和生, 原田英雄, 牛嶋和行, 久我守弘, 末吉敏則. FPGA 遠隔再構成システムの設計と実装. 電子情報通信学会論文誌 D. 2007, Vol. J90-D, No. 6, pp. 1357-1366.