

# FPAAおよびFPGAベースの汎用センサー ノード設計



## ード設計

著者：アヤンガ・カルパハナ、ニサル・ヘマダサ、ニブン・ウィジエラトネ、アヌランガ・ラナ  
シング、アジス・パスカル

スリランカ

2017年12月6日

# 背景

生態系の特性を決定するための従来の実験手法に代わるものは、何千人の環境研究者、科学者、技術者にとって切実な要求である[1]

- アナログセンサーは、従来の実験室設備と同等の精度でパラメータを測定する能力を有している
- しかし、利用可能なアナログセンサーインターフェースの大半は、一度に特定のアプリケーションのみをサポートしている
- 主な理由は、電圧、電流、容量性、抵抗性など、異なるタイプのセンサー出力信号が存在することです。
- 理想的には、ユニバーサルアナログセンサーベースステーションアーキテクチャをサポートするシステムが望ましい

# 問題の定義

- 主にマイクロシステムレベルで観察される
- FPAAとマイクロコントローラに基づくプログラム可能なスマートセンシングプラットフォーム[4]
  - しかし将来の拡張実装におけるスケーラビリティと互換性に制限がある
- FPAAとFPGAを用いた気象監視向けASIC設計の実装[5]
  - 固定アーキテクチャで適用範囲が限定される

私たちの目的：

研究者を対象とした、高度に柔軟なFPAAおよびFPGAベースの汎用センサーノード設計を構築する

- 動的構成可能性
- リモート監視

インターネット接続により実現

# システムアーキテクチャ

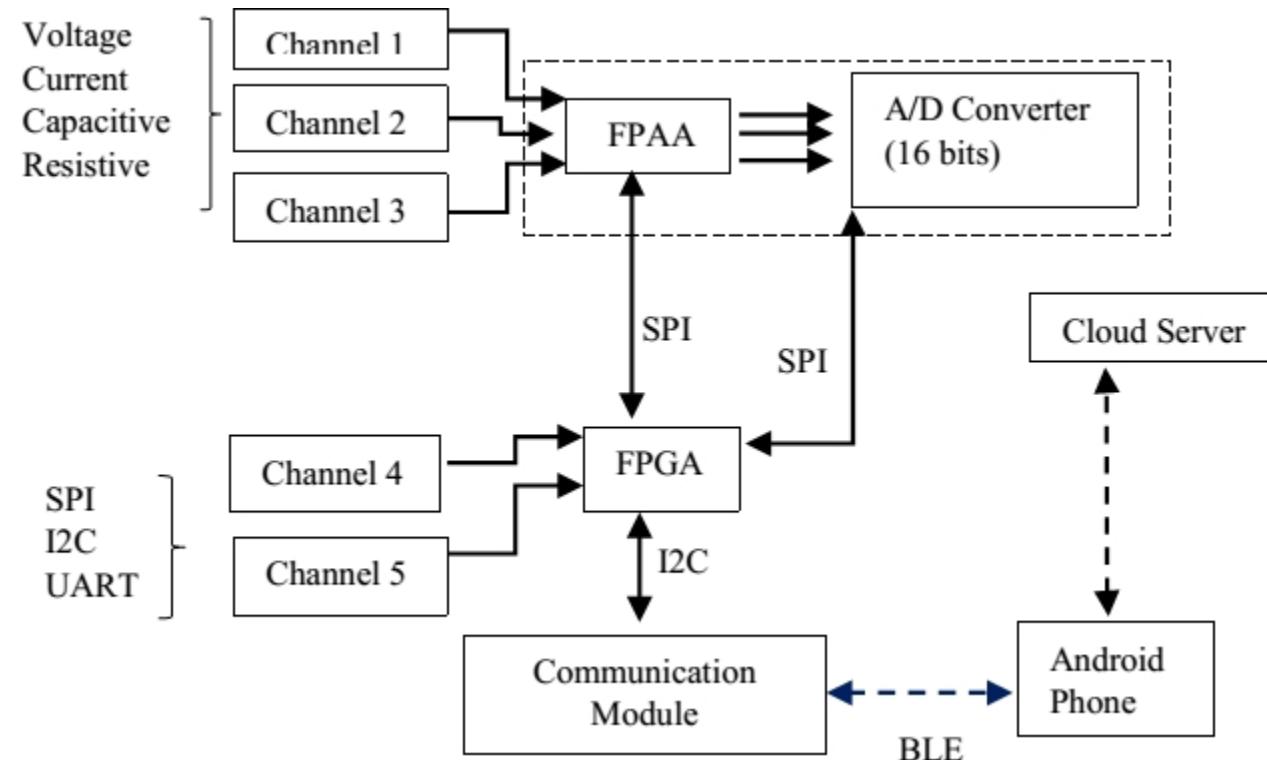


図1. システムアーキテクチャ

# システム構成

- 3つのアナログチャンネルと2つのデジタルチャンネルを並列に接続5Vの供給電圧150mAの供給電流
- 各アナログチャンネルは
  - 電圧 (0-3.3V シングルエンド、 0- $\pm$ 2.75V 差動)
  - 電流 (2.54 $\mu$ A～323.5 $\mu$ A)
  - 容量性 (10pF～500pF)
  - 抵抗 (80 $\Omega$ ～8.735k $\Omega$ ) FPGAによるFPAAの動的構成後
- 2つのデジタルチャネルは以下をサポート
  - SPI
  - I2C
  - FPGAピンを動的に割り当てた後のUART
- 1分未満の遅延でクラウドサーバーを更新

# アナログインターフェース回路

- 実装方法
  - ディスクリート部品（抵抗器、コンデンサ、増幅器）または
  - フィールドプログラマブルアナログアレイ（FPAAs）
- FPAAsはディスクリート部品を使用する場合よりも優れた性能を発揮します。なぜなら、ディスクリート部品を使用すると
  - 柔軟性の制限
  - 設計の複雑さが高い
  - 寸法が大きい
  - 漸進的な改善能力の制限そして導入
  - 動的構成可能性
  - 部品の経年劣化補償性
  - 迅速かつ容易な展開性
  - 回路設計の複雑さの低減
  - より小型
  - 低消費電力かつ様々な環境への適応性



FPAAsはスイッチングコンデンサ技術を採用しているため、これらの課題を克服する

アナログセンサーをシステムに接続できます

单一のFPGA ICが複数のアナログ信号処理を並列でサポートするため、最大3つの

アナログセンサーをシステムに接続できます

# 実装

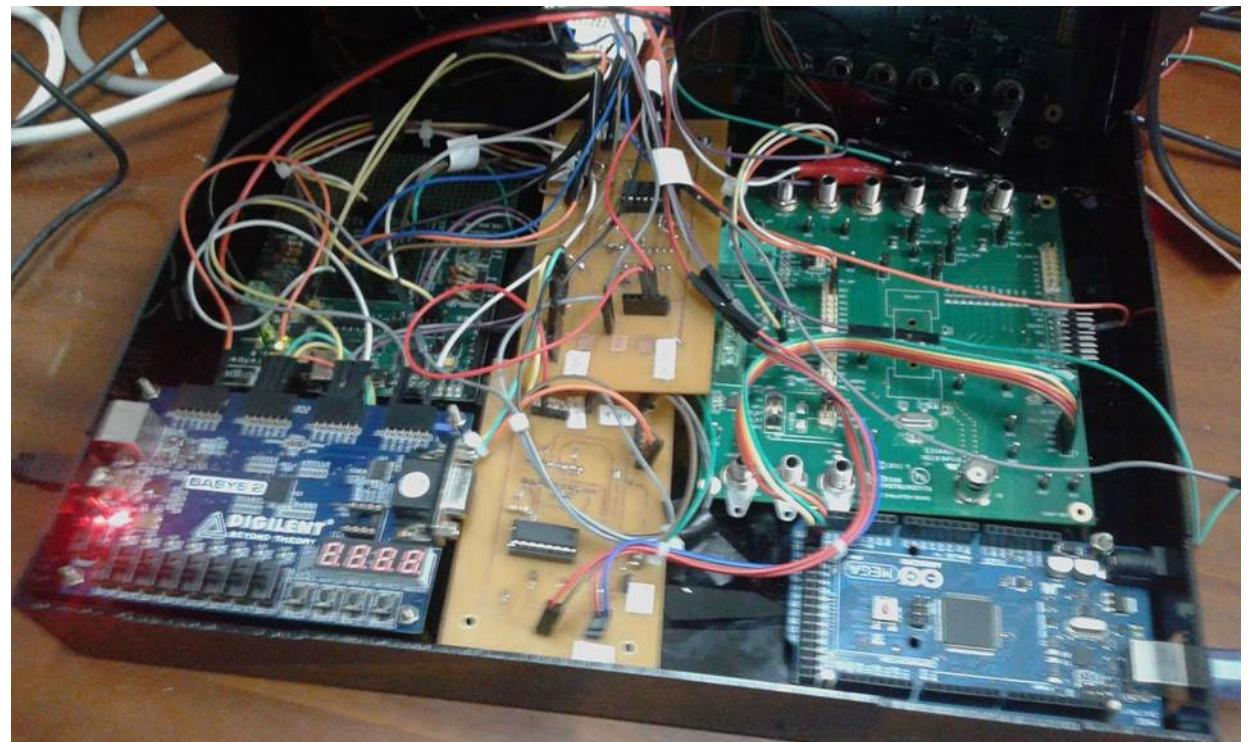
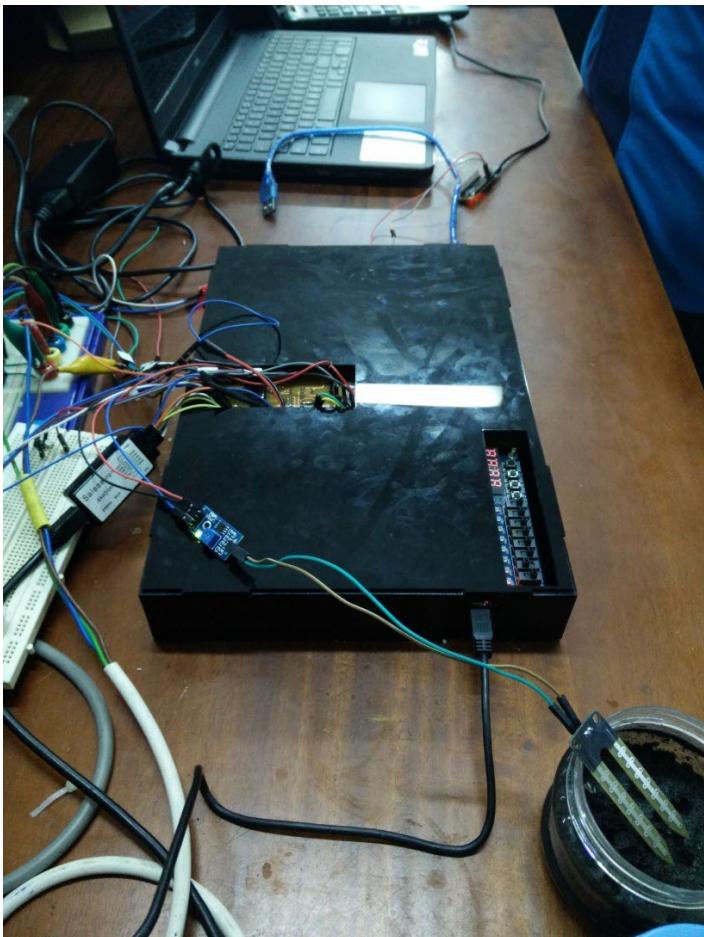


図2. アーキテクチャ検証用プロトタイプ

# 実装

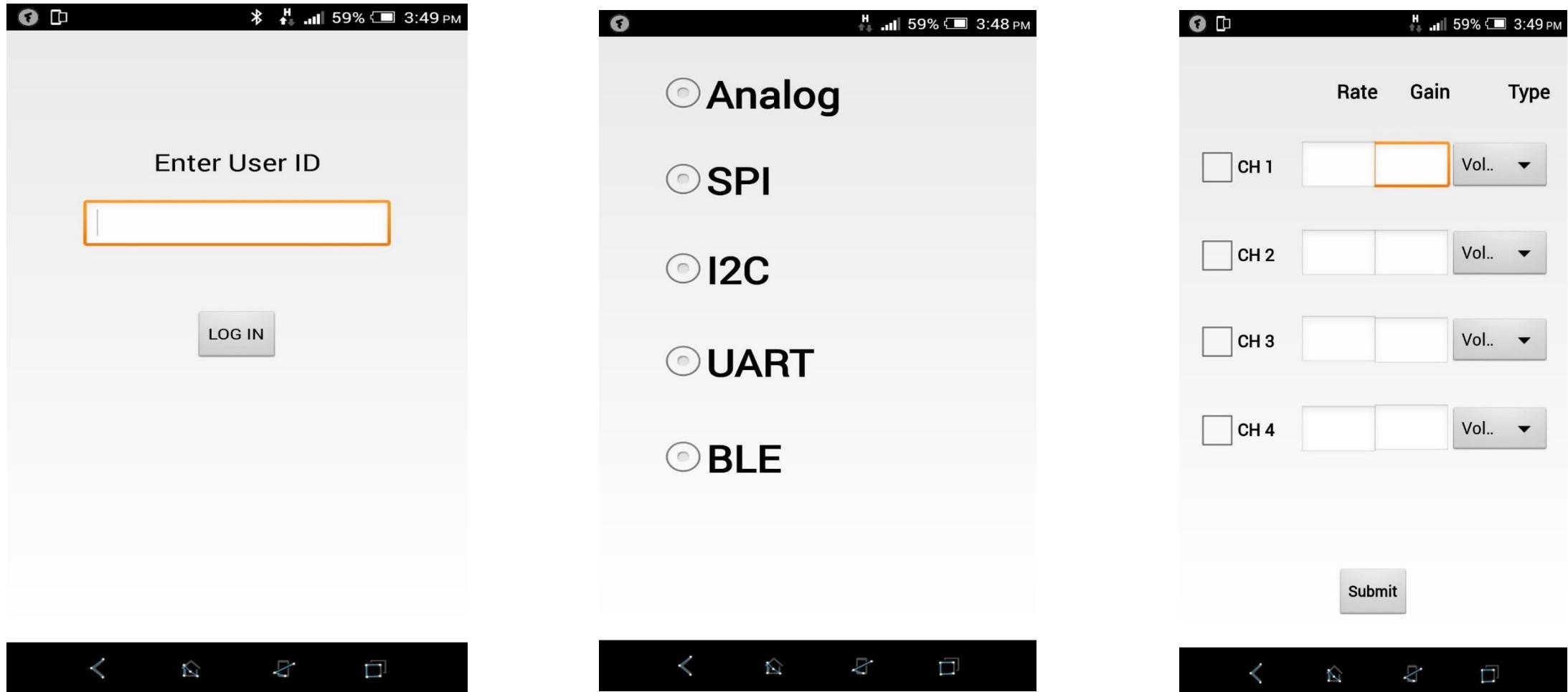


図3: システム設定用Androidアプリのスクリーンショット

# 実装

- アナログ回路実装：
  - ANADIGM社製AN231E04 FPAAとAnadigmDesigner2ソフトウェア
  - デモにはAN231E04評価ボードを使用
- デジタル回路実装と制御：
  - ザイリンクス社製 Spartan 3E FPGA
  - FPAAの動的構成、プロトコル変換、命令デコードに使用
  - DE0 Nano開発ボードはデモに使用されます
- A/D変換
  - 実験（pH検知など）で高分解能を得るため、アナログ・デバイセズのAD7682を採用
  - 3つのFPAAベースのA/D変換を並列で行う必要がある（プロジェクト要件）
  - A/Dコンバータのチャネル構成レジスタを更新し、SPI経由でA/D変換された電圧を読み取る
  - ユーザー設定可能なサンプリングレート、最大レートは200kSPS（サンプル/秒）
- サーバー更新とサーバー側実装
  - デジタル処理されたデータを超低消費電力BLEモジュールに送信し、スマートフォン経由でサーバーを更新
  - OnePlus One Androidスマートフォンを使用
  - Node.jsとMQTTプロトコルを使用して実装

# FPAAAベース回路実装

- 電圧用
  - 主に微弱電圧信号用
  - 入力信号を増幅し、整流前にノッチフィルターを通す
- 電流用
  - トランズインピーダンス増幅器 (CAM) を用いて電圧に変換
  - トランズインピーダンス値を調整することで正確な読み取りを補償
- 抵抗式の場合
  - 励起電圧を用いてセンサーを励起し、基準センサーを使用する
  - 反転増幅器で信号を増幅し、加算段の第1入力に印加する
  - 加算段の第2入力を基準電圧に接続する
  - 加算段の出力を適切な利得設定の反転増幅器に入力する
- 容量性[7]の場合
  - FPAAA内に発振器を構築し、容量性出力センサを振動させる
  - 電圧制御発振器 (VCO) と電圧制御ホールドCAM、およびローパス・バイリニア・フィルタCAMを組み合わせ、位相ロックループを構築する
  - ここでセンサーの出力周波数は発振器の周波数にロックされ、制御電圧が出力として使用される
  - これにより周波数-電圧変換器が実現される。

[7] アプリケーションノート：AN231E04 dpASPを用いた静電容量測定、Anadigm社、2013年。

# アナログインターフェースの動的構成

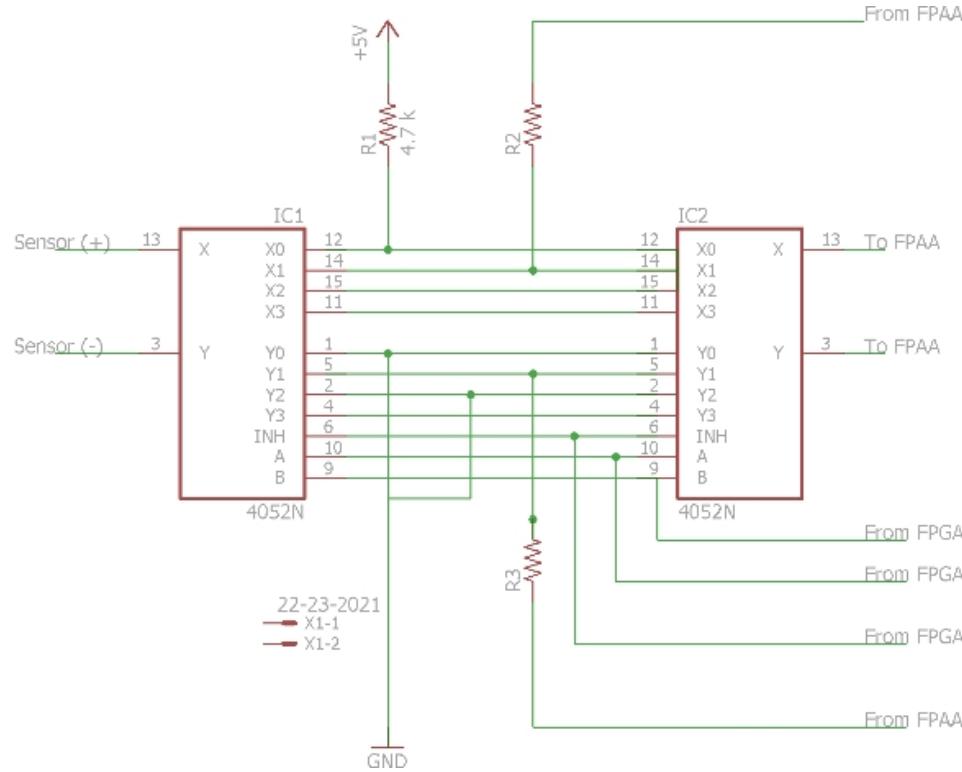


表1. Mux/Demux の構成

INH	B	A	構成
0	0	0	抵抗性
0	0	1	容量性
0	1	0	電流、電圧 (シングルエンド)
0	1	1	電圧 (差動)

図4：アナログインターフェース回路

# FPGAの役割

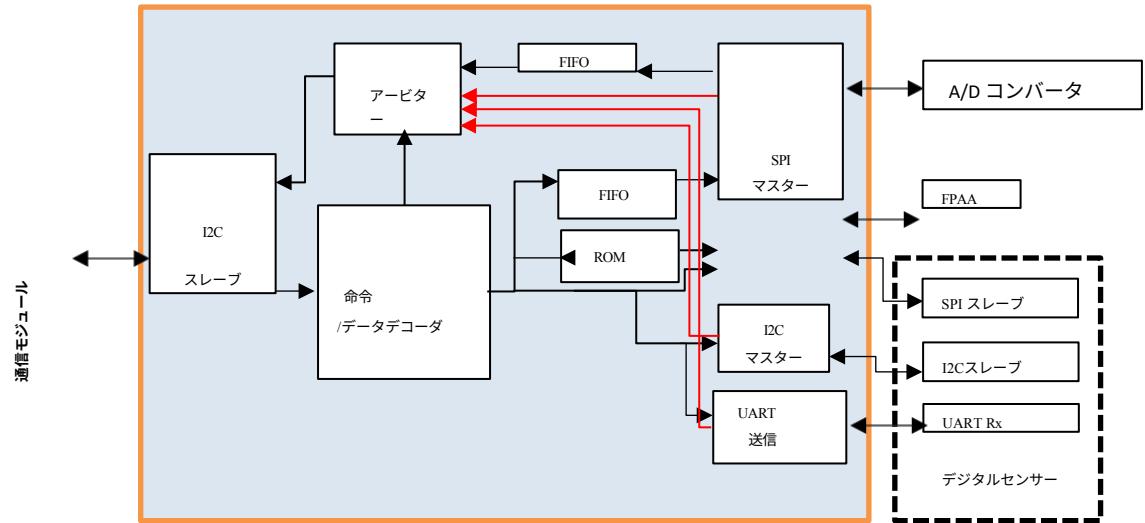


図5. FPGA実装の全体アーキテクチャ

## FPGA実装の全体アーキテクチャ

- A/DコンバータとAndroidスマートフォン間の途切れのない通信を仲介
- プロトコル変換
- FPAAの動的構成
- 命令デコード

# FPAAAの動的構成

- ホストコントローラから適切なFPAAA対応の.ahfファイルを読み込む
- FPGAは.ahfファイルと互換性がありません
- FPGA互換の.coe形式に変換
- ROMに保存
- Androidアプリケーションの指示に従い、SPIインターフェース経由でFPAAAに転送

# 結果

表2. 温度センサーデータ変動

FPAから の電圧出力 (V)	トランズインピー ダンス (V/μA)	温度センサー出 力(μA)	温度 (°C)
3.18	0.015	212	-61.15
3.26	0.05	65.2	-207.95
3.19	0.0156	204.48	-68.67
3.14	0.0105	299.047	25.84
3.15	0.0104	302.8846	29.74
3.14	0.0103	304.85	31.65
3.14	0.0102	307.8431	34.69
3.3	1	3.3	-269.85



図6. プロトコル変換 (I2C→SPI) のシミュレーション結果

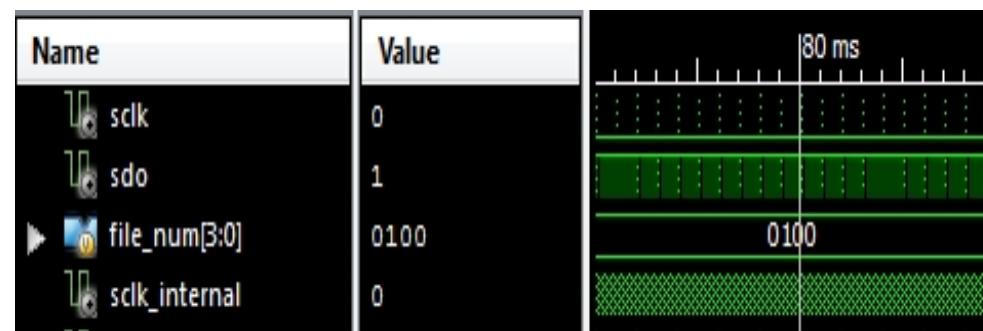


図7. 命令デコードのシミュレーション結果

# 結果

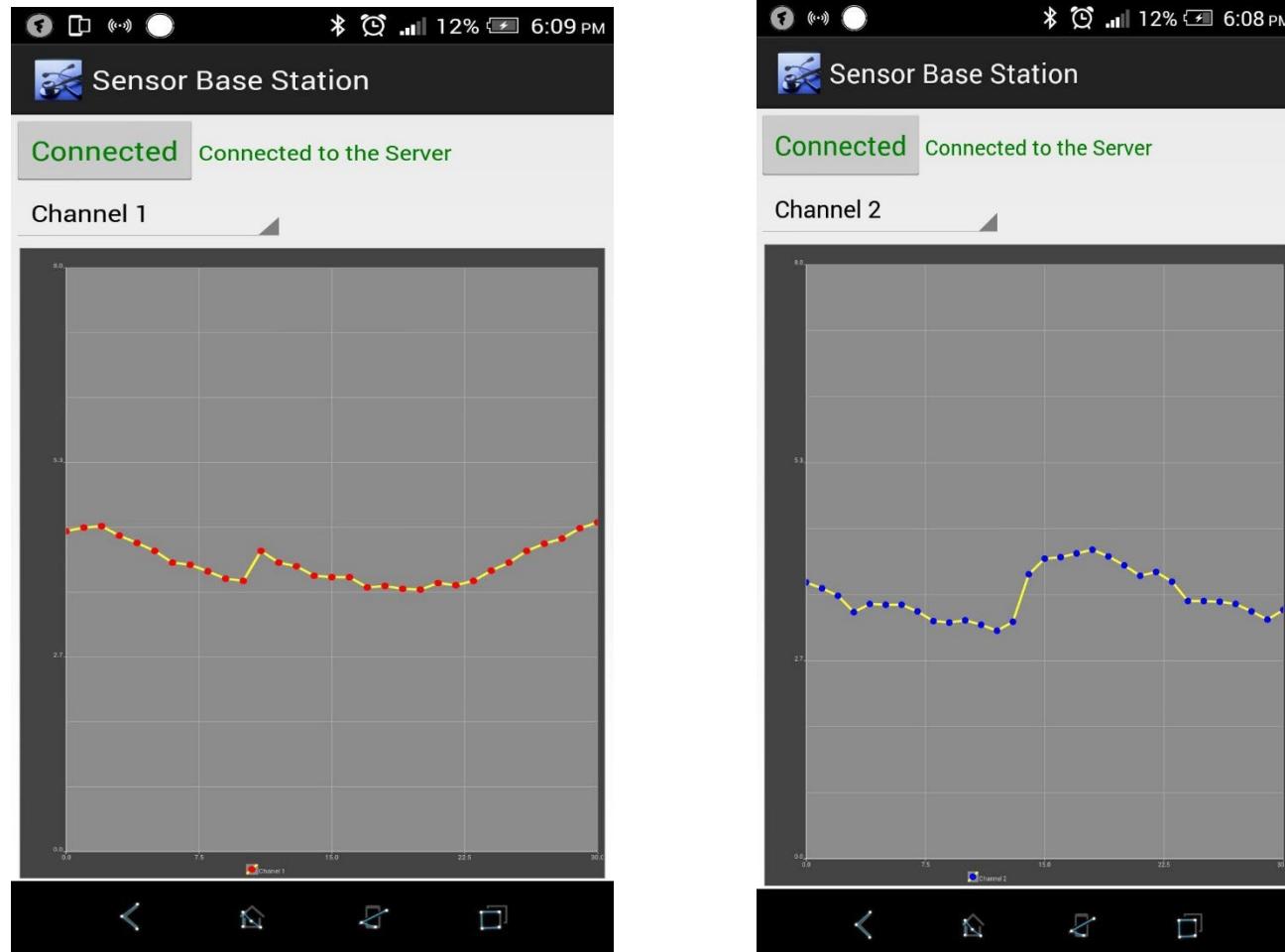


図8: Androidアプリケーションでセンサーデータをリアルタイムに表示

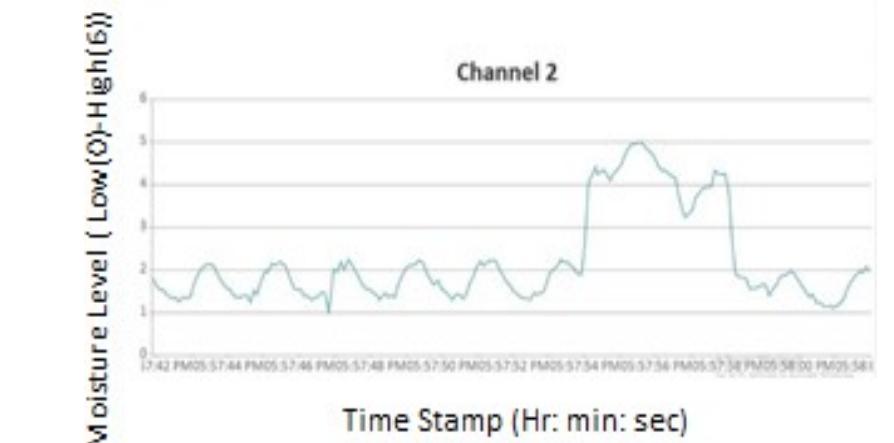


図9: 土壌サンプルに水分センサーを挿入した際のセンサーデータをウェブブラウザでリアルタイム表示

# 結果



図10. プロトタイプ試験の写真

# 結果



図11. 温度センサーの校正セットアップ

表3. 温度センサーデータの変動

観測値 データ (°C)	14	16	23	25	34	36	43	46	51	53	58
実測 データ (°C)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65

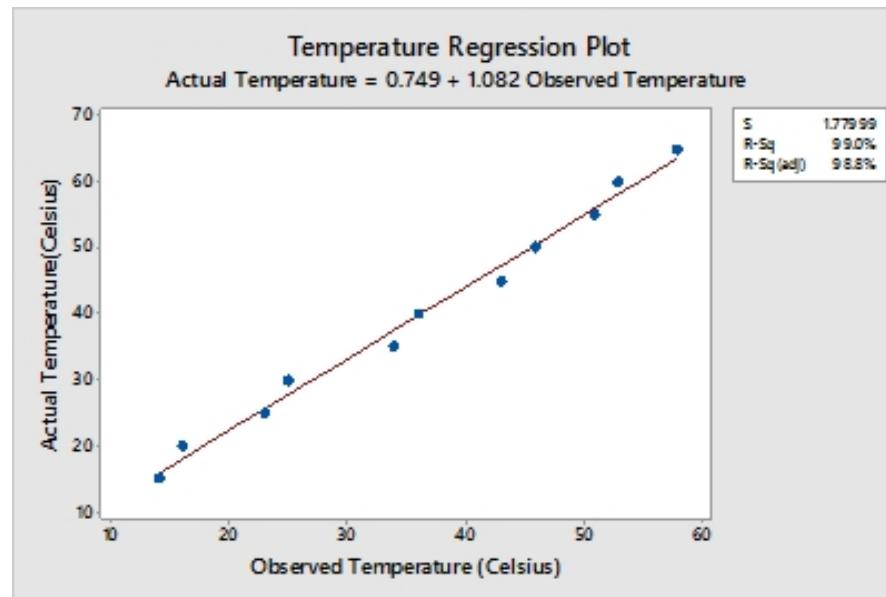


図12. 温度データ変動プロット

# 結果

- 2つのアナログセンサー接続における概算電力推定

VDD=5V @ 25°C

システムモード	総消費電力
スリープ	15.76 mA
スタンバイ	20.30mA
動作時：静電容量式センサーおよび電圧センサー	66.0627± 10.3 mA
動作時：容量式センサーおよび電流センサー	81.51± 11.8 mA

- 最悪ケースを考慮すると、

計算によると；

費電力：100mA

開発ボードベースの実装；消費電力：93.31 mA

消

- 連続24時間動作には2400mAhが必要。現場での対応が可能

- 太陽光発電などの充電機構を備えた2500mAhの携帯型充電式バッテリーに接続することで
- Spartan 3E FPGAをSpartan 3Lなどの低消費電力FPGAに置き換えることで

# 結論

- **我々は提示した**

- コンセプト
  - 設計方法論
  - プロトタイプレベル実装

を提示した。本設計は研究者を対象とした、高度に柔軟なFPAAsおよびFPGAベースの汎用センサーノード設計であり、システムの動的構成可能性と、デバイスをインターネットに接続することで実現される遠隔監視を特徴とする。

- **我々は以下について議論した**

- システムアーキテクチャ
  - FPAAsおよびFPGAベースの回路実装

について詳細に検討した

# 結論

- **我々は特定した**

既存システムと比較した本設計の主な利点

- 動的構成可能性
- 柔軟性
- 様々な環境への適応性

- **私たちは確信しています**

これは、頻繁に接近することが困難な場所に設置される**リモートセンシング装置の開発**に活用できます

ありがとうございます！！

