

実空間コンテンツ・アプリケーション開発を支援する 組み込みコンピューティング環境

石澤 太祥^{†a)} 中西 泰人^{‡b)} 小檜山 賢二^{†c)}

† 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

‡ 慶應義塾大学環境情報学部 〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

E-mail: a)taixiang@sfc.keio.ac.jp, b)naka@sfc.keio.ac.jp, c)kohiyama@sfc.keio.ac.jp

あらまし 多様なセンサを簡単に接続可能で、分散環境が実現できることを特徴とした組み込みコンピューティング環境について報告する。提案システムでは、ユビキタスコンピューティングにおいて、センサや近距離無線通信を利用したアプリケーションの容易な開発が可能となる。また、携帯電話との連携により、モバイル環境におけるアプリケーションの開発が可能である。

キーワード センサ, PAN, ユビキタスコンピューティング, プロトタイプ実装, 開発環境, 携帯電話

A computing platform for developing an application in real-space

Takaaki ISHIZAWA^{†a)} Yasuto NAKANISHI^{‡b)} and Kenji KOHIYAMA^{†c)}

† Graduate School of Media and Governance, Keio University 5322 Endo, Fujisawa-shi, Kanagawa, 252-8520 Japan

‡ Faculty of Environmental Information, Keio University 5322 Endo, Fujisawa-shi, Kanagawa, 252-8520 Japan

Abstract This paper proposes a new computing platform characterized by connectivity of various sensor and distributed environment. This platform allows a user to prototype an application utilizing sensor and short-range wireless communication with ease in ubiquitous computing environment. In addition, this platform supports an application in mobile computing environment utilizing cell-phone link.

Keyword Sensor, PAN, Ubiquitous Computing, Prototyping, Development Environment, Cell-phone

1. まえがき

近年、ユビキタスコンピューティングにおけるコンテンツ・アプリケーションの開発を容易にするためのデバイスやソフトウェア環境についての研究が活発に行われている。

広く利用されている開発環境として、MICA MOTE [1] や Smart-Its [2] に代表されるセンサネットワーク [3] 開発環境が挙げられる。こうしたハードウェアを用いることで、近距離無線通信による環境情報の共有を容易に実現することができ、PC に接続されたゲートウェイノードを介することで、既存のコンピューティング環境との連携も可能である。また、備え付けのセンサ環境を利用することで、環境情報が容易に取得できる。しかしながら、こうしたハードウェアの多くは、ボード上にセンサの構成とレイアウトが固定されているため、開発者が要求するセンサがボード上に存在しない場合、若しくは、開発者が要求するレイアウトとボード上のセンサのレイアウトが異なる場合、開発者はセンサ環境をハードウェアのレベルから構築しなければならないという問題点がある。

また一方で、Flash や Processing といったスクリプティング環境を発展させたコンテンツ・アプリケーション開発環境も盛んに利用されている。こうしたソフトウェア環境は、従来グラフィカルなコンテンツ・アプリケーションのための開発環境であったが、PC にセンサ・アクチュエータを制御することのできる装置環境 [4] [5] を接続することで、実空間におけるコンテンツ・アプリケーション開発へのアプローチが可能となった。中でも Phigets [5] では、センサ・アクチュエータを簡単に接続可能で、環境情報処理がソフトウェアの領域で閉じているという特徴がある。また、実行環境が PC であるために、計算資源、ディスプレイ装置、インターネット上のリソース等が利用できる。その一方で、実行環境が PC であるために、小型化が要求されるアプリケーションや、近距離無線により環境情報を共有し、協調的に動作するような分散アプリケーションへの適用が難しいという面がある。

必要なセンサ・アクチュエータやアプリケーションがまだ明確とは言えないユビキタスコンピューティング研究を進めるにあたり、コンテンツ・アプリケーシ

ョン開発者が試行錯誤するサイクルを早めるためにも、接続・利用の簡便性を維持しながら、多様なセンサを接続できる汎用性、分散環境の実現性を満たす環境を提供することが望ましいと考える。しかし、既存の開発環境はこれらを同時に満たしていない。スクリプティング環境を利用した開発環境はセンサの接続・利用の簡便性と多様なセンサを接続できる汎用性の両立に秀でるが、分散環境の実現性に於いて劣る。一方、センサネットワークを利用した開発環境は、分散環境の実現性に秀でるが、接続・利用の簡便性と多様なセンサを接続できる汎用性の両立に於いて劣っている。

また、ユビキタスコンピューティング研究を進めるにあたり、様々な空間での動作を実現するために、空間的適用範囲の広域性を備えた環境の提供が望ましいと考える。しかし、既存の開発環境はこれを満たしていない。スクリプティング環境を利用した開発環境、センサネットワークを利用した開発環境のどちらも、インターネットへのアクセスに PC を利用するため、その空間的適用範囲は限られている。空間的適用範囲の広域性を実現するために、筆者は携帯電話に注目する。開発環境と携帯電話の協調動作を実現することで、携帯電話網をインフラとするインターネットへのアクセスが可能となり、空間的適用範囲の広域性を実現することができる

そこで本研究では、以下の特徴を満たす開発環境を提案する。

- センサの接続・利用の簡便性
 - センサの利用に際してハードウェアの知識を要求しないこと
 - コネクタへの挿抜とコードの記述のみでセンサ情報の取得が可能なこと
- 多様なセンサを接続できる汎用性
 - 様々な実装のセンサを統一する共通コネクタ規格を有すること
 - センサの構成を自由に変更できること
- 分散環境の実現性
 - 近距離無線通信機能を有し、装置間でセンサ情報の通信が可能であること
 - 装置の実装容積において、PCを下回ること
- 空間的適用範囲の広域性
 - 装置－携帯電話間で通信が可能であること
 - 装置－PC間で通信が可能であること

2. 設計

本章では実空間コンテンツ・アプリケーションの開発環境のハードウェア、ソフトウェアの設計について述べる。

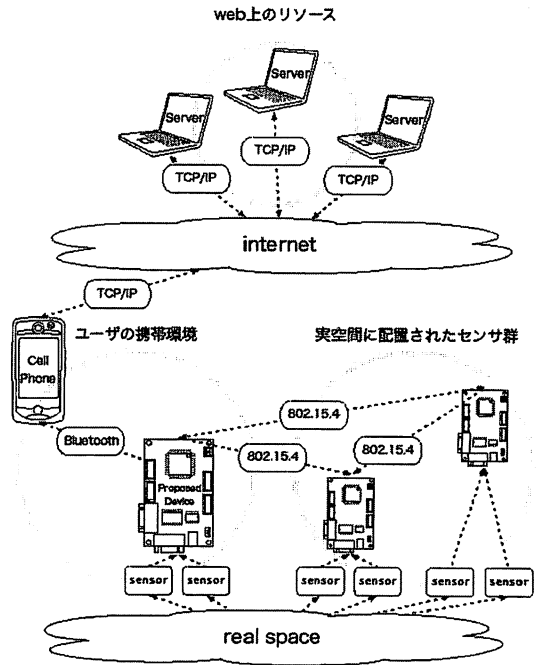


図1 典型的なアプリケーション構成

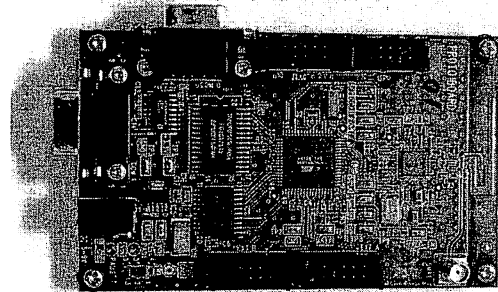


図2 メイン基板

2.1. 構成

本システムを利用した、典型的なアプリケーション構成を示す(図1)。

実空間に配置された提案装置は、センサを利用して実空間から情報を取得する。近距離無線通信により装置間でこうした情報を共有する。

ユーザは携帯電話と提案装置を携帯する。提案装置の機能により、センサを利用した実空間からの情報の取得や、近距離無線通信を利用した実空間に配置された提案装置からの情報の取得が可能である。また、携

帯電話の機能により、インターネット上のサーバからの情報の取得が可能である。

2.2. ハードウェア

提案装置は主に、メイン基板とセンサ拡張基板から構成される。

2.2.1. メイン基板

メイン基板は、ATMEL社のコントローラをMCUとするコンピュータボードである(図2)。MCU周辺には、32KbyteのSRAMや2.4GHz帯を利用するIEEE802.15.4規格適合の無線トランシーバといった、主要な機能を実現するためのICが実装されている。一般に、空間的・金銭的な実装効率からMCUと無線トランシーバは一つのICで実現する構成が望ましいとされるが、開発者にとって不慣れなアーキテクチャとなることを避けるため、一般的に周知されたマイクロコントローラと無線トランシーバICという構成を選択した。

図中右の基板周辺部には銅箔により形成した逆F型アンテナ、外部アンテナを接続する為のSMAコネクタが実装されている。PCBアンテナを利用して、100kbpsで見通し80mの通信が可能である。

図中左下には電源入力用DCジャック、バッテリー接続端子等の電源入力インターフェースを備える。本装置は4V~10Vの直流電源入力により駆動が可能である。

また、JTAGインターフェース、In Circuit Programming用コネクタ、RS232Cコネクタ、チェック端子といった開発・デバッグに有益なインターフェースを備えている。試作であるため小型化は行わず、ほとんどの部品を部品面に実装して開発上の利便を図った。その他、後述するセンサ拡張基板と接続するためのインターフェースを備えている。

2.2.2. センサ拡張基板

センサ拡張基板(図3)は、規格化された様々なセンサを接続可能なコネクタ(デバイスポート)を有し、メイン基板にセンサ接続機能を追加するためのインターフェース基板として機能する。

2.2.3. デバイスポート

デバイスポートは、一つのコネクタで実装の異なるセンサを接続するためのコネクタ規格である。一般に、センサの利用形態は、駆動方法、出力形式の点に於いて異なるため、各々センサに合わせたハードウェア、ソフトウェアでの対応が必要となる。

本研究では、端子構成に冗長な入出力インターフェースを持つコネクタハードウェア規格を定め、センサ毎に、利用する端子を制御し必要な処理を実装するドライバソフトウェアを提供することで、こうした差を隠蔽した。

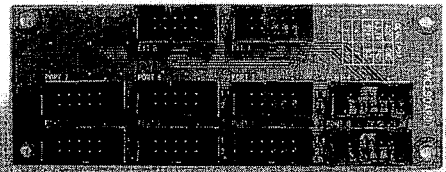


図3 センサ拡張基板

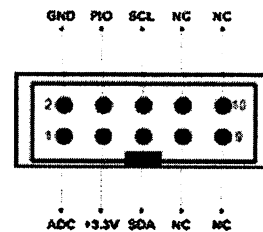


図4 デバイスポートの端子構成

デバイスポートは、アナログ入力端子(ADC)、デジタル入出力端子(PIO)、I2C通信端子(SDA, SCL)といったセンサとのインターフェースを同時に有する構成とした(図4)。その他、センサ駆動に用いられる電源端子(+3.3V)と基準電圧端子(GND)、ユーザにより自由な拡張が可能な4つの未定義端子(NC)を合わせた10極のコネクタとして設計した。

デバイスポートには、HIGH/LOW 2状態で見られるデバイス、連続的な状態をもつデバイス、I2C通信デバイス、その他の2線式シリアル通信デバイスを混在させて接続することが可能である。以下に接続可能なデバイスの種類と、対応する検出機構を示す。

• 2状態で見せるデバイス

プッシュスイッチ、トグルスイッチ、スライドスイッチ等のスイッチや、タッチセンサや赤外線人感センサのようなHigh/Lowの2状態で見せるようなデバイス。デジタル入出力端子であるPIO端子で検出する。周波数変動により状態を表現するようなデバイスも本項目に該当する。

• 連続的な状態を持つデバイス

スライダ、ボリューム等抵抗値で状態を表現するデバイスや、電圧出力のセンサデバイス。アナログ入力端子であるADC端子により電圧の変化として検出する。その他、電流や抵抗値の変動等で状態を表現するデバイスも、電圧に変換する事でインターフェースする。

• I2C通信デバイス

シリアル通信インターフェースの一つである I2C インターフェースをもったデバイス。I2C 通信のための端子、SDA,SCL 端子を利用する。I2C 接続のセンサや A/D コンバータ、EEPROM 等の I2C 接続デバイスを利用する場合が該当する。

- その他のデバイス

アナログ入力端子である ADC 端子は、ディジタル入出力端子としても利用できる。PIO 端子と組み合わせることで、デバイスポートあたり 2 つの I/O 制御が可能となる。例えば、2 線までのシリアル通信としての利用が可能である。

2.2.4. Bluetooth モジュール

メイン基板に対し、外付け Bluetooth モジュールを接続することで、Bluetooth 通信機能を持たせることができる。Bluetooth 対応の PC や PDA、携帯電話と通信が可能になることで、計算機資源やディスプレイ等のインターフェースを利用できるようになる。また、こうしたデバイスをゲートウェイとすることで、IP ベースの通信を行うことも可能となる。

メイン基板と Bluetooth モジュールは RS232C 通信 (EIA-574) により接続するため、開発者はシリアル通信制御を行うだけで事足りる。Bluetooth1.1 準拠の外付け Bluetooth モジュールは、SPP (Serial Port Profile) に対応しているため、Bluetooth 接続先の環境に於いても、仮想シリアルポートとして見做すことができ、取り扱いが容易である。

2.3. ソフトウェア

本開発環境におけるアプリケーションプログラムは C 言語で記述することができる。ソフトウェアライブラリを利用することで、ハードウェアの機能を簡便に利用することができる。ソフトウェアライブラリはユーザーが記述したアプリケーションプログラムと静的にリンクさせて利用する。ソフトウェアライブラリは以下の 4 つから構成される。

- デバイス制御ライブラリ
- 無線通信ライブラリ
- シリアル通信ライブラリ
- リソース管理ライブラリ

2.3.1. デバイス制御ライブラリ

デバイス制御ライブラリは、様々なセンサ毎の初期化、駆動制御処理を含むドライバ群と、各センサを抽象的に扱うための仕組みから構成される。この構成により、開発者は①各デバイスポートに接続したセンサ種別を指定する②デバイスポートを一括で初期化する③データを取得する、といった抽象度でのアクセスが可能である。たとえば、デバイスポートの 0 番ポートに温度センサを接続し、初期化、温度データを取得するまでは以下のコードで実現できる。

```
DEVICE_Setting setting;  
DEVICE_Data data;  
setting[0].type = TEMPERATURE_SENSOR;  
DEVICE_init(&settings);  
DEVICE_get(0, &data);
```

デバイスポート設定を示す構造体 DEVICE_Setting にセンサ種別を指定し、初期化処理関数に構造体を渡すだけで、指定したセンサ種別によって初期化処理が自動的に選択、実行される。デバイスからのデータ取得はセンサデータ構造体 DEVICE_Data に格納される。

2.4. 無線通信ライブラリ

無線通信ライブラリは、IEEE802.15.4 の MAC 層ペイロードを利用した低レベルなデータ通信のみをサポートする。現時点では、スーパーフレーム、ビーコンネットワーク、セキュリティサービス等サポートしていない。PANID やアドレスのアサインは開発者によって行われる。なお、アクセス制御には CSMA/CA を利用している。

初期化処理と送信処理、割り込みハンドラによる受信処理といったシンプルな制御を提供する。たとえば、無線通信機能の初期化、データ送信は以下のコードで実現できる。

```
RADIO_init(CHANNEL,PAN_ID,DEVICE_ID,POWER);  
RADIO_sendPacket(DESTINATION_ID, &data, length);
```

通信に利用する IEEE802.15.4 のチャンネル、PANID、装置の持つアドレス、送信出力を指定して RADIO_Init() を実行することで、無線通信機能の初期化ができる。続いて、送信先装置のアドレス、送信データ、データ量を指定して RADIO_sendPacket() 関数を実行することでデータ送信処理が実行できる。なお、送信先アドレスを 0xFFFF と指定することで、ブロードキャストが可能である。

前項のデバイス制御ライブラリを用いて取得できるセンサ情報は、様々なセンサ情報を格納する構造体 DEVICE_Data として抽象化されている。無線通信によって送信されたセンサ情報は、受信側に於いても同様の構造体に復元できるため、デバイスポートに接続されたセンサから取得したセンサ情報と、無線通信によ

り取得したセンサ情報を区別することなく取り扱うことができる。

3. アプリケーション構成例

本開発環境では、提案装置単体による最小の構成、複数の提案装置によるネットワーク構成など、アプリケーションに合わせた様々な構成が可能である。本章では特に Bluetooth 通信を利用した応用構成例を示す。

3.1. PC と組み合わせた構成

Bluetooth 通信機能によりセンサ情報を PC 上でリアルタイムなグラフィック生成に利用する構成例を示す。提案装置 A, B を用意する。装置 A には温度センサ、湿度センサ、モメンタリスイッチといったセンサを接続する。装置 B には Bluetooth モジュールを接続する。装置 A はセンサ情報を取得し、装置間通信により装置 B に送信する。装置 B はセンサ情報を受信し、受け取ったセンサ情報を Bluetooth 通信によって PC に送信する。PC では受信したセンサ情報を元にディスプレイ上でグラフィックをリアルタイム生成した。試作では PC として Apple Computer 社のラップトップ PowerBookG4 を利用して構成可能なことを確認できた。このように、Bluetooth 対応の PC を利用することで、既存の開発環境同様に、PC 上の資源と連動した実世界コンテンツ・アプリケーション開発環境が実現できる。

3.2. 携帯電話と組み合わせた構成

Bluetooth 通信機能によりセンサ情報をインターネット上のサーバに蓄積するモバイルデータ収集アプリケーションの構成例を示す。提案装置に温度センサ、湿度センサ、ハンディ GPS システム、Bluetooth モジュールを接続する。センサによって取得した温度、湿度情報、ハンディ GPS システムから取得した位置情報を Bluetooth 通信により携帯電話に送信する。携帯電話上では java アプリケーションが動作しており、受信した情報をインターネット上のサーバに送信する。サーバでは温度、湿度、位置情報を一組のデータとして蓄積する。本試作では携帯電話として Motorola 社の FOMA 携帯電話 M1000 を利用して構成可能なことを確認できた。このように、Bluetooth 対応の携帯電話を利用することで、携帯電話網をインフラとした、空間的適用範囲の広い実世界コンテンツ・アプリケーション開発環境が実現できる。

4. 議論

4.1. センサの接続・利用の簡便性

本研究では冗長なインターフェースによる共通化を

提案したが、その一方で、IEEE1451 のようなセンサ毎に MCU を搭載し、ハードウェア、ソフトウェアともに利用者から完全に隠蔽したセンサモジュールとして共通化する方法が考えられる。

前者では動作原理の異なるセンサを、受動部品の構成だけで同じコネクタに共通化できるが、後者ではモメンタリスイッチのような単純な素子を一つ接続するためにも MCU が一つ必要となる。一つのセンサモジュールに複数のセンサ素子が接続可能な構成とすることで、センサあたりに必要な MCU 数を抑えることができるが、複数のセンサを接続するための別種のコネクタが必要となってしまう、というジレンマがある。

実装容積について考えてみると、前者は小型化の追求に不利である。接続するセンサの数が増加すると、メイン基板の実装容積もコネクタの数だけ増加する。また、MCU の I/O に接続可能なセンサ数が依存するという特徴がある。後者はセンサモジュールとメイン基板をパス型の通信でインターフェースするため、カスケード接続が可能となり、接続するセンサの数が増加してもメイン基板の実装容積はほとんど変わらない。

ところで、センサが実空間の物理現象をコンピュータ内の情報として反映するための装置だとすれば、情報を実空間の物理現象として反映するための装置としてアクチュエータがある。センサとアクチュエータは車輪の両輪としての役割があるため、デバイスポートへのアクチュエータの接続性を検討している。センサとアクチュエータ、二つを合わせた概念のトランスデュサとして抽象化を行い、デバイスポートにセンサとアクチュエータの区別なく接続できる仕組みを計画している。現時点では、LED のような簡単なアクチュエータのみが実装されているが、センサ同様の接続・利用の簡便性を実現している。

4.2. 分散環境の実現性

本研究では、分散環境で共有されるセンサ情報を、常に較正済みであることを前提として、設計、データ型の定義を行っていた。ここでの較正とは、測定したセンサ情報を共通のメトリックに揃える事を指す。

しかし、実際の実空間コンテンツ・アプリケーションの開発例では、センサ情報は未較正であっても十分に実用的である状況が見られる。例えば、未較正の温度に関する情報 (= 温度に比例した整数値) が所与であり、アプリケーションから温度の相対的な変化として利用する場合、必ずしも温度情報を摂氏温度というメトリックに揃える必要はない。ただし、未較正のセンサ情報としての利用が可能であるのは、開発者一人に閉じた環境で利用する場合においてである。近距離

無線通信により装置間でセンサ情報を共有する場合、または、本開発環境を利用する他の開発者によるコンテンツ・アプリケーションと連携させる場合、共通のメトリックへセンサ情報が較正する必要がある。

また、センサの中には、較正の対象となる測定標準が実装環境に依存するため、実装前に較正が出来ないものが存在する。例えば、曲げにより抵抗体の定数に変化する曲げセンサを、実装時のメカニカルな環境により、曲げセンサの示す抵抗値と角度の関係は変化するため、実装前に曲げ角度というメトリックに較正することが出来ない。このように、全てが較正済みのセンサ情報として取り扱うシステムは実空間コンテンツ・アプリケーションの開発には適合しない。

この問題の解決方法としては、較正済みのセンサ情報と未較正のセンサ情報を混在可能なセンサ情報の記述方式が考えられる。また、較正済みであっても、実装が違えばその精度に違いが生じる。こうした精度に関する情報もセンサ情報の中に保持する必要がある。

5. 関連研究

接続・利用の簡便性を維持しつつ、多様なセンサを接続できる汎用性を実現した先行研究として、ボード単位でセンサの換装が可能な U3 [6] が挙げられる。U3 では基本システム、無線通信、電源、センサといった機能単位でハードウェアをモジュール化している。複数のセンサが搭載されたデバイスボードを交換することで、ボード単位でのセンサの換装を実現している。これに対し、本研究では、センサ単位での換装が可能であり、センサのレイアウトがボード上に制約されないという利点がある。

6. むすび

共通化されたコネクタによる多様なセンサを接続できる汎用性、近距離無線通信を利用した分散環境の実現性、携帯電話と連携した空間的適用範囲の広域性を備えたコンテンツ・アプリケーション開発環境の試作を行い、設計、実装時の検討と応用例について報告した。

謝辞

本研究は JST 戦略的創造研究推進事業チーム型研究 (CREST タイプ) の支援を受けて実施した。

文 献

- [1] J. Hill and D. Culler., "A wireless embedded sensor architecture for system-level optimization.", Technical report, U.C. Berkeley, 2001
- [2] M. Beigl and H. Gellersen., "Smart-Its: An Embedded Platform for Smart Objects.", In Proc. Smart Objects Conference (SOC2003), Grenoble, France, May 2003.
- [3] 安藤繁, 戸辺義人, 田村陽介, 南正輝, "センサネットワーク技術ユビキタス情報環境の構築に向けて", 東京電機大学出版局, 2005
- [4] Wiring <http://wiring.org.co/>
- [5] Phidgets <http://www.phidgetsusa.com/>
- [6] 永原崇範, 鹿島拓也, 猿渡俊介, 川原圭博, 南正輝, 森川博之, 青山友紀, 篠田庄司, "ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U3 (U-cube) の設計と実装", 信学技報, 情報ネットワーク (IN), March 2003