

CoAP を利用した ZigBee センサノード上での ウェブサービスの実現

羽田 久一^{†1} 三次 仁^{†2}

センサネットワークに用いられる軽量な無線通信として、ZigBee が広く知られている。本研究では軽量な無線上でのウェブサービスを実現するためのプロトコルである CoAP(Constrained Application Protocol) を利用し、ZigBee 無線センサノード上の情報をウェブサービスとして取得するシステムを提案し実装をおこなった。さらに本システムを基盤として利用することにより、家電と一体化させた無線センサネットワークを構築し、家電からの情報取得を行うアプリケーションを実装した。ZigBee を利用したセンサノードとの間でのウェブサービスを実現するためのシステムとして CoAP を用いた無線通信と HTTP/CoAP 間のプロトコル変換用のゲートウェイを組み合わせて利用することを提案し、実装を行った。さらにこの実装を用いて家電と組み合わせたセンサネットワークを利用した CO₂ 削減のプロジェクトでの実証実験をおこない、有効性についても検証を行った。

Implementaion of Web service on ZigBee sensor nodes using CoAP

HISAKAZU HADA^{†1} and JIN MITSUGI^{†2}

ZigBee network is one of the most popular low-power, light-weight protocol for sensor network.

To support End to End communication between sensor nodes and applications, We propose a sensor node supports Constrained Application Protocol(CoAP) instead of Hyper Text Transfer Protocol(HTTP) over ZigBee. A gateway on a home area network converts HTTP and CoAP. We also prove prototype system of our architecture as home appliances management system over a ZigBee network. Our prototype provides energy-saving application using home appliances information and activity information in house.

1. はじめに

実空間の情報を把握するために多くのセンサからの情報を集約してネットワーク上で扱うセンサネットワークに対する関心が増してきている。このようなセンシング情報を利用することにより、現在はインターネット上で用いられているような情報検索や集約の手法を日常空間に展開することが可能となる。センサネットワークの構築に関してはさまざまな研究がなされており、通常のインターネットとは異なるセンサの特性を活かすために低速、低帯域であるが消費電力の少ないプロトコルが利用されることが多い。このようなプロトコルの代表としては ZigBee が挙げられる。

インターネットをベースとしたアプリケーションにおいてはリアルタイムに近いコミュニケーションの分野においても Twitter?? のように XML(Extended Markup Language) と HTTP(Hyper Text Transfer Protocol) を組み合わせたウェブサービスとして構築されるものが多い。Pachube?? のようなセンサから実空間情報を取得し、集約、共有を行うシステムであっても同様にウェブサービスの技術が用いられている。

しかしながら、ZigBee のような低速、長遅延のネットワークにおいてはウェブサービスをそのまま利用することは HTTP プロトコルの冗長性や TCP による再送制御、コネクション指向の通信などの前提条件を ZigBee が満たさないために問題が多い。

そこで本研究ではセンサネットワークのセンサノードとアプリケーションの通信を ZigBee 無線ノードのゲートウェイにおいてプロトコル変換を行った上で中継することにより、それぞれのアプリケーションが自律的にセンサノードの情報を取得するモデルを提案し、その実装をおこなった。このときにアプリケーションとセンサノードの間でエンドツーエンドでの通信を行うことにより、ゲートウェイではセンサノードとアプリケーション間でのコンテキストを理解しない。アプリケーションは現在のインターネット上での情報取得技術の標準であるウェブサービスを用いてセンサノードにアクセスすることを可能としており、アクセス先となるセンサノード上にはウェブサービスに対応するサービスが必要となる。

本稿ではまず、2 節にてセンサネットワークにおいてエンドツーエンドでの通信を利用するモデルとそれをベースとしたウェブサービスによるセンサネットワークのモデルについて

^{†1} 慶応義塾大学大学院 政策・メディア研究科

Keio University, Graduate School of Media and Governance

^{†2} 慶応義塾大学 環境情報学部

Keio University, Faculty of Environment and Information Studies

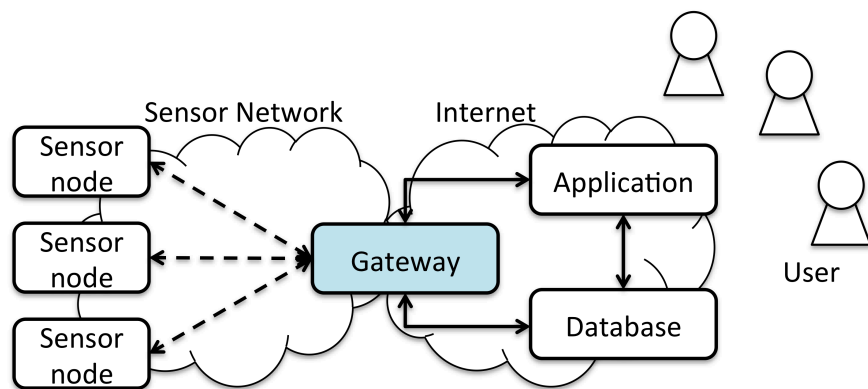


図1 センサネットワークの要素

述べる。続いて3節においては ZigBee センサネットワーク上でウェブサービスを実現するために CoAP/HTTP ゲートウェイを用いた手法について述べる。4節では前述のモデルに基づいた実証実験システムの実装について述べ、5節では宅内に配備したセンサネットワークを用いた実証実験についての報告を行う。

2. ウェブサービスを利用したセンサネットワーク環境

2.1 ウェブサービスとセンサネットワーク

インターネット上で用いられる情報システムとしてウェブサービスが広く用いられている。標準化された技術である HTTP と XML で構成されるウェブサービスはウェブブラウザへのインターフェースを構成しやすかったことや、複数のウェブサービスを組み合わせる利用することによる効果などもあり、オープンなインターフェースとしてさまざまな分野の情報提供に利用されている。このようなインターフェースをセンサネットワークにも対応させることにより、センサ情報を利用者が自由に構築したアプリケーションで利用することが可能となる。

本稿で想定するセンサネットワークシステムでは図1のようにセンサを保持するセンサノード、センサノードからの通信を集約するゲートウェイ、ゲートウェイからの情報を集約して管理するデータベースやアプリケーションから構成される。このときセンサノードとゲートウェイの間の通信には ZigBee のような低速だが低消費電力な無線通信が利用され、

データベースやアプリケーションは通信基盤としてインターネットを想定している。このようなセンサネットワークをウェブサービスに対応させる場合には、いくつかのシナリオが考えられる。

- (1) データベースをウェブサービスの提供元として扱う。
- (2) ゲートウェイをウェブサービスの提供元として扱う。
- (3) エンドノードをウェブサービスの提供元として扱う。

一般的にアプリケーション作成者にとってはセンサノード単体にくらべ、データベースにアクセスできることが重要である場合が多く、近年のウェブサービスに対応したセンサ統合システムでは(1)のようなアーキテクチャが用いられている。¹⁾

また、(2)のようにゲートウェイへのアクセスに関してもウェブサービスを用いることにより、データベースへの収納を行うセンサネットワーク基盤においてもウェブサービスとして構築することが可能となる。ゲートウェイは無線上に存在するそれぞれのセンサノードとの通信を行うと同時に、http サーバないしクライアントとして機能し、データベースを含むアプリケーションに対してセンサ情報を提供する。⁸⁾

(3) の場合にはそれぞれのエンドノードが情報を提供するサーバの機能をもつことになり、中間でのデータの解釈を行わずにすむため、拡張性に優れることが利点である。しかしながら、エンドノードとゲートウェイの間のネットワーク帯域の制限や、エンドノードの CPU 資源やメモリ容量といったリソースの不足といった問題が生じる。また、IEEE802.15.4 や ZigBee に代表されるマルチホップ型のワイヤレスセンサネットワーク用プロトコルは TCP/IP によるネットワークを構築することを想定していないため、HTTP をそのまま利用する場合にはオーバーヘッドが大きくなることが想定される。

2.2 センサネットワークにおけるエンドツーエンド接続性

センサネットワークでは ZigBee のような低消費電力な無線通信を利用することが一般的である。このようなネットワークでは現在のインターネットで利用されているプロトコルである TCP/IP を用いずに、独自のプロトコルを利用することが多い。一方、IPv6 をセンサノード用の軽量な無線通信に載せることを目的として IETF の CoRE(Constrained RESTful Environments) ワーキンググループにより 6LowPAN(IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) が策定されているが現在のところまだ広く使われているには至っていない。

アプリケーションを中心としてセンサネットワークを考えた場合には、ネットワーク層など低位レイヤでの相互接続性のみならず、アプリケーションプロトコルによる相互接続性が

重要であると考えられる。アプリケーション開発者にとっては、物理層やネットワーク層のプロトコルではなく、アプリケーション層のプロトコルとして既存のシステムと同等の物が利用できることにより既存のシステムと同等の手法でセンサネットワークのアプリケーションを開発することが可能となるためである。

そこでアプリケーションとセンサノードの間でプロトコル変換ゲートウェイを利用することによりエンドツーエンドでの通信を可能とするシステムを提案する。本システムにおけるゲートウェイではそれぞれのエンドノードへの統一された通信を提供するが、それぞれのセンサノードや家電をコントロールする通信内容（ペイロード）については関知しない。このようにエンドツーエンドでの通信の仕組みを提供することにより、それぞれのセンサノードは情報を限定的に開示しつつ、同じプラットフォームを用いたセンサネットワークを構築することが可能となる。

2.3 CoAP ゲートウェイによるセンサノードにおけるエンドツーエンド通信の提供

CoAP(Constrained Application Protocol は IETF の CoRE Working Group によって策定されているプロトコルである⁷⁾。CoAP はマイクロコントローラのような限定された資源と ZigBee のような低帯域、長遅延な通信環境において、UDP 通信を用いて HTTP と親和性のあるプロトコルを提供する。

CoAP のパケットにはトランザクション ID が含まれており、データグラムによる通信が多重化された場合においてもどのコンテキストによる通信であるかを判断することが可能である。COAP の基本的なヘッダ領域は 4byte で構成されており、テキスト形式をベースに同様の通信を行う HTTP に比較して大幅に縮小されている。

そこで本研究ではセンサノードにおいて HTTP の代わりに CoAP をサポートすることにより、それぞれのセンサノードをエンドツーエンド通信の末端として取り扱うことが可能となるセンサネットワークシステムを提案する。センサネットワーク上に存在するセンサノードとインターネット上に存在するアプリケーションにおいてエンドツーエンドでのサービスを実現するためにゲートウェイ上で HTTP と CoAP の変換を行うシステムを構築した。本方式では、アプリケーションは一般的なウェブサービスを利用するシステムと同様にセンサ情報を利用したアプリケーションを開発できる。

ゲートウェイではアプリケーションからの HTTP 要求を CoAP にフォーマットを変換して通信をおこなう。CoAP を利用することにより HTTP を直接利用する場合にくらべて通信に利用するヘッダを縮小することが可能であり、通信量を削減できる。本研究ではこの CoAP を ZigBee のパケット上に直接実装することにより、6lowpan による通信が実現でき

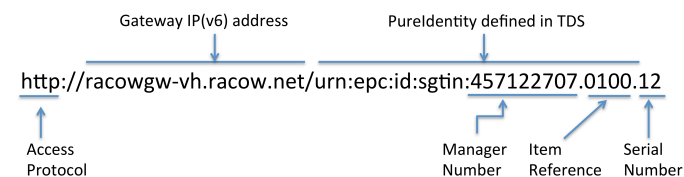


図 2 URI 形式によるセンサノードの特定

ていない ZigBee ネットワーク上においても CoAP による通信を実現している。

3. COAP ゲートウェイを用いたエンドツーエンドセンサネットワークの実現

3.1 CoAP ゲートウェイモデル

ZigBee プロトコルに直接 CoAP を実装することにより、計算機資源の少ないセンサノードにおいても HTTP に相当するエンドツーエンド通信をサポートさせることが出来る。このとき問題になるのが通信端点となるセンサノードの指定方法や、ゲートウェイとセンサノードそれぞれへの通信の指示が挙げられる。これらを解決するためにセンサノードに付与された固有の ID を URI⁵⁾ にマッピングし、ウェブサービスにおけるひとつのリソースとして扱う方法と、XML により構造化されたデータを用いることでゲートウェイとセンサノードそれぞれへのコマンドを分割しやすい形式でひとつに纏めることを提案する。これらの機能を ZigBee ネットワークとインターネットとの中継を行うゲートウェイにおいて実装することにより、インターネットからのセンサネットワークへのシームレスなアクセスを実現する。

3.2 URI を用いた通信端点の指定

ZigBee ネットワークに存在するセンサノードそれぞれに対してコマンドを送信する場合には、それぞれのノードを識別するための ID が必要となる。センサネットワーク上では TCP/IP を用いた通信を行わないため、IP アドレスによって指定できる通信の端点はゲートウェイになり、それぞれのセンサノードはゲートウェイの URL に含まれるリソースとして扱うことができる。それぞれのノードの指定方法としては、ノード固有の ID を登録し、その ID を用いる。そこで URI として図 2 のような形式によって通信の端点を指定することとなる。このような URI で表記できるリソースに対してコマンドを送信することによってセンサノードからの情報を取得する。今回の実装ではノード固有の ID として流通分野での国際的な標準化団体である GS1³⁾ で定められている商品コードである EPC^{4),6)} を用い

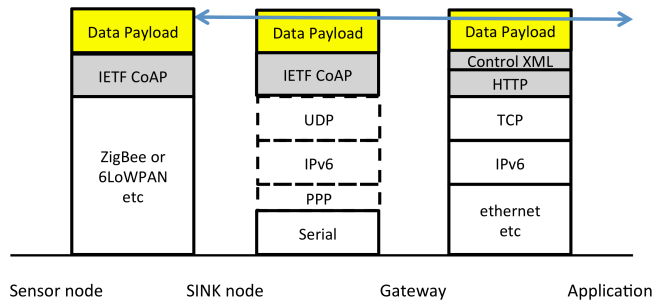


図 3 XML path-thru model

ている。このように、IP アドレスやネットワークアドレスとは異なる ID を用いることにより、センサネットワークがどのようなネットワークによって構成されているかによらず、同じ方法でセンサノードの指定を行うことが可能である。

3.3 XML によるコマンドの振り分け

エンドツーエンドでの通信を実現する経路上でプロトコル変換を伴うシステムでは、変換をおこなうゲートウェイにおいて、ゲートウェイに対する操作が必要な場合が生じる。例としてイベント通知を行う場合には、イベントの報告先アドレスはエンドノードで管理せずにゲートウェイ上で保持することが望ましい。このようなゲートウェイへの指示を行うために、HTTP を利用するとともに、XML によるコマンドを構成している。エンドツーエンドで伝送される実際のエンドノードへのコマンドについては特定の XML タグ (query タグ) でかこまれた部分のみであり、それ以外の部分はゲートウェイが処理を行う。今回はエンドノードが処理するデータとして CDATA タグに含まれる JSON 形式のメッセージを利用している。これは XML 形式のデータを処理する場合に比べ、JSON 形式のデータを利用するほうがセンサノード上のリソースが少なくすむことや、ネットワーク上のトラフィックを削減できることなどからである。このデータに関してはアプリケーションとエンドノードとの間でのみ相互に理解がなされていればよく、ゲートウェイやシンクノードが理解している必要はないため暗号化されたデータやプロプライエタリなコマンドを埋め込むことも可能である。

システムで利用する XML データとして図 4 のような形式のデータを定義する。このメッセージは Data Payload と ControlXML に分割することができる。EPC により指定された End node へは”query タグ” に囲まれているデータペイロードのメッセージを送信する。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<message>
  <command>subscribe</command>
  <requestID>12345</requestID>
  <subscriptionID>67890</subscriptionID>
  <responseURI>http://saveenergy.navi.racow.net/response.php</responseURI>
  <notifyURI>http://saveenergy.navi.racow.net/notify.php</notifyURI>
  <query target="sink">
    <![CDATA[{"subscr":{"report":true}}]]>
  </query>
</message>
```

図 4 XML data format

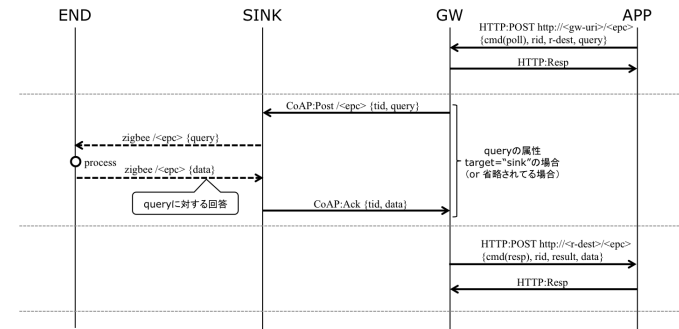


図 5 ポーリング処理のシーケンス

このようにすることで、ゲートウェイが解釈すべきデータとエンドノードが解釈すべきデータを分割することができ、ゲートウェイはエンドノードの通信方式や仕様に関わらず同様に扱うことが可能である。

3.4 ポーリングとサブスクライブによるセンサ情報の取得

センサ情報の取得においては、アプリケーションが主導して情報を取得する場合と、センサ側がある程度のインテリジェンスを持ち、センサ側からの情報提供を行う場合にわけられる。今回は、アプリケーションが主導した情報の取得をポーリングと呼ぶ。図 5 に示すようにポーリング動作においては、アプリケーションはエンドノードに対してコマンドを発行し、情報の取得や設定の変更等を行う。

また、センサのしきい値によるアラートの設定や、定期的なセンサデータの報告をセンサ

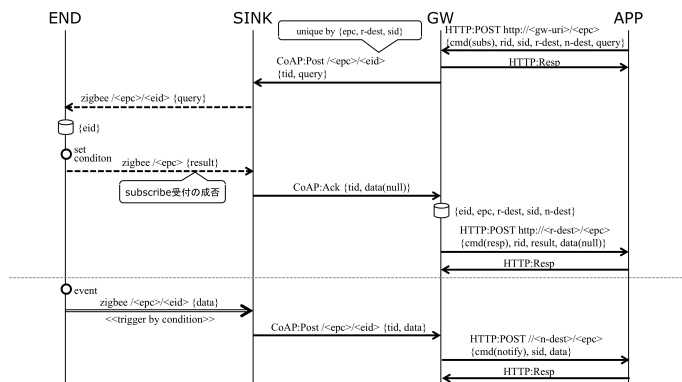


図 6 サブスクリプション処理のシーケンス

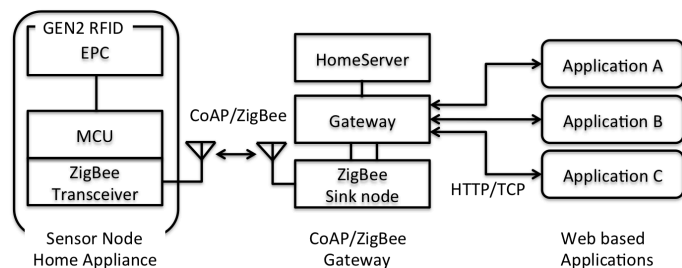


図 7 COAP ゲートウェイを用いたセンサネットワークシステム

ノードに指示するためにはサブスクリプション処理を利用する。図 6 にサブスクリプション処理のシーケンスを示す。サブスクリプション処理が行われたエンドノードは定期的あるいはセンサデータのしきい値によって設定されたイベントを発生させ、センサノードが主体的に通信を行う。センサノード上でのサブスクリプション情報はゲートウェイの発行するイベント ID (eid) によって管理され、複数のイベントを取り扱うことが可能となっている。

4. CoAP ゲートウェイを用いたセンサネットワークシステムの実装

4.1 CoAP ゲートウェイを用いたセンサネットワークシステム

CoAP ゲートウェイを利用することによりエンドツーエンドでのウェブサービスを実現するシステムの実装を行った。実装をおこなったシステム全体を図 7 に示す。センサノードは

複数のセンサないし家電機器に接続されており、それらの情報を収集する。これらのノードはそれぞれが固有の ID を保持しており、センサノードの指定にはこの ID を利用する。ゲートウェイとセンサノード間の通信は、ZigBee のコーディネータである SINK ノードを経由して行われる。SINK ノードはセンサノードの管理や通信相手の管理を行い、ゲートウェイではインターネット上に存在するアプリケーションからの通信の管理を行っている。ゲートウェイ上でインターネットからの HTTP を用いた通信と CoAP を用いた ZigBee ネットワークからの通信を相互に変換し、SINK ノードへと伝達される。

ここでホームサーバはセンサネットワーク内に存在するノードの管理情報を保持しており、自動コミッションと呼んでいる仕組みにより、動的にセンサノードの管理を行っている。

4.2 CoAP/HTTP Gateway および ZigBee sink ノード

CoAP/HTTP ゲートウェイのシステムを図 8 に示す。ゲートウェイはウェブサービスに対応するために、ウェブサーバおよびクライアントとして動作する。また、ZigBee ネットワークのコーディネータである SINK ノードとはシリアル通信で接続されており、CoAP 形式の packets をシリアルポートを介して通信している。ゲートウェイでは固有 ID である EPC を用いたセンサノードの管理を行っており、実際のネットワークとしてどのようなシステムを用いているかに関わらずに CoAP/HTTP ゲートウェイとして利用が可能である。ゲートウェイにおいて HTTP/XML の形式でセンサノードへの情報の取得や設定の要求が行われるとデータペイロードのみを取り出し、CoAP 形式の packets に変換したのちに SINK ノードへと送信する。センサノード上でのイベントの発生時に通知メッセージを要求するサブスクリプション処理ではそれぞれのサブスクリプション要求に応じて通知メッセージを送信するための URI をゲートウェイ上で管理している。これらの URI に対応するイベント番号を定義し、センサノードにおくることにより、センサノードでは複数の送信先に対応する複数の種類のイベントを独立に管理することが可能となっている。

SINK ノードは ZigBee ネットワークのコーディネータとして配下のセンサノードのコントロールを担う。このとき、上位のゲートウェイからは固有 ID によって通信相手先を指定するため、ZigBee が通信に利用する MAC アドレス (64bit) と固有 ID の組を SINK ノード内のデータベースによって管理している。SINK ノードでは CoAP packets のオプションに URI 形式で含まれているノード固有 ID を元に、packet の送信先を決定し、ZigBee での通信を行う。このときには OptionURI に含まれている固有 ID に関しては必要がないため SINK ノード上で削除するが、データペイロードにあたる部分はゲートウェイ同様に SINK ノードでも変更や解析を行わない。

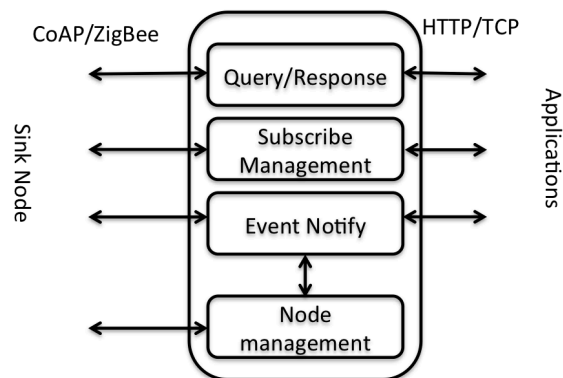


図 8 ゲートウェイのモジュール構成

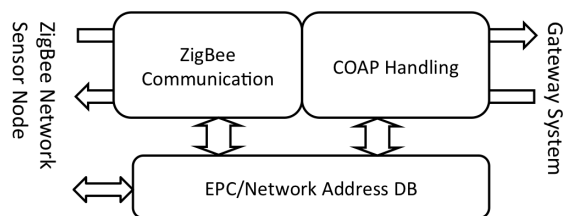


図 9 SINK ノードのモジュール構成

4.3 センサノード

今回作成したセンサノードを図 10 に示す。このセンサノードは ZigBee に対応したセンサとして温度、照度、人感センサなどを取り付けることができる。またファームウェアの変更により家電機器と通信を行い家電の操作を行ったり動作情報を取得することが可能である。今回は外部よりコントロールできる家電機器として、エアコン、シーリングライト、冷蔵庫を準備し、家電と一体となったセンサノードを構築している。また、ノードに接続されるセンサとしては温度センサ、焦電式人感センサ、照度センサを用意しセンサノードの設置場所に依りて使い分けている。

エンドノードには UHF 帯域のパッシブ型 RFID チップが取り付けられており、その内部に固有 ID である EPC を保持している。⁹⁾ RFID チップにはベースバンドインターフェースとともにチップアンテナが実装されており、有線および無線の両方の手段で読み書きが可

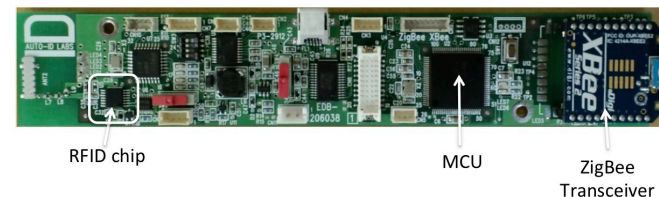


図 10 作成したセンサノード基板

能であり、RFID リーダライタおよび ZigBee のネットワークから読み書きが可能である。

ZigBee の通信を行うトランシーバとしては Digi 社の XBee を用いており、マルチホップ可能な ZigBee ネットワークを構築している。

4.4 アプリケーションプログラムの実装

本システムのアーキテクチャではアプリケーションはインターネットを介してサーバ上に存在している。アプリケーションはサーバ上に構築されたウェブアプリケーションであり、HTTP プロトコルによりユーザからのアクセスを受け付けるとともに、センサノードからの情報を取得するために HTTP プロトコルを利用する。このとき、アプリケーションからの自発的な情報取得においてセンサノードに対する HTTP のリクエストを送出するクライアントとして動作するが、センサノードが設定条件に従ってアプリケーションに情報を送信する場合には HTTP サーバとして機能する。データの取得と保存を行うアプリケーションがサーバ上で動作し、データベースへと情報を蓄えるとともに、可視化を行う。

データのさらなる応用を行うために情報収集と保存をおこなうアプリケーションに対してアクセスするアプリケーションを構築することにより、サードパーティのアプリケーション開発を行えるようになっている。これらのアプリケーションはインターネットを介してクラウドサービス上に存在し、宅内ネットワークにはインターネットを通じて外部からアクセスをおこなっている。今回の実証実験においては、クラウドサービス上においてそれぞれの実証実験拠点での消費電力やセンサデータを測定し記録するアプリケーションおよび、これらの情報をもとに iPad 上で動作する節電を促すためのアプリケーションを実装した。

5. 実証実験

本システムの有効性を示すために既存の住宅において実証実験を行った。実証実験では本システムを日常的に活動する人のいる場所で動作させ、家電の稼働状況ならびに消費電力を

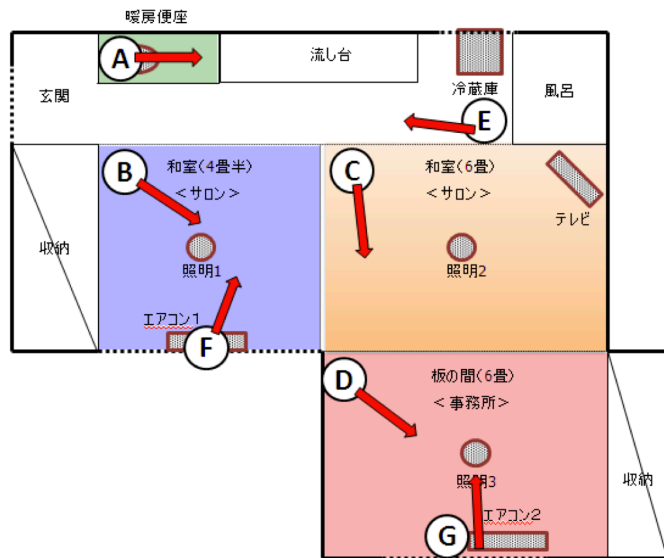


図 11 コミュニティハウスにおけるセンサの配置

計測し、人感センサにより利用者の存在状況の把握を行った。

5.1 コミュニティハウスにおける実証実験

藤沢市遠藤に位置するコミュニティハウスにおいて本システムの実証実験を行った。コミュニティハウスの模式図とノードの配置を図 11 に示す。このコミュニティハウスは地域ボランティアの活動拠点であり、数名のボランティアが昼間の間に常駐している。ボランティアのほとんどは主にシニア層と呼ばれる世代であり、コンピュータに対して親和性がとくに高いわけではない。

コミュニティハウスでは図 11 の A から G の位置に焦電赤外線センサを配置した。センサは家電やつくりつけの棚の上部に設置し、どれも床面からの高さ 2m 程度のところに設置されている。矢印の示す方向はセンサが向けてある方向であり、カバー範囲が室内すべてを網羅するように設置している。状態をモニタリングすることができる家電としてエアコン 1, 2 および暖房便座、照明、冷蔵庫がある。テレビに関してはイーサネット接続を用いることでセンサノードを介さない方法でコントロールを行うことが可能であり、後述の節電ア

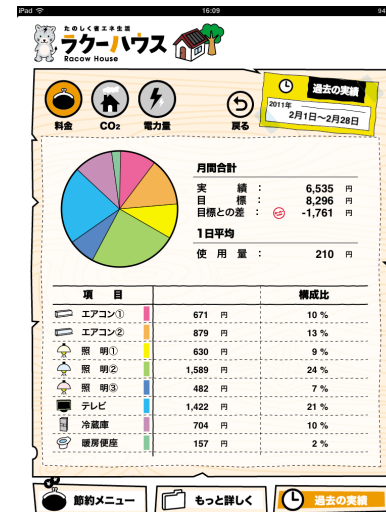


図 12 iPad 上の節電アプリケーションの例

プリケーションではテレビの利用情報も用いている。

コミュニティハウスの人感センサからのデータの取得を行い、それぞれの家電の利用状況をモニタリングすることにより、無駄な電力消費を監視するアプリケーションを構築し実証実験を行った。それぞれのセンサにはアプリケーションからサブスクリプト要求を行い、毎分一回のタイミングでそれぞれのセンサデータの収集を行った。センサデータはコミュニティハウスから地域 WiMax 網を通じてクラウド上に存在するデータ蓄積アプリケーションに伝送され、データベースに蓄えられる。サーバ上に集積されたデータは利用した電力量と人感センサによる利用者の存在状況と家電の使用状況を照らし合わせることで、電力のコントロールを行うアプリケーションで利用される。これらのサーバ上に構築されたアプリケーションはインターフェースとして構築された iPad 上のアプリケーションを用いてブラウズさせることにより利用者に現在の利用状況ならびに節電の効果を可視化している。iPad 上で動作しているアプリケーションの様子を図 12 示す。

これらの実験の結果、コミュニティハウス内に存在している 7 つのセンサノードからの情報を ZigBee ネットワークを用いて 1 分間隔で取得することが出来、サブスクリプトによるセンサノードが主導する情報の送信を行えることが確認できた。また、コミュニティハウス

内が完全に無人の場合には暖房便座など必要とされない電力を切断することによる節電を自動的に実現するシステムの動作も確認され、アプリケーションからの能動的な操作により、エンドノードの動作をコントロールすることについても確認できた。これらの結果によりセンサノードとアプリケーション間でのエンドツーエンドでの通信を用いたセンサネットワークシステムとしての本システムの動作を検証することが出来た。

6. ま と め

家庭内でのエネルギーマネジメントなどにおいてセンサネットワークの利用を加速するためには、家電と一体化したセンサノードの普及が重要である。このようなセンサノードの通信に用いられる ZigBee のような低帯域かつ長遅延な通信方式では既存のインターネットで用いられているプロトコルをそのまま適用することは困難である。

本論文では ZigBee によるセンサネットワークとインターネット上のウェブアプリケーションがエンドツーエンドで通信を行うためにインターネット上の HTTP を ZigBee 上の CoAP に変換するプロトコル変換ゲートウェイの利用を提案しその実装を行った。プロトコル変換ゲートウェイを介することによりそれぞれのセンサノードをひとつのウェブサービスのリソースとして扱うことが可能となる。本システムではゲートウェイではトランスポートプロトコルの変換のみを行うため、センサノードとアプリケーション間で交換されるペイロードは独自のものを利用することが可能である。

本システムを利用した家庭内のエネルギーマネジメントシステムを構築し実証実験を行うことにより有効性を検証した。実証実験では宅内の 7 箇所に設置されたセンサノードからのデータを 1 分間隔で収集しつつ、センサノードに接続された家電のコントロールを行うことを可能とした。

謝辞 本研究の一部は総務省平成 21 年度第二次補正予算「ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業・WiMAX を利用したデータ収集システム」により実施した。

参 考 文 献

- 1) Patchube.com, <http://www.patchube.com/>
- 2) twitter.com, <http://twitter.com/>
- 3) GS1 General Specifications Version 10, (2010).
- 4) EPC Tag Data Standard, Version 1.5, (2010)
- 5) T.Berners-Lee,R.Fielding,U.C.Irvin, L.Masinter, "Uniform Resource Identifiers(URI):Generic Syntax, RFC2396, (1998).

- 6) M.Mealling, "A Uniform Resource Name Namespace for the EPCglobal Electronic Product Code (EPC) and Related Standards", RFC 5134, (2008).
- 7) Z. Shelby,K. Hartke,C. Bormann,B. Frank, Constrained Application Protocol (CoAP), <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-core-coap/>, March 2011.
- 8) Dominique Guinard, Vlad Trifa, Erik Wilde, A Resource Oriented Architecture for the Web of Things, Second International Conference on the Internet of Things (IoT 2010), Tokyo, Japan, November 2010.
- 9) Kenichi Sugimoto, Jin Mitsugi, Osamu Nakamura and Jun Murai, "Low power and agile sensor data retrieval using dual interface passive RFtag", IEEE RFID-TA, June 2010.