

軍隊アナロジーに基づくミッション指向環境センシングの検討

井元 滉[†] 佐伯 幸郎[†] 中村 匡秀[†]

[†] 神戸大学大学院システム情報学研究科 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: [†]inomoto@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ^{††}sachio@carp.kobe-u.ac.jp, ^{†††}masa-n@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし スマートシティ等に見られるように、大量の IoT デバイスを広大な領域に設置して、大規模なセンシングを行うプラットフォームの研究開発が盛んである。こうした大規模なセンシングにおいては、インフラのコストや効率の観点から、設置したセンサや IoT デバイスを単一の用途のみに使うのではなく、複数の用途に動的に適応し、複数のアプリケーションで共用することが理想的である。そのためには、用途に応じて大量の IoT デバイスを規律正しく、動的にコントロールすることが求められる。本稿では、軍隊のアナロジーを導入して、個々の IoT デバイスを「兵」、動的に変わる用途を「ミッション（任務）」と見立て、大量のデバイスが軍隊の階層構造（ヒエラルキー）に基づいて、秩序正しくセンシングを行える枠組みの提案を行う。

キーワード ミッション指向センシング、大規模環境センシング、コンテキストウェア・センシング、IoT

A Study on Mission-Oriented Environment Sensing based on Military Analogy

Hikaru INOMOTO[†], Sachio SAIKI[†], and Masahide NAKAMURA[†]

[†] Kobe University, Rokkodai 1-1, Nada, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

E-mail: [†]inomoto@ws.cs.kobe-u.ac.jp, ^{††}sachio@carp.kobe-u.ac.jp, ^{†††}masa-n@cs.kobe-u.ac.jp

Abstract As typically seen in Smart City, emerging technologies enable large-scale environment sensing using IoT devices deployed in a wide area. From the viewpoint of cost and efficiency, infrastructure of the large-scale environment sensing should be shared by multiple applications, with dynamically adapting the sensing behavior for different purposes. To achieve this, the infrastructure must implement a clever method that can command and control a lot of IoT devices in good order. To implement such multi-purpose large-scale environment sensing, we introduce an analogy of military system. Specifically, we propose a *mission-oriented sensing* with military analogy, where individual IoT devices and their dynamic purposes are regarded as soldiers and missions, respectively.

Key words Mission oriented sensing, Large-scale environment sensing, Context-aware sensing, IoT

1. はじめに

IoT (Internet of Things) [1] [2] やクラウドコンピューティングの発展に伴い、IoT デバイスを用いた大規模環境センシングに注目が集まっている。街中にセンサを設置して得られる環境データを使って住民に付加価値サービスを提供するスマートシティ [3] や、広域な農場にセンサを設置して畑や作物のデータを収集するスマートアグリ [4]、また道路交通網からデータを取得してリアルタイムに監視するスマートモビリティ [5] など、様々な分野への活用が期待されている。

こうした大規模環境センシングの実現にあたり、我々は特に下記の三つの課題に着目している：

課題 P1 (インフラの共用) 大規模環境センシングを行うには、インフラとして、センシングを行う区域に大量のセン

サや IoT デバイスを導入・設置し、それらを適切に管理・保守していく必要がある。大量のデバイスの費用や設置・管理コストの観点から、センシングの基盤は単一用途のみに使うのではなく、複数の用途やアプリケーションで共用することが理想的である。

課題 P2 (動的な設定変更) アプリケーションによっては、曜日、時間帯、場所等の状況によってセンシングの設定を動的に変更することが有効な場合がある。道路交通網の監視の例では、通勤ラッシュ時には高頻度のデータ収集を行い、交通量の少ない深夜帯にはデータ取得頻度を下げれば、得られる情報の質を落とさずにデータ量を削減できる^(注1)。

課題 P3 (多種多様なデバイスの混在) 大規模センシングの

(注1)：このように状況に応じて振る舞いを変えるセンシングは、コンテキストウェア・センシング [6] と呼ばれる。

基盤を複数のアプリケーションで共用し、様々な用途に活用するためには、センシング基盤は多種多様なデバイスの混在を許容すべきである。一般的にアプリケーションはそれぞれ自分の興味のある環境属性（温度、湿度、照度、音圧、振動、人感等）が異なる。また同じ環境属性のセンサでも用途に応じて異なる性能が求められることがある。

IoT のためのデバイスやクラウドサービスの実用化によって、大規模環境センシングのための道具立ては出揃ってきた。しかしながら、上記の課題 P1, P2, P3 を同時に考慮した体系的な手法は、筆者らの知る限り存在していない。これらの課題を解決するためには、用途に応じて大量かつ多種多様なデバイスを規律正しく動的に統制することが求められる。

この要求に応えるために、本研究では軍隊のアナロジーを導入した新しい大規模環境センシングの枠組みを提案する。軍隊には多数の兵が存在し規律をもって統制されている。また、軍隊には様々な任務（ミッション）が与えられ、各兵は任務に基づいて具体的な活動を行う。ミッションは動的に更新され、それに伴って兵の行動も変わる。提案する枠組みでは、大規模環境センシングにおける各 IoT デバイスを兵、アプリケーションから要求されるセンシングのタスクをミッションとみなし、動的に更新されうる複数のミッションを、統制をもって実行するミッション指向センシングを提案する。まず課題 P1 に対応するため、複数のアプリケーションがセンシング基盤に対してミッションを発令できる仕組みを実現する。ミッションには、それぞれのアプリケーションが行いたいセンシングの設定情報が含まれる。センシング基盤はミッションを受け取ると、指定されたデータを適切なセンサから取得して、指定された場所に蓄積する。次に課題 P2 に対応するため、センシング基盤においてミッションを動的に変更できるようにする。決められた指揮系統に基づいて、適切なデバイスに任務の更新を伝達し、センシングの設定を変更する。課題 P3 については、多種多様なセンサデバイスを「兵の持つ装備」として抽象化し、デバイスへの操作は全て兵に委任することで対応する。

上記の仕組みを実現するため、我々は、実際のセンシングを行うデバイスである兵（Soldier）、兵をエリアごとにまとめたゲートウェイである指揮官（Leader）、全てをまとめたサーバである司令官（Commander）からなる階層構造（ヒエラルキー）を構築し、この階層構造を用いたミッション指向センシングによって、大規模環境センシングを実現する方法を考察する。

本稿では特に、ミッション指向センシングのコンセプトとそれを構成する各要素、及び軍隊のアナロジーに基づくミッション指向センシングの実現方法について検討する。また、検討したセンシング基盤のプロトタイプの作成と評価実験を行い、提案手法の有効性の確認を行う。

2. 準備

2.1 大規模環境センシング

一つ以上のセンサを使って与えられた環境のデータを測定・

蓄積する行為を環境センシングと呼ぶ。典型的なデータとして、温度、湿度、照度、音圧、振動、気圧、人感等の環境属性や、機械やシステムの状態などがある。今日では IoT の発展により、測定したセンサデータをインターネットを通じて送信することが可能となっている。これらの IoT デバイスを最新のクラウドサービスを組み合わせて活用することで、大規模で広範囲の環境センシングを比較的低コストで行えるようになっている。

本稿で注目する大規模環境センシングとは、対象の領域に多数のセンサデバイスを設置し、目的の環境データを収集して、ネットワーク経由で（例えばクラウド上の）指定されたデータベースに蓄積する行為を指す。大規模環境センシングの特徴は、センシングする範囲が広いこと、センサの数や種類が多いこと、収集するデータの量や時間密度が多いことが挙げられる。こうした大規模環境センシングを行うインフラ（基盤）は、スマートシティやスマートアグリ等で期待されている。

大規模環境センシングを行うには、「どの場所のどんなデータを、どの頻度で取得し、どの形式でどこのデータベースに蓄積するか」という設定（センシング設定と呼ぶ）を決める必要がある。

2.2 大規模環境センシングの課題

大規模環境センシングはその規模ゆえの課題がある。

まずはインフラの導入・運用にかかるコストである。インフラの構築には、大量のセンサデバイスの調達に加え、適切な場所への設置、初期設定、そして維持・管理にコストがかかる。そのため、大規模環境センシングを行う異なるアプリケーションが、それぞれが独自のインフラを用意することは現実的ではない。今後スマートシティ等で、様々なサービスやアプリケーションが増えていくことを想定すると、センサイnfraは複数のアプリケーションで共用できることが理想的である。このことが 1. で述べた課題 P1 に対応する。

また、大規模環境センシングにおいては、センシング設定をコンテキストに応じて動的に変更したいという要求がある。1. で述べた道路監視の例のほかにも、ショッピングセンターにおいてイベント開催中に対象フロアだけデータを密に収集したり、閉館後にセンシング密度を最低限にする、といった例も考えられる。短時間に膨大な量のデータが生み出される大規模センシングでは、ストレージや通信インフラ、計算リソースに大きな負荷がかかる。インフラへの負荷を適切に調節するためにも、動的なセンシング設定の適用は重要な要求である。このことが 1. で述べた課題 P2 に対応する。

さらに、スマートシティのように広範囲で様々な種類の環境データを集める場合は、敷設されるセンサデバイスの種類も多岐に渡る。このとき、デバイスごとに異なるセンシング設定を全てアプリケーション開発者に委ねるのは、インフラの使用性を著しく下げる。また、ある街で行った設定を他の街で再利用できないという移植性の低下も発生する。そのため、センサイnfraは、様々な種類のデバイスの混在を許容したうえで、センサデバイス固有の設定とアプリケーションが必要とするセンシング設定を分離して定義できることが望ましい。このことが 1. で述べた課題 P3 に対応する。

2.3 研究のスコープ

大規模環境センシングを行う環境として、本研究では以下の条件を想定している。

- ・ センサデバイスの動作が保証される環境であること。
- ・ センサデバイスは設置場所に固定され移動しないこと。
- ・ センサデバイスには常に電源が供給され、IoT デバイス等を介してインターネットに常時接続されていること。

激しい風雨や超高温にさらされる過酷な環境や、電源やインターネットが利用できないケース、スマートフォンやウェアラブル端末のように場所が移動するセンサは本研究では想定しない。上記の前提条件のもと、1. で述べた課題 P1-P3 を解決する大規模環境センシングの実現手法を考察する。

3. 提案手法：ミッション指向センシング

1. で述べた課題解決のため、本研究ではミッション指向センシングという新たな大規模環境センシングの実現手法を提案する。

3.1 キーアイデア

ミッション指向センシングとは、センシングの基盤に与えるセンシング設定を、動的に変更可能なミッションと定義し、実行する枠組みである。ミッションには集めるデータの種類や場所、取得間隔、データの蓄積先といった大規模環境センシングに必要な設定情報が含まれる。アプリケーションは、自分の用途に応じてミッションを作成しインフラに与えると、センシング基盤はミッションに関連するセンサデバイスに指示を出し必要なデータの収集を行う。ミッションは任意のタイミングで追加・更新・削除が可能であり、センシング基盤は同時に複数のミッションを並行して請け負うことも可能とする。複数のアプリケーションから与えられるミッションを、センシング基盤が並行して実行することで、課題 P1 に対応する。またミッションを状況に応じて動的に更新可能することで課題 P2 に対応する。さらにデバイス固有の設定を、段階的にミッションとして抽象化することで課題 P3 に対応する。

3.2 ミッション

ミッションは大規模センシングに必要な情報を含まなければならない。本研究では六何の原則に基づいてミッションが含むべき情報を以下のように定義する。

(WHAT) requirement このミッションで「何を」収集するかを指定する。収集するデータの属性 (例：温度、照度、湿度) を与える。

(WHERE) place このミッションで「どこ」値を収集するかを指定する。requirement で定義されたセンサの中でも、どのエリアにあるものを対象とするかを与える。

(WHEN) trigger このミッションで「いつ」値を取得するかを指定する。データのサンプリング間隔 (例：10 秒毎) や、サンプリング条件 (例：値が 28 以上の時に) を与える。

(HOW) destination このミッションで「どのように」データを保存するかを指定する。データベースのアドレスや

表 1 センシング基盤に渡されるミッションの例

Parameter name	Value
requirement	[barometer, brightness, humidity, temperature]
place	1F corridor, Building of system informatics
trigger	{interval:10}
destination	mongodb://xxx.xx.xxx.xx/sensing
supervisor	KobeUniv-CSBuilding-Platform01
purpose	{app: TestApp, mode: env-monitoring-default}

データ形式などを指定する。

(WHO) supervisor このミッションを「誰が」責任をもって遂行するかを指定する。インフラ内のセンサや、センサ群を管理しているノードの ID を与える。

(WHY) purpose このミッションが「なぜ」行われるのかを指定する。アプリケーション ID やそのモードを指定して、複数ミッションの管理に利用する。

上記のうち、requirement, place, trigger, destination はインフラを利用する各アプリケーションによって指定される。supervisor, purpose はミッションが与えられた際に基盤側が付与し、ミッションの管理に利用される。

ミッションの具体例を表 1 に示す。この例では、テストアプリケーション TestApp が、神戸大学のシステム情報学研究棟の 1 階廊下を環境センシングすることを想定している。気圧、照度、湿度、温度をサンプリング間隔 10 秒で取得し、MongoDB の sensing データベースに格納せよ、というミッションである。

3.3 軍隊アナロジーの導入

大規模環境センシングのインフラには大量のセンサデバイスが存在している。ミッション指向センシングにおいて、複数かつ動的なミッションを正しく遂行するためには、大量のセンサデバイスを秩序正しく統制する必要がある。これを実現するため、本研究ではセンシングのインフラの統制に軍隊のアナロジーを導入する。直感的にはインフラ内の大量のデバイスを兵とみなし、規律に基づいて任務 (= ミッション) を遂行させる。軍隊における様々な概念の中から、本研究では特に、以降で述べる三つを有効に利用している。

3.3.1 階層構造 (ヒエラルキー) による分割統治

軍隊では多数の兵を秩序正しく統率するため、階層構造 (ヒエラルキー) によって分割統治が行われる。提案手法ではこのヒエラルキーを応用し、図 1 に示すアーキテクチャに基づいてセンシングのインフラを構成する。提案アーキテクチャでは、インフラ内のデバイスを下記の三つのクラスに分類する。

兵 (Soldier) 実際の環境データの取得を行うセンサデバイス。ヒエラルキーの最下層に位置する。上官である指揮官から与えられた命令 (order) に基づいてデータを取得し、指揮官に報告 (report) として送信する。典型的には、兵は一つ以上の環境センサが接続された IoT デバイスに相当し、この場合センサは兵が持つ装備とみなされる。

指揮官 (Leader) 環境内の一定のエリア毎に、兵を「部隊」としてまとめて管理するデバイス。上官である司令官から

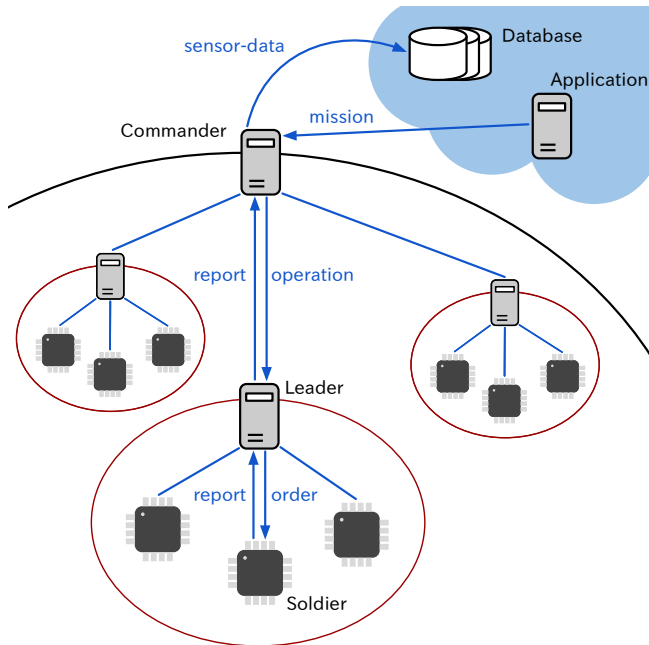


図1 提案するセンシング基盤のアーキテクチャ

与えられる作戦（operation）を解釈し、具体的な命令に変換して、自分の部下である兵に与える。また、兵から送られてきた報告を集約して司令官に送信する。典型的には、一人の指揮官はその設置場所から見通しが効く範囲（同じ部屋、同じフロア等）の、数名～十数名の兵を部隊として管轄することを想定している。これはミッションで指定される場所情報（place）を、部隊にマッピング可能にすることが目的である。さらに、機器の設置・保守・管理に伴う作業のしやすさも考慮している。

司令官（Commander） インフラ内の全指揮官を管理し、インフラの窓口になるサーバ。アプリケーションから依頼されたミッションを解釈し、作戦を作成して関連する指揮官に送付する。また、指揮官から送られてくるデータを集約し、ミッションごとに指定されたデータベースに送る。

3.3.2 ミッションの段階的詳細化

大量かつ多種多様なセンサデバイスに対する設定情報をアプリケーションが直接意識せずに済むように、提案手法ではミッションをデバイスによらない抽象的な表現にとどめている（3.2参照）。一方で、実際のセンシングに必要な情報は、インフラ内の司令官、指揮官によって段階的に詳細化される。

提案手法では、一つのミッションに対して、下記三つの抽象レベルが存在する。これらは3.3.1の説明中にも登場している。

任務（mission） 3.2で定義される最も抽象度の高いミッション。各アプリケーションによって定義され、センシング基盤に投入される。

作戦（operation） 任務を達成するために、インフラ内の各部隊が実行すべき仕事をまとめたもの。司令官によって作成され、各部隊の指揮官に伝達される。

命令（order） 作戦を実行するために、各兵（＝センサデバイ

ス）に対して与えられる具体的な指示。与えられた作戦に基づいて、指揮官によって作成される。

3.3.3 命令 / 報告 構造による情報伝達

インフラ内のすべてのデバイスは、必ず命令と報告を対とする情報伝達を行う。すなわち、自分の直属の上官から命令をもらい、その命令に対して必要な活動を行って、同じ上官に対して報告を行う。このとき、与えられた命令以外の活動は行わず、また階層を飛び越えた情報伝達もしてはならない。

また、センシング基盤は複数のミッションを並行して実施するため、すべての命令と報告には、ミッション固有の識別子が付与される。具体的には、ミッションにおける purpose を識別子として用い、これによって与えられた命令や報告がどのミッションに依存するものかを識別する。

3.4 提案手法による大規模環境センシングの流れ

提案手法による大規模環境センシングの流れを述べる。

- 1) アプリケーションが自分の用途に応じてミッションを作成（または変更）し、司令官に送信する。
- 2) 司令官は、ミッション中の place からそのエリアを担当する部隊の指揮官を割り出し、それぞれの指揮官に対して作戦（operation）を生成して送信する。各作戦には requirement, trigger, purpose が含まれ、指揮官が収集すべきセンサ属性と収集タイミング、ミッション識別子にそれぞれ対応する。
- 3) 作戦を受け取った指揮官は、自分が管轄する部隊の兵の中から requirement に指定されたセンサを持つ兵を割り出し、それぞれの兵に対して命令（order）を生成して送信する。各命令には、計測すべきセンサ属性（requirement の部分集合）、trigger, purpose が含まれる。
- 4) 命令を受け取った兵は、命令を解釈してデバイスに対して具体的なセンシング操作を実行する。各兵が取得したデータは、兵の ID, purpose, タイムスタンプとともに指揮官に報告として送信され、指揮官のもとに蓄積される。
- 5) 指揮官は、蓄積したデータに場所情報を付与し、一定時間おきにデータをまとめて司令官に送信する。
- 6) 指揮官からデータを受け取った司令官は、そのデータをミッションで指定されたデータベースに送信する。

以上の流れにより、アプリケーションは用途に応じたデータをデータベース上に得ることができる。

4. 実 装

本稿で提案する軍隊アナロジーに基づくミッションセンシング基盤のプロトタイプ実装を行った。

まずソフトウェアに関して、図1における兵、指揮官、司令官のそれぞれを独立した python プログラムとして実装した。プログラム間の通信手段としては HTTP を使い、各プログラムの操作は Web サービスとして実行できるようにした。通信の方向は、部下から上官へ固定した。部下は、上官から命令を定期的にプルし、報告を上官へプッシュする仕様とした。

さらに、ヒエラルキーの構成を管理するために、自分の ID をもとに所属部隊や上官を解決するサービス、部隊リゾルバを

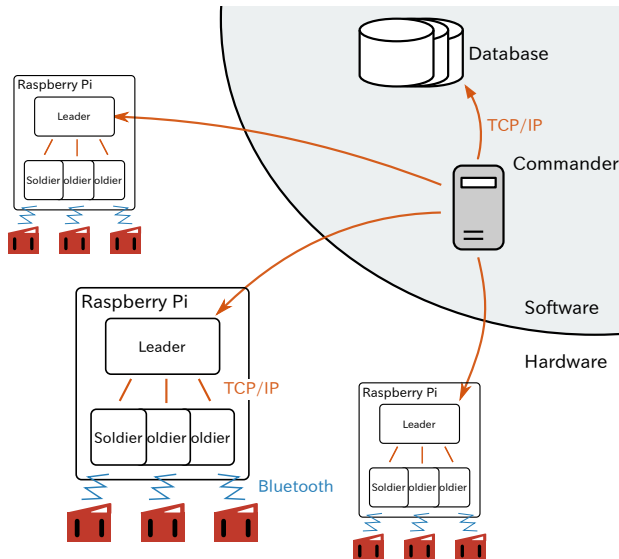


図2 プロトタイプのハードウェア構成

Web サービスとして実装した。兵、指揮官、司令官の各プログラムは、自らの起動時に部隊リゾルバにアクセスし、自分がどの部隊に所属しているのかを解決する。

ハードウェア構成とその関係を図2に示す。本プロトタイプでは、センサデバイスとして Texas Instruments 社の SensorTag [7] を用いた。SensorTag は多数の環境センサを持ち Bluetooth Low Energy (BLE) の通信でセンサ値を取得できる。兵および指揮官のプログラムの実行プラットフォームとしては、Raspberry Pi3 を利用し図のようにインストールした。兵のプログラムは SensorTag 一つに対して 1 プロセス存在し、センサ値の取得は各兵の権限で Raspberry Pi から BLE 通信で行う。司令官のプログラムは CentOS が動作するサーバ上に配置し、部隊リゾルバも同サーバに配置した。

5. 評価実験

5.1 目的

提案手法を評価するため、開発したプロトタイプを用いて実環境におけるセンシング実験を行う。今回の実験の目的は、提案手法の基本機能の動作確認である。特に、複数ミッションの実行や、動作中のミッションの変更が正常に動作するかを確認する。また、シミュレーションではなく実環境で実験することで、実環境における提案手法の有用性と限界を考察する。

5.2 実験設定

環境センシングの対象は、神戸大学システム情報学研究科棟（システム棟）の共用廊下部分である。システム棟は、我々の研究室が入っている 5 階建ての建物である。SensorTag を各フロアの廊下に 2 個ずつの計 10 個配置し、更にフロアごとに兵と指揮官が動作する Raspberry Pi を設置した。図3に1階部分の見取り図とハードウェア設置場所を示す。

実施するミッションは三つ用意した。いずれのミッションでも、requirements は SensorTag で収集可能なすべての属性（加速度・気圧・照度・ジャイロ・湿度・磁気・気温）とした。place

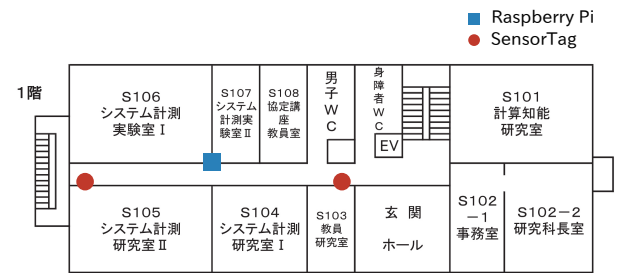


図3 ハードウェアの設置場所

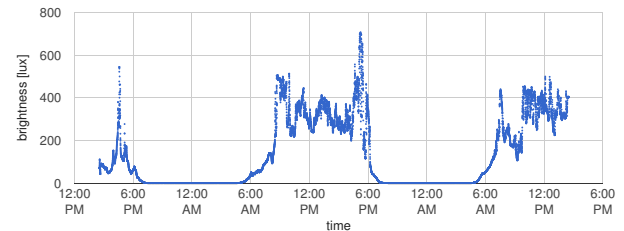


図4 システム棟・3階西側の照度（サンプリング間隔 10 秒）

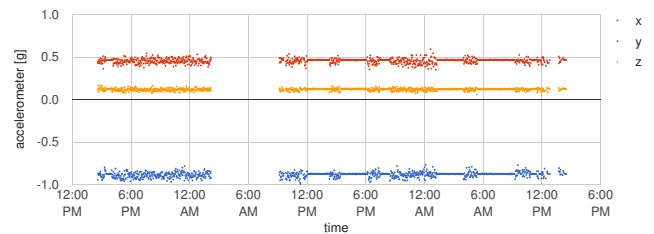


図5 システム棟・5階東側の加速度（サンプリング間隔 120 秒）

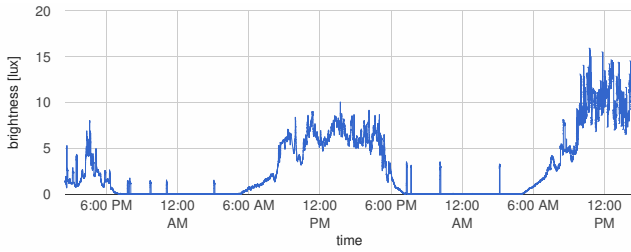
はシステム棟の5フロア10箇所すべてを指定した。triggerについては、サンプリング感覚を10秒固定、120秒固定、10秒と120秒を時間帯によって変更するものの3種類とした。destinationは研究室のMongoDBサーバに設定した。センシングの実施期間は2016年7月9日14:30から2日後の7月11日14:30までとし、ミッションのうち取得頻度を変更するものについては日中は10秒ごとで21:00から9:00までの間は120秒ごとに設定した。

5.3 結果

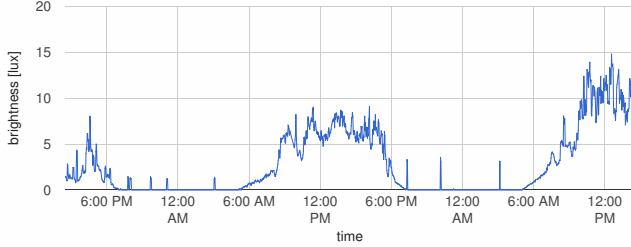
上記センシングにより、10箇所7種類のセンサ値、三つのミッションで計210種類の実データが得られた。例として3階西側の照度と5階東側の加速度のデータを図4、図5に示す。7月10日午前2時頃にサーバの不具合により4階と5階の指揮官プログラムが停止した。同日午前9時に再起動させたが、その間のデータが欠損していることが図5から確認できる。

次に、異なるミッションの比較例として、1階西側の照度について、サンプリング間隔10秒のものと120秒のものを図6に示す。並行する二つのミッションによって、同時刻・同場所における異なる解像度の照度データが得られている。

ミッションの動的な変更を確認するために、1階東側の湿度のうち7月9日午後9時（ミッション切り替えのタイミング）の前後30分の値を図7に示す。9時を境目に、データのサンプリング間隔が変わっていることが確認できる。



(a) ミッション 1 (サンプリング間隔 10 秒)



(b) ミッション 2 (サンプリング間隔 120 秒)

図 6 システム棟・1 階西側の照度

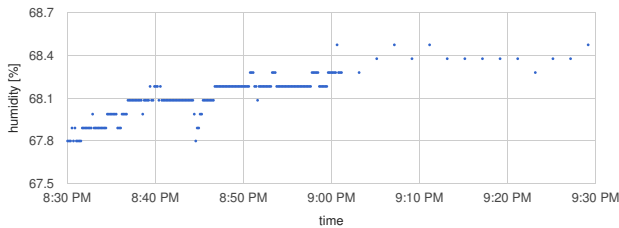


図 7 ミッション切り替え時のデータ

表 2 収集したデータ点数

mission	actual count	expected count	loss ratio
per 10 sec	1,090,733	1,209,600	9.82%
per 120 sec	89,194	100,800	11.52%
variable	608,118	655,200	7.18%

最後に、センシングで収集されたデータ数をカウントし、データの欠損率を評価した。その結果を表 2 に示す。データ数の理論値としては、サンプリング間隔 10 秒のものは 1 分あたり 6 回 $\times$ 60 分 $\times$ 48 時間 $\times$ デバイス数 10 個 $\times$ センサ値の種類 7 で 1,209,600 個となる。120 秒のものは 10 秒のものの 12 分の 1 なので 100,800 個となる。頻度変更のものは 12 時間ごとに頻度 10 秒と 120 秒を切り替えるので、10 秒のものの半分と 120 秒のものの半分以上を足した個数となり、 $1,209,600 \div 2 + 100,800 \div 2$ で 655,200 個となる。表から 48 時間の計測におけるデータ欠損率はサンプリング間隔固定のミッションでは 10%前後、可変のミッションでは 7%前後となった。

5.4 考察

図 4 の照度データから日中は照度が高く夜中は暗い様子が確認でき、ミッションで指定した環境センシングが正しく実行されていることがわかる。図 6 からは、グラフの外形は同じだが解像度の異なる 2 種類のデータが得られていることがわかる。このことから、同日同時刻に二つの異なるミッションが並列に動作していることがわかる。図 7 では、ミッション切り替えのタイミングでデータの密度が下がっていることがわかる。この

ことから、ミッションの動的な変更が可能であることがわかる。

表 2 のデータ欠損については、まず図 5 でも確認できる深夜時間帯の指揮官の停止がある。48 時間中約 7 時間にわたり、5 フloor 中の 2 フloor のデータが欠損しているため、この分だけで 5.8%になる。この他の要因としては、センサデバイスとして利用している SensorTag の通信が不安定である点がある。SensorTag および Raspberry Pi の設置場所の都合上、まれに SensorTag との BLE 接続が途切れるためデータが欠損していると考えられる。データ欠損の問題については、プログラムの自己回復機能やネットワーク状態に応じたデータ送信機構を実装する必要があるが、これらは今後の課題としたい。

6. おわりに

本稿では、複数のアプリケーションで共用可能な大規模環境センシング基盤を実現するために、軍隊のアナロジーを取り入れたミッション指向センシングを提案した。提案手法では、センシング基盤に対するセンシングの設定をミッションとして定義し、各アプリケーションが動的に作成、変更、削除することを可能にした。軍隊におけるヒエラルキー、命令・報告による情報伝達、ミッションの段階的詳細化を応用することで、複数アプリケーションでのセンシングのインフラの共用、設定の動的な変更、多種多様なデバイスの混在といった課題を解決している。

また、提案手法のプロトタイプを実装し、実環境のセンシングを通じた評価実験を行って、ミッション指向センシングの動作確認および考察を行った。今後の課題としては、データ欠損に対する対策の検討や、ヒエラルキーの動的な変更を許容する拡張などが考えられる。

謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費（基盤研究 B 16H02908, 15H02701, 26280115, 萌芽研究 15K12020）の研究助成を受けて行われている。

文 献

- [1] D. Miorandi, S. Sicari, F.D. Pellegrini, and I. Chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol.10, no.7, pp.1497–1516, 2012.
- [2] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey," *Computer Networks*, vol.54, no.15, pp.2787–2805, 2010.
- [3] R.G. Hollands, "Will the real smart city please stand up?," *City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action*, vol.12, no.3, pp.303–320, 2008.
- [4] M.T. Lazarescu, "Design of a wsn platform for long-term environmental monitoring for iot applications," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol.3, no.1, pp.45–54, March 2013.
- [5] X. Yu, F. Sun, and X. Cheng, "Intelligent urban traffic management system based on cloud computing and internet of things," *International Conference on Computer Science Service System (CSSS)*, pp.2169–2172, Aug. 2012.
- [6] C. Perera, D.S. Talagala, C.H. Liu, and J.C. Estrella, "Energy-efficient location and activity-aware on-demand mobile distributed sensing platform for sensing as a service in iot clouds," *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol.2, no.4, pp.171–181, Dec. 2015.
- [7] "sensortag," <http://www.ti.com/sensortag/>.