

広域センサネットワーク統合環境におけるデータの障害検知システム

山内 正人^{†1,†3} 松浦 知史^{†2,†3} 石 芳正^{†4}
寺西 裕一^{†4,†3} 砂原 秀樹^{†1}

大規模なセンサネットワークを運用し、安心・安全にセンサデータを活用するためにはセンサデータの異常検知が重要となる。本稿ではこれまで筆者らが提案してきた大規模なセンサネットワークにおいて障害検知を行うフレームワークを分散環境 (PIAX) 上に実装した。障害検知結果を表示する障害通知アプリケーションの作成も行った。また、障害検知に際して行う通信等を X-Sensor 2.0 を用いて可視化も行った。それぞれのシステムが適切に連携し、障害検知フレームワークが動作することを確認した。

Fault detection framework for wide area sensor networks

MASATO YAMANOUCHI,^{†1,†3}
SATOSHI MATSUURA,^{†2,†3} YOSHIMASA ISHI,^{†4}
YUICHI TERANISHI^{†4,†3} and HIDEKI SUNAHARA^{†1}

It is important to detect the fault on large scale sensor networks. In this paper, we implemented a fault detection framework which is proposed by writer. We implement the framework on distributed environment. We also made a application that shows result of fault detection. We confirm that our system works correctly.

^{†1} 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

Graduate school of media design, Keio University

^{†2} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Graduate school of Information science, Nara Institute of Science and Technology

^{†3} 情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

^{†4} 大阪大学

1. はじめに

大規模なセンサネットワークを運用し、安心・安全にセンサデータを活用するためにはセンサデータの異常検知が重要となる。例えば、気象センサのデータを収集することで防災情報サービスなどのサービスへ利用することが考えられる。この場合センサデータの信頼性が重要となる。センサデータが不確かでは誤った防災情報を提供してしまい、逆に被害を拡大する恐れもある。しかしセンサネットワークに関する研究はルーティングやデータ管理などが多く、データの信頼性を考慮したセンサネットワークに関する研究は少ない。そこで本研究では大規模な広域センサネットワークにおけるセンサデータの障害検知をし信頼性確保に繋げる。

従来障害検知手法は規模性や精度に問題があった。そこで筆者らは規模性や精度を考慮した障害検知フレームワークの提案を行っている¹⁾。提案フレームワークでは、障害検知精度向上のため、最適な障害検知手法を容易に適用可能としている。既存の障害検知手法を分析することで使用されている計算を要素分解し、基本コンポーネントとして用意することで様々な障害検知手法を基本コンポーネントの組み合わせで実装することができる。そのため、プログラムなどの記述をすることなく適用可能となっている。これにより、最適な障害検知手法を適用でき、様々な状況において精度良く障害検知が行える。従来障害検知手法は、1か所にデータを集めて行うものが多かったが、本研究では規模性を考慮し各センサノードで障害検知を行う。また提案フレームワークではデータの信頼性を表す統一的指標として信頼度という値を導入している。信頼度は障害検知結果を基に統一的算出方法で算出される。情報の配信方法として pull 型と push 型配信が考えられる。障害は頻繁に発生しないため障害発生というイベントに対してイベントドリブンに配信する push 型配信で実装を行った。これにより規模性の向上に繋がる。

P2P 構造化オーバーレイネットワークとエージェント機構を組み込んだフレームワーク (PIAX) を用い、エージェントとして提案フレームワークを実装した。また複数のセンサネットワーク拠点を統合的に利用できるセンサネットワークテストベッド (X-Sensor 2.0) を用いて、各センサノード間の通信の可視化も行う。

2章で Live E!プロジェクトでの実運用で発生した障害を基に障害の整理を行う。3章では障害検知フレームワークについて述べる。4章で実装したシステムについて述べる。??章

University of Osaka

で考察及び今後の課題について述べ、5章でまとめる。

2. 実運用における障害

本章では Live E!プロジェクトの実運用で発生した障害を基に、広域センサネットワークで起こりうる障害について整理する。

2.1 Live E!プロジェクト

Live E!プロジェクト²⁾は環境情報を自由に流通し共有される電子情報基盤の構築を目的とした産官学連携プロジェクトである。2005年から世界150か所程度にセンサを設置し気温、湿度、気圧、風向、風速雨量、CO₂などの情報をインターネットを介して収集している。これら収集された情報を公共サービスや教育教材、農業、防災、観光などの分野へ応用している。

2.2 実運用での例

これまで Live E!プロジェクトでは6年間のセンサネットワーク運用を行ってきている。6年間の運用からしばしば起こるデータの挙動を表1に示す。空データは積雪などによってデータ取得が出来ない場合や通信障害などによりアップロードが出来ず、サーバにデータを格納出来ない場合である。データが取得出来ない場合の例を図1に示す。図1を見ると、2011年2月14日15時から2011年2月15日4時ごろまで風速データが飛んでいることがわかる。これは積雪により風速センサが埋もれたため雪が解けるまで風速の取得が出来ずサーバにデータを格納出来なかったためである。誤データは故障などによって本来の値とは違う値がサーバに格納される場合である。本来の値とは違う値がサーバに格納される場合の例を図2に示す。図2を見ると1000ppm以下で安定しているCO₂濃度が5000ppmを超えている時間がある。これは機器の故障によって誤計測を行ってしまい本来の値と違う値をサーバにアップロードしているためである。またセンサの故障例を図3に示す。図3に示したセンサは鳥によって風速・風向センサが啄まれ破壊された例である。これによってデータの取得が出来なくなった。この様に実運用することで様々な原因によって障害が発生するが、データの挙動は空データと誤データの2種類であることがわかる。

3. 障害検知フレームワーク

本章では広域センサネットワークにおける異常検知を行うためのフレームワークについて述べる。提案フレームワークでは既存の障害検知手法を整理し基本コンポーネントとして用意している。そのため、様々な障害検知手法が容易に適用可能となっている。また、障害検

表1 データの挙動

挙動	主な原因
空データ	通信障害、積雪
誤データ	故障、積雪

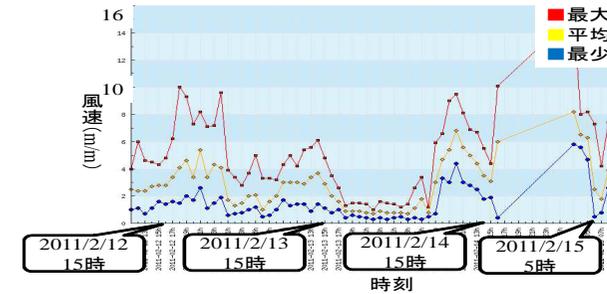


図1 積雪による挙動

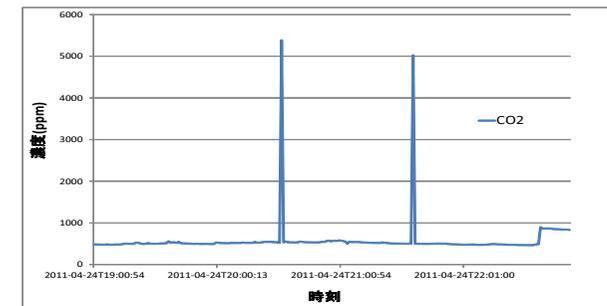


図2 故障による挙動

知結果を表す指標として信頼度を導入している。また通知機構としての push 配信についても述べる。

3.1 概要

障害検知フレームワークの概要図を図4に示す。提案フレームワークでは入力された情報に対して、障害検知を行う。障害検知はあらかじめ基本コンポーネントを用いて記述された障害検知手法を適用する。また障害検知で使用する比較対象の定数やセンサの範囲などの



図 3 故障したセンサ例

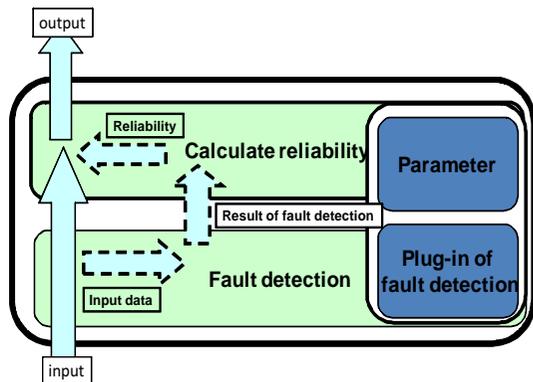


図 4 障害検知フレームワーク

パラメータも設定可能となっている。提案フレームワークでは、障害検知結果を基に入力された情報の信頼性を現す指標として信頼度を付与する。ユーザは信頼度を基に情報を取捨選択でき、様々な分野へ正確な情報を活用可能となる。

3.2 基本コンポーネント

気象庁が構築している地域観測網 (AMeDAS)³⁾ では、大きくわけて下記 2 つの手法で障害検知を行っている。

- 単一観測点での障害検知

閾値との比較などによって障害検知を行う手法である。例えば過去最高気温 40.8 度といった値を閾値として設定しておく。センサデータがこの閾値を上回った場合誤デー

表 2 障害検知時に使用されている計算処理

処理	用途例
四則演算	パラメータの補正適用
比較演算	パラメータや算出値との比較
相関係数	局所現象への対応
相加平均	平均の算出
最大・最小値	最大・最小値の算出
標準偏差	外れ値の検出

表 3 障害検知時に使用されている計算処理

算出結果	処理
障害無	$R = R + 10$
障害有	$R = R - 10 \times W$

タと判断する。

- 近隣データとの比較で障害検知

近隣センサの値との差をパラメータと比較することなどで障害検知を行う手法である。差が設定値を上回った場合誤データと判断する。

AMeDAS 以外の障害検知手法も対象が気象データではないものの障害検知処理は概ね近い処理である⁴⁾⁻⁷⁾。障害検知時に使用されている計算処理を表 2 に示す。表 2 に示した計算処理を基本コンポーネントとし障害検知フレームワークで用意しておくことで、様々な環境、データに対応可能な障害検知機構の構築が可能と考えられる。

3.3 信頼度

信頼度は障害検知の結果をわかりやすく表す一つの指標として各データに対して付与される。信頼度は $[0 \dots 100]$ で正規化し、信頼度 100 が付与されているデータは信頼性が高いデータを意味する。各データに対して適用する障害検知を $[A \dots x]$ とすると、信頼度算出は $A \wedge B \wedge \dots \wedge x$ の結果で行う。障害検知結果と信頼度 R の計算を表 3 に示す。 W は障害と検知した障害検知手法の重み付け係数の総和である。障害検知手法はそれぞれ検知精度が異なっているため、係数により調整可能としている。あるデータに対して障害検知手法集合 FS を適用し、重み付け係数 ws_1 と ws_3 が設定されている障害検知手法で障害を検知した場合 WS は以下の様になる。計算は信頼度の上限・下限を超えない範囲で行われる。

$$FS = \{ws_1 = 1, ws_2 = 1, ws_3 = 5\}$$

$$W = ws_1 + ws_3 = 6$$

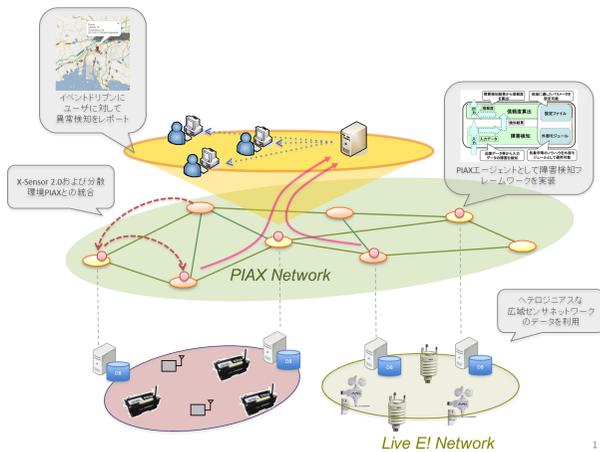


図 5 実装概要

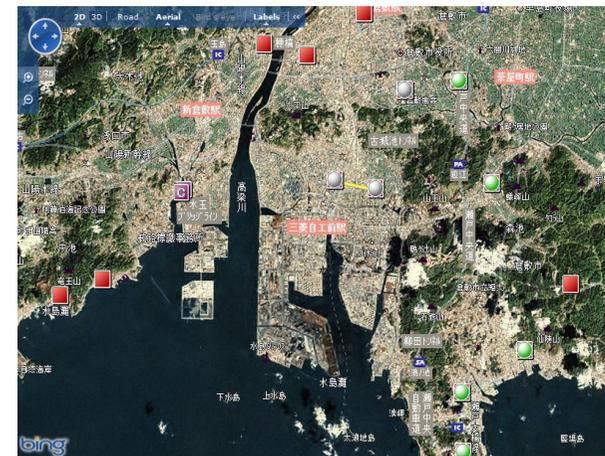


図 6 X-Sensor 2.0 での可視化

3.4 Push 配信

情報の配信方法として pull 型と push 型配信が考えられる。Pull 型情報配信はユーザの要求に応じて情報を送り出す仕組みのことである。しかし、障害が発生した時のみなどの条件下での情報配信はユーザ側では障害発生イベントが判断できないため、定期的に情報をサーバから取得する必要がある。一方 push 型情報配信は、サーバ側がユーザーに対して一方的に情報を配信する仕組みである。障害は頻繁に発生しないため障害発生というイベントに対してイベントドリブンに配信する push 型配信することで、トラフィック軽減が見込めるなどより本フレームワークと親和性があると考えられる。

4. 実装

本章ではこれまで述べてきた障害検知フレームワークの実装について述べる。実装では PIAX のエージェントとして障害検知フレームワークを組み込み、障害が発生すると障害通知アプリケーションに push 配信する。また各エージェントの通信状況を X-Sensor 2.0 を使用して可視化した。

4.1 PIAX

PIAX (P2P Interactive Agent eXtensions) は、P2P 構造化オーバーレイネットワークとエージェント機構を組み込んだオープンソースのフレームワークである⁸⁾。PIAX で提供

されるオーバーレイネットワークは、分散したノード同士が効率的に通信しあうことができ、またその上でエージェントを活用することで、端末同士が有機的に連携しあえるように設計され、規模性についても考慮されている。

大規模なセンサネットワークでは規模性を考慮するため分散してデータを管理しオーバーレイネットワークを構築してひとつの基盤とする試みが多い。そのため、本研究ではこれらの背景を考慮し、PIAX を用い障害検知フレームワークの実装を行った。実装では各センサを PIAX のエージェントとして実装した。実装の概要図を図 5 に示す。

4.2 X-Sensor 2.0

X-Sensor 2.0 は⁹⁾ 複数のセンサネットワーク拠点を統合的に運用できるように開発されているテストベッドである。X-Sensor 2.0 はセンサネットワークに関する研究開発が容易に出来るよう様々な機能が容易されている。今回の実装では、X-Sensor 2.0 で提供されているノード間通信の可視化機能を利用した。実装では、各センサが障害検知を行うために近隣のノードと通信し、自センサのデータが正しいかどうかを判断する様子が可視化される。図 6 に X-Sensor 2.0 での表示例を示す。図 6 ではノード間に黄色の線が引かれ、通信している様子が見える。

4.3 障害通知アプリケーション

実装した障害検知フレームワークでの処理結果を表示するアプリケーションとして、

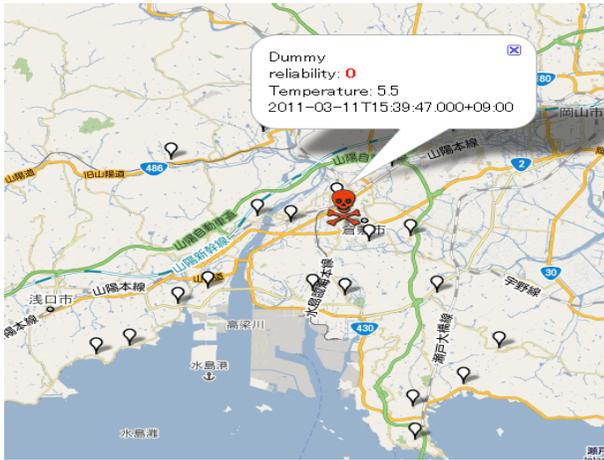


図 7 障害通知アプリケーション

googlemap 上に処理結果を表示する障害通知アプリケーションを作成した。提案フレームワークで障害を検知すると障害通知アプリケーションに対して push 配信で信頼度を送信する。障害通知アプリケーションでの障害通知例を図 7 に示す。図 7 では、白くプロットされている地点にセンサが設置されており、各センサが PIAX のエージェントとして実装されている。障害が検知されると、アプリケーションに通知され、髑髏マークとして表示される。

5. ま と め

大規模なセンサネットワークを運用し、安心・安全にセンサデータを活用するためにはセンサデータの異常検知が重要となる。そこで本研究では大規模な広域センサネットワークにおけるセンサデータの障害検知をし信頼性確保に繋げることを目的とした。

従来の障害検知手法は規模性や精度に問題があった。そこで筆者らは規模性や精度を考慮した障害検知フレームワークの提案を行っている。提案フレームワークでは、障害検知精度向上のため、最適な障害検知手法を容易に適用可能としている。既存の障害検知手法を分析することで使用されている計算を要素分解し、基本コンポーネントとして用意することで様々な障害検知手法を基本コンポーネントの組み合わせで実装することができる。そのため、プログラムなどの記述をすることなく適用可能となっている。これにより、最適な障

害検知手法を適用でき、様々な状況において精度良く障害検知が行える。従来の障害検知手法は、1 か所にデータを集めて行うものが多かったが、本研究では規模性を考慮し各センサノードで障害検知を行う。また提案フレームワークではデータの信頼性を表す統一的指標として信頼度という値を導入している。信頼度は障害検知結果を基に統一的算出方法で算出される。情報の配信方法として pull 型と push 型配信が考えられる。障害は頻繁に発生しないため障害発生というイベントに対してイベントドリブンに配信する push 型配信で実装を行った。これにより規模性の向上に繋がる。

P2P 構造化オーバーレイネットワークとエージェント機構を組み込んだフレームワーク (PIAX) を使い、エージェントとして提案フレームワークを実装した。また複数のセンサネットワーク拠点を統合的に利用できるセンサネットワークテストベッド (X-Sensor 2.0) を用いて、各センサノード間の通信の可視化も行った。提案フレームワークを実装し、動作することを確認した。今後定期的に動作させ、検証を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 山内正人, 砂原秀樹. 広域センサネットワーク活用システムのための信頼性確保アーキテクチャ. 情報処理学会 マルチメディア 分散協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2010), 2010 年 Jul 月.
- 2) Live E! Project. <http://www.live-e.org/>.
- 3) AMeDAS. <http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>.
- 4) Jinran Chen, Shubha Kher, and Arun Somani. Distributed fault detection of wireless sensor networks. In *DIWANS '06: Proceedings of the 2006 workshop on Dependability issues in wireless ad hoc networks and sensor networks*, pp. 65–72, New York, NY, USA, 2006. ACM Press.
- 5) Lee W.L., Datta A., and Cardell-Oliver R. Winms: Wireless sensor network management system. an adaptive policy-based management for wireless sensor networks. Technical report, University of Western Australia, 2006.
- 6) Asim M., Mokhtar H., and Merabti M. A cellular approach to fault detection and recovery in wireless sensor networks. *Third International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM '09)*, pp. 352–257, 2009.
- 7) Masato Yamanouchi, Satoshi Matsuura, and Hideki Sunahara. A fault detection system for large scale sensor networks considering reliability of sensor data. In *Proceedings of the 9th Annual International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2009)*, Jul 2009.
- 8) PIAX. <http://www.piax.org/>.
- 9) X-sensor 2.0. <http://www2.x-sensor.org/>.

- 10) WIDE Project. <http://www.wide.ad.jp>.
- 11) 気象観測の手引き. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/tebiki.pdf.
- 12) Karl Aberer, Manfred Hauswirth, and Ali Salehi. Global sensor networks. Technical report, EPFL, 2006.
- 13) Phillip B. Gibbons, Brad Karp, Yan Ke, Suman Nath, and Srinivasan Seshan. Irisnet: An architecture for a worldwide sensor web. *IEEE Pervasive Computing*, Vol.02, No.4, pp. 22–33, 2003.
- 14) 洞井晋一, 松浦知史, 藤川和利, 砂原秀樹. 時間に基づく階層化と value の集約配置手法による耐 churn オーバーレイネットワーク. 情報処理学会, Vol.51, No.4, 2010 年 Apr 月.
- 15) 金子雄, 春本要, 福村真哉, 下條真司, 西尾章治郎. コピキタス環境における端末の位置情報に基づく p2p ネットワーク. 情報処理学会, Vol.46, No. SIG18, 2005 年 Dec 月.
- 16) 山内正人, 洞井晋一, 松浦知史, 藤川和利, 砂原秀樹. 情報爆発時代におけるセンシングデータ運用管理基盤の実装と提案. 情報処理学会 第 70 回全国大会, 2008 年 Mar 月.
- 17) 山内正人, 洞井晋一, 松浦知史, 藤川和利, 砂原秀樹. 気象センサ障害検知システムの網羅性及び利便性の検証と評価. 情報処理学会 マルチメディア 分散協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2008), pp. 952–958, 2008 年 Jul 月.
- 18) H.Ochiai, S.Matsuura, H.Sunahara, M.Nakayama, and H.Esaki. Operating architecture and multi-attribute search for wide area sensor networks. *IEICE*, Vol.91, No.10, pp. 1160–1170, Oct 2008.