

AIエッジコンピューティングによる 光ファイバーセンサー活用IoTシステム

山口 徳郎 柚江 政志

SDH-BOTDR方式を採用した光ファイバーセンサーを開発し、2018年より販売を開始している。この装置はリアルタイム性を重視した温度・歪みセンサーであり、1秒周期で最大5,000個(1m単位で5,000m分)の測定データが得られる。温度・歪みの分布をリアルタイムで捉えることができるという特長が評価され、さまざまなインフラモニタリングでの活用が進められている^{1), 2)}。この光ファイバーセンサーが取得するリアルタイム温度・歪み情報をAIエッジコンピューター「AE2100」の強力なAI推論エンジンで解析することにより、更に活用範囲を広げることができる³⁾。本稿では、光ファイバーセンサーを活用するIoTシステムに「AE2100」との組合せで実現するAIエッジコンピューティングを適用した温度・歪み監視ソリューションの事例を紹介する。

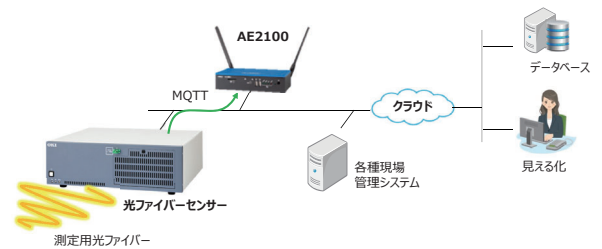


図1 光ファイバーセンサーを活用したIoTシステムの構成

AIエッジコンピューティングを適用した IoTシステムの実現

光ファイバーセンサーは短時間で多地点の温度・歪みデータを取得する。この大量のデータをAIエッジコンピューター「AE2100」と組み合わせ、取得と同時に「AE2100」に搭載したAI機能を使ってエッジ側で解析することによりAIエッジコンピューティングが実現できる。AIエッジコンピューティングでは、故障検出や劣化診断による予防保全、制御の最適化による品質の確保など、従来、人が関与することでしか解決できなかった問題に対しても、リアルタイムで最適な判断結果を出すことができる。さらに、このAIエッジコンピューティングとクラウドを連携させることで、より高度で拡張性のあるAI解析機能が提供できるだけでなく、クラウドへの送信データ量削減による通信費低減の効果も期待でき、実用的なIoTシステムの構築できる。

(1) システム構成

図1に光ファイバーセンサーを活用したIoTシステムの構成を、図2に「AE2100」のソフトウェアアーキテクチャーを示す。エッジ側には、光ファイバーセンサーと「AE2100」を配置し、クラウドに接続することにより、データを収集・分析するためのデータベースや遠隔地からの監視システムと連携する。

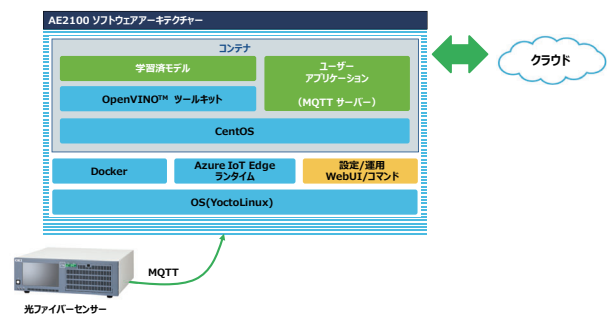


図2 AE2100 ソフトウェアアーキテクチャー

光ファイバーセンサーは、測定用の光ファイバーを監視すべき建築物やインフラ設備などの対象物に取り付けることで温度や歪みを測定する。このとき光ファイバー上のあらゆるポイントでの温度と歪みを測定し、測定データをMQTT (Message Queuing Telemetry Transport) プロトコルを用いて「AE2100」へ送信する。「AE2100」は、Docke r上で動作するコンテナ内にMQTTプロトコルを用いてデータを収集するモジュール (MQTTサーバー) を組み込むことで、大量のデータから必要なデータのみを受け取ることができる。コンテナ内のユーザーアプリケーションは、これらのデータを使って見える化機能、異常検知機能などを実現できる。また、状況の変化や障害を検知できる学習済モデルを適用することで、リアルタイムで状況変化に応じた最適な判断結果を提供することもできる。

さらに、クラウドには「AE2100」と連携するためのアプリケーションや学習済モデル更新のためのコンテナなど、AIエッジコンピューティングの効果をより高度にするための

機能を配備することができる。さまざまなネットワークを経由してクラウドと連携できるため、ユーザーが運用する業務アプリに対して定期的にデータを送信することや、異常や障害を検出した場合の通報の実現など、いろいろなユーザーアプリケーションに柔軟に対応できる。

(2) MQTTプロトコル

光ファイバーセンサーは、IoTシステムへの組み込みを容易にするために、「軽量」で「大量のデータ」を「低遅延」で通信できる非同期プロトコルであるMQTTを搭載している。MQTTプロトコルはパブリッシュ・サブスクライブ・モデルを採用し、データの送信側をPublisher、受信側をSubscriberと呼ぶ。送受信は、Brokerと呼ばれるMQTTサーバーにより中継される。Publisherクライアントは、送信するデータごとに事前に取り決めた分類識別子であるTopicをつける。受信側のSubscriberクライアントは、受信したいTopicをMQTTサーバーに登録することにより必要なデータを受け取ることができる。このことから、Publisherクライアント側が大量にデータを送信する使用方法であっても、Subscriber側でTopicを用いて選択的にデータを受信できる(図3)。

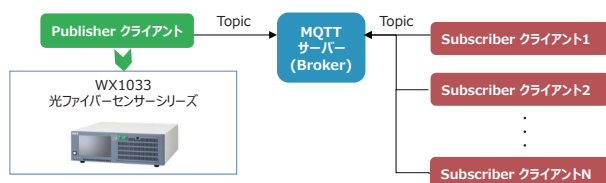


図3 MQTTによるクライアント構成例

光ファイバーセンサーはPublisherクライアントの機能を実装し、送信されるデータは、温度データ、歪みデータ、BFS(Brillouin Frequency Shift)データ、障害通知データの4種類である。BFSデータとは、装置内で温度・歪みデータに変換する前の測定結果(ブリルアン周波数シフト量)そのものであり、必要に応じて送信できる仕様となっている。Broker及びSubscriberクライアントの機能を「AE2100」上に実装することにより、リアルタイムでの大量のデータ転送を実現する。

表1にTopic仕様を示す。光ファイバーセンサーのPublisherクライアントは、前述した4種類のデータに対応させて、温度データ(temp)、歪みデータ(distorted)、BFSデータ(bfs)、障害通知データ(error)のTopicをつけて配信する。また測定する光ファイバーのチャンネルが異なる場合には、channel_idを変更して配信する。

表1の仕様に基づくTopicの一例を以下に示す。

チャンネル2の温度データを意味するTopic例:
OKI/WX1033B/001/02/temp

表1 Topic仕様

項目名	具体例	備考
comy_id	OKI	使用社名
module_id	WX1033B	センサー装置型番
fiber_id	001	光ファイバーセンサーのID
channel_id	02	光ファイバーのチャンネル番号(01 or 02)
temp	temp	温度データのTopic名
distorted	distorted	歪みデータのTopic名
bfs	bfs	BFSデータのTopic名
error	error	障害通知のTopic名

(3) センシングデータ

光ファイバーセンサーは、最大5kmの光ファイバー上での温度と歪みの変化を、1m単位で、かつ約1秒周期で測定することができる。このため、約1秒間に5,000個分の温度データと歪みデータが生成される。

生成される温度データの一例を以下に示す。

温度データ一例:

[2019/09/20 17:11:10.755521] 25.30,25.34,...,26.29
↑日付 ↑時刻 ↑温度データ(例)

ヘッダー部分にはデータの取得時刻、続いて温度データ、光ファイバーセンサーのコネクタ部分を始点の0mとして、最大5000個分の温度データが並ぶ。約1秒ごとに温度と歪みデータが合わせて70KB生成されるため、1日あたりにすると約6GBの大量のデータが生成されることになり、このデータがMQTTを用いて「AE2100」のユーザーアプリケーションに提供される。

AI エッジコンピューティングの活用事例

光ファイバーセンサーと「AE2100」を組み合わせたAIエッジコンピューティングを活用したIoTシステム事例として、異常温度監視への適用、インフラモニタリングへの適用、光ファイバーセンサーの高度化の三つの観点でそれぞれの事例を紹介する。

(1) 異常温度監視システム

異常温度監視システムでは、監視しているものの温度異常をできるだけ早く見つけ、速やかに対処することによ

り被害を最小限に留めることを目的としている。システムイメージを図4に示す。光ファイバーを監視範囲全体に敷設し、光ファイバーセンサーで分布的に温度データを取得する。収集したデータは取得と同時にMQTTを用いて「AE2100」に送信される。「AE2100」上の見える化アプリケーションによりデータをリアルタイムで処理するため、ユーザーは常に最新の情報を確認できる。また、異常温度の検知は、単純な閾値判定や変化を検出するための差分判定だけでなく、機械学習などにより更にインテリジェントな判定を実現することができる。例えば、温度の広範囲にわたる時系列的な変化データや空間的な変化データを学習データとして使用し、判定する閾値を更新することにより、季節ごとで異なる気温に合わせた最適な判定閾値を作り出すこともできる。このようにAIエッジコンピューティングを活用することで、リアルタイムで異常温度検知に最適化したシステムが実現でき、正常時はほぼ手間がかからず、異常が発生した場合には速やかに発生箇所を特定し対処できる。

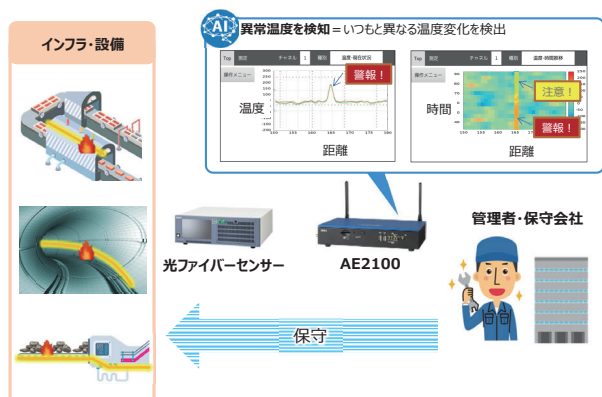


図4 異常温度監視システムのイメージ

また、インフラ構造物のモニタリングでは短時間で測定データが大きく変化する場合は少なく、変化が無いデータは上位のサーバーに転送する必要がない。一方で、天災や異常気象による緊急性の高い事象が発生した場合には、異常をできるだけ早く検知し、速やかに対処することが求められる。「AE2100」上でリアルタイムでの異常監視を実現しつつ、現場のネットワーク環境に応じて必要最低限の情報だけをクラウドに転送することで、インフラ構造物の応力の異常な変化を分析し、通行止めや避難勧告などの高度な判断をするアプリケーションとして実装できる。これにより通常時の通信費の圧縮などの付帯効果も期待できる。さらに、クラウドでの機械学習プログラムとも連携し、長期的な常時モニタリング結果や定点モニタリング結果などの継続的なデータ取得結果を用いて、竣工時に推定した健全なモデルを補正し続けることにより、目視などの定期点検だけでは発見しきれない構造物の劣化を見つけ出すことが期待される。



図5 インフラモニタリングシステムのイメージ

(2) インフラモニタリングシステム

社会インフラの老朽化対策や長寿命化で注目されているインフラモニタリング市場では、CIM (Construction Information Modeling/Management) が進められ、インフラ構造物の計画から調査・設計、施工、維持管理、更新に至る一連の過程で、センサーを活用することが必須になってきている。図5に、光ファイバーを用いてインフラ構造物(例えば、橋りょう)の歪みを測定することで、インフラ構造物の状態をモニタリングするシステムのイメージを示す。

このようなインフラモニタリングシステムが適用される建設現場はネットワーク環境が充実していない場合も多い。「AE2100」のネットワーク機能は、有線LANだけでなくWireless LANやLTEにも対応しているので、ネットワークが充実していない環境でも十分に活用することができる。

(3) 光ファイバーセンサーの高度化の実現

「AE2100」に光ファイバーセンサー内部の計算データと連携してディープラーニングによる温度・歪みの演算処理を行う機能を搭載することにより、測定精度の向上及び空間分解能の向上を実現する(図6)。具体的には、光ファイバーセンサーで得られる時系列信号を対象として、ディープラーニングによりノイズ成分を除いた信号を生成することで実現する⁴⁾。一般的に計算量の多いディープラーニング処理を軽量化する技術を適用することで、通常のエッジコンピューティングに比べて大幅な処理時間短縮を実現し、「AE2100」上のMyriad™^{*1)}Xを活用することで、リアルタイム性を損なわずに光ファイバーセンサーの高度化を実現することができる。測定精度の向上及び空間分解能の

*1) Myriadは、アメリカ合衆国および/またはその他の国におけるIntel Corporationまたはその子会社の商標です。

向上により、異常温度監視やインフラモニタリングの観点にも、高感度や高品質のモニタリングが実現される。

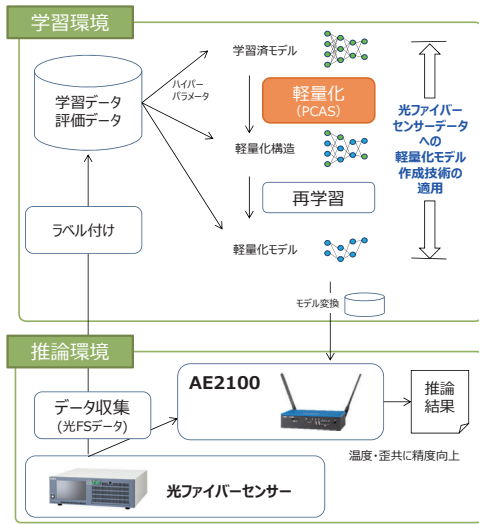


図6 ディープラーニングモデルの適用

まとめと展望

本稿では、光ファイバーセンサーを活用するIoTシステムに「AE2100」との組合せで実現するAIエッジコンピューティングを適用した温度・歪み監視ソリューションの事例を紹介した。具体的には、光ファイバーセンサーとAIエッジコンピューティングを実現する「AE2100」の連携によるIoTシステムの構成について説明し、異常温度監視、インフラモニタリング、光ファイバーセンサーの高度化の三つの事例を紹介した。

今後、持続可能な社会の実現に向けて光ファイバーが神経のようにさまざまなインフラ構造物や設備に張り巡らされ、光ファイバーセンサーがその健康状態を見守ることが期待されている。今後のAI技術の発展を、「AE2100」と組み合わせたAIエッジコンピューティングとして取り込むことで、「リアルタイムインテリジェンス」を持った社会インフラ全体の見守りを実現するだけでなく、予防保全や健全化の確保に貢献していく。◆◆

参考文献

- 1) 小泉健吾、村井仁:社会インフラモニタリング向け分布光ファイバーセンシング技術、OKIテクニカルレビュー第226号、Vol.82、No.2、pp.32-35、2015年12月
- 2) 山口徳郎、小泉健吾:分布光ファイバー温度センシング、OKIテクニカルレビュー第230号、Vol.84、No.2、pp.28-31、2017年12月

3) 島田貴光:高速ディープラーニング推論処理をエッジで実現するAIエッジコンピューター「AE2100」、OKIテクニカルレビュー第234号、Vol.87、No.2、pp.16-19、2019年12月

4) 根本亮、清賀史暁、越川博昭、橘素子、山本康平:シミュレーションを活用したディープラーニング技術開発とエッジ端末への実装、OKIテクニカルレビュー第233号、Vol.86、No.1、pp.28-31、2019年12月

筆者紹介

山口徳郎:Tokuo Yamaguchi. 情報通信事業本部 IoTプラットフォーム事業部 IoTソリューション推進部
 柚江政志:Masashi Yuzue. 情報通信事業本部 IoTプラットフォーム事業部 IoTソリューション推進部

TIP 【基本用語解説】

SDH-BOTDR

(Self-Delayed Heterodyne - Brillouin Optical Time Domain Reflectometry)
 ブリルアン光時間領域反射測定法は、光ファイバーに光パルスを入射したときに発生する後方散乱光の一つである「ブリルアン散乱光」の周波数が温度や歪みに比例して変化するという特性を利用した光ファイバーセンシング方式。特にSDH-BOTDR方式は、従来方式よりもリアルタイムな測定が特長。

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

TCP/IP上で動作するPublish/Subscribe型のシンプルで非同期、双方向プロトコル。軽量さ、柔軟性の点でIoTに最適なネットワークプロトコルの一つ。

コンテナ

ホストOS上に論理的な区画(コンテナ)を作り、アプリケーションを動作させるために必要なライブラリーなどを一つにまとめたもの。サーバー仮想化に比べオーバーヘッドが少ないため、軽量で高速に動作するのが特徴。

Docker

コンテナを提供する代表的なオープンソースソフトウェアの一つ。

BFS (Brillouin Frequency Shift)

「ブリルアン散乱光」の周波数が温度や歪みに比例して変化すること。またはその変化量。

CIM (Construction Information Modeling/Management)

ICTを駆使して、土木工事の設計・施工・協議・維持管理などに係る各情報を一元化することにより、業務改善による一層の効果・効率向上を図り、安全、品質確保や環境性能の向上、トータルコストの縮減を達成する活動。