IoT 技術の最新動向

Latest Trends in IoT Technologies

鈴木一哉 Kazuya Suzuki[†], 森本昌治 Masaharu Morimoto[†], 岩井孝法 Takanori Iwai[†]

Summary

近年 全ての‘もの’を インターネット につなぐという IoT (Internet of Things) という考え方にに基づき、実社会の課題解決を目指した技術の研究・開発が盛んに行われている。IoT では、気温や監視カメラの映像など実社会に関わる情報をインターネットに接続された‘もの’により収集し、クラウド上にて動作するデータ分析技術を用いて分析・判断し、更にはインターネットを通じて実社会にフィードバックする。IoT が大きく注目されている背景には、モバイル網に代表されるネットワーク及びクラウドの成熟と各種データ分析技術の発展が挙げられる。しかし、IoT を活用した様々なユースケースの実現を考えたとき、既存のクラウドネットワークには様々な課題が存在する。本論文では、IoT を活用する上でのクラウドネットワークの課題を挙げ、課題解決のための技術を解説する。

Key Words

IoT, エッジコンピューティング, LPWA, IoT プラットホーム

1 はじめに

近年全ての‘もの’をインターネットにつなぐという IoT (Internet of Things) という考え方にに基づき、実社会の課題解決を目指した技術の研究・開発が盛んに行われている。IoT では、気温や監視カメラの映像など実社会に関わる情報をインターネットに接続された‘もの’ (以降「IoT 端末」と呼ぶ) により収集し、クラウド上にて動作するデータ分析技術を用いて分析・判断し、更にはインターネットを通じて実社会にフィードバックする。これらにより、‘もの’のデータ化やそれに基づく自動化が進展し、新たな付加価値を生み出すのが IoT のコンセプトである⁽¹⁾。例えば、促成栽培において、作物生育状況と測定した温度や日照などの関係を分析し、ハウス内の温度を適切に保つよう暖房・空調設備などを制御することで、作物の収穫量を高める。本論文では、インターネットに接続し、このコンセプトを実現する‘もの’を IoT 端末と呼ぶ。

IoT が大きく注目されている背景には、様々な要因があるが、モバイル網に代表されるネットワーク及びクラウドの成熟とディープラーニングに代表されるデータ分析技術の発展が大きいと考えられる。誰もがクラウド上のコンピューティング資源を必要

なときに借りることができ、その上で動作させるデータ分析ソフトウェアも数多くオープンソースとして公開されている。ある程度の知識さえあれば、誰もがネットワークに接続された端末からのデータをクラウド上に集め、クラウド上で分析するといったことが、現在容易に実現できる。

しかし、IoT を活用した様々なユースケースを考えると、既存のクラウドネットワークには、以下に示す様々な課題が存在する (図 1)。

- ・膨大な数の IoT 端末の収容：ネットワークにつながる IoT 端末の数は、年率 12% から 15% で増加を続け、2020 年には 300 億台になると予想されている⁽²⁾。膨大な数の IoT 端末を、安価にネットワークに接続する技術が求められている。

図 1 IoT 活用上の課題

[†] 日本電気株式会社, 川崎市
NEC Corporation, Kawasaki-shi, 211-8666
Japan

- ・遅延削減：自動車の衝突回避といったユースケースでは、数十 ms 程度の遅延でお互いの位置情報を交換する必要がある。しかし、クラウドを経由した場合、この制約を満たすことは難しいため、低遅延を実現する必要がある。
- ・通信データ量の削減：高精細な監視カメラの映像をクラウド上で分析するケースでは、ネットワーク帯域の圧迫を防ぐために、通信データ量を削減する必要がある。また、後に述べる狭帯域無線技術は、通信データ量を削減することで、適用範囲を広げられる。
- ・膨大なデータの効率的な流通・管理：クラウド上には膨大な量のデータが集まり、またそれらを活用する様々なアプリケーションが動作する。膨大な情報を、適切に管理し、必要とするアプリケーションに送るためのプラットフォームが必要となる。

本稿では、先に挙げた IoT を活用する上での課題を解決するための技術を解説する。2. では、多数 IoT 端末からの情報を安価に収集するための無線技術として、近年注目されている LPWA を解説する。3. にて、低遅延・通信量削減のために活用に向けた議論が進められているエッジコンピューティングを紹介する。最後に、IoT 端末からの情報を集め、必要とするアプリケーションへと流通させるためのプラットフォーム技術を、4. で説明する。

2 多数の IoT 端末からの情報を安価に収集する LPWA 技術

多数の IoT 端末からセンサデータなど少量のデータを送るために、より省電力かつ安価な無線技術が求められている。また、IoT 端末は屋内だけではなく、

く、屋外でも利用されるため、この無線技術は省電力であっても長距離到達可能である必要がある。このような背景の下、近年 LPWA (Low-Power Wide-Area) と呼ばれる無線技術が開発され、活用が始まっている。LPWA の位置付けを、図 2 に示す。LPWA は省電力・長距離到達可能である代わりに、通信速度は 100bit/s から 800kbit/s 程度となっている。

主な LPWA 方式として、免許不要で利用可能な周波数帯（日本においては 920MHz 帯）を使用する SIGFOX, LoRa と、免許が必要な周波数帯（LTE の周波数帯）を使用する eMTC や NB-IoT がある（表 1）。これらは、MIMO 非対応、半二重、データ処理簡素化などにより、チップの構造を簡素化し、チップコストを低減している。SIGFOX, LoRa は、少ない基地局で広いエリアをカバーするために、雑音の影響を軽減し、長距離到達性を上げる技術を採用している。本稿では、2.1 にて LoRa 及び SIGFOX における雑音軽減・長距離伝送のための技術について説明する。また、LTE を IoT 向けに拡張した仕様である eMTC や NB-IoT に関しては、従来の LTE での制御の改良による省電力化技術を 2.2 で説明する。

2.1 LoRa, SIGFOX

LoRa とは SEMTECH 社が開発した変調方式^{(3), (4)}で、チャープ拡散⁽⁵⁾と呼ばれるスペクトル拡散方式に独自拡張を加えたものである。チャープ拡散では、一次変調された信号の周波数を時間の経過とともに変化させて送信する（図 3）。受信側の復号処理では、周波数を変えながら時間方向に拡散された信号を集め、元の信号へと戻す。この処理により、帯域内の一部の周波数で発生する干渉、雑音の影響

図 2 LPWA 方式の位置付け

表 1 主な LPWA 方式

無線方式		LoRa	SIGFOX	LTE	
				Cat.M1 (eMTC)	Cat.NB1 (NB-IoT)
日本での 周波数帯		920MHz 帯 (免許不要)		800/900MHz 帯 (免許必要)	
運用帯域幅		125kHz	100Hz	1.08MHz	180kHz
伝送 速度	上り	～ 5kbit/s	100bit/s	800kbit/s	～ 22kbit/s
	下り				～ 62kbit/s
運用形態		公衆 サービス 自営網	公衆サービス

図3 チャープ拡散と Ultra Narrow Band

図4 LoRaWAN アーキテクチャとエコシステム

図5 SIGFOX 通信サービス

を軽減できる。LoRa では、どの程度信号を拡散させ、雑音耐性を高めるかを、拡散率 (Spreading Factor) というパラメータにて調整できる。拡散率を上げることで、より雑音耐性が高くなり、伝送距離が伸びるが、その分伝送速度は低くなる。

LoRa の上で動作する MAC 層プロトコル LoRaWAN の仕様が、LoRa Alliance⁽⁶⁾ により策定されている (図4)。LoRaWAN では、基地局実装の簡素化のために、MAC 層は基地局では終端せず、ネットワークサーバで終端する。ある端末からの信号は、複数の基地局での受信を可能とすることで、受信性能を上げている。LoRaWAN 仕様⁽⁶⁾ は公開されており、利用者は LoRaWAN を用いた独自のネットワーク構築が可能である。

SIGFOX⁽⁷⁾ は、SIGFOX 社が開発した LPWA 技術の一種で、雑音の影響を軽減するために次のよう

な工夫がなされている。まず、920MHz 帯の単位チャネル 200kHz のうち 100Hz という超狭帯域 (Ultra Narrow Band) を使いスペクトル密度を上げている (図3)。また、端末が周波数を変えて一つのデータを複数回送信し、それを複数基地局が受信できる仕様となっている。これらの工夫により、雑音の影響を軽減し、より長距離なデータ伝送を実現している。また、超狭帯域の使用により、多数の端末が存在する環境下でも、端末間の干渉が発生しにくくなっている。

SIGFOX 社及びそのパートナーは、SIGFOX 方式を使った IoT 向け公衆通信サービスを提供している (図5)。この通信サービスでは、より多くの端末を収容可能とするために、一端末当たり 1 日に送れるメッセージ数を、最大 140 メッセージ (メッセージサイズは最大 12Byte) までに限定している。

2.2 IoT 向けの LTE 技術 Cat.M1, Cat.NB1

Cat.M1 (eMTC), Cat.NB1 (NB-IoT) とは、標準化団体 3GPP が規定する LTE 仕様における IoT 向けの端末カテゴリーである。Cat.M1, Cat.NB1 では、チップコスト削減や収容端末数向上のために、使用アンテナ数を 1 とし、更に送受信無線帯域を従来の 1.4~20MHz からそれぞれ 1.08MHz (Cat.M1), 180kHz (Cat.NB1) にまで狭帯域化している⁽⁸⁾。また、PSM (Power Saving Mode) や eDRX (extended Discontinuous Reception) といった機構により、省電力化が図られている⁽⁹⁾。

LTE における端末・基地局間の関係には、接続状態とアイドル状態がある。端末は、アイドル状態時には自身への着信を確認するために、一定時間ごとに基地局からの信号を受信する。eDRX では、この受信待ち間隔を、従来最大 2.56 秒から、目的に応じて最大 44 分 (Cat.M1) 若しくは 2.9 時間 (Cat.NB1) にまで拡大する。受信していない間、無線機能を停止させ、電力消費を抑える。着信が不要なケースでは、より省電力を実現する PSM が利用できる。PSM は、接続状態・アイドル状態に加え、新たに定義された省電力状態のときに端末をスリープさせる。このことにより、着信はできないが、その分消費電力を大幅に削減できる。必要時、端末からの送信を可能とするために、省電力状態においてもコアネットワークとの接続状態は維持されている。通常 54 分周期⁽¹⁰⁾で行う位置登録のタイミングを 4 時間から 413 日⁽¹¹⁾にまで拡大できる。

3 低遅延応答・通信量削減を実現するエッジコンピューティング

端末が取得した情報をクラウドに上げ、クラウド上のアプリケーションが何らかの判断を行い、その結果を端末に返すケースを考える。例えば、ある自動車が自身の現在位置情報をクラウドに上げ、自身に近づく自動車の情報を取得することで、見通しの悪い交差点などでの衝突事故を回避するケースが挙げられる。このケースでは、クラウドを経由しての位置情報交換では、衝突回避に間に合わない可能性が高い。より遅延が少なく位置情報交換ができるよう、より端末に近い場所にて処理を行い、素早く応答を返すエッジコンピューティングの利用が期待されている(図6)。

本章では、まず 3.1 にて LTE 網にて利用するモバイルエッジコンピューティング (Mobile Edge Computing, MEC), 3.2 にて MEC とモバイル網を連携するための機能である SCEF (Service Capability Exposure Function) 及び SCEF と連携動作するモバイル網の通信スケジューリング制御技術を紹介する。エッジコンピューティングは、低

図6 エッジコンピューティング

図7 MEC アーキテクチャ (ETSI)

遅延応答のほかに通信量削減を実現するためにも活用されている(図6)。3.3 にて、エッジ処理により、送信データ量を削減する技術を紹介する。

3.1 モバイルエッジコンピューティング

モバイルエッジコンピューティング (Mobile Edge Computing, MEC) とは、LTE 基地局 eNodeB の近傍に配置されたサーバにより端末から送られたデータを処理することで、低遅延な応答を実現する技術であり、欧州の標準化団体である ETSI (European Telecommunications Standards Institute) にて標準化が進められている*。MEC の利用により、低遅延な応答を必要とするサービスの実現が期待されている。例えば、先に述べた自動車の衝突事故を防ぐケースでは、路車間・車車間の通信遅延を数十 ms 未満に抑える必要があるが、クラウド上で処理する場合クラウドまでのデータ送信に時間がかかってしまう⁽¹³⁾。しかし、MEC を使い、基地局近傍のサーバでの処理により、車車間通信の遅延を数十 ms 未満に抑えることができる。

図7に ETSI で議論されている MEC アーキテクチャを示す。MEC Hosting Infrastructure は、いわゆるサーバ仮想化を実現する仮想化基盤である。前述の自動車における位置情報を交換するといった MEC 利用者が開発するアプリケーションは、この仮想化基盤が提供する仮想マシン (VM) 上で動作する。また、MEC 上でのアプリケーション動作を支援するために、以下に示す幾つかのサービスが、MEC Application Platform Service として提供されている。

- Traffic Offload Function (TOF) は、MEC 上で動作するアプリケーションにトラフィックを誘導するためのサービスである。端末の IP アドレスやアプリケーションで処理したトラフィックを再度モバイル網へと戻すパススルーモードと、アプリケーションが終端するエンドポイントモードの二つの動作モードが用意されている。
- Radio Network Information Services (RNIS) は、アプリケーションが利用するための無線やネットワークに関する情報を提供する。例えば、端末がつながっている基地局の ID (Cell ID) や無線区間の負荷・スループットなどの情報が提供される。

* ETSI は、MEC の適用範囲をセルラ網以外にも拡大するために、2017 年 3 月に MEC が Mobile Edge Computing から Multi-access Edge Computing の略称へと変更した⁽¹²⁾。

- ・ Communication Services は、アプリケーションがサービスや他のアプリケーションと通信するために pub/sub によるメッセージング機能を提供する。
- ・ Service Registry は、MEC サーバ上で動作するサービスの稼働状態を提供する。

3.2 SCEF

標準化団体である 3GPP では、MEC がモバイル網と連携するために SCEF (Service Capability Exposure Function) と呼ばれる機能が規定されている (図 8)。SCEF は、3rd パーティのアプリケーションプロバイダがモバイル網上の幾つかの機能を利用するために RESTful API を提供する。例えば、この API で QoS 設定をすることにより、指定の端末とアプリケーションの通信を他より優先するという使い方ができる。

SCEF の活用例として、Communication Pattern parameters provisioning procedure と呼ばれるケースが、3GPP が発行する文書⁽¹⁴⁾にて紹介されている。このケースでは、サービス側が、デバイスの通信パターン情報を SCEF に登録することで、その情報が HSS (加入者サーバ) の UE Context 情報として登録される。このことにより、デバイスの通信パターンごとに異なるネットワークの処理を適用することが可能となる。

SCEF と連携することで、無線区間の負荷集中を抑えつつ、IoT 端末ごとの許容遅延時間を守るためのモバイルネットワークによる無線スケジューリング技術^{(15), (16)}が提案されている。周期的な通信を行う IoT 端末の増加によって、特定のタイミング

に通信が集中し、無線区間に負荷が発生する可能性がある。本技術では、モバイルネットワークが、サービス側から SCEF を通して受け取った IoT 端末の許容遅延時間、単位時間当りの通信量及び無線区間の負荷状況に応じて、端末に対して利用可能なタイムスロットを割り当てる。これらにより、各端末の許容遅延時間を守りつつ、無線負荷の平滑化を実現する。

3.3 エッジ処理による送信データ量削減技術

2. にて紹介した LPWA は低ビットレートであるため、限られたアプリケーションでしか利用できない。エッジコンピューティングにて、データ圧縮や簡単な分析を行い、送信データ量を削減することで、より幅広いアプリケーションでの利用が可能となる。

Kartakis⁽¹⁷⁾ らは、地下にある水道管に設置された振動センサのデータを分析することで漏水・破裂箇所を特定するケースにおいて、狭帯域な LPWA ネットワークを利用可能とするために、送信データ量を削減する方式を提案している。漏水・破裂箇所の特定には、振動センサが 10kHz から 15kHz といったサンプリングレートで生成する時系列データが必要になるが、これらのデータを狭帯域な LPWA で送るのは困難である。そこで、提案方式では、センサに付随するプロセッサにて、時系列データを軽量圧縮アルゴリズム (miniLZO⁽¹⁸⁾) にて圧縮する。通常時と異常時では圧縮率が異なるため、圧縮データの圧縮率を見ることで、異常発生の有無を判定できる。また、Kartakis らは、水道管の複数箇所の振動センサにおいて、異常を検出した

図 8 Service Capability Exposure Function

時刻のタイムスタンプを比較することで漏水箇所を推定するアルゴリズムを開発した。提案方式では異常検知時にタイムスタンプのみを送信すればよいから、従来の時系列データをそのまま送信する方式と比較し、送信すべきデータ量を 99% 削減することができ、狭帯域な LPWA の利用を可能とした。

黒崎ら⁽¹⁹⁾は、ライフログ向けの動画画像解析をクラウド・エッジ間にて分散処理することで、クラウド・エッジ間のネットワークが狭帯域であるときの性能向上を実現している。動画画像解析は、特徴量抽出と画像分類の二つの処理から構成される。クラウド上で全て処理する場合、狭帯域ネットワークでは動画画像をクラウドに送るのに時間がかかる。提案手法では、エッジにて特徴量抽出を行い、クラウドには特徴量だけを送ることで、送信データ量を削減する。これにより、狭帯域ネットワーク使用時において、単位時間にシステムが処理する動画画像の量の増加を実現している。

4 大量の IoT 情報を利活用したサービスを実現するためのプラットフォーム

クラウドに集められたデータを、複数のアプリケーションにて活用するケースがある。例えば、交通網の混雑状況は、行政機関による今後の都市計画の参考にされる一方、ドライバのルート選択にも利用される。また、一つのアプリケーションが複数のセンサ情報を利用するケースも考えられる。例えば、農業での収穫量向上のための分析には、温度、湿度、日照から土壌の成分まで様々なセンサ情報を活用する。

このようなケースに対応するために、クラウド上には次の機能を備えるプラットフォームの構築が求められる。

- ①複数のアプリケーションを動作・連携させる機能
- ②複数のアプリケーションへ適切なコンテキスト情報を流通させる機能

①はクラウドの代表的サービスである IaaS が提供する機能である。例えば、複数のアプリケーションが同一の分析をする場合、それぞれが別々に分析するのではなく、あるアプリケーションが分析のみを行い、分析結果を必要とするアプリケーション間で共有する方が効率が良い。このように複数のアプリケーションが動作するだけでなく、それらが連携できる必要がある。②は、IoT 端末から送られてきたデータをそのまま流通させるのではなく、コン

テキスト情報に変換し流通させる。例えば、様々な種類の温度センサは、それぞれ独自の符号化を施して温度の測定値を出力するため、②ではこれらを統一した形式に変換してアプリケーションに渡す役割が求められる。また、温度センサ以外にも、湿度センサや日照センサなど異なるセンサを扱うためには、測定値がどの種別の情報なのかも含めてアプリケーションに通知する必要がある。そのため、②は、IoT 端末から送られてきた情報を、属性（例：温度）と属性値（例：26.5℃）の組み合わせから成るコンテキスト情報に変換し、その情報を必要とするアプリケーションへと渡す。

①に加え、②を備えたプラットフォームをここでは IoT プラットホームと呼ぶこととする。本章では、オープンに利用可能な IoT プラットホームである FIWARE を 4.1 で解説し、その後 4.2 にて、コンテキスト情報に意味的情報（セマンティクス）を付与することで、アプリケーションの再利用性を向上させる取組について説明する。

4.1 FIWARE

FIWARE⁽²⁰⁾は、欧州の官民連携プロジェクト FI-PPP で開発された IoT プラットホームの一つである。FIWARE は、スマートシティや農業など八つの領域での活用を目的として開発された、コンテキスト情報流通のためのサービス基盤であり、様々なケースにて活用できる共通モジュール群（Generic Enablers, GEs）と領域に特化したモジュール群（Domain Specific Enablers, DSEs）から構成される。

また、誰もが利用可能なオープンな仕様を目指している点が特徴である。モジュール間のインタフェースには、オープン仕様なインタフェースである NGSI（Next Generation Service Interface）が採用されている。これらのインタフェースを持つ多くの機能モジュールがリファレンス実装（Generic Enabler reference implementations, GERis）としてオープンソース（OSS）で多数公開されている。また、このインタフェースを使うことで、モジュール間接続は疎結合となるため、3rd パーティの実装を組み合わせ使用することも容易となっている。3rd パーティも含むこれらのモジュール群は、FIWARE Catalogue⁽²⁵⁾と呼ばれる Web サイトにて分類され、紹介されている。これらの中から必要なモジュールのみを組み合わせ利用することで、独自の IoT プラットホームを構築することができる。

NGSI とは、元々通信事業者網の機能をサービス事業者によって操作するために定められたインタフェース仕様であり、標準化団体 OMA (Open Mobile Alliance) にて標準化された。NGSI では、呼制御、課金や携帯端末の位置情報・プレゼンス情報取得といった多くの API が定義されている。FIWARE では、このうちコンテキスト情報に関連する NGSI-9 Context Entity Discovery Interface と NGSI-10 Context Information Interface⁽²¹⁾ を、FIWARE 向けに拡張した仕様を採用している。

FIWARE には、4. の冒頭で述べた IoT プラットホームが持つべき機能①、②を提供する共通モジュールのリファレンス実装 GERis が用意されている。①に関しては、メジャーなクラウド基盤ソフトウェアである OpenStack⁽²⁶⁾ や docker⁽²⁷⁾ が用意されている。他の GERis はこれらの基盤上で動作可能なよう整備されている。また、②に関しては、FIWARE におけるコンテキスト情報流通の中心を担う Context Broker が Generic Enabler として用意されており、リファレンス実装 GERis として ORION Context Broker (以後 ORION と表記) が公開されている。ORION は Publish/Subscribe モデルに基づき情報流通を担うモジュールである。アプリケーションは ORION に対してコンテキスト情報の属性を含む購読 (Subscribe) メッセージを送ると、ORION はコンテンツ情報の属性値が更新されたときに、そのコンテキスト情報を購読しているアプリケーションに対して更新されたコンテンツ情報を発行 (Publish) する。

図 9 に FIWARE のモジュール群を組み合わせて構成した IoT プラットホームの一例を示す。以下、各 GE の動作を説明する (IoT Broker, IoT Knowledge Server は 4.2 にて説明する)。

- ・IoT Agents : IoT デバイスからのデータ転送

図 9 FIWARE により構成された IoT プラットホームの一例

のために、HTTP Ultralight, MQTT や OMA Lightweight M2M (LWM2M) といった様々なプロトコルが使用されている。FIWARE では、これらのプロトコルに対応した IoT Agent が、受け取った情報を NGSI 規定のデータモデルに変換し、Context Broker へと渡す。

- ・Context Broker : IoT Agents により変換された情報を必要とする各モジュールへと通知する。
- ・Short Term Historic : 最大値 / 最小値、平均 / 分散といった値を計算するために、時系列データを保持する。保持されたデータは、要求に応じて、必要とするモジュールへ Context Broker 経由で提供される。
- ・CEP (Complex Event Processing) : ある一定時間内に生成された複数のイベントを分析し、それらをまとめた新たなイベントを、必要とするモジュールに Context Broker 経由で通知するといった動作を行う。または、CEP モジュールが分析後即座に必要な対応 (例 : 管理者にメール通知) を取ることも可能である。

4.2 アプリケーションの再利用性向上のためのセマンティック情報活用

スマートシティなどの IoT アプリケーションの再利用を向上させるためには、センサなどから得られるデータの意味を考慮する必要がある。例えば、同じ種類のセンサから得られるデータであっても、使われ方によって意味が異なる場合があるからである。例えば、異なる都市間で同じ温度データが利用されていたとしても、その温度が、“ある時刻における” 温度を指すのか、あるいは、“ある一定期間の平均の” 温度を指すのかによって意味は異なる。その結果、アプリケーションは、同じ“温度” という名前のデータであっても、その意味の違いによって処理を変更する必要がある。

4.1 で述べた FIWARE も、同様な問題を持っている。FIWARE のアプリケーションは NGSI-9/10 で規定された API を使って、コンテキストデータ (属性と属性値) にアクセスする。そのため、アプリケーションとデバイス間が疎結合になり、アプリケーションの再利用性が向上している。例えば、データが“温度” というコンテキストで管理されていれば、そのデータの生成源が、固定センサや巡回バス、また、人が持つスマートフォンのように異なっていたとしても、同じロジックでこの情報を扱うことができる。しかし、先に述べたようにコンテ

キストデータによる抽象化だけでは意味の違いには対応できていない。

この問題に対応するために提案された IoT Broker⁽²²⁾ では、NSGI メッセージに付与されたセマンティック情報に基づいて、クエリが要求するデータを推論し提供することで意味の違いを吸収する。これにより、例えば、ある都市のセンサデータを使うアプリケーションを別の都市にて使用する場合でも、IoT Broker が各都市におけるデータの意味の違いを吸収し、適切なデータをアプリケーションに渡すことができる。また、セマンティック情報からデータの物理位置を特定することで、例えば、地理的な範囲を指定したクエリを、その範囲のデータを持つブローカにのみ転送するといった効率化が実現できる。セマンティックに基づいて IoT Broker が意味変換のためのルールは、IoT Knowledge Server が管理する⁽²²⁾。

図9では、IoT Broker は、IoT Agents と Context Broker の間に配置され、様々な IoT Agents から通知されたデータの意味の違いを吸収する役割を担う。IoT Broker は IoT Agents からデータを受け取ると、IoT Knowledge Server が管理するルールに基づいてデータを変換し、Context Broker に渡す。

セマンティック情報を扱うという考え方は、セマンティックウェブ⁽²³⁾ と呼ばれる技術がベースとなっており、現在この考え方の IoT プラットホームへの適用が注目されている。例えば、IoT-FIESTA⁽²⁴⁾ では、この考え方に基づいたテストベッドを提供しており、利用者によってスマートシティなどのアプリケーションの相互接続性に関する検証が進められている。

5 あとがき

本稿では、IoT を活用する上での課題を解決するための技術を紹介した。本稿にて紹介した技術以外にも、各種センシング技術、IoT 端末の管理技術、ネットワークコンピューティングなどの通信・処理基盤技術、データ分析技術など多岐に渡る技術が存在する。本稿では誌面の関係から重要だと思われる技術に絞って解説したが、本稿で触れられなかった技術は、各自参考文献^{(28)～(32)}などを参照してほしい。本稿の内容が、今後の IoT 活用の発展の一助となれば幸いである。

謝辞 本研究の一部は、総務省委託研究「IoT 共通基盤技術の確立・実証」の成果です。また、情報提供や内容確認に協力いただいた NEC の同僚であ

る内田曜教氏、井上高道氏、藤波誠氏に感謝します。

■ 文献

- (1) 総務省、平成 27 年度版情報通信白書、平成 27 年。
- (2) 総務省、平成 29 年度版情報通信白書、平成 29 年。
- (3) L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi: "Long-range IoT technologies: The dawn of LoRa (TM)," Future Access Enablers of Ubiquitous and Intelligent Infrastructures, pp. 51–58. Springer, 2015.
- (4) F. Sforza, "Communications system," US Patent 8406275, 2013.
- (5) A. J. Berni and W. D. Gregg, "On the utility of chirp modulation for digital signaling," IEEE Trans. Commun. vol. 21, no. 6, pp. 748–751, 1973.
- (6) "LoRa Alliance," <https://www.lora-alliance.org/>.
- (7) "SIGFOX," <https://www.sigfox.com/>.
- (8) 中村武宏, 永田 聡, 梅田大將, 高橋秀明, 安藤桂, "LTE-Advanced Release 13 標準化技術概要," NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, vol. 24, no. 2, pp.32–37, 2016.
- (9) 武田和晃, ウリ A. ハブサリ, 高橋秀明, 藤島大輔, ミャオ シェン, "LTE Release 13 における IoT を実現する技術," NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, vol. 24, no. 2, pp. 38–49, 2016.
- (10) 3GPP TS 24.301, "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System(EPS)(Release15)," 2017.
- (11) GSM Association, "LTE-M Development Guide to Basic Feature set Requirements," <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2017/09/LTE-M-Deployment-Guide-CLP.29-v1.0.pdf>, 2017.
- (12) European Telecommunications Standards Institute (ETSI), "ETSI multi-access edge Computing starts second phase and renews leadership team," <http://www.etsi.org/news-events/news/1180-2017-03-news-etsi-multi-ccess-edge-computing-starts-second-phase-and-renews-leadership-team>, 2017.
- (13) 松田尚久, 高木健樹, 堀内 翔, 青木宏樹, 芥川愛子, "NFV で実現する IoT ネットワーク," NEC 技報, vol. 68, no. 3, pp. 36–41, 2015.
- (14) 3GPP TS 23.682, "Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications (Release 13)," 2015.
- (15) 岩井孝法, 長谷川 剛, 若宮直紀, "モバイルコアネットワークへのアクセス負荷を平滑化するためのバックオフ機構の拡張," 信学技報, MoNA2013-60, pp. 67–72, 2014.
- (16) G. Hasegawa, T. Iwai, and N. Wakamiya, "Temporal load balancing of machine type communications in mobile core networks," Proc. 2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), 2015.
- (17) S. Kartakis, W. Yu, R. Akhavan, and J. A. McCann, "Adaptive edge analytics for distributed networked control of water systems," Proc. IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), pp. 72–82, 2016.

- (18) J. Kraus and V. Bubla, "Optimal methods for data storage in performance measuring and monitoring devices," Proc. Electronic Power Engineering Conference, 2008.
- (19) 黒崎裕子, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人, "リアルタイム動画画像解析アプリケーションフレームワークにおけるセンサ・クラウド間負荷分散の性能評価," 信学技報, Vol. 115, No. 230, DE2015-24, pp. 23-28, 2015.
- (20) "FIWARE," <https://www.fiware.org/>.
- (21) "NGSI context management," http://www.openmobilealliance.org/release/NGSI/V1_0-20120529-A/OMA-TS-NGSI_Context_Management-V1_0-20120529-A.pdf, Open Mobile Alliance, 2012.
- (22) F. Cirillo, M. Bauer, S. Gessler, G. Solmaz, B. Cheng, and E. Kovacs, "IoT Broker," FIWARE Summit, Malaga, 2016.
- (23) "W3C semantic web activity," The World Wide Web Consortium (W3C), <https://www.w3.org/2001/sw/>.
- (24) "IoT FIESTA," <http://fiesta-iot.eu/>, 2017.
- (25) "FIWARE Catalogue," <https://catalogue.fiware.org/>.
- (26) "The OpenStack project," <https://www.openstack.org/>.
- (27) "Docker," <https://www.docker.com/>.
- (28) A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol.17, no. 4, pp.2347-2376.
- (29) P. P. Ray, "A survey on Internet of things architectures," Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2016.
- (30) 田中裕之, 高橋紀之, 川村龍太郎, "IoT 時代を拓くエッジコンピューティングの研究開発," NTT 技術ジャーナル, vol. 27, no. 8, pp. 59-63, 2015.
- (31) D. Sabella, A. Vaillant, P. Kuure, U. Rauschenbach, and F. Giust, "Mobile-edge computing architecture: The role of MEC in the

Internet of things," IEEE Consumer Electronics Mag., Vol. 5, No. 4, pp. 84-91, 2016.

- (32) 飯田勝吉, "エッジコンピューティング研究開発の現状と今後の課題," 信学技報, vol. 117, no. 187, IA2017-16, pp. 25-30, 2017.

(平成 29 年 11 月 2 日受付, 平成 30 年 1 月 19 日再受付)

鈴木一哉 (正員)

1997 都立大大学院工学研究科修士課程了。同年 NEC 入社。ネットワーク機器開発, 経路制御・SDN の研究開発に従事。2011 筑波大大学院ビジネス科学研究科博士後期課程了。2014-2018 電通大大学院情報システム工学研究科客員准教授。現在, 秋田県立大・システム科学技術・准教授。博士 (システムズ・マネジメント)。

森本昌治 (正員)

2004 神戸大・工・卒。2006 同大学院自然科学研究科 (情報知能工学専攻) 博士前期課程了。同年 NEC 入社。2015 プリンストン大客員研究員。2016 NEC 北米支社を経て, 現在 NEC システムプラットフォーム研究所主任研究員。SDN/NFV などネットワーク制御の研究開発・製品開発に従事。

岩井孝法 (正員)

2002 信州大・工卒。2004 同大学院工学研究科博士前期課程了。同年 NEC 入社。現在, NEC システムプラットフォーム研究所主任研究員。慶大大学院理工学研究科総合デザイン工学後期博士課程に在学中。IoT 通信ネットワークの設計・制御技術の研究に従事。2016 第 64 回電気科学技術奨励会会長賞並びに電気科学技術奨励賞, 2017 IEEE CQR Best Paper Award 各受賞。