

超大規模情報流通ネットワーク技術の研究開発

寺西裕一

本章では、ネットワーク接続された大規模数のセンサーやデバイス等のモノを活用し、人々の生活に密着した高度な ICT サービスの基盤技術を実現するべく、筆者らが新世代ネットワークプロジェクトの1つとして取り組んでいる「超大規模情報流通ネットワーク技術」に関連した研究開発の取組について概観する。

1 まえがき

有無線のネットワーク技術やデバイス技術の発展により、従来は困難であった小さなセンサーやデバイスなどの「モノ」のネットワーク接続が可能となった。そうした背景のもと、実世界に置かれたモノをオンラインサービスと連携活用し、人々の生活に密着した高度な ICT サービスを提供する、IoT (Internet of Things) サービスの実現に対する期待が高まっている。

IoT サービスの基盤技術の実現を目指した取組は活発になされており、モノ同士の通信 (M2M) という観点での標準化活動も盛んである。2012年3月には、日本、米国、欧州、中国、韓国等の標準化団体が参画する oneM2M^[1] と呼ばれる組織が設立され、M2M における end-to-end の通信仕様の策定が進められている。また、ITU-T においても、IoT-GSI^[2] と呼ばれる組織において、IoT をグローバルに展開するために必要となる標準に関する活発な議論が行われている。米国 NSF も、実世界に組み込まれたセンサーネットワーク等の情報と、オンラインサービスによるサイバー空間とを結びつけるサービス及びシステムである CPS (CyberPhysical System) の実現を課題として挙げている。EU では、多くの企業や研究機関が参画し、産業界ドリブンでスマートサービスのためのインフラ構築技術の確立を目指す FI-PPP^[3] と呼ばれるプログラムも進められ、FI-PPP 関連の機能要素を提供する FI-WARE^[4] などの成果が公開されている。日本において、u-Japan 政策として2010年まで進められてきた総務省のユビキタス関連のプロジェクトや、文部科学省の情報爆発プロジェクトは同様の課題を扱うものであったと言える。

しかしながら、IoT サービスの本格的な実現には、様々な技術的課題がある。とくに、ネットワーク接続されたモノが至るところに存在する状況では、ネットワーク接続するモノの数及び生成されるデータ量が

規模なものとなることが想定される。そうした大規模環境において、現実的な遅延時間や処理負荷で通信相手を検索・接続し、また、得られたデータを処理して、端末等に通知する ICT サービスをいかに実現するかは、大きな課題である。近い将来、ネットワークに收容すべき端末数は500億、端末に繋がるセンサー数は兆単位に及ぶといった予測もあり^{[5][6]}、それぞれの ICT サービスが扱うモノの数も大規模化することを想定しなければならない。

筆者らは、こうした課題の解決を目指し、インターネットの改良ではなく、白紙から新しく作り直すことを想定した「新世代ネットワーク」プロジェクト^[7] において、膨大かつ多様なノード群をネットワークに收容し、将来の IoT サービスを実現可能とする「超大規模情報流通ネットワーク技術」の研究開発に取り組んでいる。

本章では、超大規模情報流通ネットワーク技術に関連した研究開発の取組について紹介する。

2 超大規模情報流通ネットワーク基盤の機能要素

従来のインターネットにおけるクライアント・サーバを中心とした集中型アーキテクチャは、基本的にネットワーク上のサービスとユーザが、end-to-end で接続することを前提としている。しかし、大規模化に耐え得るモノのネットワークを実現していくには、ネットワーク上の様々な機器や端末が自律的に動作して規模拡張性を保ち、処理の共有化やデータ転送の最適化等をネットワーク全体として実現する分散型のアーキテクチャが必須となる。図1は、想定する超大規模情報流通ネットワークの構成イメージ及び機能要素を示している。以下では、各機能要素について述べる。

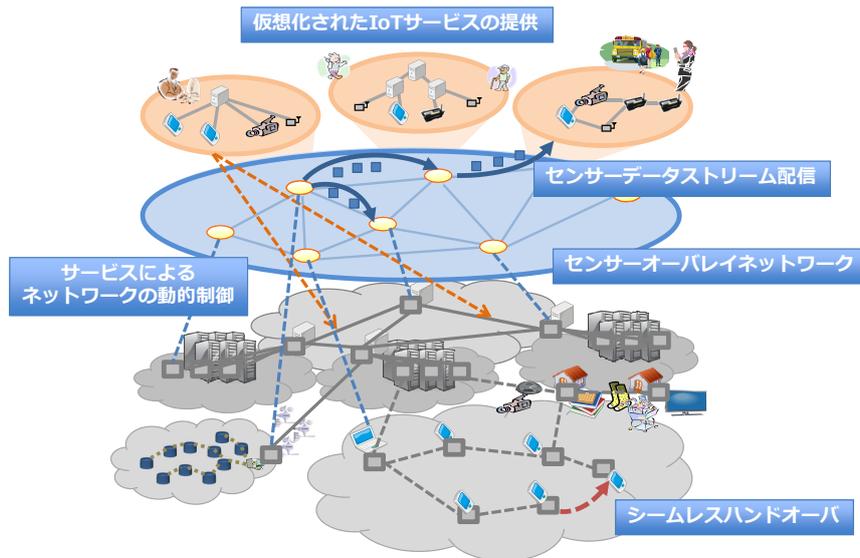


図1 超大规模情報流通ネットワーク基盤の機能要素

2.1 仮想化されたIoTサービスの提供

IoTサービスを効率的に実現する上では、ネットワーク上に分散した機器や端末上に、様々なIoTサービスの機能要素を柔軟に配置できる必要がある。

計算リソースや保存できるデータ量等に制約があるモノを活用するアプリケーションでは、精度の高い最適化や予測を含んだ情報処理を行うため、モノ同士が直接データ交換・処理を行う形態に加え、クラウド上の潤沢な計算機リソース、種々の膨大なデータを統合的に利活用する形態をとる必要がある。このとき、計算リソースの位置が、アプリケーションが提供される場所から遠い位置に存在することにより、通信遅延が大きくなる問題が生じ得る。既存クラウドでは、計算リソースの位置は基本的に固定されており、実世界の人やモノに対する情報提示や制御命令の送信（アクチュエーション）を高い応答性で、あるいは、適切なタイミングで行う必要があるアプリケーションの実現は難しい。また、センサーから発生される観測データがクラウド上で処理される場合、アプリケーションが活用するセンサーの数が大量となると、膨大なトラフィックがクラウド上あるいはクラウドに至る経路上に発生し得る。しかし、それらトラフィックのうち、実際にアクチュエーション等に活用される意味があるトラフィックはほんの一部に過ぎず、大多数は無駄なトラフィックになってしまうという問題がある。

上記の課題を解決する1つの方策として、ネットワーク上の端末に物理的に近い位置にクラウド上で行う処理の一部を実行可能な計算リソース（階層化クラウド）を設ける「階層化クラウドアーキテクチャ」が提案されている。階層化クラウドにより、近い位置にあるストレージや計算リソースを利用できれば、通信遅

延を削減でき、応答性能の向上が期待できる。また、端末に近い位置で必要な情報のみを転送するフィルタリングを行うことで、クラウドに至る経路で無駄に生じるトラフィックの低減を図ることができる可能性がある。

一方、IoTサービスでは、サービスごとに機密性を保つことに対する要求が大きく、盗聴等の攻撃の懸念を避けるため、他のサービスとネットワークを共有しないポリシーを設定可能とする必要がある。また、悪意がなくとも、不具合や誤設定による想定外のデータトラフィックの発生やネットワークの誤動作などの影響が生じることは想定しなければならない。

上記に鑑みると、IoTサービスのネットワークには、サービスごとに機能要素を柔軟に配置できるカスタマイズ性及びデータトラフィックがIoTサービスごとに分離される独立性が求められる。

筆者らは、IoTサービスに必要な機能要素を、仮想化されたネットワーク上のサービスとして提供する基盤（IoTサービス基盤）としてJOSE (Japan-wide Orchestrated Smart / Sensor Environment)を開発した。JOSEは、いわばIoTサービスに特化されたIaaS (Infrastructure as a Service)であり、物理的な計算機やネットワーク設備の投資を抑えて必要な機能要素を持つIoTサービスを、カスタマイズ性、独立性を持って構成することができる。JOSEの詳細については、7-2で述べる。

2.2 センサーオーバレイネットワーク

広域環境において、膨大な数のノード（ネットワーク上の機器や端末）を規模拡張性高く扱うことができるネットワーク技術として、構造化オーバレイネッ

トワークプロトコルが多数検討されている。DHT (Distributed Hash Table: 分散ハッシュテーブル) で用いられる Chord⁸⁾ や、Skip Graph⁹⁾ などがよく知られている。これらのプロトコルは、ノード数 N に対し、 $O(\log N)$ ホップ(またはそれ以下)でのノード・データの検索やノードへのデータ配信を可能とする。多くのプロトコルは、末端の利用者ノードも参加する P2P ネットワークを想定しており、ノードの参加離脱が頻繁に起こったとしても構造を維持できる機構を有している。

筆者らは、膨大な数のデバイスを扱える大規模情報共有ネットワークのプラットフォームの実現を目指して、自己組織型の範囲検索 P2P 技術に基づく「センサーオーバーレイネットワーク」のプラットフォームとしての PIAX¹⁰⁾¹¹⁾、及びその実現技術を提案している。

PIAX によるセンサーオーバーレイネットワークの例として、JOSE に実装されているセンサー情報共有の基盤である JSF がある。JSF については、7-2 で述べる。また、センサーオーバーレイネットワークの基礎技術として、物理的なネットワーク機器間の距離を考慮した構造化オーバーレイネットワークを構成する方法等についての検討も行っている。検討内容の詳細については、7-3 において述べる。

2.3 センサーデータストリーム配信

IoT サービスが多数存在する状況のもとでは、センサーは1つの目的のみではなく、複数の目的で利用され得る。例えば、カメラでとらえられた河川付近の映像データも1つのセンサーデータであるが、分析処理によって水位を調べる、天候を調べる、橋の交通量を調べる、といった複数のアプリケーションによる利用が考えられる。センサーデータは、基本的に周期的に生成されるものであり、アプリケーションとしては、データが生成されるたびにストリームとして取得し、処理したい。このとき、アプリケーションによって必要なセンサーデータの周期は異なると考えられ、複数の異なる周期のセンサーデータストリームを、できるだけ省リソースで実現できる技術が求められる。

筆者らは、1つのセンサーを複数の IoT サービスで共有するため、異なる周期のセンサーデータをストリームとして複数収容し、応用目的の異なる複数の端末にセンサーデータを周期的に配信する、P2P 型センサーデータストリーム配信システムの研究開発を行っている。その成果については、7-4 において述べる。

2.4 サービスによるネットワークの動的制御

IoT サービスにおいては、必要な計算リソースが実世界で生じている事象(イベント)に応じて変動する

場合も想定する必要がある。例えば、降雨があった場合に、シミュレーションによって降雨状態がどう変動するかを予測するアプリケーションでは、降雨が無い状態では何も処理が実行されず、降雨状態という事象の発生に応じて必要な計算リソース量が変化する。これにともない、ネットワーク上を流れるデータ量も変化する。データ量の変化は、あるボトルネックリンクがあるとき、ネットワークの輻輳を引き起こす可能性があり、必要に応じて適切な経路変更が求められる。新世代ネットワークプロジェクトにおいては、このようなイベントドリブンで要求が変化する IoT サービスにおけるネットワークの動的制御を行う機構(SCN: Service Controlled Networking)の研究開発を行っている。SCN については、7-5 で述べる。

2.5 シームレスなハンドオーバ

通信を行う際に通信相手のノードを指定する手段として、インターネットでは IP アドレスが用いられている。IP アドレスは、ネットワーク上の位置を指定して通信を行うものである。IoT サービスにおいては、移動するノードを対象としてアクチュエーションを行う必要があるが、ノードが移動すると IP アドレスは変化する。ノードによっては、WiFi から近距離無線に通信手段が変化するなど、無線方式が移動に伴って変わることも考え得る。しかし、アクチュエーションの対象となるノードを、上位アプリケーションからは、アドレスの変化や、通信手段の扱いの違いを意識せずとも接続・利用したい。このために、統一的でシームレスなインタフェースを提供できることが望ましい。

そこで、我々は新世代ネットワークプロジェクトにおいて、移動するセンサーやアクチュエータといった移動ノードをアプリケーションからシームレスに扱えるようにするため、移動ノードの IP アドレスを指定するのではなく、移動ノードの識別子を指定し、端末の位置に関わらず、ハンドオーバ等を行いながら通信を継続することが可能なアーキテクチャ HIMALIS の研究開発を行っている。HIMALIS については、7-6 で述べる。

【参考文献】

- 1 oneM2M, "A Global Initiative for M2M Standardization," Available at: <http://onem2m.org/>, June 2015.
- 2 Internet of Things Global Standards Initiative, Available at: <http://www.itu.int/ITU-T/gsi/iot/>, June 2015.
- 3 FI-PPP: Future Internet PPP, Available at: <http://www.fi-ppp.eu/>, June 2015.
- 4 FI-WARE: Open APIs for Open Minds, Available at: <https://www.fiware.org/>, June 2015.
- 5 Wireless World Research Forum, Available at: <http://www.wirelessworld-research.org/>, June 2015.
- 6 TSensors, Available at: <http://www.tsensorssummit.org/>, June 2015.

7 超大規模情報流通ネットワーク

- 7 新世代ネットワーク , Available at: <http://nwgn.nict.go.jp/>, June 2015.
- 8 I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan, "Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.31, No.4, pp.149-160, 2001.
- 9 J. Aspnes and G. Shah, "Skip Graphs," ACM Transactions on Algorithms, Vol.3, No.4, pp.37, 2007.
- 10 Y. Teranishi, "PIAX: Toward a Framework for Sensor Overlay Network," Proc. of CCNC 2009, pp.1-5, 2009.
- 11 PIAX, Available at: <http://piax.org/>, June 2015.



寺西裕一 (てらにし ゆういち)

ネットワーク研究本部ネットワークシステム
総合研究室研究マネージャー
博士(工学)
ユビキタスコンピューティング、オーバーレイ
ネットワーク、マルチメディア、データベース
モバイル