

自己産出型コンピューティング基盤の サービス構成機能の試作

北形 元^{1,a)} 和室 昂佑^{2,b)} 長野 雄^{3,c)} 天間 克宏^{3,d)} 大和田 泰伯^{3,e)} 長谷川 剛^{1,f)}

概要：本稿では、頻繁に追加・削除される IoT 機器をボトムアップ的に組織化しサービスを構成する、自己産出型コンピューティング基盤のサービス構成機能の試作について述べる。自己産出 (autopoiesis) とは、生物の構成要素のように、構成要素自体が自己組織化し、自らの構成要素を自ら作り出しながら、単体としても機能し、全体としても機能することを指す概念である。本稿では、情報ネットワーク、および情報処理基盤に自己産出の性質を取り入れた自己産出型コンピューティング基盤の実現を目指し、具体的なサービス構成機能を試作する。

1. はじめに

IoT 機器から生じるデータは年々増加しており、クラウドサーバの通信量、データ保存容量、およびデータ処理能力には近い将来限界が来ると予想されている [1]。そこで、これまでの集中型のクラウドコンピューティングに代わり、分散型のエッジコンピューティングが注目されている [2], [3]。

エッジコンピューティングでは端末に近い場所でデータ処理を行うため、クラウドコンピューティングに比べ通信の遅延が小さく、また通信も局所的に行われるため、データセンターへのトラフィックの集中を避けられるという利点がある。しかしながら、エッジコンピューティングは分散配置される多数の小型サーバを利用するため、集中型のクラウドコンピューティングに比べ機器の管理・運用にコストがかかる。さらに、スマートフォンやコネクテッド

カーなど、移動性を有する IoT 機器に対して継続的にサービスを提供するためには、IoT 機器の移動にあわせてサービスを提供するソフトウェア自体を小型サーバ間で再配置させていく必要があり、このような移動性を有する IoT 機器への適用が難しいという潜在的な問題がある [4]。

そこで我々はこれらの問題を解決するため、機器やネットワークの構成が頻繁に変化する将来の IoT・エッジコンピューティング環境に適したコンピューティング基盤を実現するため、自己産出型コンピューティングの概念を提案している。自己産出 (autopoiesis) とは、生物の構成要素のように、構成要素自体が自己組織化し、自らの構成要素を自ら作り出しながら、単体としても機能し、全体としても機能することを指す概念である。

本稿では、情報ネットワーク、および情報処理基盤に自己産出の性質を取り入れた自己産出型コンピューティング基盤の実現を目指し、具体的なサービス構成機能の試作について報告する。

2. 自己産出型コンピューティング

2.1 概要

構成要素が頻繁に変動する状況で、様々な IoT 機器を組み合わせたサービスを自己組織的に構築するためには、従来のクラウドコンピューティングやエッジコンピューティングのような、ネットワーク内の計算機資源ありきとしたトップダウン的な構成方法論とは異なり、IoT 機器同士がお互いを発見し結合していき、その結果としてネットワーク、およびサービスプラットフォームを構築する、ボトムアップで適応的なアプローチが適していると考えられる。そこで本研究では、サービスを、再配置可能で知的なソフ

¹ 東北大学 電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8577, Japan

² 東北大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, Aramaki aza Aoba 6-3-09, Aoba-ku, Sendai, 980-8579, Japan

³ 情報通信研究機構 耐災害 ICT 研究センター
Resilient ICT Research Center, National Institute of Information and Communications Technology, 2-1-3 Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-0812, Japan

a) minatsu@riec.tohoku.ac.jp

b) wamuro@riec.tohoku.ac.jp

c) takeshi.nagano@nict.go.jp

d) temma@nict.go.jp

e) yowada@nict.go.jp

f) hasegawa@riec.tohoku.ac.jp

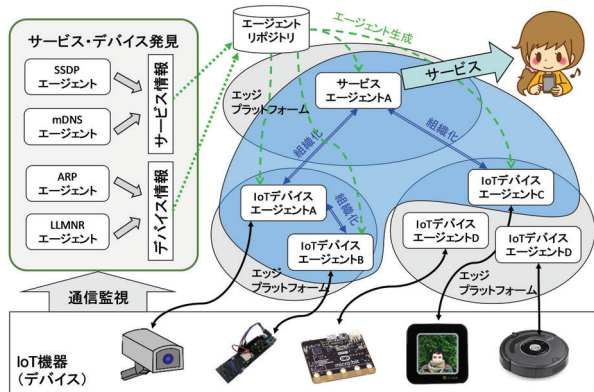


図 2 IoT 機器の組織化に基づくサービス構成

Fig. 2 Service construction based on organization of IoT devices.

し、ネットワークの分離・結合等の構成変化に適応可能とする。

(5) 既存サービスの保存・復元

エージェントが提供するサービスだけでなく、DNS や Web サーバなど、エージェント以外で構成される既存サービスに対しても、ネットワーク構成の変化に対する耐性を付与することが望ましい。そこで、人間の管理者が稼働中のサービスの設定情報を探索・解析する際の手順や戦略を知識化してエージェントに組み込み、既存サービスの設定情報やデータをエージェントが自動的に抽出・記録するとともに、記録したデータからサービスを復元する方式を導入する。また、ネットワーク同士が再結合し、分離前の状態に復帰した場合、復元したサービスと元のサービスの更新情報をマージして一つのサービスに融合する仕組みも必要になると考えられる。

2.3 想定するアプリケーション

自己産出型コンピューティングのアプリケーションとしては、電池のみで長期間運用可能な小型省電力無線機器と、巡回するバスに搭載された IoT 機器や歩行者が携帯するスマートフォンなどを連携させた、長期間運用可能な徘徊高齢者の探索や子供見守りサービスや、地域内の複数の防犯カメラを連携させた不審者追跡などの地域型サービス、また災害時に通信設備が被害を受けインターネットに接続できないような場合において、地域内にある情報機器のみで避難誘導や安否確認などの耐災害サービスを提供するなどのサービスなど、今後増加が見込まれる IoT 機器を活用した安心・安全なスマート社会の実現に寄与するサービスが想定される。

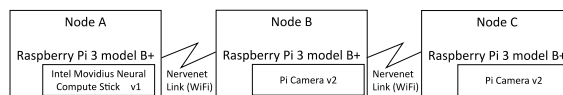


図 3 試作システムの構成

Fig. 3 Structure of the prototype system.

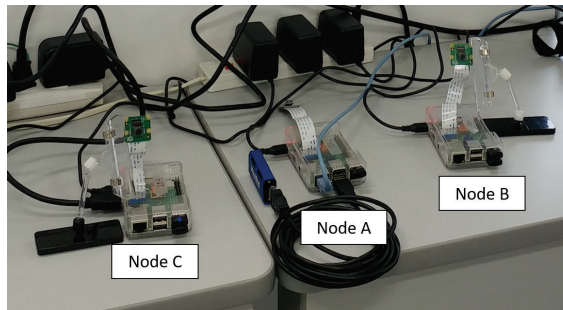


図 4 試作システムの外観

Fig. 4 An appearance of the prototype system.

2.4 IoT 機器の組織化に基づくサービス構成

図 2 に、自己産出型コンピューティング基盤におけるサービス構成機能の概要を示す。ネットワークに接続された IoT 機器は、SSDP(Simple Service Discovery Protocol), mDNS(multicast DNS), ARP(Address Resolution Protocol), LLMNR(Link-Local Multicast Name Resolution) 等の既存のプロトコルによる通信を監視することにより発見する。これには、我々の先行研究であるサービス発見手法を活用する [5]。IoT 機器を制御するための知識とプロセスはエージェントとして設計・実装し、エージェントリポジトリに格納しておく。新たな IoT 機器がネットワークに接続されたことを検出した場合、該当する機器を制御するエージェントをエージェントリポジトリからインスタンスエート (実体化) し、IoT 機器をエージェント化する。IoT 機器をエージェント化することにより、契約ネットプロトコルのようなエージェント間協調手法を活用して IoT 機器を組織化することが可能となり、利用可能な複数の IoT 機器を自律的に組み合わせ、利用者に種々のサービスを提供する。

3. サービス構成機能の試作

IoT 機器に搭載されたカメラや機械学習用ハードウェアを連携させた地域内防犯カメラサービスを想定し、前述のサービス構成の仕組みの一部を具体的な IoT 機器へ実装した。図 3 に、試作システムの構成を示す。試作システムは、無線で接続された 3 台のノード A~C から成る。各ノードには、Raspberry Pi 3 model B+を使用し、ノード間の接続には、NICT が開発したワイヤレスメッシュネットワークシステムである Nervenet を使用した [6]。これにより、IoT 機器を追加・削除しても、ネットワーク接続を自律的に維持可能となる。また、ノード B,C にはカメラ (Raspberry

Pi Camera v2) を搭載し、ノード A には画像認識を高速化する機械学習用のアクセラレータとして、Intel Movidius Neural Compute Stick v1 を搭載した。図 4 に、試作システムの外観を示す。

試作システムを用いて動作検証を行った結果、ノード B, C に搭載したカメラで撮影した映像を、Nervenet で構成したネットワーク経由でノード A に送信し、ノード A は受信した映像に対してリアルタイムに画像認識を行い、カメラ画像に人物が含まれている場合、これを検出できることを確認した。これにより、個々の IoT 機器が持つカメラや機械学習用ハードウェアを組み合わせ、個々の機器が持つ機能を連携させたサービスを構成できることを確認した。

4. おわりに

本稿では、頻繁に構成が変化する IoT 機器をボトムアップ的に組織化してサービスを構成する、自己産出型コンピューティング基盤について説明し、その機能のひとつであるサービス構成機能の一部を試作し、IoT 機器に搭載されたカメラや機械学習用ハードウェアを連携させた防犯カメラサービスを想定し、その実現可能性を示した。

今後は、自己産出型コンピューティング基盤を構成する他の機能の設計と実装を進め、いくつかのシナリオを想定した実験を通じ、自己産出型コンピューティングの有効性を検証する予定である。

参考文献

- [1] 山口弘純, 安本慶一: エッジコンピューティング環境における知的分散データ処理の実現, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J101-B, No. 5, pp. 298-309 (オンライン), DOI: 10.14923/transcomj.2017MOI0001 (2018).
- [2] Kang, K.-D., Menasche, D. S., Küçük, G., Zhu, T. and Yi, P.: Edge computing in the Internet of Things, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 13, No. 9, pp. 1-2 (online), DOI: 10.1177/1550147717732446 (2017).
- [3] Pan, J. and McElhannon, J.: Future Edge Cloud and Edge Computing for Internet of Things Applications, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, No. 1, pp. 439-449 (online), DOI: 10.1109/JIOT.2017.2767608 (2018).
- [4] Mach, P. and Becvar, Z.: Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, No. 3, pp. 1628-1656 (online), DOI: 10.1109/COMST.2017.2682318 (2017).
- [5] 門脇伸明, 笹井一人, 北形 元, 木下哲男: エージェント型スライス制御機構に基づくリアクティブネットワーク構成法, 第 25 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 2017, pp. 16-23 (2017).
- [6] INOUE, M. and OWADA, Y.: NerveNet Architecture and Its Pilot Test in Shirahama for Resilient Social Infrastructure, *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E100.B, No. 9, pp. 1526-1537 (online), DOI: 10.1587/transcom.2016PFI0006 (2017).