

# エッジコンピューティング利活用のための 管理型自己組織化リソース制御手法

## Controlled Self-Organized Computing Resource Allocation Method for Promoting Edge Computing

荒川 伸一 村田 正幸  
Shin'ichi Arakawa Masayuki Murata

大阪大学 大学院情報科学研究科 情報ネットワーク学専攻  
Department of Information Networking, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Japan

### 1. まえがき

実世界センシングや自律走行車の制御のように、モバイルデバイスやセンサー周辺の実世界の情報を収集し活用するサービスの展開が期待されている。例えば、固定センサーや歩行者のスマートフォンからなどの情報を解析し、その結果を提供することでナビゲーションを行うサービスや、自律走行車などの車両からセンサー情報や映像情報を受信し、カーブの先や他車の陰などの死角を把握することが考えられる。

実世界の状況を正しく把握し、その内容を提供するためには、実世界から得られるデータを収集し、解析処理する必要がある。そこで、モバイルデバイスに隣接する場所、すなわちネットワークのデバイスに近い側のネットワーク端にコンピューティングリソースを配置しデータ解析処理を行うエッジコンピューティング技術が注目されている。

エッジにおける情報処理は、情報の伝送距離が短くなり情報伝達に要する時間が短くなるため遅延が低減され、実世界センシングで用いられる様々なサービスの利便性が高まる。しかし、モバイルデバイスやセンサーが収集したデータの量（以降、センシング情報量）は一定ではなく、実世界におけるユーザ移動や事象の発生によって大きく変動する。例えば、車両からデータを収集する場合では、車両の流量は時刻や場所に依りて大きく変化する。都市部か山間部か、朝か夜かなどの様々な要因によって、センシング情報量は変動する。また、センシング情報量は必ずしも定常的なものであるとは限らず、交通事故などの突発的な非定常な事象の発生によって変動する。交通事故が発生したとき、その影響は事故地点を中心に渋滞などの形で広がっていくなど、事象の発生による変動が時間が経過するにつれて周囲に波及していくことも考えられる。また、それに依りてセンシング情報や事故情報を利用するユーザも増加し、ユーザ要求に対処するためのリソース需要も増加する。

以上のことから、実世界に連動したサービスを提供していくには、実世界の環境変動に即時に対応可能なリソース制御が求められる。

### 2. エッジコンピューティング環境におけるリソース調停

エッジのコンピューティングリソース（以降、リソース）は、1つのサービスが独占的に使用するものではなく、複数のサービスによって共用されるものと考えられる。すなわち、一つのエッジルータが提供できるリソースを複数のサービスに割り当てることとなり、リソース競合の調停が必要となる。また、複数のサービスのリソース需要が、あるエッジルータ上のリソース量の総和を超えていた場合、

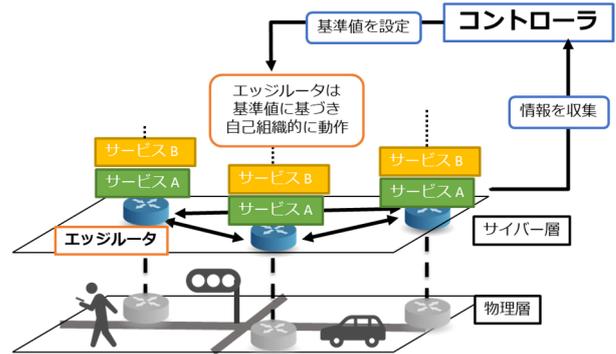


図1 管理型自己組織化手法にもとづくエッジコンピューティングリソース制御

各サービスの需要を満たすリソースを配分できないことも考えられ、この場合、そのエッジルータの周囲のエッジルータの余剰リソースを利用する必要がある。このような環境においてリソースを制御するには、制御コントローラがサービス需給やユーザ数などのネットワーク全体の情報を収集し、何らかの最適化手法を適用する形が考えられる。しかし、最適化手法そのヒューリスティック手法を適用する場合は、情報収集の時間を要し、リソース配置の周期が長くなり、実世界の環境変動に追従できない。そのため、制御コントローラを用いず、自己組織的にリソースを配置する動的リソース制御手法が望まれる。

### 3. 管理型自己組織化手法にもとづく動的リソース制御

本稿では、エッジルータが自己組織的に動作することで、全体のトラフィック情報などを把握する必要がなく、実世界変動に即時性のある制御を可能とすることを目的として、リソース需要を表現するポテンシャル場を用いた動的リソース制御手法を述べる。

図1は、管理型自己組織化手法にもとづく動的リソース制御の全体像を示したものである。本手法は、

- 単一のサービスを対象とし、イントラサービス内での実世界の状況を捉えたポテンシャル場の形成
- エッジルータ上に複数のサービスが收容されているときに発生するリソース競合の調停

から構成される。具体的な更新式については、文献 [1] に記載しているため、ここでは本手法の動作概要を述べる。

まず単一のサービスを対象としたポテンシャル場の形成として、発生したセンシング情報量や情報利用需要をポテンシャル場として表現し、各エッジルータはポテンシャル値に対応するリソースを配置する。エッジルータにサービ

スが展開されている状況において、エッジルータ間の情報交換により自己組織的にポテンシャル場を形成・更新し、実世界の環境変動に迅速に対応可能なリソース制御を実現する。

次に、エッジルータ上で複数のサービス収容によるリソース競合に対処するために、エッジルータに収容されるサービスの時空間特性を把握し、その特性に基づいてエッジルータの各サービスに対して動作基準を示すコントローラを用意する。エッジルータは、外部のコントローラから長周期で与えられる動作基準に導かれつつ自己組織的かつ短周期にポテンシャルを更新することで実世界の環境変動に迅速に対応する管理型自己組織化を行う。

サービスの時空間特性には、例えば交通事故現場の解析など時間的局所性と空間的局所性が高いものや、広域での交通流最適化など時間的局所性は高いが空間的局所性は低いものが挙げられる(図2)。収容されているサービス全体の品質を高めるためには、時間的局所性の高い要求するサービスには一時的にリソース配置を優先させるため高い基準値を設定するなど、サービスの時空間特性にもとづいた基準値設定が必要となる。

重要な点は、図1に示すコントローラが個々のサービスに割り当てるリソース量を指示するのではなく、基準値をフィードバックしている点にある。これによりエッジルータが短周期で自己組織的に動作しつつ、コントローラが長周期で各エッジルータから収集した情報を基に各サービスの基準値を算出し各エッジルータにフィードバックすることで、各エッジルータにおけるリソース調停の振る舞いを管理する。エッジルータのポテンシャル更新周期は短周期であるが、コントローラの基準値の更新は、ポテンシャルの収集と計算およびその伝達を含むため長周期となる。

コントローラが、エッジルータ  $i$  のサービス  $k$  に割り当てる基準値  $T_i^k(t)$  は、

$$T_i^k(t) = F_i^k(t) / \sum_l F_i^l(t),$$

$$F_i^k(t) = w \cdot \lambda_i^k(t) + (1-w) \cdot \mu_i^k(t)$$

で与える。ただし、 $\lambda_i^k(t)$  と  $\mu_i^k(t)$  は、エッジサーバーに到着するセンシング情報量から指数移動平均によって算出される時間的局所性項と空間的局所性項であり、 $w$  はパラメータである。

## 5. 数値例

管理型自己組織化手法にもとづく動的リソース制御の挙動を数値計算により確認している。本稿では、100台のエッジルータを等間隔にタンデム状に接続し、サービス  $\theta_0$ ,  $\theta_1$  の2つのサービスを収容するシナリオの結果を示す。各エッジルータの物理的なリソース量は85 [unit]としている。なお、ここでは空間的局所性のみを扱うため、 $w$  は0に設定している。また、サービス  $\theta_1$  の空間的局所性をサービス  $\theta_0$  の空間的局所性を2倍に高く設定している。

図3は、100台のエッジルータが形成するポテンシャル場をサービス毎に示した図である。エッジルータは、時刻2ステップ毎に到着するセンシング情報量にもとづいて自身のポテンシャル場  $I$  を自己組織的に形成する。コントローラは時刻20ステップ毎に基準値  $T$  を更新する。図では、時刻500における  $I$ ,  $T$  およびセンシング情報量に依りて必要となるコンピューティングリソース量  $p$  [unit] を示している。座標  $x=50$  のエッジルータでは、多くのセンシング情

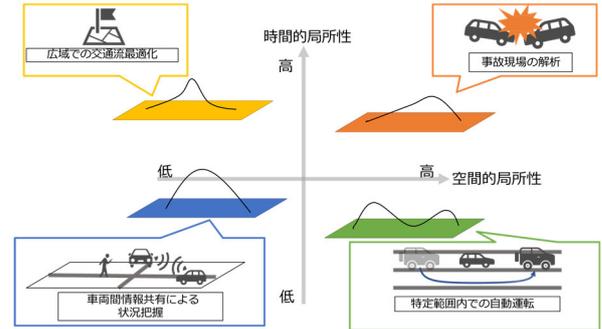


図2 エッジルータに収容されるサービスの時空間特性の例

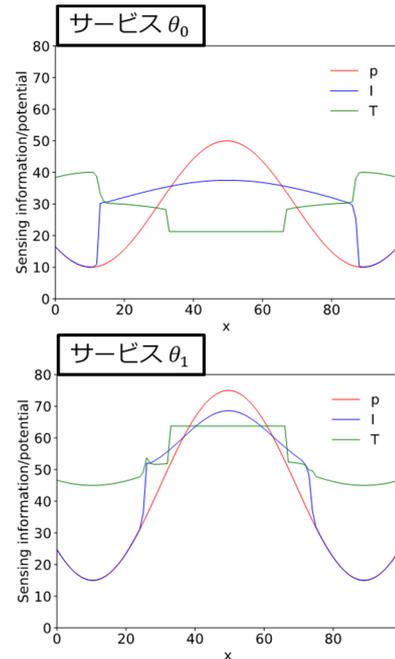


図3 エッジルータに設定されるポテンシャル場: 時刻500

報が発生し、各サービスが必要とするリソース量が、エッジルータの物理的なリソース量は85 [unit]を超過しており、リソース競合が発生している。この時、座標  $x=50$  近傍のエッジルータでは、コントローラによってサービス  $\theta_1$  の基準値  $T$  が高く設定され、サービス  $\theta_0$  の基準値  $T$  は低く設定されていることがわかる。この基準値設定は、エッジルータが短周期で行う自己組織的なポテンシャル場形成に反映され、その結果が図の  $I$  となっている。 $I$  の振る舞いを観察すると、空間的局所性の低いサービス  $\theta_0$  では座標  $x=50$  付近ポテンシャルを抑制し、座標15付近から座標90付近まで広範囲に一定量のポテンシャルを形成している。一方、サービス  $\theta_1$  では座標  $x=50$  付近のセンシング情報量にほぼ追従できており、所望の振る舞いを得ていることがわかる。実交通量データ[2]にもとづくセンシング情報量を与えた場合においてもこの振る舞いを得ることを確認している。

## 参考文献

- [1] 神田, 荒川, 村田, “実世界のポテンシャル場表現に基づく管理型自己組織化リソース制御,” 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2018-291), 2019年3月.
- [2] C. Chen, “Freeway Performance Measurement System (PeMS),” Technical Report, UCB-ITS-PRR-2003-22, 2003.