

分散サービス基盤技術によるユーザーの体感品質（QoE）向上

Improving Quality of Experience for Users through Distributed Service Platform Technology

● 阿比留健一 ● 上野 仁 ● 雨宮宏一郎

あらまし

近年、モバイルネットワークの高速化とクラウドサービスの利用増大に伴い、モバイル端末やデバイスによる大量のトラフィックがネットワークのレスポンス低下を招きつつある。この問題に対応するため、分散コンピューティングの技術をネットワークに応用する考え方が注目されている。富士通研究所で開発した分散サービス基盤もその技術の一つであり、データセンター内に閉じていた処理実行・データ蓄積を実世界(現場)の端末・機器の近くまで拡張することで、今後拡大するモバイル端末やデバイスを活用するアプリケーションを容易に開発・構築・運用できるIoT(Internet of Things)対応クラウド技術である。この技術を使うことで、ユーザーの移動に追従して、ユーザーが所有する端末やその近傍にあるデバイスにあらかじめデータを配備することが可能となり、ユーザーが使いたいときに即座にデータにアクセスできるようになる。

本稿では、ICTを取り巻く環境の変化の中で広がっていく分散コンピューティング環境において、ネットワークの役割を捉え直すとともに、現在富士通研究所が取り組んでいる分散サービス基盤技術について紹介する。

Abstract

In tandem with the improvement in mobile network speed and diffusion of cloud services in recent years, the increasing data traffic from mobile devices is degrading network responses. Technologies with the potential to counter this situation are ones that apply the concept of decentralized computing to the network. The decentralized service platform developed by Fujitsu Laboratories is one such technology, and it makes it easier to expand the domain for process execution and data storage, which has been hitherto confined to datacenters, and thus draw closer to user devices and terminals. This is cloud technology enabled by the Internet of Things (IoT) and it facilitates easy development, construction and operation of ever-increasing applications to cater to their use with mobile devices. This technology enables data to be located either in the users' devices or in their surroundings, making it easier for them to have immediate access to the data as they move. This paper re-examines the role of the network in a distributed computing environment that will expand amid changes in the environment surrounding information and communications technology (ICT). At the same time, it introduces the technology for a distributed services platform that Fujitsu Laboratories is currently working on.

ま え が き

近年、端末の高性能化と低価格化、モバイルネットワークの高速化が進むとともに、クラウドサービスの利用が拡大し、モバイルコンピューティングが普及してきている。今後更に、様々な日々の活動を支援するために、ヒトだけでなく、車や照明、各種家電製品など多種多様なモノがネットワークにつながり、ICTを活用して実態を把握・分析・制御する、実世界（現場）とサイバー世界の融合が進むと考えられる。

本稿では、まず今後のICTを取り巻く環境の変化を概観し、その中で広がっていく分散コンピューティング環境におけるネットワークの役割と課題を述べる。次に、分散サービス基盤のコア技術である最適配備プランニング技術、およびメッセージペーシング技術について説明し、最後に提案技術を用いたネットワークの負荷とユーザーの体感品質（QoE: Quality of Experience）に関するシミュレーション結果を示す。

ICTを取り巻く環境の変化

モバイルの利用環境では、端末に応じてアプリケーションを使い分けることで利便性向上が図られている。例えば、各種データをクラウドで一元的に管理しておき、モバイルPCではWebブラウザベースのアプリケーションを利用したり、スマートフォンやタブレットではネイティブアプリケーションでUI（User Interface）をカバーしたりして、利便性を向上させている。

こうした利便性向上に伴うICTの利用シーン拡大とともに、ユーザーが利用するアプリケーションやデータの種類やサイズも多様化している。例えば、スマートフォン内蔵のカメラの高画素化やストリーミング動画視聴などにより、クラウドとの間でアップロード・ダウンロードするコンテンツのサイズが大きくなってきている。

また、これまでICTが活用されていなかった環境においても、いわゆるIoT（Internet of Things）として、ヒトだけでなくモノを含めてあらゆるものがネットワークを介してクラウドにつながっていく。これに伴い、実世界とクラウド上のサーバの間でやり取りするデータトラフィックが増大する

とともに、やり取りされるデータのサイズや通信特性も多様化している。

IoTの進展により、ネットワークにつながるデバイス数は2013年の158億個から、2020年には530億個にも増加すると予測されている⁽¹⁾したがって、膨大な量のデータが今後ネットワークに流れ込んでくると考えられる。

また、自動車や建設機械のエンジンの稼働情報や、カメラを利用した運転履歴記録などからもビッグデータが生成されている。例えば、自動走行する車からは毎時3.6 Tバイト、飛行中のジェットエンジンからは毎時20 Tバイトものデータが発生すると言われる。更に、メガネ型や時計型などのウェアラブルなICT機器やセンサーが増えることで、これまで少量で低頻度であったこうした機器からの小さなサイズのデータが、大量かつ高頻度にネットワークに流れ込む。

このように、モバイル端末およびセンサーとクラウドとの間のネットワークからなる広域のICTインフラストラクチャーの役割も、多種多様かつ大量のデータのやり取りを支えるために大きな変革が必要になっている。その基本となる考えが、これまでクラウドにあった機能やデータの一部を、ネットワークの中に配置した複数のサーバで分散処理させるというものである。こうしたネットワークワイドな分散処理の考え方は各社で採用され始めており、富士通研究所でも研究開発を進めている。

分散サービス基盤

上記の考え方に基づき研究開発を進めている分散サービス基盤の取組みを紹介する。分散サービス基盤は、データセンター内に閉じていた処理実行・データ蓄積を実世界の端末・機器の近くまで拡張するIoT対応クラウド技術である。これにより、今後拡大するモバイル端末やデバイスを活用するアプリケーションを容易に開発・構築・運用できる。図-1は分散サービス基盤の適用イメージを示したものである。広域ネットワーク内部に複数のサーバを配し、そこでアプリケーションやデータを適切に配備することで、実世界のユーザーや機器に対し高いレスポンスの提供が可能になる。更に、運用中の利用環境変化を検知し、処理・コンテンツなどの適正な再配備プランを高速アルゴ

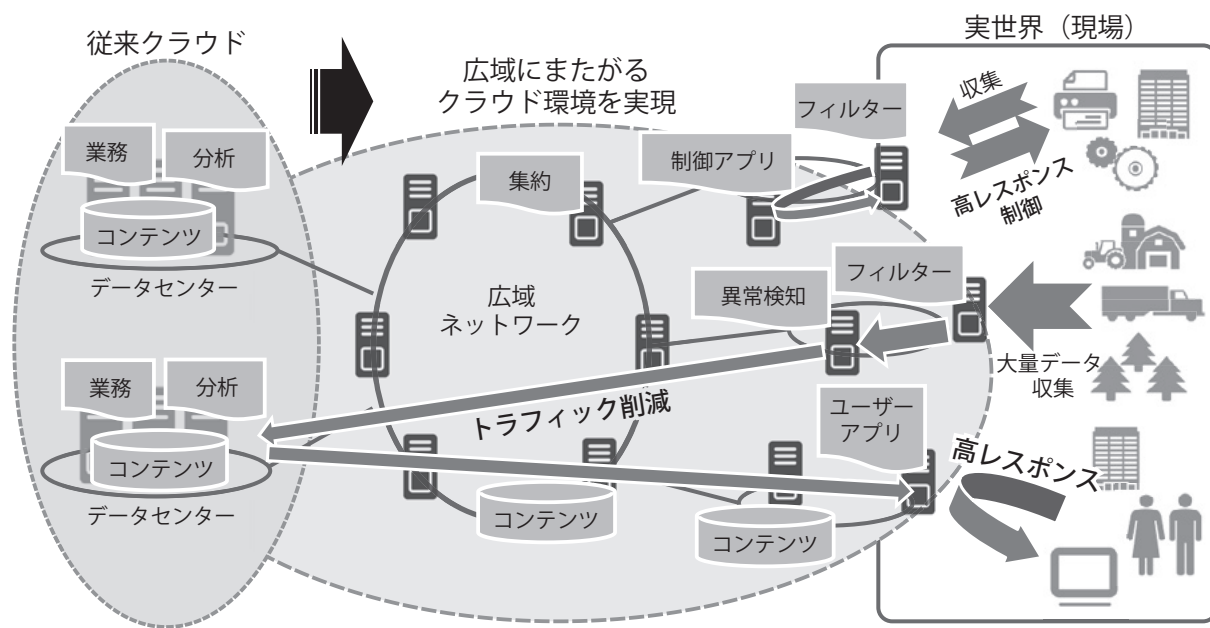


図-1 処理やデータの現場への分散化とその効果

リズムにより迅速に計算する。そのプランに応じて、アプリケーションやデータの分散配備を行い、相互につなぐことで、アプリケーション性能を制御しユーザーの体感品質（QoE：Quality of Experience）を維持する仕組みを有する。

分散サービスの具体例

上述のように、従来データセンター内に閉じていた処理実行・データ蓄積が実世界の端末・機器の近くまで拡大すると、次のようなことが可能になる。

(1) より快適なデータ共有サービス

撮影した写真や動画を仲間や周囲の人と共有するSNSや、業務で使うコンテンツをフィールドにいる社員と共有するネットワークファイルサービスなど、特定のメンバー間でデータを共有するサービスが広がりつつある。

これまで述べたように、端末の性能向上やモバイルネットワークの広帯域化に伴い、扱うデータのファイルサイズが大きくなってきている。このため、現状のクラウドだけでサービスを提供し続けると、閲覧までに時間がかかるようになり、ユーザーがストレスを感じることで、最終的にサービスが利用されなくなってしまうおそれがある。

そこで、図-2に示すように、ユーザー近傍の機

器（例えば、LTEやWi-Fiサービスの基地局）にエッジサーバ（ES）を設置し、ユーザーによるデータの登録（図中①）を契機に、そのデータをESにあらかじめ配備することで（図中②および③）、ユーザーのデータ取得（図中④）を素早く、快適にする。

(2) タイムリーな行動ターゲティングサービス

行動ターゲティングサービスとは、ユーザーの行動履歴（Webサイトの閲覧履歴など）を分析して得たユーザーの関心事と、現在のユーザー状況（場所や気温など）の二つの情報に基づき、ユーザーの支援となる情報を提供するサービスである。例えば、ユーザーが来店したらその近傍にある店内ディスプレイにそのユーザーの嗜好に応じた動画を表示したり、スマートフォンにユーザーが探している商品棚への経路を3Dで表示したりするといったことが挙げられる。^{(2),(3)}このようなサービスを現状のクラウドだけで実現すると、動画や3Dデータなどの情報配信に時間を要するため、タイムリーな情報表示が難しくなる。その結果ディスプレイに表示したときには既にユーザーは通り過ぎてしまっている、といった問題が生じる。

そこで、図-2のようにユーザー位置の検出（図中⑤および⑥）を契機に、提供したいデータを店舗などに設置したESにあらかじめ配備することで（図中⑦）、ユーザーが表示装置に到着後、即座に

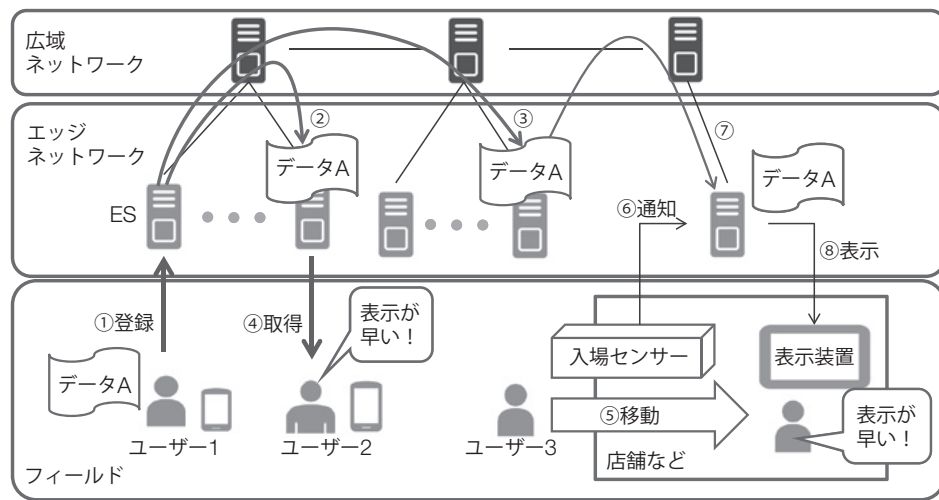


図-2 分散サービス基盤を利用したサービス例

データを表示できるようになる（図中⑧）。

QoE向上のためのデータ配備技術

上記のように実世界の端末・機器を使い、処理やデータをユーザーの利用に間に合うよう事前に配備することで、ユーザーが必要とするときに素早く情報を提供できるようになり、QoEの向上につながる。しかし、個々の処理やデータをクラウドから各ESに配備すると、中継するネットワークの負荷が増えてしまうという問題が出てくる。そこで富士通研究所は、事前配備における転送経路および転送タイミングを適切に決定することで、ネットワークの負荷を抑えつつ事前配備を行うユーザー追従データ配備技術と、それを分散環境で実行するためのシステムである分散サービス基盤を開発した。以下に、分散サービス基盤の概要と、各技術についてそれぞれ説明する。

分散サービス基盤の基本アーキテクチャーを図-3に示す。分散サービス基盤は、開発運用機構と制御機構の大きく二つで構成される。開発運用機構は、配備データや処理プログラムの開発、配備状況の可視化などを行う。制御機構は、サービスシステムから収集・検知したユーザー移動や新しいデータ・処理の追加を契機に、配備先計算部が配備先および配備経路を決定し、配備部が転送タイミングを制御しながらサービスシステム上の各ESに通知する、というサイクルで動作する。

● 配備先計算部における転送経路決定方式

転送経路の決定においては、

- (1) ユーザーの利用に間に合うよう、配備をできるだけ早く完了させること
- (2) ネットワークやサーバのリソースの消費をできるだけ抑えること

が求められる。具体的には、(1)については、できるだけ近くのノードからコピーしてすることが望ましい。また、(2)については、複数のユーザーが同一データをダウンロードする可能性があるため、そのデータが同一経路を複数回転送されないようにすることが望ましい。

この二つを実施するためには、複数のデータの置き場所から複数の配備先にデータを配るパターンの中から、配備コストが最小となるものを探す必要がある。この方法には、データ数と配備先数が大きくなるとパターン数が増え、配備コスト最小のパターンを探すための計算時間が急増してしまうという問題がある。

そこで筆者らは、次に示す手法により計算を単純化することで計算時間の短縮を図っている。その手順について図-4を用いて説明する。⁽⁴⁾

・ Step1：データの送信元決定

ユーザーの移動に伴い再配備を続けると、同一データのコピーが複数のESに存在することになる。そこでまず、ユーザーに事前配備すべきデータのコピーを持つ複数のESの中から、ユーザーが接続されているESから見て最も近い、例えば、経

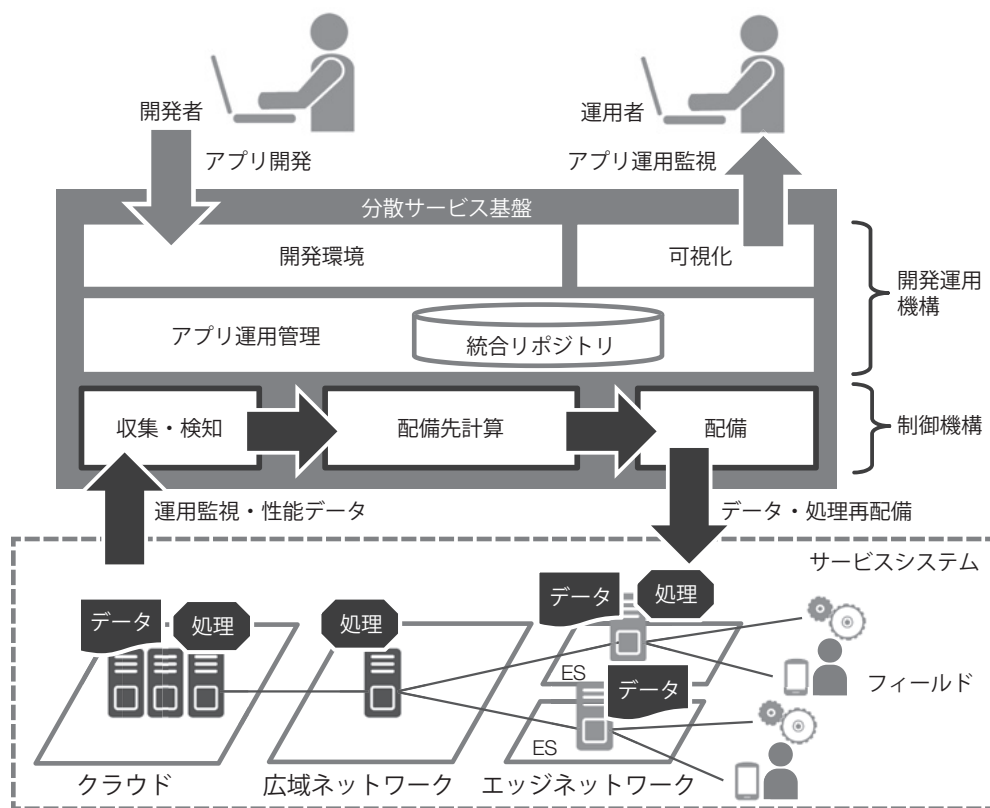


図-3 分散サービス基盤アーキテクチャー

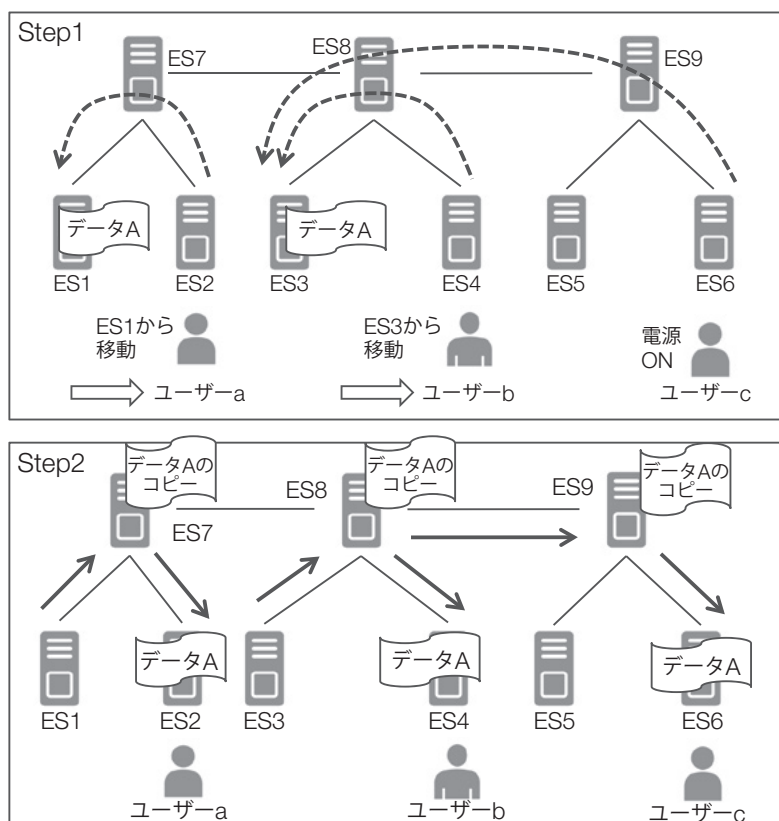


図-4 データの送信元と配備経路の決定の例

由するES数が最小となるESをデータの送信元として選ぶ。例えば、データAのコピーがES1とES3にあり、データAを参照するユーザー a, bがそれぞれES2, ES4の近くに移動し、ユーザー cが ES6で端末の電源をONにした場合を考える。この場合、ES2へのデータ配備はES1を、ES4およびES6へのデータ配備はES3をそれぞれ送信元として決定する。

これをユーザーごとに実施することで、事前配備すべき全てのデータについて、どこからどこに送るか（送信元と配備先ESのペア）が決定される。

・ Step2：データの配備経路決定

Step1の結果に従って、一つのデータを複数のESに配備すると、ネットワーク上を同一データが重複して流れるケースが出てくる。そこで、途中のESでコピーをしながら配備する経路を生成する。

例えば、Step1の結果として、データAをES3からES4およびES6に配備することになった場合を考える。この場合、まず途中のサーバES8にコピーさせ、次にES8からES4およびES9でコピーさせることで、ES3とES8の間でデータAが二度配信されることを防ぐ。

上記により、データごとにどこから取得し、どこに事前配備するかを短い時間で決定できる。

● 配備部における転送タイミングの制御技術

多数のユーザーが移動した場合、または多数のユーザーに共有されるデータが登録された場合、配備計算部は、一度に多数のデータ配備を行う指示を出す。そのため、そのまま各サーバに指示すると配備トラフィックが集中して遅延を生じ、ユーザーのアクセス前に配備することができない可能性がある。

トラフィック集中問題に対する従来技術としてトラフィックシェイピングがある。これは、ネットワーク装置に対し、ネットワーク管理者があらかじめ設定した回線利用率のしきい値を超えるトラフィックの送信を後回しにすることで、送出トラフィックを一定に抑えて輻輳を回避する技術である。しかし、トラフィックシェイピングではデータを受け取るユーザー側の事情を考慮せずにトラフィックを平滑化するため、しかるべきときにデータ配備が行われず、ユーザーのアクセス前にデー

タ配備が完了できない。

これに対して筆者らは、データ配備に使われるメッセージの送信タイミングを制御することで、負荷集中に伴う遅延を回避するメッセージペーシング（MP）技術を提案している。⁽⁵⁾ MPでは、データを受け取るユーザーごとにデータを必要とする時刻を把握し、同時刻に間に合うように各ユーザー向けのデータ配備制御メッセージの送信を遅延させることで、データ配備処理のタイミングを制御する。トラフィックの平滑化に関しては、ユーザーごとにデータを必要とする時刻にばらつきがあることを活用することで実現する。

このMP技術による制御の効果を図-5に示す。これは、データ配備からそのデータをユーザーが利用するまでのタイミングと、配備に伴うネットワークの負荷を、(1) 通常の送信処理時、および(2) ペーシング送信時について模式的に示したものである。図-5 (1) 左では、ユーザー aはデータAがESに配備されてから直ちに利用し、一方ユーザー bはデータBがESに配備されて、しばらく時間が経過した後利用することを示している。

(1) 通常の送信処理を行った場合、配備に伴うネットワークの負荷は図-5 (1) 右のグラフに示すようになる。ユーザー a, b向けのデータ配備を同時に実施するために、トラフィックのピーク値が高い状態になっている。

一方で、データがESへ配備されてからユーザー bがデータを参照するまでにタイムラグがある。そのタイムラグの間であれば、ESへのデータ配備がいつ完了してもユーザー bのQoEは劣化しない。この性質を活用し、(2) ペーシング送信時は、ユーザー bがデータを参照する直前までにデータBのESへの配備が完了するようにデータBの送信タイミングを制御する {図-5 (2) 左}。これにより、ユーザーのQoEを劣化させることなく、図-5 (2) 右に示すようにトラフィックのピーク値を削減できる。

データ配備技術評価

ユーザー追従データ配備、およびMP制御の効果を量るため、

- (A) ユーザー追従データ配備のみを実施した場合 (No MP)
- (B) ユーザー追従データ配備、およびユーザー要

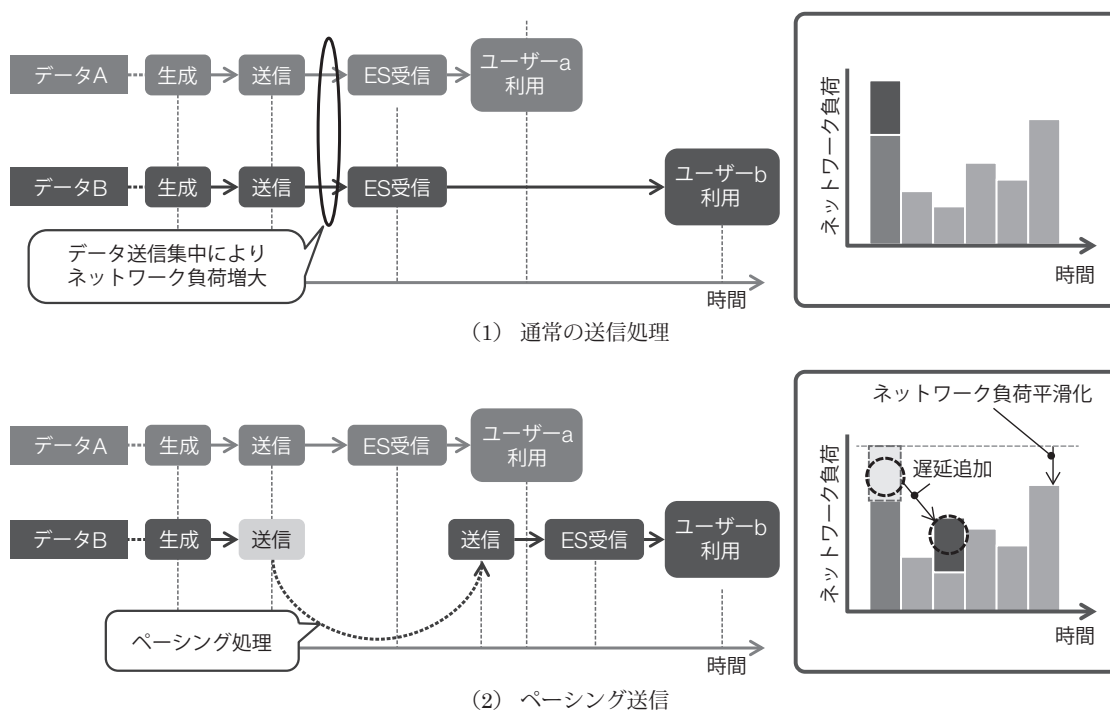


図-5 メッセージペーシング適用効果

求を考慮したMPを実施した場合（最適MP）に加えて、
 (C) ユーザー追従データ配備，およびユーザー要求を考慮しないMPを実施した場合（ランダムMP）
 (D) 単純なプロキシによる事後キャッシュを実施した場合（Proxy）
 について、シミュレーションで評価した。このうち(D)は従来の一般的な方法であり、(A)との比較でユーザー追従データ配備のみの効果を評価する。(A)と(B)，(C)の比較では、MPによる広域ネットワークのピークトラフィック削減効果を評価する。そして(B)と(C)の比較では、ユーザー要求を考慮したMPによるQoE向上効果を評価する。

シミュレーション評価の対象とするシステムは図-2に示したものとする。システムの評価用パラメーターとして、広域ネットワークの総帯域を10 Gbps，遅延を100 ms，エッジネットワークの総帯域を100 Gbps，遅延を10 msとした。またES数は10で、それぞれ1 Gバイトのキャッシュ容量と1.5 GbpsのI/O帯域を備える。想定するユーザー数を1万人，コンテンツ交換を行うグループ数は、10人

を1グループとして1000グループと設定した。交換するコンテンツはサイズを20 Mバイト，総数を2000個とした。

ネットワークトラフィックの観点からシミュレーションを行った結果を図-6に示す。(A)と(D)の比較から、エッジネットワークを活用したユーザー追従型サービスの効果として、広域ネットワークの負荷が34%削減(5.5 Gbps→3.7 Gbps)される一方で、エッジネットワークではコンテンツ授受に起因してトラフィックが増加(5.3 Gbps→8.9 Gbps)したことが確認できた。MPの効果に関しては、(A)のMPを施さない場合に比べて、(B)，(C)ともに広域ネットワークのトラフィックが削減されることが確認された。具体的にはピーク値の比較で、(B)ユーザー要求を考慮したMPでは約23% (3.7 Gbps→2.8 Gbps)，(C)ランダムMPでは約15% (3.7 Gbps→3.1 Gbps)の削減であった。エッジネットワークに関してMPによるトラフィック削減効果は、ピーク値で比較した場合、(B)ユーザー要求を考慮したMPで約10% (8.9 Gbps→8.1 Gbps)削減できた。これらの結果から、ユーザー追従型データ配備において、特にMPが広域ネットワークのピークトラフィック

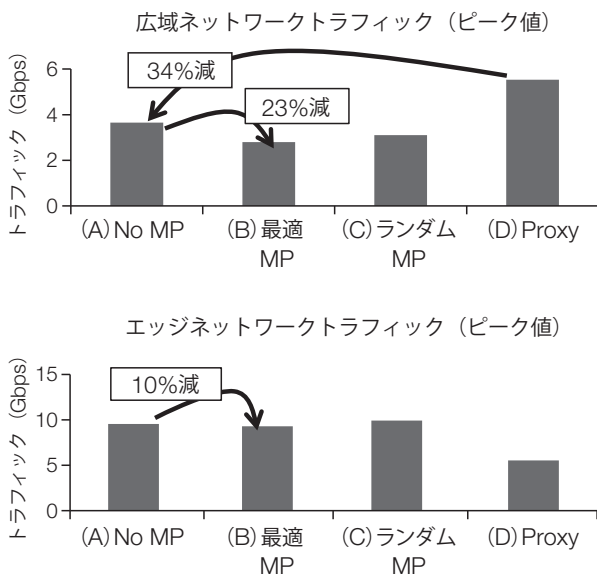


図-6 ネットワークトラフィックの比較

の削減に寄与することが明らかになった。

次にQoEの観点から、ユーザー応答遅延について評価した。(D) Proxy方式では、広域ネットワークの往復遅延200 msよりも短い時間で応答できる割合、すなわち、エッジノード上のキャッシュにヒットする割合が約20%であった。一方、ユーザー追従制御を実施した(A)では約40%に向上した。(B) ユーザー要求を考慮したMPの場合にも(A)と同等の応答性能が確認できた。一方で、(C)ランダムなMPでは、200 ms以下で応答できる割合が(D) Proxyと同程度の20%にとどまっており、ユーザー要求を考慮しないランダムMPは応答性能向上には寄与しないことが分かった。

以上のシミュレーションによる評価の結果、(C)ランダムMPに関しては広域ネットワークのピークトラフィック削減には寄与できるものの、ユーザーへの応答性能を(A) MPなしの場合と比較して劣化させることが判明した。一方で、(B) ユーザー要求を考慮したMPを施した場合、適切なコンテンツを適切なタイミングで配備することが可能である。このため、余計なコンテンツ取得トラフィックを発生させる頻度を削減し、ユーザー応答性能を劣化させることなく、エッジおよび広域ネットワークのピークトラフィックを削減できることが明らかになった。

む す び

本稿では、今後のICTを取り巻く環境の変化の中で広がっていく分散コンピューティング環境におけるネットワークの新たな役割について論じた。そして、データセンター内に閉じていた処理実行・データ蓄積を実世界の端末・機器の近くまで拡大することで、モバイル端末やデバイスを活用するアプリケーションを容易に開発・構築・運用できることを示した。更に、その役割を実現するプラットフォームとして、富士通研究所の考える分散サービス基盤を提案し、それを支える技術であるユーザー追従データ配備技術、およびMP技術について紹介した。シミュレーション評価の結果、ネットワークの負荷を増やすことなくユーザーのQoEを向上できることを示した。

今後は、ESの先につながる無線ネットワークまで含めたデータの最適配備、およびMP技術のエンハンスと実用化を進めていく。

本研究の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究として実施したものである。

参考文献

- (1) 総務省：平成27年版情報通信白書。
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/index.html>
- (2) K. Matoba et al. : Service Oriented Network Architecture for Scalable M2M and Sensor Network Services. Proceedings of ICIN2011, p.35-40, Oct. 2011.
- (3) H. Ueno et al. : Scalable Service Gateway Architecture for Mobile SaaS Platforms. Proceedings of ICIN2010, p.1-6, Oct. 2010.
- (4) 上野 仁ほか：分散ネットワークにおけるユーザ移動に追従した事前データ配備方式に関する検討。信学技報IN研究会, 113 (473), p.247-252, Feb. 2014.
- (5) 雨宮宏一郎ほか：ネットワーク分散型サービスにおけるサービス品質を考慮したイベントペーシング方式の検討。信学技報IN研究会, 113 (473), p.253-258, Feb. 2014.

著者紹介



阿比留健一（あびる けんいち）

ソフトウェア研究所
分散システムソフトウェアプロジェクト 所属
現在、分散サービス基盤技術の研究開発に従事。



雨宮宏一郎（あめみや こういちろう）

ソフトウェア研究所
分散システムソフトウェアプロジェクト 所属
現在、分散サービス基盤における分散データの配備スケジューリング技術の研究開発に従事。



上野 仁（うえの ひとし）

ソフトウェア研究所
分散システムソフトウェアプロジェクト 所属
現在、分散サービス基盤における分散データの配備経路設計技術の研究開発に従事。