

映像配信サービスにおける Intentに基づくアプリケーション・ ネットワーク協調制御技術

NTT研究所では、ユーザの満足度を高めるためにアプリケーション制御、ネットワーク制御、クラウドサーバ制御をユーザの要求（Intent）に基づいて協調させる技術コンセプトをMintent（Intent AIメディアータ）と称し、技術確立に向けた研究開発を進めています。Mintentの実現に向け、映像配信サービスを対象に、Intentを共通指標としてアプリケーション制御とネットワーク制御を協調させる技術を確立しました。本稿では、提案技術に関する概要とシミュレーションによる効果検証について解説します。

かわの
河野 太一

こばやし
小林 正裕

NTTネットワークサービスシステム研究所

Intentに基づいたアプリケーション・ネットワークの協調制御の必要性

SDN（Software-Defined Networking）やNFV（Network Functions Virtualization）等のネットワーク仮想化技術の発展により、ネットワークは動的かつ柔軟に制御することが可能になりつつあります。一方で、ネットワークを介したサービスは多様化しており、超高速・大容量、超低遅延、超低消費電力・低コスト化などネットワークに求められる要件も複雑化しています。ユーザが快適にサービスを楽しむためには、多様化するサービスに対するユーザの要求（Intent）を正しく把握したうえでIntentを満たすように要件を策定し、策定した要件に基づいて制御を行うことが求められます。従来、ユーザ端末のアプリケーションにおいては、サービスに対するユーザの満足度を向上させるために、ネットワーク品質を考慮したアプリケーションデータの配

信レートが制御されています。また、ネットワークにおいては、ネットワーク内で取得した情報を活用し、与えられたネットワーク品質要件を満たす経路の制御が行われています。しかし、アプリケーション制御とネットワーク制御は独立しているため、ユーザの満足度やネットワークリソースの利用効率の観点で十分な効果が得られない可能性があります。そのため、Intentに基づいてアプリケーション制御とネットワーク制御を協調させ、ユーザの満足度を高めるアプローチが重要になります。

NTT研究所ではネットワーク、クラウドサーバ、アプリケーションなどのマルチレイヤでIntentに基づき協調制御させる技術コンセプトをMintent（Intent AIメディアータ）と称し、技術確立に向けた研究開発に取り組んでいます。Mintentの実現に向けた初期検討として、まずは幅広く利用されるネットワークリソースを多く使用している映像配信サービスを対象を絞り、Intentに基づきアプリ

ケーション制御とネットワーク制御を協調させる技術を確立しました。本稿では、提案技術の概要と、シミュレーションによる提案技術の効果検証の結果について解説します。

映像配信サービスにおけるアプリケーション・ネットワーク制御の課題

ここでは、映像配信サービスにおけるアプリケーション制御とネットワーク制御の技術概要と、それぞれが独立で動作した場合の課題を解説します。

■アプリケーションにおける配信レート制御技術

映像配信サービスでは、ユーザ端末のアプリケーション制御として、ABR（Adaptive Bitrate）という配信レート制御技術が主に採用されています。ABRでは、配信サーバ上に画質の異なる複数のビットレートの映像があらかじめ配置されており、アプリケーションは、スループットなどのネットワーク品質に応じて、配信サーバに要求する映像のビットレートを切り替

えることで、配信レートを制御しています。これにより、再生停止が抑制されるなど、ユーザ満足度を高めることができます。また、NTT 研究所では、**図 1**で示すように、端末で測定したスループットおよびアプリケーション情報（配信レートの時系列情報など）からユーザ体感品質（QoE：Quality of Experience）を推定する技術⁽¹⁾を用いて将来のQoEを予測し、ユーザがアプリケーションで設定、要求するQoE（要求QoE）を満たすように配信レートを制御する技術を確立しています⁽²⁾。これにより市中技術よりもユーザ満足度を確実に高めることが可能になります。しかし、輻輳などネットワーク品質が低下した場合、アプリケーション制御だけでは、ビットレートを下げて画質を低下させることしかできないため、要求QoEを満たすことができなくなります。このように、アプリケーション制御だけではネットワーク品質が低下した場合に、ユーザ満足度を維持することができないという課題があります。

■ネットワークにおける経路制御技術

既存のネットワーク制御技術では、ネットワーク装置で観測したトラフィック情報から、フロー（送信元・先のIPアドレス・ポート番号、プロトコル番号が同一の通信トラフィック）ごとのトラフィック予測を用いることで通信品質（QoS：Quality of Service）を推定し、実現QoSを満たしつつ、リソース利用効率が大きくなるように経路を制御しています。また、NTT 研究所では、非負値テンソル因子分解（NTF：Non negative Tensor Factorization）を用いて、特徴が類似するフローをまとめ（フローのまとまりを「マクロフロー」と呼ぶ）、マクロフローごとに時系列予測手法であるSARIMA（Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average）を用いて将来のトラフィック量を高精度に予測することで、よりネットワークリソース利用効率を高める経路制御技術を確立しています⁽³⁾、⁽⁴⁾。このように、ネットワーク制御では、

トラフィック情報から推定した実現QoSに基づき経路を制御していますが、トラフィック情報のみからではユーザが本来要求しているQoEを満たすのに必要なQoS（要求QoS）を正しく推定することは困難です。そのため、要求QoSと実現QoSの乖離が大きい状況においては、品質不足でユーザの満足度が低下したり、過剰品質でネットワークリソース利用効率が低下したりする可能性があります。また、映像配信において、前述のアプリケーション制御とネットワーク制御が独立に動作した場合、輻輳などによりネットワーク品質が低下すると、アプリケーション制御により、ビットレートの低い低画質の映像が配信され、輻輳を解消するように働くため、ネットワーク制御は輻輳が解消されたと判断し、経路変更がされずにQoEが低下したままになる可能性があります。このように、ネットワーク制御単独では要求QoS要件が分からず、アプリケーション制御の影響も考慮できないため、ユーザが要望するQoEを満たせない

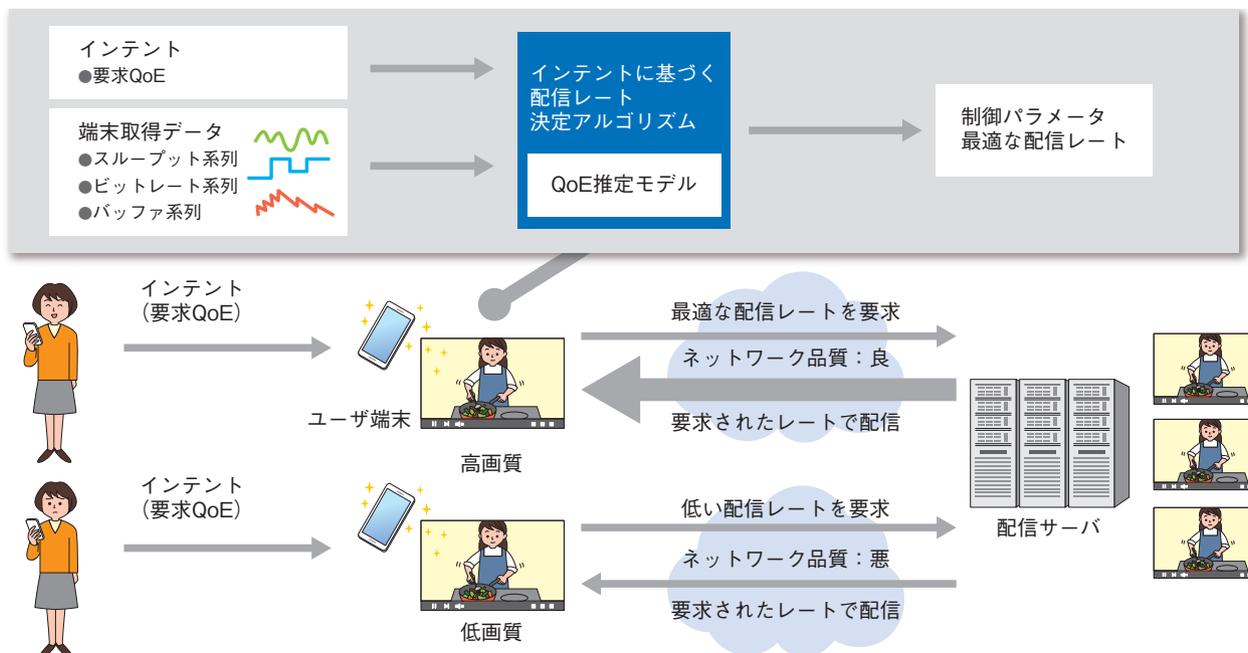


図 1 インテントに基づいた配信レート制御技術

という課題があります。

Intentに基づくアプリケーション・ネットワーク協調制御技術

映像配信サービスにおいて、アプリケーション制御とネットワーク制御が独立で動作した場合の課題を解決するために、Intentの1つである要求QoEをアプリケーション制御とネットワーク制御の共通指標として利用することで、これらの制御を協調させる技術を確認しました。ここでは、提案技術の全体構成と主要機能の詳細について解説します。

■全体構成

提案技術の全体構成を図2に示します。提案技術は、前述したNTT研究所技術を用いた配信レート制御機能、ネットワーク経路制御機能と、それらを協調させるアプリケーション・ネットワーク協調機能により構成されています⁽⁵⁾、⁽⁶⁾。アプリケーション制御機能では、端末ごとにユーザが要求QoEを設定しており、端末は取得した要求QoEとリプレゼンテーション情報（レート制御で選択可能な映像・音声のビットレート、映像の解像度・

フレームレートのリスト情報）をアプリケーション・ネットワーク協調機能に通知しています。アプリケーション・ネットワーク協調機能では、全端末から通知されたユーザごとの要求QoEに基づき、同じ要求QoEを設定したユーザのフローを束ねたマクロフローごとに将来のQoS要件として必要帯域を予測します。ネットワーク制御では、予測した必要帯域を満たすようにマクロフローごとに最適な経路制御を行うことで、要求QoEを満たすネットワーク制御を実現しています。このようにアプリケーション制御とネットワーク制御が要求QoEを共通指標とすることでIntentに基づく協調制御を実現しています。

■アプリケーション・ネットワーク協調機能

図3に示すように、アプリケーション・ネットワーク協調機能は、「ユーザごとのIntentに基づいたQoS要件抽出機能」「アクティブユーザ数予測機能」「マクロフローごとのQoS要件抽出機能」により構成されています。「ユーザごとのIntentに基づいたQoS要件抽出機能」は、端末か

ら通知された要求QoEやアプリケーション情報から必要とするスループットをネットワークのQoS要件として算出します。要求QoEとそれを実現するために必要とするスループットの関係は、映像配信サービスごとに設計されるリプレゼンテーション情報によって異なります。そのため、リプレゼンテーション情報を考慮したうえで、要求QoEと必要スループットの関係モデルをモデル化し、そのモデルを用いることで要求QoEとリプレゼンテーション情報から必要スループットの推定を実現しています。また、「アクティブユーザ数予測機能」では、マクロフローごとの将来のアクティブユーザ数を予測しています。端末からアプリケーション・ネットワーク協調機能へ通知されたマクロフローごとのアクティブユーザ数の時系列データから時系列予測手法のSARIMAを用いて、将来のアクティブユーザ数を導出しています。そして、「マクロフローごとのQoS要件抽出機能」では、推定したユーザごとの必要スループットと予測したマクロフローごとのアクティブユーザ数から、マクロフローごとの必要帯

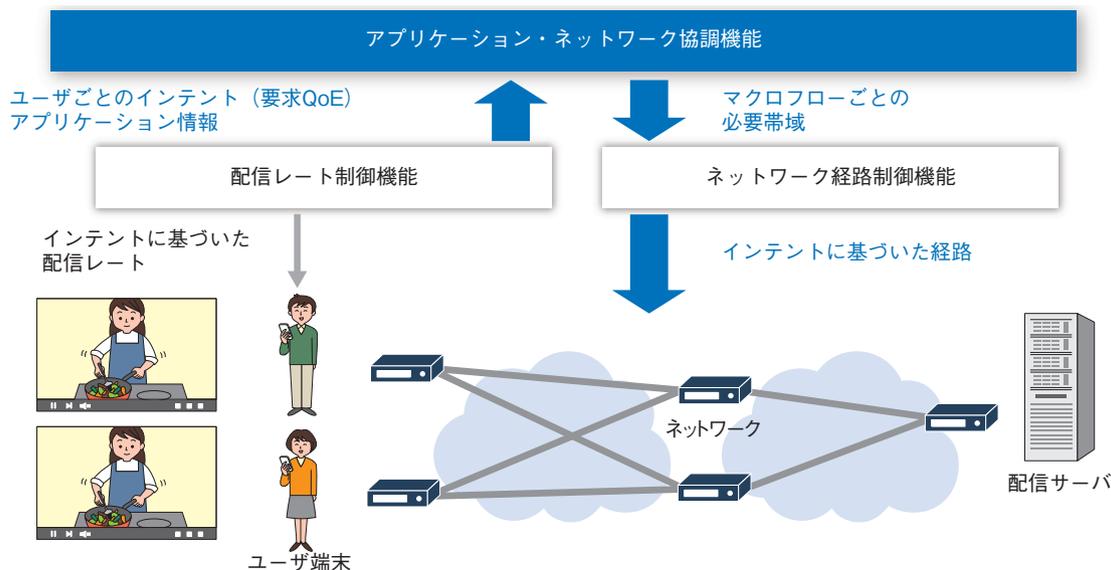


図2 Intentに基づいたアプリケーション・ネットワーク協調制御技術

域を算出しています。これら機能により、ネットワーク経路制御においても、要求QoEを考慮したネットワーク要件に基づいた制御を可能としています。

シミュレーションによる効果検証

提案技術の有効性を確認するため、シミュレーションにてアプリケーション制御とネットワーク制御が独立して動作する従来技術との比較を行い、ユーザ満足度およびネットワークリ

ソースの利用効率の観点で提案技術の効果を検証しました。ここでは、シミュレーションの概要と効果検証の結果について解説します。

■シミュレーション概要

シミュレーションシナリオは、キャリアネットワークとインターネット間のPOI (Point of Interface) など、ネットワークのボトルネック個所が二重化されているようなネットワーク構成において、片経路が輻輳した場合の

経路制御を想定しています。シミュレーションはオープンソースのネットワークシミュレータであるns-3を用いて実施しました。図4はシミュレーション環境の構成を示しています。ネットワーク構成はルータ3台がフルメッシュ接続されている三角構成になっています。1つのルータに配信サーバが1台、残りの2つのルータにそれぞれ90台のユーザ端末が接続されており、配信サーバとユーザ端末間で

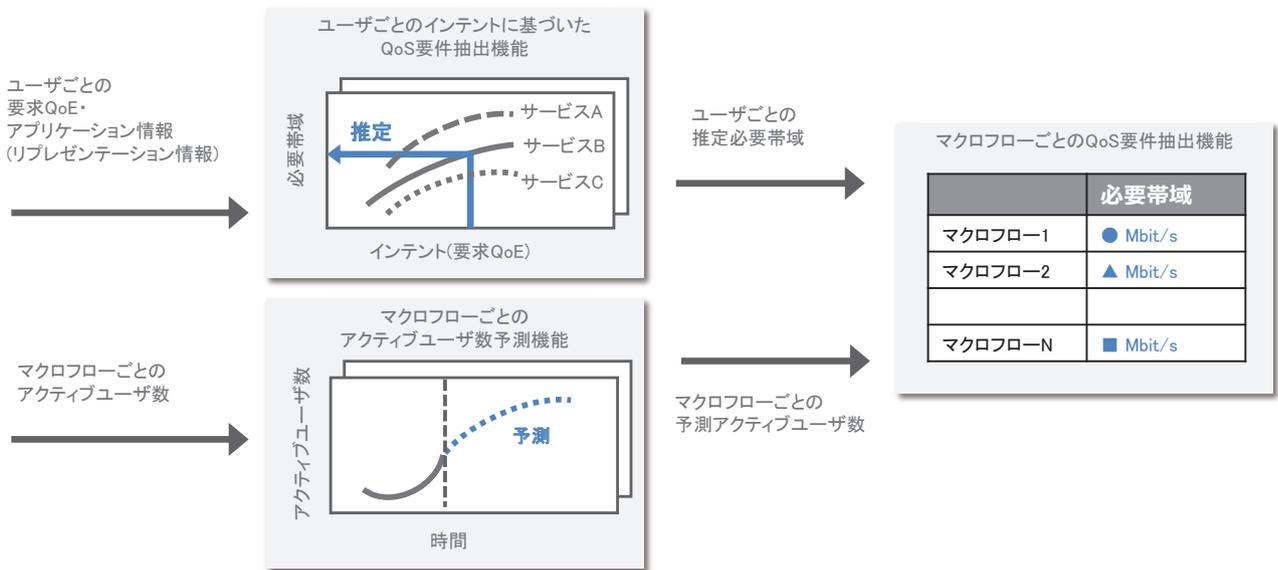


図3 アプリケーション・ネットワーク協調機能

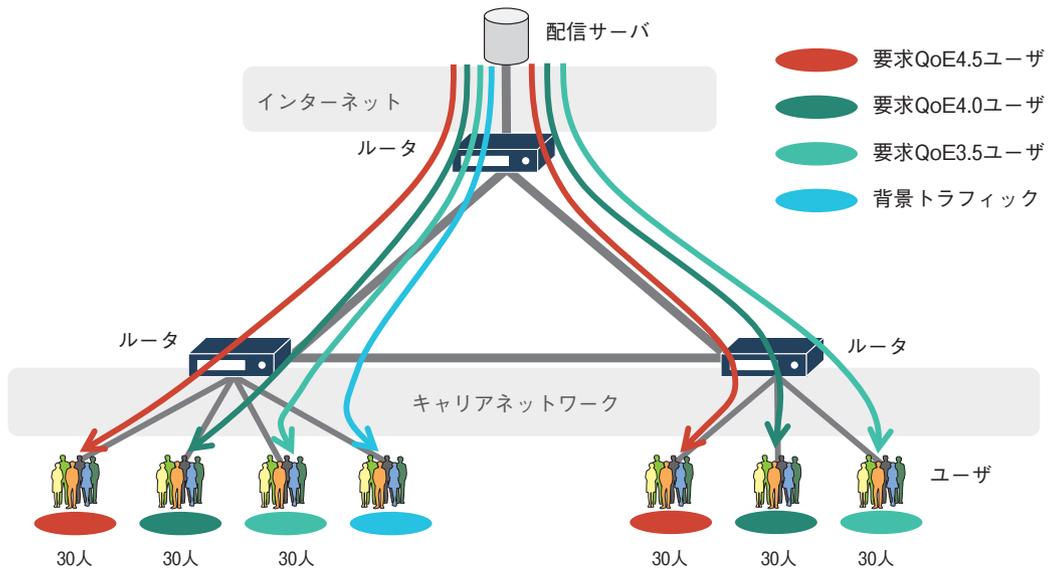


図4 シミュレーション環境

経路が二通り存在します。ユーザ端末では、要求QoEを4.5（最高品質）、4.0（高品質）、3.5（中品質）のいずれかに設定することができ、それぞれの要求QoEに設定された端末を各ルータ配下で30台ずつ配置しました。輻輳は、ユーザ端末が接続しているルータ配下に配置した端末から配信サーバへ背景トラフィックを流すことで発生させました。効果検証は、輻輳時に提案技術と従来技術で経路制御を実施し、要求QoEの達成度とネットワークリソース利用効率の観点で比較評価を行いました。

■シミュレーションによる効果検証

図5は輻輳時に提案技術と従来技術にて経路制御した後の要求QoEを達成したユーザの割合を示しています。従来技術は、全ユーザの約22%が要求QoEを満たしていません。また、要求QoEが4.5（最高品質）のユーザに絞ると、約3分の2が要求QoEを満たしていません。これは、ネットワーク制御は、ネットワーク内の情報のみを用いて必要帯域を導出しており、ユーザの要求QoEやアプリケーション制御を考慮できなかったため、正しく必要帯域を推定できなかったためです。一方、提案手法は全ユーザが要求

QoEを満たしています。これは、提案技術が端末のアプリケーションで取得した要求QoEを用いることで従来手法よりも要求QoEを満たすための必要帯域を高い精度で推定できたためです。このように提案技術は、従来技術よりもユーザ満足度をより高めることが分かります。また、リンク帯域を増加させて従来技術の要求QoEを達成したユーザの割合を提案技術と同等にした場合、16%のリンク帯域の増加が必要となり、ネットワークリソースの利用効率の観点でも提案技術は従来技術よりも優れています。

まとめと今後の展望

Mintentの実現に向け、映像配信サービスを対象にIntentに基づいたアプリケーション制御とネットワーク制御の協調技術を確立しました。さらに、提案技術はアプリケーション制御とネットワーク制御が独立して動作する従来技術よりも、ユーザ満足度を高めることができ、ネットワークリソースの利用効率の観点でも優れていることを示しました。今後は、映像配信サービス以外にも拡張させるために、さまざまなサービスに対して汎用的に適用できる技術を確立していきます。また、アプリケーション制御、ネット

ワーク制御に加えて、クラウドサーバ制御も含めたマルチレイヤでの協調技術の実現をめざします。

■参考文献

- (1) K. Yamagishi and T. Hayashi: "Parametric Quality-Estimation Model for Adaptive-Bitrate Streaming Services," IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 19, No. 7, pp. 1545-1557, Feb. 2017.
- (2) T. Kimura, T. Kimura, A. Matsumoto, and J. Okamoto: "BANQUET: Balancing Quality of Experience and Traffic Volume in Adaptive Video Streaming," CNSM2019, Halifax, Canada, Oct. 2019.
- (3) 小林・松村・木村・土屋・則武: "サービス収容度を用いた効率的な仮想ネットワークへのリソース割り当て手法の検討," 信学技報, NS2015-151, 2016.
- (4) 小林・原田: "サービス要求品質に基づくネットワーク制御技術," 信学会総大会, BS-4-11, 2020.
- (5) 小林・河野・原田: "映像配信におけるマルチレイヤ統合制御," 信学総大, B-7-27, 2021.
- (6) 河野・小林・原田: "映像配信におけるアプリケーション・ネットワーク協調制御," 信学総大, B-11-12, 2022.

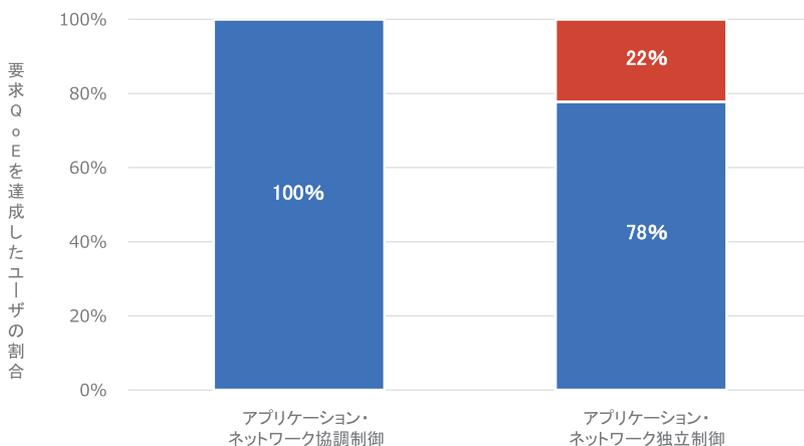


図5 シミュレーションによる効果検証結果



(左から) 河野 太一 / 小林 正裕

映像配信サービス以外のサービスに対してもユーザの要求（Intent）に基づいたアプリケーション・ネットワーク協調制御技術の適用領域を拡張し、さまざまなサービスをユーザが快適に利用できるICTインフラの実現をめざします。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所
通信トラフィック・品質・オペレーション研究プロジェクト
TEL 0422-59-6486
FAX 0422-59-6364
E-mail taichi.kawano.sk@hco.ntt.co.jp