

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11754

研究課題名(和文)大規模プログラマブルLocal 5Gネットワークのための基盤ソフトウェアの研究

研究課題名(英文)Research on System Software for Large-Scale Programmable Local 5G Networks.

研究代表者

廣津 登志夫(Hirotsu, Toshio)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：10378268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：5Gの特徴である高速・大容量・低遅延・多接続といった特徴を生かしながら、組織内の通信基盤として5Gネットワークを活用する際には、通信の監視や安定性、制御基盤の容易な運用を実現するような基盤ソフトウェアが必要である。本研究では、プログラマブルネットワーク技術を用いた選択的なインバンドネットワーク監視技術により柔軟なネットワークの監視および制御を可能とすると共に、マルチパス通信制御技術や5Gコア/エッジコンピューティングの実行基盤を効率良く制御する技術を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

5G(第5世代無線通信システム)技術をその特長を生かして組織内の通信基盤として活用する際には、制御の基礎情報となる通信の監視とWi-Fi等の既存のネットワーク基盤との連携が重要になる。本研究では、中継スイッチの処理により詳細な監視情報の収集を行うIn-band Network Telemetry(INT)において、効率良く柔軟に行うための新しい監視技術である選択的INTを提案し実現した点が一つの学術的成果である。また、複数アクセスネットワークを併用する技術の開発は安定的な通信環境の実現に寄与する。

研究成果の概要(英文)：While using 5G networks as a communication infrastructure within an organisation taking the advantage of 5G features such as higher speed, higher capacity, lower latency and massive connections, some fundamental software is required that enables monitoring and stability of communications and easy management of the communication infrastructure. In this research, we developed selective in-band network telemetry using programmable network technology to enable flexible network monitoring and control. We also developed a multi-path communication control technology and an efficient control of the 5G core/edge computing infrastructure.

研究分野：分散システム

キーワード：Local 5G Telemetry シームレスハンドオーバー P4 SDN

1. 研究開始当初の背景

次世代の移動通信システムである第5世代移動通信システム(5G)は、高速・大容量・低遅延・多接続といった利点から、さまざまな分野への応用が期待されていた。本研究課題を開始した当初は、当時の主要な移動体通信サービスである第4世代移動通信システム(4G/LTE)から5Gへの移行が進む途上で、国内で各通信キャリアに5G用の周波数が割り当てられ本格的な商用サービスが開始された段階であった。5Gには限られたエリアでのみ使用することができる自営用の5GであるLocal 5Gが定義されており、様々な応用面での利用が期待される中で実証実験などが進められている状況であった。このLocal 5Gの多様な環境・アプリケーションへの適用は、5Gの有用な特性を活用していくための鍵であり、それを支える基盤ソフトウェアが必要になる。そのような状況下において、組織内でLocal 5Gを大規模に活用していくためには、実トラフィックや制御ネットワークの通信状況に鑑みたシステム全体の実行制御や、組織内のLAN環境との連携による安定化技術を提供することが重要になると考えられた。

2. 研究の目的

Local 5Gの大規模な展開を想定して、それを支える基盤ソフトウェアに必要な要素技術の研究開発を行う。5Gの特徴である高速・大容量・低遅延・多接続といった特徴を生かした処理・制御を実現するためには、実際のデータが転送されるデータプレーンだけでなく、高レスポンスな処理を実現するエッジコンピューティング、制御を行うコントロールプレーンといった、それぞれの異なるレイヤを管理することができる基盤ソフトウェアが必要であると考えられる。そこで、制御の基礎となる通信のモニタリング技術や通信の安定化技術、コア・エッジを含めた効果的なサービス運用基盤技術についての研究に取り組む。

3. 研究の方法

多様な活用が期待されていたLocal 5Gであるが、市場規模がなかなか大きくなり機器コストの低廉化もあまりすすんでいない。一方、制御ソフトウェアについては、Free5GCやUERANSIMといった5G制御システム(5Gコア)や端末エミュレーションを活用することができるようになってきた。そのような状況下では、実機ベースの実トラフィック・実環境による研究開発は難しくなったが、実機環境が普及する際に必要となる制御・運用のための基礎技術は、5GコアがTCP/IPによる汎用技術上に構築されていることを考えると、仮想化クラウド環境等における研究開発で十分に効果が得られると考えられる。また、5G自体の制御技術については、基本的には5Gコアの各サービス間をTCP/IPによる通信で連携することにより実現されていることから、仮想マシンベースのエミュレーション環境上で開発をすれば、実環境にスムーズに展開することができる。以上の技術的動向を考慮して、制御や効率化の基礎となる通信の監視技術、コアネットワークの各サービスからエッジでの処理を含めた多様なサービスを実行する処理基盤の制御技術、通信自体の安定化に関わる技術に関する研究に取り組むこととし、具体的には、

- (1) 柔軟なインバンドネットワーク監視技術
- (2) 複数アクセスネットワーク併用の通信制御技術
- (3) コンテナ環境の効率的な実行制御技術

の3点について研究を進めた。

4. 研究成果

研究成果について、3つの研究項目それぞれについて述べる。

(1) 柔軟なインバンドネットワーク監視技術

5Gの制御系であるコアネットワークは、通信管理や制御、認証、ユーザ管理など個別のサービスの連携として実現されている。また、それらの各種サービスに対する通信で端末認証等の処理が完了した後に、ユーザ端末(UE: User Equipment)からインターネット向けの通信ゲートウェイであるUPF(User Plane Function)に向かってトンネルセッションを張り、その上をUEとインターネットの間の通信が流れる。このような通信環境の構成であることから、各5Gサービス間の通信やトンネルの通信状態について通信経路や通信状況の監視が重要である。特に、トンネルの通信状態についてはトンネルの両端だけでなく、アンテナ(RAN)に入った所から、途中の中継している中継スイッチに至る任意の区間における情報を取得することが望まれる。

ところが、従来から行われているSNMP等による機器の状況監視では、サービス間の挙動や通信遅延などの詳細な状況の変動は知ることができない。これに対して、パケットレベルの追跡技術として注目されているのがNetwork Telemetryである。中でもIn-band Network Telemetry(INT: 図1)は、

解析のための指示や収集の対象となるデータを、中継スイッチが転送する際に、実際に流れているパケットに対してINTへ

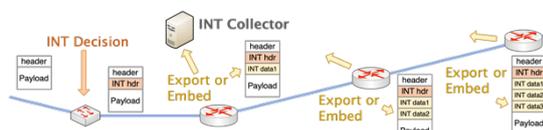


図1 In-band Network Telemetry (INT)

ッダとして埋め込むため、計測による性能低下を回避しながら詳細な分析が可能になる。

しかし、従来の INT では INT 対応スイッチが INT ヘッダを持つ全てのパケットに対して Telemetry 情報を埋め込むため、収集するデータが増大し収集・分析の負荷が大きいことが問題であった。これに対して、INT を実施するスイッチを確率的に間引きして、収集した情報について統計的解析を行うことで情報を分析する PINT という技術が提案されているが、対象が遅延の推定に限られ、特定のスイッチ間の情報を得るには多数/長時間の収集を行うことが必要となる。そこで、本研究においては分析のために必要となるスイッチのみに対して、ピンポイントに情報収集を指示することができる選択的 INT 処理(図 2)を実現した。

本手法では、Telemetry データ取得に関する指示だけでなく、取得するスイッチについてのロケーションを指示する情報を INT ヘッダの中に埋め込む(図 3)。具体的には、Ingress で Telemetry データの収集を開始するまでの hop 数を、Point の各 bit でその先の対応する hop のスイッチでデータ収集をするかどうかを指示する。したがって、INT 命令を挿入した地点から 255hop 以内のスイッチで収集を開始して、そこから 24hop の間の任意のスイッチについてデータ収集の指示をすることができる。この拡張 INT ヘッダに対する処理機構を P4 によりスイッチエミュレータ上に実装し、送出された Telemetry データを集約して処理する情報基盤を構築した。図 4 に実際に、情報収集するスイッチ数を 4, 6, 8, 12, 24 と増やした際の、各スイッチで生じる遅延の状況を示す。ここでは、収集スイッチ数を削減すると遅延が少なくて済み、実際に低負荷で Telemetry データを収集することができる。提案手法により、各スイッチが届いたパケットの内容から INT 処理実行の要否を判断することで効率良くデータを収集できるようになった。これによって不要な情報が付与されることで発生するオーバーヘッドを削減しつつ、データの管理・解析における柔軟性を増やすことが可能になる。

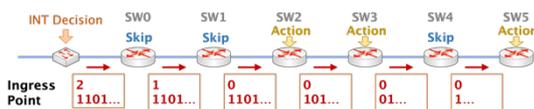


図 2 提案手法：選択的 INT

MapInfo	Length	etherType
Ingress		Point
Metadata n (variable length)		
...		
Metadata 1 (variable length)		

Proposed INT Header

図 3 拡張 INT ヘッダ

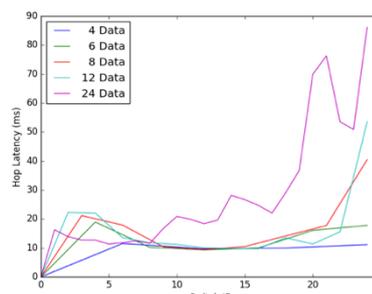


図 4 収集数による遅延の違い

(2) 複数アクセスネットワーク併用の通信制御技術

5G を組織内の通信基盤の一部として使うことを考えると、その安定性は重要になる。その際、組織内で従来から用意されている Wi-Fi 等の無線アクセスと 5G を併用して、混雑度や遅延などの状況に応じて、サービスの要求に見合うような通信環境を提供することが考えられる。特に Local 5G の応用の方向性として考えられている、組織内の大容量通信基盤や IoT デバイスのエッジ通信インフラ、マルチアクセス・エッジコンピューティング(MEC)といった環境では、通信状況やサービスの提供状況の変動に応じて、通信路を選択したり稼働中に異なる通信路に切り替えたりといった機能が望まれる。5G の通信規格を定めている 3GPP では、3GPP アクセス(5G)と Wi-Fi などの非 3GPP アクセスをシームレスに併用することを目的とした ATSSS(Support for Access Traffic Steering, Switching and Splitting)という仕様を定義している。ここでは、IoT や MEC での応用を想定して、軽量の端末に複雑なマルチパスプロトコルを搭載せずに、SDN 技術により外部から通信路の選択や切り替えを実現する手法の基本機構を実現した。

(3) コンテナ環境の効率的な実行制御技術

5G コアは複数のサービスにより構成されており、ユーザの認証・接続管理から課金やシステム間の連携に至るまで、それらのサービス間で TCP/IP の通信によりメッセージをやりとりして処理が進む。また、IoT や MEC のような応用を考えると、RAN や 5G コアの近傍で計算処理能力を提供するエッジコンピューティングシステムへの対応も必要となってくる。そのような環境としては、5G コアの各サービスが OS の提供するコンテナとして実行され、同時にエッジコンピューティングの処理も 5G コアサービスを保護しながら実行するような、ハイブリッドコンテナ実行基盤が一つのシステム形態として考えられる。そこで、AI 処理なども含めたエッジコンピューティングを処理しうる、GPU 等も含めたヘテロな実行基盤での効果的なジョブ制御や、多様な要求に応じたジョブ配置技術の研究開発を進めた。結果として、ハードウェア資源やソフトウェアの種類に応じた適切なスケジューリングを行うスケジューリングアルゴリズムを提案し、ジョブの実行可能性を向上させた。また、エッジ・クラウドの間での適切なジョブ配置で、サービスの種類に応じたレスポンス性の制御も可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 T. Sato and T. Hirotsu
2. 発表標題 A Flexible P4-Based Pin-Point In-Band Network Monitoring
3. 学会等名 22nd Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天野治憲, 廣津登志夫
2. 発表標題 マイクロサービスモニタリングのための構成情報管理システム
3. 学会等名 第84回情報処理学会全国大会, 4K-05
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 峻、廣津 登志夫
2. 発表標題 マルチクラスタ環境における不均一性を考慮したジョブスケジューリングアルゴリズムの設計
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告システムソフトウェアとオペレーティング・システム (OS) 2020-OS-150(9) pp.1-8
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林 惇、廣津 登志夫
2. 発表標題 Docker コンテナ管理のためのマルチバージョンイメージ管理機構
3. 学会等名 情報処理学会 コンピュータシステム・シンポジウム論文集 pp.34-41
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤 峻、廣津 登志夫
2. 発表標題 不均質マルチクラスタのためのスマートスケジューラ的设计と実装
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告システムソフトウェアとオペレーティング・システム (OS) 2021-OS-151(3) pp.1-8
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦和樹, 廣津登志夫
2. 発表標題 エッジコンピューティング基盤takuhaiにおけるレスポンス性を考慮したジョブ配置手法
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会 7H-05
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤俊大, 廣津登志夫
2. 発表標題 トラフィック状況のピンポイント収集を可能にする柔軟なINT処理の実現
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会 2U-04
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hayato Serizawa, Toshio Hirotsu
2. 発表標題 An Experimental Design of Light-weight Multi-access Connectivity Control
3. 学会等名 2024 7th International Conference on Information and Computer Technologies (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	佐々木 晃 (Sasaki Akira) (90396870)	法政大学・情報科学部・教授 (32675)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------