

平成 28 年 5 月 11 日現在

機関番号：13102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26880008

研究課題名(和文) 有線と無線が混在する通信環境における低負荷・高精度ネットワーク品質計測技術の確立

研究課題名(英文) Establishment of Lightweight and Accurate Measurement Techniques on Wired/wireless Network Environment

研究代表者

渡部 康平 (Watabe, Kohei)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10734733

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：有線と無線が混在する通信環境においても利用可能な低負荷・高精度ネットワーク品質計測技術を確立するため、以下の5つの技術を開発した：1) 遅延のバースト性を利用したプローブ送出の動的制御手法；2) 周期的変動を伴うネットワーク遅延の圧縮センシングを利用したアクティブ計測；3) 複数フローのアクティブ計測によるバースト遅延時系列の推定；4) 無線通信環境におけるアクティブ計測のバイアスを補正するアクセス遅延推定法；5) 試験パケット負荷によるパス品質劣化を考慮した高精度遅延計測。

研究成果の概要(英文)：To establish lightweight and accurate measurement on wired/wireless network environment, we developed the following techniques: 1) Dynamic control of probe rate; 2) Active measurement using compressive sensing for periodic delay; 3) Burst delay estimation with multiple probe flow; 4) A modification technique of measurement bias on wireless networks; 5) Intrusiveness-aware estimation of network delay.

研究分野：ネットワーク

キーワード：ネットワーク計測 QoS パケット遅延 アクティブ計測

## 1. 研究開始当初の背景

エンドツーエンドの packets 遅延とロス、ネットワークの通信品質における最も本質的な指標の一つであり、その計測技術はアプリケーションの設計・開発やネットワークの設計・管理などに幅広く利用される。エンドツーエンド品質計測に関する従来研究[1,2,3]の多くはインターネットバックボーンなど有線ネットワークを想定したものであるが、モバイル端末の普及により無線と有線が混在する通信環境での計測が重要性を増している。LTE 網などアクセス系に無線通信を伴うネットワークにおいては、無線通信部を含めたエンドツーエンドの通信品質を計測しなければ真にユーザが受ける通信品質を計測することはできない。帯域の制約の厳しい無線通信部を含むネットワークにおいても、信号処理などの分野で注目される圧縮センシングを利用することにより、アクティブ計測の試験パケットの負荷を増やすことなく高精度計測が実現できると見込まれる。

## 2. 研究の目的

有線と無線が混在する通信環境においても利用可能な低負荷・高精度ネットワーク品質計測技術を確立する。ネットワークのエンドツーエンドの通信品質を計測するアクティブ計測は、計測に際して試験パケットを送出するため、多数の試験パケットを送出すると試験パケットの負荷による通信品質の劣化が発生してしまう。この品質劣化は帯域制約の厳しい無線通信において顕著に現れることが予想されるが、無線の通信品質に試験パケット負荷が与える影響は評価されていない。本研究では、まず、試験パケット負荷が通信品質に与える影響を定量的に評価し、品質劣化を顕在化させない試験パケット送出レート制御方式を提案する。加えて、通信品質を表す過程の時間的・空間的構造を利用した圧縮センシングを用いて、試験パケット送出レートを増やすことなく高精度計測を実現する。

## 3. 研究の方法

初年度においては、主に無線通信における試験パケット負荷の影響評価と試験パケット送出レートの制御アルゴリズムの開発に取り組む。無線通信における試験パケット負荷をモデル化し、シミュレーションを用いて評価する。また、適切な試験パケット送出レートは、クロストラヒック量に依存すると予想されるため、クロストラヒック量の推定値をフィードバックさせて制御を行う制御法を開発する。

2 年目においては、圧縮センシングを利用し

たアクティブ計測手法の確立と検証を行う。圧縮センシングにアクティブ計測を適用して通信品質を計測する際の適用条件を検証し、圧縮センシングを利用したアクティブ計測と初年度に開発した試験パケット送出レートの制御アルゴリズムを組み合わせることで、無線と有線が混在する環境下においても、通信品質劣化を顕在化させることなく高精度計測を実現できることを示す。

## 4. 研究成果

有線と無線が混在する通信環境においても利用可能な低負荷・高精度ネットワーク品質計測技術を確立するため、低負荷かつ高精度に計測する技術を複数の異なるアプローチに基づき開発した。ネットワークのエンドツーエンドの通信品質を計測するアクティブ計測は、計測に際して試験パケットを送出するため、多数の試験パケットを送出すると試験パケットの負荷による通信品質の劣化が発生してしまう。この品質劣化は帯域制約の厳しい無線通信において顕著に現れることが予想されるが、無線の通信品質に試験パケット負荷が与える影響は評価されていなかった。本研究では、ルータを待ち行列モデルによりモデル化することにより、試験パケットがネットワーク品質の計測精度に与える影響をモデル化し、従来のアクティブ計測による計測では、計測精度に構造的な限界が存在することを示した。また、上記のモデルにより示された計測精度の限界を打ち破るために、低負荷かつ高精度計測を実現する以下の 5 つの技術を開発した。

### (1) 遅延のバースト性を利用したプローブ送出の動的制御手法

実ネットワークにおけるトラヒックはバースト性、つまりトラヒックが時間的に集中する性質を示すことが古くから指摘されており、トラヒックのバースト性を反映して、end-to-end の遅延についても同様の性質を示す。

SLA モニタリングの観点から重要なのは、輻輳が発生した期間における遅延の挙動であり、それ以外の期間における遅延の挙動はあまり重要でない。提案手法では、プローブの Round Trip Time (RTT) の増大をトリガーにして送出間隔を短くすることで、輻輳の発生期間の遅延の挙動を詳細に計測する。

RTT の高分位点を推定するとして評価を行った結果、提案手法はわずか 2.79 % プローブ数を増加させるだけで、送信間隔を 10 ms に固定した測定よりも、平均相対誤差を最大で約 80 % 小さくすることができた。

### (2) 周期的変動を伴うネットワーク遅延の圧縮センシングを利用したアクティブ計測

圧縮センシング[2][3]はスパースなベクトルで表現されるデータを少ない計測から再構成する技術である。信号処理の分野で広く利用されており、トラヒックマトリクスの推定やネットワークトモグラフィなどネットワークの分野でも利用されてきている。

TCP の輻輳制御による遅延時系列の周期性を利用して遅延の時系列をスパースなベクトルとして表現し、僅かな試験パケットから得られた遅延データを基に、詳細な遅延時系列を圧縮センシングで推定する手法を提案した。

アクティブ計測による遅延の推定に圧縮センシングを用いることで、詳細な遅延計測に必要なアクティブ計測の試験パケットの僅か 20%のみを利用して概形を捉えた推定結果を得られることを示した。

### (3) 複数フローのアクティブ計測によるバースト遅延時系列の推定

SLA 監視のためにアクティブ計測を実施する場合、ネットワークの複数のパスについて同時に計測を行うことが多い。通常、一つのパスのアクティブ計測から得られる情報はそのパスの品質だけであるが、キューの構造を利用することにより、複数のパスのフローの情報を利用して、精度を向上することができる可能性がある。

複数フローが計測した遅延を統合することで、試験パケット数を増やすことなく、計測精度を向上する方法を提案した。シミュレーションによる検証で、通常の計測に比べ、試験パケットを増やすことなく数倍程度の精度が得られることを確認した。

### (4) 試験パケット負荷によるパス品質劣化を考慮した高精度遅延計測

前述のとおり、アクティブ計測には、試験パケットの送出により通信品質は劣化するため、試験パケットにより本来計測したい計測対象が変化してしまう問題がある。

試験パケット負荷による品質劣化を考慮し、試験パケット負荷のない状態におけるネットワーク品質を推定する技術を開発した。シミュレーションによる検証で、従来のアクティブ計測の計測精度の限界を超えて、高精度計測を実現することを確認した。

### (5) 無線通信環境におけるアクティブ計測のバイアスを補正するアクセス遅延推定法

前述の(4)では、有線ネットワークにおける FIFO キューを前提として試験パケット負荷による品質劣化を補正する方法を示した。しかし、無線ネットワークにおいては、キューイングメカニズムは FIFO ではモデル化する

ことができない。

無線ネットワークにおけるキューイングメカニズムをモデル化し、試験パケット負荷による品質劣化を補正する方法を示した。シミュレーションによる評価を行い、試験パケット負荷による品質劣化を補正することで、従来のアクティブ計測の計測精度の限界を超え、高精度計測を実現できることを確認した。

### <引用文献>

[1] N.Daniel Kumar, Fabian Monrose, and Michael.K Reiter, ``Towards Optimized Probe Scheduling for Active Measurement Studies,'` in Proceedings of the 6th International Conference on Internet Monitoring and Protection (ICIMP 2011), pp.26--31, St. Maarten, The Netherlands Antilles, March 2011.

[2] Matthew Roughan, ``A Comparison of Poisson and Uniform Sampling for Active Measurements,'` IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.24, no.12, pp.2299--2312, 2006.

[3] Denisa Ghita, Katerina Argyraki, and Patrick Thiran, ``Network Tomography on Correlated Links,'` in Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (IMC 2010), pp.225--238, Melbourne, Australia, November 2010.

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計 2件)

Kohei Watabe and Hiroyuki Ohsaki, ``On Spatio-temporal Message Diffusion in Epidemic Broadcasting,'` Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, vol.xxx, no.xxx, pp.xxx--xxx. (掲載確定, 査読あり)

Kohei Watabe and Hiroyuki Ohsaki, ``Contact Duration-aware Epidemic Broadcasting in Delay/Disruption-Tolerant Networks,'` IEICE Transactions on Communications, vol.E98-B, no.12, pp.2389--2399, December 2015. (査読あり)

#### [学会発表](計 8件)

渡部 康平, ``active 計測によるネットワーク QoS 過程のサンプリングと QoS 推

定精度について,'日本オペレーションズ・リサーチ学会 待ち行列研究部会 第261回部会, 東京, 2016年4月.

Nguyen Minh Tuan, Kenji Nakagawa, and Kohei Watabe, ``A Method at Link Layer to Improve the Fairness in Multi-hop Wireless Ad Hoc Networks,'` in Proceedings of the 6th International Symposium on Information and Communication Technology (SoICT 2015), pp.135--142, Hue, Vietnam, December 2015.

Nguyen Minh Tuan, Kenji Nakagawa, and Kohei Watabe, ``Improvement for Throughput and Fairness in Multi-hop Wireless Ad Hoc Networks,'` 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報 NS2015-64, vol.115, no.159, pp.159--164, 長野, 2015年7月.

渡部 康平, 中川 健治, ``無線通信環境におけるアクティブ計測のバイアスを補正するアクセス遅延推定法の提案,'` 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報 NS2015-39, vol.115, no.159, pp.13--18, 長野, 2015年7月.

Kohei Watabe and Kenji Nakagawa, ``Intrusiveness-aware Estimation for High Quantiles of a Packet Delay Distribution,'` in Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC 2015), pp.7787--7792, London, UK, June 2015. 伊藤 峻, 渡部 康平, 中川 健治, ``遅延のバースト性を利用したプローブ送定の動的制御手法の提案,'` 2015年 電子情報通信学会 総合大会, BS-8-7, pp.166--167, 滋賀, 2015年3月.

広川 将吾, 渡部 康平, 中川 健治, ``周期的変動を伴うネットワーク遅延の圧縮センシングを利用したアクティブ計測,'` 2015年 電子情報通信学会 総合大会, BS-8-9, pp.170--171, 滋賀, 2015年3月.

Kohei Watabe and Kenji Nakagawa, ``A Proposal of Intrusiveness-aware Estimation for a Packet Delay Distribution,'` 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報 NS2014-136, vol.114, no.297, pp.47--52, 高知, 2014年11月.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部 康平 (WATABE, Kohei)  
長岡技術科学大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：10734733

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：