

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18035

研究課題名（和文）インポートランスサンプリングの拡張による実ネットワークの高精度品質計測技術の開発

研究課題名（英文）Development of high-accurate measurement technique for real networks by expanding importance sampling simulation

研究代表者

渡部 康平（Watabe, Kohei）

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10734733

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：シミュレーションによりQuality of Service (QoS) 正確に評価するには高精度なモデル化が重要だが、一般に困難である。精度良くモデル化が達成できても、稀にしか発生しない事象（稀事象）を評価する場合、評価が困難である。ネットワークモデルが既知の場合、Importance Sampling (IS) 法を用いることができるが、実トラフィックに適用するのは難しい。本研究課題では、トラフィックのモデル化を行うことなく、シミュレーションによりパケット廃棄率を高精度に推定する方法を提案した。実トラフィックデータを用いた待ち行列により検証を行うことで、提案法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通信ネットワークにおいて、シミュレーションを使ってその品質を評価することは重要である。本研究課題により、品質低下が稀にしか発生しないような超高信頼ネットワークのシミュレーションを短時間で実施できるようになった。よって、本研究課題は、高品質な通信インフラ構築のための基礎技術として重要な意味を持つ。

研究成果の概要（英文）：In network evaluation through simulations, accurately modeling traffic of real networks is difficult. Even if accurate traffic modeling is achieved, it is also difficult to accurately estimate a rate of rare packet loss events. For accurate estimations of rare events, Importance Sampling (IS) based on the change-of-measure technique using traffic models has been investigated. However, these studies are inapplicable for traffic traces of real networks since the applicable traffic models are extremely limited. In this study, we proposed a model-less approach to accurately estimate a packet loss rate through a simulation without directly modeling traffic. We evaluated the applicability of the model-less approach with a traffic trace of a real network and confirmed that the model-less approach achieves high-accurate estimation of network quality.

研究分野：ネットワーク

キーワード：ネットワーク シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

ネットワークの Quality of Service (QoS) を評価するためにシミュレーションは重要である。シミュレーションで QoS を正確に評価するためには、トラフィック特性の高精度なモデル化が重要であるが、数あるトラフィックモデルの中から目的に適切なものを選定し、モデルのパラメータを調整する作業は、困難な作業である。仮に正確なモデル化が達成できたとしても、稀にしか発生しない事象 (稀事象) の高精度な評価は難しい課題である。

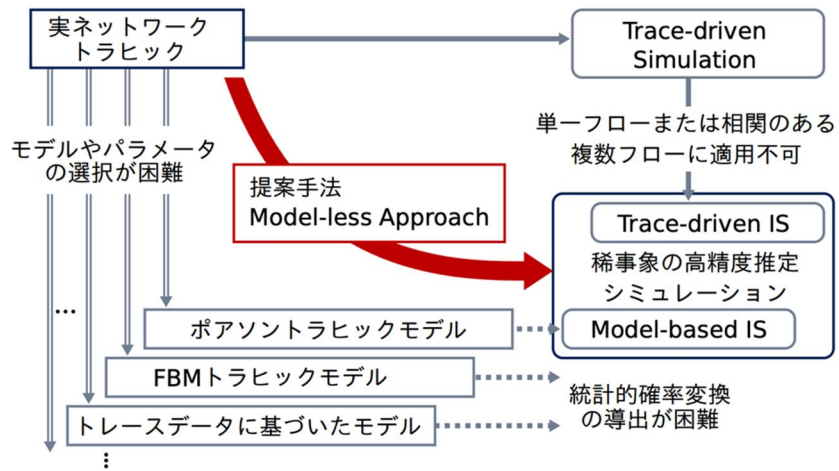


図 1 Model-less アプローチと関連研究の位置づけ

評価したいトラフィックモデルが既知の場合、稀事象の高精度シミュレーションを実現する Model-based Importance Sampling (IS) 法と呼ばれる方法が提案されているが、極めて原始的なトラフィックモデルにしか適用できない。一方で、トラフィックモデルを利用しない IS として Trace driven IS [5] [6] が提案されているが、対象とするトラフィックが単一フローの場合や、フロー間に相関がある場合は適用できない。

2. 研究の目的

トラフィックのモデル化を行うことなく、シミュレーションによりパケット廃棄率を高精度に推定する Model-less Approach を提案する。本研究で提案する手法では、図 1 の太い実線矢印で示すように、実ネットワークから計測したトラフィックデータをモデル化を介することなく、統計的確率変換を実現する。実際に行うシミュレーションでは、トラフィックデータとは全く異なるトラフィックを使ってシミュレーションを行っているにも関わらず、適切な推定を実現できる。これにより、図 1 内の二重線矢印に示すモデル選択の困難性や、点線矢印で示す統計的確率変換導出の困難性を回避して、任意のトラフィックの高精度な廃棄率シミュレーションが実現できる。単一フローはもちろん、相関のある複数フローについても拡張の可能性があり、Trace driven IS が内包する問題も回避することができる。

3. 研究の方法

Model-based IS 法とは推定したい事象が発生しやすい条件に変更してシミュレーションを実行し、結果を統計的確率変換によって本来の条件での発生確率に補正する手法である。Model-based IS 法をパケット廃棄率推定に適用する場合、ネットワークを待ち行列モデルに置き換え、本来の条件より高い利用率のシミュレーションを行う。図 2 に、Model-based IS 法によるパケット廃棄率推定の概要を示す。シミュレーションネットワークモデルでは推定対象ネットワークモデル

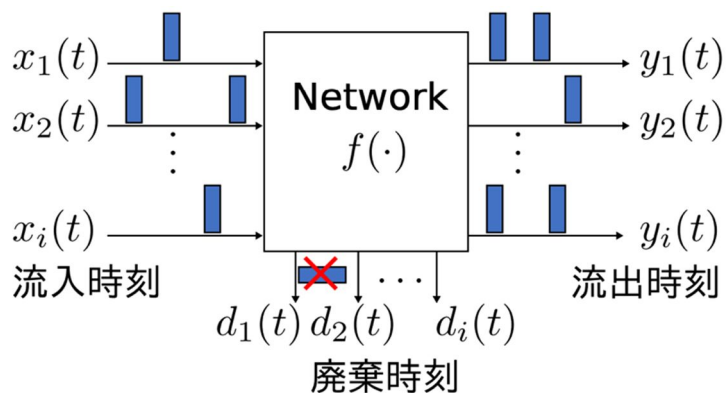


図 2 Model-less アプローチにおける定式化

より到着率を増やしたり、サービス率を減らしたりして、パケット廃棄が発生しやすい条件に変更する。シミュレーション後、キューの遷移確率を用いて統計的確率変換し、推定対象ネットワークの廃棄率に補正する。

一方、本研究で提案する Model-less アプローチでは、ネットワークを出入力トラフィックの確率関数と捉え、問題を定式化する(図2)。出入力トラフィックにほとんど仮定を設けておらず、本モデルは極めて高い一般性を持つ。我々は提案手法を、従来の Model-based IS の拡張として機能しつつ、対象とするトラフィックの種類、ネットワークプロトコルなどの制約を排除し、高い汎用性を持つよう設計する。提案法では、トラフィック $x_i(t)$ のトラフィックデータに基づいた統計的確率変換を可能にするため、パラメータ Δ を用いて流入トラフィック $x_i(t)$ と流出トラフィック $y_i(t)$ を離散化し、 $X_i(n)$ と $Y_i(n)$ に置き換える(図3参照)。統計的確率変換の部分は、ネットワーク

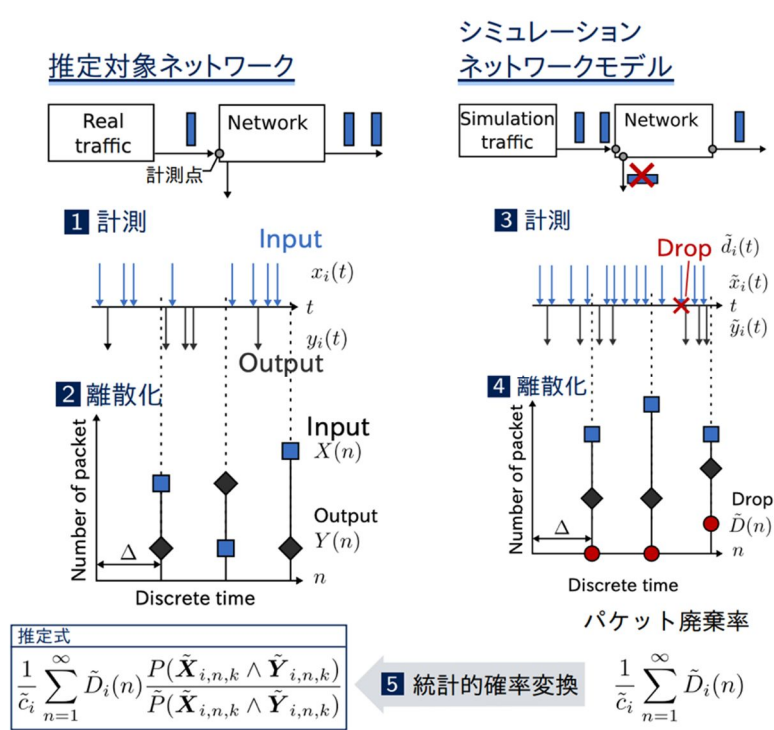


図3 Model-less アプローチのシミュレーションプロセス

から計測したトラフィックデータを基に、各パターンがどの程度の頻度で出現するかをカウントすることで、算出することができる。提案法では、対象となるネットワークのトラフィックデータで観測されたトラフィックパターンを抽出し、それらのトラフィックパターンの発生回数が等しくなるように、シミュレーションで流入するトラフィック $\tilde{x}_i(t)$ を生成する。

4. 研究成果

本研究では、提案法の有効性を検証するため、待ち行列モデルの入力トラフィックを推定対象のネットワークから計測により得られた特性が未知のトラフィックデータとして扱い、パケット廃棄率の推定を行った。トラフィックデータは、ポアソントラフィック、2 状態 MMPP トラフィック、実トラフィックデータを使い、これらのトラフィックを G/M/i/K 待ち行列モデルに入力した場合の廃棄率を推定した。比較対象は、トラフィックデータと同じ入力をそのままシミュレートした場合、すなわち Trace driven シミュレーションによる推定結果とした。各待ち行列モデルのパケット廃棄率推定を提案法と Trace driven シミュレーションで行い、推定値の平均と分散を用いて推定精度の比較を行った。提案法のトラフィックを離散化する時間間隔 Δ とトラフィックパターンの長さ k を変化させながら推定を行った。

提案法における推定値の平均と分散を図4に示す。 1.0×10^{-5} 上に引かれている黒線は、今回検証している M/M/1/K 待ち行列のパケット廃棄率の理論値を表している。図より、 $k\Delta \geq 5 \times 10^{-2}$ となる領域で、バイアスなく推定できていることが確認できる。また、推定値の分散が小さ

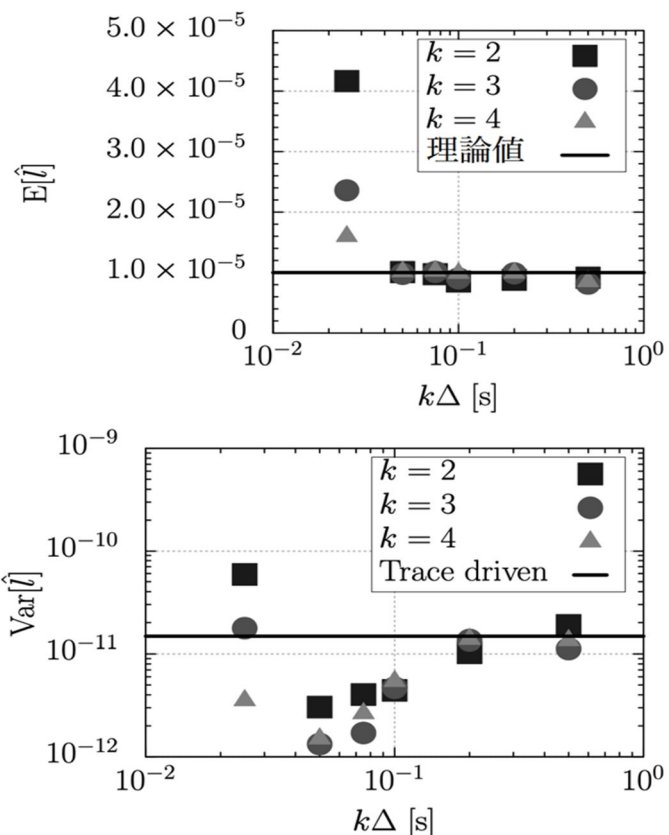


図4 G/M/i/K でのシミュレーション結果

図より、 $k\Delta \geq 5 \times 10^{-2}$ となる領域で、バイアスなく推定できていることが確認できる。また、推定値の分散が小さ

いほど、推定値のばらつきが小さく、高精度に推定できることを表している。このグラフより、提案法は従来の Trace driven シミュレーションと比較して推定値の分散が小さい領域が存在することが確認でき、提案法は Trace driven シミュレーションと比較して高精度に推定できる領域が存在する。特に、提案法において $k = 4$, $k\Delta = 5 \times 10^{-2}[\text{s}]$ のとき、従来法の推定値の分散と比較しておよそ $1/12$ 程度となっていることが確認できる。

本研究では、ネットワークの packets 廃棄率推定について、推定対象のトラフィックをモデル化することなく、統計的確率変換を行うことでシミュレーションで発生確率を高精度に推定する方法を提案した。提案手法では、トラフィックを離散化することで、トラフィックパターンの頻度分布を算出し、統計的確率変換を実現している。提案法の有効性を確認するため、実トラフィックデータを含む複数のトラフィックについて、G/M/1/K 待ち行列モデルを用いて検証を行った。検証の結果、packets 廃棄率を従来法と比較して高精度に推定できる領域が存在することを確認し、推定値の分散が従来法と比較しておよそ $1/12 \sim 1/160$ 程度小さくなることが確認できた。今後の課題として、提案法の最適なパラメータの設計手法の検討が挙げられる。今回の検証により、提案法の推定性能はパラメータ k, Δ に対して大きく影響があることを確認しており、追加の検証が必要である。また、より現実的なネットワークモデルでの有効性の検証も今後予定している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kohei Watabe, Shintaro Hirakawa, Kenji Nakagawa	4. 巻 E102-B
2. 論文標題 A Parallel Flow Monitoring Technique That Achieves Accurate Delay Measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2018EBP3155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 WATABE Kohei, HIRAKAWA Shintaro, NAKAGAWA Kenji	4. 巻 E102.B
2. 論文標題 A Parallel Flow Monitoring Technique That Achieves Accurate Delay Measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 865 ~ 875
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2018EBP3155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 WATABE Kohei, MANO Toru, INOUE Takeru, MIZUTANI Kimihiro, AKASHI Osamu, NAKAGAWA Kenji	4. 巻 E102.B
2. 論文標題 Measuring Lost Packets with Minimum Counters in Traffic Matrix Estimation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 76 ~ 87
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2018EBP3072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koizumi Yusuke, Watabe Kohei, Nakagawa Kenji	4. 巻 13
2. 論文標題 Reduction of response time by data placement reflecting co-occurrence structures in structured overlay networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0205757	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kohei Watabe, Norinosuke Murai, Shintaro Hirakawa, Kenji Nakagawa
2. 発表標題 Accurate Loss Estimation Technique Utilizing Parallel Flow Monitoring
3. 学会等名 in Proceedings of 15th International Conference on Network and Service Management (CNSM 2019) Short paper (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶浦 天佑, 寺内 将大, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 トラヒックモデルを用いないパケット廃棄率推定法におけるトラヒック生成の改善
3. 学会等名 2019年 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和久井 直樹, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 並列アクティブ計測による遅延推定におけるクラスタリングの最適化による高精度化
3. 学会等名 2019年 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Watabe, Norinosuke Murai, Shintaro Hirakawa, Kenji Nakagawa
2. 発表標題 Accurate Measurement Technique of Packet Loss Rate in Parallel Flow Monitoring
3. 学会等名 in Proceedings of the 28th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2019) Poster Session (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Terauchi, Kohei Watabe, Kenji Nakagawa
2. 発表標題 On Accurate Packet Loss Estimation for Networks without Traffic Models
3. 学会等名 Internet Conference 2018 (IC 2018) Poster (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Terauchi, Kohei Watabe, Kenji Nakagawa
2. 発表標題 Model-less Approach of Network Traffic for Accurate Packet Loss Simulations
3. 学会等名 the 26th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP 2018) Poster session (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井 啓之介, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 並列バスアクティブ測定によるパケット廃棄率推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺内 将大, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 未知のトラヒック特性を持つネットワークの高精度なパケット廃棄率推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井 啓之介, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 複数フローアクティブ計測におけるパケット廃棄率推定の高精度化
3. 学会等名 2018年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井 啓之介, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 複数フローアクティブ計測におけるパケット廃棄率推定の高精度化
3. 学会等名 2018年 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺内 将大, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 未知のトラフィック特性を持つネットワークのパケット廃棄率におけるIS法を利用した推定手法
3. 学会等名 2018年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺内 将大, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 未知のトラフィック特性を持つネットワークのパケット廃棄率におけるIS法を利用した推定手法
3. 学会等名 2018年 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中沢 昇平, 小嶋 真矢, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 バスの選択・統合の併用によるネットワーク故障箇所特定最適化
3. 学会等名 2018年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小嶋 真矢, 中沢 昇平, 渡部 康平, 中川 健治
2. 発表標題 ネットワーク故障箇所特定における計測バス集合最適化
3. 学会等名 2018年 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2018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

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