

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11798

研究課題名（和文）機械学習を活用したネットワーク帯域予約サービスの受付判定方法

研究課題名（英文）Network bandwidth reservation method combining machine learning and linear programming

研究代表者

源田 浩一（GENDA, Kouichi）

日本大学・工学部・教授

研究者番号：00564105

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：帯域確保した通信を使いたい時だけ予約して利用するネットワーク帯域予約サービスについて、トラフィックの事前確定が困難かつ利用時間が確定的な需要に対し、速やかな受付判定と高いリクエスト受付率を同時に満足する機械学習（ML）を用いた予約受付判定方法を検討した。MLモデルとして多層ニューラルネットワークを適用することで、厳密解と比べて、誤判定率を10%未満に低減できることを明らかにした。また、MLによる受付判定と線形計画法による受付リクエストのリソース割当をパイプライン処理で組み合わせた受付判定システムを提案し、厳密解と比べ、受付リクエストの必要リンク帯域を誤差10%未満に低減できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SDNの利点を活用した新たなサービスとして期待されるネットワークのオンデマンドサービスの1つであるネットワーク帯域予約サービスの実現に向けて、速やかな受付判定と高いリクエスト受付率を両立できる新たな予約受付判定方法を提案した。

本検討では、今後需要の高まりが期待されるネットワーク領域でのオンデマンドサービスを技術面から進展させたとともに、ネットワークと機械学習を融合した新たな活用法を提示した。

研究成果の概要（英文）：Network bandwidth reservation is a representative service that utilizes the advantages of software-defined networks in which users directly reserve network resources on an on-demand basis. A bandwidth reservation method is proposed here to meet the requirements, instantaneous response to requests and high request acceptance ratio, by using machine learning (ML), particularly for unpredictable bandwidth demands in which the use time is indicated strictly. Simulation results indicated that the proposed method adopting a multi-layered neural network can achieve a high accuracy ratio within a 10% difference compared to the ideal solution. In addition, the bandwidth-reservation system combining the request judgment by ML and the network resource allocation by linear programming was proposed, where they are executed in a pipeline manner. We demonstrated that the proposed system can achieve adequate network resource allocation within a 10% difference compared to the ideal solution.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：SDN 帯域予約 機械学習 線形計画法

1. 研究開始当初の背景

ネットワーク (NW) をソフトウェア化し柔軟に活用する SDN (Software Defined Network) は、ルーティングとパケット転送それぞれに適した設備設計が出来るとともに、SDN コントローラによる NW の集中管理により 1 つ 1 つのトラフィック流を状況にあわせて柔軟かつすみやかに設定できる特徴を有する。

SDN を用いた新たなサービスの 1 つとして、ネットワーク帯域予約サービス (以下、帯域予約サービス) がある [1,2]。帯域予約サービスは、帯域を確保した通信を使いたいときだけ予約して利用するサービスである。図 1 は帯域予約サービスの概念図である。帯域予約サービスは、ホテルの予約サービスと同じように、Web 等により、直感的に、希望する日時に希望する地点間で必要なだけ帯域を予約する。利用者から希望する時間、発着地点、帯域等のリクエストを受け取ると (1)、受付判定システムにて受付の可否を判定し (2)、結果を利用者に返送 (レスポンス) する (3)。予約されたリクエストは、希望時間に従い SDN コントローラから所望する発着地点間に一定の帯域を確保したパス (ルート、帯域) 設定を行う (4)、(5)。利用者は希望時間に発着地点間で帯域を保証された通信を行う (6)。

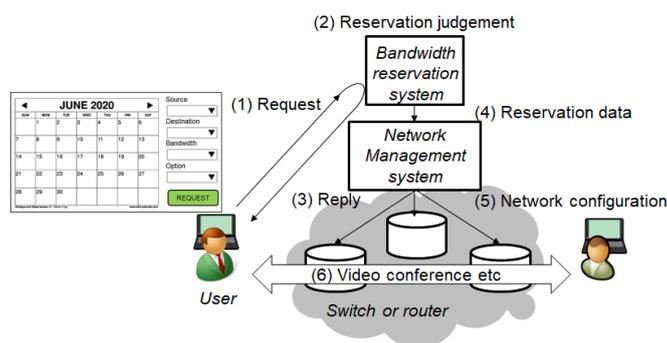


図 1 帯域予約サービスの概要

帯域予約サービスでは、ホテルの予約サービスと同様に、高いリクエスト受付率と速やかなレスポンスがサービス要求条件となると考える。一方で、ホテルの予約サービスと異なり、利用時間が例えば 1 時間刻みというように短くなる。更には、ある時間のリクエストの有無のみの判定ではなく、同じ時間に複数の利用者が同一または異なる発着地点間で共通のネットワークリソースを同時に予約することとなる。このため、帯域予約サービスの実現に向けては、リアルタイムに多品種流の最適リソース割り当て問題を解決する高度な受付判定が求められる。

帯域予約サービスに関する既存研究としては、NW オペレータや OTT (over the top) オペレータが利用し、事前にトラフィックや利用帯域が確定でき、さらに一定の遅延耐性のある DC 間データバックアップに関するものが多い。企業や一般の利用者がビジネス又はプライベートで日常的に使用し、トラフィックやその帯域を事前に確定することが困難な需要に対する研究は限定的である。既存研究 [2] では、利用者からのリクエストを K-最短経路法により受付の可否を判定する。近似アルゴリズムのため、受付判定は 1 秒よりも十分に早く速やかなレスポンスが可能である。しかし先着順にリクエストされたパスを NW の残余帯域から見つけ出すグリーディーなリソース割り当てのため、全ての受付済みリクエストと NW 全体のリソースを考慮した全体最適化の視点から判定するリソース割り当てと比べると、リクエスト受付率が制限されることが課題である。申請者は、先行研究 [3] にて、数理計画法と機械学習を用いた 2 つの判定方法を提案した。数理計画法は利用者が希望する時間に対するリクエスト受付率を最大化すること (最適解) を目的とした方法である。全体最適化の視点からリソース割り当てを行うため高いリクエスト受付率を期待できるが、判定時間の短縮が課題となる。一方の機械学習はリアルタイム性と比較的高いリクエスト受付率 (準最適解) の両立を目的とした方法である。利用者が希望する時間に対するリクエスト受付率は数理計画法に近い結果を得ることが出来、また判定時間は近似アルゴリズムと同等であり十分に短い。しかし、受付可能であるにも関わらず不可と判断する等の「誤判定」に対する対策が課題である。

2. 研究の目的

本研究の大きな目的は、SDN 時代の新たな NW サービスの 1 つと考える帯域予約サービスにおいて、リクエストに対するリアルタイムな判定に加えて、リクエストされた希望時間に対する高いリクエスト受付率を可能とする受付判定方法を明らかにすることである。本研究では、先行研究 [3] の機械学習を用いた受付判定に着目し、「誤判定」を低減し、速やかなレスポンスタイムと高いリクエスト受付率の両立を可能とする先進的な受付判定法を追求する。

特に、機械学習による受付判定法における大きな2つ課題、【研究 1】機械学習を用いた受付判定の特性向上と、【研究 2】機械学習の適用を考慮した受付判定システム構成の明確化に取り組む。

3. 研究の方法

【研究 1】に関しては、機械学習による受付判定精度の向上を目的に、様々な NW モデルやリクエストパターン等の評価を行い、優れた受付判定特性を可能とする機械学習モデルや効果的な教師データの特徴量を検討する。検討にあたり、ベンチマークとして数理計画法で得る特性と比較評価する。

【研究 2】に関しては、将来的なサービス提供（社会実装）を見据えて、機械学習を用いたとき一定量の「誤判定」が残存する等、機械学習の受付判定特性の向上のみでは解決が困難と考える事項に対して、受付判定システム全体にわたる対応方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 【研究 1】

機械学習 (ML) を用いた受付判定の特性向上に関して、①ML モデルと②教師データの点から、誤判定の低減を検討した。

①ML モデルについては、先行研究で採用した「線形 SVM (support vector machine)」に対し、非線形特性への対応やカスタマイズの柔軟性から、多層ニューラルネットワーク「多層 NN」を適用した。図 2 は本検討で採用した全結合 5 層からなる「多層 NN」である。基本とする教師データは先行研究と同様に全ての論理パスの予約済帯域 ($b^{01}, b^{02}, b^{03}, \dots, b^{n-2}, b^{n-1}$) を前提に、NN 層間の結合は全結合 (Affine) としている。単位時間 (TS) 当たりのリクエスト数に対する受付判定結果の正解率 ($(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN + TN)$) を表 1 の条件でシミュレーション評価した。図 3 はリクエスト帯域粒度 0.001 時の結果である。「多層 NN」は、「線形 SVM」と比較し誤判定数を削減し正解率を向上でき、例えば TS 当たりのリクエスト数 50 時、「多層 NN」の適用により 10%未滿の誤判定率まで低減 (90%以上の正解率に向上) でき効果的であることを明らかにした。

②教師データについては、ML ではきめ細かく値を判定することが困難との前提に立ち、リクエスト帯域の粒度に着目し、帯域粒度と誤判定率の関係を評価した。図 4 は TS 当たりのリク

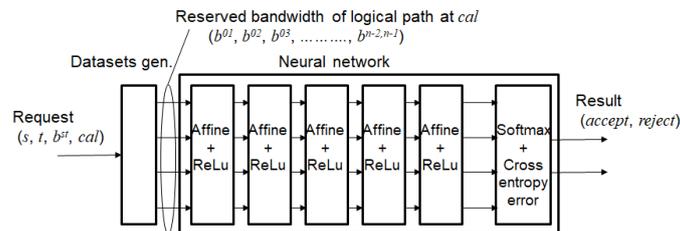


図 2 検討で適用した多層ニューラルネットワーク

表 1 シミュレーション条件

Request bandwidth	Exponential distribution with the average bandwidth 10 (arb. unit) and the bandwidth step of 0.001 to 5 (arb. unit)
Network	11 nodes 25 links Link capacity of 20 (arb. unit) for this service
ML model	Multi-layered neural network Linear support vector machine
Datasets for training	100 requests / TS x 5,000 TS 75 % requests for training classifier 25 % requests for testing classifier
Datasets for inference	10/20/30/40/50/90 requests / TS x 1,000TS

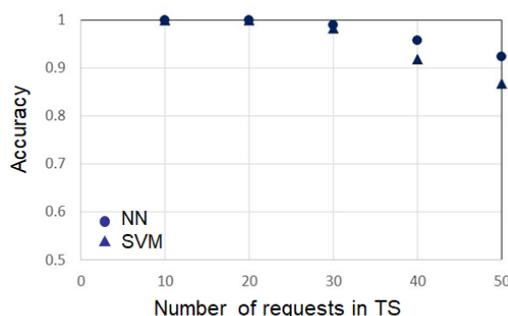


図 3 ML モデルと受付判定の正解率

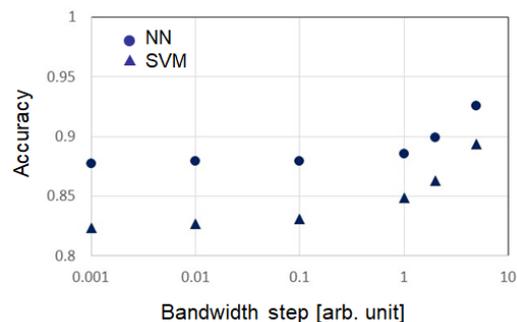


図 4 リクエスト帯域粒度と受付判定の正解率

スト数 90 時の結果である。「多層 NN」、「線形 SVM」とともに帯域粒度を粗くすることで誤判定率を低減し正解率を向上できること、また「多層 NN」の適用により「線形 SVM」と比較して正解率を向上できることから、一定の効果が期待できることを明らかにした。

(2) 【研究 2】

機械学習の適用を考慮した受付判定システム構成の明確化に関しては、ML による判定は誤判定がゼロとならず一定量残存することを前提に、誤判定の影響をシステムとして低減することを検討した。図 5 は受付判定システムとそのタイムチャートである。ML による速やかなリクエスト受付判定 (request judgement) と、ML で許可したリクエストに対する LP による最適な帯域割り当て (resource allocation) をパイプライン処理で組み合わせることで、誤判定が原因による設計したリンク帯域の超過に対する影響を低減する。また LP の課題である計算時間に関して、帯域割り当てを同一 TS のリクエストを束ねた論理パスに対して計算することにより、LP の許容計算時間を緩和する。

図 6 は、提案システムにおいて ML で受け付けたリクエストに対し必要とされるリンク帯域の結果である。リクエスト帯域粒度は 0.001 である。TS あたりのリクエスト数が大きくなると、厳密解であるベンチマークではリンク帯域負荷は上限の 1.0 となるが、ML を用いた提案方法では一定量残存する誤判定のためリンク帯域負荷が 1.0 を超過となる。しかしながら、先行研究の「線形 SVM」と比べ、「多層 NN」を用いた提案システムを適用することにより、誤判定率の低減の効果から、超過する負荷を約 10% まで低減でき効果的であることを明らかにした。

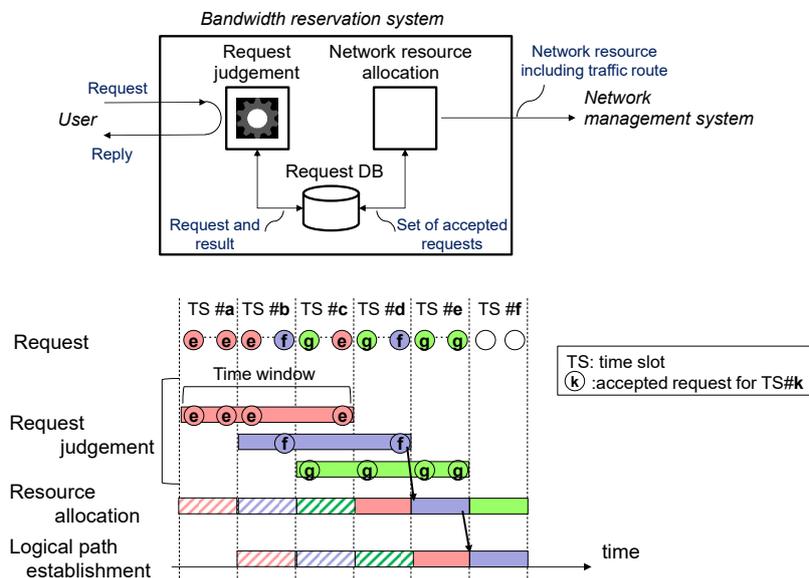


図 5 受付判定システム構成とタイムチャート

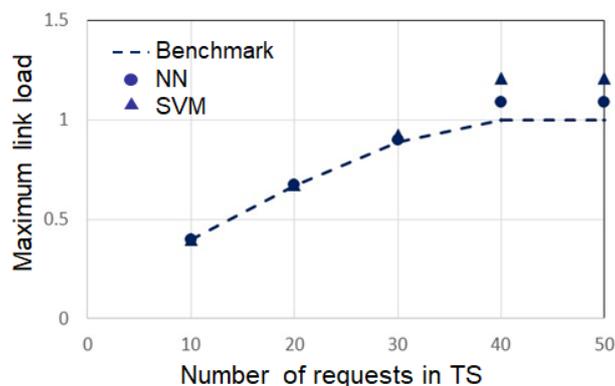


図 6 提案方法と受付判定特性 (リンク帯域負荷)

参考文献

[1] L. Gkatzikis et al., "Bandwidth Calendaring: Dynamic Services Scheduling over Software Defined Networks," IEEE Int'l Conf. Commun. (ICC), May 2016.

- [2] S. Kamamura, R. Hayashi, H. Date, H. Yamamoto, T. Miyamura, Y. Uematsu and K. Genda, "Recommendation-based Bandwidth Calendaring for Packet Transport Network," IEICE Trans. Commun. , vol.E100-B, no.01, pp.122-130, Jan. 2017.
- [3] 伊豆田, 源田, " ネットワーク予約サービスにおける機械学習による予約受付判定法," 電子情報通信学会総合大会, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 K. Genda	4. 巻 10
2. 論文標題 Network bandwidth reservation method combining machine learning and linear programming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 331 - 336
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021XBL0048	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 K. Genda
2. 発表標題 On-demand network bandwidth reservation combining machine learning and linear programming
3. 学会等名 International Conference on Network and Service Management（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 源田浩一
2. 発表標題 機械学習を用いたオンデマンド帯域予約判定精度の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022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
---------	---------