

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730011

研究課題名(和文) 顧客の再試行と途中放棄を考慮したコールセンターのモデル化と性能解析

研究課題名(英文) Modelling and Performance Analysis of Call Centers with Retrials and Abandonments of Customers

研究代表者

フン・ドック トゥアン (PHUNG-DUC, Tuan)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：20633465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ユーザ及びオペレータの挙動を考慮したコールセンターの待ち行列モデルを考える。具体的にはコールセンターに電話した客がすべてのオペレーターが対応中の場合やすべての回線が使われる場合に、その客がしばらくしてから再試行する。また、空きの電話回線があっても対応可能なオペレーターがいない場合に、しばらく待ったら途中退去する。一方、待機している電話がない場合は、オペレータが顧客に電話することがある。また、オペレータは顧客と通話した後に、その顧客のための後処理を行う。これらの挙動を考慮したモデルを解析することによりコールセンターにおける最適な設計の基準を提供する。

研究成果の概要(英文)：In this research, we develop several queueing models for call centers taking into account the behaviors of customers and servers. In particular, we consider retrial phenomenon in call center in which a customer who cannot connect with an operator in a call center may call again in some random time. Furthermore, customers who wait for available operators may abandon receiving service if the waiting time is too long. Furthermore, operators may call to customers when there are not waiting calls. After a call completion, the operator may have to do some post-call activities, such as updating information about the completed call. By analyzing models with these features, we can obtain some performance measures which could be used in optimal design of call centers.

研究分野：数理工学，応用確率論，オペレーションズ・リサーチ

キーワード：コールセンター 再試行 途中放棄 最適設計 顧客の挙動

1. 研究開始当初の背景

コールセンターでは基本的に、Inbound 型コールセンターおよび Outbound 型コールセンターの 2 種類がある。前者は電話をかけて来る客に対してサービスを提供し、後者はオペレータ自ら顧客に向けて電話を行う。前者は顧客の問い合わせなどに対する支援を行い、後者は商品の宣伝などに使われる。例えば、クレジットカード会社では滞納する客に対し、連絡を行う際にも Outbound 型コールセンターを使う。近年のコールセンターでは Inbound 業務と Outbound 業務を混合し、全体の生産性を向上させる。このような混合型コールセンターにおいてどのようにして Incoming call (外から入る電話) と Outgoing call (外にかけられる電話) のバランスを最適に設定するかは非常に重要な研究課題である。

Bhulai and Kooole (IEEE Tran. Auto. Cont. 2003) で Outgoing call をメール等直ぐに対応する必要がないものとし、空きサーバ数がある閾値を越えると空きサーバが Outgoing call を行う制御法を提案している。しかし、Incoming call の再試行と途中放棄を無視している。

本プロジェクトはこれらの状況を踏まえ、Incoming calls と Outgoing calls の両方を有するコールセンターにおいて、より現実に近いモデルを提案・解析することにより、実際のコールセンターの設計の基準を提供する。そこで、複数クラスの Incoming calls がある場合や、複数クラスの outgoing calls がある場合を考慮して解析を行う。さらに Incoming calls の再試行や途中放棄を考慮して、モデルを提案・解析して、実際のコールセンターの最適設計のための基準を提供する。さらに、オペレータが顧客との通話が終わった後に該当顧客の情報をアップデートしたりする等、実際に後処理が必要である。また、実際のコールセンターでは電話がかかってくるときに最初は自動音声応答装置

(IVR) と接続して、様々な顧客情報を入力したりする。その後実際にオペレータと繋がり、通話が始まる。その状況に踏まえ、本プロジェクトは IVR による前処理とオペレータによる後処理の両方があるモデルを提案して解析を行う。

2. 研究の目的

背景でも述べたように、本プロジェクトでは実際のコールセンターに即したモデルを提案・解析することによりコールセンターの最適設計のための基準を提供する。そのため、Incoming call と Outgoing calls が混合する場合のモデルの解析を行う。さらにコールセンターにおける顧客の挙動を忠実にモデルに反映することで精密なモデルの提案・解析を行う。具体的にコールセンターに電話した客がすぐにオペレータにつながらない場合にしばらくしてから再試行することを想定して、コールセンターを再試行型複数サーバ待ち行列でモデル化する。

また、顧客が空きオペレータと繋がるのを待っている間に、しばらく時間が経っても繋がらない場合は諦めることがある。本研究ではそのような途中放棄挙動のあるモデルを解析する。また、コールセンターのオペレータが暇なときに顧客に向けて電話を掛ける。また、顧客との通話が終わった後にその顧客の後処理 (データベースに入力するなど) を行う。このようなオペレータの実際の挙動をモデルに取り入れ、現実に即したモデルを提案・解析することにより、システム的设计基準を提供する。

3. 研究の方法

本プロジェクト中はマルコフ連鎖を主な数学的な道具として進めてきた。そのため、該当コールセンターの待ち行列モデルをマルコフ連鎖で定式化して解析を行った。しか

し、顧客の挙動やオペレータの挙動を忠実にモデルに取り入れようとすると、得られるマルコフ連鎖の状態空間が複雑になり、解析が極めて困難である。

そこで、本研究では各モデルのマルコフ連鎖の特徴を見出して、それをうまく利用することで、効率的に数値解析を行ってきた。また、一部マルコフ型でないモデル (Morozov, Phung-Duc 2017) も扱った。その場合は再生理論を駆使して、安定条件等を導出した。

また、Incoming call と Outgoing call の両方があるモデルに関して、単一サーバの場合の極限も考えた。母関数法を駆使して、再試行中客数の分布の重負荷極限の結果を導出することが出来た (Sakurai, Phung-Duc, 2016)。Outgoing call のクラスが複数の場合も検討し、複数サーバの場合の安定条件は Lyapunov 関数を利用して得られ、単一サーバの場合は系内容数分布を埋め込みマルコフ連鎖を利用して導出した (Sakurai, Phung-Duc, 2015)。また、いくつかのモデルで再試行中客数の裾確率の漸近公式を得た (Phung-Duc 2015, Kajiwara, Phung-Duc 2016)。

4. 研究成果

本プロジェクトの研究期間中に、国際学術論文誌に 11 遍を掲載することが出来た。さらに、査読付き国際会議論文として 20 編採録された。また、学会発表は多数であった。このうち、多数の論文は国際共同研究による成果である。

以下ではいくつかの成果の概要を説明する。論文「J2」では、客の再試行挙動を考慮するモデルを解析した。更にサーバが再試行中客数に応じて処理速度を変更する。そのような設定は人間サーバであるようなコールセンターシステムだけではなく、データセンター等にも表れる現象である。そのモデルに対して、シンプルな設定で解析解を導出した。

論文「J3」では複数種類の Incoming call がある複数サーバモデルに Outgoing call がある場合とない場合を考え、再生理論を駆使して安定条件を導出した。

論文「J4」では単一サーバ再試行型待ち行列に対して、再試行客がない場合にサーバを停止するモデルを考える。サーバが停止した状態で新しい客が到着すると、そのサーバが稼働するために起動時間が必要になる。そのモデルに対して再試行中客数の母関数やメントを求めた。論文「J6」では Incoming call と Outgoing call がある単一サーバに対して、三種類の重負荷極限を考え、解析を行った。論文「J7」Incoming call と Outgoing call を有する再試行型複数サーバ待ち行列に対して、再試行率が再試行中の客数に依存しない場合の解析を行った。論文「J8」では複数サーバ再試行型待ち行列に対して再試行中客数の分布の裾確率の漸近公式を導出した。論文「J10」では再試行客と優先権のある客に対して、使えるサーバ数が一般の客より多いモデルを提案し、再試行中客の裾確率の漸近公式を導出した。

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 11 件、全部査読付き)

[J1] Yajima, M. and Phung-Duc, T. (2017), "Batch Arrival Single Server Queue with Variable Service Speed and Setup Time," to appear in *Queueing Systems*.

[J2] Phung-Duc, T., Rogiest, W. and Wittevrongel, S., "Single Server Retrieval Queues with Speed Scaling: Analysis and Performance Evaluation," Published Online First in *Journal of Industrial and Management Optimization*, 17 pages, 2017.

[J3] Morozov, E. and Phung-Duc, T., “Stability Analysis of a Multiclass Retrial System with Classical Retrial Policy,” *Performance Evaluation*, Vol. 112, pp. 15--26, 2017.

[J4] Phung-Duc, T., “Single Server Retrial Queues with Setup Time,” *Journal of Industrial and Management Optimization*, Vol. 13, No. 3, pp. 1329--1345, 2017.

[J5] Phung-Duc, T., “Exact Solutions for M/M/c/Setup Queues,” *Telecommunication Systems*, Vol. 64, No. 2, pp. 309--324, 2017.

[J6] Sakurai, H. and Phung-Duc, T., “Scaling Limits for Single Server Retrial Queues with Two-Way Communication,” *Annals of Operations Research*, Vol. 247, No. 1, pp. 229--256, 2016.

[J7] Phung-Duc, T., Rogiest, W., Takahashi, Y., and Bruneel, H., “Retrial Queues with Balanced Call Blending: Analysis of Single-Server and Multiserver Model,” *Annals of Operations Research*, Vol. 239, No. 2, pp. 429--449, 2016.

[J8] Kajiwara, K. and Phung-Duc, T., “Multiserver Queue with Guard Channel for Priority and Retrial Customers,” *International Journal of Stochastic Analysis*, Vol. 2016, Article ID 7168359, 23 pages, 2016.

[J9] Kapodistria, S., Phung-Duc, T. and Resing, J., “Linear Birth/Immigration-Death Process with Binomial Catastrophes,” *Probability in the Engineering and Informational*

Sciences, Vol. 30, No. 1, pp. 79--111, 2016.

[J10] Phung-Duc, T., “Asymptotic Analysis for Markovian Queues with Two Types of Nonpersistent Retrial Customers,” *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 265, pp. 768--784, 2015.

[J11] Sakurai, H. and Phung-Duc, T., “Two-Way Communication Retrial Queues with Multiple Types of Outgoing Calls,” *TOP*, Vol. 23, No. 2, pp. 466-492, 2015.

[学会発表](計20件, 全部査読付き)

1. Fiems, D. and Phung-Duc, T., “Light-Traffic Analysis of Queues with Limited Heterogenous Retrials,” *Proc. QTNA2016 (ACM Digital Library)*, 4 pages, Wellington, New Zealand, December 13--15, 2016.
2. Dragieva, V. and Phung-Duc, T., “Two-Way Communication M/M/1 Retrial Queue with Server-Orbit Interaction,” *Proc. QTNA2016, (ACM Digital Library)*, 7 pages, Wellington, New Zealand, December 13--15, 2016.
3. Phung-Duc, T. and Kawanishi, K., “Impacts of Retrials on Power-Saving Policy in Data Centers,” *Proc. QTNA2016, (ACM Digital Library)*, 4 pages, Wellington, New Zealand, December 13--15, 2016.
4. Yajima, M., Phung-Duc, T. and Masuyama, H., “The Stability Condition of BMAP/M/ Queues,” *Proc. QTNA2016, (ACM Digital Library)*, 6 pages, Wellington, New Zealand, December 13--15, 2016.

5. Phung-Duc, T., Ren, Y., Chen, J.-C. and Yu, Z.-W., "Design and Analysis of Deadline and Budget Constrained Autoscaling (DBCA) Algorithm for 5G Mobile Networks," Proc. IEEE Cloudcom 2016, pp. 94-101, Luxembourg, 12-15 December, 2016.
6. Phung-Duc, T. and Dragieva, V., "Stability Condition for a Multiserver Retrieval Queue with Interaction between Servers and Orbit," Proc. ICNAAM, AIP Conference Proceedings, Rodos Palace Hotel, Rhodes, Greece, 19-25 September 2016.
7. Ren, Y., Phung-Duc, T., Yu, Z.-W. and Chen, J.-C., "Dynamic Auto Scaling Algorithm (DASA) for 5G Mobile Networks," Proc. IEEE Globecom 2016, Washington, DC USA, 4-8 December 2016.
8. Phung-Duc, T. and Kawanishi, K., "Energy-Aware Data Centers with s-Staggered Setup and Abandonment," Proc. ASMTA 2016, Cardiff, UK, 24-26 August, 2016, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 9845, pp. 269-283, 2016.
9. Pender, J. and Phung-Duc, T., "A Law of Large Numbers for M/M/c/Delayoff-Setup Queues with Nonstationary Arrivals," Proc. ASMTA 2016, Cardiff, UK, 24-26 August, 2016, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 9845, pp. 253-268, 2016.
10. Phung-Duc, T., "Controllable Setup Queue for Energy-Aware Server," K. Djemame, R. Kavanagh and D. Armstrong (Eds.), Proc. UKPEW'2015, pp. 96-109. University of Leeds, UK, 17, September 2015.
11. Phung-Duc, T., "Large-Scale Data Center with Setup Time and Impatient Customer," K. Djemame, R. Kavanagh and D. Armstrong (Eds.), Proc. UKPEW'2015, pp. 47--60. University of Leeds, UK, 17, September 2015.
12. Phung-Duc, T., "Retrieval Queue for Cloud Systems with Separated Processing and Storage Units," Proc. QTNA2015, Hanoi, Vietnam, 17--20, August, 2015. Do, T.V., Takahashi, Y., Yue, W., Nguyen, V.-H. (Eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 383, pp. 143-151.
13. Phung-Duc, T. and Rogiest, W., "Analysis of an M/M/1 Retrieval Queue with Speed Scaling," Proc. QTNA2015, Hanoi, Vietnam, 17--20, August, 2015. Do, T.V., Takahashi, Y., Yue, W., Nguyen, V.-H. (Eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 383, pp. 113-124.
14. Phung-Duc, T., "M/M/1/1 Retrieval Queues with Setup Time," Proc. QTNA2015, Hanoi, Vietnam, 17--20, August, 2015. Do, T.V., Takahashi, Y., Yue, W., Nguyen, V.-H. (Eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 383, pp. 93-104.
15. Phung-Duc, T., "Multiserver Queues with Finite Capacity and Setup Time," Proc. ASMTA'15, May 26 - 29, 2015, Albena, Bulgaria. Gribaudo, M., Manini, D. and Remke, A. Eds., Lecture Notes in Computer Science LNCS 9081, pp. 173-187, Springer.
16. Phung-Duc, T., "Single-Server Systems with Power-Saving Modes," Proc. ASMTA'15, May 26 - 29, 2015, Albena, Bulgaria. Gribaudo, M., Manini, D. and Remke, A. Eds., Lecture

- Notes in Computer Science LNCS 9081, pp. 158-172, Springer.
17. Aissani, A. and Phung-Duc, T., "Optimal Analysis for M/G/1 Retrial Queue with Two-Way Communication," Proc. ASMTA'15, May 26 - 29, 2015, Albena, Bulgaria. Gribaudo, M., Manini, D. and Remke, A. Eds., Lecture Notes in Computer Science LNCS 9081, pp. 173-187, Springer.
 18. Phung-Duc, T., "Server Farms with Batch Arrival and Staggered Setup," Proc. 5th SoICT. Hanoi, pp. 240--247, December 4--5, 2014.
 19. Hu, J. and Phung-Duc, T., "Power Consumption Analysis for Data Centers with Independent Setup Times and Threshold Controls," Proc 12th ICNAAM, Rhodes, Greece, 22-28 September 2014. AIP Conference Proceedings 1648, pp. 170005-1--170005-4 (2015).
 20. Phung-Duc, T., "Impatient Customers in Power-Saving Data Centers," Proc. ASMTA 2014, Budapest, Hungary, 30 June--2 July 2014, Sericola B., Telek M., and Gabor H., Eds., Lecture Notes in Computer Science LNCS 8499, pp 185--199, Springer.

〔図書〕(計 3件)

[PROC1] Wittevrongel, S. and Phung-Duc, T., Eds. Lecture Notes in Computer Sciences, LNCS 9845, 2016.

[SI2] Gomez-Corral, A. and Phung-Duc, T., Eds., Special Issue on Retrial Queues and Related Models, Annals of Operations Research, Vol. 247, No. 1, 2016.

[PROC3] Phung-Duc, T. and Rogiest, W., Eds., Proceedings of Symposium on Computational Methods for Stochastic Models (within the ICNAAM 2014, Rhodes, Greece, 22-28 September 2014.), AIP Conference Proceedings, Vol. 1648, 170001, 2015.

〔産業財産権〕
該当なし

〔その他〕
ホームページ等
<http://infoshako.sk.tsukuba.ac.jp/~tuan/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

フン・ドック トゥアン

(Phung-Duc, Tuan)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号 : 20633465