

**Short thesis for the degree of doctor of
philosophy (PhD)**

**Investigation of the performance of
finite-source communication systems**

by Tóth Ádám

Supervisor: Dr. Sztrik János



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Informatics

Debrecen, 2020

Contents

1	Introduction	2
2	Research objectives	5
3	Methodology	6
4	New results	7
5	Application of the Results	20
	Publications	25
6	Bevezetés	30
7	Kutatási célok	33
8	Módszertan	34
9	Új eredmények	36
10	Az eredmények alkalmazása	48
	Irodalomjegyzék	50

1 Introduction

In our world, the phenomenon of waiting is presented in the congested, urbanized societies. In many fields of life, people experience the annoyance of having to wait in queues, which is often not a pleasant and satisfying act. Whenever a demand for a service surpasses the capacity of a service unit it easily leads the others to wait. Decisions in connection to the amount of capacity are very complicated and often impossible to make because it is unpredictable when customers will arrive or how much time will be needed to provide its appropriate service. With the help of queueing theory, various system characteristics are predictably lessening the hardship of such decisions providing vital information such as the average number of customers in the system, the average waiting time of a customer, etc. Some queueing models assume that an arriving customer waits until being served because the waiting capacity is infinite. In some other models called loss models when the customer at the time of arrival sees that the service area is fully occupied leaves the system and is lost forever. However, in real life, there are various situations when customers instead of waiting temporarily leave the service facility awhile and attempts to be served after some random time. In that case, this customer resides in a virtual waiting room called *orbit* before launching its attempt to reach a server again. Those

1 Introduction

models which of possess an orbit can be modeled with retrial queues. Queuing systems with retrial queues are common and powerful tools modelling problems arising in major telecommunication systems, such as telephone switching systems, call centers, CSMA-based wireless mesh networks in frame level. Their importance can be viewed in the following works like in [10], [11], [16]. In this type of queuing system an incoming customer tries to reach the service unit after some time and remains in the system if the server is occupied or not available upon its arrival. For example in a call center when every operator is busy and a customer initiates a phone call then it has to try to make a phone call again after some time. In the case of computer networks, TCP (Transmission Control Protocol) uses a retransmission mechanism. This occurs whenever a packet gets lost and TCP tries to retransmit this packet a while later [3], [4]. The importance of retrial queuing systems with infinite source is referred to as works like [15], [18].

In a communication session where there are only a limited number of communication channels or other facilities the users (sources) usually fight for these resources. In many cases, there is a significant possibility of a conflict. Several sources launching uncoordinated attempts can produce collisions leading to the loss of the transmission and consequently the necessity for retransmission. It is very important to build up efficient procedures for preventing the conflict and corresponding message delay. There have been recent results on retrial queues with collisions in [20], [22].

In real-life applications of these types of systems in the retrial queuing literature, the server is usually assumed to be available perpetually. But these assumptions are quite unrealistic

1 Introduction

because errors, a power outage can supervene at any time. In the case of a wireless communication scenario where various factors have an effect on the transmission rate of the wireless channel and tend to be exposed to transmission failure, interruptions during transferring the packets. Thus it is very important to investigate retrial queueing systems with random server breakdowns and repairs. The non-reliable operation of the systems has a great influence on system characteristics and performance measures. Finite-source retrial queues with server breakdowns have been investigated in several recent papers [9], [17] or for example in [2], [26], where the software MOSEL (Modeling, Specification and Evaluation Language) is used or in [14] where several homogeneous servers were modeled and analyzed by the help of Generalized Stochastic Petri nets (GSPNs) using retrial systems.

1.0.1 Two-way communication systems

The examination of the two-way communication retrial queueing system is quite a popular topic in recent years. This can be explained by the fact that using a two-way communication scheme is very helpful in many application fields modelling occurring real-life problems. Especially in the case of call centers where service units can perform certain other work in an idle state like selling, advertising, and promoting products including serving incoming calls. For example, a call center of a credit card company where the operator may inform the customers about money payment or call them for commercial purposes. In such systems utilization of the service unit is always pivotal, see for example in [1], [8]. Results in connection

with retrial queueing systems with two-way communication, where the source is infinite, are found in [6], [7], [23]. When the population of customers is regarded as infinite then the probability of that a server calls a customer from the orbit is very small so under such circumstances it is suitable to model system with a finite source. These real situations are the motivation for me to consider finite source retrial models with two-way communication.

Once the server becomes idle after some time it can call for customers inside and outside of the system which is called an outgoing call. Two types of outgoing calls are distinguished:

- the server may call a customer from the source to be served (primary outgoing call).
- The server is able to call a customer from the orbit, as well (secondary outgoing call).

2 Research objectives

In the thesis, two main different types of retrial queues are modeled and examined. In the first one, a finite-source retrial queueing system is considered which contains a non-reliable server and collisions can take place. The second one is a special retrial queueing system with the help of two-way communication where the server after becomes idle may call for customers

from inside the system (from the orbit) or from outside the system (from finite source or infinite source). I aim to study the operation of these types of systems and to compare them with each other using various distributions of service time on performance measures like mean waiting time of an incoming call or total utilization of the server. I am also mainly interested in how the different distributions modify the characteristics of the system. Different scenarios or operation modes are designed to compare the main performance measures. Previously investigated systems by various authors [8], [24], [27] are generalized and extended in such a way to be more realistic of real-life application.

3 Methodology

Because of the fact, that in many practical situations the state space of the describing Markov chain is enormous, to calculate the system measures in the traditional way of writing down and solving the underlying steady-state equations is nearly impossible. In order to simplify this procedure, various software packages were evolved which are capable to describe and perform evaluation of complex systems but these type of applications are limited in terms of handling only exponentially distributed random variables or its memory usage is too high. So I develop simulation models based on using SimPack [12] which is a collection of C/C++ libraries and executable pro-

4 *New results*

grams for computer simulation. In this collection, various algorithms are supported connected with simulation including discrete event simulation, continuous simulation, and combined (multi-model) simulation. To receive the desired performance measures I used a statistic class which is a statistical analysis tool capable of performing a quantitative estimate of the mean and variance values of the observed variables by [13]. This class applies the method of batch means to gather a sequence of independent samples (batch means) by aggregating n successive observations of a steady-state simulation. It is one of the easiest and common techniques for establishing a confidence interval for the steady-state mean of a process. The size of batches should be long enough to guarantee that the sample averages are approximately independent. Taking the average of the sample averages of each batch results in the final mean value. More detailed information about this technique see for example [5]. The simulations are performed with confidence level of 99.9%. The relative half-width of the confidence interval required to stop the simulation run is 0.00001.

4 **New results**

Retrial queues, that is queues with repeated attempts have been effectively used to model many problems arising in telephone switching systems, telecommunication networks, computer networks, and computer systems, call centers, wireless communication systems, etc. Since in real life some compo-

nents of the systems are subject to random breakdowns it is important to study the reliability of retrial queues with server breakdowns and repairs because of the limited ability of repairs and the heavy influence of the breakdowns on the performance measures of the system.

4.1 M/M/1//N retrial queueing system with collisions and server subject to breakdowns and repairs

Let us consider a retrial queueing system of type M/M/1//N with collisions of the customers and an unreliable server. The number of sources is N and each of them can generate a primary request with rate λ/N . A source cannot generate a new call until the end of the successful service of this customer. If a primary customer finds the server idle, he enters into service immediately, in which the required service time is assumed to be an exponentially distributed random variable with parameter μ . Otherwise, if the server is busy, an arriving (primary or repeated) customer involves into collision with the customer under service and they both moves into the orbit. The retrial time of the requests is assumed to be exponentially distributed with the rate of σ/N . We suppose that the server is unreliable and the lifetime is exponentially distributed random variable with failure rate γ_0 if the server is idle and with rate γ_1 if it is busy. When the server breaks down, it is immediately sent for repair and the recovery time is assumed to be exponentially distributed with rate γ_2 . We deal with the case when the server is down all sources continue generation of customers

4 New results

and send it to the server, similarly customers may retry from the orbit to the server but all arriving customers immediately go into the orbit. Furthermore, in this unreliable model, we suppose the interrupted request goes to the orbit immediately and its next service is independent of the interrupted one. All random variables involved in the model construction are assumed to be independent of each other. The present model is a generalization of the systems treated in [19], [22] and it is the natural continuation of the paper [25].

Thesis 1 (J5) ¹ (3.1 Section) *I have analyzed a single-server finite-source $M/M/1//N$ retrial queuing system with collisions of the customers where the server is subject to random breakdowns and repairs depending on whether it is idle or busy. The probability distribution of the number of transitions of the tagged customer into the orbit was given by the help of the developed simulation program. Results show how close the asymptotic results are compared to the simulation results.*

Let us denote by $P_{as}(\nu = n)$ the asymptotic geometric distribution of probabilities with parameter q and by $P_s(\nu = n)$ the probability distribution of the number of transitions of the tagged customer into the orbit, obtained with the help of our simulation program. Furthermore, let us determine the accuracy (error) of approximation of distribution by mean of Kolmogorov distance Δ which for probability distributions $P_{as}(\nu = n)$ and $P_s(\nu = n)$ is defined as

¹”J” note the Journal papers, ”C” note the conference papers and ”O” notes the other papers

4 New results

$$\Delta = \max_{0 \leq i < \infty} \left| \sum_{n=0}^i (P_{as}(\nu = n) - P_s(\nu = n)) \right|.$$

Realizing the simulation program for

$$\lambda = 1, \quad \mu = 1, \quad \sigma = 4, \quad \gamma_2 = 1$$

and applying the approximation [21], we provide the Kolmogorov distance Δ for various values N and $\gamma = \gamma_0 = \gamma_1$ in Table 4.1.

Table 4.1: Kolmogorov distance between distribution $P_s(i)$ and approximation of the geometric distribution $P_{as}(i)$ for various values of the parameters N and γ

	$N=20$	$N=30$	$N=50$	$N=100$	$N=200$
$\gamma = 0.05$	0.026	0.016	0.009	0.005	0.003
$\gamma = 0.1$	0.024	0.015	0.009	0.004	0.002
$\gamma = 0.5$	0.017	0.011	0.006	0.004	0.001

We can see, what is expected that by increasing N the Kolmogorov distance should decrease, but with this parameter setup, there is no essential reduction if $N > 50$.

4.2 Analysis of Single-server Non-reliable Finite-source Retrial Queues

Now the difference compared to the model described in the previous section is that the service times follow a gamma dis-

4 New results

tribution with α and β . Different cases are considered how the generation of requests develops and what takes place until the end of the repair process of the server.

Thesis 2 (J1, J2, J6) (Section 3.2, 3.3, 3.4) *I have analyzed single-server non-reliable finite-source retrial queueing systems. The main stationary performance and reliability measures were given with the help of the developed simulation program. The results were validated by former works and the effect of changing various parameters on some of these measures was illustrated graphically. Furthermore, different behaviour of customers was compared in case of server failure in these models. Several figures show the effect of different distributions of service time on the performance measures.*

In the following, I present two results.

In Figure 4.1 the steady-state distribution of the investigated cases are represented when blocking is applied. The parameters of the service time of Case 2 are unique because for $\alpha = 1$ we have the exponential distribution. When the values of parameters α and β increase, this results in a higher mean number of customers, although the mean of the gamma distribution is the same in all cases ($\alpha/\beta = 1$). Looking carefully at Figure 4.1 it can be observed that all cases correspond to the normal distribution.

It is a specialty that, when using retrial queues with finite-source, the mean waiting time has a maximum value. This is a general characteristic of retrial queues but depends on the parameter settings used. This figure ensures the expected

4 New results

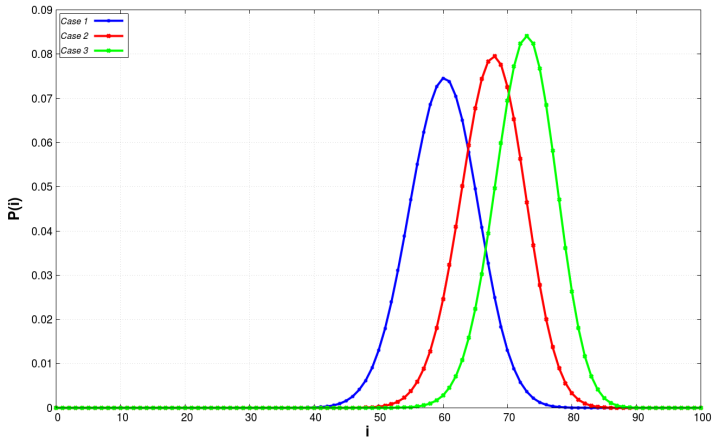


Figure 4.1: Comparison of steady-state distributions

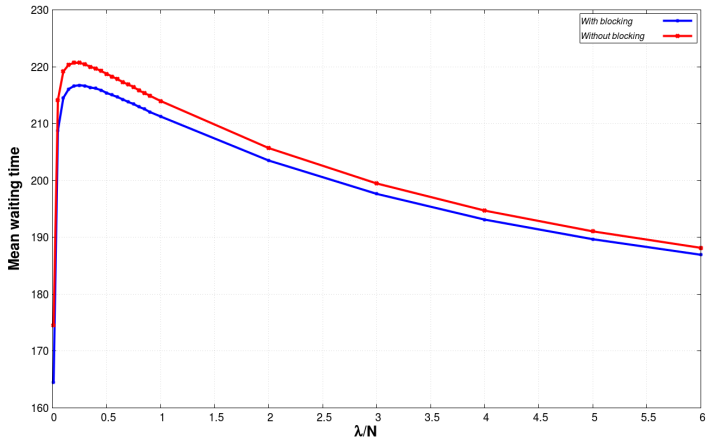


Figure 4.2: The effect of blocking, the parameters of service time: $\alpha = \beta = 0.5$

behavior when blocking is applied, which results in a lower mean waiting time. This can be explained by the fact that customers cannot enter the system in case of server failure, such that these requests are rejected and directed back towards the source.

4.3 Finite-source retrial queuing systems with outgoing calls toward the orbit

In this section, we examine a retrial queueing system of type $M/G/1//N$ with a reliable service unit that is capable to produce outgoing calls to the customers residing in the orbit. N customers are located in the source, where all of them can generate incoming, primary calls towards the server. Compared to the previous sections, on the one hand, the novelty of the model is that The service times of incoming customers are assumed to be gamma, hypo-exponentially, hyper-exponentially, Pareto, and lognormal distributed with different parameters but with the same mean value. On the other hand, when the server becomes idle it can make an outgoing call towards the customers in the orbit. It is performed after an exponentially distributed time with parameter ν . The service time of these outgoing customers follows gamma distribution with parameters α_2 and β_2 . All the random variables involved in the model construction are assumed to be totally independent of each other.

Thesis 3 (J4) *(Section 4.2) I have analyzed a single-server reliable two-way communication system with the help of retrial*

4 New results

queuing systems with a finite source. The main stationary performance and reliability measures were given using the developed simulation program. The results demonstrate the effect of outgoing calls under different parameter settings with various figures. Furthermore, the advantage of the two-way communication system came up with the comparison of the standard retrial queuing system.

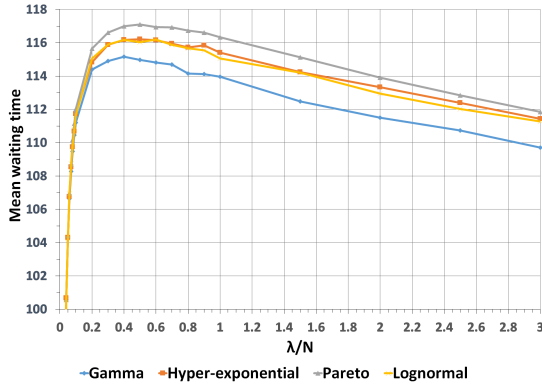


Figure 4.3: Mean waiting time vs. arrival intensity using various distributions

Figure 4.3 shows the mean waiting time in function of arrival intensity of incoming customers. For these values of parameters regardless of the applied distribution, a maximum value of the mean waiting time can be seen. This maximum feature occurs for finite-source retrial queues, see for example [8], [10]. Differences can be observed among the values of mean waiting time especially in the case of using the gamma and Pareto distribution, despite the fact that the mean and variance are

4 New results

the same. In this figure, the effect of different distributions is clearly observable when the squared coefficient of variation is greater than one.

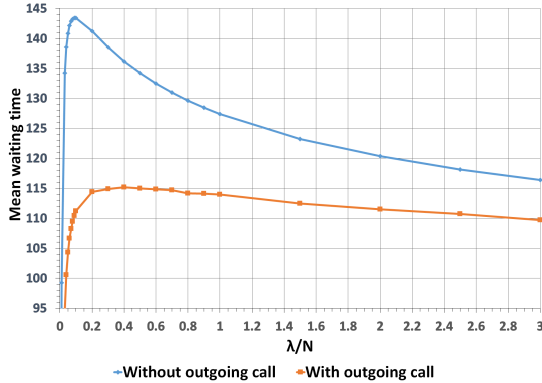


Figure 4.4: Comparison of our investigated model and the classical retrial queuing model on the mean waiting time

To emphasize the importance of outgoing calls we compare our investigated model to the model without outgoing calls. This model is correlated with the classical retrial queuing system. In Figure 4.4 the comparison of the mean waiting time can be seen and due to the phenomena of outgoing call customers spend less time in the system, which is obvious looking at the curves. The distribution of service time of the incoming customer is gamma in Figure 4.4 but the ratio of difference is also true for the other distributions, too.

I also examine the case when the squared coefficient of variation is less than one so Figure 4.5 demonstrates the mean

4 New results

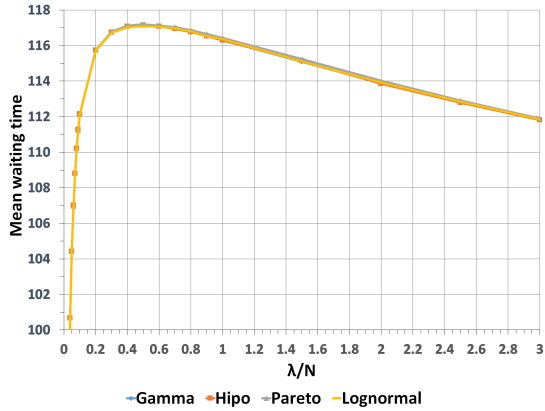


Figure 4.5: Mean waiting time vs. arrival intensity using various distributions

waiting time in the function of arrival intensity of incoming calls. Taking a closer look at the curves it can be stated that the values of mean waiting time are almost identical regardless of the applied distribution. With this parameter setting the interesting maximum value of the mean waiting time appears as in the previous section. I have experienced that when the squared coefficient of variation is greater than one, the values are significantly different, but when it is less than one, the results are almost identical.

4.4 **Finite-source retrial queuing systems with outgoing calls toward an infinite source**

In comparison with the former model now the server can break down during its operation or in idle state according to gamma, hypo-exponential, hyper-exponential, Pareto, and lognormal distribution time with the same mean value. Restoration starts instantly upon the breakdown and that time is also an exponentially distributed random variable with rate γ_1 . The idle server after some exponentially distributed period can make outgoing calls towards the customers (secondary) from an infinite source with parameter γ . The service of these customers can take place if no primary customers arrive from the finite source or the orbit and the server is not in a failed state upon their arrivals. Otherwise, they are cancelled and they return without entering the system. The service time of these types of customers follows a gamma distribution with parameters α_2 and β_2 . We differentiate four scenarios in case of server failure:

- Scenario 1: Primary customers are forwarded immediately towards the orbit and the secondary customers leave the system without service.
- Scenario 2: Primary customers are forwarded immediately towards the orbit and the secondary customers remain at the service area during the recovery of the service unit.
- Scenario 3: Primary customers remain at the service area

4 New results

during the recovery of the service unit and the secondary customers leave the system without service.

- Scenario 4: Both the primary and the secondary customers remain in the service area during the recovery of the service unit.

Thesis 4 (J3) *(Section 4.1) I have analyzed a system of two-way communication with the help of a retrial queue with finite source. The main stationary performance and reliability measures were given by the help of the developed simulation program. Several scenarios are distinguished when the server is in a failed state. These were compared to each other using various distributions of failure and service time on the main performance measures. The effect of changing various parameters on some of the measures showed how critical selecting a distribution which was illustrated graphically.*

How the increasing arrival intensity of the primary customers has an effect on the mean waiting time is depicted in Figure 4.6 in case of Scenario 1. Interestingly, pronounced differences can be observed especially at Scenario 1 but that is true for the other scenarios too. Despite the fact that the mean and variance are the same, results clearly illustrate the effect of various distributions. The highest values are experienced in the case of Pareto distribution and the lowest in the case of the gamma distribution.

In Figure 4.7 the parameters of the distribution of the service time is selected in a way that the squared coefficient of variation is less than one. The values of mean waiting time are

4 New results

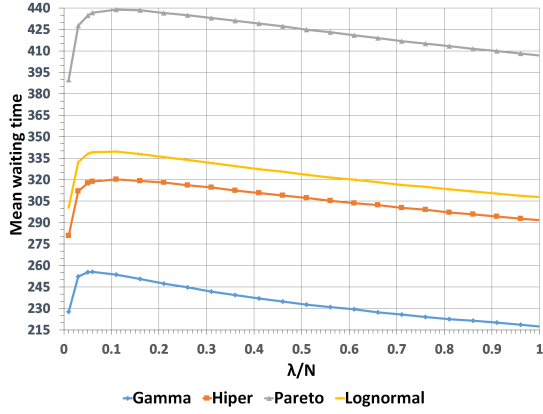


Figure 4.6: Mean waiting time vs. arrival intensity using various distributions in Scenario 1

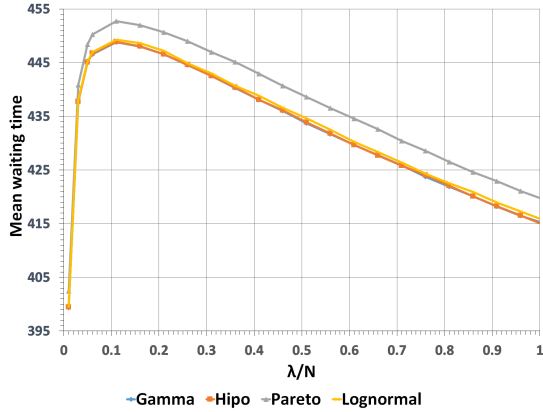


Figure 4.7: Mean waiting time vs. arrival intensity using various distributions in Scenario 1

almost identical regardless of the distribution and comparing to Figure 4.6 it results lower mean waiting time in all Scenarios and the disparity is quite obvious.

5 Application of the Results

The models of the first part can be applied for the validation of more complex simulation models including more distributions, more servers, or impatience of customers. The systems of the second part can be used for the performance analysis of a real-life call center system design.

Bibliography

- [1] Salah Aguir, Fikri Karaesmen, O Zeynep Akşin, and Fabrice Chauvet. The impact of retrials on call center performance. *OR Spectrum*, 26(3):353–376, 2004.
- [2] B. Almási, J. Roszik, and J. Sztrik. Homogeneous finite-source retrial queues with server subject to breakdowns and repairs. *Math. Comput. Modelling*, 42(5-6):673–682, 2005.

Bibliography

- [3] K. Avrachenkov and Uri Yechiali. On tandem blocking queues with a common retrial queue. *Computers & OR*, 37:1174–1180, 07 2010.
- [4] Kostia Avrachenkov and Uri Yechiali. Retrial networks with finite buffers and their application to internet data traffic. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 22(4):519–536, 2008.
- [5] E. Jack Chen and W. David Kelton. A procedure for generating batch-means confidence intervals for simulation: Checking independence and normality. *SIMULATION*, 83(10):683–694, 2007.
- [6] Ioannis Dimitriou. A retrial queue to model a two-relay cooperative wireless system with simultaneous packet reception. In *International Conference on Analytical and Stochastic Modeling Techniques and Applications*, pages 123–139. Springer, 2016.
- [7] Velika Dragieva and Tuan Phung-Duc. Two-way communication M/M/1 retrial queue with server-orbit interaction. In *Proceedings of the 11th International Conference on Queueing Theory and Network Applications*, page 11. ACM, 2016.
- [8] Velika Dragieva and Tuan Phung-Duc. Two-way communication M/M/1//N retrial queue. In Nigel Thomas and Matthew Forshaw, editors, *Analytical and Stochastic Modelling Techniques and Applications*, pages 81–94, Cham, 2017. Springer International Publishing.

Bibliography

- [9] Velika I. Dragieva. Number of retrials in a finite source retrial queue with unreliable server. *Asia-Pac. J. Oper. Res.*, 31(2):23, 2014.
- [10] G.I. Falin and J.R. Artalejo. A finite source retrial queue. *European Journal of Operational Research*, 108:409–424, 1998.
- [11] Dieter Fiems and Tuan Phung-Duc. Light-traffic analysis of random access systems without collisions. *Annals of Operations Research*, 277:311–327, 2017.
- [12] Paul A. Fishwick. Simpack: Getting started with simulation programming in c and c++. In *In 1992 Winter Simulation Conference*, pages 154–162, 1992.
- [13] A. Francini and F. Neri. A comparison of methodologies for the stationary analysis of data gathered in the simulation of telecommunication networks. In *Proceedings of MASCOTS '96 - 4th International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, pages 116–122, Feb 1996.
- [14] Nawel Gharbi and Malika Ioualalen. GSPN analysis of retrial systems with servers breakdowns and repairs. *Applied Mathematics and Computation*, 174(2):1151–1168, 2006.
- [15] Wang Jinting. Reliability analysis M/G/1 queues with general retrial times and server breakdowns. *Progress in Natural Science*, 16(5):464–473, 2006.

Bibliography

- [16] Jeongsim Kim and Bara Kim. A survey of retrial queueing systems. *Annals of Operations Research*, 247(1):3–36, 2016.
- [17] A. Krishnamoorthy, P. K. Pramod, and S. R. Chakravarthy. Queues with interruptions: a survey. *TOP*, 22(1):290–320, 2014.
- [18] V G Kulkarni and Bong Dae Choi. Retrial queues with server subject to breakdowns and repairs. *Queueing Systems*, 7(2):191–208, 1990.
- [19] Anna Kvach and Anatoly Nazarov. *Sojourn Time Analysis of Finite Source Markov Retrial Queueing System with Collision*, chapter 8, pages 64–72. Springer International Publishing, Cham, 2015.
- [20] A.S. Kvach and A. Nazarov. Numerical research of a closed retrial queueing system M/GI/1//N with collision of the customers . In *Proceedings of Tomsk State University. A series of physics and mathematics. Tomsk*, volume 297 of *Materials of the III All-Russian Scientific Conference*, pages 65–70. TSU Publishing House, 2015. (In Russian).
- [21] A. A. Nazarov and E. A. Sudyko. Method of asymptotic semiinvariants for studying a mathematical model of a random access network. *Problems of Information Transmission*, 46(1):86–102, Mar 2010.
- [22] Anatoly Nazarov, Anna Kvach, and Vladimir Yampolsky. *Asymptotic Analysis of Closed Markov Retrial Queueing System with Collision*, chapter 1, pages 334–341. Springer International Publishing, Cham, 2014.

Bibliography

- [23] Anatoly Nazarov, János Sztrik, and Anna Kvach. Some Features of a Finite-Source $M/GI/1$ Retrial Queuing System with Collisions of Customers. In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*, pages 186–200. Springer, 2017.
- [24] Anatoly Nazarov, János Sztrik, and Anna Kvach. Some features of a finite-source $M/GI/1$ retrial queuing system with collisions of customers. In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*, pages 186–200. Springer, 2017.
- [25] Anatoly Nazarov, János Sztrik, Anna Kvach, and Tamás Bérczes. Asymptotic analysis of finite-source $M/M/1$ retrial queueing system with collisions and server subject to breakdowns and repairs. *Annals of Operations Research*, 277(2):213–229, Jun 2019.
- [26] J. Sztrik, B. Almási, and J. Roszik. Heterogeneous finite-source retrial queues with server subject to breakdowns and repairs. *Journal of Mathematical Sciences*, 132:677–685, 2006.
- [27] Feng Zhang and Jinting Wang. Performance analysis of the retrial queues with finite number of sources and service interruptions. *Journal of the Korean Statistical Society*, 42(1):117–131, 2013.

Publications of the Author:

• [J] Journal papers:

- J1 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and A. S. KVACH, Simulation of finite-source retrial queuing systems with collisions and non-reliable server. *Communications in Computer and Information Science.*, **700** (2017), 146–158, doi: 10.1007/978-3-319-66836-9_13
- J2 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and A. KUKI, Comparison of two operation modes of finite-source retrial queuing systems with collisions and a non-reliable server by using simulation. *Journal of Mathematical Sciences.*, **Vol. 237** (6), (2019), 846–857, doi: 10.1007/s10958-019-04211-2
- J3 Á. TÓTH, J. SZTRIK, A. KUKI, T. BÉRCZES and D. EFROSININ, Reliability analysis of finite-source retrial queues with outgoing calls using simulation. *The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, IEEE (2019), (2019), 504–511, doi: 10.1109/DT.2019.8813419
- J4 J. SZTRIK, Á. TÓTH, Á. PINTÉR and Z. BÁCS, Simulation of finite-source retrial queues with two-way communications to the orbit, *Information Technologies and Mathematical Modelling - Queueing Theory and Applications, Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 1109** (2019), 270–284, doi: 10.1007/978-3-030-33388-1_22

Bibliography

- J5 A. A. NAZAROV, J. SZTRIK, A. S. KVACH and Á. TÓTH, Asymptotic sojourn time analysis of finite-source M/M/1 retrial queuing systems with collisions and server subject to breakdowns and repairs. *Annals of Operations Research.*, (2020), **Vol. 288**, 417–434 doi: 10.1007/s10479-019-03463-0
- J6 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, J. SZTRIK, A. KUKI and W. SCHREINER, The simulation of finite-source retrial queuing systems with collision and blocking *Journal of Mathematical Sciences.*, **Vol. 246** (4), (2020), 548–559
- [J] **Journal papers not included in the thesis:**
- J7 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, A. KUKI, B. ALMÁSI, W. SCHREINER, J. WANG and F. WANG, Analysis of finite source cluster networks, *Creative Mathematics and Informatics.*, **Vol. 25** (2) (2016), 223–235
- J8 T. BÉRCZES, J. SZTRIK, Á. TÓTH and A. A. NAZAROV, Performance modeling of finite-source retrial queuing systems with collisions and non-reliable server using MOSEL *Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 700**, (2017), 248–258, doi: 10.1007/978-3-319-66836-9_21
- J9 A. KUKI, J. SZTRIK, Á. TÓTH and T. BÉRCZES, A contribution to modeling two-way communication with retrial queuing systems. *Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 912**, (2018), 236–247, doi: 10.1007/978-3-319-97595-5_19

Bibliography

- J10 Á. TÓTH and R. KARIMI, Optimization of hadoop cluster for analyzing large-scale sequence data in bioinformatics. *Annales Mathematicae et Informaticae.*, **Vol. 50** (2019), 187–202, doi: 10.33039/ami.2019.01.002
- J11 A. KUKI, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Reliability analysis of a two-way communication system with searching for customers. *The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, IEEE (2019), (2019), 260–265, doi: 10.1109/DT.2019.8813455
- J12 A. KUKI, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Modeling of a two-way communication system with a special searching for customers. *Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 1141**, (2019), 3–14, doi: 10.1007/978-3-030-36625-4_1
- J13 A. KUKI, J. SZTRIK, T. BÉRCZES, Á. TÓTH and D. EFROSININ, Numerical analysis of non-reliable retrieval queuing systems with collision and blocking of customers *Journal of Mathematical Sciences.*, **Vol. 248**, (2020), 1–13
- J14 A. KUKI, T. BÉRCZES, Á. TÓTH and J. SZTRIK, Numerical analysis of finite source Markov retrieval system with non-reliable server, collision, and impatient customers *Annales Mathematicae et Informaticae.*, **Vol. 51**, (2020), 53–63, doi: 10.33039/ami.2020.07.008

Bibliography

- [C] **Conference proceedings:**

- C1 O. C. NOVAC, T. BÉRCZES, A. KUKI, Á. TÓTH and W. SCHREINER, Modeling RF-based sensor networks by using dual-source retrial queuing systems. *14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems.*, Oradea, Romania, (2017), 149–153.
- C2 A. KUKI, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Reliability Analysis of a Two-Way Communication System with Searching for Customers. *Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, Zilina, Slovakia : IEEE, (2019), 255–260.
- C3 J. SZTRIK, Á. TÓTH, A. PINTÉR and Ž. BÁCS, Simulation of finite-source retrial queues with two-way communications to the orbit. *In: A.A., Nazarov; S.P., Moiseeva; A.Yu., Matrosov; E.Yu., Lisovskaya Information technologies and mathematical modeling (ITMM-2019): Proceedings of the XVIII International Conference named after A.F. Terpugov.*, Tomsk, Russia, (2019), 104–119.
- C4 Á. TÓTH, J. SZTRIK, A. KUKI, T. BÉRCZES and D. EFROSININ, Reliability Analysis of Finite-Source Retrial Queues with Outgoing Calls Using Simulation. *Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, Zilina, Slovakia : IEEE, (2019), 521–528.

Bibliography

- C5 Á. TÓTH and J. SZTRIK, Simulation of finite-source retrieval queuing systems with collisions, non-reliable server and impatient customers in the orbit. *Proceedings of the 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020), CEUR Workshop Proceedings 2650.*, Eger, Hungary, (2020), 408–419.
- [O] **Others:**
 - O1 W. SCHREINER, T. BÉRCZES and Á. TÓTH, Analyzing cluster scheduling schemes by probabilistic model checking. *Technical report*, Research Institute for Symbolic Computation (RISC), Johannes Kepler University, Linz, Austria. September 2014
 - O2 W. SCHREINER, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Analyzing cluster scheduling schemes by probabilistic model checking. *Technical report*, Research Institute for Symbolic Computation (RISC), Johannes Kepler University, Linz, Austria. October 2015
 - O3 W. SCHREINER, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Modeling RF communication in sensor networks by probabilistic model checking. *Technical report*, Research Institute for Symbolic Computation (RISC), Johannes Kepler University, Linz, Austria. October 2015



Registry number: DEENK/279/2020.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Ádám Tóth
Doctoral School: Doctoral School of Informatics
MTMT ID: 10062155

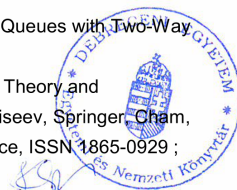
List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. Nazarov, A., Sztrik, J., Kvach, A., **Tóth, Á.**: Asymptotic sojourn time analysis of finite-source M/M/1 retrial queueing system with collisions and server subject to breakdowns and repairs.
Ann. Oper. Res. 288, 417-434, 2020. ISSN: 0254-5330.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-019-03463-0>
IF: 2.583 (2019)
2. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kuki, A.: Comparison of Two Operation Modes of Finite-Source Retrial Queueing Systems with Collisions and a Non-Reliable Server by Using Simulation.
J. Math. Sci. 237 (6), 846-857, 2019. ISSN: 1072-3374.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-019-04211-2>

Foreign language conference proceedings (4)

3. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kuki, A., Schreiner, W.: The Simulation of Finite-Source Retrial Queueing Systems with Collisions and Blocking.
J. Math. Sci. 246 (4), 548-559, 2020. ISSN: 1072-3374.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-020-04759-4>
4. **Tóth, Á.**, Sztrik, J., Kuki, A., Bérczes, T., Efosinin, D.: Reliability Analysis of Finite-Source Retrial Queues with Outgoing Calls Using Simulation.
In: Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies 2019, IEEE, Danvers, 504-511, 2019. ISBN: 9781728114019
5. Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Pintér, Á., Bács, Z.: Simulation of Finite-Source Retrial Queues with Two-Way Communications to the Orbit.
In: Information Technologies and Mathematical Modelling : Queueing Theory and Applications. Eds.: Alexander Dudin, Anatoly Nazarov, Alexander Moiseev, Springer Cham, 270-284, 2019, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 1109.) ISBN: 9783030333874





6. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kvach, A.: Simulation of finite-source retrial queueing systems with collisions and non-reliable server.
In: Distributed computer and communication networks. Eds.: Vladimir M. Vishnevskiy, Konstantin E. Samouylov, Dmitry V. Kozyrev, Springer International Publishing Ag, Cham, 146-158, 2017, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 700.) ISBN: 9783319668352

List of other publications

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

7. **Tóth, Á.**, Karimi, R.: Optimization of hadoop cluster for analyzing large-scale sequence data in bioinformatics.
Ann. Math. Inf. 50, 187-202, 2019. ISSN: 1787-5021.
DOI: <https://doi.org/10.33039/ami.2019.01.002>

Foreign language scientific articles in international journals (1)

8. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Kuki, A., Almási, B., Schreiner, W., Wang, J., Wang, F.: Analysis of finite-source cluster networks.
Creat. Math. Inform. 25 (2), 223-235, 2016. ISSN: 1584-286X.

Foreign language conference proceedings (9)

9. Kuki, A., Bérczes, T., **Tóth, Á.**, Sztrik, J.: Numerical analysis of finite source Markov retrial system with non-reliable server, collision, and impatient customers.
Ann. Math. Inform. 51, 53-63, 2020. ISSN: 1787-5021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33039/ami.2020.07.008>
10. Kuki, A., Sztrik, J., Bérczes, T., **Tóth, Á.**, Efronin, D.: Numerical Analysis of Non-Reliable Retrial Queueing Systems with Collision and Blocking of Customers.
J. Math. Sci. 248 (1), 1-13, 2020. ISSN: 1072-3374.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-020-04850-w>
11. **Tóth, Á.**, Sztrik, J.: Simulation of Finite-Source Retrial Queueing Systems With Collisions, Non-Reliable Server and Impatient Customers in the Orbit.
In: Proceedings of the 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020). Ed.: by Gergely Kovászai, István Fazekas, Tibor Tó mács, CEUR, Eger, 408-419, 2020, (CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073 ; 2650.)





12. Kuki, A., Bérczes, T., Sztrik, J., **Tóth, Á.**: Modeling of a Two-Way Communication System with a Special Searching for Customers.
In: Distributed Computer and Communication Networks. Eds.: Vladimir M. Vishnevskiy, Konstantin E. Samouylov, Dmitry V. Kozyrev, Springer, Cham, 3-14, 2019, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 1141.) ISBN: 97830303366247
13. Kuki, A., Bérczes, T., Sztrik, J., **Tóth, Á.**: Reliability Analysis of a Two-Way Communication System with Searching for Customers.
In: Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies 2019, IEEE, Danvers, 260-265, 2019. ISBN: 9781728114019
14. Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Pintér, Á., Bács, Z.: Simulation of finite-source retrieval queues with two-way communications to the orbit.
In: Information technologies and mathematical modeling (ITMM-2019) : Proceedings of the XVIII International Conference named after A.F. Terpugov 26-30 June 2019. Eds.: A. A. Nazarov, S. P. Moiseeva, A. Matrosova, E. Lisovskaya, NTL, Tomsk, 104-109, 2019. ISBN: 9785895036297
15. Kuki, A., Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Bérczes, T.: A contribution to modeling two-way communication with retrieval queueing systems.
In: Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications. Eds.: Alexander Dudin, Anatoly Nazarov, Alexander Moiseev, Springer Nature Switzerland AG, Cham, 236-247, 2018, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 912.) ISBN: 9783319975948
16. Novac, O., Bérczes, T., Kuki, A., **Tóth, Á.**, Schreiner, W.: Modeling RF-based sensor networks by using dual-source retrieval queueing systems.
In: 2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), Oradea, Romania, June 01-02, 2017, IEEE Computer Society, Danvers, 149-153, 2017. ISBN: 9781509060733
17. Bérczes, T., Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Nazarov, A.: Performance modeling of finite-source retrieval queueing systems with collisions and non-reliable server using MOSEL.
In: Distributed Computer and Communication Networks. Eds.: Vladimir M. Vishnevskiy, Konstantin E. Samouylov, Dmitry V. Kozyrev, Springer International Publishing Ag, Cham, 248-258, 2017, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 700.) ISBN: 9783319668352

Foreign language abstracts (2)

18. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kuki, A.: Comparison of two operation modes of finite-source retrieval queueing systems with collisions and non-reliable server by using simulation.
In: XXXIV. International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models 25-29 August 2017 Debrecen, Hungary : Book of abstracts, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 99, 2017.





19. Bérczes, T., Kuki, A., **Tóth, Á.**, Sztrik, J.: Investigation of finite-source retrial queueing systems with collisions and non-reliable server using MOSEL.

In: XXXIV. International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models 25-29 August 2017 Debrecen, Hungary : Book of abstracts, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 21, 2017.

Total IF of journals (all publications): 2,583

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 2,583

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

02 October, 2020



Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Véges forrású kommunikációs rendszerek
hatékonysági vizsgálatai**

Tóth Ádám

Témavezető: Dr. Sztrik János



DEBRECENI EGYETEM
Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2020

6 Bevezetés

Világunkban a várákozás folyamata a zsúfolt, urbanizált társadalmaknál egy természetes előfordulás. Az élet számos területén tapasztalható a sorban történő várákozás, ami gyakran kellemetlen és bosszantó jelenség. Ha valamely szolgáltatás iránt nagy a kereslet az meghaladhatja a szolgáltató egység kapacitását, így könnyedén előfordulhat, hogy a többieknek várniuk kell. A kapacitás mennyiségével kapcsolatos döntések nagyon bonyolultak és gyakran lehetetlenek, mert kiszámíthatatlan, hogy mikor érkeznek az igények, vagy mennyi időt fognak tölteni a kiszolgáló egységnél. A sorbanállási elmélet segítségével kiszámíthatók a rendszer különféle jellemzői, csökkentve az ilyen döntések nehézségeit, amelyek olyan lényeges információkat nyújtanak, mint például a rendszerben tartózkodó igények átlagos számát vagy az igénynek az átlagos várákzási idejét a rendszerben, stb. Néhány sorbanállási modell feltételezi, hogy egy érkező felhasználó egészen addig vár amíg kiszolgálásra nem kerül, mert a sorhossz végtelen. Más modellek esetén az úgynevezett veszteséges rendszereknél, amikor az érkezés pillanatában nincsen szabad kiszolgáló egység az igény elhagyja a rendszert és elvész örökre. A való életben azonban vannak olyan helyzetek, amikor a felhasználók ahelyett, hogy várákoznának, ideiglenesen elhagyják a kiszolgálási területet, és egy véletlen idő múlva megpróbálják elérni a ki-

szolgált. Ebben az esetben az ügyfél egy virtuális várakozási helyiségben fog tartózkodni, amit *orbitnak* szoktak hívni, mielőtt megkísérelné elérni a kiszolgáltót újra. Azok a modellek, amelyek orbittal rendelkeznek modellezhetőek visszatérési sorbanállási rendszerekkel. Visszatérési sorokkal rendelkező sorbanállási rendszerek sokszor és gyakran használt eszközök, amelyekkel modellezni lehet a nagyobb telekommunikációs rendszereknél előforduló problémákat, például a telefonkapcsoló központoknál, telefonos központoknál, CSMA-alapú teljesen összekapcsolt vezeték nélküli hálózatoknál keretszinten. Jelentőségük a következő művekben tekinthetőek meg, mint például [10], [11], [16]. Az ilyen típusú sorbanállási rendszereknél a bejövő ügyfelek megpróbálják elérni a kiszolgáltó egységet egy idő után, és a rendszerben maradnak, ha a szervert foglalt vagy nem érhető el beérkezésükkor. Például egy call centerben, amikor minden munkatárs foglalt, és egy ügyfél telefonhívást kezdeményez, akkor bizonyos idő eltelté után újabb hívás kezdeményezésére lesz szükség. Számítógépes hálózatok esetén a TCP (Transmission Control Protocol) protokoll újra küldési mechanizmust használ. Ez akkor fordul elő, amikor egy csomag elvész, és a TCP ezt a csomagot egy kis idő elteltével megpróbálja újra továbbítani [3], [4].

A végtelen forrással rendelkező visszatérési sorbanállási rendszerek fontosságával kapcsolatban többek között következő művekben lehet olvasni [15], [18].

Egy kommunikációs viszonyban csak korlátozott számú csatorna és eszköz áll rendelkezésre, így ezekért az erőforrásokért a felhasználók (források) általában megküzdnek. Sok esetben az ütközés bekövetkezésére jelentős esély mutatkozik. Számos nem koordinált kísérletet indító forrás ütközéseket idézhet elő,

amely az átvitel elvesztéséhez és ennek következtében az újraküldés szükségességéhez vezet. Hatékony eljárások létrehozása ütközések elkerüléséhez és üzenetek késleltetéséhez nagy jelentőséggel bírnak. Számos eredményt publikáltak visszatérésses sorbanállási rendszerekkel kapcsolatban ahol ütközés előfordult pl. [20], [22].

Az ilyen típusú rendszerek valós életben történő alkalmazása esetén a szakirodalom általában azt feltételezi a kiszolgálóval kapcsolatban, hogy állandóan elérhető. De ezek a feltételezések meglehetősen irreálisak, mivel hibák vagy áramszünet bármikor bekövetkezhet. Vezeték nélküli kommunikáció esetén különféle tényezők befolyásolják a vezeték nélküli csatorna átviteli sebességét. Sokkal hajlamosabbak az átviteli hibákra és megszakításokra a csomagok átvitele során összehasonlítva a vezetékes átvittel. Ezért nagyon fontos a visszatérésses sorbanállási rendszerek vizsgálata véletlenszerű szerverleállásokkal és javításokkal. A rendszerek nem megbízható működése nagy hatással van a rendszerjellemzőkre és teljesítménymutatókra. A véges forrású sorbanállási rendszerekkel számos cikk foglalkozott nem megbízható kiszolgálók esetén [9], [17] vagy például [2], [26], ahol a MOSEL (Modeling, Specification and Evaluation Language) szoftvercsomagot használták vagy [14]-ban ahol több homogén szervert modelleztek és elemeztek Generalizált Sztochasztikus Petri-Hálózatok (GSPN) segítségével.

6.0.1 Kétirányú kommunikációs rendszer

A kétirányú kommunikációs sorbanállási rendszerek vizsgálata az utóbbi években nagyon népszerű témává vált. Ez azzal

magyarázható, hogy a kétirányú kommunikációs séma használata sok alkalmazás területén nagyon hasznos a való életben felmerülő problémák modellezésében. Különösen olyan telefonos ügyfélközpontok esetében, ahol a kiszolgáló bizonyos egyéb munkákat tétlen állapotban is elvégezhet, például termékek értékesítését, reklámozását és népszerűsítését, a bejövő hívások kiszolgálásán kívül. Például egy pénzügyi vállalat ügyfélszolgálat, ahol az üzemeltető tájékoztathatja az ügyfeleket pénz kifizetésekről vagy felhívhatja őket kereskedelmi célból. Ilyen rendszereknél a kiszolgáló rendelkezésre állása mindig kulcsfontosságú, lásd például [1], [8]. Kétirányú kommunikációs, visszatérési sorbanállási rendszerekkel kapcsolatos eredmények a következőkben találhatóak [6], [7], [23], ahol a forrás végtelen. Ha az igények népszerűségét végtelennek tekintjük, akkor nagyon kicsi annak a valószínűsége, hogy egy szerver az orbitból behív egy ügyfelet, tehát ilyen körülmények között helytállóbb véges forrású rendszerrel modellezni. Ezek a valós helyzetek késztettek arra, hogy véges forrású visszatérési modelleket vizsgáljak kétirányú kommunikáció megléte mellett.

Ha a szerver egy idő után tétlenné válik, akkor behívhat ügyfeleket a rendszeren belülről és/vagy kívülről, amelyet kimenő hívásnak neveznek. A rendszeren belül kétféle kimenő hívást különböztetünk meg:

- a szerver behívhatja az ügyfelet a forrásból (elsődleges kimenő hívás)
- A szerver az ügyfélt behívhatja az orbitból is (másodlagos kimenő hívás).

7 Kutatási célok

A dolgozatban modelleztem és megvizsgáltam visszatérési sorok két különféle típusát. Az elsőben véges forrású, visszatérésses sorbanállási rendszert tekintünk, amely nem megbízható szerveret tartalmaz, és ütközések történhetnek. A második egy speciális visszatérésses rendszer kétirányú kommunikáció segítségével, ahol a kiszolgáló tétlen állapotban a rendszeren belülről (az orbitból) vagy a rendszeren kívülről (véges vagy végtelen forrásból) ügyfeleket hívhat be. Céлом az ilyen típusú rendszerek működésének tanulmányozása és összehasonlítása egymással, különféle kiszolgálási vagy meghibásodási idő eloszlások felhasználásával olyan teljesítménymutatókra nézve, mint például a bejövő igények átlagos várakozási ideje vagy a szerver kihasználtsága. Nagy célkitűzésem az volt, hogy a különböző alkalmazott eloszlások milyen hatással vannak a rendszerjellemzőkre. Különböző forgatókönyveket és működési módokat vettem alapul a főbb teljesítménymutatók összehasonlítása érdekében. Néhány szerző által korábban vizsgált rendszer [8], [24], [27] került általánosításra és kibővítve oly módon, hogy valóságosabbak legyenek a különböző területeken használt alkalmazásoknak megfelelően.

8 Módszertan

Mivel sok gyakorlati helyzetben az állapotteret leíró Markov-lánc nagyon nagy, így a rendszermetrikákat leírni a hagyományos módon és a mögöttes egyensúlyi állapotegyenlet-rendszert megoldani szinte lehetetlen feladat. Az eljárás egyszerűsítése érdekében különféle szoftvercsomagokat fejlesztettek ki, amelyek képesek leírni a komplex rendszereket és elvégezni a rendszerjellemzők kiszámítását, de az ilyen típusú alkalmazások korlátozottak abban az értelemben, hogy csak exponenciális eloszlású véletlen változókat kezelnek, vagy memóriahasználatuk túl magas. Ennek orvosolására szimulációs modelleket dolgoztam ki a SimPack [12] felhasználása alapján, amely C/C++ könyvtárak és futtatható programok gyűjteménye számítógépes szimuláció megalkotásához. Ebben a gyűjteményben számos algoritmus lett megalkotva a szimuláció futtatásához, beleértve diszkrét eseményű, folyamatos és kombinált (többmodellű) szimulációt. A főbb rendszerjellemzők kiszámításához egy statisztikai osztályt használtam, amely egy statisztikai elemző eszköz. Képes a megfigyelt változók átlag- és szórásnégyzet értékeinek kvantitatív becslésére, ezt a módszert A.Francini dolgozta ki [13]. Ez az osztály a batch means method-öt alkalmazza. Az egyensúlyi állapot szimulációjának n egymást követő megfigyelésének összevonásával összegyűjti az egymástól független minták sorozatát (batch means). Ez az egyik legegyszerűbb és leggyakoribb módszer a konfidencia intervallum meghatározására a folyamat egyensúlyi állapotának átlagához. A batch-ek méretének elég hosszúnak kell lennie ahhoz, hogy garantálva legyen a minta átlagok hozzávetőleges

függetlensége. A végső átlagértéket úgy kapjuk meg, hogy az egyes batch-eknél kapott minta átlagok átlagát vesszük. A módszerrel kapcsolatos részletesebb információkért lásd például: [5]. A szimuláció 99,9%-os konfidencia intervallum mellett lett lefuttatva. A szimulációs futások leállításához szükséges konfidencia intervallum relatív félszélessége 0,00001.

9 Új eredmények

Visszatérési sorok, azaz az ismétlődő kísérletek sorával nagyon jól tudnak modellezni problémákat amelyek telekommunikációban, hívóközpontoknál, számítógépes hálózatoknál és rendszereknél rendszerint előfordul. Mivel a valóságban a rendszerek egyes komponensei bármikor meghibásodhatnak fontos visszatérési rendszereket vizsgálni szerver leállás és javítás mellett, mivel nagy mértékben befolyásolja a rendszer teljesítménymetrikáit.

9.1 M/M/1//N visszatérési sorbanállási rendszer ütközésekkel és nem megbízható szerverrel

Tekintsünk egy M/M/1//N típusú visszatérési sorbanállási rendszert nem megbízható szerverrel, ahol ütközések fordulhat-

nak elő. A források számát N jelöli és minden forrásban lévő egyed igényt generálhat λ/N intenzitással. Az egyed új igényt nem hozhat létre amíg a korábban generált igény sikeres kiszolgálása meg nem történt. Tétlen szerver esetén a bejövő igény kiszolgálása egyből megkezdődik és a kiszolgálási idő exponenciális eloszlású véletlen változó μ paraméterrel. Egyébként, foglalt kiszolgáló esetén a bejövő igény (a forrásból vagy az orbitból) ütközést idéz elő és mindkét igény az orbitba kerül. Az orbitban az igények újrapróbálkozási ideje exponenciális eloszlást követ σ/N intenzitással. Azt feltételezzük, hogy a szerver nem megbízható és az élettartama szintén exponenciális eloszlású véletlen változó γ_0 meghibásodási intenzitással ha a szerver foglalt és γ_1 -gyel tétlen szerver esetén. Amikor a szerver meghibásodik a javítási folyamat azonnal elkezdődik, és a helyreállítási idő szintén exponenciális eloszlást követ γ_2 rátával. Minden forrásban lévő egyed generálhat igényeket szerver meghibásodás esetén is, de ezek egyből az orbitba kerülnek, mint ahogy az ott tartozkodó újrapróbálkozó ügyfelek is. Továbbá ennél a megbízhatatlan modellnél azt a működést vizsgáltuk, hogy a félbeszakított kérés azonnal az orbitba kerül és a következő kiszolgálása független a megszakított kiszolgálástól. A modell felépítésében részt vevő összes véletlen változóról azt feltételezzük, hogy függetlenek egymástól. Ez a modell a [19], [22] cikkekben kezelt rendszerek általánosítása, és a [25] cikk természetes folytatása.

Tézis 1 (J5) ¹ (3.1 alfejezet) *Elemeztem egy egykiszolgálós, nem megbízható, véges forrású $M/M/1//N$ visszatérési sor-*

¹A folyóiratcikkeknek "J", a konferenciatickeknek "C", míg az egyéb közleményeket "O" kezdőbetűk jelölik

9 Új eredmények

banállási rendszert, ahol az igények ütközést idézhetnek elő. Az átmenetek számának valószínűségi eloszlását az orbitba egy igénynek a kidolgozott szimulációs program segítségével adtam meg. Az eredmények megmutatják, hogy milyen közel állnak egymáshoz az aszimptotikus és szimulációs eredmények ugyanazon paraméter-beállítások mellett.

Jelölje $P_{as}(\nu = n)$ a q paraméterű aszimptotikus geometriai eloszlás valószínűségeit és $P_s(\nu = n)$ az átmenetek számának valószínűségi eloszlását az orbitba, amelyeket a mi szimulációs programunkkal kaptunk. Ezenkívül az eloszlás becslésének pontosságához (hibájához) a Kolmogorov-Smirnov távolságot (Δ) használtuk, amely $P_{as}(\nu = n)$ és $P_s(\nu = n)$ eloszlások esetén a következő módon definiálható:

$$\Delta = \max_{0 \leq i < \infty} \left| \sum_{n=0}^i (P_{as}(\nu = n) - P_s(\nu = n)) \right|.$$

A következő bemenő paraméter értékeket használtuk a szimulációs program futtatásához

$$\lambda = 1, \quad \mu = 1, \quad \sigma = 4, \quad \gamma_2 = 1$$

és a becslés alkalmazásához [21]. Számos N és $\gamma = \gamma_0 = \gamma_1$ érték alkalmazása mellett megadtuk a Kolmogorov-Smirnov távolságot, amit a 9.1 táblázat mutat.

A várt eredményeket tapasztaltuk, N növekedésével a Kolmogorov távolság csökken, de ezen paraméter-beállítás alatt $N > 50$ esetén lényeges csökkenés nem mutatkozik.

Table 9.1: Kolmogorov-Smirnov távolság $P_s(i)$ eloszlás és a geometriai eloszlású $P_{as}(i)$ közelítés között különböző N és γ paraméterek mellett

	$N=20$	$N=30$	$N=50$	$N=100$	$N=200$
$\gamma = 0.05$	0.026	0.016	0.009	0.005	0.003
$\gamma = 0.1$	0.024	0.015	0.009	0.004	0.002
$\gamma = 0.5$	0.017	0.011	0.006	0.004	0.001

9.2 Egykiszolgálós, nem megbízható, véges forrású visszatérési sorbanállási rendszerek elemzése

Az előző szekcióban ismertetett modellhez képest a különbség abban mutatkozik meg, hogy a kiszolgálási idők gamma eloszlást követnek α és β paraméterrel. Illetve különböző eseteket vizsgáltam mi történik az igényekkel és a kérésgenerálásokkal a szerver javítási folyamatának végéig.

Tézis 2 (J1, J2, J6) (3.2, 3.3, 3.4 alfejezet) *Elemeztem néhány egykiszolgálós, nem megbízható, véges forrású visszatérési sorbanállási rendszert. A legfontosabb egyensúlyi megbízhatósági és teljesítményjellemzők megadása a kifejlesztett szimulációs program segítségével történt meg. Az eredményeket korábbi munkák segítségével ellenőriztem és grafikusán ábrázoltam a paraméterek változásának néhány rendszerjellemzőre gyakorolt hatását. Továbbá, ezeknél a modelleknél az igények különböző viselkedési formáit hasonlítottam össze a szerver meghibásodása mellett. Az eltérő eloszlású kiszolgálási idők*

9 Új eredmények

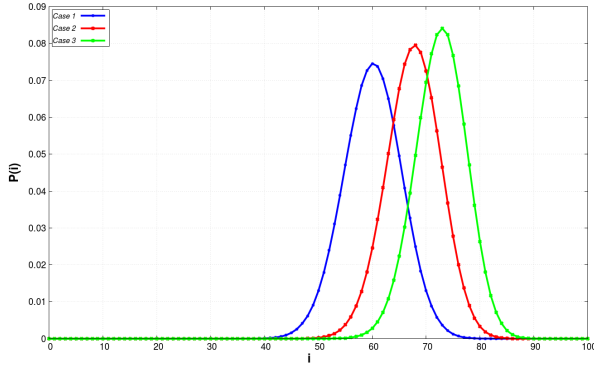


Figure 9.1: Stacionárius eloszlások összehasonlítása

néhány rendszerjellemezőre mutatott hatását szemléltetem ábrákkal.

A következőekben ismertetek két eredményt.

A 9.1. ábrán a vizsgált esetek stacionárius eloszlása látható, amikor a rendszer blokkolta az igények bejövetelét meghibásodott szerver esetén. Három különböző esetet tanulmányoztam különböző paraméterű, de ugyanolyan várható értékű kiszolgálási időt nézve. Az első esetben $\alpha = \beta = 0.5$ a második esetben a kiszolgálási idő paraméterei speciálisak mivel az $\alpha = 1$ esetén az exponenciális eloszlást kapjuk, míg a harmadiknál $\alpha = 2$. α és β paraméterek növekedésével nagyobb átlagos igényszámot kapunk a rendszerben, annak ellenére, hogy minden esetben az átlag megegyezik ($\alpha/\beta = 1$). Jobban szemügyrevételezve a 9.1. ábrát észrevehető, hogy minden görbe a normális eloszlásnak feleltethető meg.

9 Új eredmények

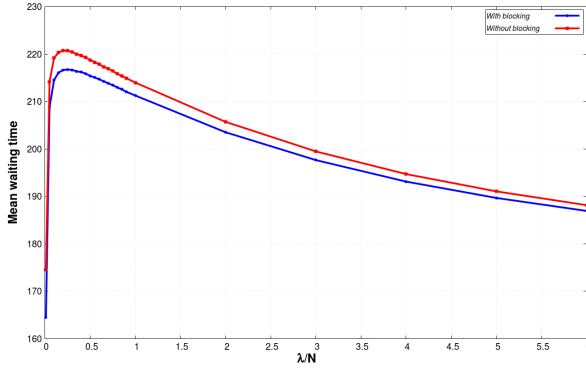


Figure 9.2: Blokkolás hatása, amikor a kiszolgálási idő paramétere: $\alpha = \beta = 0.5$

A következő ábrán megfigyelhető az a specialitása a véges forrású visszatérési sorbanállási rendszereknek, hogy az átlagos várakozási időnek maximuma van a növekedő beérkezési intenzitás mellett. Továbbá jól látható az, amit vártunk vagyis blokkolás esetén az átlagos várakozási idő értékei kisebbek. Ez azzal magyarázható, hogy blokkoláskor az igények nem tudnak a rendszerbe bejutni tehát elutasítják őket és a forráshoz lesznek visszairányítva.

9.3 Véges forrású visszatérési sorbanállási rendszerek kimenő hívásokkal az orbit felé

Ebben a szekcióban $M/G/1//N$ típusú visszatérési sorbanállási rendszert vizsgáltam megbízható szerverrel, ami képes az orbitban lévő igényeket behívni, vagyis kimenő hívásokat kezdeményezni. N egyed található a forrásban mely mindegyike képes elsődleges igényt generálni. Az előző szekciókhoz képest a modell újdonsága egyrészt az, hogy a beérkező (elsődleges) igények kiszolgálási idejéről azt feltételezzük, hogy gamma, hipo-exponenciális, hiper-exponenciális, Pareto és lognormális eloszlású különböző paraméterekkel, de az átlag mindenhol megegyezik. Másrészt, amikor a szerver tétlenné válik, kimenő hívást kezdeményezhet, azaz az orbitból igényt hívhat magához. Ezt egy exponenciálisan eloszlású idő eltelte után hajtja végre ν paraméterrel. Az ilyen típusú kimenő igények kiszolgálási ideje gamma eloszlást követ, α_2 és β_2 paraméterekkel.

A modell felépítésében részt vevő összes véletlen változóval kapcsolatban azt feltételezzük, hogy teljesen függetlenek egymástól.

Tézis 3 (J4) (4.2 alfejezet) *Elemeztem egy egykiszolgálós, megbízható, véges forrású visszatérési, kétirányú kommunikációs sorbanállási rendszert. A legfontosabb egyensúlyi megbízhatósági és teljesítményjellemzők megadása a kifejlesztett szimulációs program segítségével történt meg. Az eredmények egyrészt megmutatják a kimenő hívások hatását különböző*

9 Új eredmények

paraméter-beállítás mellett másrésről a kétirányú kommunikációs és a sztenderd visszatérési sorbanállási rendszer összehasonlítását, amelyeket grafikus illusztrációval szemléltettem.

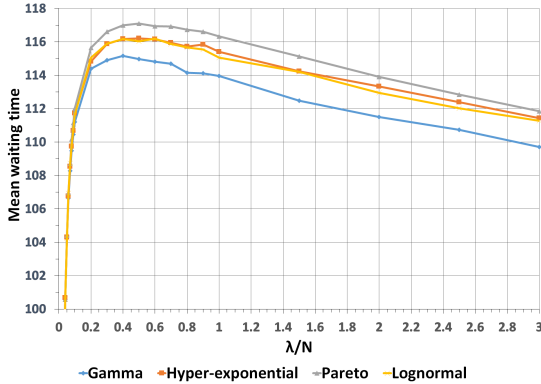


Figure 9.3: Az átlagos várakozási idő az érkezési intenzitás függvényében különböző eloszlások alkalmazása mellett

A 9.3 grafikonon az átlagos várakozási idő alakulása látható a beérkezési intenzitás függvényében. Az alkalmazott eloszlástól függetlenül ezen paraméter értékek mellett az átlagos várakozási időnek maximum értéke van. Ez a maximum tulajdonság véges forrású visszatérési sorbanállási rendszereknél szokott jelentkezni, mint például a [8], [10] cikkekben. A különbségek a kapott átlagos várakozási idő értékek között jól megmutatkozik különösképpen a gamma és a Pareto eloszlás használatánál, annak ellenére, hogy az átlag és a szórásnégyzet megegyezik mindenhol. Mindemellett az ábrán a különféle eloszlá-

9 Új eredmények

sok hatása teljes mértékben megmutatkozik, amikor a relatív szórásnégyzet egynél nagyobb.

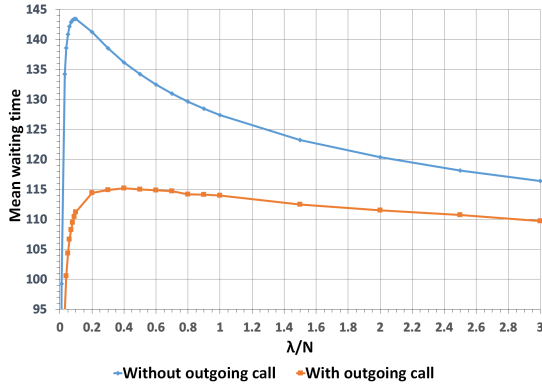


Figure 9.4: A vizsgált modell és a klasszikus visszatérési sorbanállási rendszer összehasonlítása az átlagos várakozási időt tekintve

A kimenő hívások fontosságának hangsúlyozása érdekében összehasonlítottam a vizsgált modellt a kimenő hívások nélküli modellel, ami a klasszikus visszatérési rendszerrel feleltethető meg. Az átlagos várakozási idő összevetése található a 9.4. ábrán és a kimenő hívás jelenlétének köszönhetően az igények kevesebb időt töltenek el a rendszerben, ami a kirajzolt görbékben jól látható módon észlelhető. A bejövő igények kiszolgálási idejének eloszlása gamma a 9.4. ábrán, de ugyanez az arányos különbség a többi eloszlás alkalmazásánál kapott grafikonon is előjön.

Megvizsgáltam azt az esetet is amikor a relatív szórásnégyzet egynél kisebb és 9.5. ábra az átlagos várakozási időt mutatja

9 Új eredmények

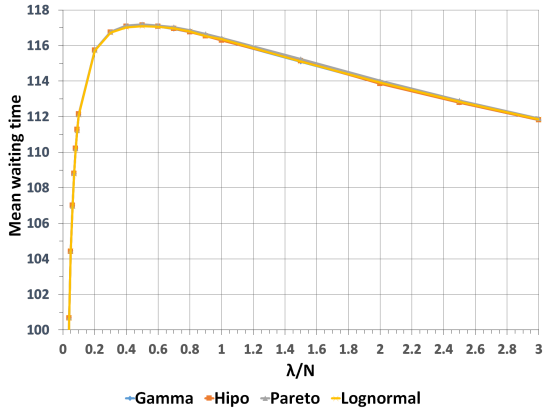


Figure 9.5: Az átlagos várakozási idő az érkezési intenzitás függvényében különböző eloszlások alkalmazása mellett

a beérkezési intenzitás növelése mellett. A kapott eredmények alapos tanulmányozása után kijelenthető, hogy szinte mindegyik alkalmazott eloszlás mellett az értékek majdnem teljesen megegyeznek. Ahogy a 9.3. grafikonon úgy itt is jelentkezik az átlagos várakozási időnek az érdekes maximum tulajdonsága ezen paraméter beállítás mellett. Azt tapasztaltuk, hogy amikor a relatív szórásnégyzet egynél nagyobb, akkor lényegesen különböznek egymástól az értékek viszont, amikor egynél kisebb, akkor szinte teljesen megegyeznek a kapott eredmények.

9.4 Véges forrású visszatérési sorbanállási rendszerek kimenő hívásokkal egy végtelen forrás felé

Az ezt megelőző szekcióban vizsgált rendszerhez képest a szervert meghibásodhat működése közben vagy tétlen állapotban gamma, hypo-exponenciális, hyper-exponenciális, Pareto és lognormál eloszlású idő után mindenhol megegyező várható érték mellett. A helyreállítás azonnal kezdetét veszi a meghibásodás után, és ez az idő egy exponenciális eloszlású véletlen változó γ_1 paraméterrel. A tétlen kiszolgáló egy exponenciális eloszlású periódus után képes kimenő hívásokat kezdeményezni egy végtelen forrásban tartózkodó ügyfelek irányába (másodlagos igények). Ezt egy exponenciális eloszlású tétlen periódus után hajtja végre γ paraméterrel. Ezen ügyfelek kiszolgálására akkor kerülhet sor, ha nem érkeznek elsődleges ügyfelek a véges forrásból vagy az orbitból, és a szervert nincsen meghibásodott állapotban érkezésükkor. Egyébként érvénytelenítve lesznek ezek a kérések és visszatérnek anélkül, hogy a rendszerbe bekerülnének. Ezen típusú igények kiszolgálási ideje gamma eloszlást követ α_2 és β_2 paraméterrel.

Négy különböző scenárió mellett vizsgáltam meg a rendszert szervert meghibásodása esetén:

- Első scenárió: Az elsődleges ügyfelek azonnal az orbitba kerülnek, a másodlagos ügyfelek pedig nem jönnek be a rendszerbe.
- Második scenárió: Az elsődleges ügyfelek azonnal az orbitba kerülnek, a másodlagos ügyfelek pedig a kiszolgáló-

9 Új eredmények

nál maradnak a kiszolgáló egység megjavítása során.

- Harmadik scenárió: Az elsődleges ügyfelek a kiszolgálónál maradnak a kiszolgáló egység megjavítása során, a másodlagos ügyfelek pedig nem jönnek be a rendszerbe.
- Negyedik scenárió: Mind az elsődleges és másodlagos ügyfelek a kiszolgálónál maradnak a kiszolgáló egység megjavítása során.

Tézis 4 (J3) *(4.1 alfejezet) Elemeztem egy egykiszolgálós, nem megbízható, véges forrású visszatérési, kétirányú kommunikációs sorbanállási rendszert. A legfontosabb egyensúlyi megbízhatósági és teljesítményjellemzők megadása a kifejlesztett szimulációs program segítségével történt meg. Számos forgatókönyvet különböztettem meg, amikor a kiszolgáló javítás alatt állt. Ezek össze lettek egymással hasonlítva a meghibásodási és a kiszolgálási idő különféle eloszlásainak felhasználásával a fő teljesítménymutatókra nézve. A bemenő paraméterek változtatásának hatása néhány jellemzőre tekintve megmutatta az eloszlás megválasztásának fontosságát, amelyet szemléletes grafikonokkal ábrázoltam.*

Az igény beérkezési intenzitásnak az elsődleges igények átlagos várakozási idejére gyakorolt hatása mutatozik meg a 9.6. ábrán az 1. forgatókönyv alkalmazása mellett. A paraméterek úgy lettek megválasztva, hogy a relatív szórásnégyzet egynél nagyobb legyen. Érdekes módon a különbségek szignifikánsak különösen az 1. forgatókönyv esetén, de ez igaz a többi forgatókönyvre is. Annak ellenére, hogy az átlag és a szórásnégyzet azonos, az eredmények világosan szemléltetik a különféle

eloszlások hatását. A legmagasabb értékek a Pareto eloszlás esetén tapasztalhatóak, a legalacsonyabbak pedig a gamma eloszlás esetén.

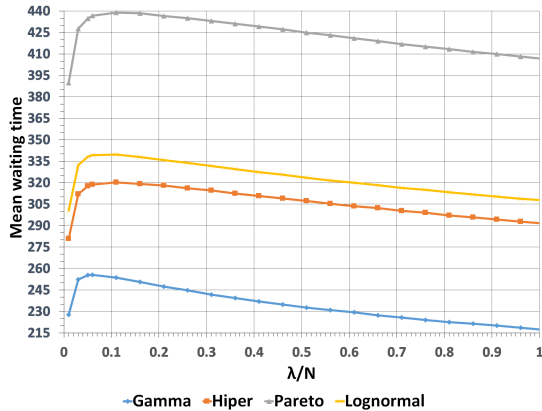


Figure 9.6: Az átlagos várakozási idő az érkezési intenzitás függvényében különböző eloszlások alkalmazása mellett az 1. scenárió mellett

9.7. ábra ugyanúgy az átlagos várakozási időt ábrázolja, mint a 9.6. ábra csak ebben az esetben úgy választottam ki a kiszolgálási idő eloszlásainak paramétereit, hogy a relatív szórásnégyzet egynél kisebb legyen. Eloszlástól függetlenül az átlagos várakozási idő értékei szinte megegyeznek egymással és összevetve a 9.6. ábrával minden egyes scenáriónál kevesebb időt töltenek az igények várakozással, de a kontraszt nyilvánvaló.

10 Az eredmények alkalmazása

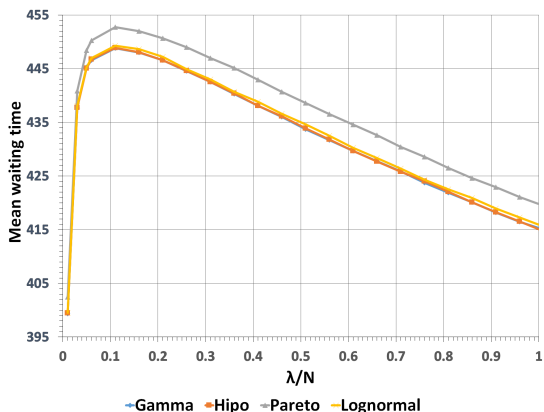


Figure 9.7: Az átlagos várakozási idő az érkezési intenzitás függvényében különböző eloszlások alkalmazása mellett az 1. scenárió mellett

10 Az eredmények alkalmazása

Az első két tézisben ismertetett modellek alkalmazhatóak összetettebb szimulációs modellek validálására, beleértve több eloszlást, több kiszolgálót vagy ügyfelek türelmetlenségét vizsgálva. Az utolsó két tézisben bemutatott rendszerek felhasználhatóak egy valós életben működő call center teljesítményének elemzésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Salah Aguir, Fikri Karaesmen, O Zeynep Akşin, and Fabrice Chauvet. The impact of retrials on call center performance. *OR Spectrum*, 26(3):353–376, 2004.
- [2] B. Almási, J. Roszik, and J. Sztrik. Homogeneous finite-source retrial queues with server subject to breakdowns and repairs. *Math. Comput. Modelling*, 42(5-6):673–682, 2005.
- [3] K. Avrachenkov and Uri Yechiali. On tandem blocking queues with a common retrial queue. *Computers & OR*, 37:1174–1180, 07 2010.
- [4] Kostia Avrachenkov and Uri Yechiali. Retrial networks with finite buffers and their application to internet data traffic. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 22(4):519–536, 2008.
- [5] E. Jack Chen and W. David Kelton. A procedure for generating batch-means confidence intervals for simulation: Checking independence and normality. *SIMULATION*, 83(10):683–694, 2007.

- [6] Ioannis Dimitriou. A retriál queue to model a two-relay cooperative wireless system with simultaneous packet reception. In *International Conference on Analytical and Stochastic Modeling Techniques and Applications*, pages 123–139. Springer, 2016.
- [7] Velika Dragieva and Tuan Phung-Duc. Two-way communication M/M/1 retriál queue with server-orbit interaction. In *Proceedings of the 11th International Conference on Queueing Theory and Network Applications*, page 11. ACM, 2016.
- [8] Velika Dragieva and Tuan Phung-Duc. Two-way communication M/M/1//N retriál queue. In Nigel Thomas and Matthew Forshaw, editors, *Analytical and Stochastic Modelling Techniques and Applications*, pages 81–94, Cham, 2017. Springer International Publishing.
- [9] Velika I. Dragieva. Number of retriáls in a finite source retriál queue with unreliable server. *Asia-Pac. J. Oper. Res.*, 31(2):23, 2014.
- [10] G.I. Falin and J.R. Artalejo. A finite source retriál queue. *European Journal of Operational Research*, 108:409–424, 1998.
- [11] Dieter Fiems and Tuan Phung-Duc. Light-traffic analysis of random access systems without collisions. *Annals of Operations Research*, 277:311–327, 2017.
- [12] Paul A. Fishwick. Simpack: Getting started with simulation programming in c and c++. In *In 1992 Winter Simulation Conference*, pages 154–162, 1992.

- [13] A. Francini and F. Neri. A comparison of methodologies for the stationary analysis of data gathered in the simulation of telecommunication networks. In *Proceedings of MASCOTS '96 - 4th International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, pages 116–122, Feb 1996.
- [14] Nawel Gharbi and Malika Ioualalen. GSPN analysis of retrial systems with servers breakdowns and repairs. *Applied Mathematics and Computation*, 174(2):1151–1168, 2006.
- [15] Wang Jinting. Reliability analysis M/G/1 queues with general retrial times and server breakdowns. *Progress in Natural Science*, 16(5):464–473, 2006.
- [16] Jeongsim Kim and Bara Kim. A survey of retrial queueing systems. *Annals of Operations Research*, 247(1):3–36, 2016.
- [17] A. Krishnamoorthy, P. K. Pramod, and S. R. Chakravarthy. Queues with interruptions: a survey. *TOP*, 22(1):290–320, 2014.
- [18] V G Kulkarni and Bong Dae Choi. Retrial queues with server subject to breakdowns and repairs. *Queueing Systems*, 7(2):191–208, 1990.
- [19] Anna Kvach and Anatoly Nazarov. *Sojourn Time Analysis of Finite Source Markov Retrial Queueing System with Collision*, chapter 8, pages 64–72. Springer International Publishing, Cham, 2015.

- [20] A.S. Kvach and A. Nazarov. Numerical research of a closed retrial queueing system $M/GI/1//N$ with collision of the customers . In *Proceedings of Tomsk State University. A series of physics and mathematics. Tomsk*, volume 297 of *Materials of the III All-Russian Scientific Conference*, pages 65–70. TSU Publishing House, 2015. (In Russian).
- [21] A. A. Nazarov and E. A. Sudyko. Method of asymptotic semiinvariants for studying a mathematical model of a random access network. *Problems of Information Transmission*, 46(1):86–102, Mar 2010.
- [22] Anatoly Nazarov, Anna Kvach, and Vladimir Yampolsky. *Asymptotic Analysis of Closed Markov Retrial Queueing System with Collision*, chapter 1, pages 334–341. Springer International Publishing, Cham, 2014.
- [23] Anatoly Nazarov, János Sztrik, and Anna Kvach. Some Features of a Finite-Source $M/GI/1$ Retrial Queueing System with Collisions of Customers. In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*, pages 186–200. Springer, 2017.
- [24] Anatoly Nazarov, János Sztrik, and Anna Kvach. Some features of a finite-source $M/GI/1$ retrial queueing system with collisions of customers. In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*, pages 186–200. Springer, 2017.
- [25] Anatoly Nazarov, János Sztrik, Anna Kvach, and Tamás Bérczes. Asymptotic analysis of finite-source $M/M/1$ retrial queueing system with collisions and server subject to

- breakdowns and repairs. *Annals of Operations Research*, 277(2):213–229, Jun 2019.
- [26] J. Sztrik, B. Almási, and J. Roszik. Heterogeneous finite-source retrial queues with server subject to breakdowns and repairs. *Journal of Mathematical Sciences*, 132:677–685, 2006.
- [27] Feng Zhang and Jinting Wang. Performance analysis of the retrial queues with finite number of sources and service interruptions. *Journal of the Korean Statistical Society*, 42(1):117–131, 2013.

Publikációim:

• [J] Folyóiratcikkek:

- J1 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and A. S. KVACH, Simulation of finite-source retrial queuing systems with collisions and non-reliable server. *Communications in Computer and Information Science.*, **700** (2017), 146–158, doi: 10.1007/978-3-319-66836-9_13
- J2 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and A. KUKI, Comparison of two operation modes of finite-source retrial queuing systems with collisions and a non-reliable server by using simulation. *Journal of Mathematical Sciences.*, **Vol. 237** (6), (2019), 846–857, doi: 10.1007/s10958-019-04211-2
- J3 Á. TÓTH, J. SZTRIK, A. KUKI, T. BÉRCZES and D. EFROSININ, Reliability analysis of finite-source retrial queues with outgoing calls using simulation. *The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, IEEE (2019), (2019), 504–511, doi: 10.1109/DT.2019.8813419
- J4 J. SZTRIK, Á. TÓTH, Á. PINTÉR and Z. BÁCS, Simulation of finite-source retrial queues with two-way communications to the orbit, *Information Technologies and Mathematical Modelling - Queueing Theory and Applications, Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 1109** (2019), 270–284, doi: 10.1007/978-3-030-33388-1_22

- J5 A. A. NAZAROV, J. SZTRIK, A. S. KVACH and Á. TÓTH, Asymptotic sojourn time analysis of finite-source M/M/1 retrial queuing systems with collisions and server subject to breakdowns and repairs. *Annals of Operations Research.*, (2020), **Vol. 288**, 417–434 doi: 10.1007/s10479-019-03463-0
- J6 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, J. SZTRIK, A. KUKI and W. SCHREINER, The simulation of finite-source retrial queuing systems with collision and blocking *Journal of Mathematical Sciences.*, **Vol. 246** (4), (2020), 548–559
- [J] **Disszertációban nem szereplő folyóiratcikkek:**
- J7 Á. TÓTH, T. BÉRCZES, A. KUKI, B. ALMÁSI, W. SCHREINER, J. WANG and F. WANG, Analysis of finite source cluster networks, *Creative Mathematics and Informatics.*, **Vol. 25** (2) (2016), 223–235
- J8 T. BÉRCZES, J. SZTRIK, Á. TÓTH and A. A. NAZAROV, Performance modeling of finite-source retrial queuing systems with collisions and non-reliable server using MOSEL *Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 700**, (2017), 248–258, doi: 10.1007/978-3-319-66836-9_21
- J9 A. KUKI, J. SZTRIK, Á. TÓTH and T. BÉRCZES, A contribution to modeling two-way communication with retrial queuing systems. *Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 912**, (2018), 236–247, doi: 10.1007/978-3-319-97595-5_19

- J10 Á. TÓTH and R. KARIMI, Optimization of hadoop cluster for analyzing large-scale sequence data in bioinformatics. *Annales Mathematicae et Informaticae.*, **Vol. 50** (2019), 187–202, doi: 10.33039/ami.2019.01.002
- J11 A. KUKI, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Reliability analysis of a two-way communication system with searching for customers. *The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, IEEE (2019), (2019), 260–265, doi: 10.1109/DT.2019.8813455
- J12 A. KUKI, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Modeling of a two-way communication system with a special searching for customers. *Communications in Computer and Information Science.*, **Vol. 1141**, (2019), 3–14, doi: 10.1007/978-3-030-36625-4_1
- J13 A. KUKI, J. SZTRIK, T. BÉRCZES, Á. TÓTH and D. EFROSININ, Numerical analysis of non-reliable retrieval queuing systems with collision and blocking of customers *Journal of Mathematical Sciences.*, **Vol. 248**, (2020), 1–13
- J14 A. KUKI, T. BÉRCZES, Á. TÓTH and J. SZTRIK, Numerical analysis of finite source Markov retrieval system with non-reliable server, collision, and impatient customers *Annales Mathematicae et Informaticae.*, **Vol. 51**, (2020), 53–63, doi: 10.33039/ami.2020.07.008

• [C] Konferencia kiadványok:

- C1 O. C. NOVAC, T. BÉRCZES, A. KUKI, Á. TÓTH and W. SCHREINER, Modeling RF-based sensor networks by using dual-source retrial queuing systems. *14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems.*, Oradea, Romania, (2017), 149–153.
- C2 A. KUKI, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Reliability Analysis of a Two-Way Communication System with Searching for Customers. *Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, Zilina, Slovakia : IEEE, (2019), 255–260.
- C3 J. SZTRIK, Á. TÓTH, A. PINTÉR and Ž. BÁCS, Simulation of finite-source retrial queues with two-way communications to the orbit. *In: A.A., Nazarov; S.P., Moiseeva; A.Yu., Matrosov; E.Yu., Lisovskaya Information technologies and mathematical modeling (ITMM-2019): Proceedings of the XVIII International Conference named after A.F. Terpugov.*, Tomsk, Russia, (2019), 104–119.
- C4 Á. TÓTH, J. SZTRIK, A. KUKI, T. BÉRCZES and D. EFROSININ, Reliability Analysis of Finite-Source Retrial Queues with Outgoing Calls Using Simulation. *Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies 2019.*, Zilina, Slovakia : IEEE, (2019), 521–528.

C5 Á. TÓTH and J. SZTRIK, Simulation of finite-source retrieval queuing systems with collisions, non-reliable server and impatient customers in the orbit. *Proceedings of the 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020), CEUR Workshop Proceedings 2650.*, Eger, Hungary, (2020), 408–419.

• [O] Egyéb:

- O1 W. SCHREINER, T. BÉRCZES and Á. TÓTH, Analyzing cluster scheduling schemes by probabilistic model checking. *Technical report*, Research Institute for Symbolic Computation (RISC), Johannes Kepler University, Linz, Austria. September 2014
- O2 W. SCHREINER, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Analyzing cluster scheduling schemes by probabilistic model checking. *Technical report*, Research Institute for Symbolic Computation (RISC), Johannes Kepler University, Linz, Austria. October 2015
- O3 W. SCHREINER, T. BÉRCZES, J. SZTRIK and Á. TÓTH, Modeling RF communication in sensor networks by probabilistic model checking. *Technical report*, Research Institute for Symbolic Computation (RISC), Johannes Kepler University, Linz, Austria. October 2015



Nyilvántartási szám: DEENK/279/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Tóth Ádám

Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10062155

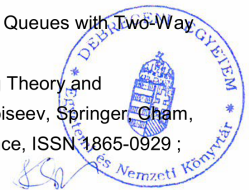
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. Nazarov, A., Sztrik, J., Kvach, A., **Tóth, Á.**: Asymptotic sojourn time analysis of finite-source M/M/1 retrial queueing system with collisions and server subject to breakdowns and repairs.
Ann. Oper. Res. 288, 417-434, 2020. ISSN: 0254-5330.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-019-03463-0>
IF: 2.583 (2019)
2. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kuki, A.: Comparison of Two Operation Modes of Finite-Source Retrial Queueing Systems with Collisions and a Non-Reliable Server by Using Simulation.
J. Math. Sci. 237 (6), 846-857, 2019. ISSN: 1072-3374.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-019-04211-2>

Idegen nyelvű konferencia közlemények (4)

3. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kuki, A., Schreiner, W.: The Simulation of Finite-Source Retrial Queueing Systems with Collisions and Blocking.
J. Math. Sci. 246 (4), 548-559, 2020. ISSN: 1072-3374.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-020-04759-4>
4. **Tóth, Á.**, Sztrik, J., Kuki, A., Bérczes, T., Efosinin, D.: Reliability Analysis of Finite-Source Retrial Queues with Outgoing Calls Using Simulation.
In: Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies 2019, IEEE, Danvers, 504-511, 2019. ISBN: 9781728114019
5. Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Pintér, Á., Bács, Z.: Simulation of Finite-Source Retrial Queues with Two-Way Communications to the Orbit.
In: Information Technologies and Mathematical Modelling : Queueing Theory and Applications. Eds.: Alexander Dudin, Anatoly Nazarov, Alexander Moiseev, Springer Cham, 270-284, 2019, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 1109.) ISBN: 9783030333874





6. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kvach, A.: Simulation of finite-source retrieval queueing systems with collisions and non-reliable server.

In: Distributed computer and communication networks. Eds.: Vladimir M. Vishnevskiy, Konstantin E. Samouylov, Dmitry V. Kozyrev, Springer International Publishing Ag, Cham, 146-158, 2017, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 700.) ISBN: 9783319668352

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

7. **Tóth, Á.**, Karimi, R.: Optimization of hadoop cluster for analyzing large-scale sequence data in bioinformatics.

Ann. Math. Inf. 50, 187-202, 2019. ISSN: 1787-5021.

DOI: <https://doi.org/10.33039/ami.2019.01.002>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

8. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Kuki, A., Almási, B., Schreiner, W., Wang, J., Wang, F.: Analysis of finite-source cluster networks.

Creat. Math. Inform. 25 (2), 223-235, 2016. ISSN: 1584-286X.

Idegen nyelvű konferencia közlemények (9)

9. Kuki, A., Bérczes, T., **Tóth, Á.**, Sztrik, J.: Numerical analysis of finite source Markov retrieval system with non-reliable server, collision, and impatient customers.

Ann. Math. Inform. 51, 53-63, 2020. ISSN: 1787-5021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.33039/ami.2020.07.008>

10. Kuki, A., Sztrik, J., Bérczes, T., **Tóth, Á.**, Efrrosinin, D.: Numerical Analysis of Non-Reliable Retrieval Queueing Systems with Collision and Blocking of Customers.

J. Math. Sci. 248 (1), 1-13, 2020. ISSN: 1072-3374.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-020-04850-w>

11. **Tóth, Á.**, Sztrik, J.: Simulation of Finite-Source Retrieval Queueing Systems With Collisions, Non-Reliable Server and Impatient Customers in the Orbit.

In: Proceedings of the 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020). Ed.: by Gergely Kovászai, István Fazekas, Tibor Tórnács, CEUR, Eger, 408-419; 2020, (CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073 ; 2650.)





12. Kuki, A., Bérczes, T., Sztrik, J., **Tóth, Á.**: Modeling of a Two-Way Communication System with a Special Searching for Customers.
In: Distributed Computer and Communication Networks. Eds.: Vladimir M. Vishnevskiy, Konstantin E. Samouylov, Dmitry V. Kozyrev, Springer, Cham, 3-14, 2019, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 1141.) ISBN: 9783030366247
13. Kuki, A., Bérczes, T., Sztrik, J., **Tóth, Á.**: Reliability Analysis of a Two-Way Communication System with Searching for Customers.
In: Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies 2019, IEEE, Danvers, 260-265, 2019. ISBN: 9781728114019
14. Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Pintér, Á., Bács, Z.: Simulation of finite-source retrial queues with two-way communications to the orbit.
In: Information technologies and mathematical modeling (ITMM-2019) : Proceedings of the XVIII International Conference named after A.F. Terpugov 26-30 June 2019. Eds.: A. A. Nazarov, S. P. Moiseeva, A. Matrosova, E. Lisovskaya, NTL, Tomsk, 104-109, 2019. ISBN: 9785895036297
15. Kuki, A., Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Bérczes, T.: A contribution to modeling two-way communication with retrial queueing systems.
In: Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications. Eds.: Alexander Dudin, Anatoly Nazarov, Alexander Moiseev, Springer Nature Switzerland AG, Cham, 236-247, 2018, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 912.) ISBN: 9783319975948
16. Novac, O., Bérczes, T., Kuki, A., **Tóth, Á.**, Schreiner, W.: Modeling RF-based sensor networks by using dual-source retrial queueing systems.
In: 2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), Oradea, Romania, June 01-02, 2017, IEEE Computer Society, Danvers, 149-153, 2017. ISBN: 9781509060733
17. Bérczes, T., Sztrik, J., **Tóth, Á.**, Nazarov, A.: Performance modeling of finite-source retrial queueing systems with collisions and non-reliable server using MOSEL.
In: Distributed Computer and Communication Networks. Eds.: Vladimir M. Vishnevskiy, Konstantin E. Samouylov, Dmitry V. Kozyrev, Springer International Publishing Ag, Cham, 248-258, 2017, (Communications in Computer and Information Science, ISSN 1865-0929 ; 700.) ISBN: 9783319668352

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

18. **Tóth, Á.**, Bérczes, T., Sztrik, J., Kuki, A.: Comparison of two operation modes of finite-source retrial queueing systems with collisions and non-reliable server by using simulation.
In: XXXIV. International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models 25-29 August 2017 Debrecen, Hungary : Book of abstracts, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 99, 2017.





19. Bérczes, T., Kuki, A., **Tóth, Á.**, Sztrik, J.: Investigation of finite-source retrial queueing systems with collisions and non-reliable server using MOSEL.

In: XXXIV. International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models 25-29 August 2017 Debrecen, Hungary : Book of abstracts, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 21, 2017.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2,583

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az érkekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2,583

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.10.02.

