

**Российская академия наук (РАН)
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук (ИПУ РАН)
Российский университет дружбы народов (РУДН)
Институт информационных и телекоммуникационных технологий
Болгарской академии наук (София, Болгария)
Национальный исследовательский Томский государственный
университет (НИ ТГУ)
Научно-производственное объединение
«Информационные и сетевые технологии» («ИНСЕТ»)**

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ: УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛЕНИЕ, СВЯЗЬ (DCCN-2020)



**МАТЕРИАЛЫ XXIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(14–18 СЕНТЯБРЯ 2020 г., МОСКВА, РОССИЯ)**

Под общей редакцией д.т.н. В.М. Вишневого, д.т.н. К.Е. Самуйлова

НАУЧНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ

**Москва
ИПУ РАН
2020**

Russian Academy of Sciences (RAS)
V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS (ICS RAS)
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
Institute of Information and Communication Technologies of Bulgarian
Academy of Sciences (Sofia, Bulgaria)
National Research Tomsk State University (NR TSU)
Research and development company
“Information and networking technologies”

**DISTRIBUTED COMPUTER AND COMMUNICATION
NETWORKS: CONTROL, COMPUTATION,
COMMUNICATIONS (DCCN-2020)**



**PROCEEDINGS OF THE XXIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC
CONFERENCE**
(September 14–18, 2020, Moscow, Russia)

*Under the general editorship of D.Sc. V.M. Vishnevskiy,
D.Sc. K.E. Samouylov*

**MOSCOW
ISC RAS
2020**

УДК 004.7:004.4].001:621.391:007

ББК 32.973.202:32.968

Р 24

Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020) = Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2020) [Электронный ресурс] : материалы XXIII Междунар. научн. конфер, 14–18 сент. 2020 г., Москва / под общ. ред. В.М. Вишневого, К.Е. Самуйлова; Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 44,9 Мб). – М.: ИПУ РАН, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: Pentium 4; 1,3 ГГц и выше; Internet Explorer; Acrobat Reader 4.0 или выше. – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-91450-248-2. – № госрегистрации 0322002892.

В научном электронном издании представлены материалы XXIII Международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» по следующим направлениям:

- Алгоритмы и протоколы телекоммуникационных сетей
- Управление в компьютерных и инфокоммуникационных системах
- Анализ производительности, оценка QoS / QoE и эффективность сетей
- Аналитическое и имитационное моделирование коммуникационных систем последующих поколений
- Эволюция беспроводных сетей в направлении 5G;
- Технологии сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн;
- RFID-технологии и их приложения;
- Интернет вещей и туманные вычисления
- Системы облачного вычисления, распределенные и параллельные системы
- Большие данные
- Вероятностные и статистические модели в информационных системах
- Теория массового обслуживания, теория надежности и их приложения
- Высотные беспилотные платформы и летательные аппараты: управление, передача данных, приложения

В материалах научной конференции DCCN-2020, подготовленных к выпуску к.ф.-м.н. Козыревым Д.В., обсуждены перспективы развития и сотрудничества в этой сфере.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников и специалистов в области управления крупномасштабными системами.

*Текст научного электронного издания
воспроизводится в том виде, в котором представлен авторами*

Утверждено к изданию Программным комитетом конференции

Содержание / Contents

1. Markovich N.M., Krieger U.R. STATISTICAL ANALYSIS OF THE END-TO-END DELAY OF PACKET TRANSFERS IN A PEER-TO-PEER NETWORK.....	1
2. Melikov A., Aliyeva S., Shahmaliyev M. SPACE MERGING APPROACH TO ANALYSIS OF QUEUING SYSTEM WITH HETEROGENEOUS SERVERS AND N-POLICY.....	9
3. Chernyshova E., Lisovskaya E., Moiseeva S., Pagano M. ON A TOTAL AMOUNT OF OCCUPIED RESOURCE IN THE SYSTEM WITH PARALLEL SERVICE AND RENEWAL ARRIVAL PROCESS.....	17
4. Galileyskaya A., Lisovskaya E., Pagano M., Moiseeva S. RESOURCE QS WITH THE REQUESTS DUPLICATION AT THE SECOND PHASE AND RENEWAL ARRIVAL PROCESS.....	25
5. Shchetinin E.Yu., Sevastianov L.A., Ayrjan E.A., Demidova A.V. MELANOMA DETECTION WITH DEEP NEURAL NETWORKS.....	33
6. Shchetinin E.Yu., Sevastianov L.A., Kulyabov D.S., Ayrjan E.A., Demidova A.V. PARALINGUISTIC MODEL FOR EMOTIONS RECOGNITION WITH DEEP NEURAL NETWORKS.....	42
7. Houankpo H.G.K., Kozyrev D.V., Nibasumba E., Mouale M.N.B., Sergeeva I.A. A SIMULATION APPROACH TO RELIABILITY ASSESSMENT OF A REDUNDANT SYSTEM WITH ARBITRARY DISTRIBUTIONS OF UPTIME AND REPAIR TIME OF ITS ELEMENTS.....	51
8. Bakanova N.B., Volchkov D.V., Bakanov A.S. CREATION AND VISUALIZATION OF THE SUBJECT AREA MODEL.....	60
9. Noskov I.I., Bogatyrev V.A. FAULTLESS AND TIMELY MULTIPATH PACKETS DELIVERY PROBABILITY IN COMPUTER NETWORKS USING UDP-BASED PROTOCOL.....	65
10. Andronov A., Dalinger Ia., Santalova D. OVERBOOKING'S PROBLEM FOR A CASE OF A RANDOM ENVIRONMENT EXISTENCE	75
11. Milovanova T.A., Razumchik R.V., Kozyrev D.V. MODELING D2D-ENHANCED IOT CONNECTIVITY.....	83
12. Dudin A.N., Dudin S.A., Dudina O.S. OPTIMIZATION OF A SIGNAL PROCESSING STRATEGY IN SENSOR NODES WITH ENERGY HARVESTING AND CONSUMPTION FOR ADMISSION AND TRANSMISSION.....	90
13. Antonova V.M., Kuznetsova A.M. ИЗУЧЕНИЕ СБОЕВ ПРИ РАБОТЕ ТЕХНОЛОГИИ МИМО.....	98
14. Brokarev I.A., Vaskovskii S.V. INFORMATION-PROCESSING SYSTEM FOR NATURAL GAS QUALITY ANALYSIS.....	106

15. Mandel A.S., Laptin V.A. CHANNEL SWITCHING STRATEGIES FOR MULTISTEP MARKOVIAN CONTROLLABLE QUEUING SYSTEMS (QS) PROBLEMS.....	114
16. Мандель А.С., Лаптин В.А., СТРАТЕГИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КАНАЛОВ В МНОГОШАГОВЫХ МАРКОВСКИХ ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ СМО.....	122
17. Shchetinin E.Yu., Sevastianov L.A., Kulyabov D.S., Ayrjan E.A. ON IMPROVING THE ACCURACY OF THE CLASSIFICATION ON IMBALANCED CLASSES WITH MACHINE LEARNING.....	130
18. Grusho A.A., Grusho N.A., Zabezhailo M.I., Timonina E.E. GENERATION OF METADATA FOR INFORMATION TECHNOLOGY CONTROL.....	139
19. Vishnevsky V.M., Mukhtarov A.A., Pershin O.Yu. ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЕТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНОЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА ВЕЛИЧИНУ МЕЖКОНЦЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ.....	148
20. Ivanova N.M. MODELING AND SIMULATION OF RELIABILITY FUNCTION OF A K-OUT- OF-N:F SYSTEM WITH PARTIAL REPAIR.....	156
21. Stepanov S.N., Stepanov M.S., Andrabi U., Ndayikunda Ju. THE MODELING OF RESOURCE SHARING FOR HETEROGENEOUS DATA STREAMS OVER 3GPP LTE WITH NB-IOT FUNCTIONALITY.....	164
22. Stepanov S.N., Stepanov M.S., Shishkin M.O. ESTIMATION OF PERFORMANCE MEASURES OF EMERGENCY SERVICES FOR OVERLOAD OF CALLS.....	173
23. Ivanov A., Ziazina N., Antonova V. PERFORMANCE OF MATLAB CLUSTERING ALGORITHMS	181
24. Nazarov A.A., Phung-Duc T., Izmailova Y.E. GAUSSIAN ASYMPTOTICS FOR A MULTICLASS M/M/1/1 RETRIAL QUEUEING SYSTEM.....	189
25. Namiot D., Sneps-Sneppe M. HOW TO BUILD A HYPER-LOCAL INTERNET	197
26. Goldstein B.S., Kislyakov S.V. FORECASTING THE INCOMING LOAD OF A CONTACT CENTER USING CHAOS THEORY METHODS.....	207
27. Kalimulina E.Yu. ON ERGODICITY OF SOME STOCHASTIC NETWORKS AND ITS APPLICATIONS.....	215
28. Sopin E.S., Darmolad A.V., Bixalina D.N. QUANTIFYING THE ROUND-TRIP DELAY IN CLOUD-RAN.....	222
29. Sopin E., Begishev V., Moltchanov D., Samuylov A. RESOURCE QUEUING SYSTEM WITH PREEMPTIVE PRIORITY FOR URLLC AND EMBB COEXISTENCE IN 5G NR.....	229

30. Markovich N.M., Ryzhov M.S.	
LEADER ELECTION IN COMMUNITIES FOR INFORMATION SPREADING.....	236
31. Klimenok V.I., Dudin A.N., Vishnevsky V.M.	
СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ММАР/PH _{1,2} /N/0 С НЕОДНОРОДНЫМИ ЗАПРОСАМИ И ПРИОРИТЕТАМИ.....	244
32. Nosova M.G.	
RESEARCH OF DEMOGRAPHIC PROCESSES BY METHODS OF QUEUING THEORY.....	252
33. Sztrik J., Tóth Á., Pintér Á., Bács Z.	
RELIABILITY ANALYSIS OF FINITE-SOURCE RETRIAL QUEUEING SYSTEMS WITH TWO-WAY COMMUNICATIONS TO THE ORBIT AND BLOCKING USING SIMULATION.....	260
34. Rykov V.V., Ivanova N.M., Kozyrev D.V.	
SENSITIVITY ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF A K-OUT-OF-N:F SYSTEM TO SHAPES OF LIFE AND REPAIR TIMES DISTRIBUTIONS OF ITS COMPONENTS.....	268
35. Bogatyrev V.A., Bogatyrev A.V., Bogatyrev S.V.	
TIMELINESS OF REDUNDANT SERVICE OF A HETEROGENEOUS REQUEST FLOW BY A SEQUENCE OF NODES OF THE INFO-COMMUNICATION SYSTEM.....	276
36. Mishkoy G.K., Mitev L.M.	
COMPUTATIONAL ASPECTS OF MODELLING PERFORMANCE CHARACTERISTICS FOR POLLING MODELS WITH SEMI-MARKOV SWITCHING AND PRIORITIES.....	284
37. Morozov V.P., Alikin K.A.	
SCALING ERROR SUPPRESSION IN SMALL SIGNAL PREAMPLIFIERS FOR VIBRATION MONITORING NETWORKS.....	290
38. Vanin A.B., Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V.	
DATA MIGRATION RATE OF THE CRUSH-BASED DISTRIBUTED OBJECT STORAGE WITH DYNAMIC TOPOLOGY.....	297
39. Vas Á, Tóth L.	
COMPARISON OF DIFFERENT METHODS FOR SMOOTHING INITIAL 2D DATA OF THE DSN-PC SYSTEM'S WEATHER PREDICTION ALGORITHM.....	305
40. Tsitovich I.I.	
GROUP POLLING METHOD FOR SENSORS DETECTING IN UNSYNCHRONIZED STRUCTURED WIRELESS MONITORING NETWORKS.....	315
41. Nekrasova R.S.	
REGENERATIVE ESTIMATION OF M/G/2-TYPE SYSTEM WITH SIMULTANEOUS SERVICE AND SPEED SCALING.....	323

42. Vorobiev V.M., Dyagilev R.A. НЕЙРОСЕТЬ В СОСТАВЕ СТАНЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	332
43. Rudenkova M.A., Khayou H., Abrosimov L.I. A METHODOLOGY FOR ADAPTING WIRELESS CHANNEL RESOURCES TO THE LOAD BY SWITCHING BETWEEN MEDIUM ACCESS PROTOCOLS.....	338
44. Mamonov A.A., Varlamov R.A., Salpagarov S.I. DISTRIBUTION OF COMPUTING LOAD BY USING A P2P NETWORK.....	347
45. Sazonov D.D., Kiricheck R.V. IDENTIFICATION OF DEVICES IN A MESH NETWORKS BASED ON DIGITAL OBJECT ARCHITECTURE.....	355
46. Moshnikov A. EVALUATION OF NETWORK RELIABILITY AND ELEMENT IMPORTANCE METRICS USING THE R SOFTWARE PACKAGE.....	364
47. Alexandrov A., Monov V. SARSA BASED METHOD FOR WSN TRANSMISSION POWER MANAGEMENT.....	372
48. Nazarov A.A., Rozhkova S.V., Titarenko E.Yu. ASYMPTOTIC ANALYSIS OF $M^{[n]}/M/1$ RQ-SYSTEM WITH FEEDBACK AND BATCH POISSON ARRIVAL.....	380
49. Dorokhin S.V. SYNCHRONISATION OF ISS-OFDM SIGNALS.....	388
50. Nikolsky I.M., Furmanov K.K. ON EFFECTIVENESS OF MESSAGE RETRANSMISSION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS.....	396
51. Efremova E.V., Kuzmin L.V. APPROACH TO INDOOR DISTANCE MEASUREMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS BY MEANS OF ULTRA-WIDE-BAND CHAOTIC RADIO PULSES.....	404
52. Meykhanadzhyan L.A., Zaryadov I.S., Milovanova T.A. STATIONARY CHARACTERISTICS OF THE TWO-NODE TANDEM QUEUEING SYSTEM WITH POISSON ARRIVALS AND GENERAL RENOVATION.....	413
53. Korolkova A.V., Kulyabov D.S., Hnatič M. THE MULTI-MODEL APPROACH TO THE STUDY OF COMPLEX SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF THE RED ACTIVE QUEUE MANAGEMENT ALGORITHM.....	418
54. Rogozin S.S. SIMULATION A MODIFIED ERLANG SYSTEM WITH PRIORITY CUSTOMERS.....	426

55. Apreutesey A.M.Y, Korolkova A.V., Kulyabov D.S ВОЗМОЖНОСТИ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ С УПРАВЛЕНИЕМ НА ЯЗЫКАХ MODELICA И JULIA.....	433
56. Suranga Sampath M.I.G. TRANSIENT ANALYSIS OF AN M/M/1/N QUEUE WITH BALKING, CATASTROPHES, SERVER FAILURES AND REPAIRS.....	441
57. Borodina A.V., Tishenko V.A. ON ALGORITHMS FOR EFFECTIVE SPEED-UP SIMULATION OF RELIABILITY MODELS.....	449
58. Kulik V.A., Pham V.D., Kirichek R.V. MODELS AND METHODS OF USAGE OF THE HETEROGENEOUS GATEWAYS IN THE MESH LPWAN NETWORKS	458
59. Kulik V.A., Pham V.D., Kirichek R.V. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ ШЛЮЗОВ В ЯЧЕЙСТЫХ СЕТЯХ LPWAN.....	466
60. Pham V.D., Le D.T., Kirichek R.V. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ ЯЧЕЙСТОЙ СЕТИ ДАЛЬНЕГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ.....	474
61. Pham V.D., Vorozheikina O.I., Grishin I.V., Okuneva D.V., Kirichek R.V. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ УЗЛОВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ЯЧЕЙСТОЙ ТОПОЛОГИЕЙ.....	482
62. Pham V.D., Le D.T., Kirichek R.V. ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТОКОЛА AODV В ЯЧЕЙСТОЙ СЕТИ LORA.....	490
63. Pham V.D., Le D.T., Kirichek R.V. A STUDY OF USING AODV PROTOCOL IN LORA MESH NETWORK.....	499
64. Petrov P.D., Kostadinov G.B., Zhivkov P.R., Velichkova V.I., Balabanov T.D. APPROXIMATE SEQUENCING OF VIRTUAL REELS WITH GENETIC ALGORITHMS.....	507
65. Dimitrov B., Rykov V., Esa S. ON DIFFERENT APPROACHES TO STUDY A DOUBLE REDUNDANT RENEWABLE SYSTEM UNDER MARSHALL-OLKIN FAILURE MODEL....	515
66. Zverkina G.A. ERGODICITY OF GENERALIZED MARKOV MODULATED POISSON PROCESSES.....	523
67. Nazarov A.A., Phung-Duc T., Paul S.V., Lizyura O.D. ASYMPTOTIC-DIFFUSION ANALYSIS OF MULTISERVER RETRIAL QUEUE WITH TWO-WAY COMMUNICATION.....	531
68. Nazarov A.A., Paul S.V., Klyuchnikova P.N. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОВТОРНЫМИ ВЫЗОВАМИ.....	540
69. Khayou H., Rudenkova M.A., Abrosimov L.I. AN ALGEBRAIC APPROACH TO LOOP FREE ROUTING.....	548

70. Goldstein B.S., Fitsov V.V.	
THE MATHEMATICAL MODEL OF FRONT-END CALCULATING IN DPI SYSTEM.....	563
71. Khalina V., Prosvirov V., Gaidamaka Yu., Pokorny J., Hosek J., Samouylov K.	
SIMULATION-BASED ANALYSIS OF MOBILITY MODELS FOR WIRELESS UAV-TO-X NETWORKS.....	571
72. Gerdt V.P., Kotkova E.A.	
ON THE QUANTUM TELEPORTATION OF BELL STATES PERFORMED ON 5-QUBIT IBM Q COMPUTERS.....	579
73. Kulik V.A., Gallyamov D.A., Kirichek R.V.	
ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИОРИТЕТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ШЛЮЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ.....	584
74. Chukhno N., Chukhno O., Araniti G., Iera A., Molinaro A., Pizzi S.	
DELIVERING MULTICAST TRAFFIC IN MMWAVE SYSTEMS: CHALLENGES AND PERFORMANCE ANALYSIS.....	590
75. Anilkumar M.P., Jose K.P.	
COMPARISON OF DIFFERENT LEVELS OF LOCAL PURCHASE QUANTITIES IN A GEO/GEO/I PRODUCTION INVENTORY SYSTEM.....	599
76. Simonov A.S., Brekhov O.M.	
ARCHITECTURE AND FUNCTIONALITY OF THE COLLECTIVE OPERATIONS SUBNET OF THE ANGARA INTERCONNECT.....	607
77. Tsarev A., Abaev P.	
MATHEMATICAL MODEL FOR HORIZONTAL ON-DEMAND VEPC SCALABILITY IN SDN-BASED ENVIRONMENT.....	620
78. Zhukova K.	
ESTIMATING THE OVERFLOW PROBABILITY IN SINGLE-SERVER RETRIAL SYSTEM WITH TWO CLASSES OF CUSTOMERS.....	632
79. Polin E.P., Moiseeva S.P., Moiseev A.N.	
ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСКОНЕЧНОЛИНЕЙНОЙ СМО С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА, ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ.....	638
80. Tesfay A.A., Simon E.P., Clavier L.	
MULTI-USER DETECTION TO IMPROVE DOWNLINK COMMUNICATION OF CSS-BASED LORA-LIKE NETWORKS.....	645
81. Mathew N., Joshua V.C., Krishnamoorthy A.	
A QUEUEING INVENTORY SYSTEM WITH TWO CHANNELS OF SERVICE.....	653
82. Shorokhov S.G.	
ON WIRELESS CHANNEL MODELING WITH K DISTRIBUTION.....	662
83. Razumchik R.V.	
STATIONARY WAITING TIME DISTRIBUTION IN THE INFINITE-CAPACITY TWO-QUEUE SINGLE-SERVER RESEQUENCING SYSTEM WITH HOQ-LIFO-LIFO POLICY OPERATING IN RANDOM ENVIRONMENT.....	670

84. Vladimirov S., Vishnevsky V., Larionov A., Kirichek R. CONCEPT OF UFP BASED WBAN DATA ACQUISITION NETWORK.....	677
85. Kochetkov D.M., Kochetkova I.A., Makeeva E.D. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 5G НА РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ УМНЫХ ГОРОДОВ: НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ И ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ.....	685
86. Makolkina M., Shipota N., Koucheryavy A. DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF MODEL NETWORK IMT2020 WITH THE USE OF MEC AND VOICE ASSISTANT TECHNOLOGIES.....	696
87. Kochetkov D.M., Almaganbetov M.O. 5G: ПАТЕНТНЫЙ ЛАНДШАФТ.....	706
88. Vishnevsky V., Rykov V., Finkelstein M. ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРИВЯЗНОГО МОДУЛЯ ВЫСОТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	712
89. Yermakov A.S., Shukmanova A.A., Seilova N.A. THE MARKOV MODEL FOR A MULTIPHASE SECURITY SYSTEM WITH THE PARTIAL CONCURRENT SERVICE.....	724
90. Golovinov E.E., Aminev D.A., Tatunov S.Yu., Polesskiy S.N., Kozyrev D.V. ОЦЕНКА КОМПЛЕКТОВ ЗИП ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ МЕТЕОСТАНЦИЙ МИНИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ.....	733
91. Rassadin Yu., Dushin S. БЕСПРОВОДНАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОГО СБОРА ДААННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN И РАСПРЕДЕЛЕННОГО АЛГОРИТМА СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ.....	743
92. Melnikov S.Yu., Samouylov K.E. CESARO-HEREDITY PROPERTY IN THE SHIFT REGISTER FAMILY.....	751
93. Rassadin Yu., Dushin S. WIRELESS SENSOR NETWORK FOR INTENSIVE DATA COLLECTION BASED ON LORAWAN TECHNOLOGY AND DISTRIBUTED DATA COMPRESSION ALGORITHM.....	764
94. Vishnevsky V., Dinh T.D., Vybornova A., Kirichek R. FLYING NETWORK FOR EMERGENCY USING TETHERED MULTICOPTERS.....	771

УДК: 519.872

Исследование циклической системы с повторными вызовами

А.А. Назаров, С.В. Пауль, П.Н. Ключникова

Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, г. Томск, Россия
nazarov.tsu@gmail.com, paulsv82@mail.ru, polya.klyuch@gmail.com

Аннотация

В работе выполнено исследование математической модели циклической сети связи множественного доступа. В качестве модели такой сети рассматривается циклическая система с повторными вызовами, на вход которой поступает N простейших потоков заявок, продолжительности обслуживания которых имеют экспоненциальную функцию распределения. Заявки каждого потока формируют свою орбиту неограниченного объема. Пару поток и соответствующую ему орбиту назовем RQ-системой. Применяя метод систем с прогулками прибора, в данной работе найдено распределение вероятностей числа заявок на орбите в одной выделенной RQ-системе исходной циклической системы.

Ключевые слова: *циклическая система, система с повторными вызовами, RQ-система, система с прогулками прибора*

1. Введение

Специальные сети связи множественного доступа создаются для совместного выполнения миссий различными группировками. Естественной топологией для таких сетей связи может быть «звезда», центральный узел которой выполняет функции управления группировками и, в этом смысле, является общим ресурсом сети. Проблема разделения общего ресурса связи сети может в подобных случаях решаться выбором протокола множественного доступа абонентов сети к общему ресурсу.

Для эффективного разделения общего ресурса связи могут быть использованы циклические протоколы [1, 2] либо протоколы множественного в том числе случайного доступа. В данной работе предлагается рассмотреть математическую модель сети связи в виде циклической системы, в которой каждая подсистема представлена в виде системы с повторными вызовами (RQ-системы, Retrial Queueing System) [3, 4, 5, 6].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №18-01-00277 А

Ставится задача определения распределения вероятностей числа заявок на орбите в выделенной подсистеме с повторными вызовами циклической системы. Задача решается классическим методом «систем с прогулками прибора» [7, 8].

2. Математическая модель и постановка задачи

Рассмотрим циклическую систему с повторными вызовами (RQ-систему) с одним обслуживающим прибором, на вход которой поступает N простейших потоков с интенсивностью λ_n , $n = \overline{1, N}$. Заявки каждого потока формируют свою орбиту неограниченного объема. Будем называть пару n -го потока и соответствующую ему орбиту « n -й RQ-системой», $n = \overline{1, N}$.

Прибор посещает RQ-системы в циклическом порядке, начиная с первой и заканчивая N -ой, потом цикл повторяется. Время подключения прибора к каждой RQ-системе имеет экспоненциальную функцию распределения с параметром α_n , $n = \overline{1, N}$. В течение этого времени прибор обслуживает заявки, которые поступают из n -го входящего потока и соответствующей орбиты, с экспоненциальной функцией распределения с параметрами μ_n , $n = \overline{1, N}$.

Если поступившая заявка входящего потока обнаруживает прибор занятым или не подключенным, она мгновенно уходит на соответствующую орбиту, где осуществляет случайную задержку в течение экспоненциального времени с параметром σ_n , $n = \overline{1, N}$, после которой вновь обращается к прибору.

Если в течение времени подключения прибора к n -ой RQ-системе, в этой системе нет заявок, прибор все равно остается подключенным к системе, пока не истечет время подключения. Методом исследования циклической RQ-системы является метод систем с прогулками прибора.

3. Система с прогулками

Рассмотрим первую RQ-систему в циклической системе как систему с прогулками прибора. Имеем RQ-систему с одним обслуживающим прибором и орбитой. В систему поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ . Прибор обслуживает заявки с экспоненциальной функцией распределения с параметром μ , которые поступают из входящего потока.

Если поступившая заявка из входящего потока обнаруживает прибор занятым, она мгновенно уходит на орбиту, где осуществляет случайную задержку в течение экспоненциального времени с параметром σ , после которой вновь обращается к прибору.

Продолжительность времени подключения прибора к потоку и орбите случайная и определяется экспоненциальной функцией распределения с параметром α_1 .

От момента окончания этого интервала прибор уходит на «прогулку», продолжительность которой складывается из $N - 1$ фаз. Каждая фаза имеет экспоненциальное распределение с параметрами α_v , $v = \overline{2, N}$. Каждая фаза прогулки соответствует времени подключения прибора в циклической системе к RQ-системам с номерами $n = \overline{2, N}$.

Во время прогулки, пришедшие в систему, заявки накапливаются на орбите и ждут, когда прибор вернется на обслуживание. Когда прибор уходит на прогулку, не закончив обслуживание заявки на приборе, то недообслуженная заявка уходит на орбиту.

Обозначим: $i(t)$ - число заявок на орбите в момент времени t ; $k(t)$ - состояние прибора: 0 – прибор свободен, 1 – прибор обслуживает заявку, n – прибор на n -ой фазе прогулки, $n = \overline{2, N}$.

Найдем распределение вероятностей числа заявок на орбите в момент времени t в системе с прогулками прибора, тем самым определим распределение вероятностей числа заявок на орбите в выделенной подсистеме циклической RQ-системы.

Процесс $i(t)$ является немарковским. Рассмотрим двумерный марковский процесс $\{k(t), i(t)\}$, для распределения вероятностей $P_k(i, t) = P(k(t) = k, i(t) = i)$ которого составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова, которую запишем в стационарном режиме:

$$\begin{aligned} & -(\lambda + i\sigma + \alpha_1)P_0(i) + \mu P_1(i) + \alpha_N P_N(i) = 0, \\ & -(\lambda + \mu + \alpha_1)P_1(i) + \lambda P_0(i) + (i + 1)\sigma P_0(i + 1) + \lambda P_1(i - 1) = 0, \\ & -(\lambda + \alpha_2)P_2(i) + \alpha_1 P_1(i - 1) + \alpha_1 P_0(i) + \lambda P_2(i - 1) = 0, \\ & -(\lambda + \alpha_n)P_n(i) + \alpha_{n-1} P_{n-1}(i) + \lambda P_n(i - 1) = 0, n = \overline{3, N}. \end{aligned} \quad (1)$$

Введем частичные характеристические функции:

$$H_n(u) = \sum_{i=0}^{\infty} e^{ju} P_n(i), n = \overline{0, N},$$

Систему уравнений Колмогорова (1) перепишем в виде:

$$\begin{aligned} & -(\lambda + \alpha_1)H_0(u) + j\sigma H_0'(u) + \mu H_1(u) + \alpha_N H_N(u) = 0, \\ & -(\lambda + \mu + \alpha_1)H_1(u) + \lambda H_0(u) - j\sigma e^{-ju} H_0'(u) + \lambda e^{ju} H_1(u) = 0, \\ & -(\lambda + \alpha_2)H_2(u) + \alpha_1 e^{ju} H_1(u) + \alpha_1 H_0(u) + \lambda e^{ju} H_2(u) = 0, \\ & -(\lambda + \alpha_n)H_n(u) + \alpha_{n-1} H_{n-1}(u) + \lambda e^{ju} H_n(u) = 0, n = \overline{3, N}. \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристическая функция $H(u)$ числа заявок на орбите достаточно просто выражается через частичные характеристические функции $H_n(u)$ следующим равенством

$$H(u) = \sum_{n=0}^N H_n(u).$$

Теорема. *Характеристическая функция числа заявок на орбите в RQ-системе с прогулками прибора имеет вид:*

$$H(u) = \frac{H_0(u)}{f_0(u)}, \quad (3)$$

где функция $H_0(u)$ имеет вид

$$H_0(u) = r_0 \exp \left\{ \int_0^u f(x) dx \right\}. \quad (4)$$

Здесь величина

$$r_0 = \left(\sum_{n=1}^N \frac{\alpha_n}{\alpha_n} \right)^{-1} - \frac{\lambda}{\mu}. \quad (5)$$

Функция $f(u)$ имеет вид

$$\begin{aligned} f(u) = \\ = \frac{j}{\sigma} \left[\alpha_N \frac{f_N(u)}{f_0(u)} + \mu \frac{f_1(u)}{f_0(u)} - (\lambda + \alpha_1) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь функции $f_0(u)$, $f_1(u)$ и $f_N(u)$ определяются равенствами

$$\begin{aligned} f_0(u) = \\ = \left[1 - \frac{\lambda}{\mu - (e^{ju} - 1)\lambda} - e^{ju} \frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \lambda(e^{ju} - 1)} \cdot \frac{\lambda}{\mu + \lambda - e^{ju}\lambda} \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \sum_{n=3}^N \prod_{v=3}^n \frac{\alpha_{v-1}}{\alpha_v - \lambda(e^{ju} - 1)} \right] \right] \times \\ \times \left[1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \lambda(e^{ju} - 1)} \cdot \left[1 + \sum_{n=3}^N \prod_{v=3}^n \frac{\alpha_{v-1}}{\alpha_v - \lambda(e^{ju} - 1)} \right] \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$f_1(u) = \frac{\lambda}{\mu - (e^{ju} - 1)\lambda}, \quad (8)$$

$$f_N(u) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \lambda(e^{ju} - 1)} \left(f_0(u) + e^{ju} \frac{\lambda}{\mu + \lambda - e^{ju}\lambda} \right) \times \prod_{v=3}^N \frac{\alpha_{v-1}}{\alpha_v - \lambda(e^{ju} - 1)}. \quad (9)$$

Пронумеруем входящие потоки так, чтобы исследуемая RQ-система имела номер один, положим равными $\lambda = \lambda_1$, $\mu = \mu_1$, тогда полученная допредельная характеристическая функция $H(u)$ определяет число заявок на орбите в первой RQ-системе в исходной циклической системе.

Дискретное распределение вероятностей числа заявок на орбите определяется обратным преобразованием Фурье по переменной u от характеристической функции и имеет вид

$$P(i) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-jui} H(u) du. \quad (10)$$

4. Численный пример

Обозначим загрузку системы ρ , тогда интенсивность λ входящего потока определяется следующей формулой

$$\lambda = \rho\mu \frac{\alpha_1^{-1}}{\sum_{n=1}^N \alpha_n^{-1}}.$$

Пусть $N = 10$, $\alpha_n = n$, $n = \overline{1, N}$, $\mu_1 = 1$, $\rho = 0.8$, $\lambda = 0.27$.

Для предложенных параметров циклической RQ-системы получим графики дискретного распределения вероятностей для числа заявок на орбите в одной выделенной RQ-системе.

5. Заключение

В данной работе ставилась задача исследования математической модели циклической сети связи множественного доступа, на вход которой поступает N простейших потоков заявок. Было получено распределение вероятностей числа

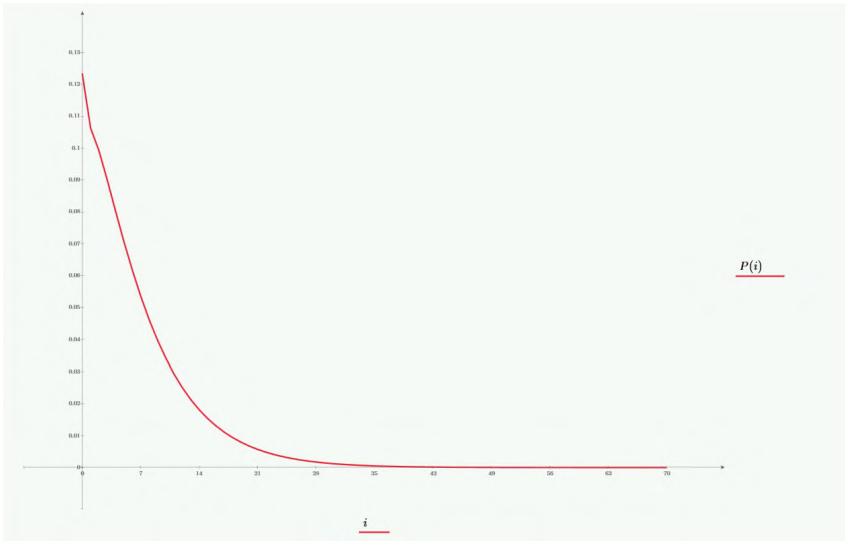


Рис. 1. Распределение вероятностей числа заявок на орбите при $\sigma = 5$

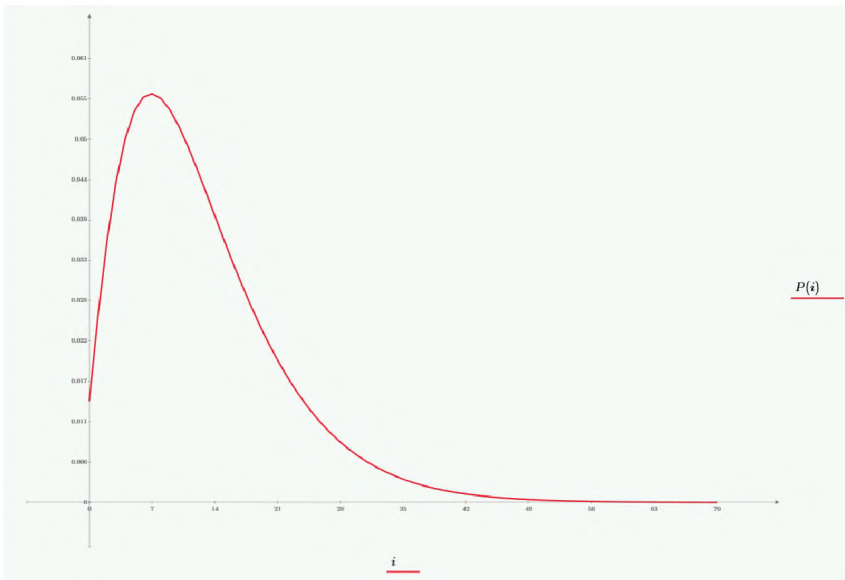


Рис. 2. Распределение вероятностей числа заявок на орбите при $\sigma = 1$

заявок на орбите в выделенной подсистеме с повторными вызовами в циклической системе.

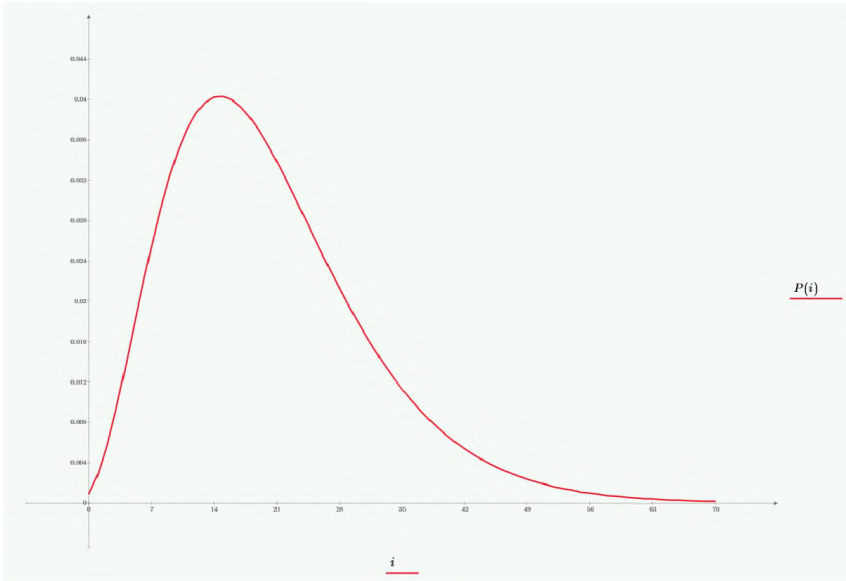


Рис. 3. Распределение вероятностей числа заявок на орбите при $\sigma = 0.5$

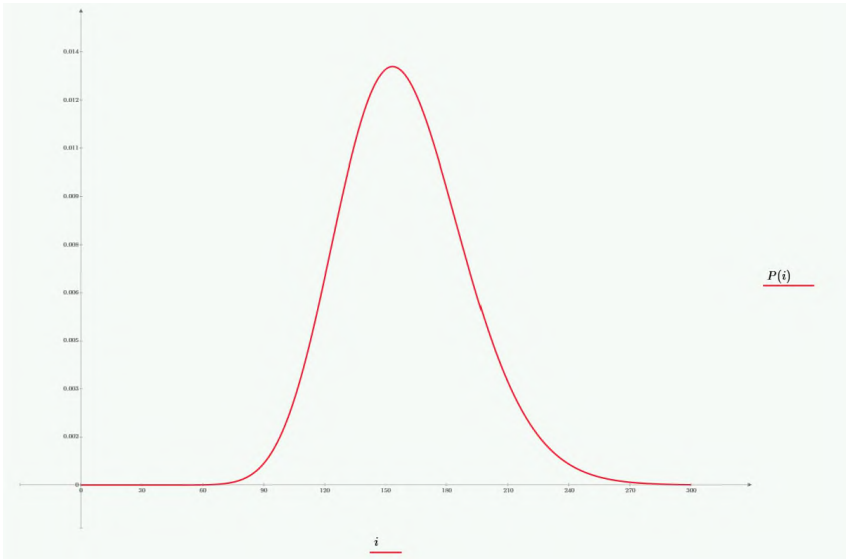


Рис. 4. Распределение вероятностей числа заявок на орбите при $\sigma = 0.05$

Задача решена классическим методом «систем с прогулками прибора».

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Вишнеvский, О. В. Семенова, Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях. М.: Техносфера, 2007. 312 с., Информационные технологии и вычислительные системы (1) (2008) 98–99.
2. В. М. Вишнеvский, О. В. Семенова, Математические методы исследования систем поллинга, Автоматика и телемеханика (2) (2006) 3–56.
3. J. R. Artalejo, Accessible bibliography on retrial queues: progress in 2000–2009, Mathematical and computer modelling 51 (9-10) (2010) 1071–1081.
4. J. R. Artalejo, A classified bibliography of research on retrial queues: progress in 1990–1999, Top 7 (2) (1999) 187–211.
5. J. R. Artalejo, A. Gómez-Corral, Retrial queueing systems, Vol. 30, Springer, 1999.
6. J. R. Artalejo, Algorithmic Methods in Retrial Queues, Vol. 141, Springer, 2006.
7. A. Nazarov, S. Paul, A cyclic queueing system with priority customers and t-strategy of service, Communications in Computer and Information Science 678 (2016) 182–193.
8. A. Nazarov, S. Paul, A number of customers in the system with server vacations, Communications in Computer and Information Science 601 (2015) 334–343.

Номер госрегистрации 0322002892 в НТЦ «Информрегистр».

Научное электронное издание

**Распределенные компьютерные и
телекоммуникационные сети: управление,
вычисление, связь (DCCN-2020)**

МАТЕРИАЛЫ XXIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(14–18 СЕНТЯБРЯ 2020 г., МОСКВА)

Под общей редакцией д.т.н. В.М. Вишневецкого, д.т.н. К.Е. Самуйлова

Составитель: к.ф.-м.н. Козырев Дмитрий Владимирович

Локальное электронное издание
Номер госрегистрации 0322002892 в НТЦ «Информрегистр»

Мин. системные требования:
Pentium 4, Internet Explorer, Acrobat reader 4.0 и выше

Дата подписания к использованию: 01.09.2020
1 электронно-оптический диск (CD-R), 44,9 Мб, Тираж 210 экз.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук
117997, Россия, Москва,
ул. Профсоюзная, д. 65
www.ipu.ru