НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
им. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2020)

МАТЕРИАЛЫ
XIX Международной конференции
имени А. Ф. Терпугова
2–5 декабря 2020 г.

ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2021

УДК 519
ББК 22.17
И74

И74 Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2020): Материалы XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова (2–5 декабря 2020 г.). – Томск: Изд-во НТЛ, 2021. – 498 с.

ISBN 978-5-89503-647-1

Сборник содержит избранные материалы XIX Международной конференции имени А.Ф. Терпугова по следующим направлениям: теория массового обслуживания и ее приложения, интеллектуальный анализ данных и визуализация, информационные технологии и программная инженерия, математическое и компьютерное моделирование технологических процессов.

Для специалистов в области информационных технологий и математического моделирования.

УДК 519
ББК 22.17

Редколлегия:

А.А. Назаров, доктор технических наук, профессор,
С.П. Моисеева, доктор физико-математических наук, профессор,
А.Н. Моисеев, доктор физико-математических наук, доцент,
М.П. Фархадов, доктор технических наук, профессор,
Е.Ю. Лисовская, кандидат физико-математических наук.

Конференция проведена при поддержке
международного научно-методического центра
Томского государственного университета по математике,
информатике и цифровым технологиям в рамках
федерального проекта «Кадры для цифровой экономики»
национальной программы
«Цифровая экономика в Российской Федерации»

ISBN 978-5-89503-647-1

© Авторы. Текст, 2021
© ООО «Издательство НТЛ».
Оформление. Дизайн, 2021

О представлении прогресса проекта по разработке программного обеспечения в форме динамической байесовской сети

Денис Змеев, Лидия Иванова, Руфина Рафикова

Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлен способ описания прогресса проекта по разработке программного обеспечения с использованием динамической Байесовской сети на основе Essence Kernel [1]. Несмотря на существование работ, которые рассматривают применение различных статистических подходов к управлению проектами [2, 3], большинство из них используют только высокоуровневое описание проектного управления, не погружаясь в детали и особенности, критические для отраслей, в которых протекает проект. При этом проекты по разработке программного обеспечения в частности и программная инженерия в целом обладают рядом специфических особенностей, которые делают общие приемы и методы малоприменимыми и неэффективными, что наглядно показано в [4]. Фактически для того, чтобы применять к проектам по разработке программного обеспечения прикладные математические подходы, необходимо получить иной, не общий, способ их представления и фиксации.

Alpha Essence

ALPHa (Abstract Level Project Health – абстрактный уровень здоровья проекта) позволяет оценивать прогресс, который проектная команда достигла в процессе выполнения проекта по разработке программного обеспечения, что достигается за счет нескольких особенностей, которые отличительны для ALPHa-карточек. Рассмотрим их на примере (рис. 1).

Согласно авторам Essence Kernel, в любом проекте по разработке программного обеспечения ровно 7 ALPHa: стейкхолдеры, возможности, требования, программная система, способ работы, команда и работа. Для каждой из этих основных ALPHa определена собственная последовательность состояний. Каждое состояние определяется через набор утверждений, которые либо истинны, либо ложны для текущего проекта. На рис. 1 представлен пример состояния «Узнаны» для ALPHa «Стейкхолдеры» с 3 утверждениями.

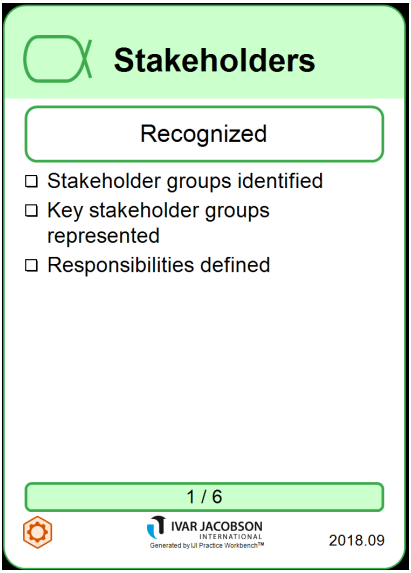

Рис. 1. ALPHa-карта Stakeholders «Recognized» на языке Essence

Применяя ALPHa-карточки, проектная команда может оценивать свое текущее состояние, используя простые логические высказывания и оценивая значения их истинности для каждого момента времени. Для основных 7 ALPHa существует всего 204 различных утверждения, что фактически позволяет представлять состояние проекта битовой строкой из 204 элементов, где каждая строка определяется в зависимости от моментов времени. В результате, такое представление проекта позволяет описывать его прогресс, с учетом специфики, накладываемой программной инженерией, и в результате применять различные прикладные методы для обработки. Существует подход, который называется ALPHa-покером [5], позволяющий команде проекта регулярно оценивать прогресс и планировать следующую итерацию на основе выполненных или невыполненных утверждений, представленных на ALPHa-карточках.

Представление Alpha-покера в форме динамической байесовской сети

Фактически, получив состояние проекта в форме битовой строки в зависимости от измеряемых моментов времени, авторами был выбран прикладной метод анализа при помощи динамической байесовской сети. С одной стороны, такой подход позволяет учитывать зависимость состояния проекта от времени. С другой стороны, применять дополнительные вычислительные алгоритмы для анализа состояния проекта и его прогресса. В рамках данной работы рассмотрим только критичные особенности подобного представления.

Первоначально для представления прогресса проекта через ALPHa-покер и динамическую байесовскую сеть необходимо зафиксировать способ представления отдельных утверждений, используемых на ALPHa-карточках. В качестве результата получилась конструкция, представленная на рис. 2.

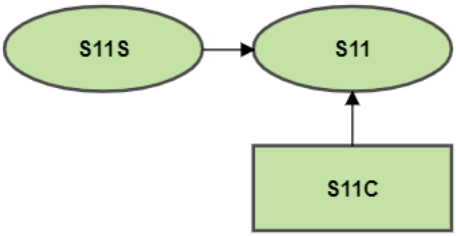

Рис. 2. Представление утверждения № 1 «Stakeholders groups identified» ALPHa -карты Stakeholders «Recognized»

Поскольку динамическая байесовская сеть относится к скрытым цепям Маркова, то было необходимо зафиксировать наблюдаемые и скрытые узлы. В качестве наблюдаемого узла выступает узел S11C, который является представлением утверждения «Stakeholders groups identified» состояния «Recognized» для ALPHa «Stakeholders». Значение истинности S11C мы узнаём напрямую у команды, фиксируя её мнение об этом утверждении для своего проекта. Рассмотрим узел S11, он является скрытым узлом и описывает состояния проекта на самом деле (то есть подлинное значение истинности этого утверждения). Знание значения узла S11 позволяет оценить, с какой вероятностью команда совершает ошибки 1-го рода (команда считает, что это утверждение истинно, но на самом деле это не так, таким образом, команда из-за чрез-

мерной уверенности создает себе риск) или 2-го рода (команда считает, что утверждение ложно, хотя на самом деле это не так, таким образом, команда попадает в паралич аналитики, пытаясь зафиксировать несуществующую информацию для проекта). Так как узел S11 является скрытым, то его значение мы можем только оценить на основании состояний S11C и S11S. Узел же S11S выделен для того, чтобы фиксировать динамический аспект байесовской сети. Во время анализа первого наблюдаемого момента времени в проекте узел S11S будет содержать и определять в себе изначальную функцию распределения вероятности для утверждения S11. Если же состояние проекта оценивается уже не первый раз, то узел S11S будет позволять учитывать влияние предыдущего значения узла S11 на последующее в моментах времени.

Используя описанный выше прием, можно представлять динамическую байесовскую сеть для отдельных состояний ALPHa (пример представлен на рис. 3).

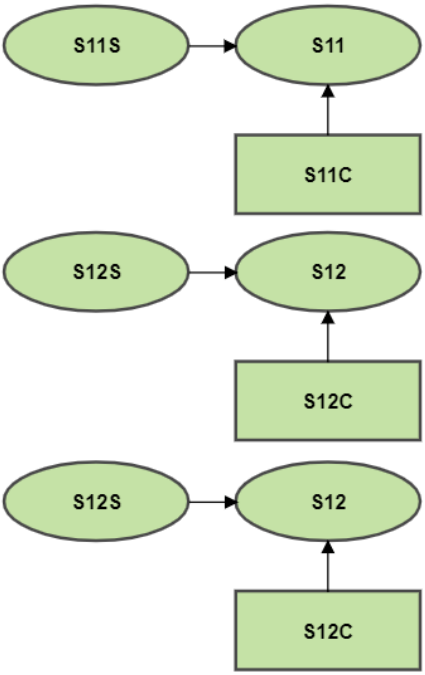

Рис. 3. ALPHa -карта Stakeholders «Recognized
в виде графа

Согласно логике Essence, различные состояния различных ALPHa-карт связаны последовательно через элемент языка, который называется пространством действий. С точки зрения семантики это означает, что утверждения из более ранних состояний ALPHa являются условиями для последующих. Это позволяет построить цепочку последовательных влияний различных утверждений друг на друга (пример на рис. 4).

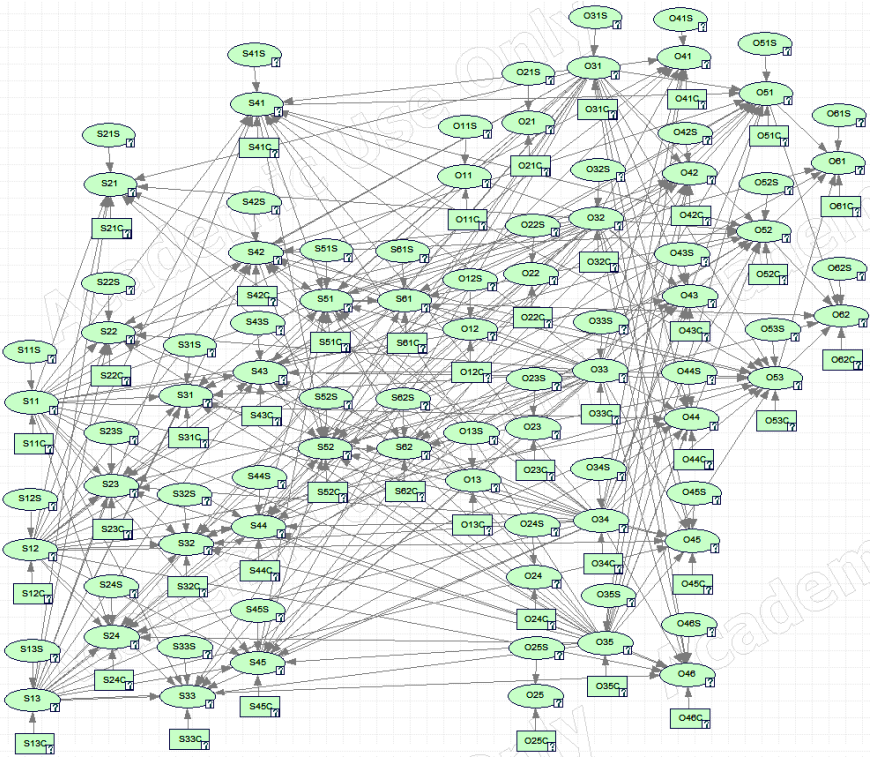

Рис. 4. ALPHa -карты Stakeholders и Opportunity
в виде графа со связями зависимостей

После разработки графа для всех ALPHa-карт, следующий шаг – определение значений вероятностей всех переходов в динамической байесовской сети. Для каждой скрытой вершины вероятности всех переходов в неё трансформируются в вероятностный вектор, каждый элемент которого фиксирует вероятность целевого узла принять истинное зна-

чение при условии различных значений истинности вершин, влияющих на целевую. Сформировав динамическую байесовскую сеть для всех ALPHa со всеми состояниями, утверждениями и связями, которые непосредственно следуют из Essence Kernel, была получена следующая сеть (рис. 5):

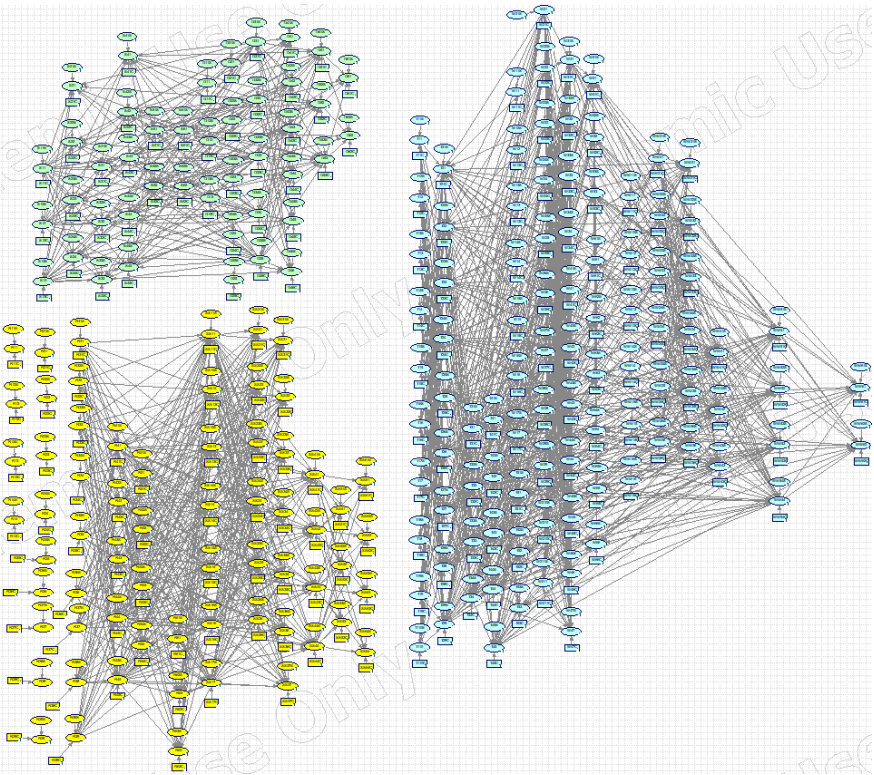

Рис. 5. Представление всех утверждений представленных на ALPHa-картах со всеми связями указанных в Essence Kernel

Подобная сеть, с одной стороны, максимально полна с точки зрения связей зафиксированных в стандарте языка Essence. С другой стороны, объем предполагаемых связей делает применение прикладных методов крайне затруднительным, так как для некоторых утверждений для ALPHa «Work» число влияющих на них вершин составляет 32, что вынуждает проанализировать и составить вектор из 4 294 967 296 (2^{32}) ве-

роятностей, что приводит к очень трудоёмким вычислительным операциям, которые практически мало осуществимы.

Заключение

Использование ALPHa-карт и связанных с ними утверждений позволяет получить более структурированную картину происходящего в проекте. С одной стороны, она является достаточно абстрактной, чтобы на ней можно было производить прикладные расчеты и разрабатывать новый класс методов для управления проектами по программной инженерии. С другой стороны, данные методы должны позволять работать с большим количеством связанных элементов и учитывать внутренние связи между утверждениям. В дальнейших планах авторов реструктурировать полученную байесовскую сеть до объемов, которые позволили бы с ней проводить различные вычисления и эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Essence* – Kernel and Language for Software Engineering Methods Version 1.2. URL: http://semat.org/documents/20181/57862/formal-18-10-02.pdf/866c80c0-cdc8-488b-bcf8-0c67cb60b5d7 [дата обращения: 14.11.2020].
2. *Sajad Soltan*, *Maryam Ashrafi.* Predicting project duration and cost, and selecting the best action plan using statistical methods for earned value management // Journal of Project Management. V. 5. 2020. P. 157–166.
3. *Sackey S.*, *Lee D.*, *Kim B.* Duration estimate at completion: Improving earned value management forecasting accuracy // KSCE Journal of Civil Engineering. 2020. V. 24. Iss. 3.
4. *National* Research Council and National Research Coun. 1996. Statistical Software Engineering. National Academy Press, USA.
5. *Progress* Poker Flyer. URL: https://essence.ivarjacobson.com/publications/brochures/progress-poker-flyer [дата обращения 01.12.20].

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

QUEUING THEORY AND APPLICATION

Yves Adou, Ekaterina Markova. To queueing system model performance measures analysis under network slicing 5
Kirill Ageev, Eduard Sopin. Analysis of the simplified network slicing model 11
Anilkumar M.P., K.P. Jose. An eigen value approach to a discrete-time queueing model with *N*-policy on two modes of service 17
P. Beena, K.P. Jose. A MAP/PH(1), PH(2)/2 inventory system with production, multiple servers and vacations 24
Anastasia Daraseliya, Eduard Sopin. Optimization of task offloading thresholds in the fog computing system 31
Dhanya Babu, Varghese. C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. A queueing system with probabilistic joining strategy for priority customers 37
Elmira Kalimulina. On convergence of queuing network with changing structure to stationary distribution 43
Maksim Korshikov, Eduard Sopin. Analysis of the processor sharing systems with random serving rate coefficients 46
Achyutha Krishnamoorthy, Varghese C. Joshua, Ambily P. Mathew. A reliability problem with Interdependent Lifetimes 52
Eugene Lebedev, Vadim Ponomarov, Oksana Pryshchepa. The exact formulas for state-dependent Markov retrial queues 58
Eugene Lebedev, Hanna Livinska. Gaussian approximation and reducing of dimension for a general-type multichannel network 64
Khamis Abdullah Khamis AL Maqbali, Varghese C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. On A single server queueing inventory system with common life time for inventoried items 70
Agassi Melikov[1], V. Divya, Sevinc Aliyeva. Analyses of feedback queue with positive server setup time and impatient calls 77
Faina Moskaleva, Ekaterina Lisovskaya, Yuliya Gaidamaka. A two-class service system for performance analysis of network slicing with QoS Isolation 82

Anatoly Nazarov, Tuan Phung-Duc, Yana Izmailova. Asymptotic-diffusion analysis of multiserver retrial queueing system with priority customers 88
Anatoly Nazarov, Tuan Phung-Duc, Svetlana Paul, Olga Lizyura, Ksenia Shulgina. Asymptotic analysis of Markovian retrial queue with unreliable server and two-way communication under low rate of retrials condition 99
Anatoly Nazarov, Maria Samorodova. Asymptotic waiting time analysis of a M/M/1 retrial queueing system 105
Hamza Nemouchi, Mohamed Hedi Zaghouani, János Sztrik. Simulation analysis in cognitive radio networks with unreliability and abandonment 110
Nisha Mathew, Varghese Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. On a MMAP/(PH,PH)/1/(∞,N) queueing-inventory system 115
K.R. Ranjith, Achyutha Krishnamoorthy, B. Gopakumar. Analysis of a PH/PH/1 queue with interdependence 122
Stepan Rogozin, Evsey Morozov. Stability condition of a modified Erlang loss system with different service rates 126
Sandhya E., C. Sreenivasan, Sajeev S. Nair. An explicit solution for an inventory model with positive lead time and backlogs 131
Smija Skaria, Sajeev S. Nair. Transient analysis of an inventory model with instantaneous replenishment and catastrophes 138
János Sztrik, Ádám Tóth, Elena Danilyuk, Svetlana Moiseeva. Simulation of retrial queueing system M/G/1 with impatient customers, collisions and unreliable server 145
János Sztrik, Ádám Tóth. Some special features of finite-source retrial queues with collisions, an unreliable server and impatient customers in the orbit 152
Алексей Благинин, Иван Лапатин, Анатолий Назаров. Исследование двумерного выходящего потока марковской модели узла обработки запросов с повторными обращениями и вызываемыми заявками 159
Анна Бояркина, Светлана Моисеева, Ирина Туренова, Алексей Шкуркин. СМО вида $GI^{(K)}/GI/\infty$ с групповым обслуживанием 166
Татьяна Бушкова, Анастасия Галилейская Екатерина Лисовская, Светлана Моисеева. Асимптотический анализ ресурсной гетерогенной СМО $(MMPP+2M)^{(v)}/M/\infty$ 172
Константин Вытовтов, Елизавета Барабанова, Владимир Вишневский. Аналитический метод анализа случайных процессов с

непрерывным временем и дискренными состояниями при времязависимых вероятностях переходов 178
Максим Жарков, Михаил Павидис. Об использовании четырехфазных систем массового обслуживания для описания работы грузовых и сортировочных железнодорожных станций 184
Владимир Задорожный, Татьяна Захаренкова. Метод бесконечных разметок в системах с неизвестным временем обслуживания поступающих заявок 188
Владимир Задорожный, Микеле Пагано, Татьяна Захаренкова. Применение метода бесконечных разметок к сетям с коммутацией пакетов 194
Андрей Зорин, Ксения Сизова. Метод решения стационарных уравнений для процесса приоритетного обслуживания с разделением времени в случайной среде 200
Валентина Клименок, Александр Дудин, Иван Ванькович. Стационарные характеристики системы массового обслуживания с повторными вызовами и поиском на орбите 205
Дмитрий Копать, Михаил Маталыцкий. Анализ ожидаемого дохода в открытой сети с ограниченным числом заявок и обходами ими систем обслуживания 211
Анатолий Назаров, Екатерина Павлова. Исследование СМО вида MMPP|M|N с обратной связью методом асимптотически диффузионного анализа 217
Анатолий Назаров, Светлана Рожкова, Екатерина Титаренко. Исследование системы с обратной связью, рекуррентным обслуживанием и неординарным пуассоновским входящим потоком 223
Анна Полховская, Ольга Бобкова, Светлана Моисеева. Ресурсная RQ-система с коллизиями 228
Павел Приступа, Павел Михеев, Сергей Сущенко. Прямая коррекция ошибок на внутрисегментном уровне транспортного протокола 232
Екатерина Пройдакова, Виктория Санникова. Математическое моделирование и исследование приоритетной управляющей системы с непостоянной интенсивностью обслуживания требований 238
Светлана Рожкова, Наталья Воронина, Александра Семашко. Исследование RQ-системы M/M/1 с ненадежным прибором асимптотическим и матричным методами 244

Елена Станкевич, Игорь Тананко. Метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с системами типа $M_a/M^{[x,y]}/1$ 251
Елена Станкевич, Игорь Тананко. Приближенный метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с ненадежными системами и групповым обслуживанием 255
Гурами Цициашвили, Анатолий Назаров, Александр Моисеев. Асимптотическая оценка интенсивности сборки пуассоновских потоков 258

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SOFTWARE ENGINEERING

Marat Gainutdinov, Aleksey Shkurkin, Anastasia Pichugina. Development of back-end of the service for internationalization of web-applications..... 265
Алексей Бабанов, Елена Квач. «IS-A»-отношение, как способ представления взаимосвязи обобщенных и специализированных понятий 271
Людмила Демиденко. Проектирование базовой архитектуры модуля «Расписание» системы Alterum Med..... 278
Игорь Жуков, Юрий Костюк. Программная реализация заданий по программированию с многовариантными решениями 285
Денис Змеев, Лидия Иванова, Руфина Рафикова. О представлении прогресса проекта по разработке программного обеспечения в форме динамической байесовской сети 291
Олег Змеев, Юлия Протасевич, Данила Соколов. Поддержка настраиваемых типов проектов в системе автоматизации управления Git-репозиториями для использования в процессе обучения..... 298
Татьяна Кетова, Евгения Соколова. Формальная модель образовательной программы в области компьютерных наук с точки зрения международного стандарта ACM и IEEE 303
Яна Куликова, Дмитрий Качалов, Маис Паша Оглы Фархадов. Сценарии управления беспилотными транспортными средствами в среде «Умного города»..... 308
Яна Лебедева, Вячеслав Вавилов. Разработка системы автоматизации процессов обращения кассовой техники в банковской организации 314

Евгений Полин, Александр Моисеев, Константин Войтиков. Имитационное моделирование СМО с входящими потоками, параметры которых зависят от состояния системы 320
Вадим Тренькаев. Обзор исследований по проблеме достижения высокой производительности протокола OPC UA 324

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Mary Michel Begre, Warren Kassy Dougg Feussi, Shakhmurad Kanzitdinov, Sergey Vasilyev. Stability analysis and motion of the Kapitsa pendulum 330
Mohamed Adel Bouatta, Irina Kolosova, Evgeniya Korshok, Darya Vasilyeva. Kadyshevsky equation numerical analysis with periodic boundary conditions on adaptive grids 336
Jozil Takhirov. A reaction-diffusion-advection competition model with a free boundary 339
Sergey Pichugin. Problem definition for LEO system switching technique development 345
Анжела Абдразакова, Татьяна Булгакова, Антон Войтишек. Об особенностях выбора ортонормированных систем функций в рандомизированных численных проекционных функциональных алгоритмах 350
Даниэль Перес Акоста, Сергей Васильев, Шахмурад Канзитдинов, Игорь Левичев. Построение решений задач оптимального управления динамическими системами в бесконечномерных пространствах с малым параметром 356
Антон Войтишек, Ярослав Постовалов, Данил Черкашин. Система численного моделирования одномерных случайных величин NMPUD: формирование банка плотностей, автоматизация математических выкладок и приложения 363
Мохамед Адель Буатта, Сергей Васильев, Вячеслав Федорченко. Численный анализ на адаптивных сетках многомерного уравнения Фоккера – Планка с малым параметром 369
Никита Беляков, Рустам Бикмурзин, Дмитрий Федченко. Об использовании конечных автоматов при моделировании наноструктур 373

Ирина Гендрина. Использование метода фиктивных переменных для исследования пространственной характеристики систем видения через атмосферу 377
Антон Есин. Исследование принципов применения моделей многозначной логики в современных приложениях 383
Антон Есин. Теоретические аспекты построения современных систем управления на базе многозначной логики 389
Вячеслав Кувыкин, Максим Брюханов. Математическое и компьютерное моделирование системы согласования материального баланса в нефтепереработке и нефтехимии 394
Вячеслав Кувыкин, АртемКолпаков, Елена Колпакова. Параметрический анализ математических моделей оптимального планирования нефтепереработки и компьютерное моделирование..... 398
Ольга Кузоватова. Компьютерное моделирование локализации деформации сыпучей среды в сходящемся канале 403
Мария Шкленник, Александр Моисеев. Реализация механизма сбора и обработки статистических данных потоков заявок в системе имитационного моделирования ODIS..... 409

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

INTELLIGENT DATA ANALYSIS AND VISUALIZATION

Alyona Borisovskaya. Methods of spelling correction in information retrieval systems 414
Ivan Brokarev, Mais Farkhadov, Sergey Vaskovskii. Recurrent neural networks to analyze the quality of natural gas 419
Ivan Brokarev, Sergey Vaskovskii. Analysis of reliability of gas analysis system based on vector Wiener process 423
Victoria Shamraeva. Analysis of business processes of construction and operation of highways on a toll basis using BIM tools..... 429
Ирина Баранова. Применение метода двудольных множеств событий в задачах регрессионного анализа многомерных разнотипных данных 441
Инна Батраева, Александра Крючкова. Алгоритм репрезентации кастомизированных диалектологических корпусов для Саратовского диалектологического корпуса русского языка 447
Светлана Гагарина, Юрий Гагарин. Прогнозирование частных показателей индекса активного долголетия 450

Степан Гилин. Решение задачи распознавания образов при помощи алгоритма гибридной СММ-нейросети 454
Валерий Голышев, Дарья Семенова. Нечёткий анализ формальных понятий: метод α-сечения 462
Эллада Ибрагимова, Дарья Семенова. Распознавание *k*-кластеризуемости знаковых графов 468
Анна Ивлева, Сергей Смирнов. Первичный концептуальный анализ сестринского дела для экспертной советующей системы 473
Александр Солдатенко, Дарья Семенова. Алгоритм HGFC нахождения формальных понятий 478

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 483

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2020)

МАТЕРИАЛЫ XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова 2–5 декабря 2020 г.

Редактор *Т.С. Портнова*

Дизайн, верстка *Д.В. Фортеса*

ООО «Издательство научно-технической литературы»
634034, г. Томск, ул. Студенческая, 4, тел. (3822) 53-10-35

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 24.02.2021.
Формат 60 × 84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 28.95. Уч.-изд. л. 32.42. Тираж 100 экз. Заказ № 4.