



Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
им. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2018)

**МАТЕРИАЛЫ
XVII Международной конференции
имени А. Ф. Терпугова
10–15 сентября 2018 г.**



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2018

УДК 519
ББК 22.17
И74

И74 Информационные технологии и математическое моделирование
(ИТММ-2018): Материалы XVII Международной конференции
имени А.Ф. Терпугова (10–15 сентября 2018 г.). – Томск: Изд-во
НТЛ, 2018. – 442 с.

ISBN 978-5-89503-621-1

Сборник содержит материалы докладов, в которых отражены основные
направления XVII Международной конференции имени А.Ф. Терпугова:
прикладной вероятностный анализ, теория массового обслуживания и теория
телетрафика, интеллектуальный анализ данных, информационные техноло-
гии и математическое моделирование.

Для специалистов в области информационных технологий и математиче-
ского моделирования.

УДК 519
ББК 22.17

Редакция:

С.П. Моисеева, доктор физико-математических наук, доцент,
А.А. Назаров, доктор технических наук, профессор.

*Конференция проводится при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(проект № 18-07-20048-2)*

ISBN 978-5-89503-621-1

© Авторы. Текст, 2018
© Оформление. Дизайн.
ООО «Издательство НТЛ», 2018

Распознавание трехмерных объектов на местности по данным лазерного сканирования

Ю.Л. Костюк, М.И. Литовченко, А.А. Смирнова

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

В настоящее время в архитектуре, строительстве, дорожной отрасли широко применяются инструменты мобильного лазерного сканирования, позволяющие получать координаты объектов на местности. Показания встроенных в систему лазерного сканирования приборов записываются и в последующем обрабатываются специальной программой, например программой IndorCloud [1]. Результатом является облако точек – набор координат точек отражения лазерного луча от поверхностей объектов. Количество точек в облаке может достигать многих миллионов при погрешности измерений в 1–2 см для относительно небольших участков местности.

Примером программных продуктов для работы с данными лазерного сканирования (облаками точек) могут служить системы TerraScan [2] и VisionLidar [3]. Они позволяют классифицировать точки с помощью алгоритмов фильтрации, параметры для которых необходимо задавать вручную. Выделенные при этом группы точек требуют дальнейшей обработки для распознавания трёхмерных моделей объектов, которая чаще всего невозможна без вмешательства человека.

Известны различные алгоритмы распознавания и классификации объектов трехмерного облака. В работах [4, 5] в алгоритмах используется предварительно построенная плоская триангуляция. Многие алгоритмы основаны на обобщенном преобразовании Хафа [6], которое вначале использовалось для обнаружения объектов на плоскости. В работе [7] это преобразование применено для обнаружения 3D-объектов с произвольными формами, в работе [8] – множество алгоритмов распознавания 3D-объектов различных типов, а в работе [9] – для обнаружения линий в трехмерном облаке точек. В работе [10] рассматриваются различные способы повышения эффективности таких алгоритмов распознавания.

Основная проблема использования в алгоритмах распознавания обобщенного преобразования Хафа – его высокая трудоёмкость, которая тем выше, чем сложнее распознаваемые объекты. Поэтому актуальной является задача разработки более эффективных алгоритмов распознавания объектов различных типов.

Клеточное разбиение облака точек

Для облегчения процесса фильтрации, когда облако точек получено для совокупности объектов с большой протяженностью по координатам X и Y и небольшой – по Z , точки целесообразно разделить по квадратным клеткам в плоскости XOY . Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- 1) вычислить минимальные (X_{\min} , Y_{\min} , Z_{\min}) и максимальные (X_{\max} , Y_{\max} , Z_{\max}) координаты облака точек;
- 2) вычислить количество клеток k_x по координате X и количество клеток k_y по координате Y :

$$k_x = \lceil (X_{\max} - X_{\min}) / d \rceil, k_y = \lceil (Y_{\max} - Y_{\min}) / d \rceil,$$

где d – размер клетки;

- 3) создать двумерный массив U указателей на будущие списки, размеры массива k_y строк и k_x столбцов;
- 4) для каждой точки облака из координат (X_i , Y_i , Z_i) вычесть соответственно минимальные координаты (X_{\min} , Y_{\min} , Z_{\min});
- 5) для каждой точки облака координаты (X_i , Y_i) разделить на d , получив соответственно номер строки p и номер столбца q для элемента массива U_{pq} , и присоединить эту точку к соответствующему списку, корректируя при этом минимальное $Z_{\min pq}$ и максимальное $Z_{\max pq}$ значение координаты Z для этого списка.

Затем всё пространство, занимаемое облаком точек, разделим на виртуальные слои высотой d_z , количество слоёв k_z :

$$k_z = \lceil (Z_{\max} - Z_{\min}) / d \rceil.$$

Для каждого списка точек, адресуемого элементом массива U_{pq} , создадим массив вокселей, т.е. слоёв, привязанных к горизонтальной клетке. Количество элементов массива определяется количеством вокселей, занимаемых этим списком точек. Список точек упорядочим по возрастанию координаты Z , после чего отслеживаем точки, попавшие в отдельные воксели, подсчитываем количество точек для каждого вокселя и создаём ссылку на группу элементов списка точек вокселя. Кроме того, для каждого вокселя вычисляем средние координаты точек по X , Y и Z . Количество точек, ссылку и средние координаты точек запоминаем в соответствующем элементе массива вокселей.

Размеры клеток d и высоту виртуальных слоёв d_z следует выбирать так, чтобы среднее количество точек во всех вокселях было около 10.

Построение модели подстилающей поверхности

Точки в облаке, отражённые от поверхности земли, имеют наименьшие координаты Z . Если поверхность земли строго горизонтальная, то эти точки легко выделить, как попавшие в воксели нулевого виртуального слоя. Если же поверхность образует сложный рельеф с перепадами высот, то процесс выделения может быть следующим:

1) создать и обнулить двумерный массив B признаков для клеток разбиения, размеры массива k_y строк и k_x столбцов;

2) просмотреть последовательно все клетки разбиения; клетку, в которой есть воксель из нулевого виртуального слоя, пометить признаком в массиве B , номер клетки поместить в очередь;

3) просмотреть последовательно созданную очередь номеров клеток; для каждой клетки очереди просмотреть 8 окружающих её соседних клеток и для каждой из них проверить:

– если клетка помечена признаком в массиве B , то её пропустить;

– иначе, если в клетке есть воксель нижнего слоя, уровень которого не больше чем на 1 уровня центральной клетки, то эту клетку пометить признаком в массиве B , а номер клетки поместить в конец очереди;

– иначе клетку пропустить;

4) ещё раз просмотреть созданную очередь номеров клеток; для каждой клетки точки из вокселя нижнего слоя поместить в массив точек P ;

5) по точкам массива P построить триангуляцию в горизонтальной плоскости, аналогично тому, как это описано в [5];

6) просмотреть граничные треугольники построенной триангуляции и удалить те из них, у которых есть рёбра длиннее, например, $3d$.

Полученная триангуляция с добавленными координатами Z точек будет представлять модель подстилающей поверхности. Точки, вошедшие в эту модель, следует исключить для дальнейшего распознавания.

Распознавание одиночных высоких объектов

Распознавание таких объектов, как столбы или отдельно стоящие деревья, можно начинать с вокселями верхних слоёв:

1) обнулить двумерный массив B_2 признаков для клеток разбиения;

2) просматривать последовательно все клетки разбиения; клетку U_{pq} , в которой есть воксель из верхнего (l -го) виртуального слоя, у соседних клеток которой воксели из верхнего слоя не превышают l , и, кроме того,

воксель из нижнего виртуального слоя клетки U_{pq} был отнесён к поверхности земли, пометить признаком в массиве $B2$, номер клетки поместить в очередь;

3) просмотреть последовательно созданную очередь номеров клеток; для каждой клетки очереди просмотреть 8 окружающих её соседних клеток и для каждой из них проверить:

- если клетка помечена признаком в массиве $B2$, то её пропустить;
- иначе, если в клетке есть воксель того слоя l , то клетку пометить признаком в массиве $B2$, а номер клетки поместить в конец очереди;
- иначе клетку пропустить;

4) ещё раз просмотреть созданную очередь номеров клеток; для каждой клетки точки из вокселя слоя l поместить в массив точек P ;

5) по точкам массива P построить границу объекта – «почти» выпуклую оболочку в горизонтальной плоскости в слое l ;

6) если слой l выше поверхности земли, то $l = l - 1$, и перейти к п. 3.

В результате будет создана модель объекта в виде совокупности граничных слоёв, как показано на рис. 1. После этого можно продолжить просмотр клеток разбиения в соответствии с п. 2.

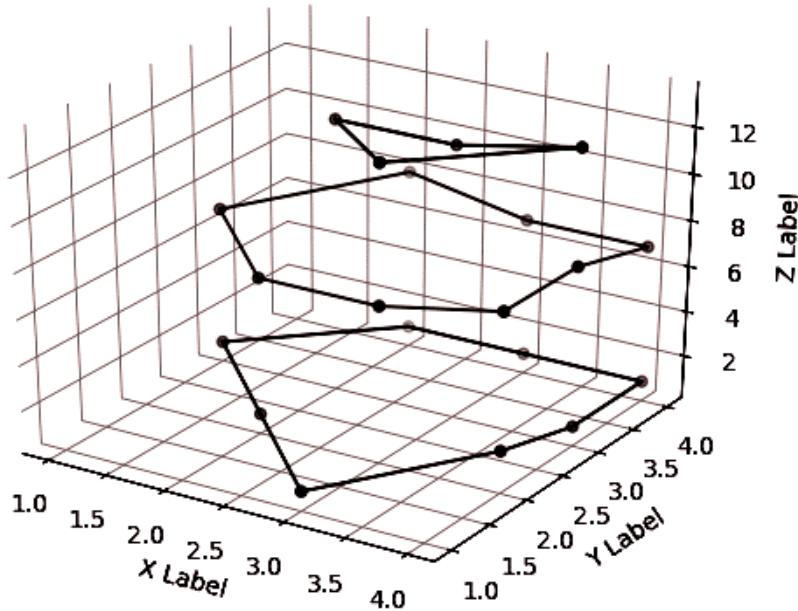


Рис. 1. Граничные слои одиночного высокого объекта

Распознавание горизонтальных плоских граней объектов

Горизонтальные плоскости задаются одним параметром – высотой Z , поэтому применение обобщенного преобразования Хафа для их распознавания весьма эффективно. В целом действия по распознаванию могут быть следующими:

- 1) создать и обнулить аккумуляторный массив A из k_z элементов, для каждого слоя по Z – отдельный элемент;
- 2) просматривать последовательно все клетки разбиения; для каждой клетки цикл по элементам массива voxелей, количество точек voxеля добавить к соответствующему элементу массива A .
- 3) просматривать элементы массива A для поиска номера i элемента с максимальным значением;
- 4) обнулить двумерный массив $B3$ признаков для клеток разбиения;
- 5) просматривать последовательно все клетки разбиения; клетку, у которой есть voxель уровня i , пометить признаком в массиве $B3$;
- 6) выделить в массиве $B3$ все связные области из помеченных клеток; для каждой такой области для каждой клетки точки из voxеля слоя i поместить в массив точек P ; построить «почти» выпуклую оболочку в горизонтальной плоскости (т.е. границу грани) и вычислить по точкам среднюю высоту грани;
- 7) обнулить i -й элемент массива A и перейти к п. 3 для поиска следующего максимального элемента, пока в массиве A остаются элементы, большие заданного порогового значения.

В результате для каждой распознанной грани будет вычислена граница и средняя высота.

Заключение

Предложенная структура клеточного разбиения облака точек, полученная в результате лазерного сканирования на местности, позволяет создавать эффективные алгоритмы распознавания различных типов объектов. Необходимый объём памяти для такой структуры имеет порядок $O(n)$, а трудоёмкость создания структуры (при использовании эффективного алгоритма сортировки на отдельных этапах) – $O(n \cdot \log n)$, где n – количество точек в облаке. Рассмотренные алгоритмы распознавания ряда типов объектов основаны как на идеи фильтрации данных, так и на обобщённом преобразовании Хафа, и благодаря использованию структуры клеточного разбиения удалось добиться трудоёмкости алгоритмов $O(n)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев В.И., Сарычев Д.С., Скворцов А.В.* Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2 (3). С. 67–74.
2. http://www.terrasolid.com/download/user_guides.php
3. <http://www.geo-plus.com/visionlidar-point-cloud-software>
4. *Костюк Ю.Л., Гульбин К.Г., Пешехонов С.В.* Построение поверхностной триангуляции и выделение пространственных фигур по данным лазерного сканирования // Вестник Том. гос. ун-та. Сер. Информатика, кибернетика, математика. 2006. № 293. С. 151–155.
5. *Костюк Ю.Л., Литовченко М.И.* Распознавание граней трехмерных объектов по данным лазерного сканирования // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017): Материалы XVI Международной конференции имени А.Ф. Терпугова. 2017. С. 55–61.
6. *Ballard D.H.* Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern Recognition. 1981. V. 13. No. 2. P. 111–122.
7. *Khoshelham K.* Extending Generalized Hough Transform to Detect 3D Objects in Laser Range Data // ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. Espoo, Finland, 12–14 September 2007. Finland, 2007. V. 36. Part 3. P. 206–210.
8. *Woodford O.J. [et al.]*. Demisting the hough transform for 3D shape recognition and registration // Int. J. Comput. Vis. 2014. No. 106 (3). P. 1–10.
9. *Dalitz C., Dalitz C., Schramke T., Jeltsch M.* Iterative Hough transform for line detection in 3D point clouds // Image Processing On Line. 2017. No. 7. P. 184–196.
10. *Ручкин К.А., Шевченко Е.А.* Повышение эффективности обобщенного 3D преобразование Хафа // Вестник НТУ ХПИ. 2014. № 35 (1078). С. 161–169.

Костюк Юрий Леонидович, д.т.н., профессор; kostyuk_y_1@sibmail.com;

Литовченко Марина Игоревна, бакалавр;

Смирнова Анастасия Александровна, бакалавр

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Dimitrov M. The workload in the $MAP/G/1$ queue with state-dependent services in heavy traffic.....	3
Kerobyan K., Kerobyan R. Analysis of an Infinite-server queue $MAP_k G_k \infty$ in random environment with k Markov Arrival Streams and random volume of customers.....	9
Kerobyan K., Kerobyan R., Covington R.R., Enakoutsa K. Infinite-server queueing model $MMAP_k G_k \infty$ in random environment and subject to catastrophes	16
Konovalov M., Razumchik R. Revisiting $M/D/1/N$ FIFO queue with renovation.....	22
Mikheev P.A., Pichugina A.A., Sushchenko S.P. Analysis of transport connection by a network of queuing systems.....	26
Nosova M.G. Research of a three-phase autonomous queuing system with a Markov Modulated Poisson process.....	33
Tsareva G.O. Numerical analysis of mean-field model of queuing system with a small parameter	39
Измайлова Я.Е., Назаров А.А. Исследование RQ-системы $M/E2/1$ с вытеснением заявок и фазовым дообслуживанием	45
Катаева С.С., Катаев С.Г., Долгий М.Е. Исследование структуры потока случайных природных событий аппроксимацией МС-потоком.....	51
Клименок В.И. Система массового обслуживания с поломками и резервным обслуживающим устройством	58
Копать Д.Я., Маталыцкий М.А. Нахождение ожидаемых доходов в G-сети с ненадёжными многолинейными системами обслуживания	66
Лебедев Е.А., Ливинская А.В. Аппроксимация сетей массового обслуживания с различной стартовой загрузкой	73
Лившиц К.И., Ульянова Е.С. Вероятностные характеристики модели управления запасами с релейным управлением темпом производства и ММР-потоком моментов продаж.....	80
Лисовская Е.Ю., Галилейская А.А. Суммарный объем занятого ресурса в ресурсной системе массового обслуживания $GI^{(v)}/GI^{(n)} \infty$ с n типами заявок	88

Назаров А.А., Даммер Д.Д. Методы предельной декомпозиции и марковского суммирования для исследования потоков в системах с неограниченным числом приборов.....	94
Назаров А.А., Капустин Е.В. Распределение вероятностей состояний RQ-системы M M 1 с конфликтами заявок	102
Назаров А.А., Худяшова Е.Е. Исследование системы MMPP GI ∞ с бесконечным значением среднего времени обслуживания.....	107
Нежельская Л.А., Сидорова Е.Ф. Оптимальное оценивание состояний обобщенного синхронного потока событий второго порядка	113
Нежельская Л.А., Тумашкина Д.А. Оптимальная оценка состояний полусинхронного потока событий второго порядка в условиях его полной наблюдаемости	119
Рыжиков Ю.И. Многоканальные системы обслуживания с марковским нетерпением	125
Рыжиков Ю.И. Расчет систем обслуживания с большим числом каналов.....	132
Пауль С.В., Назаров А.А. Анализ RQ-системы M/GI/GI/1/1 с вызываемыми заявками, ненадежным прибором и дообслуживанием прерванных заявок	139
Саркер М., Аду К.И. К анализу вероятности блокировки в модели беспроводной сети со случайным объемом ресурса	146
Станкевич Е.П. Использование сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований в качестве моделей транспортных систем	151
Шкленик М.А., Моисеев А.Н. Исследование потоков в неоднородной системе массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих устройств и повторными обращениями.....	156

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Khazal G., Zamyatin A. Framework for Arabic Text Classification Based on Topic Modeling.....	163
Shumilov B.M. To the problem of three points in computer vision.....	174
Докучаев Д.А., Баранова И.В. Исследование основных методов распознавания лиц на фотографиях	181

Катаева А.В. Интеллектуальная поддержка принятия решений в диагностике и лечении наркозависимых.....	185
Костюк Ю.Л., Литовченко М.И., Смирнова А.А. Распознавание трехмерных объектов на местности по данным лазерного сканирования	193
Ключников В.К., Герасимова Ю.А., Шумилов Б.М. Алгоритм распознавания дефектов дорожного покрытия с использованием мобильных видеозмерений	199
Мазуренко В.А. Прогнозирование дневных изменений цен на Биткойн с помощью методов интеллектуального анализа текста	203

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Botygin I.A., Krutikov V.A., Sherstnev V.S., Sherstneva A.I. Research of correlation dependences of soil of warm-up highways	207
Huseynova G.N. Hidden information transmission via cloud computing.....	214
Бабанов А.М. Вербализация структурного компонента ERM-схем	216
Бабанов А.М., Квач Е.С. «IS-А»-отношения в моделях представления знаний и данных	223
Быкова В.В., Солдатенко А.А. Об оценке ресурсных возможностей мультисервисных сетей.....	230
Елесин С.С., Моисеев А.Н. Выбор технологий виртуальной реальности для применения в учебных курсах	236
Лепший М.В., Шинкевич Ю.В., Труфанов Д.С. Разработка программы для нахождения оптимальных маршрутов вывоза твердых коммунальных отходов.....	242
Любезнов И.А., Биллер М.Г. Применения 3D-моделирования в задачах разработки проектов модернизации производства ДВП	247
Манхирова В.В. Исследование испаноязычной поэзии Золотого века методами тематического моделирования	251
Монгуш Ч.М. О классификации произведений тувинского фольклора и распознавании жанра героического эпоса	257
Поттосина С.А., Сергеева И.Л. Программная поддержка управления портфелем ценных бумаг на основе ликвидности.....	264
Шинкевич О.В. Внедрение и сопровождение информационной базы «КАМИН:Кадровый учет 3.0» с добавлением новых функциональностей.....	270

ПРИКЛАДНОЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Алиев И.А. Модель системы обслуживания-запасания с разнотипными заявками	274
Баранова И.В. Применение метода двудольных множеств событий для кластеризации разнотипных данных.....	281
Богданова Е.Ю., Рыжов Н.А. Анализ модели движения автотранспорта через регулируемый перекресток «умного города»	287
Бородина А.В., Лукашенко О.В., Морозов Е.В. Методы понижения дисперсии оценок некоторых характеристик процесса деградации.....	290
Бронер В.И., Балдаев Р.А. Имитационное моделирование системы релейного управления запасами с кусочно-постоянными параметрами экспоненциальных распределений объемов поступления и потребления ресурса	295
Быков Н.В., Товарнов М.С. Имитационное моделирование взаимодействия мобильного робота с возможностью вертикального перемещения с окружением	300
Войтишек А.В. Об «универсальных» алгоритмах моделирования случайной величины, распределенной на конечном интервале....	306
Жданков А.Н., Сафир М.Д. Пример реализации вероятностной модели случайного блуждания беспроводных устройств на целочисленной решетке	314
Задорожный В.Н., Юдин Е.Б. Исследование графов предпочтительного связывания со степенной весовой функцией	319
Каргин Б.А., Каблукова Е.Г., Чжэн П. Весовой алгоритм моделирования переноса излучения в стохастических рассеивающих и поглощающих средах.....	326
Мачнев Е.А., Ярцева И.С. Имитационное моделирование многосвязности.....	333
Платонова А.А. Об определении момента остановки моделирования некоторых распределений для достижения заданной точности оценки.....	336
Поляков Н.А., Макеева Е.Д. Численный анализ вероятности блокировки установления соединения между парой устройств в беспроводной сети миллиметрового диапазона.....	343
Семенова Д.В., Лукьянова Н.А., Голденок Е.Е. Модифицированный метод рекуррентного построения распределений ве-	

роятностей конечных случайных множеств на основе полно-	
стью вложенных иерархических копул.....	347
Скрипкин В.С., Бесчастный В.А., Острикова Д.Ю. Численный	
анализ скорости передачи данных в беспроводной сети с раз-	
делением пользователей на подгруппы мультивещания.....	354
Харин П.А., Поляков Н.А. К разработке имитационной модели	
установления соединения между парой устройств в беспро-	
водной сети миллиметрового диапазона.....	359

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Medvedev G. Nonaffine models of yield term structure.....	362
Васильев С.А., Урусова Д.А., Салех Х.Х. Исследование устой-	
чивости равновесия в экономико-математических моделях	
рынка телекоммуникаций.....	374
Георгиев В.О., Прокопьев Н.А. Исследование прикладного	
применения формальных математических моделей в генера-	
ции программного обеспечения.....	378
Калашников П.В. Математическая модель оценки баланса со-	
лидарно-распределительной пенсионной системы в долго-	
срочном периоде.....	380
Ким К.С., Смагин В.И. Синтез нестационарного экстраполятора	
для дискретных моделей с марковскими скачкообразными па-	
раметрами.....	388
Марченко О.В., Сергеева А.М. Математическое моделирование	
деформирования тяжелой упругой пластины конечной тол-	
щины под воздействием системы нагрузок	395
Новожилов М.А., Ивановский Р.И. Анализ и применение мно-	
жественных межканальных связей в ЭЭГ.....	400
Решетникова Г.Н. Выбор поставщика при управлении заказами.....	406
Урусова Д.А., Салех Х.Х., Царева Г.О. Ценообразование на те-	
лекоммуникационные услуги в сетях 5G.....	412
Чухно О.В., Самуилов К.Е. О применении анализа социальных	
сетей для исследования степени согласия экспертов в про-	
цессе группового принятия решений	415
Чухно Н.В., Гайдамака Ю.В. Численный анализ операторов аг-	
регирования в процессе группового принятия решений	422
Шумилов Б.М. Мультивейвлеты, ортогональные многочленам	430

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
(ИТММ-2018)**

**Материалы
XVII Международной конференции
имени А. Ф. Терпугова
10–15 сентября 2018 г.**

Редактор *T.C. Портнова*
Дизайн, верстка *D.B. Фортеса*

**ООО «Издательство научно-технической литературы»
634050, Томск, пл. Новособорная, 1, тел. (3822) 533-335**

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 22.08.2018.
Формат 60 × 84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 25,69. Уч.-изд. л. 28,77. Тираж 100 экз. Заказ № 21.
