
Введение

Эта книга служит исчерпывающим вводным курсом по современным компьютерным алгоритмам. В ней представлено большое количество конкретных алгоритмов, которые описываются достаточно глубоко, однако таким образом, чтобы их разработка и анализ были доступны читателям с любым уровнем подготовки. Авторы старались давать простые объяснения без ущерба для глубины изложения и математической строгости.

В каждой главе представлен определенный алгоритм, описывается метод его разработки, область применения или другие связанные с ним вопросы. Алгоритмы описываются как на обычном человеческом языке, так и в виде псевдокода, разработанного так, что он будет понятен для всех, у кого есть хотя бы минимальный опыт программирования. В книге представлено более 230 рисунков, иллюстрирующих работу алгоритмов. Поскольку один из критериев разработки алгоритмов — их *эффективность*, описание всех алгоритмов включает в себя тщательный анализ времени их работы.

Данный учебник предназначен в первую очередь для студентов и аспирантов, изучающих тот или иной курс по алгоритмам и структурам данных. Он также будет полезен для технических специалистов, желающих повысить свой уровень в этой области, поскольку описание процесса разработки алгоритмов сопровождается изложением технических вопросов.

В настоящем втором издании в книгу внесено множество изменений на всех уровнях, — от добавления целых новых глав до пересмотра отдельных предложений.

Преподавателю

Эта книга задумана так, что разнообразие описываемых в ней тем сочетается с полнотой изложения. Она может стать полезной при чтении разнообразных курсов, — от курса по структурам данных для студентов до курса по алгоритмам для аспирантов. Поскольку в книге намного больше материала, чем требуется

для обычного курса, рассчитанного на один семестр, можно выбрать только тот материал, который лучше всего соответствует курсу, который вы собираетесь преподавать.

Курсы удобно разрабатывать на основе отдельных глав. Книга написана так, что ее главы сравнительно независимы одна от другой. В каждой главе материал излагается по мере увеличения его сложности и разбит на разделы. В студенческом курсе можно использовать только более легкие разделы, а в аспирантском — всю главу в полном объеме.

В книгу вошли более 920 упражнений и свыше 140 задач. Упражнения даются в конце каждого раздела, а задачи — в конце каждой главы. Упражнения представлены в виде кратких вопросов для проверки степени освоения материала. Некоторые из них простые и предназначены для самоконтроля, в то время как другие — посложнее и могут быть рекомендованы в качестве домашних заданий. Решение задач требует больших усилий, и с их помощью часто вводится новый материал. Обычно задачи сформулированы так, что в них содержатся наводящие вопросы, помогающие найти верное решение.

Разделы и упражнения, которые больше подходят для аспирантов, чем для студентов, обозначены звездочкой (*). Они не обязательно более сложные, чем те, возле которых звездочка отсутствует; просто для их понимания может понадобиться владение более сложным математическим аппаратом. Для того чтобы справиться с упражнениями со звездочкой, может понадобиться более основательная подготовка или неординарная сообразительность.

Студенту

Надеемся, что этот учебник станет хорошим введением в теорию алгоритмов. Авторы попытались изложить каждый алгоритм в доступной и увлекательной форме. Чтобы облегчить освоение незнакомых или сложных алгоритмов, каждый из них описывается поэтапно. В книге также приводится подробное объяснение математических вопросов, необходимых для того, чтобы понять проводимый анализ алгоритмов. Для тех читателей, которые уже в некоторой мере знакомы с какой-то темой, материал глав организован таким образом, чтобы эти читатели могли опустить вводные разделы и перейти непосредственно к более сложному материалу.

Книга получилась довольно большой, поэтому не исключено, что в курсе лекций будет представлена лишь часть изложенного в ней материала. Однако авторы попытались сделать ее такой, чтобы она стала полезной как сейчас в качестве учебника, способствующего усвоению курса лекций, так и позже, в профессиональной деятельности, в качестве настольного справочного пособия для математиков или инженеров.

Ниже перечислены необходимые предпосылки, позволяющие освоить материал этой книги.

- Читатель должен обладать некоторым опытом в программировании. В частности, он должен иметь представление о рекурсивных процедурах и простых структурах данных, таких как массивы и связанные списки.
- Читатель должен обладать определенными навыками доказательства теорем методом математической индукции. Для понимания некоторых вопросов, изложенных в этой книге, потребуется умение выполнять некоторые простые математические преобразования. Помимо этого, в частях I и VIII этой книги рассказывается обо всех используемых математических методах.

Профессионалу

Широкий круг вопросов, которые излагаются в этой книге, позволяет говорить о том, что она станет прекрасным учебником по теории алгоритмов. Поскольку каждая глава является относительно самостоятельной, читатель сможет сосредоточить внимание на вопросах, интересующих его больше других.

Основная часть обсуждаемых здесь алгоритмов обладает большой практической ценностью. Поэтому не обойдены вниманием особенности реализации алгоритмов и другие инженерные вопросы. Часто предлагаются реальные альтернативы алгоритмам, представляющим преимущественно теоретический интерес.

Если вам понадобится реализовать любой из приведенных алгоритмов, будет достаточно легко преобразовать приведенный псевдокод в код на вашем любимом языке программирования. Псевдокод разработан таким образом, чтобы каждый алгоритм был представлен ясно и лаконично. Вследствие этого не рассматриваются обработка ошибок и другие связанные с разработкой программного обеспечения вопросы, требующие определенных предположений, касающихся конкретной среды программирования. Авторы попытались представить каждый алгоритм просто и непосредственно, не используя индивидуальные особенности того или иного языка программирования, что могло бы усложнить понимание сути алгоритма.

Коллегам

В книге приведена обширная библиография и представлены указания на современную литературу. В конце каждой главы даются “заключительные замечания”, содержащие исторические подробности и ссылки. Однако эти замечания не могут служить исчерпывающим руководством в области алгоритмов. Возможно, в это будет сложно поверить, но даже в такую объемную книгу не удалось включить многие интересные алгоритмы из-за недостатка места.

Несмотря на огромное количество писем от студентов с просьбами предоставить решения задач и упражнений, политика авторов — не приводить ссылки на

источники, из которых эти задачи и упражнения были позаимствованы. Это сделано для того, чтобы студенты не искали готовые решения в литературе, а решали задачи самостоятельно.

Изменения во втором издании

Какие изменения произошли во втором издании книги? В зависимости от точки зрения, можно сказать, что их достаточно мало или довольно много.

Большая часть глав первого издания содержится и во втором издании. Авторы убрали две главы и некоторые разделы, но добавили три новые главы и (кроме них) четыре новых раздела. Если судить об изменениях по оглавлению, то, скорее всего, можно прийти к выводу, что их объем достаточно скромный.

Однако эти изменения далеко выходят за рамки оглавления. Ниже без определенного порядка приводится обзор наиболее значительных изменений во втором издании.

- К коллективу соавторов присоединился Клифф Штайн (Cliff Stein).
- Были исправлены ошибки. Сколько их было допущено? Ну, скажем, несколько.
- Появились три новые главы:
 - в главе 1 обсуждается роль алгоритмов в вычислениях;
 - в главе 5 излагается вероятностный анализ и рандомизированные алгоритмы; в первом издании эта тема упоминается в разных местах книги;
 - глава 29 посвящена линейному программированию.
- Что касается глав, которые присутствовали в первом издании, в них добавлены новые разделы по таким вопросам:
 - идеальное хеширование (раздел 11.5);
 - два приложения динамического программирования (разделы 15.1 и 15.5);
 - алгоритмы аппроксимации, в которых применяется рандомизация и линейное программирование (раздел 35.4).
- Чтобы поместить в начальную часть книги больше алгоритмов, три главы по основным разделам математики перенесены из части I в приложение (часть VIII).
- Добавлено более 40 новых задач и 185 новых упражнений.
- В явном виде были использованы инварианты цикла для доказательства корректности алгоритмов. Первый инвариант цикла используется в главе 2, и в дальнейшем в книге они применяются еще несколько десятков раз.

- Переделаны многие места, где проводится вероятностный анализ. В частности, более десяти раз используется метод “индикаторных случайных величин”, упрощающих вероятностный анализ, особенно при наличии зависимости между случайными величинами.
- Дополнены и обновлены заключительные замечания к главам и библиография. Библиография увеличилась более чем на 50%. Кроме того, упоминаются многие новые результаты, которые были достигнуты в теории алгоритмов после выхода первого издания.

Также внесены перечисленные ниже изменения.

- В главе, посвященной решению рекуррентных соотношений, больше не содержится информация об итеративном методе. Вместо этого в разделе 4.2 на первый план выступают деревья рекурсии, сами по себе представляющие определенный метод. Авторы пришли к выводу, что использование деревьев рекурсии в меньшей мере связано с риском допустить ошибку. Однако следует заметить, что деревья лучше всего использовать для генерации предположений, которые затем проверяются методом подстановок.
- Несколько по-иному излагается метод разбиения, который применялся для быстрой сортировки (раздел 7.1), и алгоритм порядковой статистики, математическое ожидание времени работы которого выражается линейной функцией (раздел 9.2). В данном издании используется метод, разработанный Ломуто (Lomuto), который наряду с индикаторными случайными величинами позволяет несколько упростить анализ. Предложенный Хоаром (Hoare) метод, который содержался в первом издании, включен в качестве задачи в главе 7.
- Внесены модификации в обсуждение универсального хеширования в разделе 11.3.3, после чего оно интегрируется в представление идеального хеширования.
- Значительно упрощен анализ высоты бинарного дерева поиска, построенного в разделе 12.4 случайным образом.
- Существенно расширено обсуждение элементов динамического программирования (раздел 15.3) и жадных алгоритмов (раздел 16.2). Исследование задачи о выборе задания, которым начинается глава о жадных алгоритмах, помогает прояснить взаимосвязь между динамическим программированием и жадными алгоритмами.
- Доказательство времени работы для объединения непересекающихся множеств заменено в разделе 21.4 доказательством, в котором точные границы определяются с помощью метода потенциалов.
- Значительно упрощено доказательство корректности алгоритма из раздела 22.5, предназначенного для сильно связанных компонентов.

- Реорганизована глава 24, посвященная задаче о кратчайших путях из одной вершины: доказательства существенных свойств в ней вынесены в отдельный раздел.
- В разделе 34.5 расширен обзор NP-полноты, приводятся новые доказательства NP-полноты задачи поиска гамильтонова цикла и задачи о сумме подмножества.

Наконец, почти каждый раздел подредактирован, в результате чего в них внесены исправления, упрощения, а также даны более четкие объяснения и доказательства.

Web-узел

Еще одно изменение по сравнению с первым изданием данной книги заключается в том, что теперь книга имеет свой Web-узел: <http://mitpress.mit.edu/algorithms/>. С помощью этого Web-узла можно сообщить об ошибках, получить список известных ошибок или внести предложения; авторы будут рады узнать мнение читателей. Особенно приветствуются идеи по поводу новых задач и упражнений, однако их следует предлагать вместе с решениями.

Авторы выражают сожаление, что не могут лично ответить на все замечания.

Благодарности к первому изданию

Большой вклад в эту книгу внесли многие друзья и коллеги, что способствовало повышению ее качества. Выражаем всем благодарность за помощь и конструктивные замечания.

Лаборатория вычислительной техники Массачусетского технологического института предоставила идеальные рабочие условия. Особенно большую поддержку оказали наши коллеги из группы Теории вычислений, входящей в состав лаборатории. Особую благодарность мы выражаем Баруху Авербаху (Baruch Awerbuch), Шафи Гольдвассеру (Shafi Goldwasser), Лео Гибасу (Leo Guibas), Тому Лайтону (Tom Leighton), Альберту Мейеру (Albert Meyer), Дэвиду Шмойсу (David Shmoys) и Эве Тардош (Eva Tardos). Благодарим Вильяма Энга (William Ang), Салли Бемус (Sally Bemus), Рея Хиршфелда (Ray Hirschfeld) и Марка Рейнгольда (Mark Reinhold) за поддержку в рабочем состоянии наших машин (DEC Microvaxes, Apple Macintoshes и Sun Sparcstations), а также за перекомпилирование текста в формате \TeX каждый раз, когда мы превышали наш лимит времени, выделенного на компиляцию. Компания Machines Corporation предоставила частичную поддержку Чарльзу Лейзерсону (Charles Leiserson), позволившую ему работать над этой книгой во время отпуска в Массачусетском технологическом институте.

Многие наши коллеги опробовали черновые варианты этого учебника, читая по ним курсы лекций на других факультетах. Они предложили многочисленные

исправления и изменения. Особую благодарность хотелось бы выразить Ричарду Биглю (Richard Beigel), Эндрю Гольдбергу (Andrew Goldberg), Джоан Лукас (Joan Lucas), Марку Овермарсу (Mark Overmars), Алану Шерману (Alan Sherman) и Дайан Сувейн (Diane Souvaine).

Многие ассистенты преподавателей, читающих курсы лекций по учебнику, внесли значительный вклад в разработку материала. Особенно авторы благодарны Алану Баратцу (Alan Baratz), Бонни Бергер (Bonnie Berger), Адити Дагат (Aditi Dhagat), Берту Калиски (Burt Kaliski), Артуру Ленту (Arthur Lent), Эндрю Мoulтону (Andrew Moulton), Мариосу Папаефсимиу (Marios Papaefthymiou), Синди Филлипс (Cindy Phillips), Марку Рейнгольду (Mark Reinhold), Филу Рогевей (Phil Rogaway), Флавио Роузу (Flavio Rose), Эйри Рудичу (Arie Rudich), Алану Шерману (Alan Sherman), Клиффу Штайну (Cliff Stein), Сасмите Сюр (Susmita Sur), Грегори Трокселу (Gregory Troxel) и Маргарет Таттл (Margaret Tuttle).

Ценную техническую помощь оказали многие частные лица. Дениз Серджент (Denise Sergent) провела много часов в лабораториях Массачуссетского технологического института, исследуя библиографические ссылки. Мария Синсейл (Maria Sensale), библиотекарь из нашего читального зала, была всегда приветливой и готовой оказать помощь. Много времени, отведенного для работы над литературой при подготовке заключительных замечаний к главам, удалось сэкономить благодаря предоставлению доступа к личной библиотеке Альберта Мейера (Albert Meyer). Шломо Кипнис (Shlomo Kipnis), Билл Нихаус (Bill Niehaus) и Дэвид Вилсон (David Wilson) откорректировали старые упражнения, разработали новые и написали примечания к их решениям. Мариос Папаефсимиу (Marios Papaefthymiou) и Грегори Троксель (Gregory Troxel) внесли вклад в составление предметного указателя. Неоценимую поддержку этого проекта в течение многих лет оказывали наши секретари Инна Радзиховски (Inna Radzihovsky), Дениз Серджент (Denise Sergent), Гейли Шерман (Gayle Sherman) и особенно Би Блекбурн (Be Blackburn), за что авторы им благодарны.

Многие ошибки в ранних черновых вариантах книги были обнаружены студентами. Особую благодарность за внимательное прочтение мы хотели бы выразить Бобби Блюмофу (Bobby Blumofe), Бонни Эйзенберг (Bonnie Eisenberg), Раймонду Джонсону (Raymond Johnson), Джону Кину (John Keen), Ричарду Летину (Richard Lethin), Марку Лиллибриджу (Mark Lillibridge), Джону Пезарису (John Pezaris), Стиву Понзио (Steve Ponzio) и Маргарет Таттл (Margaret Tuttle).

Авторы благодарны коллегам, прорецензировавшим отдельные главы или предоставившим информацию по отдельным алгоритмам. Особая благодарность выражается Биллу Айелло (Bill Aiello), Алоку Аггарвалю (Alok Aggarwal), Эрику Баху (Eric Bach), Вашеку Чваталу (Vasek Chvatal), Ричарду Коулу (Richard Cole), Джоан Хастад (Johan Hastad), Алексу Исии (Alex Ishii), Дэвиду Джонсону (David Johnson), Джо Килиану (Joe Kilian), Дайне Кравец (Dina Kravets), Брюсу Маггсу (Bruce Maggs), Джиму Орлину (Jim Orlin), Джеймсу Парку (James Park), Тейну

Пламбеку (Thane Plambeck), Гершелю Сейферу (Hershel Safer), Джеффу Шаллиту (Jeff Shallit), Клиффу Штайну (Cliff Stein), Гилу Стренгу (Gil Strang), Бобу Таржану (Bob Tarjan) и Паулю Вонгу (Paul Wang). Несколько наших коллег также любезно предоставили нам задачи; особенно мы благодарны Эндрю Гольдбергу (Andrew Goldberg), Дэнни Слитору (Danny Sleator) и Умешу Вазирани (Umesh Vazirani).

При написании учебника авторам было приятно работать с издательствами The MIT Press и McGraw-Hill. Особую благодарность за моральную поддержку, помощь и терпение они выражают сотрудникам издательства The MIT Press Фрэнку Сэтлоу (Frank Satlow), Терри Элингу (Terry Ehling), Лари Кохену (Larry Cohen) и Лори Лиджину (Lorrie Lejeune), а также Дэвиду Шапиро (David Shapiro) из издательства McGraw-Hill. Наша особая благодарность — Лари Кохену (Larry Cohen) за выдающуюся работу по редактированию.

Благодарности ко второму изданию

Когда мы предложили Джули Сассман (Julie Sussman, P.P.A.) быть техническим редактором второго издания, то даже не представляли себе, насколько удачный договор заключаем. В дополнение к техническому редактированию, Джули с энтузиазмом взялась за редактирование нашего текста. Стыдно вспомнить, как много ошибок Джули обнаружила в ранних черновиках, хотя это не удивительно с учетом того, сколько их она нашла в первом издании (к сожалению, после его публикации). Более того, Джули пожертвовала своим собственным рабочим графиком, чтобы согласовать его с нашим, — она даже взяла с собой главы из нашей книги в поездку на Виргинские острова! Джули, мы никогда не сможем отблагодарить вас в достаточной мере.

Во время работы над вторым изданием книги авторы работали в отделе вычислительной техники в Дартмутском колледже и лаборатории вычислительной техники в Массачусетском технологическом институте. Оба учебных заведения послужили стимулирующей рабочей средой, и авторы выражают благодарность своим коллегам.

Друзья и коллеги со всего мира вносили предложения и высказывали свое мнение, что помогло направить усилия в нужное русло. Большое спасибо хотелось бы сказать Сандживу Аропе (Sanjeev Arora), Джавиду Асламу (Javed Aslam), Гаю Блеллоку (Guy Blelloch), Авриму Блюму (Avrim Blum), Скоту Дрисдейлу (Scot Drysdale), Хэйни Фариду (Hany Farid), Халу Габову (Hal Gabow), Эндрю Гольдбергу (Andrew Goldberg), Дэвиду Джонсону (David Johnson), Янлинь Лю (Yanlin Liu), Николасу Шабанелю (Nicolas Schabanel), Александеру Шрайверу (Alexander Schrijver), Саше Шену (Sasha Shen), Дэвиду Шмойсу (David Shmoys), Дену Шпильману (Dan Spielman), Джеральду Джею Сассману (Gerald Jay Sussman), Бо-

бу Таржану (Bob Tarjan), Миккелю Торупу (Mikkel Thorup) и Виджею Вазирани (Vijay Vazirani).

Многие преподаватели и коллеги охотно делились с нами своими знаниями по теории алгоритмов. Особую признательность авторы выражают Джону Л. Бентли (Jon L. Bentley), Бобу Флойду (Bob Floyd), Дону Кнуту (Don Knuth), Гарольду Куну (Harold Kuhn), Кунгу (Н. Т. Kung), Ричарду Липтону (Richard Lipton), Арнольду Россу (Arnold Ross), Ларри Снайдеру (Larry Snyder), Майклу Шамосу (Michael I. Shamos), Дэвиду Шмойсу (David Shmoys), Кену Штайглицу (Ken Steiglitz), Тому Шимански (Tom Szymanski), Эве Тардош (Eva Tardos), Бобу Таржану (Bob Tarjan) и Джеффри Ульману (Jeffrey Ullman).

Авторы признательны за работу многим ассистентам, читающим курсы по теории алгоритмов в Массачусетском технологическом институте и колледже г. Дартмут, включая Джозефа Адлера (Joseph Adler), Крэйга Баррака (Craig Bargaack), Бобби Блюмоуфа (Bobby Blumofe), Роберто де Приско (Roberto De Prisco), Маттео Фриго (Matteo Frigo), Игала Гальперина (Igal Galperin), Дэвида Гупту (David Gupta), Рея Д. Айера (Raj D. Iyer), Небила Каэйла (Nabil Kahale), Сарфразы Хуршида (Sarfraz Khurshid), Ставроса Коллиопулоса (Stavros Kolliopoulos), Алена Лебланка (Alain Leblanc), Юана Ма (Yuan Ma), Марию Минкофф (Maria Minkoff), Димитриса Митсураса (Dimitris Mitsouras), Алину Попеску (Alin Popescu), Геральда Прокопа (Harald Prokop), Судипту Сенгупту (Sudipta Sengupta), Донну Слоним (Donna Slonim), Джошуа А. Таубера (Joshua A. Tauber), Сивана Толедо (Sivan Toledo), Элишеву Вернер-Рейсс (Elisheva Werner-Reiss), Ли Витти (Lea Wittie), Кван Ву (Qiang Wu) и Майкла Женга (Michael Zhang).

Компьютерная поддержка была предоставлена Вильямом Энгом (William Ang), Скоттом Бломквистом (Scott Blomquist) и Грэггом Шомо (Greg Shomo) из Массачусетского технологического института, а также Вейном Криппсом (Wayne Cripps), Джоном Конклом (John Konkle) и Тимом Трегубовым (Tim Tregubov) из Дартмута. Авторы также благодарят Би Блекбурна (Be Blackburn), Дона Дейли (Don Dailey), Ли Дикона (Leigh Deacon), Ирен Сибида (Irene Sebeda) и Шерил Паттон Ву (Cheryl Patton Wu) из Массачусетского технологического института и Филлис Беллмор (Phyllis Bellmore), Келли Кларк (Kelly Clark), Делию Мауцели (Delia Mauceli), Семми Тревиса (Sammie Travis), Деба Уитинга (Deb Whiting) и Бет Юнг (Beth Young) из Дартмута за административную поддержку. Регулярную помощь также оказывали Майкл Фромбергер (Michael Fromberger), Брайан Кемпбелл (Brian Campbell), Аманда Эвбенкс (Amanda Eubanks), Санг Хун Ким (Sung Hoon Kim) и Неха Нарула (Neha Narula) из Дартмута.

Многие читатели любезно сообщили об ошибках в первом издании. Авторы благодарят перечисленных ниже людей, каждый из которых первым сообщил о той или иной ошибке: Лен Адлеман (Len Adleman), Селим Экл (Selim Akl), Ричард Андерсон (Richard Anderson), Жуан Андраде-Цетто (Juan Andrade-Cetto), Грегори Бачелис (Gregory Bachelis), Дэвид Баррингтон (David Barrington), Пол Бим

(Paul Beame), Ричард Бигль (Richard Beigel), Маргрит Бетке (Margrit Betke), Алекс Блейкмор (Alex Blakemore), Бобби Блюмоуф (Bobby Blumofe), Александр Браун (Alexander Brown), Ксавье Кэйзин (Xavier Cazin), Джек Чен (Jack Chan), Ричард Ченг (Richard Chang), Чинхуа Чен (Chienhua Chen), Йен Ченг (Ien Cheng), Хун Чой (Hoon Choi), Дрю Коулс (Drue Coles), Кристиан Коллберг (Christian Collberg), Джордж Коллинз (George Collins), Эрик Конрад (Eric Conrad), Питер Цазар (Peter Csaszar), Пол Дитц (Paul Dietz), Мартин Дитцфельбингер (Martin Dietzfelbinger), Скот Дрисдейл (Scot Drysdale), Патриция Илай (Patricia Ealy), Яков Эйзенберг (Yaakov Eisenberg), Майкл Эрнст (Michael Ernst), Майкл Форменн (Michael Formann), Недим Фреско (Nedim Fresko), Хал Габов (Hal Gabow), Марек Галецки (Marek Galecki), Игал Гальперин (Igal Galperin), Луиза Гаргано (Luisa Gargano), Джон Гейтли (John Gately), Розарио Дженарио (Rosario Genario), Майэли Гереб (Mihaly Gereb), Рональд Гринберг (Ronald Greenberg), Джерри Гроссман (Jerry Grossman), Стефен Гуттери (Stephen Guattery), Александр Хартемик (Alexander Hartemik), Энтони Хилл (Anthony Hill), Томас Гофмейстер (Thomas Hofmeister), Мэтью Хостеттер (Mathew Hostetter), Юй-Чун Ху (Yih-Chun Hu), Дик Джонсонбаух (Dick Johnsonbaugh), Марцин Юрдзинки (Marcin Jurdzinski), Набил Каэйл (Nabil Kahale), Фумияки Камайя (Fumiaki Kamiya), Ананд Канагала (Anand Kanagala), Марк Кентровиц (Mark Kantrowitz), Скотт Карлин (Scott Karlin), Дин Келли (Dean Kelley), Сэнджей Канна (Sanjay Khanna), Халук Конук (Haluk Konuk), Дайна Кравец (Dina Kravets), Джон Кроугер (Jon Kroger), Бредли Казмаул (Bradley Kuszmaul), Тим Ламберт (Tim Lambert), Хенг Лау (Hang Lau), Томас Ленгауэр (Thomas Lengauer), Джордж Мадрид (George Madrid), Брюс Маггс (Bruce Maggs), Виктор Миллер (Victor Miller), Джозеф Мускат (Joseph Muskat), Танг Нгуэен (Tung Nguyen), Михаил Орлов (Michael Orlov), Джеймс Парк (James Park), Сионбин Парк (Seongbin Park), Иоаннис Паскалидис (Ioannis Paschalidis), Боз Патт-Шамир (Boaz Patt-Shamir), Леонид Пешкин (Leonid Peshkin), Патрицио Поблит (Patricio Poblete), Ира Пол (Ira Pohl), Стивен Понцио (Stephen Ponzio), Къелл Пост (Kjell Post), Тодд Пойнор (Todd Poynor), Колин Препскиус (Colin Prepscious), Шолом Розен (Sholom Rosen), Дейл Рассел (Dale Russell), Гершель Сейфер (Hershel Safer), Карен Зайдель (Karen Seidel), Джоэль Сейфирес (Joel Seiferas), Эрик Селиджман (Erik Seligman), Стэнли Селков (Stanley Selkow), Джеффри Шаллит (Jeffrey Shalhit), Грэг Шеннон (Greg Shannon), Мика Шарир (Micha Sharir), Саша Шен (Sasha Shen), Норман Шульман (Norman Shulman), Эндрю Зингер (Andrew Singer), Дэниел Слитор (Daniel Sleator), Боб Слоан (Bob Sloan), Майкл Софка (Michael Sofka), Фолькер Струмпен (Volker Strumpfen), Лон Саншайн (Lon Sunshine), Джули Сасман (Julie Sussman), Астерио Танака (Asterio Tanaka), Кларк Томборсон (Clark Thomborson), Нильс Томмесен (Nils Thommesen), Гомер Тильтон (Homer Tilton), Мартин Томпа (Martin Tompa), Андрей Тум (Andrei Toom), Фельзер Торстен (Felzer Torsten), Хайенду Вэйшнав (Hirendu Vaishnav), М. Вельдхорст (M. Veldhorst), Люка Венути (Luca Venuti), Джайн Вонг (Jian Wang), Майкл Веллман (Michael Wellman),

Джерри Винер (Gerry Wiener), Рональд Вильямс (Ronald Williams), Дэвид Вольф (David Wolfe), Джефф Вонг (Jeff Wong), Ричард Ваунди (Richard Woundy), Нил Юнг (Neal Young), Гайан Ю (Huaiyuan Yu), Тайан Юксинг (Tian Yuxing), Джо Зачари (Joe Zachary), Стив Жанг (Steve Zhang), Флориан Щоук (Florian Zschoke) и Ури Цвик (Uri Zwick).

Многие наши коллеги написали подробные обзоры или заполнили длинные бланки опросов. Авторы благодарят Нэнси Амато (Nancy Amato), Джима Аспнеса (Jim Aspnes), Кевина Комптона (Kevin Compton), Вильяма Иванса (William Evans), Питера Гекса (Peter Gacs), Майкла Гольдвассера (Michael Goldwasser), Анджея Проскуровски (Andrzej Proskurowski), Виджея Рамачандрана (Vijaya Ramachandran) и Джона Райфа (John Reif). Мы также благодарим тех, кто участвовал в опросе и вернул его результаты. Это Джеймс Абелло (James Abello), Джош Бинело (Josh Benaloh), Брайан Бересфорд-Смит (Bryan Beresford-Smith), Кеннет Бла (Kenneth Blaha), Ганс Бодлаендер (Hans Bodlaender), Ричард Бори (Richard Borie), Тед Браун (Ted Brown), Доменико Кантоун (Domenico Cantone), М. Чен (M. Chen), Роберт Цимиковски (Robert Cimikowski), Вильям Клоксин (William Clocksin), Пауль Калл (Paul Cull), Рик Декер (Rick Decker), Мэтью Дикерсон (Matthew Dickerson), Роберт Дуглас (Robert Douglas), Маргарет Флек (Margaret Fleck), Майкл Гудрич (Michael Goodrich), Сюзанн Гамбруш (Susanne Hambruch), Дин Гендрикс (Dean Hendrix), Ричард Джонсонбау (Richard Johnsonbaugh), Кирьякос Калоркоти (Kyriakos Kalorkoti), Шринивас Канканахалли (Srinivas Kankanahalli), Хикио Кох (Hiyoko Koh), Стивен Линделль (Steven Lindell), Эррол Ллойд (Errol Lloyd), Энди Лопес (Andy Lopez), Дайан Рей Лопес (Dian Rae Lopez), Джордж Лакер (George Lucker), Дэвид Мейер (David Maier), Чарльз Мартель (Charles Martel), Ксайнонг Менг (Xiannong Meng), Дэвид Маунт (David Mount), Альберто Поликрити (Alberto Policriti), Анджей Проскуровски (Andrzej Proskurowski), Кирк Прус (Kirk Pruhs), Ив Робер (Yves Robert), Гуна Сизараман (Guna Seetharaman), Стэнли Селков (Stanley Selkow), Роберт Слоан (Robert Sloan), Чарльз Стил (Charles Steele), Джерад Тель (Gerard Tel), Мурали Варанаси (Murali Varanasi), Бернд Уолтер (Bernd Walter) и Альдин Райт (Alden Wright). Авторы хотели бы учесть все внесенные предложения. Единственная проблема заключается в том, что если бы это было сделано, объем второго издания мог бы превысить 3000 страниц!

Второе издание готовилось к публикации в $\LaTeX 2_{\epsilon}$. Майкл Даунс (Michael Downes) преобразовал \LaTeX -сценарии из “классической” версии \LaTeX в $\LaTeX 2_{\epsilon}$ и изменил текстовые файлы таким образом, чтобы в них использовались эти сценарии. Помощь в составлении текста в формате \LaTeX также оказал Дэвид Джонс (David Jones). Рисунки ко второму изданию созданы авторами в программе MacDraw Pro. Как и в первом издании, предметный указатель составлен с помощью Winindex, — программы на C, написанной авторами, а библиография подготовлена с помощью BibTeX. Айоркор Миллз-Титти (Ayorkor Mills-Tettey) и Роб Лизерн

(Rob Leathern) помогли преобразовать рисунки в MacDraw Pro, а Айоркор также проверил библиографию.

Как и во время работы над первым изданием, сотрудничество с издательствами MIT Press и McGraw-Hill принесло авторам большое удовольствие. Редакторы Боб Прайор (Bob Prior) из MIT Press и Бетси Джонс (Betsy Jones) были терпеливы к нашим причудам и помогли преодолеть все препятствия.

Наконец, мы выражаем благодарность нашим женам Николь Кормен (Nicole Cormen), Гейл Ривест (Gail Rivest) и Ребекке Иври (Rebecca Ivry), нашим детям Рикки (Ricky), Вильяму (William) и Дебби Лейзерсон (Debby Leiserson), Алексу (Alex) и Кристоферу Ривест (Christopher Rivest), а также Молли (Molly), Ноа (Noah) и Бенджамену Штайн (Benjamin Stein), нашим родителям Рени (Renee) и Перри (Perry) Корменам, Джин (Jean) и Марку (Mark) Лейзерсон, Ширли (Shirley) и Ллойд (Lloyd) Ривестам, а также Ирен (Irene) и Ире Штайн (Ira Stein) за любовь и поддержку во время написания этой книги. Этот проект стал возможным благодаря поддержке и поощрению членов наших семей. С любовью посвящаем им эту книгу.

ТОМАС КОРМЕН (THOMAS H. CORMEN),

Ганновер, Нью-Гемпшир

ЧАРЛЬЗ ЛЕЙЗЕРСОН (CHARLES E. LEISERSON),

Кембридж, Массачуссетс

РОНАЛЬД РИВЕСТ (RONALD L. RIVEST),

Кембридж, Массачуссетс

КЛИФФОРД ШТАЙН (CLIFFORD STEIN),

Ганновер, Нью-Гемпшир

От издательства

Вы, читатель этой книги, и есть главный ее критик и комментатор. Мы ценим ваше мнение и хотим знать, что было сделано нами правильно, что можно было сделать лучше и что еще вы хотели бы увидеть изданным нами. Нам интересно услышать и любые другие замечания, которые вам хотелось бы высказать в наш адрес.

Мы ждем ваших комментариев и надеемся на них. Вы можете прислать нам бумажное или электронное письмо, либо просто посетить наш Web-сервер и оставить свои замечания там. Одним словом, любым удобным для вас способом дайте нам знать, нравится или нет вам эта книга, а также выскажите свое мнение о том, как сделать наши книги более интересными для вас.

Посылая письмо или сообщение, не забудьте указать название книги и ее авторов, а также ваш обратный адрес. Мы внимательно ознакомимся с вашим мнением и обязательно учтем его при отборе и подготовке к изданию последующих книг. Наши координаты:

E-mail: info@williamspublishing.com

WWW: <http://www.williamspublishing.com>

Информация для писем

из России: 115419, Москва, а/я 783

из Украины: 03150, Киев, а/я 152