

С глубочайшей признательностью
Марии и Мириам

Предисловие

Самое ценное в научном или техническом образовании — это развитие универсального мыслительного аппарата, который будет служить вам на протяжении всей жизни.

— Джордж Форсайт (George Forsythe),
“Что предпринять до прихода специалиста по вычислительной технике” (“What to do till the computer scientist comes”) (1968)

Алгоритмы имеют первостепенное значение как в научной, так и в технической сфере. Осознание данного факта привело к появлению огромного количества книг, посвященных этому предмету. Вообще говоря, в плане представления алгоритмов все книги можно разделить на две большие группы. В одной из них алгоритмы классифицируются в соответствии с типом решаемой задачи. Как правило, в таких книгах алгоритмам сортировки, поиска, обработке графов и т.п. посвящены отдельные главы. Преимущество такого подхода заключается в том, что он позволяет непосредственно оценить эффективность применения различных алгоритмов для решения задачи. Недостаток же состоит в том, что при таком подходе акцент делается на решении самой задачи, а не на методологии проектирования алгоритма.

При использовании второго, альтернативного подхода основное внимание уделяется методике проектирования алгоритма. В таких книгах алгоритмы, относящиеся к различным областям вычислительной техники, группируются, если при их проектировании использованы одинаковые подходы. И здесь я также разделяю сложившееся мнение [11] по поводу того, что подобная организация книги больше всего подходит для основного курса, посвященного проектированию и анализу алгоритмов. Имеется несколько причин для того, чтобы сосредоточиться на методологии проектирования алгоритмов. Во-первых, учащиеся смогут применить ее при разработке алгоритмов для решения неизвестной задачи. Во-вторых, они смогут классифицировать все множество известных алгоритмов согласно лежащей в их основе идее проектирования. Основной целью образования в области информатики должно быть изучение общих идей проектирования алгоритмов,

относящихся к различным прикладным областям. В конце концов, при изучении любой научной дисциплины основное внимание уделяется рассмотрению системы ее основополагающих понятий. В-третьих, по моему мнению, изучение методологии проектирования алгоритмов имеет огромную важность, поскольку дает ключ к пониманию методики поиска общего решения задач в области информатики.

Существует несколько учебников, материал которых структурирован в соответствии с упомянутой выше методологией проектирования алгоритмов (в частности, [22, 54, 82]). На мой взгляд, все они имеют один недостаток: их авторы слепо следуют одной и той же классификации методик проектирования алгоритмов. Данную классификацию нельзя считать удачной, поскольку она имеет несколько серьезных недостатков как с теоретической, так и с образовательной точек зрения. Один из основных ее недостатков заключается в том, что она не позволяет классифицировать большое количество важных алгоритмов. Все это вынуждает авторов существующих учебников, отклоняясь от рассмотрения методологии проектирования, включать в них главы, посвященные решению конкретных задач. К сожалению, подобный уход от основной темы приводит к потере логики изложения курса и практически всегда запутывает учащихся.

Новая таксономия методологии проектирования алгоритмов

Описанные выше недостатки существующей системы классификации вынудили меня разработать новую таксономию¹ методологии проектирования алгоритмов [74], которая и была положена в основу этой книги. Позволю себе перечислить основные преимущества новой таксономии.

- Новая таксономия является более полной, чем существующая система классификации. Она включает ряд стратегий — решение задачи “в лоб”, методом разделения, методом преобразования; компромисс между временем выполнения алгоритма и объемом оперативной памяти, — которые не так часто относят к важным примерам проектирования.
- Новая таксономия естественным образом охватывает большое количество классических алгоритмов, которые традиционная система не в состоянии классифицировать. Достаточно привести лишь несколько названий: алгоритм Евклида, пирамидальная сортировка, дерево поиска, хеширование, топологическая сортировка, схема Горнера. В результате,

¹Теория классификации и систематизации сложноорганизованных областей действительности, имеющих обычно иерархическое строение (органический мир, объекты географии, геологии, языкознания, этнографии). *Современный словарь иностранных слов*, 3-е изд., М.: Рус. яз., 2000. — Прим. ред.

появляется возможность представить стандартный набор классических алгоритмов в единообразной и понятной форме.

- Она естественным образом приспособлена к существующему разнообразию основных методик проектирования.
- Она лучше всего подходит для анализа эффективности с помощью аналитических методов (см. приложение Б).

Методология проектирования как стратегия решения общих задач

Описанные в книге методики проектирования алгоритмов, как правило, применяются для решения классических задач вычислительной техники. Однако здесь есть одно новшество. В книгу включен материал, посвященный алгоритмам решения численных задач, описанный в рамках той же принятой структуры. (Включение этих алгоритмов было одобрено учебным планом по информатике за 2001 год *Computing Curricula 2001* [29] — разработанным с учетом современных требований.) Тем не менее описанные в книге методики проектирования можно считать универсальным средством решения задач; их применение не ограничивается только традиционными задачами вычислительной техники и математики. Важность этого подтверждается двумя факторами. Во-первых, все больше компьютерных приложений выходят за рамки традиционной области их применения, поэтому можно надеяться, что такая тенденция сохранится и в будущем. Во-вторых, основной целью университетского образования считается выработка у студентов навыков самостоятельного решения поставленных задач. Поэтому среди всех курсов, читаемых в рамках программы по информатике, именно курс, посвященный разработке и анализу алгоритмов, как нельзя лучше подходит для этой цели, поскольку он развивает у студентов специфические навыки решения задач. Но это отнюдь не означает, что данный курс следует рассматривать как курс, посвященный решению общих задач. Тем не менее я считаю, что не следует упускать представившуюся вам уникальную возможность изучения методик разработки и анализа алгоритмов. Чтобы достичь поставленной цели, в книгу включены примеры головоломок и игр, построенных на их основе. Хотя идея изучения алгоритмов на основе головоломок, конечно, не нова, в этой книге сделана попытка систематизировать этот процесс, не ограничиваясь несколькими стандартными примерами.

Педагогика учебника

При написании книги я не ставил перед собой цель упростить излагаемый материал, но в то же время хотел сделать так, чтобы он был доступен для понимания большинству студентов во время самостоятельной работы. Поэтому ниже я приведу несколько отличительных особенностей книги, способствующих достижению моего замысла.

- Разделяя мнение Джорджа Форсайта (см. эпиграф), я постарался подчеркнуть основные идеи, лежащие в основе разработки и анализа алгоритмов. Поэтому, отбирая конкретные алгоритмы для иллюстрации этих идей, я ограничил их круг и привел в книге описание только тех из них, которые лучше всего проясняют основные подходы к проектированию или методы анализа алгоритмов. К счастью, большинство классических алгоритмов удовлетворяет этому критерию.
- В главе 2, посвященной анализу эффективности, мы будем различать методы анализа нерекурсивных алгоритмов и методы, которые обычно используются для анализа рекурсивных алгоритмов. В главу также включен раздел, посвященный эмпирическому анализу и алгоритмам визуализации.
- В текст всех глав включены вопросы к читателю. Часть из них носит риторический характер, и заданы они только потому, что имеют непосредственное отношение к излагаемой теме и могут рассеять сомнения читателей. Поэтому ответы на них даются сразу. Остальные вопросы предназначены для проверки полученных знаний. Правильный ответ на них является индикатором достаточного уровня знаний у читателя и сигналом к тому, что можно переходить к изучению следующих разделов книги.
- В конце каждой главы приведено краткое резюме, в котором подытожены основные понятия и результаты, рассмотренные в главе.
- В книгу включено порядка 600 упражнений. Часть из них — учебные. В остальных отрабатываются важные моменты, о которых шла речь в материале главы, или описываются алгоритмы, не упоминавшиеся ранее. В некоторых упражнениях используются ресурсы Internet. Ряд упражнений предназначен для подготовки читателя к восприятию материала, описанного в последующих разделах книги.



Упражнения, содержащие игры, головоломки и вопросы, построенные на их основе, отмечены специальной пиктограммой.

- В книге приведены советы и подсказки по решению всех упражнений. Дополнительную информацию читатели могут получить по адресу <http://www.aw.com/cssupport>.

Необходимые условия для чтения книги

Для того чтобы понимать материал книги, читатель должен прослушать начальный курс по программированию и один из стандартных курсов по дискретным структурам. Такого багажа знаний будет вполне достаточно для свободного освоения описанного здесь материала. Тем не менее основные структуры данных, необходимые формулы суммирования и рекуррентные соотношения описаны в разделе 1.4, приложениях А и Б, соответственно. Численные методы используются только в трех разделах (2.2, 10.4 и 11.4), и то в очень ограниченной степени. Поэтому если у читателя нет твердых знаний в области численных методов, он вполне может пропустить эти три раздела, и это не осложнит понимания остального материала книги.

Использование книги в учебном процессе

Материал этой книги можно использовать в качестве основы учебного курса, посвященного проектированию и анализу алгоритмов, с упором на методику проектирования алгоритмов. Его вполне достаточно для стандартного односеместрового курса. Вообще говоря, часть материала глав с 3 по 11 можно смело пропустить, и это никак не скажется на понимании читателями последующих глав книги. Любую из частей книги можно отдать для самостоятельной работы. В частности, изучение разделов 2.6 и 2.7, посвященных, соответственно, эмпирическому анализу и алгоритмам визуализации, можно совместить с выполнением программных проектов.

В табл. приведен примерный план 80-часового (40-лекционного) односеместрового учебного курса.

Примерный план 80-часового односеместрового учебного курса

Номер лекции	Тема	Разделы
1, 2	Введение	1.1–1.3
3, 4	Изучение основ; условные обозначения O , Θ и Ω	2.1, 2.2
5	Математический анализ нерекурсивных алгоритмов	2.3
6, 7	Математический анализ рекурсивных алгоритмов	2.4, 2.5 и приложение Б
8	Алгоритмы решения задач “в лоб”	3.1, 3.2 и раздел 3.3
9	Поиск методом перебора	3.4

Номер лекции	Тема	Разделы
10–12	Алгоритмы разбиения: сортировки слиянием, быстрой сортировки и двоичного поиска	4.1–4.3
13	Другие примеры алгоритмов декомпозиции	4.4 или 4.5 или 4.6
14–16	Алгоритмы уменьшения на единицу: сортировка методом вставки, поиск в глубину и ширину, топологическая сортировка	5.1–5.3
17	Алгоритмы уменьшения на постоянное значение	5.5
18	Алгоритмы уменьшения на переменное значение	5.6
19–21	Упрощение экземпляра, предварительная сортировка, исключение Гаусса, сбалансированные деревья поиска	6.1–6.3
22	Изменение представления: множества и пирамидальная сортировка	6.4
23	Изменение представления: схема Горнера и двоичный порядок	6.5
24	Приведение задачи	6.6
25–27	Компромисс между временем выполнения алгоритма и объемом оперативной памяти: поиск строк, хеширование, В-деревья	7.2–7.4
28–30	Алгоритмы динамического программирования	три из 8.1–8.4
31–33	Жадные алгоритмы: Прима, Крускала, Дейкстры, Хаффмана	9.1–9.4
34	Доказательство нижней границы	10.1
35	Деревья принятия решений	10.2
36	R, NP и NP-полные задачи	10.3
37	Алгоритмы численных методов	10.4 и 11.4
38	Поиск с возвратом	11.1
39	Метод ветвей и границ	11.2
40	Приближенные алгоритмы решения NP-сложных задач	11.3

Благодарности

Прежде всего хочу выразить признательность авторам других книг, посвященных алгоритмам, чья интуиция и идеи изложения материала прямо или косвенно помогли мне. Советы и критические замечания рецензентов, несомненно, существенно улучшили содержание книги. Выражаю благодарность Саймону Берковичу (Simon Berkovich) из университета Джорджа Вашингтона (George Washington University), Ричарду Бори (Richard Borie) из университета штата Алабама (University of Alabama), Дугласу М. Кэмпбеллу (Douglas M. Campbell) из университета Брайхем Янг (Brigham Young University), Бину Конгу (Bin Cong) из университета штата Калифорния в Фуллертоне (California State University, Fullerton), Стиву Хомеру (Steve Homer) из Бостонского университета (Boston University), Роланду Хабшеру (Roland Hubscher) из университета в Оберне (Auburn University), Сухамею Кунду (Sukhamay Kundu) из университета штата Луизиана (Louisiana State University), Ши–Донг Лангу (Sheau–Dong Lang) из университета центральной Флориды (University of Central Florida), Джону С. Ласту (John C. Lusth) из Арканзаского университета (University of Arkansas), Джону Ф. Мейеру (John F. Meyer) из Мичиганского университета (University of Michigan), Стивену Р. Зейделю (Steven R. Seidel) из Мичиганского технологического университета, Али Шокофандеху (Ali Shokoufandeh) из Дрексельского университета (Drexel University) и Джорджу Х. Вильямсу (George H. Williams) из колледжа в Юнионе.

Чрезвычайно признателен моей коллеге Мэри–Анджеле Папаласкари (Mary–Angela Papalaskari) за то, что она использовала текст рукописи этой книги при преподавании курса, посвященного алгоритмам, в университете г. Вилланова (Villanova University) и внесла существенные улучшения в текст книги и упражнения. Она с большим энтузиазмом поддержала идею широкого использования в книге различных головоломок. Еще один коллега, Джон Матулис (John Matulis), также использовал текст рукописи книги в учебном процессе и высказал ценные замечания. Помощь в подготовке рукописи оказывал мой бывший студент Эндисва Хейнегг (Andiswa Heinegg). Его критические замечания позволили сделать более понятным содержимое книги и более стройным стиль ее изложения.

На протяжении нескольких последних семестров рукопись этой книги служила в качестве основного учебника для студентов университета в Вилланове, что, несомненно, причиняло им неудобство. Я восхищаюсь их терпением и благодарю за ценные советы и найденные ошибки и опечатки в тексте рукописи. Наверняка в книге остались ошибки, которые я, конечно же, никак не могу отнести на их счет: ошибки вполне могли появиться по моей вине при внесении правок уже после того, как студенты прослушали курс.

Хочу выразить благодарность сотрудникам издательства Addison–Wesley и их коллегам — всем тем, кто работал над моей книгой. Особенно хочу поблагодарить моего редактора Майте Суарез–Риваз (Maite Suarez–Rivas) и ее бывшего заме-

стителю Лайзу Хог (Lisa Hogue) за то, что они разделяли и поддерживали мой энтузиазм в отношении этого проекта.

И в заключение мне хочется выразить глубокую признательность членам моей семьи. Ведь жить под одной крышей с супругом, который постоянно занят тем, что пишет книгу, гораздо тяжелее, чем писать саму книгу. Моя жена Мария пережила два таких года, усиленно помогая мне. Помощь была огромной: более 250 иллюстраций к этой книге являются ее творением! Моя дочь Мириам — большой авторитет для меня в области английской прозы. Она не только прочла большие куски этой книги, но и подобрала остроумные эпиграфы к главам. Огромное им спасибо!

Ананий Левитин

anany.levitin@villanova.edu

Август 2002 г.

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 любые ваши замечания, касающиеся книги.

Мы ждем ваших комментариев. 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

Украины: 03150, Киев, а/я 152