



# Руководство программиста по работе со звуком

Тим Кинтцель

«Эту книгу по праву можно назвать одной из выдающихся работ в области аудиопрограммирования».

Джим Гернбоу, старший программист и разработчик компьютерных игр, Sound Source Interactive, Inc.



В книге представлены обстоятельные сведения о хранении, обработке и воспроизведении аудиоданных. В частности, освещаются темы использования низкоуровневых средств работы со звуком для Win32, Mac OS и UNIX; декомпрессии звуковых данных в форматах MPEG, IMA ADPCM и других; чтения данных из файлов форматов WAVE, VOC, AIFF и AU; воспроизведения MIDI- и MOD-файлов. Приводятся также обзоры смежных вопросов: теории восприятия звука, синтеза звучания музыкальных инструментов, цифровой фильтрации и преобразований Фурье.

Особое внимание уделяется практическим деталям. В каждом разделе приведены примеры исходных текстов программ на C++, которые иллюстрируют принципы, обсуждаемые в книге. Независимо от того, кто вы - звукоинженер, желающий совершенствовать свои знания о программировании звука, или программист, которому требуется подробная информация о работе со звуком, - эта книга будет служить вам неоценимым источником информации в течение многих лет.

Internet-магазин: [www.aliants-kniga.ru](http://www.aliants-kniga.ru)

Книга - почтой:  
Россия, 123242, Москва, а/я 20  
Тел.: (495) 258-9194, -9195  
e-mail: [books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru)

Оптовая продажа:  
«Альянс-книга»  
Тел./факс: (495) 258-9195  
e-mail: [books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru)

ISBN 5-94074-014-6



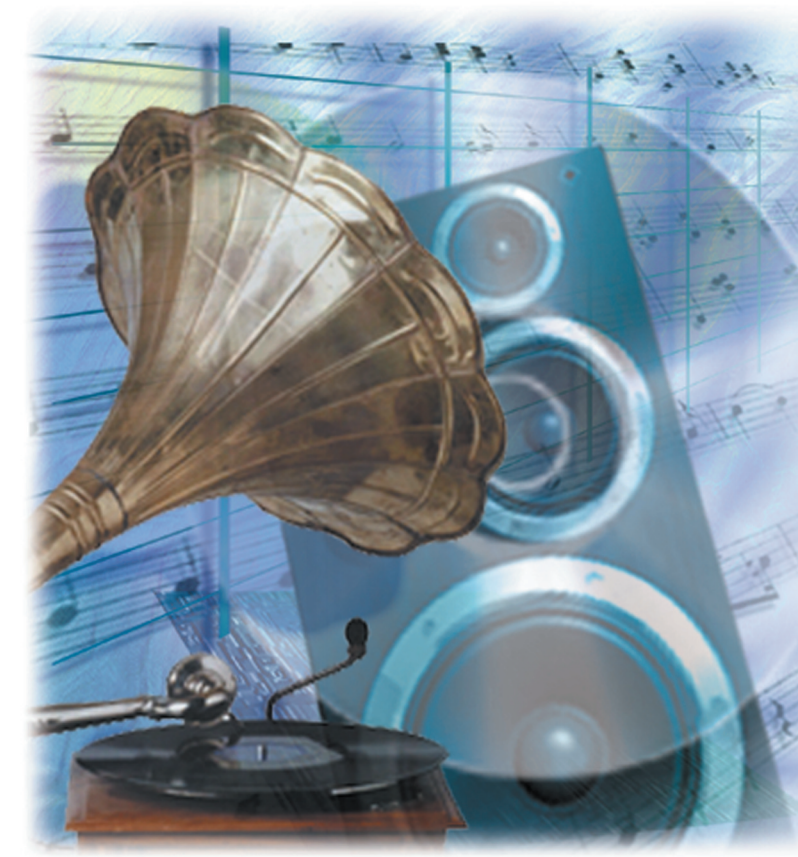
9 785940 174014 8

## Руководство программиста по работе со звуком



# Руководство программиста по работе со звуком

Тим Кинтцель

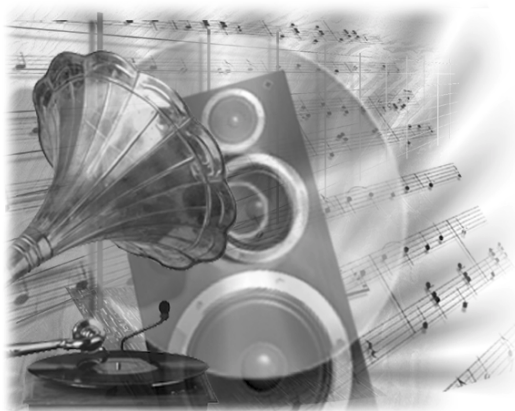


WAVE  
MIDI  
MOD  
FFT  
MPEG  
ADPCM  
μ-Law  
MP3

для программистов



[www.dmk-press.ru](http://www.dmk-press.ru)



Серия «Для программистов»

# Руководство программиста по работе со звуком

Тим Кинтцель



Москва

**ББК 32.973.26-018.2**  
**К41**

**Кинтцель Т.**

**К41** Руководство программиста по работе со звуком = A Programmer's Guide to Sound: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс. – 432 с., ил.  
 (Серия «Для программистов»).

**ISBN 5-94074-014-6**

Издание содержит подробную информацию о хранении, обработке и компрессии звуковых файлов. Разработчики, которые хотят использовать в своих приложениях возможность обработки звука, найдут в этой книге ответы на все интересующие их вопросы: применение низкоуровневых средств работы со звуком для Win32, Mac OS и UNIX; декомпрессия данных в форматах MPEG, IMA ADPCM; чтение файлов WAVE, VOC, AIFF и AU; воспроизведение файлов MIDI и MOD.

В этой книге вы также найдете обзор смежных тем, в частности синтеза звучания музыкальных инструментов, восприятия звуков человеком, цифровой фильтрации и преобразований Фурье.

Для каждого раздела приведены полные исходные тексты программ, иллюстрирующие все обсуждаемые принципы.

Книга предназначена для звукоинженеров, желающих пополнить свои знания о программировании звука, а также для программистов, которым необходима информация о работе с аудиоматериалами. Некоторые разделы книги могут быть полезны специалистам, разрабатывающим программные средства обработки сигналов для геофизики, телеметрии, связи, систем автоматического управления и сбора данных.

**ББК 32.973.26-018.2**

All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission of the publisher. Printed in the United States of America. Published simultaneously in Canada.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 0-201-41972-6 (англ.)  
 ISBN 5-94074-014-6 (рус.)

Copyright © by Tim Kientzle  
 © Перевод на русский язык, оформление ДМК Пресс

# Содержание

Введение .....	13
<b>Часть I. Основы</b> .....	15
Глава 1. От выдолбленной колоды к киберпространству .....	16
Что такое звук? .....	17
Естественные звуки .....	18
Электронные звуки .....	18
Звуки, которые мы слышим .....	20
Цифровой звук .....	20
Дополнительные источники информации .....	21
Глава 2. Восприятие звука человеком .....	23
Частота и высота тона .....	23
Высота тона в музыке .....	25
Высота тона и частота звука .....	29
Шум .....	30
Громкость, амплитуда и мощность .....	31
Общее качество звука .....	33
Глава 3. Хранение звука в цифровом виде .....	35
Дискретные форматы звука .....	35
Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ) .....	35
Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) .....	36
Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) .....	37
Побочные эффекты дискретизации .....	38
Наложение спектров .....	39
Наложение спектров в выходном сигнале .....	43
Передискретизация .....	43
Погрешность квантования .....	45
Сглаживание сигнала .....	46
Ограничение сигнала .....	47
Выборки с плавающей точкой .....	48



Глава 4. Структура для звука в C++ .....	49
Класс AudioAbstract .....	51
Стереозвук .....	54
Согласование .....	54
Чтение и запись целых чисел .....	59
Класс SineWave .....	60

## **Часть II. Особенности работы со звуком в различных системах** .....

63

Глава 5. Объекты-проигрыватели .....	64
Проигрыватели: основы .....	64
Реализация очереди .....	67
Открытие звукового файла .....	70

Глава 6. Воспроизведение звука в Windows .....	73
Воспроизведение .....	74
Вызов подсистемы .....	76
Выбор устройства .....	78
Пример приложения Windows .....	81

Глава 7. Воспроизведение звука в Mac OS .....	84
Вызов подсистемы .....	85
Двойная буферизация .....	86
Пример программы для Mac OS .....	87
Воспроизведение файла в Mac OS .....	90

Глава 8. Система UNIX и звук в сети .....	92
Серверы и потоки .....	93
Вызов подсистем и сообщения .....	94
Конфигурирование потока и подключение к серверу .....	97
Пример приложения для UNIX .....	100

## **Часть III. Компрессия** .....

101

Глава 9. Компрессия звука .....	102
Сжатие информации без потерь .....	102
Нелинейная ИКМ .....	103
Дифференциальная ИКМ .....	104

Адаптивная ДИКМ .....	105
Методы компрессии с прогнозированием .....	105
Кодирование в частотных поддиапазонах .....	106
Компрессия речи человека .....	106
Использование опорных точек .....	107
Прогрессивная компрессия .....	108
<b>Глава 10. Классы декомпрессоров .....</b>	<b>110</b>
8-битная ИКМ .....	111
Знаковая 8-битная ИКМ .....	112
Беззнаковая 8-битная ИКМ .....	112
16-битная ИКМ .....	113
16-битная ИКМ формата MSB .....	113
16-битная ИКМ формата LSB .....	114
<b>Глава 11. Нелинейные звуковые форматы .....</b>	<b>116</b>
Логарифмическая компрессия .....	116
Компрессия m-Law .....	117
Компрессия A-Law .....	121
Свойства логарифмического кодирования .....	122
<b>Глава 12. Дифференциальная ИКМ .....</b>	<b>125</b>
Два вида ДИКМ-кодирования .....	125
<b>Глава 13. Компрессия IMA ADPCM .....</b>	<b>129</b>
Общее описание работы .....	130
Декомпрессия .....	131
Компрессия .....	132
Практическая реализация IMA ADPCM .....	132
Вариант Microsoft IMA ADPCM .....	133
Вариант Apple IMA ADPCM .....	138
Сравнение модулей Microsoft и Apple .....	141
Несколько слов об IMA ADPCM .....	141
Как я разбирался с форматами ADPCM .....	142
Соавторы .....	143
<b>Глава 14. Аудио MPEG .....</b>	<b>144</b>
Обзор стандартов MPEG .....	144
Стандарт MPEG-1 .....	144
Стандарт MPEG-2 .....	145

Стандарт MPEG-3 .....	146
Стандарт MPEG-4 .....	146
Аудио MPEG .....	147
Общая структура .....	147
Обработка потока байтов .....	151
Заголовок фрейма MPEG .....	153
Слоты и фреймы .....	157
Синтез в поддиапазонах .....	159
Матрицирование .....	161
Коэффициенты взвешивания .....	167
MPEG-кодирование стереозвука .....	170
Уровень Layer 1 .....	170
Хранение распределения в Layer 1 .....	171
Масштабные коэффициенты в Layer 1 .....	172
Хранение отсчетов в Layer 1 .....	172
Передискретизация и масштабирование в Layer 1 .....	174
Уровень Layer 2 .....	175
Хранение распределения в Layer 2 .....	177
Масштабные коэффициенты в Layer 2 .....	181
Чтение выборок в Layer 2 .....	182
Передискретизация в Layer 2 .....	184
Уровень Layer 3 .....	185
Программа чтения файлов MPEG .....	186
Источники дополнительной информации .....	187

## **Часть IV. Основные форматы файлов** ..... 189

Глава 15. Формат файла AU .....	190
Идентификация файлов AU .....	192
Чтение файлов AU .....	192
Запись файлов AU .....	195
Простой фильтр AU .....	196
Глава 16. Формат файла VOC .....	197
Идентификация файлов VOC .....	197
Заголовок файла формата VOC .....	197
Блоки данных .....	198
Блок признака окончания (тип 0) .....	199
Блок звуковых данных (тип 1) .....	199

Блок продолжения данных (тип 2) .....	201
Блок паузы (тип 3) .....	202
Маркерный блок (тип 4) .....	202
Текстовый блок (тип 5) .....	203
Циклы повторения (типы 6 и 7) .....	203
Блок расширения (тип 8) .....	205
Блок расширения (тип 9) .....	206
Другие блоки .....	207
Чтение файлов VOC .....	208
<b>Глава 17. Формат файла WAVE .....</b>	<b>212</b>
Идентификация WAVE-файлов .....	212
О файлах формата RIFF и IFF .....	212
Формат WAVE. Обзор .....	213
Класс WaveRead .....	214
Чтение файлов формата WAVE .....	215
Контейнеры .....	216
Контейнер RIFF WAVE .....	219
Блок fmt .....	220
Создание объекта декомпрессора .....	222
Блок data .....	224
Текстовые блоки .....	225
<b>Глава 18. Форматы файлов AIFF и AIFF-C .....</b>	<b>226</b>
Идентификация файлов AIFF .....	227
Класс AiffRead .....	228
Чтение файлов AIFF .....	229
Контейнеры .....	229
Контейнер FORM AIFF .....	231
Блок FVER .....	232
Блок COMM .....	233
Блок SSND .....	236
<b>Глава 19. Формат файла IFF/8SVX .....</b>	<b>238</b>
Идентификация файлов IFF/8SVX .....	238
Обзор формата IFF/8SVX .....	239
Чтение файлов формата IFF/8SVX .....	239
Общие замечания .....	240
Контейнеры .....	241
Контейнер FORM 8SVX .....	242



Блок VHDR .....	243
Блок BODY .....	246
Ошибки IFF/8SVX .....	247
Текстовые блоки .....	248

## **Часть V. Форматы музыкальных файлов** ..... 249

### **Глава 20. Программирование музыки** ..... 250

Музыкальные инструменты ..... 251

Ноты ..... 252

### **Глава 21. Синтез музыкальных инструментов** ..... 254

Семплы ..... 254

Генератор синусоидального сигнала ..... 260

Управление амплитудой ..... 261

Управление огибающей в семплах ..... 262

Другие методы управления ..... 263

Частотная модуляция и синтез ..... 264

Колеблющаяся струна ..... 264

Реализация алгоритма струны ..... 266

Тестирование нот ..... 273

### **Глава 22. Стандарт MIDI** ..... 277

Файлы формата Standard MIDI ..... 278

Идентификация файлов MIDI ..... 278

Блок заголовка MIDI ..... 279

Дорожки MIDI ..... 280

Целые значения переменной длины ..... 281

Относительное время ..... 281

Чтение дорожек MIDI ..... 281

События MIDI ..... 283

Соглашения по нумерации ..... 284

Статус выполнения ..... 284

Управление событиями MIDI ..... 285

Чтение событий MIDI ..... 286

Эксклюзивные системные сообщения ..... 287

Мета-события ..... 288

Синхронизация MIDI ..... 291

Стандарт General MIDI ..... 294

Загружаемые семплы ..... 297