

УДК 004.4  
ББК 32.972  
У99

**Уэске Ф., Калаври В.**

У99 Поточковая обработка данных с Apache Flink / пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 298 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-880-7**

Начните работу с Apache Flink, фреймворком с открытым исходным кодом, на котором основаны многие крупнейшие в мире системы обработки потоковых данных. В данной книге вы изучите фундаментальные понятия параллельной потоковой обработки и узнаете, чем эта технология отличается от традиционной пакетной обработки данных.

Ф. Уэске и В. Калаври, занятые в проекте Apache Flink с первых дней, покажут вам, как создавать масштабируемые потоковые приложения с помощью API Flink DataStream, а также непрерывно выполнять и поддерживать эти приложения в операционных средах.

Потоковая обработка идеально подходит для многих задач: подготовки данных с малой задержкой, потоковой аналитики и информационных панелей в реальном времени, раннего оповещения и обнаружения мошенничества. Вы можете обрабатывать потоковые данные любого типа, включая взаимодействия с пользователем, финансовые транзакции и данные интернета вещей, немедленно после получения.

УДК 004.4  
ББК 32.972

Authorized Russian translation of the English edition of Stream Processing with Apache Flink ISBN 9781491974292. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same. Russian language edition copyright © 2021 by DMK Press. All rights reserved.

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.

ISBN 978-1-491-97429-2 (англ.)  
ISBN 978-5-97060-880-7 (рус.)

© Fabian Hueske, Vasiliki Kalavri, 2019  
© Оформление, издание, перевод,  
ДМК Пресс, 2021

# Содержание

<b>Предисловие .....</b>	<b>11</b>
<b>От издательства .....</b>	<b>13</b>
<b>Благодарности .....</b>	<b>14</b>
<b>Об авторах .....</b>	<b>15</b>
<b>Колофон .....</b>	<b>16</b>
 <b>Глава 1. Введение в потоковую обработку с учетом состояния .....</b>	 <b>17</b>
1.1. Традиционные инфраструктуры данных .....	18
1.1.1. Транзакционная обработка .....	18
1.1.2. Аналитическая обработка .....	19
1.2. Обработка потоков с учетом состояния .....	21
1.2.1. Событийно-ориентированные приложения .....	23
1.2.2. Конвейеры данных .....	24
1.2.3. Потоковая аналитика .....	25
1.3. Эволюция потоковой обработки с открытым исходным кодом .....	26
1.3.1. Немного истории .....	27
1.4. Обзорное знакомство с Flink .....	29
1.4.1. Запуск вашего первого приложения Flink .....	30
1.5. Заключение .....	33
 <b>Глава 2. Основы потоковой обработки .....</b>	 <b>34</b>
2.1. Введение в потоковое программирование .....	34
2.1.1. Графы потока данных .....	34
2.1.2. Параллелизм данных и параллелизм задач .....	36
2.1.3. Стратегии обмена данными .....	36
2.2. Параллельная обработка потоков .....	37
2.2.1. Задержка и пропускная способность .....	37
2.2.2. Операции с потоками данных .....	40
2.3. Семантика времени .....	45
2.3.1. Что означает одна минута в потоковой обработке? .....	46
2.3.2. Время обработки .....	47
2.3.3. Время события .....	47
2.3.4. Водяные знаки .....	49
2.3.5. Время обработки по сравнению со временем события .....	50
2.4. Модели состояния и согласованности .....	50

2.4.1. Сбои заданий .....	52
2.4.2. Гарантии результата .....	53
2.5. Заключение .....	54

## **Глава 3. Архитектура Apache Flink .....**

3.1. Архитектура системы .....	56
3.1.1. Компоненты набора Flink .....	57
3.1.2. Развертывание приложений .....	58
3.1.3. Выполнение задачи .....	59
3.1.4. Высокодоступная конфигурация .....	60
3.2. Передача данных во Flink .....	62
3.2.1. Кредитное управление потоком .....	64
3.2.2. Цепочка задач .....	64
3.3. Обработка на основе времени события .....	66
3.3.1. Метки времени .....	66
3.3.2. Водяные знаки .....	67
3.3.3. Распространение водяного знака и время события .....	68
3.3.4. Назначение метки времени и создание водяных знаков .....	70
3.4. Управление состоянием .....	71
3.4.1. Состояние оператора .....	72
3.4.2. Состояние с ключевым доступом .....	73
3.4.3. Бэкенд состояния .....	74
3.4.4. Масштабирование операторов с учетом состояния .....	75
3.5. Контрольные точки, точки сохранения и восстановление состояния ...	77
3.5.1. Согласованные контрольные точки .....	77
3.5.2. Восстановление из сохраняющей контрольной точки .....	78
3.5.3. Алгоритм создания контрольной точки Flink .....	80
3.5.4. Значение контрольных точек для производительности .....	85
3.5.5. Точки сохранения .....	85
3.6. Заключение .....	88

## **Глава 4. Настройка рабочей среды для Apache Flink .....**

4.1. Необходимое ПО .....	89
4.2. Запуск и отладка приложений Flink в среде IDE .....	90
4.2.1. Импорт примеров книги в IDE .....	90
4.2.2. Запуск приложений Flink в среде IDE .....	92
4.2.3. Отладка приложений Flink в среде IDE .....	93
4.3. Развертывание проекта Flink для сборщика Maven .....	94
4.4. Заключение .....	95

## **Глава 5. API DataStream (v1.7) .....**

5.1. Hello, Flink! .....	96
5.1.1. Настройка среды выполнения .....	98
5.1.2. Чтение входного потока .....	98
5.1.3. Применение преобразований .....	99

5.1.4. Вывод результата .....	99
5.1.5. Выполнение .....	100
5.2. Преобразования .....	100
5.2.1. Основные преобразования .....	101
5.2.2. Преобразования KeyedStream .....	104
5.2.3. Многопоточные преобразования .....	106
5.2.4. Преобразования распределения .....	110
5.3. Настройка параллельной обработки .....	113
5.4. Типы .....	114
5.4.1. Поддерживаемые типы данных .....	115
5.4.2. Создание информации о типах для типов данных .....	117
5.4.3. Явное предоставление информации о типе .....	118
5.5. Определение ключей и полей ссылок .....	119
5.5.1. Позиции поля .....	119
5.5.2. Выражения поля .....	120
5.5.3. Ключевые селекторы .....	121
5.6. Реализация функций .....	121
5.6.1. Функциональные классы .....	122
5.6.2. Лямбда-функции .....	123
5.6.3. Расширенные функции .....	123
5.7. Добавление внешних и Flink-зависимостей .....	124
5.8. Заключение .....	125

## Глава 6. Операторы на основе времени и оконные

<b>операторы .....</b>	<b>126</b>
6.1. Настройка показателей времени .....	126
6.1.1. Назначение меток времени и создание водяных знаков .....	128
6.1.2. Водяные знаки, задержка и полнота .....	132
6.2. Функции процесса .....	133
6.2.1. TimerService и таймеры .....	134
6.2.2. Передача потоков на боковые выходы .....	136
6.2.3. CoProcessFunction .....	137
6.3. Оконные операторы .....	139
6.3.1. Определение оконных операторов .....	139
6.3.2. Встроенные средства назначения окон .....	140
6.3.3. Применение функций в окнах .....	144
6.3.4. Настройка оконных операторов .....	150
6.4. Объединение потоков по времени .....	161
6.4.1. Интервальное объединение .....	161
6.4.2. Оконное объединение .....	162
6.5. Обработка опоздавших данных .....	164
6.5.1. Отбрасывание опоздавших событий .....	164
6.5.2. Перенаправление опоздавших событий .....	164
6.5.3. Обновление результатов путем включения опоздавших событий .....	166
6.6. Заключение .....	167

<b>Глава 7. Операторы и приложения с учетом состояния</b>	168
7.1. Реализация функций с сохранением состояния	169
7.1.1. Объявление ключевого состояния в RuntimeContext	169
7.1.2. Реализация списочного состояния с помощью интерфейса ListCheckpointed	172
7.1.3. Использование широковещательного состояния	175
7.1.4. Использование интерфейса CheckpointedFunction	178
7.1.5. Получение уведомлений о пройденных контрольных точках	180
7.2. Включение восстановления после сбоя для приложений с учетом состояния	181
7.3. Обеспечение работоспособности приложений с учетом состояния	182
7.3.1. Указание уникальных идентификаторов оператора	182
7.3.2. Определение максимального параллелизма операторов ключевого состояния	183
7.4. Производительность и надежность приложений с учетом состояния	184
7.4.1. Выбор бэкенда состояния	184
7.4.2. Выбор примитива состояния	185
7.4.3. Предотвращение утечки состояния	186
7.5. Развитие приложений с учетом состояния	189
7.5.1. Обновление приложения без изменения существующего состояния	190
7.5.2. Удаление состояния из приложения	190
7.5.3. Изменение состояния оператора	190
7.6. Запрашиваемое состояние	192
7.6.1. Архитектура и обслуживание запросов состояния	192
7.6.2. Отображение состояния запроса	194
7.6.3. Запрос состояния из внешних приложений	195
7.7. Заключение	197

<b>Глава 8. Чтение и запись при работе с внешними системами</b>	198
8.1. Гарантии согласованности приложений	198
8.1.1. Идемпотентные записи	199
8.1.2. Транзакционные записи	200
8.2. Соединители Apache Flink	201
8.2.1. Соединитель источника Apache Kafka	202
8.2.2. Соединитель приемника Apache Kafka	205
8.2.3. Соединитель файлового источника	209
8.2.4. Соединитель файлового приемника	211
8.2.5. Соединитель приемника Apache Cassandra	213
8.3. Реализация пользовательской исходной функции	216
8.3.1. Сбрасываемые функции источника	218
8.3.2. Функции источника, метки времени и водяные знаки	219
8.4. Реализация пользовательской функции приемника	220

8.4.1. Идемпотентные соединители приемника .....	222
8.4.2. Соединители транзакционных приемников.....	223
8.5. Асинхронный доступ к внешним системам.....	230
8.6. Заключение .....	233

## **Глава 9. Настройка Flink для потоковых приложений..... 234**

9.1. Режимы развертывания.....	234
9.1.1. Автономный кластер .....	234
9.1.2. Docker.....	236
9.1.3. Apache Hadoop YARN.....	238
9.1.4. Kubernetes.....	241
9.2. Режим высокой доступности.....	245
9.2.1. Высокая доступность в автономном режиме.....	246
9.2.2. Высокодоступная конфигурация YARN.....	247
9.2.3. Высокодоступная конфигурация Kubernetes .....	248
9.3. Интеграция с компонентами Hadoop.....	249
9.4. Конфигурация файловой системы.....	250
9.5. Конфигурация системы .....	252
9.5.1. Java и загрузка классов .....	252
9.5.2. Процессор .....	253
9.5.3. Основная память и сетевые буферы.....	253
9.5.4. Дисковое хранилище .....	255
9.5.5. Контрольные точки и бэкенды состояния.....	256
9.5.6. Безопасность .....	256
9.6. Заключение .....	257

## **Глава 10. Работа с Flink и потоковыми приложениями ..... 258**

10.1. Запуск и управление потоковыми приложениями .....	258
10.1.1. Точки сохранения.....	259
10.1.2. Управление приложениями с помощью клиента командной строки.....	260
10.1.3. Управление приложениями с помощью REST API.....	265
10.1.4. Объединение и развертывание приложений в контейнерах.....	270
10.2. Управление планированием задач .....	273
10.2.1. Управление цепочкой задач.....	273
10.2.2. Определение групп совместного использования слотов .....	274
10.3. Настройка контрольных точек и восстановления .....	276
10.3.1. Настройка контрольных точек.....	276
10.3.2. Настройка бэкендов состояния .....	279
10.3.3. Настройка восстановления.....	281
10.4. Мониторинг кластеров и приложений Flink .....	283
10.4.1. Веб-интерфейс Flink .....	283
10.4.2. Система метрик.....	285
10.4.3. Мониторинг задержки .....	290
10.5. Настройка журналирования.....	291
10.6. Заключение.....	292

<b>Глава 11. Что дальше?</b> .....	293
11.1. Остальная часть экосистемы Flink.....	293
11.1.1. API DataSet для пакетной обработки .....	293
11.1.2. Table API и SQL для реляционного анализа .....	294
11.1.3. FlinkCEP для обработки сложных событий и сопоставления с образцом.....	294
11.1.4. Gelly для обработки графов.....	295
11.2. Присоединяйтесь к сообществу Flink .....	295
<b>Предметный указатель</b> .....	296