

Примеры архитектур

Юрий Литвинов

yurii.litvinov@gmail.com

11.03.2020г

Краткая история систем контроля версий

- ▶ 1975 – SCCS (Source Code Control System)
 - ▶ Дельты
- ▶ 1982 – RCS (Revision Control System)
 - ▶ С открытым исходным кодом (до сих пор поддерживается GNU)
- ▶ 1986 – CVS (Concurrent Versioning System)
 - ▶ Одновременное редактирование, мерджи, ветки, тэги, удалённые репозитории
- ▶ 2000 – SVN (Subversion)
- ▶ 2005 — Git, Mercurial, Bazaar
 - ▶ Распределённые

Git¹

- ▶ Распределённая VCS
- ▶ Linus Torvalds, 2005 год, драма с BitKeeper
- ▶ Architectural drivers
 - ▶ Распределённая разработка с тысячей коммитеров
 - ▶ Защита от порчи исходников
 - ▶ Возможность отменить мердж, смерджиться вручную
 - ▶ Высокая скорость работы

¹По гл. 10 <https://git-scm.com/book> и <http://aosabook.org/en/git.html>

Внутреннее устройство Git

Структура папки .git:

- ▶ HEAD
- ▶ index
- ▶ config
- ▶ description
- ▶ hooks/
- ▶ info/
- ▶ objects/
- ▶ refs/
- ▶ ...

Объекты

Git внутри — хеш-таблица, отображающая SHA-1-хеш файла в содержимое файла. Пример:

```
$ git init test
```

```
Initialized empty Git repository in /tmp/test/.git/
```

```
$ cd test
```

```
$ find .git/objects
```

```
.git/objects
```

```
.git/objects/info
```

```
.git/objects/pack
```

```
$ echo 'test content' | git hash-object -w --stdin
```

```
d670460b4b4aece5915caf5c68d12f560a9fe3e4
```

```
$ find .git/objects -type f
```

```
.git/objects/d6/70460b4b4aece5915caf5c68d12f560a9fe3e4
```

Объекты (2)

Как получить сохранённый объект:

```
$ git cat-file -p d670460b4b4aece5915caf5c68d12f560a9fe3e4  
test content
```

Версионный контроль:

```
$ echo 'version 1' > test.txt  
$ git hash-object -w test.txt  
83baae61804e65cc73a7201a7252750c76066a30  
$ echo 'version 2' > test.txt  
$ git hash-object -w test.txt  
1f7a7a472abf3dd9643fd615f6da379c4acb3e3a  
$ find .git/objects -type f  
.git/objects/1f/7a7a472abf3dd9643fd615f6da379c4acb3e3a  
.git/objects/83/baae61804e65cc73a7201a7252750c76066a30  
.git/objects/d6/70460b4b4aece5915caf5c68d12f560a9fe3e4
```

Объекты (3)

Переключение между версиями файла:

```
$ git cat-file -p 83baae61804e65cc73a7201a7252750c76066a30 \
  > test.txt
```

```
$ cat test.txt
```

version 1

```
$ git cat-file -p 1f7a7a472abf3dd9643fd615f6da379c4acb3e3a \
  > test.txt
```

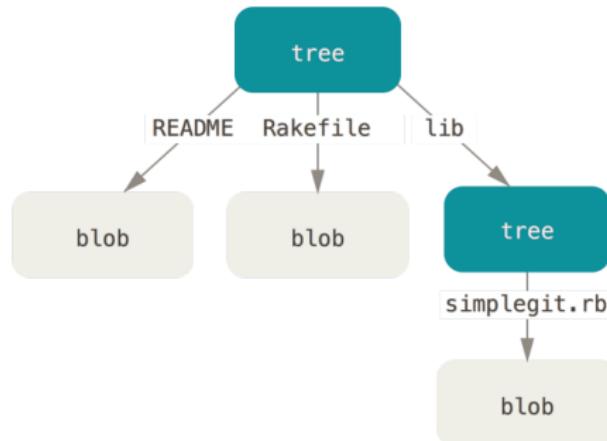
```
$ cat test.txt
```

version 2

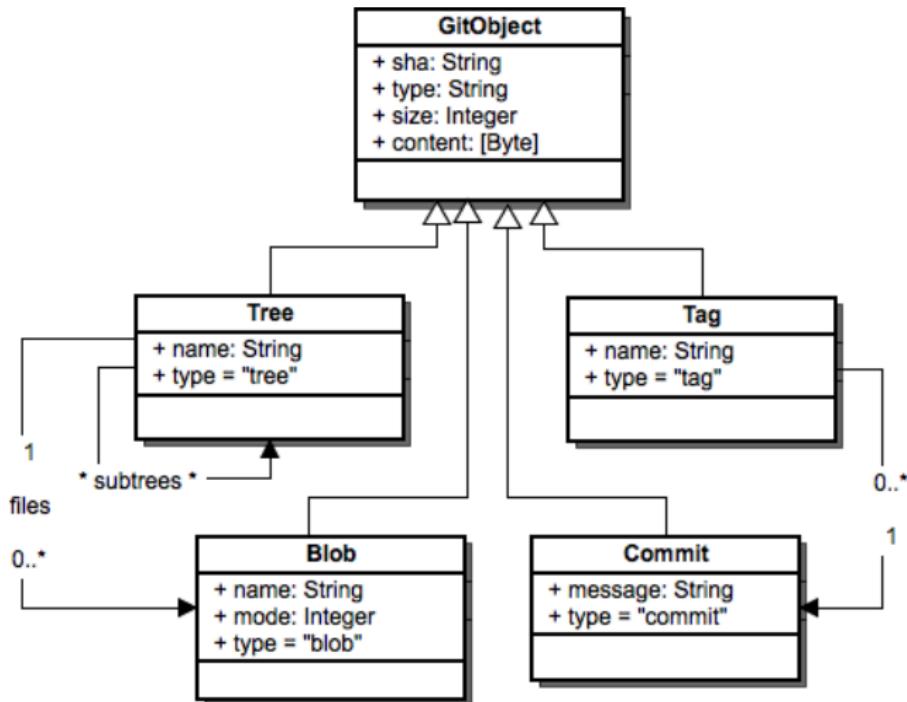
Деревья

blob (то, что мы видели раньше) хранит только содержимое файла, не хранит даже его имя. Решение проблемы — tree:

```
$ git cat-file -p master^{tree}
100644 blob a906cb2a4a904a152e80877d4088654daad0c859 README
100644 blob 8f94139338f9404f26296befa88755fc2598c289 Rakefile
040000 tree 99f1a6d12cb4b6f19c8655fca46c3ecf317074e0 lib
```



Какие ещё виды объектов бывают



Коммиты

tree-объекты могут хранить структуру файлов (как inode в файловой системе), но не хранят метаинформацию типа автора файла и даты создания. Это хранится в commit-объектах:

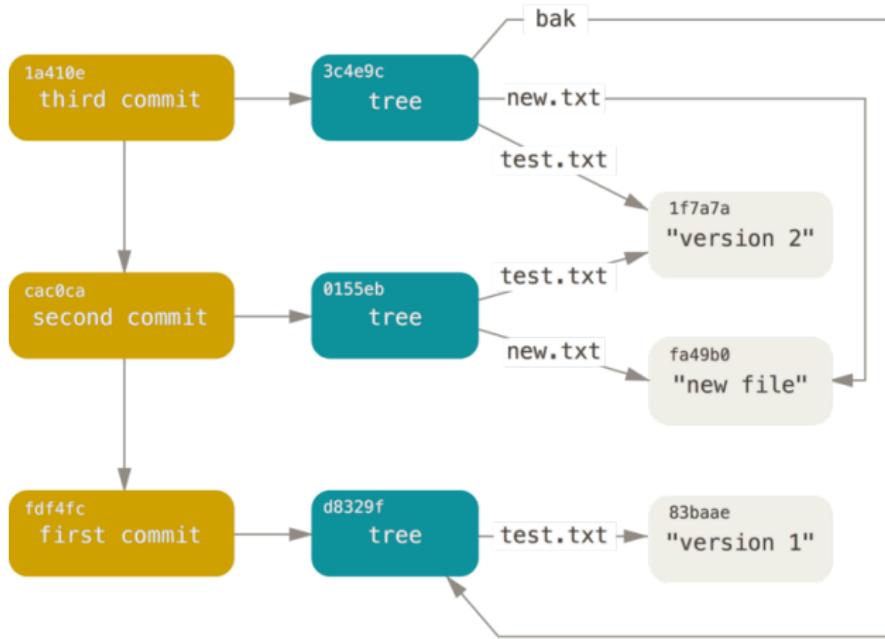
```
$ echo 'first commit' | git commit-tree d8329f  
fdf4fc3344e67ab068f836878b6c4951e3b15f3d
```

```
$ git cat-file -p fdf4fc3  
tree d8329fc1cc938780ffdd9f94e0d364e0ea74f579  
author Scott Chacon <schacon@gmail.com> 1243040974 -0700  
committer Scott Chacon <schacon@gmail.com> 1243040974 -0700
```

first commit

Ещё коммит хранит список коммитов-родителей

Коммиты, как это выглядит



Ссылки

Теперь вся информация хранится на диске, но чтобы ей воспользоваться, нужно помнить SHA-1 хеши. На помощь приходят reference-ы.

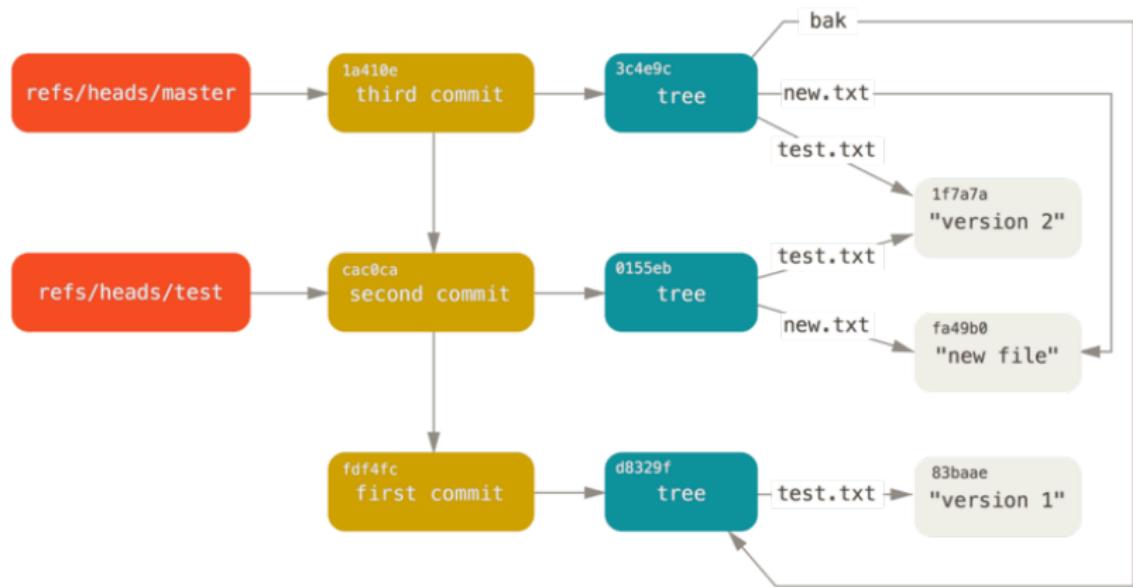
- ▶ .git/refs
- ▶ .git/refs/heads
- ▶ .git/refs/tags

```
$ echo "1a410efbd13591db07496601ebc7a059dd55cfe9" \
> .git/refs/heads/master
```

```
$ git log --pretty=oneline master
1a410efbd13591db07496601ebc7a059dd55cfe9 third commit
cac0cab538b970a37ea1e769ccbde608743bc96d second commit
fdf4fc3344e67ab068f836878b6c4951e3b15f3d first commit
```

- ▶ Команда git update-ref

Ссылки, как это выглядит



HEAD

Теперь не надо помнить хеши, но как переключаться между ветками?

Текущая ветка хранится в HEAD. HEAD — символьическая ссылка, то есть ссылка на другую ссылку.

```
$ cat .git/HEAD
```

```
ref: refs/heads/master
```

```
$ git symbolic-ref HEAD refs/heads/test
```

```
$ cat .git/HEAD
```

```
ref: refs/heads/test
```

Тэги

Последний из объектов в Git — tag. Это просто указатель на коммит.

- ▶ Легковесный тэг:

```
git update-ref refs/tags/v1.0 cac0cab538b970a37ea1e769cbbde608743bc96d
```

Или просто git tag

- ▶ Аннотированный тэг:

```
$ git tag -a v1.1 1a410efbd13591db07496601ebc7a059dd55cfe9 -m 'test tag'
```

```
$ git cat-file -p 9585191f37f7b0fb9444f35a9bf50de191beadc2
```

```
object 1a410efbd13591db07496601ebc7a059dd55cfe9
```

```
type commit
```

```
tag v1.1
```

```
tagger Scott Chacon <schacon@gmail.com> Sat May 23 16:48:58 2009 -0700
```

```
test tag
```

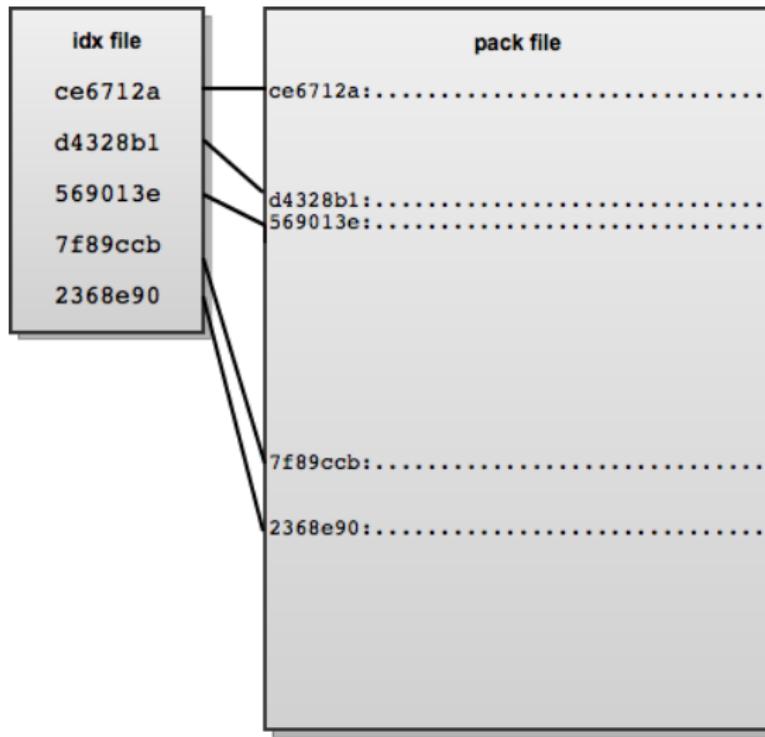
Packfiles

Пока что получалось, что все версии всех файлов в Git хранятся целиком, как они есть. Все они всегда сжимаются zlib, но в целом, если создать репозиторий, добавлять туда файлы, коммитить и т.д., все версии всех файлов будут в нём целиком. На помощь приходят .pack-файлы:

```
$ git gc
Counting objects: 18, done.
Delta compression using up to 8 threads.
Compressing objects: 100% (14/14), done.
Writing objects: 100% (18/18), done.
Total 18 (delta 3), reused 0 (delta 0)
```

```
$ find .git/objects -type f
.git/objects/bd/9dbf5aae1a3862dd1526723246b20206e5fc37
.git/objects/d6/70460b4b4aece5915caf5c68d12f560a9fe3e4
.git/objects/info/packs
.git/objects/pack/pack-978e03944f5c581011e6998cd0e9e30000905586.idx
.git/objects/pack/pack-978e03944f5c581011e6998cd0e9e30000905586.pack
```

Как оно устроено



Pack-файлы, подробности

- ▶ Упаковка происходит, когда:
 - ▶ Выполняется git push
 - ▶ Слишком много «свободных» объектов (порядка 7000)
 - ▶ Вручную вызвана git gc
- ▶ Используется дельта-компрессия
 - ▶ Последняя версия хранится целиком, дельты «идут назад»
- ▶ Можно заглянуть внутрь, git verify-pack
- ▶ Git может хитро перепаковывать pack-файлы

Reflog и восстановление коммитов

```
$ git reflog
```

```
1a410ef HEAD@{0}: reset: moving to 1a410ef  
ab1afef HEAD@{1}: commit: modified repo.rb a bit  
484a592 HEAD@{2}: commit: added repo.rb
```

```
$ git log -g
```

```
commit 1a410efbd13591db07496601ebc7a059dd55cfe9  
Refflog: HEAD@{0} (Scott Chacon <schacon@gmail.com>)  
Refflog message: updating HEAD  
Author: Scott Chacon <schacon@gmail.com>  
Date: Fri May 22 18:22:37 2009 -0700
```

third commit

```
$ git branch recover-branch ab1afef
```

Как более капитально прострелить себе ногу

И что делать

```
$ git branch -D recover-branch  
$ rm -Rf .git/logs/
```

```
$ git fsck --full
```

Checking object directories: 100% (256/256), done.

Checking objects: 100% (18/18), done.

dangling blob d670460b4b4aece5915caf5c68d12f560a9fe3e4

dangling commit ab1afef80fac8e34258ff41fc1b867c702daa24b

dangling tree aea790b9a58f6cf6f2804eeac9f0abbe9631e4c9

dangling blob 7108f7ecb345ee9d0084193f147cdad4d2998293

Git не удалит даже «висячие» объекты несколько месяцев, если его явно не попросить.

Lessons Learned

- ▶ Команды реализовывались как набор шелл-скриптов
 - ▶ Не портировать под Windows
 - ▶ Сложно интегрировать с IDE
 - ▶ В итоге замедлило внедрение git-а
 - ▶ В итоге побеждено
- ▶ Большой набор команд (включая plumbing) делает Git тяжёлым для изучения и усложняет сообщения об ошибках

Mercurial²

- ▶ Python + C
- ▶ Распределённая VCS
- ▶ Architectural drivers
 - ▶ Масштабные open-source-проекты (ядро Linux)
 - ▶ Миллионы файлов
 - ▶ Миллионы ревизий
 - ▶ Тысячи пользователей, вносящих изменения параллельно в течение десятилетий
 - ▶ Компрессия хранилища данных
 - ▶ Эффективное получение произвольных ревизий
 - ▶ Эффективное добавление новых ревизий
 - ▶ Работа с историями файлов

²По <http://aosabook.org>

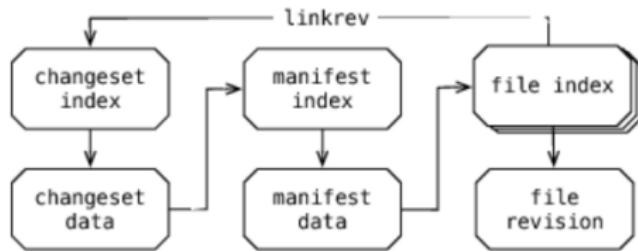
Revlog

- ▶ Каждый файл хранится в виде набора ревизий
- ▶ Ревизии хранятся в виде дельт, иногда снапшоты файла целиком
- ▶ Каждая ревизия описывается записью с форматом как на рисунке
- ▶ Отдельно файл с дельтами (данные), отдельно файл с записями (индекс)
- ▶ Сжатие zlib

6 bytes	hunk offset
2 bytes	flags
4 bytes	hunk length
4 bytes	uncompressed length
4 bytes	base revision
4 bytes	link revision
4 bytes	parent 1 revision
4 bytes	parent 2 revision
32 bytes	hash

Структура revlog-ов

- ▶ Changelog — метаданные о ревизии + ссылка на манифест
- ▶ Manifests — список имён файлов в ревизии + для каждого ссылка на filelog
- ▶ Filelog — содержимое файлов ревизии + немного метаданных
- ▶ Dirstate — информация о рабочей копии, кеш дерева файлов
- ▶ Обновление логов в фиксированном порядке, гарантирующее консистентность
- ▶ Revlog-и хранятся тоже в виде дельт



Как это выглядит

Changelog:

0a773e3480fe58d62dcc67bd9f7380d6403e26fa

Dirkjan Ochtman <dirkjan@ochtman.nl>

1276097267 -7200

mercurial/discovery.py

discovery: fix description line

Manifest:

.hgignore\x006d2dc16e96ab48b2fcc44f7e9f4b8c3289cb701

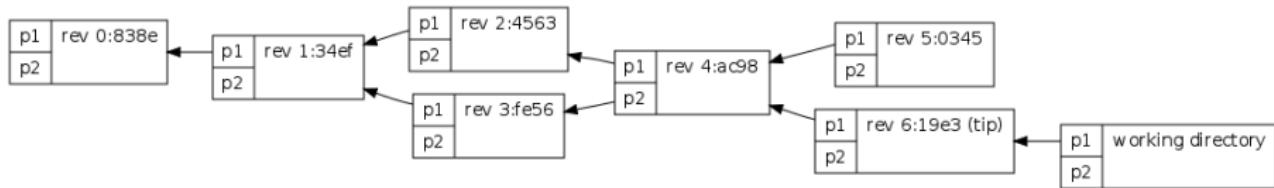
.hgsigs\x00de81f258b33189c609d299fd605e6c72182d7359

.hgtags\x00b174a4a4813ddd89c1d2f88878e05acc58263efa

CONTRIBUTORS\x007c8afb9501740a450c549b4b1f002c803c45193a

COPYING\x005ac863e17c7035f1d11828d848fb2ca450d89794

Ревизии

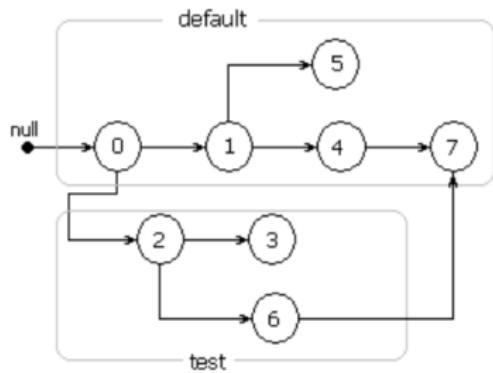


© <https://www.mercurial-scm.org/wiki/UnderstandingMercurial>

- ▶ Локальный номер ревизии
 - ▶ Доступ за константное время к узлу в revlog-е
- ▶ Глобальный SHA-1-хеш ревизии

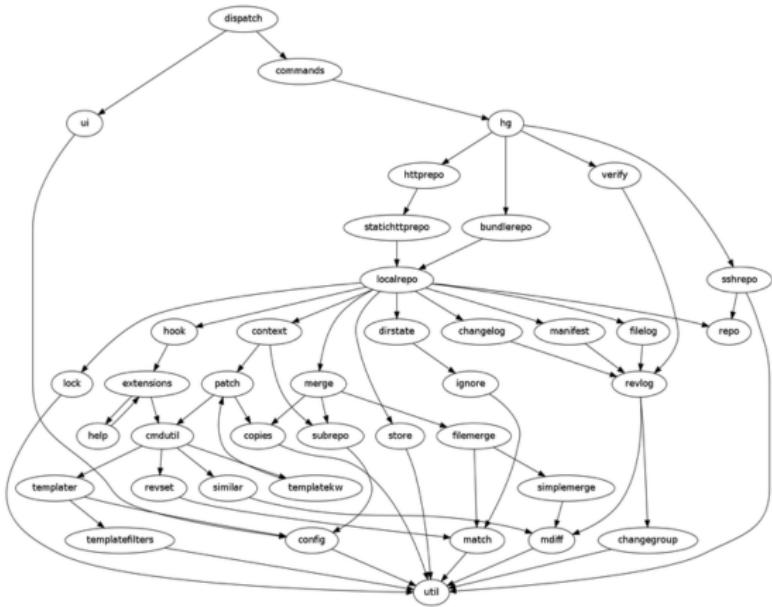
Ветки

1. Создание ветки через клонирование репозитория
2. Bookmarks — объекты-ссылки в духе git
3. Именованные ветки — имя ветки в метаданных ревизии
4. Анонимные ветки
 - ▶ Тэги хранятся как версионируемый файл .hgtags в репозитории



Статическая структура

- ▶ Один модуль — один файл
- ▶ CLI
- ▶ Одна команда — одна функция, все в одном файле
- ▶ Хеш-таблица, отображающая имена команд на функции
- ▶ Опции, общие наборы опций



Расширяемость

- ▶ Модули расширения
 - ▶ Новые команды
 - ▶ cmdtable, uisetup, reposetup
 - ▶ Обёртки над существующими командами
 - ▶ Обёртки над репозиторием
 - ▶ Обёртки над любой функцией Mercurial
 - ▶ Новые типы репозиториев (например, hgsubversion)
 - ▶ Аliasы
- ▶ hooks
 - ▶ Вызов shell-скрипта
 - ▶ Вызов Python-функции

Lessons Learned

- ▶ Python: и хорошо, и плохо
- ▶ Намеренно сложно модифицировать changeset после публикации
- ▶ Revlogs + модель данных – хорошо и эффективно
- ▶ Небольшое количество основных команд помогает легче научиться
- ▶ .hgtags оказался внезапен для пользователей
- ▶ Люди впервые знакомились с Python, чтобы писать расширения для mercurial, потому что это просто

Log4j, логирование

- ▶ Отладочный вывод — дешёвая альтернатива отладке
 - ▶ Иногда быстрее вставить отладочную печать, чем проходить отладчиком
 - ▶ Иногда отладчик недоступен или бесполезен
 - ▶ Многопоточные и распределённые приложения
 - ▶ Встроенные системы
- ▶ Post-mortem-анализ
 - ▶ “Отладочный вывод” должен работать и на развёрнутой системе
 - ▶ И выводить не в консоль
 - ▶ И обеспечивать информацию о контексте
- ▶ Примерно 4% кода типичных проектов связано с логированием
- ▶ Стратегическая расстановка операций логирования — важная часть архитектуры

Apache Log4j 2, основные понятия

Logger — штука, которая может что-то куда-то выводить (на самом деле, производить логирующие события)

LoggerConfig — управляет поведением логгера

LogManager — создаёт, хранит и выдаёт по запросу логгеры

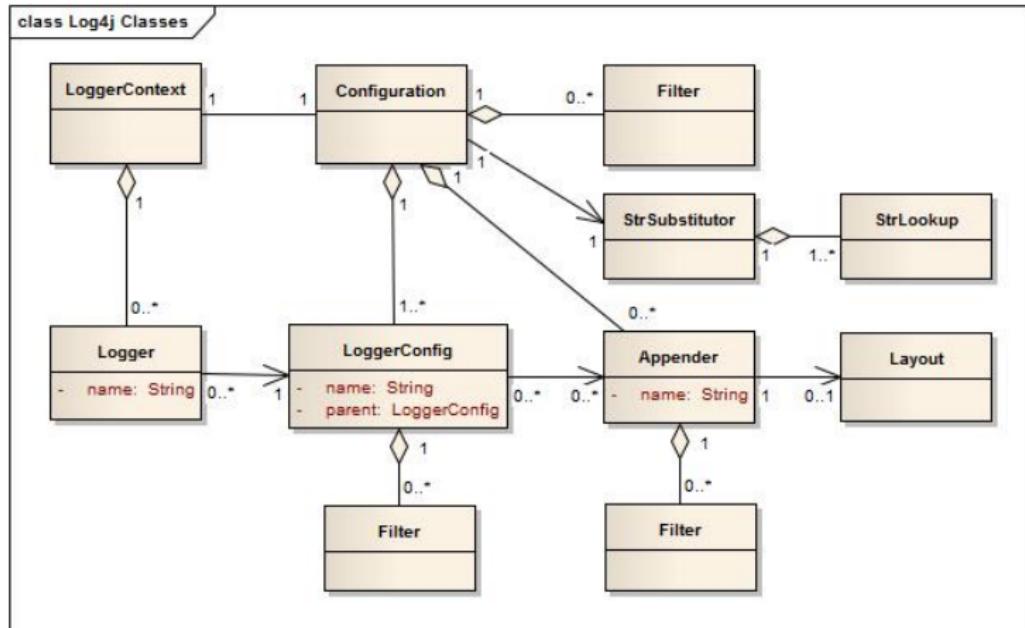
Filter — фильтрует логирующие события, говоря, надо или не надо их куда-то выводить

Appender — на самом деле выводит информацию куда-то (в файл, на консоль, в системный лог и т.д.)

Layout — говорит, в каком формате и какую информацию о событии следует выводить

Вся конфигурация — иерархическая

Архитектура



Пример

```
import org.apache.logging.log4j.LogManager;
import org.apache.logging.log4j.Logger;

public class HelloWorld {
    private static final Logger logger
        = LogManager.getLogger("HelloWorld");
    public static void main(String[] args) {
        logger.info("Hello, World!");
    }
}
```

Пример конфигурации

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Configuration monitorInterval="30">
    <Appenders>
        <Console name="Console" target="SYSTEM_OUT">
            <PatternLayout pattern=
                "%d{HH:mm:ss.SSS} [%t] %-5level %logger{36} - %msg%n"/>
        </Console>
    </Appenders>
    <Loggers>
        <Root level="error">
            <AppenderRef ref="Console"/>
        </Root>
    </Loggers>
</Configuration>
```

Куда это писать

Log4j ищет конфигурации в следующих местах в следующем порядке:

- ▶ Системное свойство “log4j.configurationFile” (указывается при запуске опцией -D)
- ▶ log4j2-test.properties в classpath
- ▶ log4j2-test.yaml или log4j2-test.yml в classpath
- ▶ log4j2-test.json или log4j2-test.json в classpath
- ▶ log4j2-test.xml в classpath
- ▶ log4j2.properties в classpath
- ▶ log4j2.yaml или log4j2.yml в classpath
- ▶ log4j2.json или log4j2.json в classpath
- ▶ log4j2.xml в classpath
- ▶ Иначе используется DefaultConfiguration, которая выводит на консоль

Уровни и маркеры

Уровни логирования: **TRACE, DEBUG, INFO, WARN, ERROR, FATAL, OFF**

Маркеры — способ тонкой настройки информации, которую хочется выводить. Пример:

```
private static final Marker SQL_MARKER  
= MarkerManager.getMarker("SQL");
```

```
private static final Marker QUERY_MARKER  
= MarkerManager.getMarker("SQL_QUERY")  
.setParents(SQL_MARKER);
```

```
...  
logger.debug(QUERY_MARKER, "SELECT * FROM {}", table);
```

Синтаксис конфигурации (1)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Configuration>
  <Properties>
    <Property name="name1">value</property>
    <Property name="name2" value="value2"/>
  </Properties>
  <Filter type="type" ... />
  <Appenders>
    <Appender type="type" name="name">
      <Filter type="type" ... />
    </Appender>
    ...
  </Appenders>
```

Синтаксис конфигурации (2)

```
<Loggers>
  <Logger name="name1">
    <Filter type="type" ... />
  </Logger>
  ...
  <Root level="level">
    <AppenderRef ref="name"/>
  </Root>
</Loggers>
</Configuration>
```

Appenders

Console — выводит в SYSTEM_OUT или SYSTEM_ERR

File — выводит в указанный файл

RollingFile — выводит в указанный файл, создавая новые файлы и удаляя старые при необходимости

- ▶ TriggeringPolicy — когда переходить к следующему файлу и что-то делать с предыдущими
 - ▶ При запуске, по времени, по размеру, по дате/часу
- ▶ RolloverStrategy — что делать с файлами
 - ▶ По шаблону (хитро), с указанием максимума хранимых файлов, кого удалять, сжатие логов

Ещё штук 20

Пример конфигурации

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Configuration name="MyApp">
    <Appenders>
        <RollingFile name="RollingFile"
            fileName="logs/app.log"
            filePattern=
                "logs/${date:yyyy-MM}/app-%d{MM-dd-yyyy}-%i.log.gz">
            <PatternLayout>
                <Pattern>%d %p %c{1.} [%t] %m%n</Pattern>
            </PatternLayout>
        <Policies>
            <TimeBasedTriggeringPolicy />
            <SizeBasedTriggeringPolicy size="250 MB"/>
        </Policies>
    </RollingFile>
</Appenders>
...
</Configuration>
```

Patterns

c/logger	Имя логгера
C/class	Имя класса, который вывел сообщение
d/date	Дата и время
p/level	Уровень логирующего события (TRACE, INFO, ...)
t/thread	Имя потока, в котором произошло событие
m/message	Собственно, сообщение из программы
n	Перевод строки
marker	Полное имя маркера
L/line	Строка, где вызвали логгер
highlight	Штука, позволяющая управлять цветом вывода

Как это выглядит в коде

Неправильно:

```
if (logger.isDebugEnabled()) {  
    logger.debug("Logging in user " + user.getName()  
        + " with birthday " + user.getBirthdayCalendar());  
}
```

Правильно:

```
logger.debug("Logging in user {} with birthday {}",  
    user.getName(), user.getBirthdayCalendar());
```

Длительные операции

Неправильно:

```
if (logger.isTraceEnabled()) {  
    logger.trace("Some long-running operation returned {}",  
                expensiveOperation());  
}
```

Правильно:

```
logger.trace("Some long-running operation returned {}",  
            () -> expensiveOperation());
```

Flow Tracing

```
public void setMessages(String[] messages) {  
    logger.traceEntry(new JsonMessage(messages));  
    this.messages = messages;  
    logger.traceExit();  
}  
  
public String retrieveMessage() {  
    logger.entry();  
    String testMsg = getMessage(getKey());  
    return logger.exit(testMsg);  
}
```

ThreadContext

ThreadContext — Мап со значениями, локальными для потока или для контекста, которые можно использовать в логах:

```
ThreadContext.put("id", UUID.randomUUID().toString());  
ThreadContext.put("ipAddress", request.getRemoteAddr());
```

```
...  
logger.debug("Message 1");
```

```
...  
ThreadContext.clear();
```

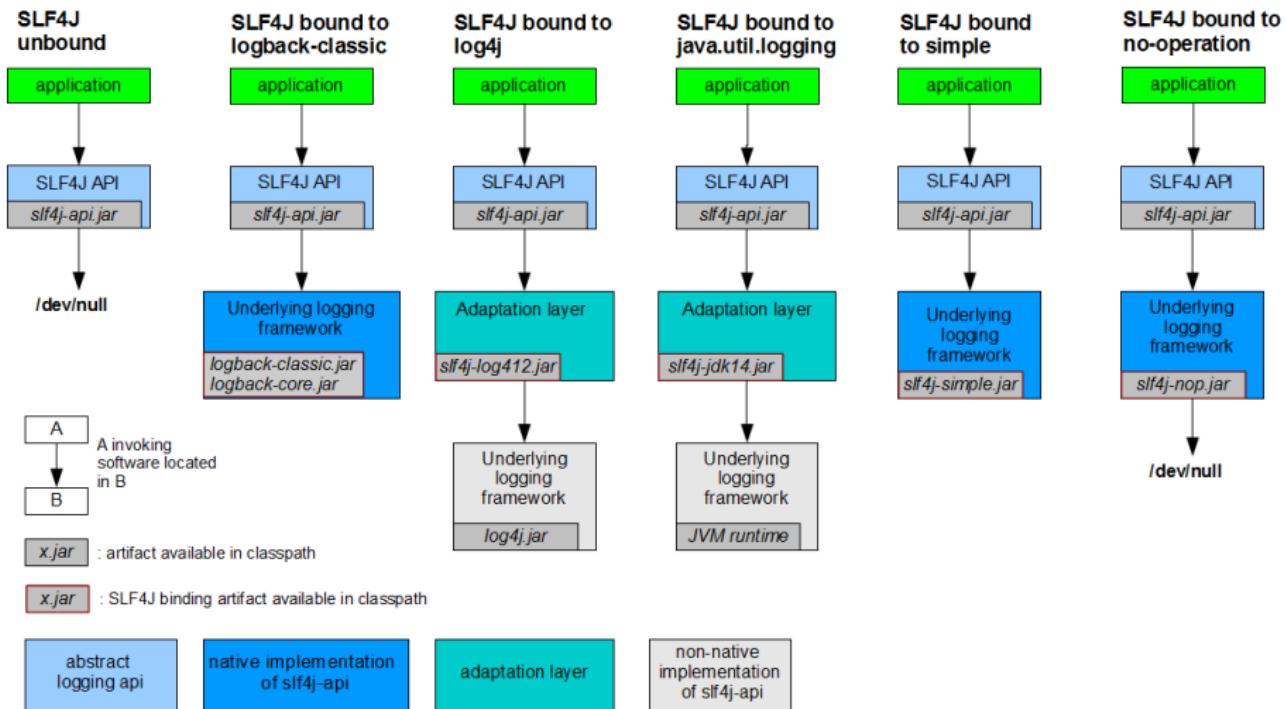
Шаблон **%X** включает в лог всё, **%X{key}** — только значение с заданным ключом

SLF4J

Simple Logging Facade for Java

- ▶ Фасад (на самом деле, прокси) для библиотек логирования
- ▶ Нужен, чтобы код не зависел от конкретной библиотеки логирования, а зависел только от легковесного фасада
- ▶ Фасад, в свою очередь, использует ту библиотеку, которую нашёл в CLASSPATH при запуске
- ▶ Работает очень быстро и позволяет не навязывать лишних зависимостей
 - ▶ Особенно полезно в библиотечном коде
 - ▶ Спасает от ситуации, когда есть несколько компонентов, каждый из которых хочет свою библиотеку логирования

Архитектура



Пример

```
import org.slf4j.Logger;
import org.slf4j.LoggerFactory;

public class Wombat {
    private final Logger logger = LoggerFactory.getLogger(Wombat.class);
    private Integer t;
    private Integer oldT;

    public void setTemperature(Integer temperature) {
        oldT = t;
        t = temperature;

        logger.debug("Temperature set to {}. Old temperature was {}.", t, oldT);

        if(temperature.intValue() > 50) {
            logger.info("Temperature has risen above 50 degrees.");
        }
    }
}
```

SLF4J

- ▶ Умеет многое из того, что умеют “настоящие” библиотеки, так что можно просто выводить в лог, не задумываясь об API
 - ▶ Формирование строк через {}
 - ▶ Маркеры
- ▶ Чтобы всё работало, надо подключить:
 - ▶ slf4j-api — обязательно, и одно из:
 - ▶ slf4j-simple — бэкенд “из коробки”, умеет выводить в System.err
 - ▶ log4j-slf4j-impl — для использования Log4J в качестве бэкенда
- ▶ Не забываем конфигурационный файл Log4J, если используем как бэкенд его

Battle for Wesnoth³

- ▶ Пошаговая стратегия
- ▶ Порядка 200000 строк кода на C++
- ▶ 4 миллиона скачиваний
- ▶ 9/10 на Steam
- ▶ 2003 год



© <https://www.wesnoth.org/>

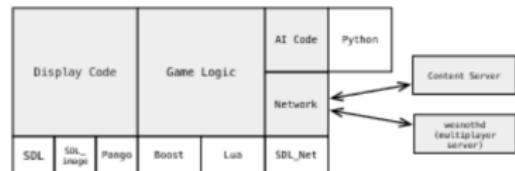
³По <http://aosabook.org>

Architectural Drivers

- ▶ Доступность для новых разработчиков и авторов контента
- ▶ В ущерб технической красоте
- ▶ Не nice to have, а условие выживания проекта в контексте широкого open-source сообщества из людей без каких-либо обязательств и разного технического уровня

Высокоуровневая архитектура

- ▶ Wesnoth Markup Language (WML)
- ▶ Минимизация зависимостей от сторонних библиотек
 - ▶ SDL Simple Directmedia Layer) для видео и ввода/вывода
 - ▶ Простота использования и кроссплатформенность
 - ▶ Boost, Pango, zlib, Python, Lua, GNU gettext



Основные компоненты

- ▶ Парсер и препроцессор WML
- ▶ Базовый ввод-вывод — видео, звук, сеть
- ▶ GUI — виджеты
- ▶ Display module — игровая доска, юниты, анимация и т.д.
- ▶ ИИ
- ▶ Поиск пути (плюс утилиты для работы с гексагональной доской)
- ▶ Генератор карт
- ▶ Специализированные модули
 - ▶ Титульный экран
 - ▶ Storyline module — для проигрывания катсцен
 - ▶ Лобби — для мультиплеера
 - ▶ “Play game” module — управление основным игровым процессом
- ▶ Отдельно — wesnothd и content server

Wesnoth Markup Language

[unit_type]

 id=Elvish Fighter

 name=_ "Elvish Fighter"

 image="units/elves-wood/fighter.png"

 hitpoints=33

 advances_to=Elvish Captain,Elvish Hero

 {LESS_NIMBLE_ELF}

[attack]

 name=sword

 icon=attacks/sword-elven.png

 range=melee

 damage=5

[/attack]

[/unit_type]

Макросы

```
#define GOLD EASY_AMOUNT NORMAL_AMOUNT HARD_AMOUNT
#define EASY
gold={EASY_AMOUNT}
#endif
#define NORMAL
gold={NORMAL_AMOUNT}
#endif
#define HARD
gold={HARD_AMOUNT}
#endif
#endif
...
{GOLD 50 100 200}
```

Модель данных

- ▶ Всё сливается в один гигантский WML-документ
- ▶ Перезагружается при смене опций
- ▶ Всякие хаки на уровне препроцессора, чтобы не грузить вообще всё
- ▶ Классы unit и unit_type (архитектурный стиль Knowledge Layer)
- ▶ Фиксированный набор поддерживаемых движком атрибутов, задаваемых для каждого типа через WML
 - ▶ Нельзя описывать произвольное поведение через WML, хотели сохранить декларативность
- ▶ Класс attack_type
- ▶ Трейты, инвентарь

Мультиплеер

- ▶ Начальное состояние и команды
- ▶ Сервер просто пересыпает команды между клиентами
 - ▶ TCP/IP
- ▶ Replay
- ▶ Никакой защиты от читов
- ▶ Версии клиентов

Lessons Learned

- ▶ 250 тысяч строк на WML
- ▶ Сотни созданных пользователями кампаний
- ▶ 74 тысячи коммитов, 196 контрибуторов
- ▶ Сами разработчики смеются над WML
- ▶ В целом задача обеспечить доступность для модификации очень сложна