第四讲：MySQL 服务启动源码分析

知春路遇上八里桥

<2024-05-15 Wed>

1

启动的前奏曲

启动选项

1. 通过命令行参数传入

```
mysqld --default-storage-engine=MyISAM
mysqld --default_storage_engine=MyISAM
mysql -h127.0.0.1 -uroot -p
```

2. 通过配置文件写入，/etc/my.cnf，$MYSQL_HOME/my.cnf
   - 可以通过 --defaults-file 选项制定

```
[mysqld]
default-storage-engine = MyISAM
```

3. 使用命令行自带的帮助输出，查看可用的启动选项

```
mysqld --help --verbose
mysql --help
```

系统变量

1. 影响 mysqld 服务器程序运行过程中行为的变量，下面列举几个系统变量 [1]
   - `default_storage_engine` 表示默认的存储引擎
   - `max_connections` 允许同时连入的客户端数量
   - 更多我们后续用到再介绍
2. 可以使用 `show variables like ...` 查看
3. mysqld 运行过程中也可不停机设置系统变量，变量有对应的作用范围 [2]
   - GLOBAL：全局变量，影响服务器的整体操作
   - SESSION：会话变量，影响某个客户端连接的操作

```
set  global  default_storage_engine = MyISAM;
set  session default_storage_engine = MyISAM;
show session variables like 'default_storage_engine';
show global  variables like 'default_storage_engine';
```

[1] https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/server-system-variables.html
[2] 并不是所有系统变量都具有 GLOBAL 和 SESSION 的作用范围

状态变量

1. 记录 mysqld 运行实时状态的变量，方便我们更好地了解其运行状态 [3]
   - Threads_connected 当前有多少客户端与服务器建立了连接
   - Uptime 表示服务器开机时长
2. 状态变量时只读的，可以使用 `show status like ...` 查看

```
mysql> show status like 'thread%';
+-------------------+-------+
| Variable_name     | Value |
+-------------------+-------+
| Threads_cached    | 0     |
| Threads_connected | 1     |
| Threads_created   | 1     |
| Threads_running   | 2     |
+-------------------+-------+
4 rows in set (0.01 sec)
```

3. 状态变量也有 GLOBAL 和 SESSION 两个作用范围的

[3] https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/server-status-variables.html

2

服务器系统启动

从 main() 函数开始

- 主函数 main() 调用 mysqld_main() 函数启动服务器
  - ⋆ sql/main.cc

```
24  extern int mysqld_main(int argc, char **argv);
25
26  int main(int argc, char **argv) { return mysqld_main(argc, argv); }
```

- 初始化函数，开始正真地启动工作
  - ⋆ sql/mysqld.cc

```
7270  #ifdef _WIN32
7271  int win_main(int argc, char **argv)
7272  #else
7273  int mysqld_main(int argc, char **argv)
7274  #endif
7275  {
      // 此处省略共计 1065 行代码
8340  }
```

使用 gdb/lldb 调试 mysqld 的两种方式

1. 方案一：直接加载启动方式 [4]
   - 选项 -o 可以添加启动的命令
   - 选项 -- 后可以添加加载参数 [5]

   ```
   lldb -o "b main" \
        -o "r" \
        -- mysqld --gdb
   ```
2. 方案二：启动进程后，再 attach 到进程上
   - 启动 mysqld 进程

   ```
   mysqld --gdb
   ```
   - 附着到 mysqld 运行的进程，$MYSQLD_PID 是进行 pid

   ```
   gdb -p $MYSQLD_PID
   lldb -p $MYSQLD_PID
   ```
3. 来上手试试 ···

[4] 更多 lldb/gdb 调试命令 https://lldb.llvm.org/use/map.html
[5] 查看当前参数 (lldb) settings show target.run-args

最早的初始化代码

- 从 mysqld_main() 最开始的代码开始看
  - ⋆ sql/mysqld.cc

```
7273  int mysqld_main(int argc, char **argv)
7274  #endif
7275  {
7276    initialize_stack_direction();
7277
7278    // Substitute the full path to the executable in argv[0]
7279    substitute_progpath(argv);
7280    sysd::notify_connect();
7281    sysd::notify("STATUS=Server startup in progress\n");
```

- substitute_progpath(argv) 替换全路径
  - 程序名替换成全路径 "mysqld" ⇒ "/opt/mysql/bin/mysqld"
  - 替换 ~ 符号成 $HOME 对于的路径
  - 环境变量 $PATH 解释
- sysd::notify_connect() 尝试连接 socket
  - 查找 NOTIFY_SOCKET 环境变量中包含的 socket 文件名
  - 如果存在，调用 connect() 连接它

最早的初始化代码（续一）

- 继续看代码 ⋆ sql/mysqld.cc

```
7290  #ifndef _WIN32
7291  #ifdef WITH_PERFSCHEMA_STORAGE_ENGINE
7292    pre_initialize_performance_schema();
7293  #endif /*WITH_PERFSCHEMA_STORAGE_ENGINE */
7294    // For windows, my_init() is called from the win specific mysqld_main
7295    if (my_init())  // init my_sys library & pthreads
7296    {
7297      LogErr(ERROR_LEVEL, ER_MYINIT_FAILED);
7298      flush_error_log_messages();
7299      return 1;
7300    }
7301  #endif /* _WIN32 */
```

- my_init() 初始化 my_sys 库和 pthreads 线程库
  - my_thread_global_init() 初始化线程的环境，主要初始化锁
  - my_thread_init() 申请 mysys 线程的内存，主要用于调试

最早的初始化代码（续二）

- 继续看代码 ⋆ sql/mysqld.cc

```
7303  orig_argc = argc;
7304  orig_argv = argv;
7305  my_getopt_use_args_separator = true;
7306  my_defaults_read_login_file = false;
7307  if (load_defaults(MYSQL_CONFIG_NAME, load_default_groups, &argc, &argv,
7308                    &argv_alloc)) {
7309    flush_error_log_messages();
7310    return 1;
7311  }
```

- `load_defaults()` 从配置文件中读取配置项，调用 `my_load_defaults()`
  - `init_default_directories()` 获取配置的目录
  - `my_search_option_files()` 处理在缺省目录下的配置文件
  - `my_default_get_login_file()` 从集群中读取配置，
    1. 继续调用 `my_search_option_files()` 处理
  - `set_args_separator()` 设置选项分隔符

最早的初始化代码（续三）

- 继续看代码 ⋆ sql/mysqld.cc

```
7345  bool arg_separator_added = false;
7346  if (persisted_variables_cache.init(&argc, &argv) ||
7347      persisted_variables_cache.load_persist_file() ||
7348      persisted_variables_cache.append_parse_early_variables(
7349          &argc, &argv, arg_separator_added)) {
7350    flush_error_log_messages();
7351    return 1;
7352  }
```

- persisted_variables_cache 持久化的参数配置缓存，采用 JSON 进行存储，
  - .init() 初始化，调用 my_handle_options() 主要处理参数的逻辑
  - .load_persist_file() 加载持久化文件的配置，转成 JSON，分析出 KV 结构
  - .append_parse_early_variables() 将上步分解出的配置参数追加到命令行参数中
- ...

3

核心代码阅读

核心初始化函数

$\cdots \Rightarrow$ `sys_var_init()` $\Rightarrow \cdots \Rightarrow$ `init_common_variables()` $\Rightarrow \cdots \Rightarrow$ `init_server_components()`

1. `sys_var_init()` **初始化系统变量** ⋆ sql/mysqld.cc

```
7328  sys_var_init();
```

2. `init_common_variables()` **初始化公共变量** ⋆ sql/mysqld.cc

```
7682  if (init_common_variables()) {
7683    setup_error_log();
7684    unireg_abort(MYSQLD_ABORT_EXIT);  // Will do exit
7685  }
```

3. `init_server_components()` **初始化服务器组件** ⋆ sql/mysqld.cc

```
7882  if (init_server_components()) unireg_abort(MYSQLD_ABORT_EXIT);
```

核心初始化函数 - sys_var_init()

- 初始化 ⋆ sql/sys_vars.cc 中定义静态变量

```
146 static_system_variable_hash = new collation_unordered_map<string, sys_var *>(
147     system_charset_info, PSI_INSTRUMENT_ME);
148
149 dynamic_system_variable_hash = new collation_unordered_map<string, sys_var *>(
150     system_charset_info, PSI_INSTRUMENT_ME);
151
152 never_persistable_vars = new collation_unordered_set<string>(
153     {PERSIST_ONLY_ADMIN_X509_SUBJECT, PERSISTED_GLOBALS_LOAD},
154     system_charset_info, PSI_INSTRUMENT_ME);
155
156 if (add_static_system_variable_chain(all_sys_vars.first)) goto error;
```

- 调用 mysql_add_sys_var_chain() 添加系统变量

核心初始化函数 - init_common_variables()

- init_thread_environment() 初始化与线程相关的锁
- mysql_init_variables() 初始化全局变量为缺省值
- mysql_bin_log.set_psi_keys() 完成 binlog 的初始化，让 PSI 的对 binlog 可见
- mysql_bin_log.init_pthread_objects() 初始化 bin log 与线程相关的锁
- get_options() 剩余的可选项，binlog，压缩算法，页的大小，线程缓存大小
  1. Connection_handler_manager::init() 初始化连接池
  2. Per_thread_connection_handler::init() 初始化 Per_thread_connection_handler，初始化锁
- mysql_client_plugin_init() 初始化 mysql client 的 plugin
- lex_init() 词法分析器初始化
- 选字符集/collation
- 日志配置
- initialize_create_data_directory(mysql_real_data_home) 创建数据目录
- 表名的大小写的配置
- ...

核心初始化函数 - init_server_components()

- mdl_init() 初始化 metadata locking 子系统
- partitioning_init() 分区初始化
- table_def_init() 表定义缓存
- hostname_cache_init() 初始化（client）主机名缓存
- my_timer_initialize() 初始化计时器
- xa::Transaction_cache::initialize() 初始化事务缓存
- MDL_context_backup_manager::init() 维护 XA 事务中元数据锁
- delegates_init() 初始化外部 observer 的委托
- process_key_caches() 用 ha_init_key_cache() 函数初始化所有的 key 缓存
- ha_init_errors() 初始化存储引擎的错误信息
- gtid_server_init() GTID server 初始化
- udf_init_globals() 初始化 udf 结构体
- init_ssl() 配置 SSL 包
- init_sql_command_flags() 初始化 SQL 命令 flag

核心初始化函数 - init_server_components() （续）

- dd::init() 数据字典初始化
- plugin_register_dynamic_and_init_all() 注册动态的 plugin 和初始化所有的 plugin
- dd::performance_schema::init_pfs_tables() 处理好 pfs 相关的表
- upgrade_system_schemas() 升级系统库表
- Resource_group_mgr::post_init() 从磁盘读取资源组数据
- handle_options() 处理剩余的参数可选项
- ha_init() 初始化存储引擎
- initialize_storage_engine() 初始化缺省（或临时）的存储引擎
- Recovered_xa_transactions::init() 恢复 XA 事务初始化
- init_server_auto_options() 初始化服务自动项，
- MYSQL_BIN_LOG::open_binlog() 打开 binlog 文件，分析主备 binlog
- init_optimizer_cost_module() 初始化优化器
- ft_init_stopwords() 停用词初始化
- init_max_user_conn() 初始化 client 连接

进入事件循环

1. 服务器初始化最后运行 connection_event_loop()
   - 静态全局变量，用于监听处理客户端的连接请求
   - ⋆ sql/mysqld.cc

```
1822 static Connection_acceptor<Mysqld_socket_listener> *mysqld_socket_acceptor =
1823     nullptr;
```

   - 进入连接器的事件循环中
   - ⋆ sql/mysqld.cc

```
8286 mysqld_socket_acceptor->connection_event_loop();
```

2. 调用连接器中实现的事件循环函数
   - ⋆ sql/conn_handler/connection_acceptor.h

```
61 void connection_event_loop() {
62   Connection_handler_manager *mgr =
63       Connection_handler_manager::get_instance();
64   while (!connection_events_loop_aborted()) {
65     Channel_info *channel_info = m_listener->listen_for_connection_event();
66     if (channel_info != nullptr) mgr->process_new_connection(channel_info);
67   }
68 }
```

4

初始函数汇总

初始化流程（一）

- substitute_progpath() 将命令行的程序名替换成全路径的程序名
- sysd::notify_connect() 尝试连接该 Socket
- my_init() 初始化 my_sys 函数，资源和变量
- load_defaults->my_load_defaults() 从配置文件中读取配置项
- persisted_variables_cache 持久化的参数配置缓存，采用 JSON 进行存储，
- init_variable_default_paths() 初始化配置文件的作用域，参考 enum_variable_source
- init_pfs_instrument_array() PSI (performance schema interface) 性能仪表相关
- handle_early_options() 处理早期的选项，包括 performance_schema 和启动参数等
- init_sql_statement_names() 初始化与 sql 语句相关的名字
- sys_var_init() 初始化系统变量
- init_error_log() 初始化错误日志
- adjust_related_options() 调整相关的参数

初始化流程（二）

- `initialize_performance_schema()` 初始化 performance_schema
- `LO_init()` 初始化 Lock Order，主要用 Lock Order Graph 描述锁依赖关系
- 启动 PSI 相关的服务

```
thread_service | mutex_service  | rwlock_service     | cond_service
file_service   | socket_service | table_service      | mdl_service
idle_service   | stage_service  | statement_service  | transaction_service
memory_service | error_service  | data_lock_service  | system_service
```

- `init_server_psi_keys()` 注册 psi key 的函数
- `my_thread_global_reinit()` 重新初始化一些比较开始与锁相关的，因为需要考虑一些仪表
- `component_infrastructure_init()` 初始化基础组件
- `register_pfs_notification_service()`
- `register_pfs_resource_group_service()`

初始化流程（三）

- `res_grp_mgr->init()` 初始化资源组管理器
- 调用 psi_thread_service 函数，参考 key_thread_main，set_thread_os_id，set_thread
- `mysql_audit_initialize()` 初始化与 audit 相关的变量
- `Srv_session::module_init()` 初始化 srv_session 模块
- `query_logger.init()` 查询日志初始化
- `init_common_variables()` 初始化通用变量
- `my_init_signals()` 初始化信号处理
- `Migrate_keyring::init()` 初始化 Migrate_keyring
- `Migrate_keyring::execute()` 执行 Migrate_keyring
- `set_ports()` 确定 tcp 端口
- `init_server_components()` 初始化服务端组件
- `Gtid_state::init()` 将 server_uuid 放至 sid_map 中
- `MYSQL_BIN_LOG::init_gtid_sets()` 从 gtid_executed 表和 binlog 文件中初始化参数

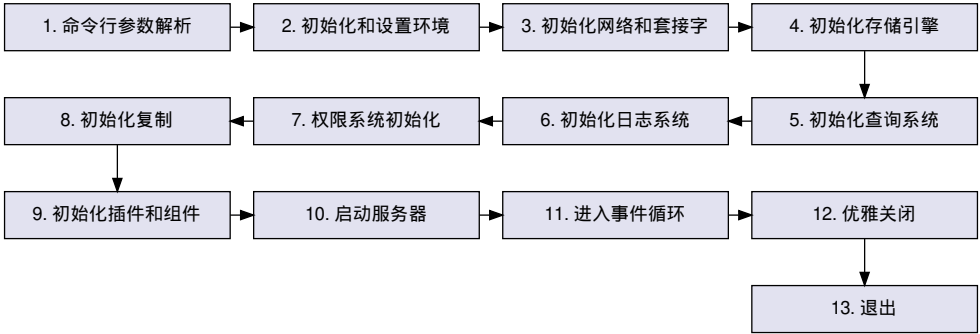
初始化流程（四）

- `init_ssl_communication()` 初始化 SSL
- `network_init()` 初始化服务的 listener
- `create_pid_file()` 创建 pid 文件
- `reload_optimizer_cost_constants()` 重新加载优化器的计算成本常量
- `mysql_component_infrastructure_init()` 通过初始化动态加载器来初始化 mysql 服务组件
- `mysql_rm_tmp_tables()` 删除临时文件
- `acl_init()` 初始化 ACL 访问控制
- `init_acl_memory()` 初始化 ACL 的内存
- `my_tz_init()` 初始化时区
- `grant_init()` 授权初始化
- `dynamic_privilege_init()` 动态权限初始化
- `servers_init()` 从 mysql 库中初始化结构数据，例如 mysql.servers 表的数据
- `udf_read_functions_table()` 从 mysql.func 中加载数据

初始化流程（五）

- `init_status_vars()` 初始化状态变量
- `init_slave()` 初始化 slave 线程
- `initialize_performance_schema_acl()` 初始化 performance_schema 的 ACL
- `Events::init()` 初始化 event 结构
- `start_signal_handler()` 启动单独的线程 signal_hand 来处理信号
- `process_bootstrap()` 启动进程
- `mysql_audit_notify()` 审计相关
- `start_handle_manager()` 开启 handler 管理线程
- `Connection_acceptor::connection_event_loop()` 开启监听服务

流程总结


1. 命令行参数解析
2. 初始化和设置环境
3. 初始化网络和套接字
4. 初始化存储引擎
5. 初始化查询系统
6. 初始化日志系统
7. 权限系统初始化
8. 初始化复制
9. 初始化插件和组件
10. 启动服务器
11. 进入事件循环
12. 优雅关闭
13. 退出

结束