摘要

我把毕业设计所做的程序命名为 wdl。本文将详细解释 wdl 的工作原理，包括工作流程、多线程控制、任务管理等。

wdl 由我本人单独设计和实现，对 wdl 本身或者本文档有任何疑问或建议，你都可以联系我 Wiky L。

wdl 的源代码托管在 Launchpad，使用 GPLv3 授权。

1. 介绍

wdl 是一个下载管理器，支持 FTP、HTTP(S)和 BitTorrent 协议，多进程多任务下载。完全采用 C 语言实现。wdl 的实现是为了体现 socket 文件传输，wdl 主要依赖以下第三方的库：GTK+、libcurl 和 libtransmission。虽然 wdl 本身没有任何 socket 的调用，但所依赖的库实际上采用的是 socket 通信。在后面本文也将详细解释其实现原理。

GTK+是一个 C 语言实现的用于创建用户界面的图形库。最初是为了开发 GNU 图像处理程序（GIMP）而设计的。现在它已是 linux 系统下最流行的图形库了，GNOME 就是基于 GTK+开发的。

libcurl 可以被解释为 cURL，即 C 语言实现的 URL 传输库。它支持 FTP、FTPS、Gopher、HTTP(S)、SCP、SFTP、TFTP、Telnet 等文件传输协议。在 wdl 中只取其中的 FTP 和 HTTP(S)。libcurl 是线程安全的，兼容 IPv6。

libtransmission 是 linux 系统下著名的 BT 客户端程序 transmission 所采用的 BT 协议库。libtransmission 没有被单独发布，因而也缺少文档支持，我从 transmission 的源代码中将其提取出来。

1.1 面向的读者

本文主要为了毕业设计而写，不过任何对 wdl 工作原理感兴趣的人，或者想借此学习一些相关知识的人也将受益。

1.2 约定

BT：即 BitTorrent 协议。

大小写：为了书写方便，很多专有名词都是全大写或者全小写，比如 GTK+，GLIB 等；但读者应该清楚，除非有特殊说明，Gtk+或者 GLib 具有相同的意思。

源代码：当我说源代码路径时，都是相对于库的源代码根目录。比如，在 GLIB 章节说到源代码 gib/gmain.c:3858 表示 GLIB 源代码目录下，glib 目录中 gmain.c 文件中第 3858 行。注意，可能因为版本不同造成不一致。在本文中，相应的源代码版本分别为 glib2.0-2.38.1、gtk+3.0-3.8.6、curl-7.32.0、transmission-2.82。

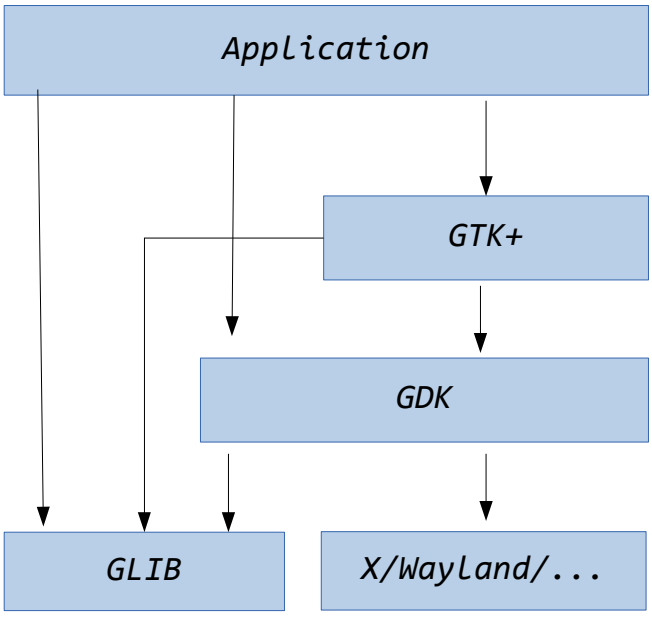
链接：本文中包含很多外部链接，这些链接我无法保证一直有效。

2. 第三方库

wdl 中主要采用了 GTK+、libcurl 和 libtransmission 三个第三方库。本章将详细介绍这三个库在 wdl 中起到的作用。

2.1 GTK+

首先看一下一个典型的 GTK+应用程序的结构。



如图所示，GTK 主要基于 GLIB 和 GDK 两个框架。GDK 是实现图形渲染的引擎，负责具体的界面显示，虽然直接影响了 wdl 的界面样式，但与 wdl 的功能实现关系很少；本文将不对 GDK 做具体讨论，有兴趣的读者可以参考 GDK 的官方文档。

不仅 GTK+本身依赖于 GLIB，wdl 本身也依赖与 GLIB。本节将详细解释 GLIB 如何在 GTK+中起作用，关于 wdl 如何使用 GLIB 的内容在 wdl 的实现中具体讨论。

2.1.1 GTK+命名规范

在使用 GTK+时，了解其命名规范是很有必要的。GTK+的命名规范其实是 GNOME 定义的。详细可以参考官方文档。本节做简单介绍。

普通类型名：全小写，以'g'开头，比如 gint，gchar。

类名：驼峰写法，首字母大写，比如 GtkWindow,GdkEvent。

函数名：小写夹下划线写法，以如 gtk_main,gtk_window_new

常数：大写夹下划线写法，比如 GTK_WINDOW_TOPLEVEL,GTK_ORIENTATION_HORIZONTAL。

2.1.2 GLIB

GLIB 不是 GLIBC，两者有时会被混淆。GLIBC 指的是 GNU C library，有时也被称为 gnulib。

GLIB 最初是 GTK+的一部分，自 GTK+2.0 以后，开发者认为可以将 GTK+中与 GUI 无关的部分独立出来，于是便有了 GLIB。GLIB 主要有 5 部分组成，分别是 GObject、Glib、GModule、GThread 和 GIO。

GObject 是指 GLib Object System，提供了 C 语言以及跨语言的面向对象框架。GTK+采用 GObject 面向对象的方式组织，一个典型的 GTK+类继承树如下。

```
GObject
    GInitiallyUnowned
        GtkWidget
            GtkContainer
                GtkBin
                    GtkWindow
                        GtkDialog
                            GtkAboutDialog
                            GtkAppChooserDialog
                            GtkColorChooserDialog
                            GtkColorSelectionDialog
                            GtkFileChooserDialog
                            GtkFontChooserDialog
                            GtkFontSelectionDialog
                            GtkMessageDialog
                            GtkPageSetupUnixDialog
                            GtkPrintUnixDialog
                            GtkRecentChooserDialog
                        GtkApplicationWindow
                        GtkAssistant
                        GtkOffscreenWindow
                        GtkPlug
                    GtkAlignment
                    GtkComboBox
                        GtkAppChooserButton
                        GtkComboBoxText
                    GtkFrame
```

对于不了解 GObject 的读者，可以简单地将其理解为 C++中类提供的特性，虽然两者还是有很大差别。毕竟面向对象仅仅是一种软件组织方式。wdl 本身也采用 GObject 的面向对象框架。

Glib（这里需要注意大小写）包含了一些通用的处理函数，字符串处理，内存管理等。其中比较重要的是主循环的概念，后面将详细讨论。

GModule 提供动态加载模块的功能，wdl 未引入动态模块，不予讨论，有兴趣的读者可以参考官方文档。

GThread 顾名思义，提供了多线程的支持。

GIO 提供了较高层的文件系统 API。

2.1.3 Gobject 信号

每个 GObject 对象可以注册多个信号，每个信号可以注册多个回调函数。在内部实现中，每个信号都有一个信号 ID 表示，是一个 guint 类型的值。每个信号的回调函数用 HandlerList 结构表示，源代码 gobject/gsignal.c：251

```
struct _HandlerList
{
       guint    signal_id;
       Handler *handlers;
       Handler *tail_before;  /* normal signal handlers are appended here  */
       Handler *tail_after;   /* CONNECT_AFTER handlers are appended here  */
 };
```

Handler 结构表示单个回调函数，本身实现为一个双向链表，源代码 gobject/gsignal.c：259。

```
 struct _Handler
{
       gulong         sequential_number;
       Handler       *next;
       Handler       *prev;
       GQuark    detail;
       guint          ref_count;
       guint          block_count : 16;
#define HANDLER_MAX_BLOCK_COUNT (1 << 16)
       guint          after : 1;
       guint          has_invalid_closure_notify : 1;
       GClosure      *closure;
};
```

GClosure 结构表示程序中的回调函数，上述结构表示了单个信号与回调函数（信号处理函数）之间的关系。简单地说，就是单个信号对应多个由链表组成的回调函数。同时回调函数可分为三类，普通的：HandlerList 结构中的 handlers 字段，优先调用的：HandlerList 结构中 tail_before 字段，以及滞后调用的：HandlerList 结构中的 tail_after 字段。

信号与具体对象是的联系是通过一个全局静态的 hash 表指定的。源代码 gobject/gsignal.c：303

```
static GHashTable    *g_handler_list_bsa_ht = NULL;
```

该 hash 表是 gpointer（其实是 void *，C 语言里的通用指针）和 GBSearchArray 的对应。

GBSearchArray 是二叉查找树结构，与具体对象相关的所有 HandlerList 结构。

因此，指定具体对象，先通过 g_hash_table_lookup ()查找到 GBsearchArray 结构，再调用 g_bsearch_array_lookup()就可以找到该对象某个特定信号的处理函数。

2.1.4 GmainLoop

GMainLoop（the main event loop）管理 GLIB 和 GTK+应用程序中所有事件的源（sources）。事件源可以理解为直接导致事件发生的对象。事件可以任意数量，任意源；比如文件描述符（普通文件，管道或者套接字）或者定时器。一般用 g_source_attach()将一个新事件添加到 GMainLoop 中。

为了让多个独立的源可以在不同线程中被处理，每个源与一个 GMainContext 关联。GMainContext 表示主循环中事件源的集合；一个 GMainLoop 有且仅有一个 GMainContext。一个 GMainContext 只能在一个线程中执行，但事件源可以在其他线程中添加或者删除。比如，在 A 线程中可以为 B 线程中的 GMainContext 添加或删除事件源。

每个事件源都有一个相关优先级。默认优先级为 G_PRIOPRITY_DEFAULT，其值为 0。小于 0 的值表示更高的优先级，反之，大于 0 表示低优先级。拥有高优先级源的事件总是比低优先级源相关的事件优先执行。

也可以添加空闲（idle）函数以及相关的优先级。没有更高优先级的事件要执行时就会被执行。

GMainLoop 表示一个主事件循环。使用 g_main_loop_new()创建。添加了初始化的事件源后，调用 g_main_loop_run()。这会不断检查事件源中的事件，然后执行。最后，其中一个事件中调用了 g_main_loop_quit()就会退出主循环，也就是 g_main_loop_run()将返回。

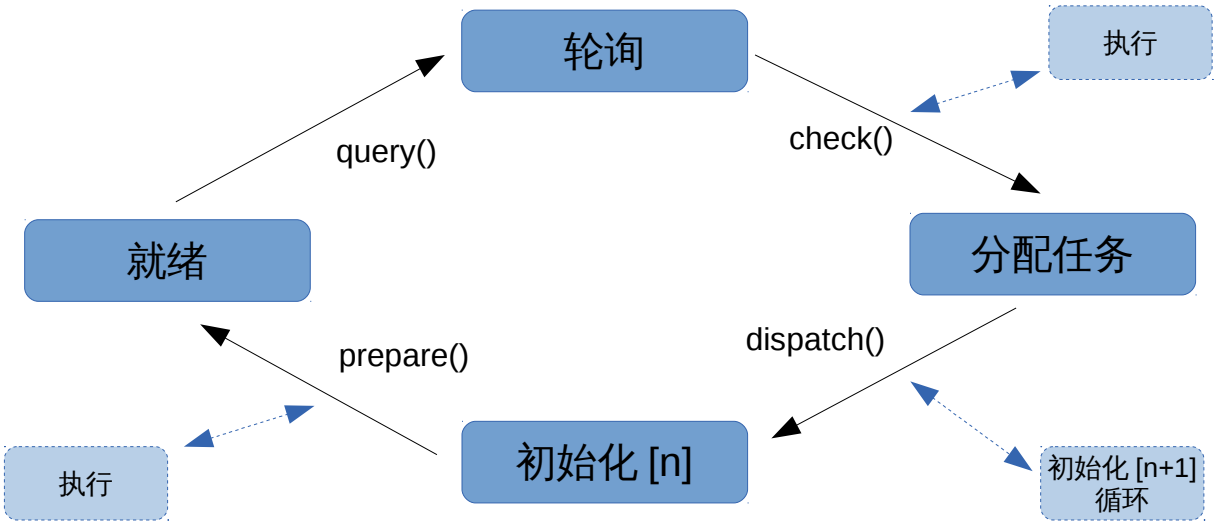
可以通过递归的方式创建主循环。这也是 GTK 应用程序用来显示模态对话框所采用的方式。注意，事件源有个相关的 GMainContext，而该 GMainContext 中所有相关的主循环都会检查和事件源的事件。

GTK+中有一些函数是对 GMainLoop 的封装，比如 gtk_main(),gtk_main_quit()和 gtk_events_pending()。

下面代码是 GMainLoop 的 C 结构体，一个 GMainLoop 只有一个 GMainContext，一个 GMainContext 则可以关联多个事件源。可以看到，GMainLoop 只是 GMainContext 的简单封装，因此，很多时候可以将 GMainLoop，也就是主循环直接看作 GMainContext。

```
struct _GMainLoop {
      GMainContext *context;
      gboolean is_running;
      gint ref_count;
};
```

下图表示一个 GMainContext 的循环过程。



初始化完成后进入准备就绪阶段，然后轮询事件源，检测到事件发生就为其分配相应的任务然后执行。执行完成后，进入下一次循环。

2.1.5 创建新的事件源类型

GMainLoop 有个不寻常的功能，就是除了可以使用内置的事件源类型外，还可以自定义事件源类型。一个新事件类型可以用来处理 GDK 事件（鼠标点击等）。自定义事件类型一般源于 GSource 结构。自定义事件源类型的结构体内部以 GSource 结构作为第一个元素，其他元素则作为该事件源特有的结构（这种方式和 GObject 的类继承十分相似，不过这里没有采用 GObject）。新建一个事件源对象，调用 g_source_new()，需要指定对事件源具体操作的函数和事件源结构体的大小。

2.1.6 主循环过程

所谓主循环过程，就是指当我们调用 g_main_loop_run()时，究竟执行了什么。源代码在 glib/gmain.c:3858。g_main_loop_run()的前一部分主要做一些检查，多线程同步等。然后开始执行下面代码：

```
g_atomic_int_inc (&loop->ref_count);       /* 增加引用计数 */

loop->is_running = TRUE;

while (loop->is_running)

       g_main_context_iterate (loop->context, TRUE, TRUE, self);
```

可以看到，程序进入了由 while 控制的循环。单步执行 g_main_context_iterate()。g_main_context_iterate()在 glib/gmain.c:3649 实现，执行循环中的单步任务。g_main_context_iterate()首先检查是否有事件源已经就绪，如果没有事件源就绪，在这里将阻塞直到有一个事件源就绪。然后开始执行最高优先级的事件。

因此 g_main_loop_run()会在循环中不断执行，直到在一个事件中调用了 g_mian_loop_quit()退出。

2.1.7 GMainLoop 在 GTK+中

下面是一个最小的 GTK+应用程序，编译运行后将显示一个 360x250 大小的窗口。

```
#include <gtk/gtk.h>

int main(int argc, char *argv[])

{

	gtk_init(&argc,&argv);

	GtkWidget *window=gtk_window_new(GTK_WINDOW_TOPLEVEL);

	gtk_window_set_default_size(GTK_WINDOW(window),360,250);

	gtk_window_set_position(GTK_WINDOW(window),GTK_WIN_POS_CENTER);

	g_signal_connect(G_OBJECT(window),"destroy",

				G_CALLBACK(gtk_main_quit),NULL);


	gtk_widget_show(window);

	gtk_main();

	return 0;

}
```

本节将根据上述代码来解释 GTK+的工作原理。

在调用任何 GTK+函数之前，必须先调用 gtk_init()，该函数完成 GTK+所需要的所有初始化工作同时解析命令行参数。

gtk_window_new()创建一个窗口，gtk_window_set_default_size()和 gtk_window_set_position()分别设置该窗口的默认大小和所在位置。

g_signal_connect()为窗口注册回调函数，当'destroy'信号发出时（用户点击窗口关闭按钮）调用 gtk_mian_quit()，将退出程序。

创建的窗口默认是不可见的，因此调用 gtk_widget_show()显示窗口。

最后调用 gtk_main()，该函数启动 GTK+内部的主循环，源代码 gtk/gtkmain.c：1144。

```
loop = g_main_loop_new (NULL, TRUE);

main_loops = g_slist_prepend (main_loops, loop);


if (g_main_loop_is_running (main_loops->data))

{

    gdk_threads_leave ();    /* 为了兼容低版本GTK+，现在可以不用考虑 */
```

```
    g_main_loop_run (loop);
    gdk_threads_enter ();    /* 为了兼容低版本GTK+，现在可以不用考虑 */
    gdk_flush ();
}
```

调用 gtk_main()后程序进入 g_main_loop_run()中的循环，直到调用 gtk_main_quit()退出。当 GTK+程序运行时，主线程一直处于 gtk_main()控制的循环当中，不断接受事件。事件通常是由用户界面发出的，比如鼠标点击，窗口拖动等，还有定时器（timeout）等；同时还有由窗口管理器或其他应用程序发出的事件。GTK+接收事件后，做出响应，通常是已注册的回调函数，在上述例子中，调用 gtk_main_quit()就是 GTK+在接收'destroy'事件后做出的响应。

正如前文 GLIB 章节所说的那样，GMainContext 只能在单线程中执行，而 GTK+使用的是 GMainContext 的简单封装 GMainLoop，因此 GTK+函数也只能在单线程中执行，也就是说一个 GTK+应用程序，GUI 相关的代码必须是在同一个线程中。

同时，因为回调函数是一个循环中的一部分，属于 GMainContext 循环过程中的任务执行那部分。为了保证其他事件得到及时响应。回调函数应该尽可能快速执行，否则可能导致 GTK+出现响应延时。

GTK+采用了 GObject 框架，包括信号注册与回调函数的功能。

2.2 libcurl

wdl 使用 libcurl 来完成 HTTP 和 FTP 的数据传输。本节将讨论 HTTP 和 FTP 协议，以及 libcurl 的使用。

2.2.1 URL

URL 即统一资源定位符(Uniform Resource Locator)，是对互联网上得到的资源的位置的访问方法的一种简洁表示，是互联网上标准资源的地址。互联网上每个文件有唯一的 URL 表示，包含了 HTTP 客户端该如何获取它的一些信息。URL 的结构如下

```
scheme://domain:port/path?query#fragment
```

scheme 表示协议，忽略大小写；一般有 http,https,ftp 等，如果没有指定，默认 http。

domain 表示点分的 IP 地址或者是 DNS 域名；比如[db8:0cec::99:123a]或者 example.org。

path 表示在指定主机上该资源的位置，区分大小写；比如/index.html，如果没有指定，默认为/。

query 包含了发送给服务器的一些参数，是键\值的对应组，多个由&隔开；比如 first=A&second=B。

fragment 表示页面中的位置，一般是 HTML 文件中某个章节。

其中 scheme，path，query，fragment 都可以不指定。如 www.example.com 是合法的 URL。

但是如果指定了响应的值，必须是相应合法的值。

不可打印字符比如中文，需要通过十六进制编码的方式传输，比如%AD。

在一些协议中，使用了认证机制，比如 FTP；可以在 FTP 的 URL 中加入用户名和密码。如下

```
ftp://username:password@domain/path?query#fragment
```

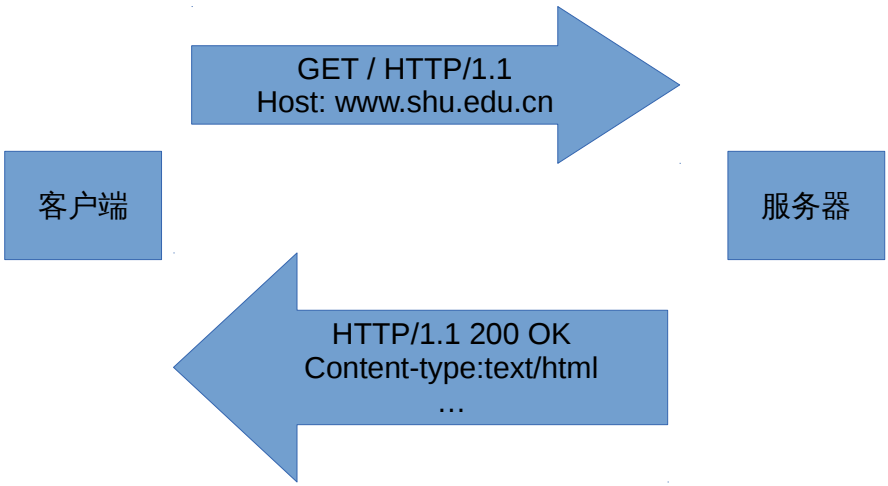
2.2.2 HTTP

HTTP 即超文本传输协议（Hyper Text Transfer Protocol）。本小节讨论 HTTP 的协议内容，将不会讨论 HTTP 引出的一些扩展概念，比如 Web、链接管理、缓存、代理等，关于这方面的详细信息可以参考《HTTP 权威指南》，同时我也假设读者在这方面有了一定的知识背景。

Web 内容都是存储在 Web 服务器上的。Web 服务器所使用的是 HTTP 协议，因此经常会被称为 HTTP 服务器。这些 HTTP 服务器存储了互联网中的数据，如果 HTTP 客户端请求的话，它们就提供数据。

浏览一个页面时（比如 http://www.shu.edu.cn），浏览器会向服务器 www.shu.edu.cn 发送一条 HTTP 请求。服务器会去寻找所期望的对象（在此例子中一般使用默认的/index.html），如果成功，就将对象、对象模型、对象长度以及其他一些信息放在 HTTP 响应中发给客户端。

一个 HTTP 事务是由一条（从客户端发往服务器）请求命令和一条（从服务器发给客户端）响应结果组成的。这种通信是通过名为 HTTP 报文（HTTP message）的格式化数据块进行的。如下图所示。



HTTP 支持几种不同的请求命令，这些命令称为 HTTP 方法（HTTP method）。每条 HTTP 请求都包含一个方法。这些方法告诉服务器要执行什么动作（获取页面，运行一个网关程序或者删除一个文件等）。五种常见的方法分别为

- GET　从服务器向客户端发送指定的资源
- PUT　将来自客户端的数据存储到一个指定的服务器的资源中去
- DELETE　从服务器中删除命名资源
- POST 将客户端数据发送到一个服务器网管应用程序

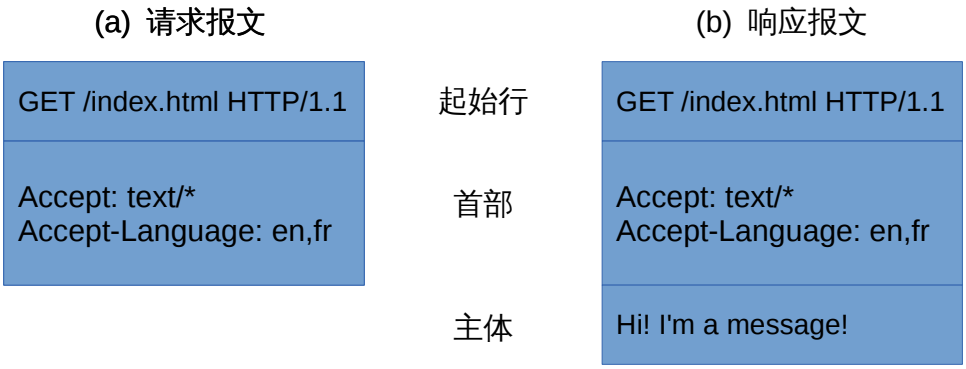
- HEAD 仅发送响应中的 HTTP 首部

每条 HTTP 响应报文返回时都会携带一个状态码。状态码是一个三位数的值，表示客户端请求的结果。

- 100 ~ 199　信息性状态码
- 200 ~ 299　成功状态码，最常见的是 200。
- 300 ~ 399　重定向状态码，表示所请求的资源已经移动了位置，请客户端重新使用新位置请求。
- 400 ~ 499　客户端错误状态码，一般是客户端发送了错误的请求；最常见的是 404，服务器无法找到指定的资源。
- 500 ~ 599　服务器错误状态吗，客户端发送了有效的请求，但服务器自身却出现了问题。

一般认为大于等于 400 的状态吗表示请求失败，反之表示请求有效。伴随着每个状态码，HTTP 响应中还会有一条解释性的内容。在上述例子中是“OK”，如果是 404 则一般是“Not Found”。

HTTP 报文是由一行一行的简单字符串组成的，都是纯文本。下图显示了一个简单事务使用的 HTTP 报文。



报文的第一行就是起始行，在请求报文中用来说明请求什么，在响应报文中说明发生了什么情况，用\r\n 分割。

起始行后面有零个或者多个首部字段。每个首部字段都包含一个名字和一个值，用：分开。每个首部字段之间用\r\n 分割，首部结束用一个空行分割。关于首部各个字段的具体内涵，请读者自行参考相关文献。

HTTP 首部之后跟着消息主体，请求和响应依据具体情况都可以没有消息主体，但响应一般都会有。

HTTP 起始行中还有一个 HTTP 版本号，现在一般都用 HTTP/1.1 或者 HTTP/1.0，差别主要在支持的首部上，这已经超出了本书的讨论范围。在本文中，所有的 HTTP 报文都采用 HTTP/1.1。

下面是我写的一个简单 socket 程序，该程序对命令行参数指定的 URL 执行 HTTP 的 GET 方法。将返回的

结果输出到标准输出。为了简化 URL 的解析，使用了第三方的 libsoup。该程序的编译运行环境为 Linux 3.11 x86_64、GCC 4.8.1、libsoup2.4。

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netdb.h>
#include <libsoup/soup.h>
#include <errno.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
	if(argc!=2){
		fprintf(stderr,"Usage: hget url\n");
		return 0;
	}

	SoupURI *url=soup_uri_new(argv[1]);
	if(url==NULL){
		fprintf(stderr,"Invalid URL!\n");
		return -1;
	}else if(strcmp("http",soup_uri_get_scheme(url))){
		fprintf(stderr,"Only HTTP is supported!\n");
		return -2;
	}
	/* 解析主机地址 */
	struct addrinfo hints;
	struct addrinfo *res=NULL;
	memset(&hints,0,sizeof(struct addrinfo));
	hints.ai_family=AF_UNSPEC;   /* Allow IPv4 or IPv6 */
	hints.ai_socktype=SOCK_STREAM; /*  Stream socket */
	hints.ai_flags=0;
```

```
	hints.ai_protocol=0;         /* Any protocol */
	if(getaddrinfo(soup_uri_get_host(url), "http", &hints,&res)){
		perror("Invalid host");
		return -3;
	}
	int sockfd=socket(res->ai_family,res->ai_socktype,res->ai_protocol);
	if(socket<0){
		perror("Fail to create socket");
		return -4;
	}
	/* 发起socket链接 */
	if(connect(sockfd,res->ai_addr,res->ai_addrlen)){
		perror("Fail to connect");
		return -5;
	}
	/* 构造HTTP请求报文 */
	char request[4096];
	snprintf(request,4096,"GET %s HTTP/1.1\r\n"
			"Host: %s\r\nAccept: */*\r\nConnection: close\r\n\r\n",
			soup_uri_get_path(url),soup_uri_get_host(url));
	/* 发送HTTP请求报文 */
	write(sockfd,request,strlen(request));
	char response[4096];
	int n;
	/* 读取HTTP响应并输出到标准输出 */
	while((n=read(sockfd,response,4096))>0){
		write(STDOUT_FILENO,response,n);
	}

	freeaddrinfo(res);
	/* 关闭套接字 */
	close(sockfd);
	return 0;
}
```

运行结果如下：

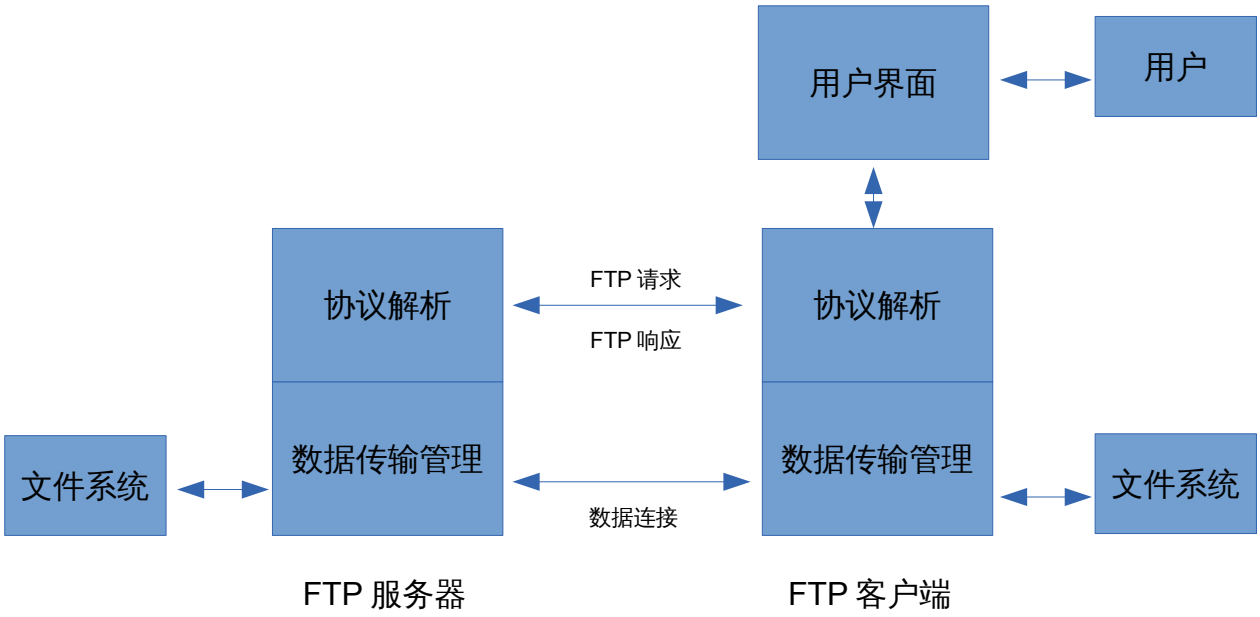
```
$./a.out http://www.baidu.com


HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 23 Mar 2014 10:38:15 GMT
Content-Type: text/html
Transfer-Encoding: chunked
Connection: Close
Vary: Accept-Encoding
Set-Cookie: BAIDUID=C6099A3FCCEC016FD7C78B679511F0F8:FG=1; expires=Thu, 31-Dec-37 23:55:55 GMT;
max-age=2147483647; path=/; domain=.baidu.com
Set-Cookie: BDSVRTM=0; path=/
Set-Cookie: H_PS_PSSID=5229_1435_5224_5722_4261_5565_4759_5659; path=/; domain=.baidu.com
P3P: CP=" OTI DSP COR IVA OUR IND COM "
Expires: Sun, 23 Mar 2014 10:38:00 GMT
Cache-Control: private
Server: BWS/1.1
BDPAGETYPE: 1
BDQID: 0xcc97b76d0023d327
BDUSERID: 0


405e
<!DOCTYPE html><!--STATUS OK--><html><head><meta http-equiv="content-type"
content="text/html;charset=utf-8"><link rel="dns-prefetch.....<省略>
```

2.2.3 FTP

FTP 即文件传输协议（File Transfer Protocol）。是基于 TCP/IP 的网络上进行两台计算机文件传输的协议。尽管 HTTP 替代了大多数 FTP 的功能，但 FTP 依然是客户机与服务器进行文件传输的有效方式。FTP 允许客户端从服务器上下载文件，或者上传、创建甚至删除服务器上的文件或目录。

FTP 和 HTTP 一样，是应用层协议，基于传输层。FTP 是一个 8 位的客户端-服务器协议，能操作任何类型的文件而不需要进一步处理，就像 MIME 或者 Unicode 一样。但是，FTP 有着极高的延时，这意味着，从开始请求到第一次接收数据之间时间可能比较长，并且不时地需要执行一些冗长的登录过程。

FTP 服务一般运行在 20 和 21 两个端口。端口 20 用于客户端与服务器之间的数据传输，而端口 21 用户客户端与服务器之间的控制信息传输。典型的 FTP 客户端-服务器模型如下



2.3 libtransmission

libtransmission...

3. wdl 的实现

3.1 模块划分

3.2 界面设计

3.3 程序启动

3.4 下载任务

3.5 多线程控制