Разработка кроссплатформенных программных систем.
Лекция №1. Разработка переносимых приложений на языке C

П.Н. Советов

РТУ МИРЭА, 2022

Актуальность языка C (1)

C (1972) до сих пор популярен в области системного программирования и встраиваемых систем.

На C написаны:

- UNIX-подобные ОС, в частности Linux,
- Система управления версиями Git,
- интерпретаторы Python и Lua,
- Веб-сервер Nginx (Россия),
- СУБД SQLite, Redis и Taranool (Россия).
- Классические игры Doom и Quake.

Актуальность языка C (2)

Даже если вы в дальнейшем не планируете писать код на C, то, вполне возможно, вам придется читать чужой код, написанный на этом языке.

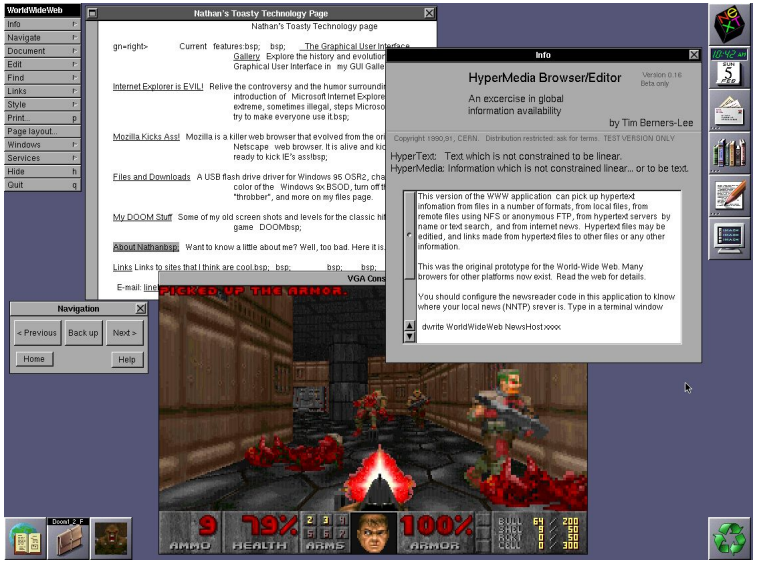
Переносимый код на примере игры Doom

Игра Doom (1993) написана на C. Разработка велась одновременно на двух различных платформах:

- Рабочая станция NeXT Computer под управлением варианта ОС NeXTSTEP с компилятором **gcc**.
- PC с ОС MS-DOS и компилятором **Watcom**.

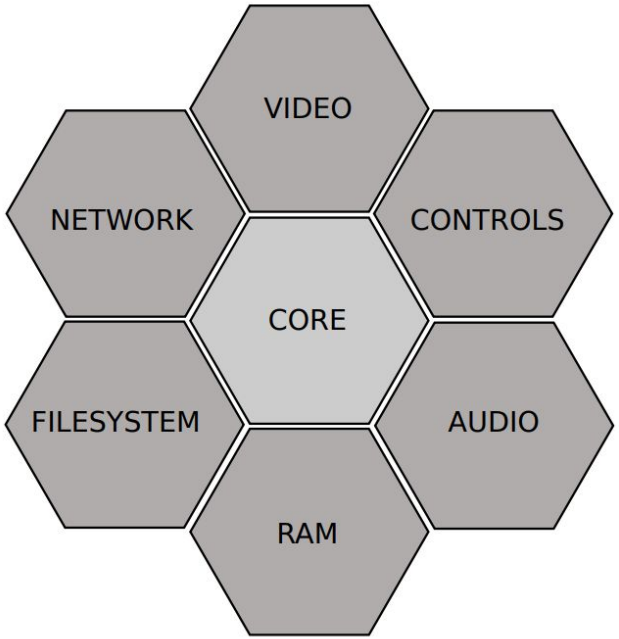
Платформы имели ряд существенных различий, включая разный порядок байт.

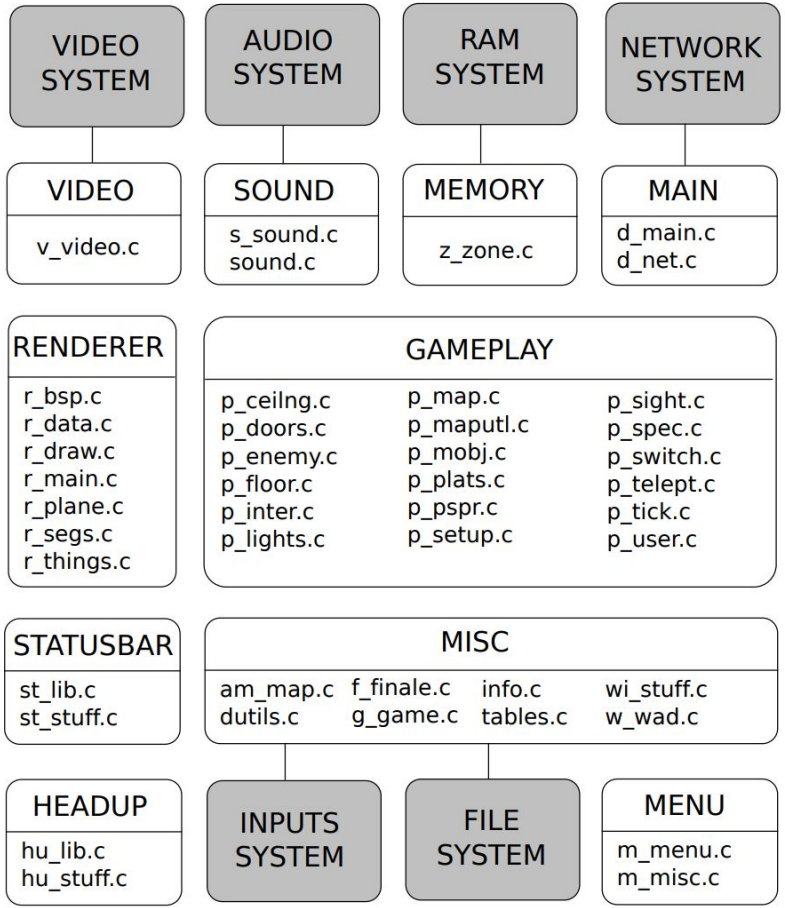
В дальнейшем Doom был портирован на множество самых различных платформ.



Переносимая архитектура Doom

В Doom выделено переносимое ядро. Платформо-зависимые компоненты (серый цвет) подключались к проекту в виде *.c файлов.





Sanglard F. Game Engine Black Book: DOOM v1. 1. – Software Wizards, 2019.

doomgeneric

Исходный код современной версии Doom: https://github.com/ozkl/doomgeneric

Для портирования doomgeneric на новую платформу в коде достаточно переопределить всего 5 функций:

DG_Init	Инициализация платформо-зависимых функций
DG_DrawFrame	Вывод видеобуфера на экран.
DG_SleepMs	Задержка в миллисекундах.
DG_GetTicksMs	Время в миллисекундах.
DG_GetKey	Опрос клавиатуры.

Организация переносимости в Nginx

В Nginx платформо-зависимые модули выделены в отдельный каталог os.

```
NGINX\SRC\OS
├───unix
│       ngx_alloc.c
│       ngx_alloc.h
│       ngx_atomic.h
│       ngx_channel.c
│       ngx_channel.h
...
│
└───win32
        ngx_alloc.c
        ngx_alloc.h
        ngx_atomic.h
...
```

C и C++

- Хотя C и C++ схожи, C – не подмножество C++.
- C – значительно более простой язык, чем C++.
- В C отсутствуют развитые средства абстрагирования из C++: классы и шаблоны.
- Использование C для написания больших прикладных программ, скорее всего, не является оправданным.
- Компиляторы C существуют для большего числа платформ, чем в случае C++.
- Низкоуровневые интерфейсы для ОС и библиотек часто представлены только в варианте для C.

Стандарты C

Стандарт	**Описание**
K&R C	Оригинальный вариант 1978 года.
C89, ANSI C, C90	Первый стандарт. Считается устаревшим, но поддерживается большинством компиляторов.
C99	**Наиболее популярный сегодня стандарт, который будем использовать и мы.**
C11	—
C17, C19	Исправления для C11.
C2x	Грядущий стандарт.

Об указателях

Указатель – переменная, содержащая адрес другой переменной.

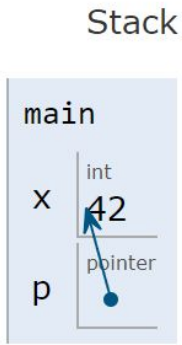
- С помощью **&x** можно получить адрес переменной x.
- С помощью ***x** можно разыменовать указатель – получить значение по адресу, который хранится в указателе.

C (gcc 9.3, C17 + GNU extensions)
(known limitations)

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void) {
4    int x = 42;
5    int *p = &x;
6    printf("%d\n", *p);
7    return 0;
8  }
```

Print output (drag lower right corner to resize)

```
42
```



Указатели и индексация

Записи вида arr[i], *(arr + i) и даже i[arr] эквивалентны.

C (gcc 9.3, C17 + GNU extensions)
(known limitations)

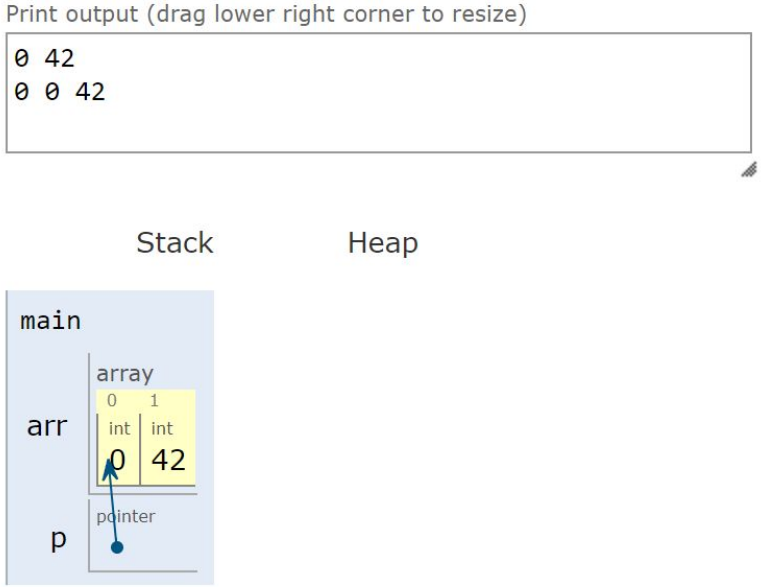
```
1  #include <stdio.h>
2  int main(void) {
3      int arr[2] = {0, 42};
4      int *p = &arr;
5      printf("%d %d\n", arr[0], arr[1]);
6      printf("%d %d %d\n", *p, p[0], *(p + 1));
7      return 0;
8  }
```

Edit this code

line that just executed
next line to execute

Print output (drag lower right corner to resize)

```
0 42
0 0 42
```



Порядок вычислений

В стандарте C порядок вычислений в выражениях и аргументах не определен, поэтому такой код является непереносимым:

```
buf1[i] = buf2[++i];
```

В выражениях от операторов автоинкремента/декремента лучше вообще **отказаться**.

Размеры типов

- В C размер таких типов как int может иметь различные значения на различных платформах. Тип char не обязательно является unsigned.
- Лучше задавать разрядность и знаковость типов явно, например так: int32_t, uint32_t. Для этого надо подключить заголовочный файл stdint.h.
- Размеры и индексы можно хранить с помощью типа size_t (определен в stddef.h).
- Булев тип bool имеет значения true и false. Определен в stdbool.h.

Инициализация данных

Избегайте **неинициализированных** данных.

Используйте следующую конструкцию для инициализации массивов и структур:

```
uint32_t data[128] = {0};
```

Вместо malloc используйте calloc, поскольку calloc **обнуляет** выделенную память.

Модульность

Интерфейс модуля my описан в заголовочном файле my.h. Функции имеют дело со структурой my_state, представляющей собой объект — состояние модуля:

```
#ifndef MY_H
#define MY_H

int func1(struct my_state *my, ...);
int func2(struct my_state *my, ...);
...

#endif
```

Компиляторы C

Основные кроссплатформенные компиляторы C:

- gcc,
- clang.

Для Windows предлагается использовать сборку gcc под названием MinGW-W64: https://github.com/niXman/mingw-builds-binaries/releases

Онлайн-компиляторы C для демонстрации результата трансляции: https://godbolt.org/

Ключи компиляции


```
gcc -std=c99 -Wall -Wextra -Wpedantic program.c
```

- Ключ -std=c99 включает поддержку стандарта C99.
- Ключ -Wall включает оповещение обо всех “подозрительных” моментах в коде.
- Ключ -Wextra включает дополнительные проверки.
- Ключ -Wpedantic включает более тщательную проверку на соответствие стандарту.

Инструменты статического и динамического анализа

Статические анализаторы — проверки на этапе компиляции. Используются в дополнение к компилятору, могут давать ложноположительные срабатывания.

Примеры: cppcheck, Clang Static Analyzer, PVS-Studio (Россия).

Динамические анализаторы — проверки на этапе выполнения программы.

Примеры: Valgrind, AddressSanitizer (ASan), UndefinedBehaviorSanitizer (UBSan), MemorySanitizer (MSan).

Литература по C

Классические учебники по C89:

- Керниган Б. У., Ритчи Д. М. Язык программирования C/The C Programming Language. – Вильямс, 2015.
- Керниган Б. В. Пайк Роб. Практика программирования //СПб.: Невский диалект. – 2001.

Учебники по современному C:

- Gustedt J. Modern C. – Simon and Schuster, 2019. URL: https://hal.inria.fr/hal-02383654/file/ModernC.pdf
  Beej's Guide to C Programming. URL: https://beej.us/guide/bgc/pdf/bgc_usl_c_1.pdf
- Онлайн-справочник: https://en.cppreference.com/w/c

POSIX

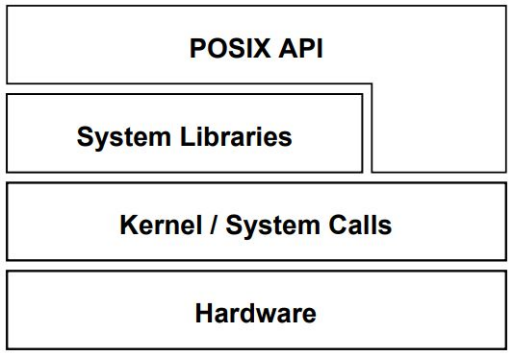
В 80-е годы количество несовместимых UNIX-систем стало слишком большим. Возник проект набора стандартов на API для программ, выполняющихся в UNIX-совместимых ОС.

POSIX (portable operating system interface) — переносимый интерфейс операционной системы. Включает в себя стандартную библиотеку C.

Текущая версия POSIX.1-2017 содержит описание C API и набора стандартных команд и утилит ОС. В POSIX не определена работа с графикой и базами данных.

Linux и macOS являются POSIX-совместимыми ОС.

В Windows POSIX поддерживается на уровне WSL (Windows subsystem for Linux). Подмножество POSIX поддерживается в MinGW-W64.



https://cse.buffalo.edu/~eblanton/course/cse410-2018-2f/materials/2018-2F/posix.pdf

Структура POSIX

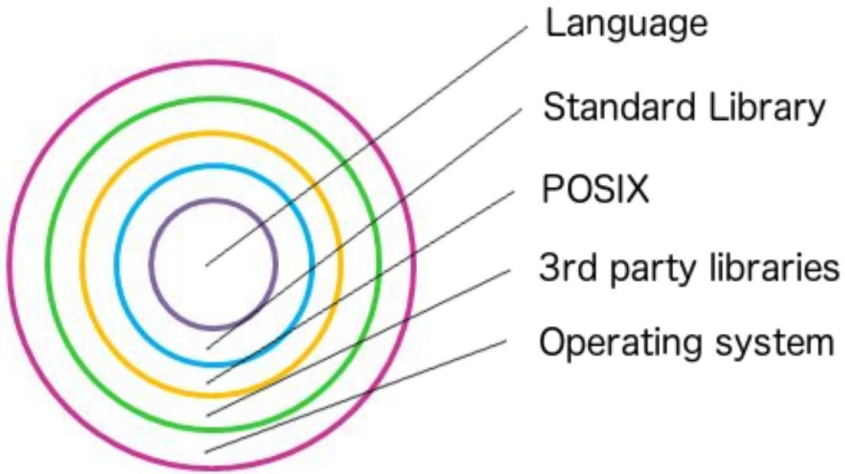
- Файловая система.
- Процессы.
- Виртуальная память.
- Сеть и межпроцессное взаимодействие.
- Потоки и асинхронный ввод-вывод.

Year	Abstraction	Example Interfaces	Version
'69	Filesystem	open, read, write	V0
'69	Processes	fork	V0
'71	Processes	exec	V1
'71	Virtual memory	break[1]	V1
'73	Pipes	pipe	V3
'73	Signals	signal	V4
'79	Signals	kill	V7
'79	Virtual memory	vfork[2]	3BSD
'83	Networking	socket, recv, send	4.2BSD
'83	I/O multiplexing	select	4.2BSD
'83	Virtual memory	mmap[3]	4.2BSD
'83	IPC	msgget, semget, shmget	SRV1
'87	I/O multiplexing	poll	SRV3
'88	Virtual memory	mmap	SunOS 4.0
'93	Async. I/O	aio_submit	POSIX.1b
'95	Threads	pthread_create	POSIX.1c

https://www.usenix.org/publications/loginonline/transcending-posix-end-era

Заголовочные файлы POSIX

Header	FreeBSD 8.0	Linux 3.2.0	Mac OS X 10.6.8	Solaris 10	Description
<aio.h>	•	•	•	•	asynchronous I/O
<cpio.h>	•	•	•	•	cpio archive values
<dirent.h>	•	•	•	•	directory entries (Section 4.22)
<dlfcn.h>	•	•	•	•	dynamic linking
<fcntl.h>	•	•	•	•	file control (Section 3.14)
<fnmatch.h>	•	•	•	•	filename-matching types
<glob.h>	•	•	•	•	pathname pattern-matching and generation
<grp.h>	•	•	•	•	group file (Section 6.4)
<iconv.h>	•	•	•	•	codeset conversion utility
<langinfo.h>	•	•	•	•	language information constants
<monetary.h>	•	•	•	•	monetary types and functions
<netdb.h>	•	•	•	•	network database operations
<nl_types.h>	•	•	•	•	message catalogs
<poll.h>	•	•	•	•	poll function (Section 14.4.2)
<pthread.h>	•	•	•	•	threads (Chapters 11 and 12)
<pwd.h>	•	•	•	•	password file (Section 6.2)
<regex.h>	•	•	•	•	regular expressions
<sched.h>	•	•	•	•	execution scheduling
<semaphore.h>	•	•	•	•	semaphores
<strings.h>	•	•	•	•	string operations
<tar.h>	•	•	•	•	tar archive values
<termios.h>	•	•	•	•	terminal I/O (Chapter 18)
<unistd.h>	•	•	•	•	symbolic constants
<wordexp.h>	•	•	•	•	word-expansion definitions
<arpa/inet.h>	•	•	•	•	Internet definitions (Chapter 16)
<net/if.h>	•	•	•	•	socket local interfaces (Chapter 16)
<netinet/in.h>	•	•	•	•	Internet address family (Section 16.3)
<netinet/tcp.h>	•	•	•	•	Transmission Control Protocol definitions
<sys/mman.h>	•	•	•	•	memory management declarations
<sys/select.h>	•	•	•	•	select function (Section 14.4.1)
<sys/socket.h>	•	•	•	•	sockets interface (Chapter 16)
<sys/stat.h>	•	•	•	•	file status (Chapter 4)
<sys/statvfs.h>	•	•	•	•	file system information
<sys/times.h>	•	•	•	•	process times (Section 8.17)
<sys/types.h>	•	•	•	•	primitive system data types (Section 2.8)
<sys/un.h>	•	•	•	•	UNIX domain socket definitions (Section 17.2)
<sys/utsname.h>	•	•	•	•	system name (Section 6.9)
<sys/wait.h>	•	•	•	•	process control (Section 8.6)



Stevens W. R., Rago S. A. Advanced Programming in the UNIX Environment: Advanc Progra UNIX Envir_p3. – Addison-Wesley, 2013.

Литература по POSIX

- Стивенс У. Р., Раго С. А. UNIX. Профессиональное программирование.-3-е изд //СПб.: Питер. – 2018.
- Курс В. Галатенко “Программирование в стандарте POSIX” на русском языке: https://intuit.ru/studies/courses/47/47/info
- Онлайн-версия стандартов POSIX: https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799.2018edition/
- MAN-страницы с указанием POSIX-совместимости API: https://man7.org/linux/man-pages/

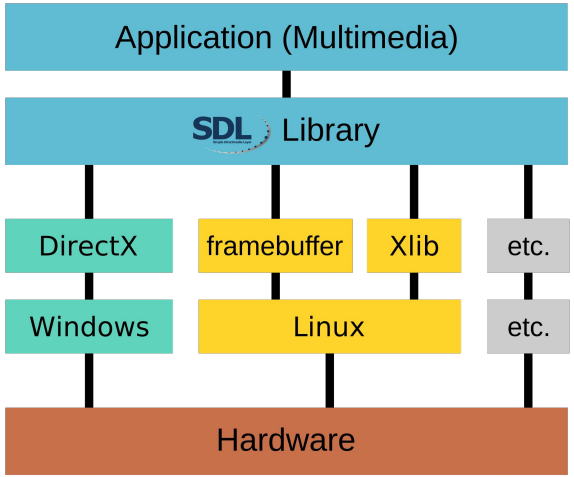
Библиотека SDL2

SDL2 (simple DirectMedia layer) — кроссплатформенная библиотека на C для написания переносимых игр и других мультимедийных приложений.

Поддерживаются следующие периферийные устройства:

- звуковая карта,
- клавиатура,
- мышь,
- джойстик,
- видеокарта с OpenGL и Direct3D.

Поддерживаемые платформы:
Windows, macOS, Linux, iOS, Android.



https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_DirectMedia_Layer

Использование SDL2 в Windows

Скачать архив SDL2-devel-...-mingw.zip:
https://github.com/libsdl-org/SDL/releases/tag/release-2.24.0

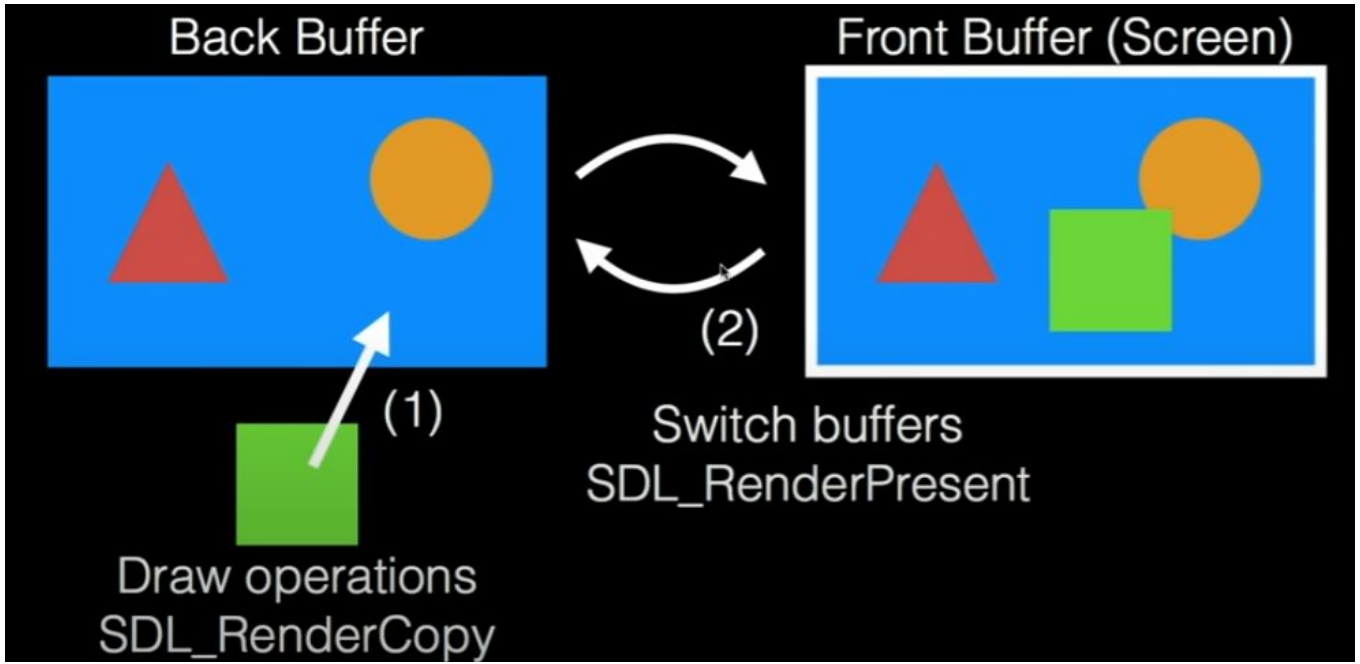
К опциям компилятора добавить:

```
-ISDL2/x86_64-w64-mingw32/include/SDL2
-LSDL2/x86_64-w64-mingw32/lib -w -lmingw32 -lSDL2main -lSDL2
```

Создание окна в SDL2


```c
#include "SDL.h"
#include <stdio.h>

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

    SDL_Window *window;                    // Declare a pointer

    SDL_Init(SDL_INIT_VIDEO);              // Initialize SDL2

    // Create an application window with the following settings:
    window = SDL_CreateWindow(
        "An SDL2 window",                  // window title
        SDL_WINDOWPOS_UNDEFINED,           // initial x position
        SDL_WINDOWPOS_UNDEFINED,           // initial y position
        640,                               // width, in pixels
        480,                               // height, in pixels
        SDL_WINDOW_OPENGL                  // flags - see below
    );

    // Check that the window was successfully created
    if (window == NULL) {
        // In the case that the window could not be made...
        printf("Could not create window: %s\n", SDL_GetError());
        return 1;
    }

    // The window is open: could enter program loop here (see SDL_PollEvent())

    SDL_Delay(3000);  // Pause execution for 3000 milliseconds, for example

    // Close and destroy the window
    SDL_DestroyWindow(window);

    // Clean up
    SDL_Quit();
    return 0;
}
```

Дублирующая буферизация в SDL2



https://www.youtube.com/watch?v=yFLa3In16w0

Литература по SDL2

- Официальная документация с примерами использования (англ.): https://wiki.libsdl.org/APIByCategory
- Набор уроков по SDL2 (англ.): https://lazyfoo.net/tutorials/SDL/index.php