© 2020 МГУ/ВМК/СП

Лекция 0xB

14 марта

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Обратная задача – восстанавливаем объявление функции (CDECL)

тело Си-функции

```
{
    *p = d;
    return x-c;
}
```

p, d, x, c
формальные
параметры
функции

Соответствующий ассемблерный код

```
;  типовой пролог

   movsx edx, byte [ebp+12]
   mov   eax, [ebp+16]
   mov   [eax], edx
   movsx eax, word [ebp+8]
   mov   edx, [ebp+20]
   sub   edx, eax
   mov   eax, edx

;  типовой эпилог
```

Требуется восстановить объявление функции: порядок параметров, их типы, тип возвращаемого значения

© 2020 МГУ/ВМК/СП

ABI – двоичный интерфейс приложения

- Двоичный интерфейс приложения (application binary interface) задает правила взаимодействия между модулями программы на уровне исполняемого кода
  - Библиотеки и функции операционной системы (системные вызовы) также рассматриваются как модули, входящие в состав программы
- ABI определяет
  - Использование ISA и регистров процессора, организацию стека и т.п.
  - Соглашение вызова функций
  - Размещение данных в памяти, требования по выравниванию
  - Выполнение системных вызовов
  - Формат объектных файлов, состав библиотек (в случае, если ABI описывает всю среду выполнения программ)
- При соблюдении ABI можно разрабатывать модули программы на разных языках программирования

Пример ABI: http://www.sco.com/developers/devspecs/abi386-4.pdf

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Вставляем элемент в непустой список,
Указатели на элемент и список не нулевые.

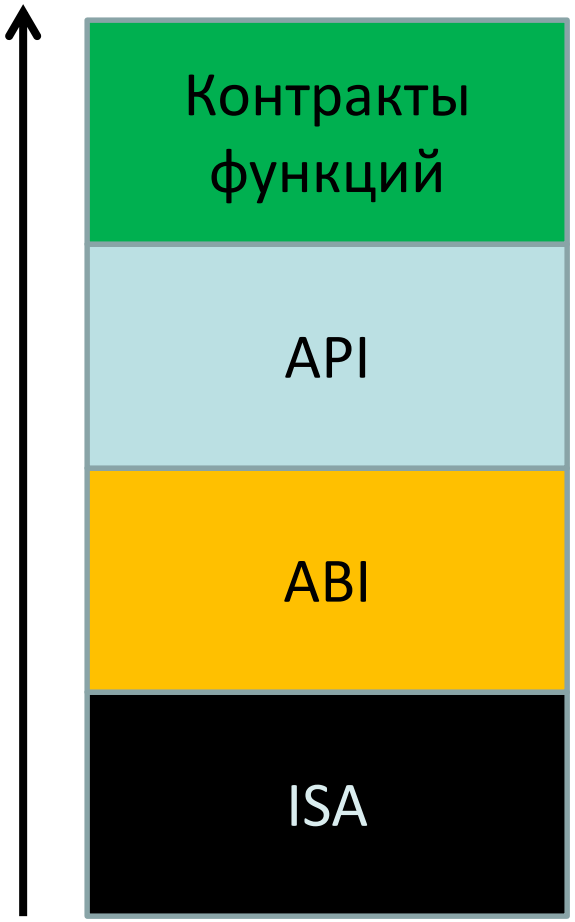
```
typedef struct chain chain;
struct chain {
   int    payload;
   chain *next;
};

chain* insert(chain* list, chain* elem) {
 if (0 == list->next) {
    ...
```

```
insert:
   push    ebx
   sub     esp, 8
   mov     ebx, dword [esp+16]
   mov     eax, dword [ebx+4]
   test    eax, eax
   je      .L22
   ...
```

```
esp   ← esp-4
[esp] ← ebx
...
```

Уровни интерфейсов



© 2020 МГУ/ВМК/СП

Функция main

```
#include <stdio.h>

void nullify(int argc, char* argv[]) {
}

int main(int argc, char* argv[]) {
   nullify(argc, argv);
   return 0;
}
```

- Есть ли отличия у функции main от остальных функций?
- Откуда берутся параметры argc и argv ?
- Что происходит со стеком в функции main ?

и наконец …

- Как можно воспользоваться стандартной библиотекой языка Си в ассемблерной программе?

© 2020 МГУ/ВМК/СП

```
student@pc:~/asm$ gcc –m32 -g –no-pie –fno-pic -o main main.c
student@pc:~/asm$ gdb main
```

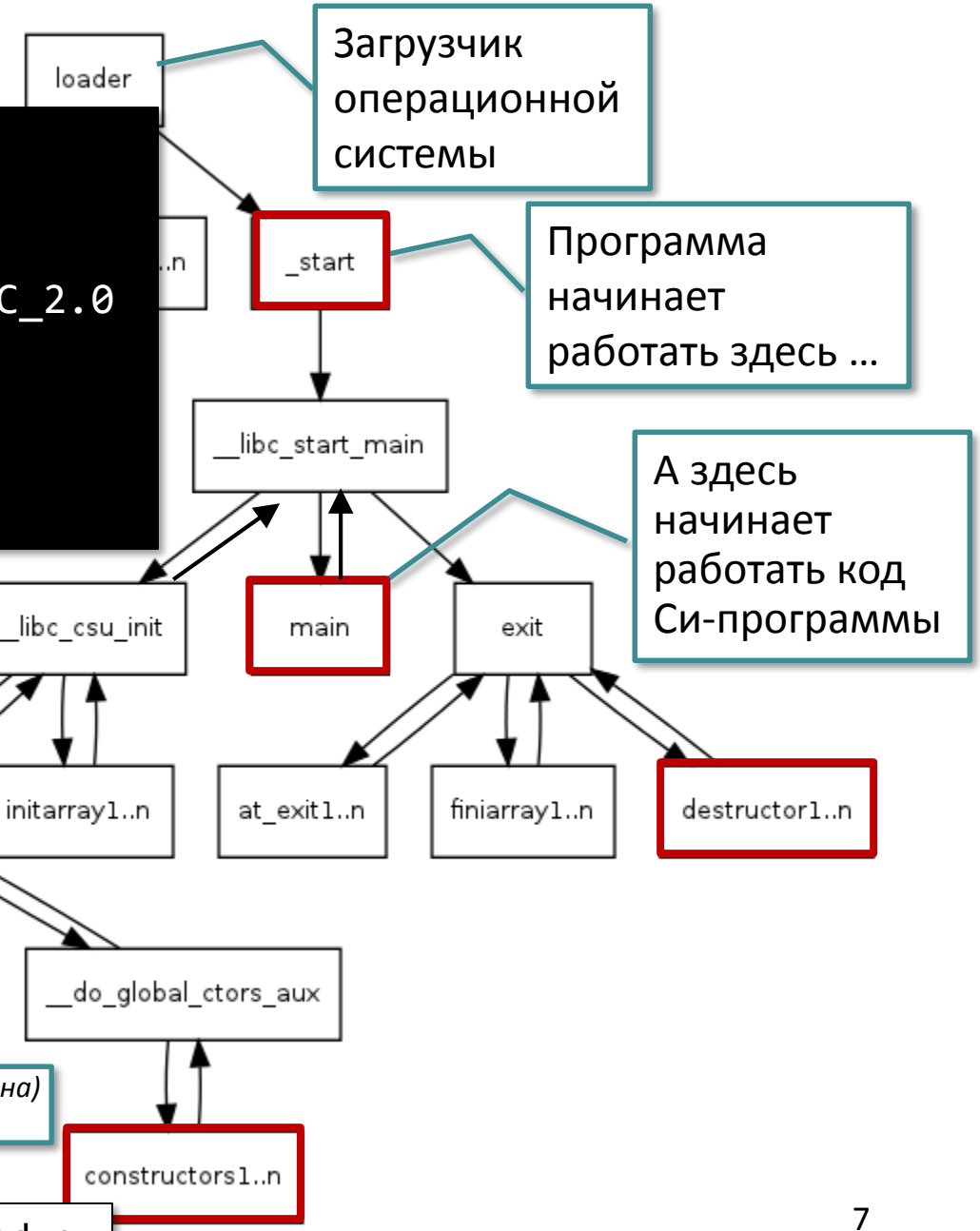
```
(gdb) br main
Breakpoint 1 at 0x80483ff: file main.c, line 7.
(gdb) run
Starting program: /home/student/asm/main

Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0xffffd144) at main.c:7
7          nullify(argc, argv);
(gdb) bt
#0  main (argc=1, argv=0xffffd144) at main.c:7
(gdb) set backtrace past-main on
(gdb) bt
#0  main (argc=1, argv=0xffffd144) at main.c:7
#1  0xf7dfbe81 in __libc_start_main () from /lib32/libc.so.6
#2  0x08048312 in _start ()
(gdb)
```

```
student@pc:~/asm$ gcc –v
…
Target: x86_64-linux-gnu
…
gcc version 7.4.0 (Ubuntu 7.4.0-1ubuntu1~18.04.1)
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

```
student@pc:~/asm$ nm main
...
08048480 T __libc_csu_fini
08048420 T __libc_csu_init
         U __libc_start_main@@GLIBC_2.0
080483fc T main
080483f6 T nullify
...
080482e0 T _start
...
```



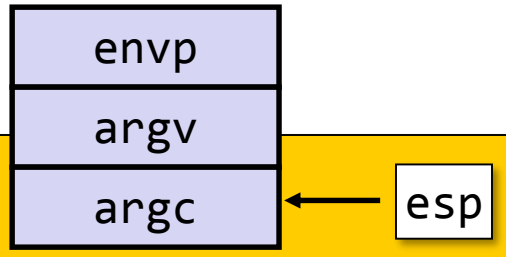
Компилятор (компоновщик) добавляет к программе код поддержки времени выполнения

Запуск сбора профиля (если эта опция включена)
http://www.opennet.ru/docs/RUS/gprof/

```
crt1.o crti.o crtn.o crtbegin.o crtend.o
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Начальное состояние стека




```
080482e0 <_start>:
 80482e0:       31 ed                   xor    ebp,ebp
 80482e2:       5e                      pop    esi
 80482e3:       89 e1                   mov    ecx,esp
 80482e5:       83 e4 f0                and    esp,0xfffffff0
 80482e8:       50                      push   eax
 80482e9:       54                      push   esp
 80482ea:       52                      push   edx
 80482eb:       e8 23 00 00 00          call   8048313 <_start+0x33>
 80482f0:       81 c3 10 1d 00 00       add    ebx,0x1d10
 80482f6:       8d 83 80 e4 ff ff       lea    eax,[ebx-0x1b80]
 80482fc:       50                      push   eax
 80482fd:       8d 83 20 e4 ff ff       lea    eax,[ebx-0x1be0]
 8048303:       50                      push   eax
 8048304:       51                      push   ecx
 8048305:       56                      push   esi
 8048306:       c7 c0 fc 83 04 08       mov    eax,0x80483fc
 804830c:       50                      push   eax
 804830d:       e8 ae ff ff ff          call   80482c0 <__libc_start_main@plt>
 8048312:       f4                      hlt
 8048313:       8b 1c 24                mov    ebx,DWORD PTR [esp]
 8048316:       c3                      ret
  ...
```

Выравнивание стека (границ фрейма) по 16 байт

Адрес функции main

```
student@pc:~/asm$ objdump -M intel -d main
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

```
int __libc_start_main( int (*main) (int, char **, char **),
                                                int argc,
                                        char ** ubp_av,
                                   void (*init) (void),
                                   void (*fini) (void),
                            void (*rtld_fini) (void),
                                   void (* stack_end));
```

```
080482e0 <_start>:
 80482e0: xor    ebp,ebp
 80482e2: pop    esi
 80482e3: mov    ecx,esp
 80482e5: and    esp,0xfffffff0
 80482e8: push   eax
 80482e9: push   esp
 80482ea: push   edx
 80482eb: call   8048313 <_start+0x33>
 80482f0: add    ebx,0x1d10
 80482f6: lea    eax,[ebx-0x1b80]
 80482fc: push   eax
 80482fd: lea    eax,[ebx-0x1be0]
 8048303: push   eax
 8048304: push   ecx
 8048305: push   esi
 8048306: mov    eax,0x80483fc
 804830c: push   eax
 804830d: call   80482c0 <__libc_start_main@plt>
 8048312: hlt
 8048313: mov    ebx,DWORD PTR [esp]
 8048316: ret
...
```


https://refspecs.linuxbase.org/LSB_3.1.0/LSB-generic/LSB-generic/baselib---libc-start-main-.html

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Функция main

ассемблерный листинг адаптирован под синтаксис nasm

```
080483fc <main>:
 80483fc:       55                      push   ebp
 80483fd:       89 e5                   mov    ebp,esp
 80483ff:       ff 75 0c                push   dword [ebp+0xc]
 8048402:       ff 75 08                push   dword [ebp+0x8]
 8048405:       e8 ec ff ff ff          call   nullify
 804840a:       83 c4 08                add    esp,0x8
 804840d:       b8 00 00 00 00          mov    eax,0x0
 8048412:       c9                      leave
 8048413:       c3                      ret
 ...
```

```
int main(int argc, char* argv[]) {
   nullify(argc, argv);
   return 0;
}
```

В зависимости от версии компилятора gcc выравнивание стека может выполняться в функции _start и/или main

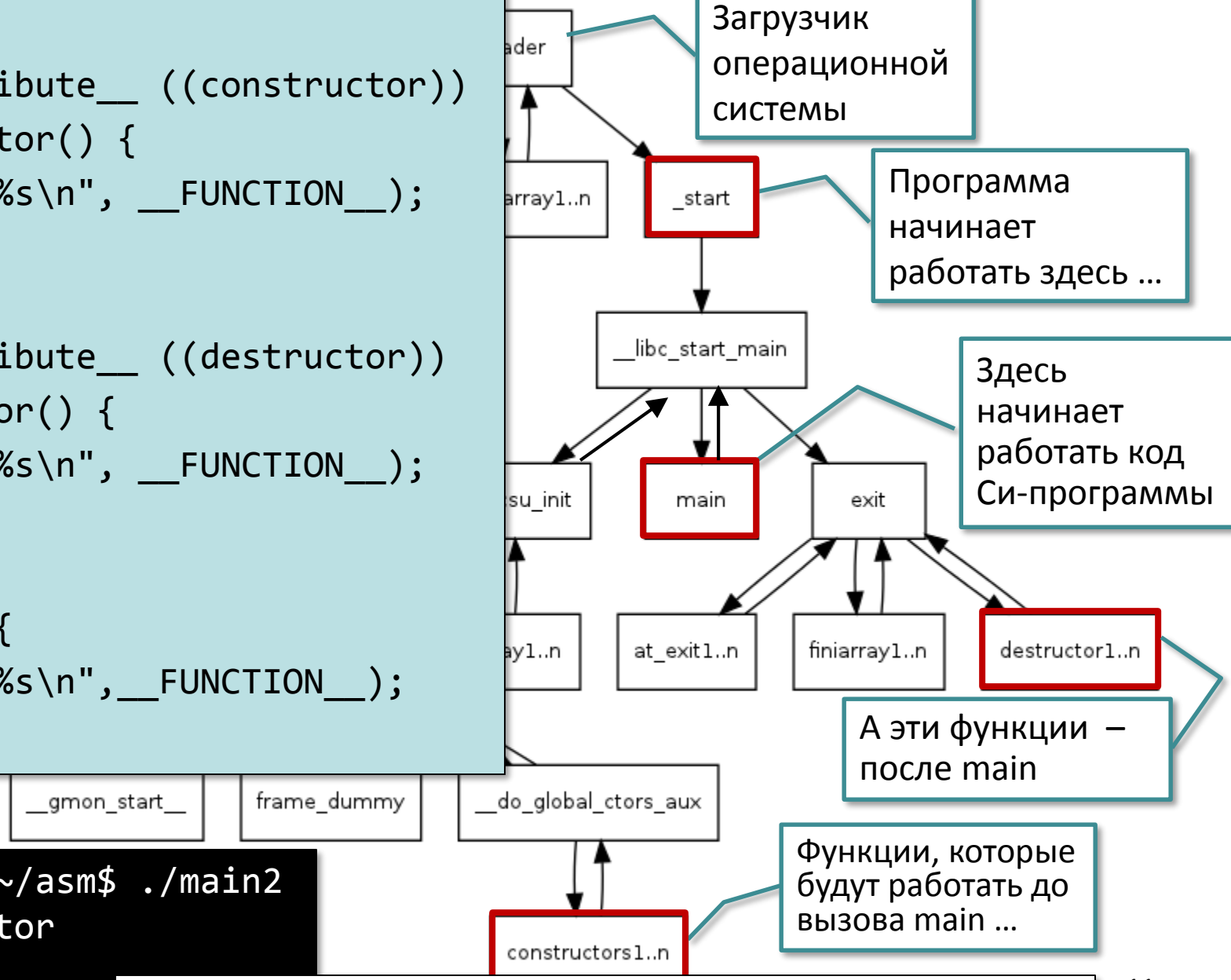
© 2020 МГУ/ВМК/СП

```c
#include <stdio.h>

void __attribute__ ((constructor))
my_constructor() {
   printf("%s\n", __FUNCTION__);
}

void __attribute__ ((destructor))
my_destructor() {
   printf("%s\n", __FUNCTION__);
}

int main() {
   printf("%s\n",__FUNCTION__);
}
```



Загрузчик операционной системы

Программа начинает работать здесь …

Здесь начинает работать код Си-программы

А эти функции – после main

Функции, которые будут работать до вызова main …

```
student@pc:~/asm$ ./main2
my_constructor
main
my_destructor
```

Идея метода/функции-конструктора не принадлежит Си++

© 2020 МГУ/ВМК/СП

```
student@pc:~/asm$ objdump -M intel -d main2
08048426 <my_constructor>:
 8048426:       55                      push   ebp
 8048427:       89 e5                   mov    ebp,esp
 8048429:       83 ec 08                sub    esp,0x8
 804842c:       83 ec 0c                sub    esp,0xc
 804842f:       68 10 85 04 08          push   0x8048510
 8048434:       e8 a7 fe ff ff          call   80482e0 <puts@plt>
 8048439:       83 c4 10                add    esp,0x10
 804843c:       90                      nop
 804843d:       c9                      leave
 804843e:       c3                      ret

0804843f <my_destructor>:
 804843f:       55                      push   ebp
 8048440:       89 e5                   mov    ebp,esp
 8048442:       83 ec 08                sub    esp,0x8
 8048445:       83 ec 0c                sub    esp,0xc
 8048448:       68 20 85 04 08          push   0x8048520
 804844d:       e8 8e fe ff ff          call   80482e0 <puts@plt>
 8048452:       83 c4 10                add    esp,0x10
 8048455:       90                      nop
 8048456:       c9                      leave
 8048457:       c3                      ret
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

gcc version 7.4.0

```
student@pc:~/asm$ objdump -h main2
```

```
main2:     file format elf32-i386

Sections:
Idx Name          Size      VMA       LMA       File off  Algn
...
 13 .text         000001e2  08048310  08048310  00000310  2**4
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, CODE
...
 18 .init_array   00000008  08049f04  08049f04  00000f04  2**2
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, DATA
 19 .fini_array   00000008  08049f0c  08049f0c  00000f0c  2**2
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, DATA
...
```

```
student@pc:~/asm$ objdump -s -j .ctors -j .init_array -j .fini_array main2
```

```
main2:     file format elf32-i386

Contents of section .init_array:
 8049f04 20840408 26840408                    ...&...
Contents of section .fini_array:
 8049f0c f0830408 3f840408                    ....?...
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Функция main с выравниванием стека

ассемблерный листинг адаптирован под синтаксис nasm

```
08048360 <main>:
 8048360:      8d 4c 24 04          lea    ecx, [esp+0x4]
 8048364:      83 e4 f0             and    esp, 0xfffffff0
 8048367:      ff 71 fc             push   dword [ecx-0x4]
 804836a:      55                   push   ebp
 804836b:      89 e5                mov    ebp, esp
 804836d:      51                   push   ecx
 804836e:      83 ec 10             sub    esp, 0x10
 8048371:      68 10 85 04 08       push   0x8048510
 8048376:      e8 75 ff ff ff       call   80482f0 <puts@plt>
 804837b:      8b 4d fc             mov    ecx, dword [ebp-0x4]
 804837e:      83 c4 10             add    esp, 0x10
 8048381:      c9                   leave
 8048382:      8d 61 fc             lea    esp, [ecx-0x4]
 8048385:      c3                   ret
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Оболочка вокруг `main`

- **Выравнивание стека**
  - **Каждый вызов функции происходит на выровненном стеке**
  - **Необходимо формировать каждый фрейм таким образом, чтобы однажды выполненное выравнивание сохранялось**
- Поддержка повышенного уровня привилегий для данного запуска программы
- Поддержка многопоточного выполнения
- Запуск сбора профиля и запись в файл результатов профилирования после завершения работы деструкторов
  - Если программа была собрана с данной опцией
- Запуск конструкторов
- Запуск функции `main` с аргументами `argc` и `argv`
- Запуск деструкторов
- Передача результата функции `main` в функцию `exit`

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Пример вызова malloc

```
#include <stdlib.h>

struct chain;

typedef struct chain {
   int val;
   struct chain *next;
} t_chain, *p_chain;
```

```
p_chain insert(p_chain p, int val) {
   if ((0 == p) || (p->val > val)) {
      p_chain np =
         (p_chain)malloc(sizeof(t_chain));
      np->val = val;
      np->next = p;
      return np;
   } else {
      p->next = insert(p, val);
      return p;
   }
}
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Пример вызова malloc

```
p_chain insert(p_chain p, int val) {
   if ((0 == p) || (p->val > val)) {
      p_chain np =
         (p_chain)malloc(sizeof(t_chain));
      np->val = val;
      np->next = p;
      return np;
   } else {
      p->next = insert(p, val);
      return p;
   }
}
```

```
%include 'io.inc'

section .text

CEXTERN malloc

insert:
   push    ebp
   mov     ebp, esp
   sub     esp, 24
   ; ...
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Пример вызова malloc

```
p_chain insert(p_chain p, int val) {
   if ((0 == p) || (p->val > val)) {
      p_chain np =
         (p_chain)malloc(sizeof(t_chain));
      np->val = val;
      np->next = p;
      return np;
   } else {
      p->next = insert(p, val);
      return p;
   }
}
```

```
insert:
   ; ...
   mov      dword [ebp-4], esi
   mov      esi, dword [ebp+8]
   mov      dword [ebp-8], ebx
   mov      ebx, dword [ebp+12]
   ; ...
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Пример вызова malloc

```
p_chain insert(p_chain p, int val) {
   if ((0 == p) || (p->val > val)) {
      p_chain np =
         (p_chain)malloc(sizeof(t_chain));
      np->val = val;
      np->next = p;
      return np;
   } else {
      p->next = insert(p, val);
      return p;
   }
}
```

```
   test    esi, esi
   je      .L2
   cmp     dword [esi], ebx
   jle     .L3
.L2:
   mov     dword [esp], 8
   call    malloc
   mov     dword [eax], ebx
   mov     dword [eax+4], esi
   mov     ebx, dword [ebp-8]
   mov     esi, dword [ebp-4]
   mov     esp, ebp
   pop     ebp
   ret
.L3:
```

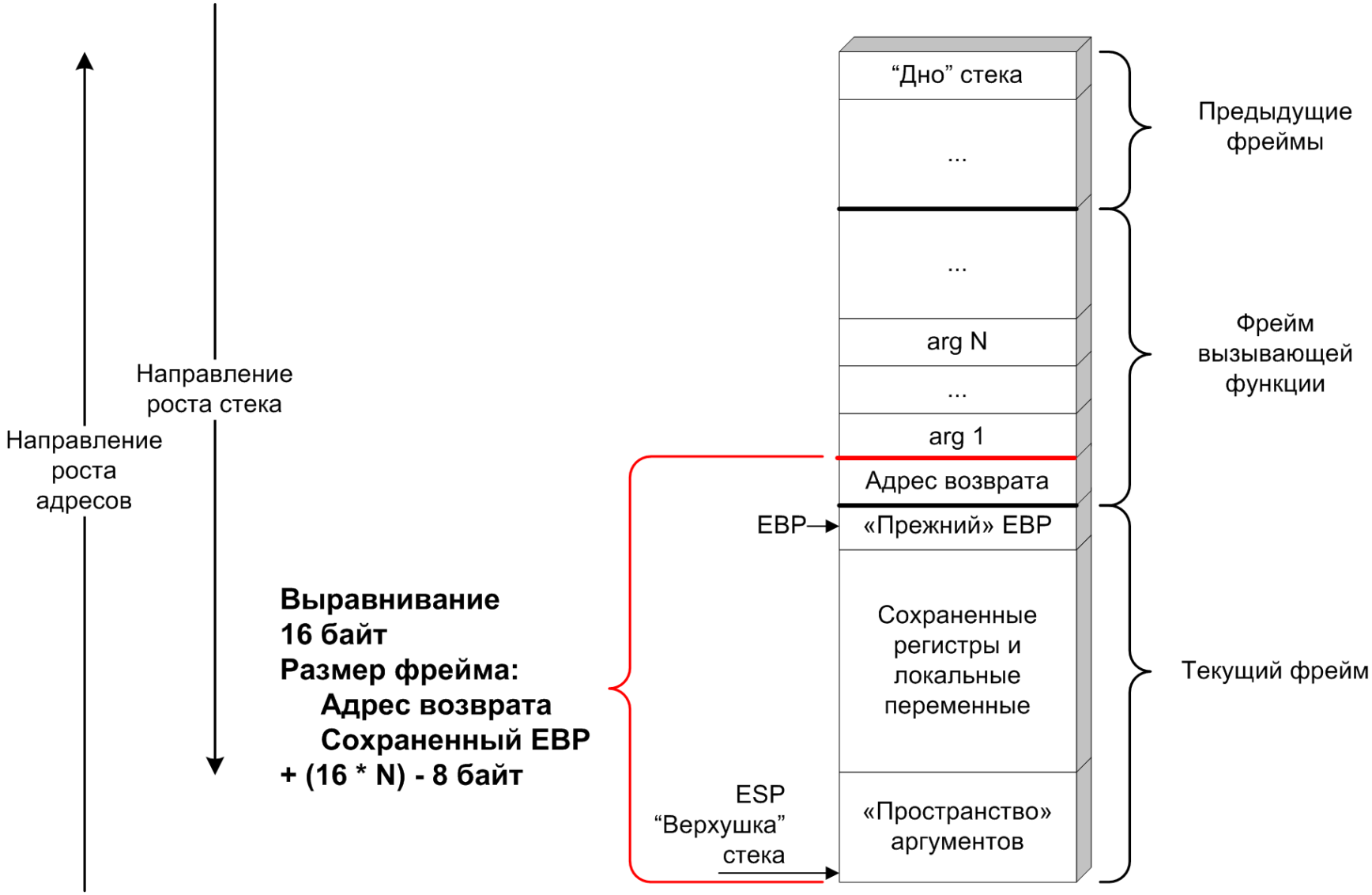
© 2020 МГУ/ВМК/СП

Пример вызова malloc

```
p_chain insert(p_chain p, int val) {
   if ((0 == p) || (p->val > val)) {
      p_chain np =
         (p_chain)malloc(sizeof(t_chain));
      np->val = val;
      np->next = p;
      return np;
   } else {
      p->next = insert(p, val);
      return p;
   }
}
```

```
   ; …
.L3:
   mov     dword [esp+4], ebx
   mov     dword [esp], esi
   call    insert
   mov     dword [esi+4], eax
   mov     eax, esi
   mov     ebx, dword [ebp-8]
   mov     esi, dword [ebp-4]
   mov     esp, ebp
   pop     ebp
   ret
```

© 2020 МГУ/ВМК/СП



© 2020 МГУ/ВМК/СП

Стандартная библиотека языка Си

- 24 заголовочных файла
- stdlib.h
  - Преобразование типов: atoi, strtod, …
  - Генерация псевдослучайных последовательностей
  - Выделение и освобождение памяти
  - Сортировка и поиск
  - Математика
- stdio.h
  - Функции для файловых операций
  - Функции для операций ввода-вывода
- string.h
- …

© 2020 МГУ/ВМК/СП

Выравнивание стека

- На стек помещаем только машинные слова (4 байта)
- Выравнивание стека по границе в 16 байт IA-32/Linux/gcc
  - выполняется в функции main
  - остальные функции поддерживают выравнивание, формируя фрейм определенного размера
  - для листовых функций необязательно
- Не только производительность: команда `MOVDQA`
  - SSE2, Pentium4, 2001 г.
  - Быстрое копирование блока данных размером 16 байт
  - Аварийное завершение работы (#GP), если начальный адрес блока не выровнен по границе в 16 байт