Лекции 14, 15
Ассемблер, часть 2

Метод адресации памяти

- Методы адресации – способы получения адреса операндов инструкции в памяти
- Общий вид обращения к памяти:
  OFFSET(BREG, IREG, SCALE)
  адрес вычисляется по формуле:
  BREG + OFFSET + IREG * SCALE
- BREG – базовый регистр (общего назн.)
- IREG – индексный регистр (общего назн.)
- SCALE – {1, 2, 4, 8}, по умолчанию 1
- OFFSET – базовый адрес в памяти или смещение

Обращения к памяти

- Примеры:
  (%eax) // адрес находится в %eax
  16(%esi) // адрес равен %esi + 16
  array(,%eax) // адрес равен array + %eax
  array(,%eax,4) // адрес равен array + %eax*4
  (%ebx,%eax,2) // адрес: %ebx + %eax * 2
  -4(%ebx,%eax,8) // адрес: %ebx-4+%eax*8

Примеры использования

- Разыменование указателя
  char *p; int c = *p;

  (если p загружен в %eax)
  movsbl (%eax), %eax // в %eax будет c
- Доступ к глобальному массиву
  unsigned short array[N]; int x = array[i];
  (если i загружено в %esi)
  movzwl array(,%esi,2), %eax // результат в %eax

Примеры использования

- Доступ к массиву
  int *p; int i;
  x = p[i];

  // пусть p находится в %ebx, i в %esi
  movl (%ebx, %esi, 4), %eax // x – в %eax
- Если размер элемента массива не 1, 2, 4, 8, потребуется операция умножения или несколько сложений и сдвигов

Примеры использования

- Доступ к полю структуры
```
struct Str { int f1; int f2; };
struct Str *p;
int x = p->f2;

// пусть p находится в %ebx
movl        4(%ebx), %eax // x в %eax
```
- Любой доступ к памяти может быть представлен как комбинация разыменования, доступа к элементу массива, доступа к полю структуры

Инструкция lea

- Вместо обращения к памяти и сохранения в регистре значения из памяти в регистре сохраняется адрес

```
leal    (%eax, %eax, 8), %eax
// %eax = %eax * 9
```

Типизация в ассемблере

- В ассемблере целое число (32 бит) может быть:
  - Знаковым целым числом
  - Беззнаковым целым числом
  - Указателем любого типа
- Тип никак не привязан к ячейке/регистру, в котором хранится число
- Интерпретация числа зависит от выполняющейся инструкции

Структура адресного пространства

- Код программы и данные, загружаемые из исполняемого файла (образ программы)
  - Содержит разные секции исполняемого кода, в том числе .text, .data, .bss
- Основной стек процесса
- Область динамической памяти (куча)

Использование стека

- Область стека размещается “в верху” доступного адресного пространства
- Стек растет “вниз”
- На x86 в стек можно сохранять только 32-битные значения
- %esp – указывает на первый занятый элемент
- push %eax – можно условно расписать как
  subl $4, %esp
  movl %eax, (%esp)
- pop %eax – можно условно расписать как
  movl (%esp), %eax
  addl $4, %esp

Вызов подпрограмм

- call sub // вызов подпрограммы:
  ```
  push %eip
  mov    $sub, %eip
  // это условный код, точнее будет
  add    $(sub-%eip), %eip
  ```
- ret // возврат из подпрограммы
  ```
  pop    %eip
  ```
- В стеке накапливаются адреса возврата для вызываемых подпрограмм
- Вложенные и рекурсивные вызовы, пока хватает стека

Сохранение регистров

- Регистров немного, они очень нужны в программах
- По типу использования регистры делятся на:
  1) Для передачи параметров
  2) Для возврата значения
  3) “Рабочие” (scratch) регистры
  4) Сохраняемые (callee-saved) регистры

Вызывающий код

call subroutine

- После возврата из подпрограммы 'subroutine' регистры
  - 2) содержат возвращенное значение
  - Значение регистров 1) не определено
  - Значение регистров 3) не определено
  - Значение регистров 4) сохраняется
- Если подпрограмма использует регистры 4), они должны быть сохранены в начале и восстановлены перед возвратом из нее

Регистры на x86

- Возвращаемое значение хранится в %eax или в %eax:%edx (если 64 бита, %eax – младшая половина, %edx – старшая)
- (если не используются для возврата значения) %eax, %ecx, %edx – рабочие (scratch) регистры
- %ebx, %esi, %edi, %ebp – сохраняемые регистры

Пример:

- Сохранение регистров:
  ```
  push %ebp
  push %ebx
  push %esi
  push %edi
  ```
- Восстановление регистров:
  ```
  pop    %edi
  pop    %esi
  pop    %ebx
  pop    %ebp
  ```
- Не обязательно сохранять/восстанавливать все регистры, достаточно только те, которые будут использоваться

Передача параметров

- Один из возможных вариантов: через стек
- Если размер меньше 32 бита, преобразовывается к int
```
pushl  $'\n'
call   putchar
```
- 64-битные значения передаются так, чтобы в памяти хранились как LE-значения
```
pushl  $0
pushl  $1
// сохранили в стек число 1LL
```

Очистка стека после возврата

- Тот код, который вызвал подпрограмму, должен очистить стек после возврата из этой подпрограммы

```
pushl  $'a'
call     putchar
add          $4, %esp
```

- Если забыть почистить стек, целостность стека будет нарушена – программа скорее всего упадет

Передача нескольких параметров

- Параметры заносятся в стек в обратном порядке, то есть в стеке они размещаются в прямом порядке

```
push    $10
push    $str
call    printf
add     $8, %esp
…
str: .asciz “%d\n”
```

Соглашение о вызовах

- Соглашение о вызовах (calling convention) – правила взаимодействия подпрограмм по вызовам
  - Правила использования регистров процессора
    - Регистры, используемые для возврата значения
    - Регистры, используемые для передачи параметров
    - Рабочие регистры
    - Сохраняемые регистры
  - Правила использования стека процессора
    - Порядок занесения аргументов в стек
    - Порядок очистки стека
    - Требования на выравнивание регистра указателя стека
  - Как передаются и возвращаются структуры

Calling convention на x86

- Для x86 (по историческим причинам) существует более 10 разных CC
- Стандартное соглашение на Linux (cdecl):
  - %eax или %eax:%edx для возврата значения
  - %eax, %ecx, %edx – scratch
  - %ebx, %esi, %edi, %ebp – callee-saved
  - Параметры передаются через стек
  - Параметры заносятся в обратном порядке
  - Стек очищается тем, кто вызвал (caller-cleaned)

Выравнивание стека

- Linux x86 не требует но рекомендует, а MacOS требует **выравнивания стека** по 16 байтам
- При вызове подпрограммы первый аргумент должен находиться по адресу, кратному 16
  XXXXXXX0 – (последняя 16-ричная цифра 0)
- Адрес возврата: XXXXXXXC
- Сохраненный EBP: XXXXXXX8
- Если выравнивание стека неизвестно:
  and $-16, %esp
  смещает ESP вниз на правильную границу

Необходимость Calling Convention

- Ключевой элемент ABI для обеспечения совместимости бинарных компонент системы
- Следование Calling Conventions необходимо для вызова подпрограмм стандартных библиотек и для того, чтобы подпрограммы могли быть вызваны из стандартных библиотек

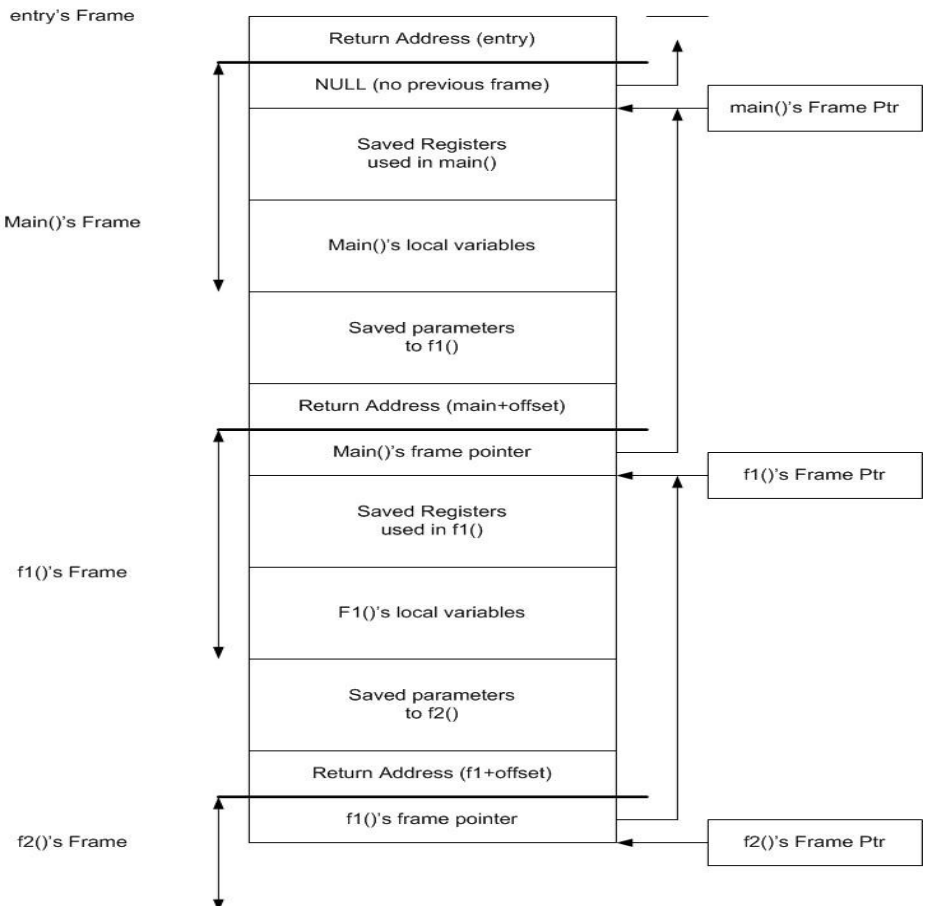
Стековый кадр (stack frame)

- Организуют блоки данных каждой из подпрограмм на стеке в виде списка
- Позволяют получить всю цепочку вызовов от текущей точки и до подпрограммы самого внешнего уровня
- Необходимы:
  - Когда нужно проходить по цепочке вызовов (C++ exception handling)
  - Для отладки
  - При выделении памяти заранее неизвестного размера на стеке

Организация стекового кадра

- Регистр %ebp хранит адрес стекового кадра текущей подпрограммы
- Стандартный пролог (prologue)
  ```
  pushl  %ebp
  movl   %esp, %ebp
  ```
- Стандартый эпилог
  ```
  popl   %ebp
  ret
  ```
- Так: (%ebp) – это адрес стекового кадра предыдущей подпрограммы, ((%ebp)) – пред-предыдущей…
- Самый внешний стековый кадр хранит 0

Цепочки вызовов



Использование стекового кадра

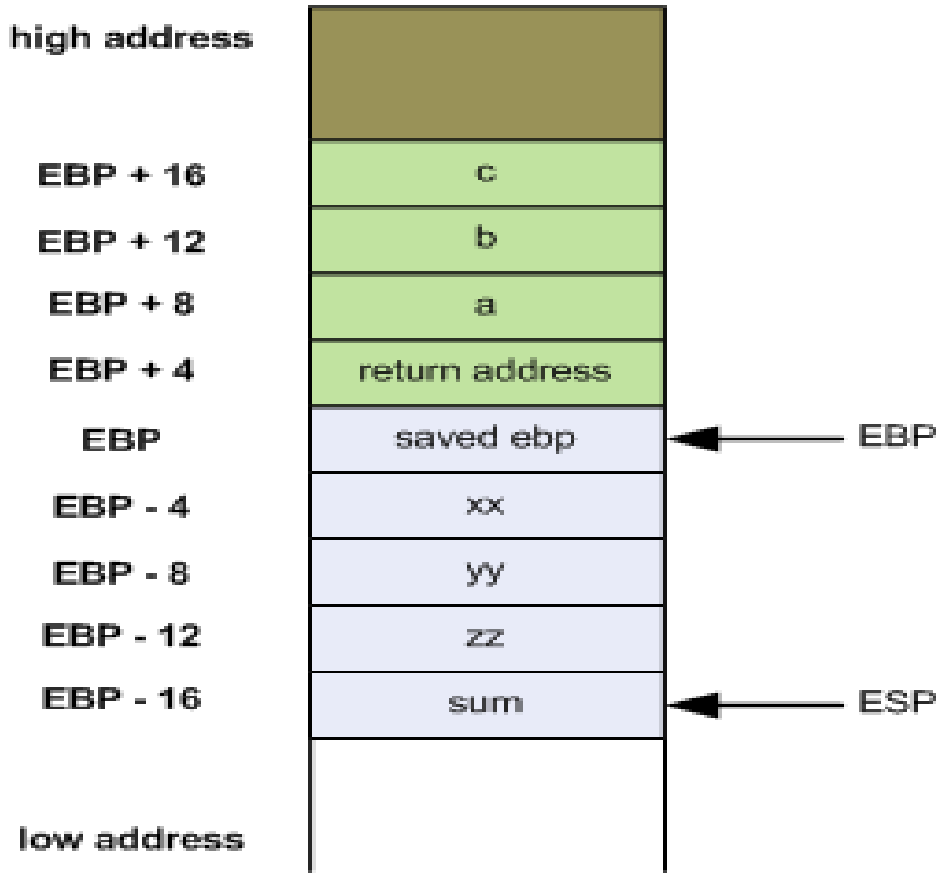
- Для доступа к параметрам подпрограммы используются положительные смещения относительно %ebp:
  movl 8(%ebp), %eax // доступ к 1-му парам.
- Ниже %ebp хранятся сохраненные регистры и область под локальные переменные

Локальные переменные

- Выделение памяти:
  ```
  pushl  %ebp
  movl       %esp, %ebp
  subl       $16, %esp
  // выделено 16 байт под лок. Переменные
  ```
- Освобождение:
  ```
  movl       %ebp, %esp
  popl       %ebp
  ret
  ```

Локальные переменные

- Локальные переменные размещаются «ниже» адреса возврата
-
- -4(%ebp) // xx
- -16(%ebp) // sum
- %ebp-$16 // &sum



Выделение памяти на стеке

- В Си есть функция void *alloca(size_t sz);
- Массивы переменного размера
- Достоинства:
  - Очень быстрое выделение (1 инструкция)
  - Автоматическое освобождение
- Недостатки:
  - Нельзя контролировать время жизни (освобождается автоматически при выходе)
  - Сложно контролировать нехватку памяти
  - Стек, как правило, имеет ограниченный размер

X86_64 calling convention

- Первые 6 целых/указателей: rdi, rsi, rdx, rcx, r8, r9
- Первые 8 floating point: xmm0 … xmm7
- Последующие аргументы: на стеке
- Rax – число floating-point аргументов в функциях с переменным числом аргументов (…)
- Rbx, rbp, r12 … r15 – callee-saved
- Остальные регистры: scratch: (rax, rcx, rdx, rdi, rsi, r8 … r11)
- Возвращаемое значение: rax (<= 64 бита), rax:rdx (128 бит), xmm0 – floating point
- Red zone 128 байт – гарантируется сохранность при “асинхронных” событиях (для leaf-функций)