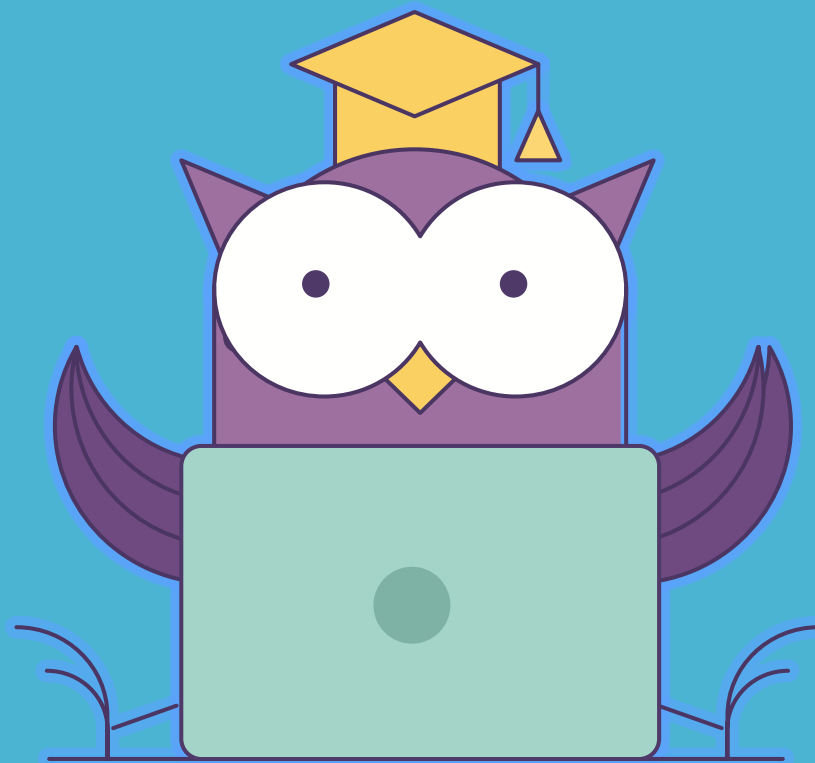




ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИЕ

Как меня слышно и видно?



> Напишите в чат

+ если все хорошо

- если есть проблемы со звуком или с видео

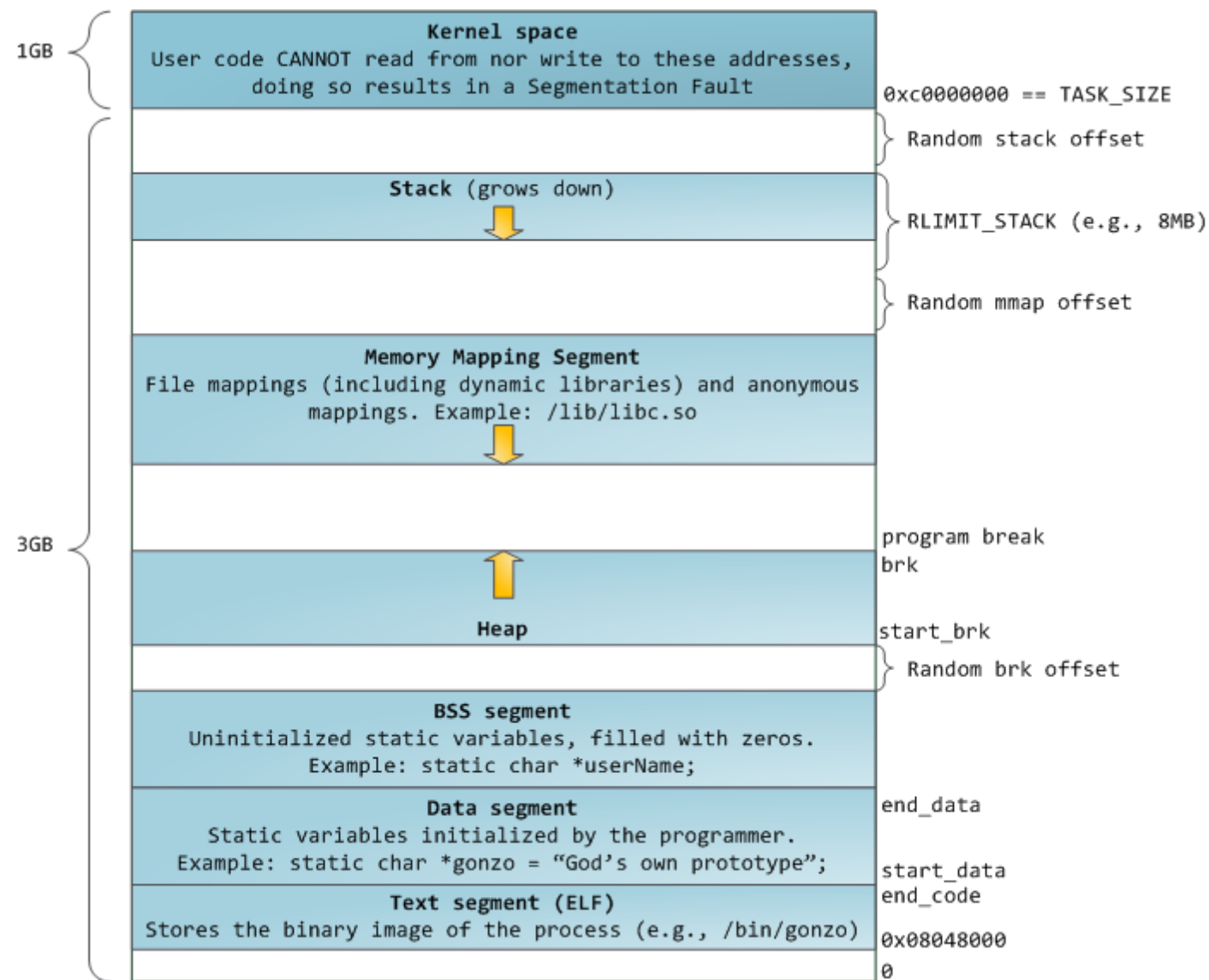
!проверить запись!

Go Memory

Дмитрий Смаль



- Память процесса в Linux
- Структура стеков в Go
- Выделение памяти на стеке
- Структура кучи в Go
- Выделение памяти в куче (различные сценарии)
- Механизм сборки мусора в Go



```
$ cat /proc/5913/maps | tac
```

```
ffffffffffff600000-ffffffffffff601000 r-xp 00000000 00:00 0      [vsyscall]
7ffeb2fb2000-7ffeb2fb4000 r-xp 00000000 00:00 0      [vdso]
7ffeb2faf000-7ffeb2fb2000 r--p 00000000 00:00 0      [vvar]
7ffeb2f39000-7ffeb2f5a000 rw-p 00000000 00:00 0      [stack]
7f2e908f9000-7f2e908fa000 rw-p 00000000 00:00 0
...
7f2e906ca000-7f2e906cc000 rw-p 001eb000 09:02 130089146  /lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.27.so
7f2e906c6000-7f2e906ca000 r--p 001e7000 09:02 130089146  /lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.27.so
...
7f2e8d6af000-7f2e900c0000 rw-p 00000000 00:00 0
7f2e8d6ae000-7f2e8d6af000 ---p 00000000 00:00 0
...
7f2dc0021000-7f2dc4000000 ---p 00000000 00:00 0
7f2dc0000000-7f2dc0021000 rw-p 00000000 00:00 0
c000e00000-c004000000 rw-p 00000000 00:00 0
c000800000-c000e00000 rw-p 00000000 00:00 0
c000000000-c000800000 rw-p 00000000 00:00 0
02ca4000-02cc5000 rw-p 00000000 00:00 0      [heap]
00d57000-00d7a000 rw-p 00000000 00:00 0
00d1f000-00d57000 rw-p 0091f000 09:02 127405274  /usr/local/bin/mysync
00842000-00d1f000 r--p 00442000 09:02 127405274  /usr/local/bin/mysync
00400000-00842000 r-xp 00000000 09:02 127405274  /usr/local/bin/mysync
```

- Stack (System Stack) - не нужно, просто уменьшите регистр `SP`, нельзя выходить за `RLIMIT_STACK`
- Heap - системный вызов `brk`, устанавливает ограничение размера `Heap`
- Отдельные сегменты - системный вызовы `mmap`, позволяющий добавить в виртуальную память новый сегмент, отображенный на файл или просто физическую память.

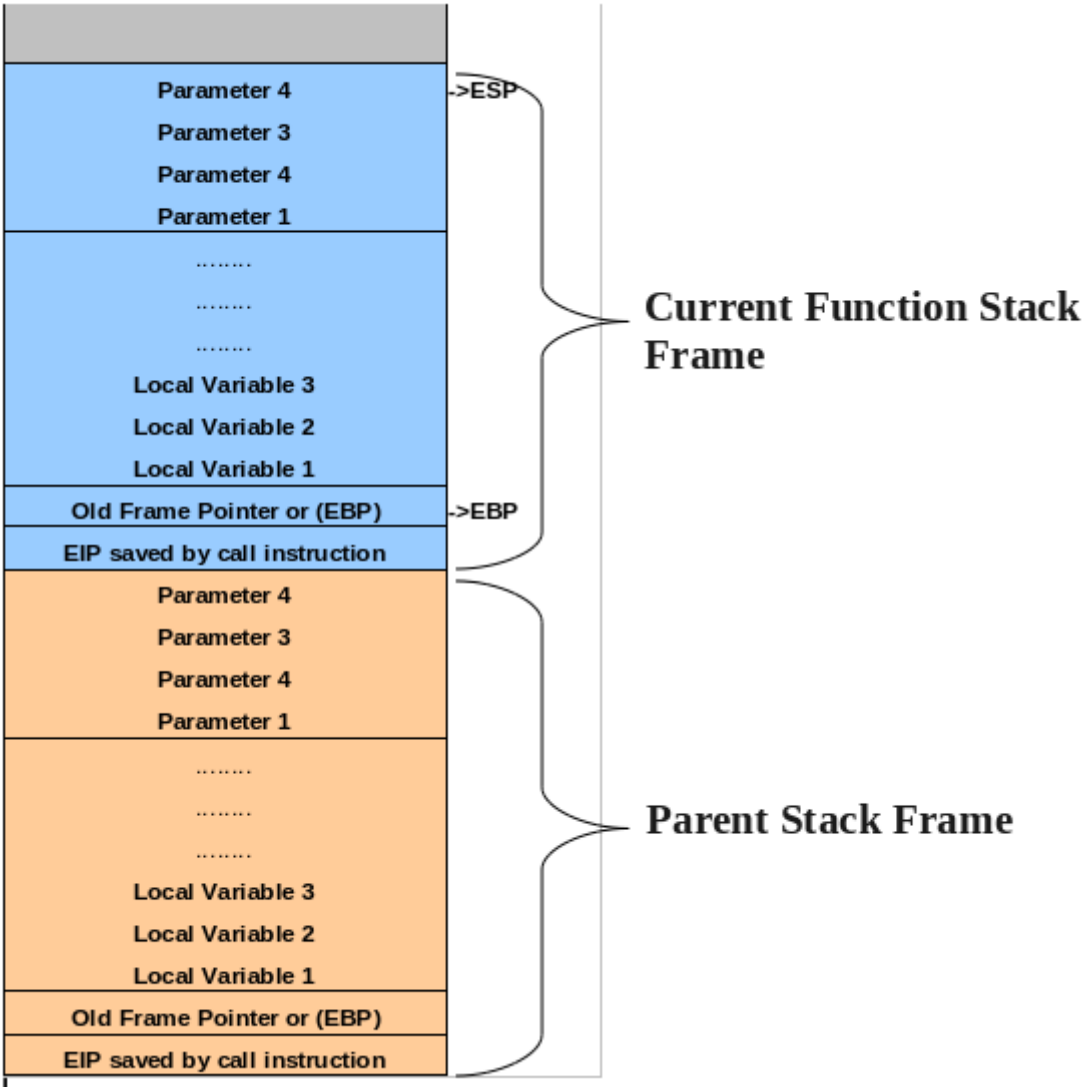
Отличное видео по теме: <https://www.youtube.com/watch?v=bhdkFPGhxfl>

- Используется множество горутин => необходимо множество мелких стеков, располагающихся в куче
- Автоматическое управление памятью => есть механизм аллокации/сборки мусора => запрос памяти у OS происходит большими фрагментами (arena)


```
TEXT main.main(SB) /Users/mialinx/t
func main() {
    0x1092f50    MOVQ GS:0x30, CX
    0x1092f59    CMPQ 0x10(CX), SP
    0x1092f5d    JBE 0x1092ff6
    0x1092f63    SUBQ $0x58, SP
    0x1092f67    MOVQ BP, 0x50(SP)
    0x1092f6c    LEAQ 0x50(SP), BP
    s := HalfSum(1, 2)
    0x1092f71    MOVQ $0x1, 0(SP)
    0x1092f79    MOVQ $0x2, 0x8(SP)
    0x1092f82    CALL main.HalfSum(SB)
    0x1092f87    MOVQ 0x10(SP), AX
    fmt.Println(s)
    0x1092f8c    MOVQ AX, 0(SP)
    0x1092f90    CALL runtime.convT64
    0x1092f95    MOVQ 0x8(SP), AX
    0x1092f9a    XORPS X0, X0
    0x1092f9d    MOVUPS X0, 0x40(SP)
    0x1092fa2    LEAQ runtime.types+6
    0x1092fa9    MOVQ CX, 0x40(SP)
    0x1092fae    MOVQ AX, 0x48(SP)
    0x1092fb3    90          NOPL
    return Fprintln(os.Stdout, a...
```

```
//go:noinline
func HalfSum(a, b int) int {
    c := a + b
    c /= 2
    return c
}

func main() {
    s := HalfSum(1, 2)
    fmt.Println(s)
}
```



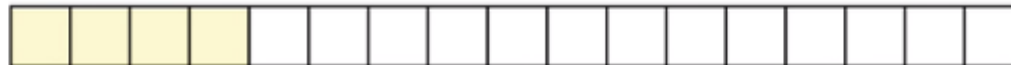
Рассмотрим функцию `main`:

```
$ go tool objdump -s main.main prog

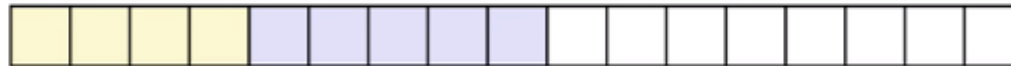
...
TEXT main.main(SB) /Users/mialinx/tmp/prog/main.go
func main() {
    0x10949a0      MOVQ GS:0x30, CX
    0x10949a9      CMPQ 0x10(CX), SP
    0x10949ad      JBE 0x1094a64
    ...
    0x1094a64      CALL runtime.morestack_noctxt(SB)
    0x1094a69      JMP main.main(SB)
    ...
```

В Go используются очень небольшие стеки (2Кб) поэтому перед вызовом функции производится проверка и увеличение стека при необходимости. Память под стек выделяется в той же куче. Стек может быть перемещен.

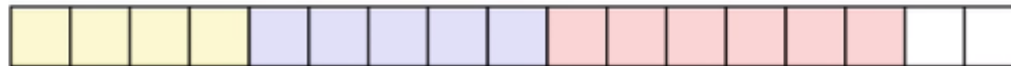
```
p1 = malloc(4)
```



```
p2 = malloc(5)
```



```
p3 = malloc(6)
```



```
free(p2)
```

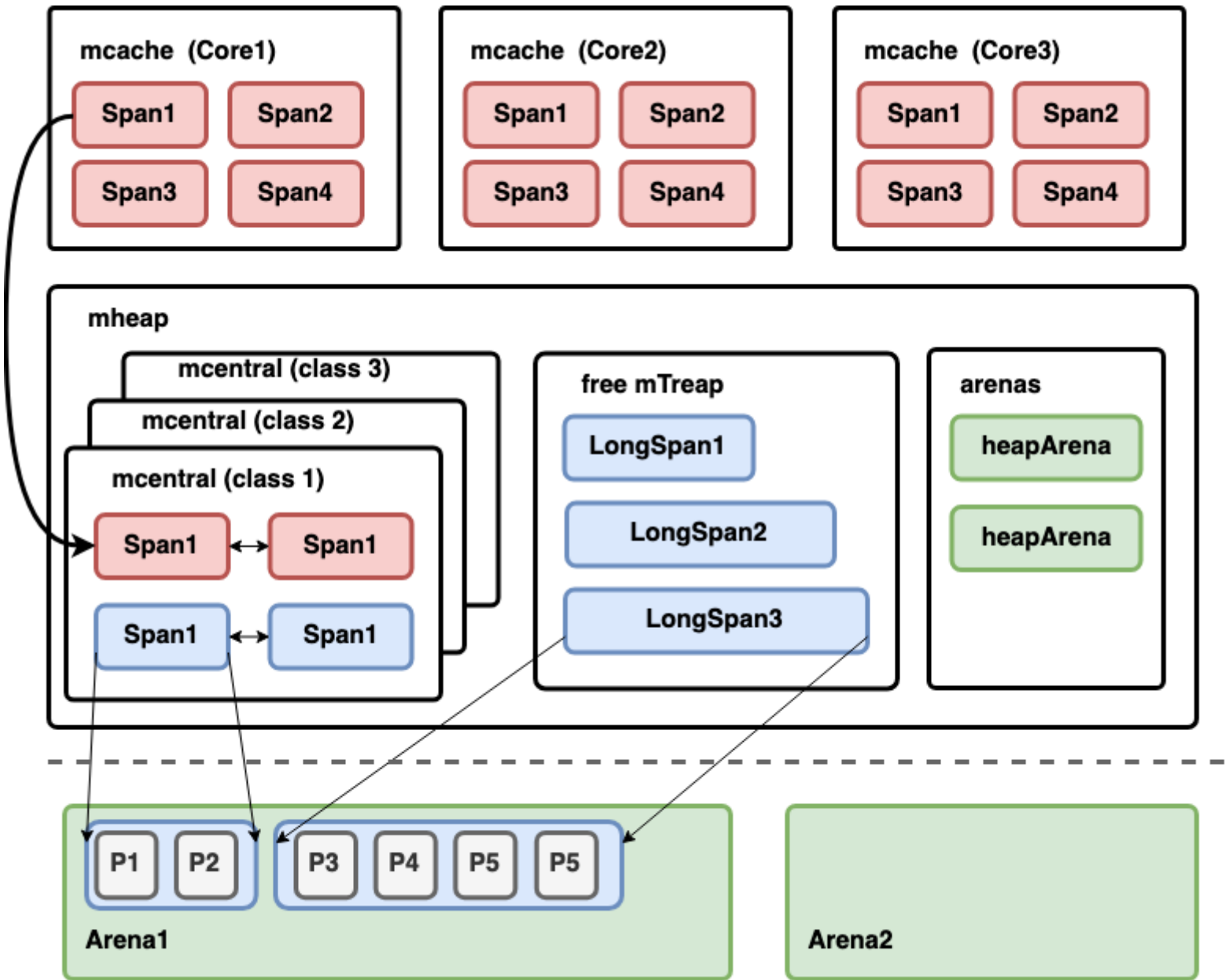


```
p4 = malloc(6)
```

Oops! (what would happen now?)

- Память у OS запрашивается большими кусками `Arena` = 64Мб (linux)
- Внутри `Arena` память разбивается на фиксированные страницы `Page` = 8Кб
- Подряд идущие страницы объединяются в интервалы `Span`, различной длины





Для каждой области `Arena` создается структура с мета-информацией:

```
// runtime/mheap.go

type heapArena struct {
    // битовая карта указателей в арене
    bitmap [heapArenaBitmapBytes]byte

    // карта принадлежности страниц конкретным Span-ам
    spans [pagesPerArena]*mspan

    // карта, показывающая какие Span в состоянии Used
    pageInUse [pagesPerArena / 8]uint8

    // для GC
    pageMarks [pagesPerArena / 8]uint8
}
```

Для каждого выделенного Span так же есть структура (не все поля!!):

```
// runtime/mheap.go

type mspan struct {
    next *mspan    // следующий span в списке
    prev *mspan    // предыдущий

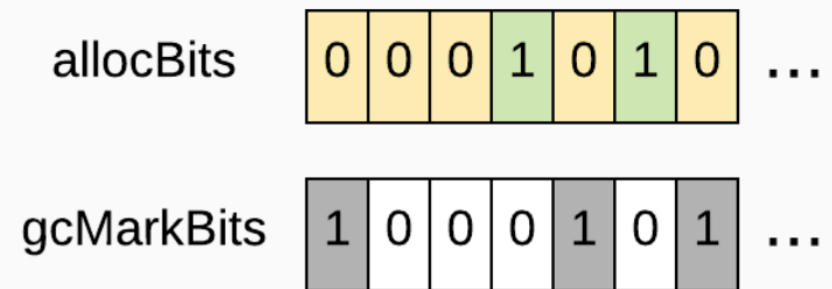
    startAddr uintptr // начало адресуемой памяти
    npages    uintptr // количество 8Кб страниц
    nelems    uintptr // количество "объектов" в span
    allocCount uint16  // количество "выделенных" объектов
    elemsize  uintptr // размер "объекта" в span
    limit     uintptr // конец адресуемой памяти

    allocBits *gcBits // (*uint8) карта выделенных объектов
    gcmarkBits *gcBits // (*uint*) карта отметок для GC

    spanclass spanClass // класс span, типовой размер объекта )
    ...
}
```



```
type span struct {  
    startAddr uintptr  
    // ...  
  
    // allocated/free bitmap  
    allocBits *gcBits  
    // mark state bitmap  
    gcMarkBits *gcBits  
  
    // ...  
}
```



Span разделяются на классы в зависимости от того объекты какого размера в них размещаются, а так же от наличия указателей внутри объекта (scan/noscan).

```
// runtime/sizeclasses.go

// class  bytes/obj  bytes/span  objects  tail waste  max waste
//    1      8      8192    1024      0    87.50%
//    2     16     8192     512      0    43.75%
//    3     32     8192     256      0    46.88%
...
//   33    1280     8192      6     512    15.55%
//   34    1408    16384     11     896    14.00%
//   35    1536     8192      5     512    14.00s
...
//   64   27264    81920      3     128    10.00%
//   65   28672    57344      2      0     4.91%
//   66   32768   32768      1      0    12.50%
```

```
// runtime/mheap.go
type mheap struct {
    lock      mutex
    free      mTreap // дерево свободных span-ов

    // списки свободных и занятых Span-ов по классам
    central [numSpanClasses]struct {
        mcentral mcentral
    }

    // массив выделенных Arena (см arenaIndex)
    arenas [1 << arenaL1Bits]*[1 << arenaL2Bits]*heapArena

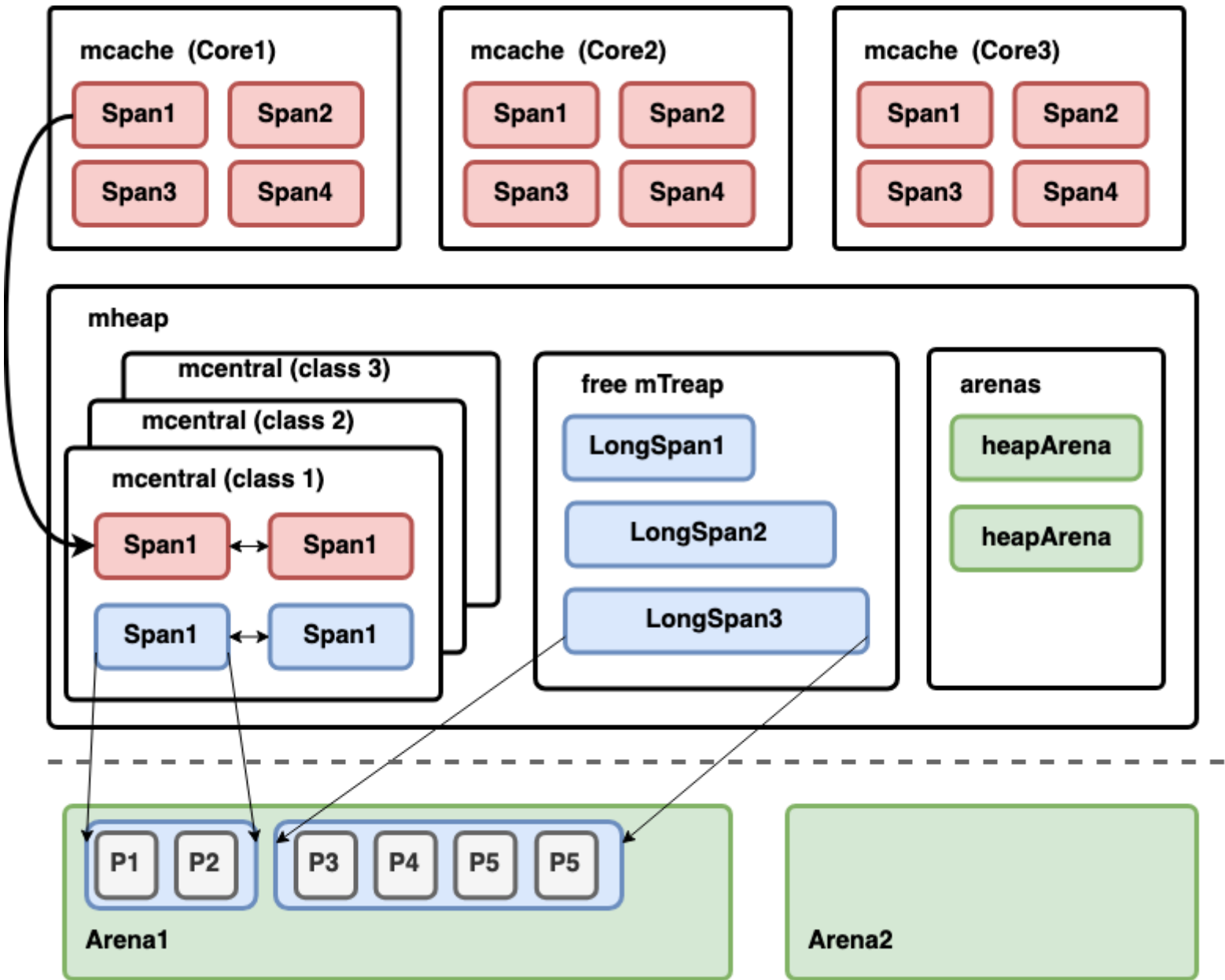
    sweepgen uint32 // итерация GC
    sweepSpans [2]gcSweepBuf // список Span-ов для очистки GC
}

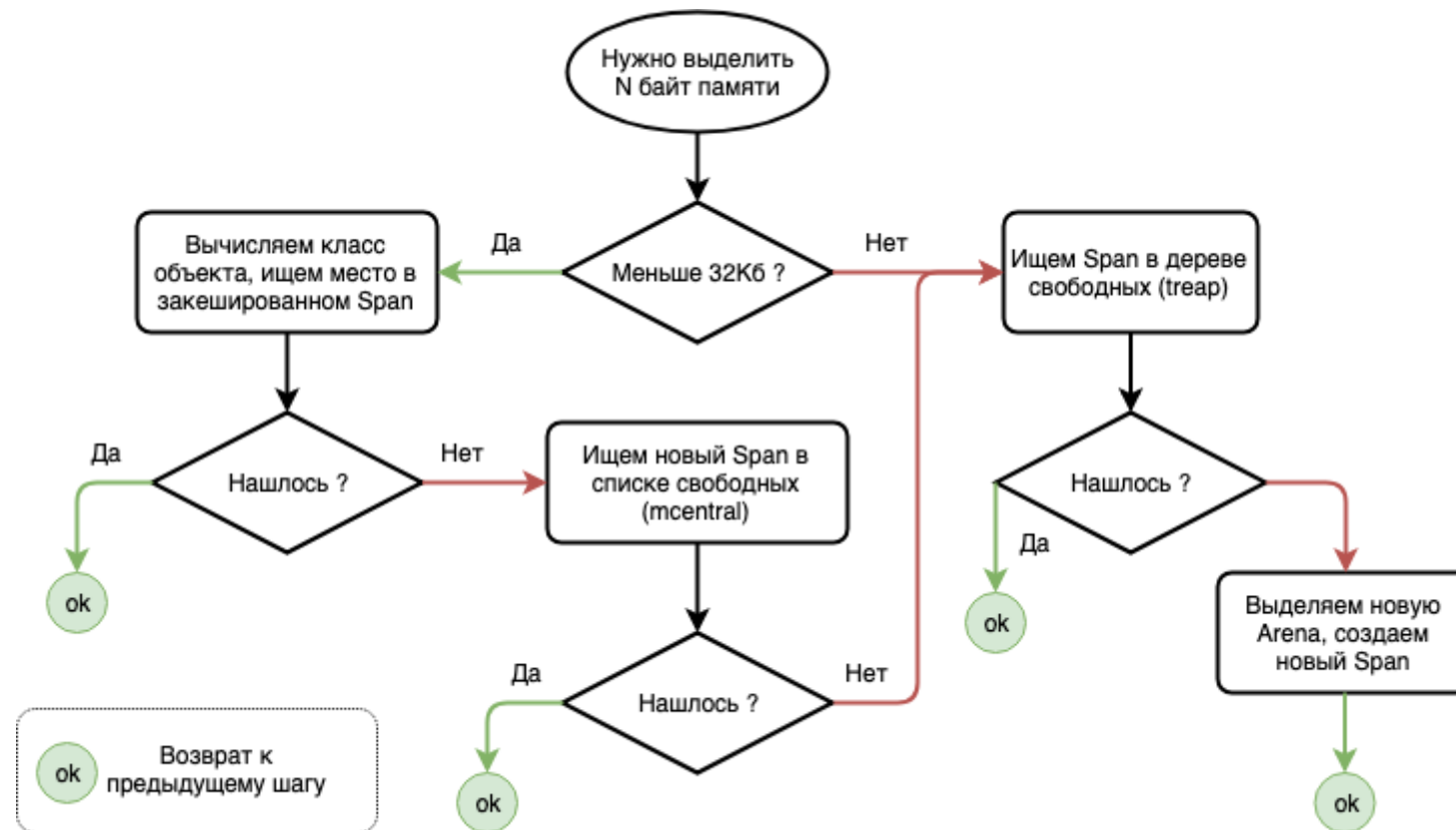
// runtime/mcentral.go
type mcentral struct {
    lock      mutex
    spanclass spanClass
    nonempty  mSpanList // список Span в которых есть свободный объект
    empty     mSpanList // список полностью занятых Span
}
```

Локальный (для каждого ядра) кеш содержит по одному Span каждого класса.

```
type mcache struct {  
    // для выделения очень мелких объектов (tiny класс)  
    tiny          uintptr  
    tinyoffset    uintptr  
    local_tinyallocs uintptr // number of tiny allocs not counted in other stats  
  
    // кеш Span-ов готовых для выделения, по одному каждого класса  
    alloc [numSpanClasses]*mspan  
  
    // кеш стэков различных размеров  
    stackcache [_NumStackOrders]stackfreelist  
    ...  
}
```

Это позволяет горутинам (в большинстве случаев) выделять выделять память без обращения к общей куче и без блокировок.





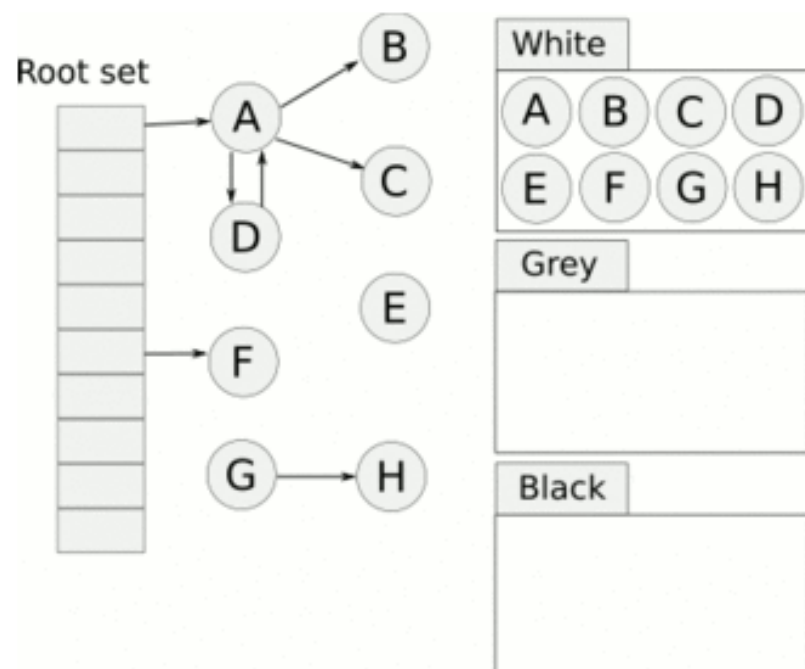
- В какой-то момент времени в занятом Span освобождается место
- Возвращаем Span в соответствующий список свободных Span-ов

```
mheap.central[cls].mcentral.nonempty
```

- Если Span полностью полностью свободен, пытаемся соединить с соседними (`coalesce`) и возвращаем в дерево свободных Span-ов `mheaf.free`

Как освобождается память внутри Span ?

В Go для сборки мусора используется алгоритм Concurrent Mark & Sweep



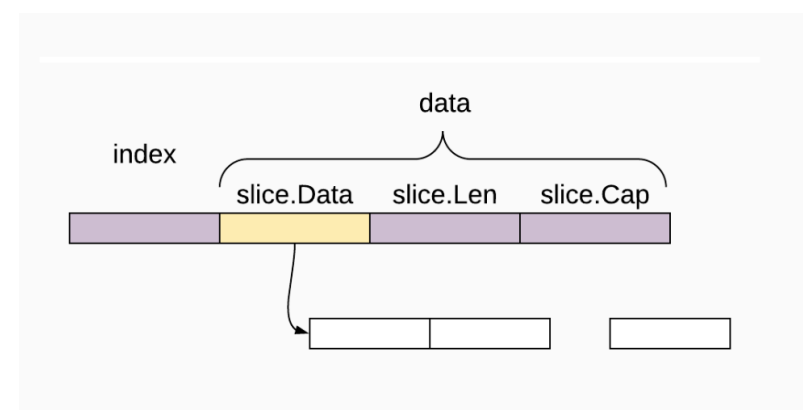
Корневые объекты в Go:

- Глобальные переменные
- Стеки выполняющихся горутин

GC работает с областями памяти и не знает про типы объектов.
Как GC может перейти "по указателям" в объектах ?

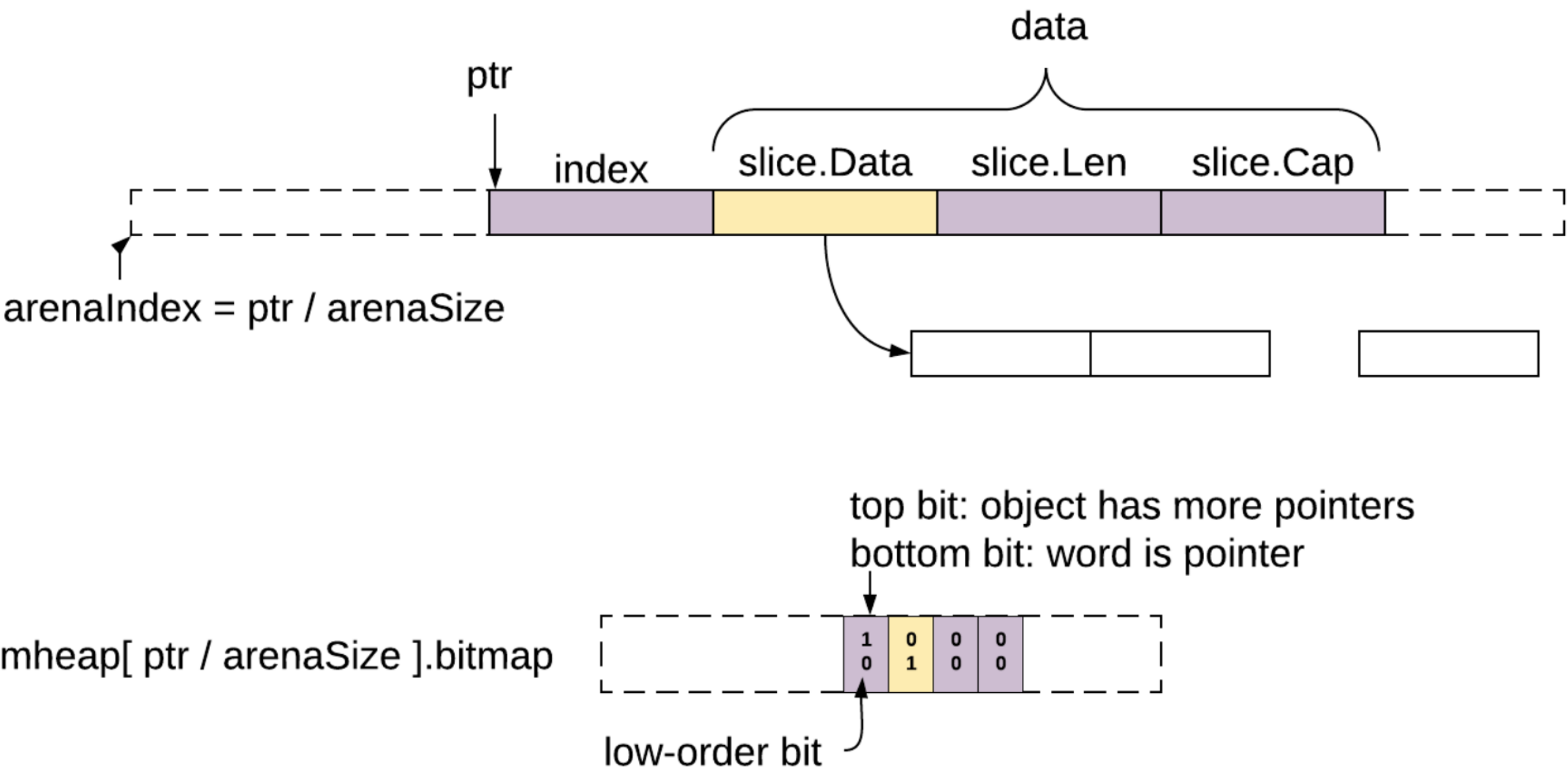
Допустим у нас есть объект типа:

```
type Row struct {  
    index int  
    data []interface{ }  
}
```



В типе данного объекта хранится информация о расположении указателей.

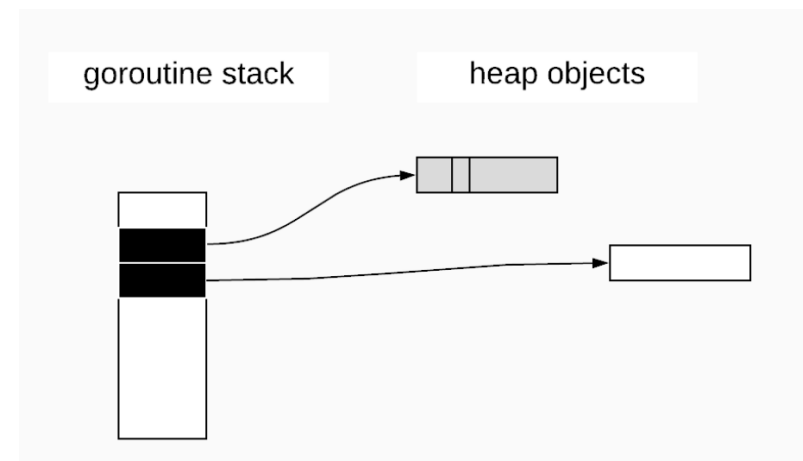
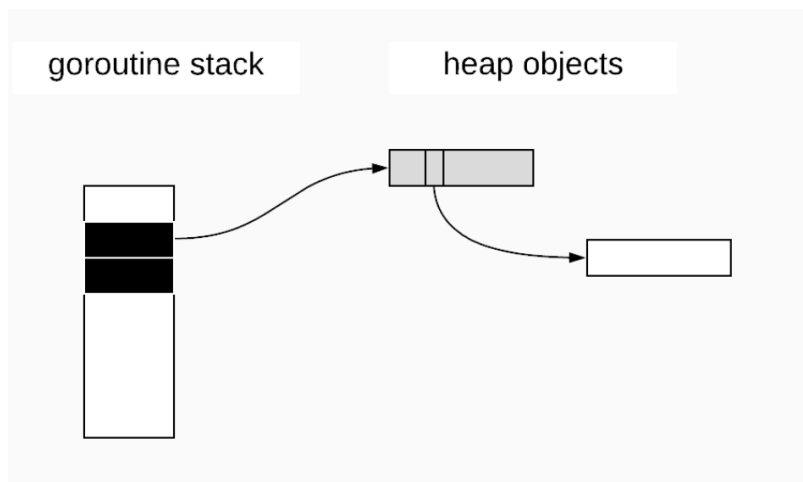
При выделении памяти под объект эта информации сохраняется в битовой карте соответствующей `heapArena`



Допустим у нас есть код вида

```
func code(jobs <-chan interface{}) {  
    // do some work  
    // gc marked the stack as black  
    // do some work  
    job := <- chan  
    // do some work  
}
```

И мы перемещаем указатель до того как GC успел его пометить

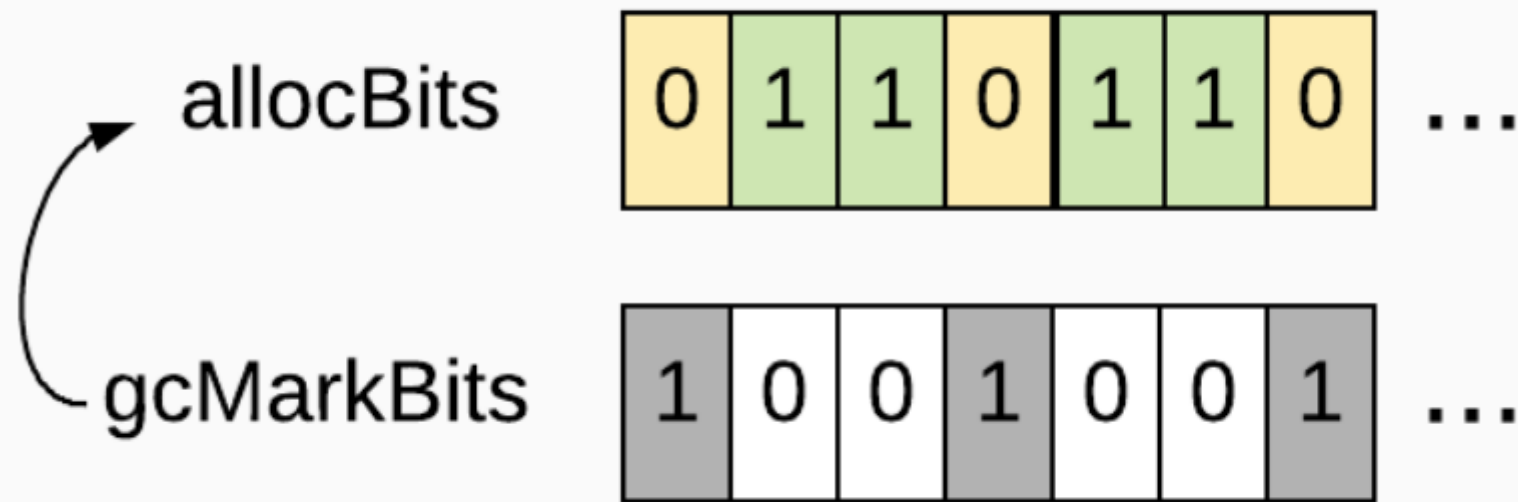


Для того что бы избежать потери объекта, компилятор преобразует присвоения указателей в специальные вызовы:

```
*ptr = val  →  if writeBarrier.enabled {  
                shade(*ptr)  
                if current stack is grey {  
                    shade(val)  
                }  
                *ptr = val  
            }
```

Здесь `shade` - отмечает объект серым и помещает в очередь GC для дальнейшего анализа. Write barriers активны только на этапе разметки объектов `_GCMark`.

После того как все объекты в Span размечены, очистка осуществляется простой заменой битовых масок.



`runtime.gcStart` - точка входа в Garbage collector.

Завершение очистки

- завершение очистки Span-ов из `mheap_.sweepSpans[1-sg/2%2]`
- запуск горутин `gcBgMarkWorker` для разметки объектов

_GCMark

- stop the world
- завершение очистки Span-ов
- инициализация очереди разметки корневыми объектами
- start the world
- ожидание завершения всех `gcBgMarkWorker`

_GCmarktermination

- stop the world
- завершение разметки Span-ов
- start the world

_GCoff

- увеличивается итерация GC `mheap_.sweepdone`
- фоновая очистка Span-ов из `mheap_.sweepSpans[1-sg/2%2]`

- периодически из потока `sysmon` , если прошло достаточно много времени с последнего запуска
- после выделения памяти, если выделен большой Span или не удалось выделить быстро
- при ручном вызове `runtime.GC()`

- <http://goog-perftools.sourceforge.net/doc/tcmalloc.html>
- <https://programmer.help/blogs/exploration-of-golang-source-code-3-realization-principle-of-gc.html>
- <https://blog.golang.org/ismmkeynote>
- !!! <https://about.sourcegraph.com/go/gophercon-2018-allocator-wrestling>
- <http://gchandbook.org>

Заполните пожалуйста опрос

<https://otus.ru/polls/4561/>



Спасибо за внимание!

