Garbage Collection

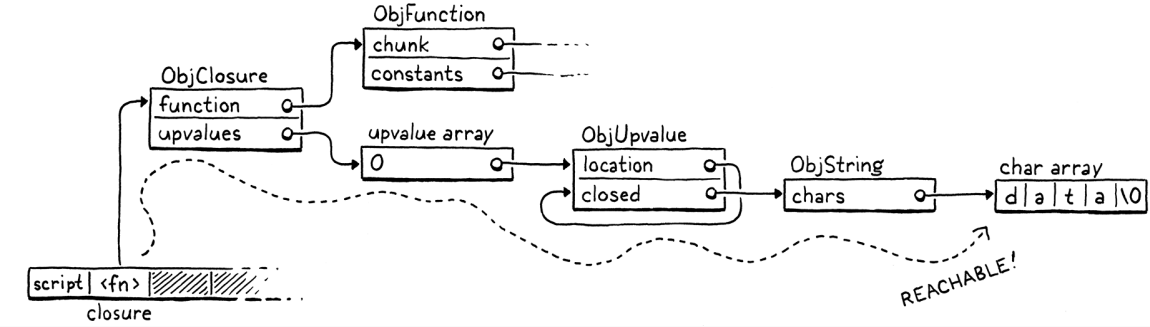
Carsten Gips (FH Bielefeld)

Ist das Code oder kann das weg?

```
x = 42
y = 'wuppie'
y = 'fluppie'
print(y)
```

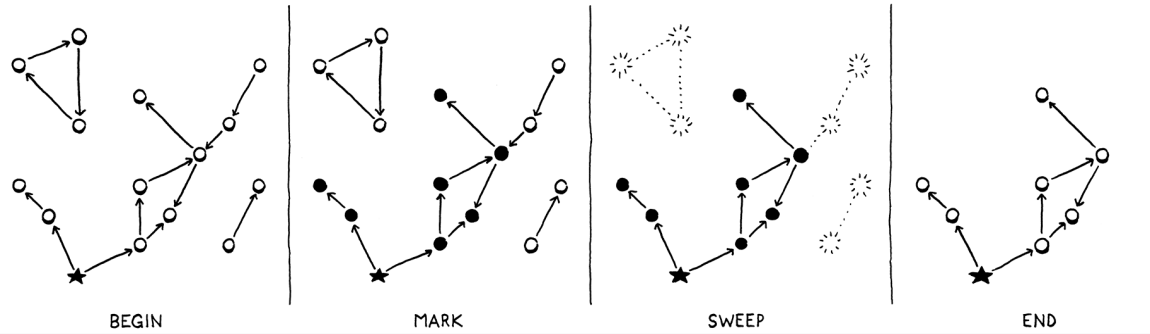
```
def foo():
    x = 'wuppie'
    def bar():
        print(x)
    return f

fn = foo()
fn()
```

Erreichbarkeit



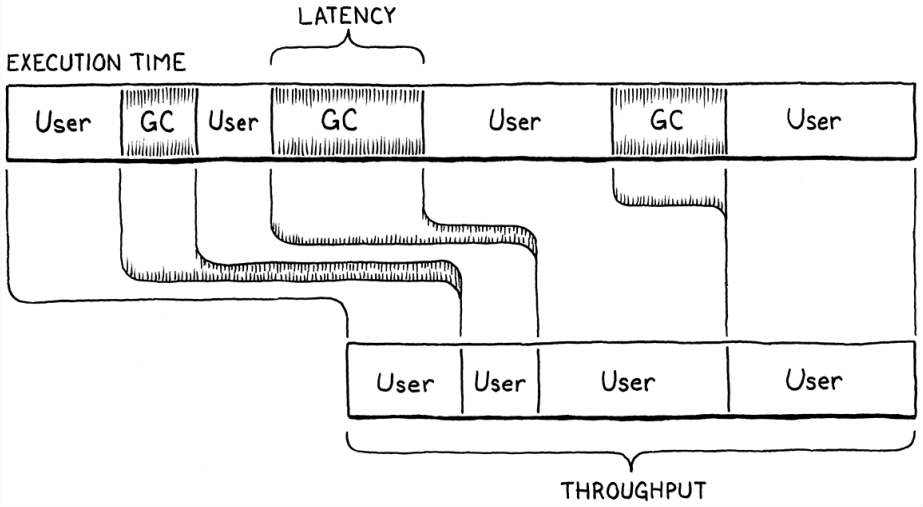
Quelle: `reachable.png` by Bob Nystrom, licensed under MIT

“Präzises GC”: Mark-Sweep Garbage Collection



Quelle: `mark-sweep.png` by Bob Nystrom, licensed under MIT

Metriken: Latenz und Durchsatz



Quelle: `latency-throughput.png` by Bob Nystrom, licensed under MIT

Heuristik: Self-adjusting Heap

- GC selten: Hohe Latenz (lange Pausen)
- GC oft: Geringer Durchsatz

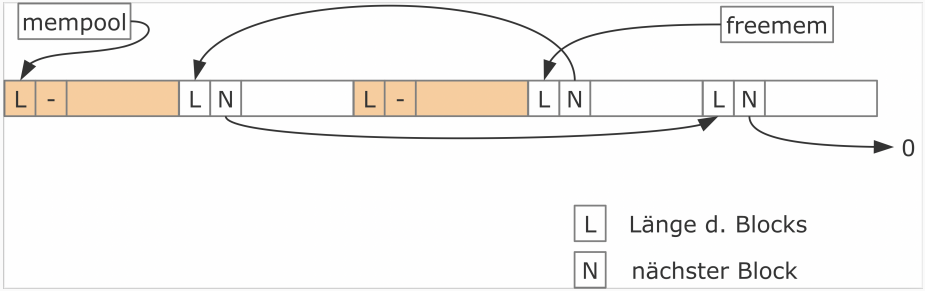
Heuristik

- Beobachte den allozierten Speicher der VM
- Wenn Grenze überschritten: GC
- Größe des verbliebenen Speichers mal Faktor $\Rightarrow$ neue Grenze

Generational GC

- Teile Heap in zwei Bereiche: "*Kinderstube*" und "*Erwachsenenbereich*"
- Neue Objekte werden in der Kinderstube angelegt
- Häufiges GC in Kinderstube
- Überlebende Objekte werden nach N Generation in den Erwachsenenbereich verschoben
- Deutlich selteneres GC im Erwachsenenbereich

“Konservatives GC”: Boehm GC



- Idee: Nutze die interne Verwaltung des Heaps zum Finden von Objekten

Reference Counting

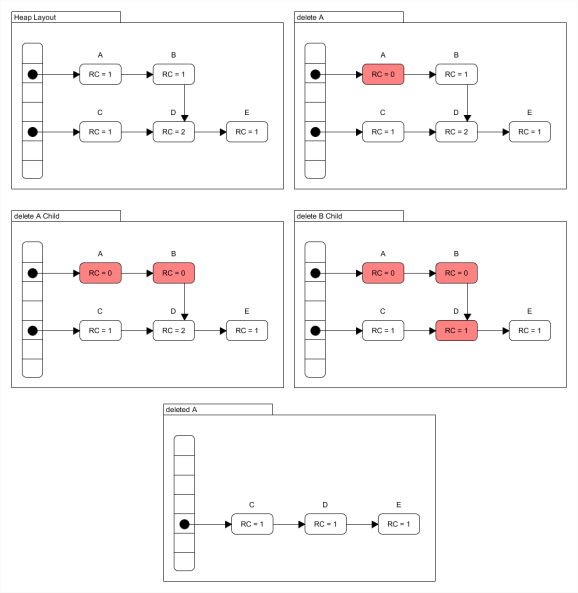
```
def new():
    obj = alloc_memory()
    obj.set_ref_counter(1)
    return obj
```

```
def delete(obj):
    obj.dec_ref_counter()
    if obj.get_ref_counter() == 0:
        for child in children(obj):
            delete(child)
        free_object(obj)
```

Reference Counting

```
def new():
    obj = alloc_memory()
    obj.set_ref_counter(1)
    return obj
```

```
def delete(obj):
    obj.dec_ref_counter()
    if obj.get_ref_counter() == 0:
        for child in children(obj):
            delete(child)
        free_object(obj)
```



Stop-and-Copy Garbage Collection

- Teile Heap in zwei Bereiche (A und B)
- Alloziere nur Speicher aus A (bis der Bereich voll ist)
- Stoppe Programmausführung und kopiere alle erreichbaren Objekte von A nach B
- Gebe gesamten Speicher in A frei
- Setze Programmausführung mit vertauschten Rollen von A und B fort

Benchmarking

Ziel

- Vergleich von verschiedenen GC-Algorithmen
- Wahl des optimalen Algorithmus für konkreten Anwendungsfall
- Overhead durch GC möglichst gering halten

Benchmarking: Setup

Setup

- "Warm up": einige Iterationen des Benchmarks ohne Messung vorlaufen lassen, um bspw. Just-in-Time Kompilierung und Initialisierung aller Laufzeitkomponenten abzuschließen
- Anpassung der Heap-Größe an den Benchmark (falls Heap zu bestimmter Rate gefüllt werden soll)
- Überprüfung und Eliminierung von externen Faktoren, die das Ergebnis beeinflussen können
  - andere Prozesse
  - dynamische Frequenzskalierung der CPU
  - Vermeidung von Lese- und Schreibzugriffen, sofern diese nicht durch Test-Infrastruktur vorgegeben sind

Benchmarking: Metriken und Setup

Relevante Metriken für Tests

- Durchsatz (welchen Anteil hat GC an der Laufzeit?)
- Latenz (welche Verzögerung erzeugt GC?)

Szenarien

(stark vom getesteten GC-Algorithmus abhängig)

- konstant gefüllter Heap/leerer Heap
- Erzeugen und Löschen von stark referenzierten Objekten/temporären Objekten
- Für Generational GC: Testen von Overhead von Schreib- und Lesebarrieren durch Objektreferenzierung

Wrap-Up

- Pflege verkette Liste aller Objekte in der VM
- Mark-Sweep-GC:
  1. Markiere alle Wurzeln (“grau”, aus Stack und Hashtabelle)
  2. Traversiere ausgehend von den Wurzeln alle Objekte und markiere sie
  3. Gehe die verkettete Liste aller Objekte durch und entferne alle nicht markierten
- Problem: Latenz und Durchsatz $=>$ Idee des “self-adjusting” Heaps
- Varianten/Alternativen: Generational GC, Boehm-GC, Reference Counting, Stop-and-Copy GC, ...

LICENSE

Exceptions

- Image `reachable.png` (https://github.com/munificent/craftinginterpreters/blob/master/site/image/garbage-collection/reachable.png), by Bob Nystrom, licensed under MIT
- Image `mark-sweep.png` (https://github.com/munificent/craftinginterpreters/blob/master/site/image/garbage-collection/mark-sweep.png), by Bob Nystrom, licensed under MIT
- Image `latency-throughput.png` (https://github.com/munificent/craftinginterpreters/blob/master/site/image/garbage-collection/latency-throughput.png), by Bob Nystrom, licensed under MIT