.NET [Core] Memory Internals

@RobertHaken | Microsoft MVP: Development | HAVIT, s.r.o.

Architektura paměti aplikací

instrukční paměť

zásobník (stack)

halda (heap)

- Managed Heap
- Native Heap

Stack

Zásobník

Zásobník (Stack)

per thread

fixed size (konfigurovatelný, default 1 MB)

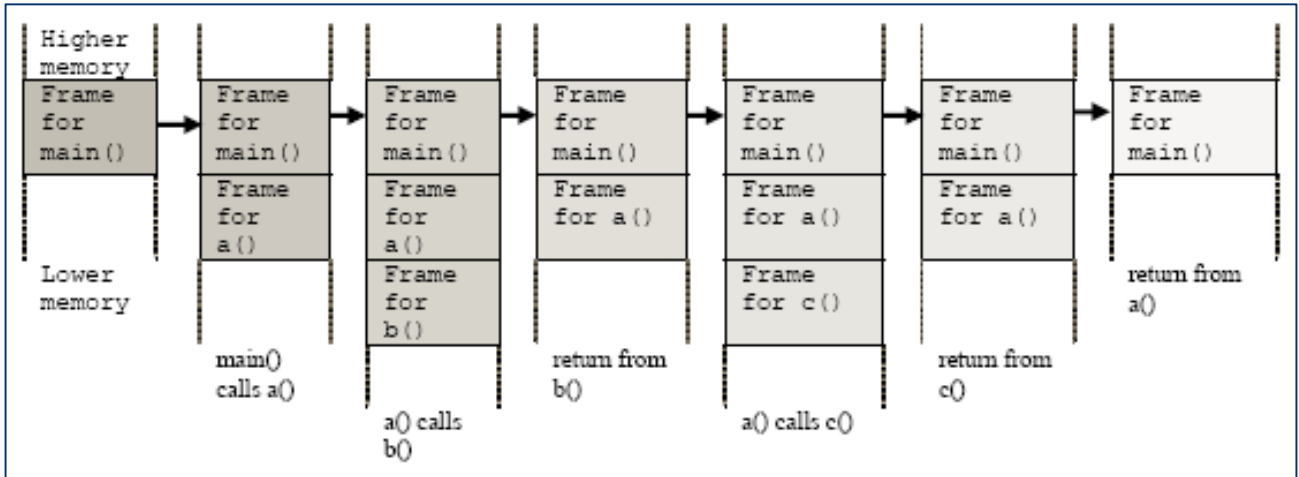
LIFO – Last In, First Out

Activation Records (Stack Frames)

- parametry (argumenty)
- návratová adresa, registry CPU, ...
- lokální proměnné

```
void main()
{
    a();
}

void a()
{
    b();
    c();
}
```



Stack Frames, Hodnotové/datové typy (01-StackHeap)

DEMO

Datové typy

Hodnotové

- in-place hodnota
- primitivní typy
- `Int16/32/64`, `Byte`, `Boolean`, `Double`, ...
- char, Decimal
- **`struct`** - `DateTime`, `Nullable<T>`, vlastní, ...

Referenční

- „hodnotou“ je odkaz na instanci (tj. adresa)
- `class` (vč. `Object`)
- pole – `Array`, `type[]`
- `string`
- na jednu instanci může ukazovat více referencí

Záludnosti

`string` je referenční datový typ

- ale je immutable!
- změna => nová instance
- instance se sdílí, dokud se nemění

`Array` je v .NET referenční datový typ

- ...a taky se tak chová!
- paměť je alokována při vzniku instance, ne při deklaraci proměnné

Operace přiřazení (=)

vždy zkopírování paměťové buňky

- hodnotový typ → zkopírování vlastní hodnoty
- referenční typ → zkopírování odkazu na instanci

Předávání parametrů do metod

předání parametru „hodnotou“ (default)

→ zkopírování paměťové buňky

předání parametru „referencí“ (`ref`, `out`)

→ odkaz na zdrojovou paměťovou buňku (stack)

návratová hodnota metody

→ zkopírování paměťové buňky (~ přiřazení)

Předávání parametrů do metod
(03-CallingMethods, x86)

DEMO

Heap

Halda

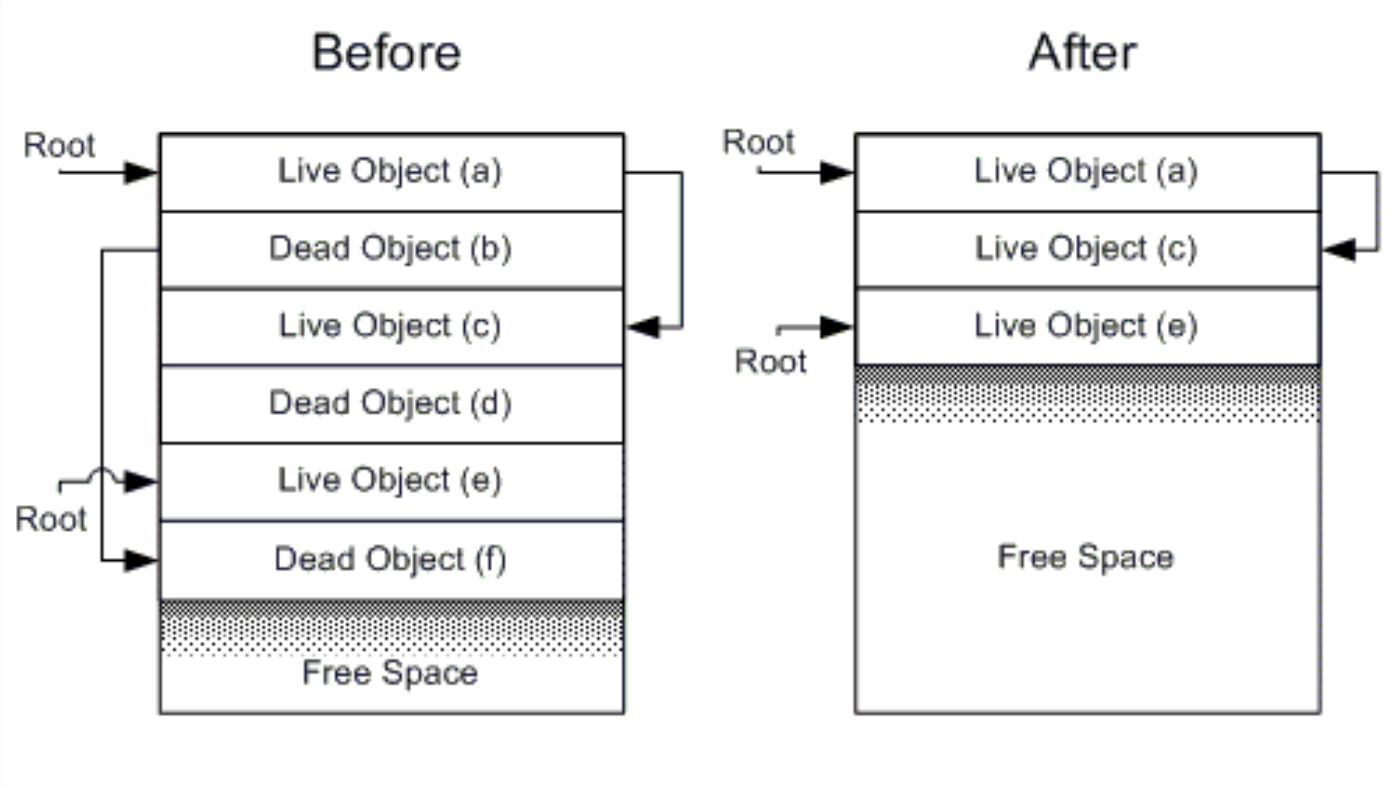
Halda (Managed Heap)

Garbage Collector ~ 1959 LISP

Garbage Collection

- překročení thresholdu generace při alokaci
- system-wide memory pressure
- GC.Collect() API (never-ever!)

sesypání, update referencí


Before
Root
Live Object (a)
Dead Object (b)
Live Object (c)
Dead Object (d)
Root
Live Object (e)
Dead Object (f)
Free Space
After
Root
Live Object (a)
Live Object (c)
Root
Live Object (e)
Free Space

Garbage Collection (02-SimpleGarbageCollection, x86)

DEMO

Roots

kořeny grafu objektů pro zjištění dosažitelnosti

- zásobník (lokální proměnné, parametry metod)
- GCHandles
  - globální statické fieldy
  - pinned objects
  - ...
- F-reachable queue

WeakReference

GC Roots (03-GCRoots, x86)

DEMO

Generations

výkonová optimalizace

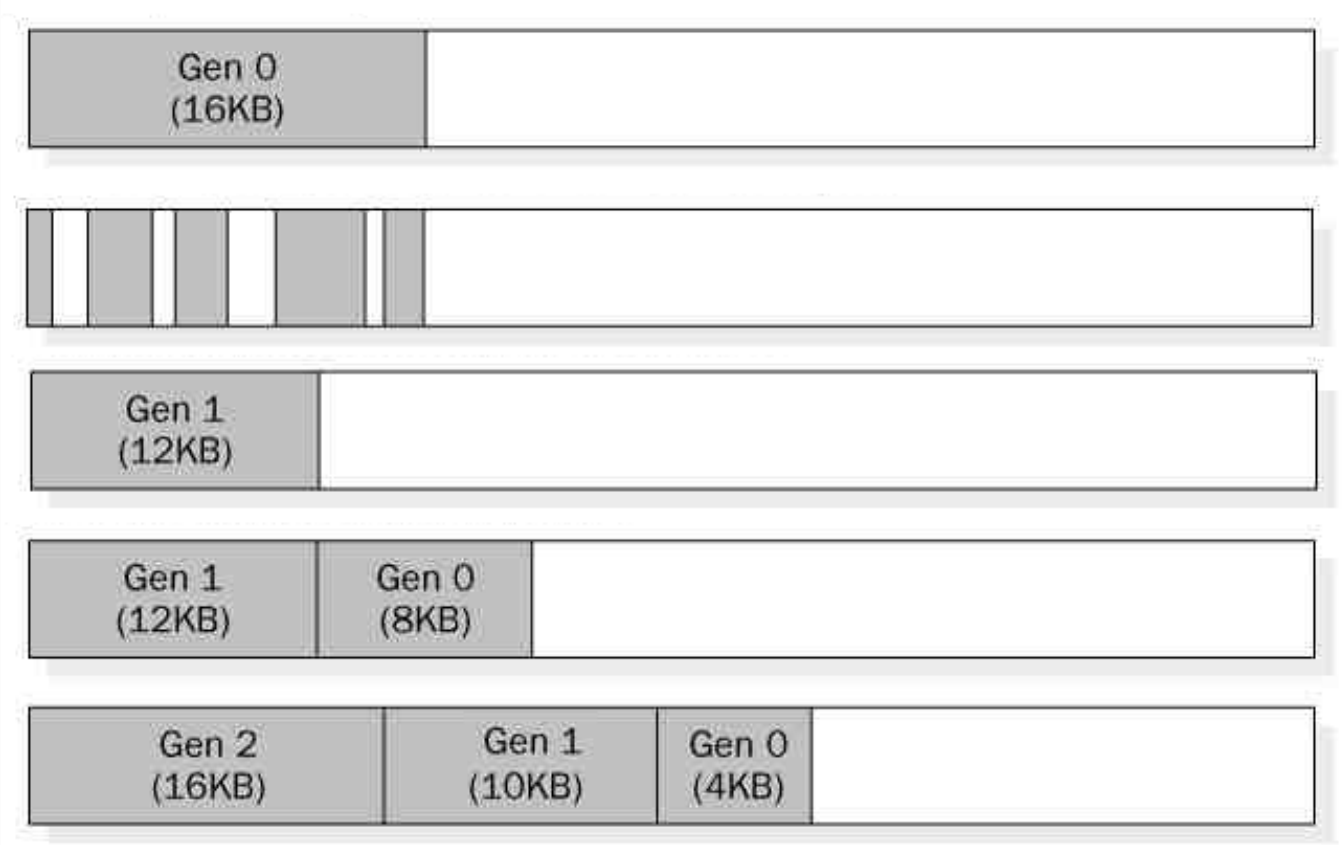
soustředí se objekty s krátkou životností

Gen 0 – nové, Gen 1 & 2 – přežily 1/více-krát

Gen 0 + 1 = ephemeral segment („fixed“ size)

Gen 2 = variable size

Generations



Generations (04-Generations, x86)

DEMO

Finalization

explicitní úklid unmanaged zdrojů

Finalize() ~ C# destructor

Finalization Queue => vždy Gen 1

F-reachable Queue

Finalization Thread

IDisposable, ResourceWrapper pattern

Unmanaged Resources

DEMO

Large Object Heap

výkonová optimalizace

objekty větší než 85 000 bytů (default)

součást Gen 2 collection

nesetřásá se (NET 4.5.1+ lze jednorázově)

Free List

Verze Garbage Collectoru

Workstation (lag) vs. server (throughput)

configuration/runtime/gcServer enabled="true|false"

Background GC (NET4 wks only, NET4.5 svr)

configuration/runtime/gcConcurrent enabled="true|false"

Objekt >2GB (x64, NET4.5)

LOH Free Lists Optimization (NET4.5)

LOH Heap Balancing (NET4.5)

LOH Compaction, explicit (NET4.5.1)

WinDbg Reference

Debugger Extensions pro .NET

```
.load C:\path\to\extension.dll
```

SOS.dll – Son of Strike, součást .NET

```
.loadby sos mscorwks
```
(.NET < 4)

```
.loadby sos clr
```
(.NET >= 4)

```
.loadby sos coreclr
```
(.NET Core)

PSSCOR2/PSSCOR4 – širší SOS (web)

SOSEX, NetEx – 3rd party

```
!help [<command>]
```

Záludnosti použití Debuggeru

Platform - x86 vs. x64

Symbols

- `.symfix` (MSFT Symbols Server), `.sympath`, `.sympath+`
- `.reload`

.NET Data Access Layer (mscordacwks.dll)

- `.cordll -ve -u -l`
- stejná verze, jako na laděném stroji (dtto SOS)

Režimy práce s Debuggerem

Open Executable... (g pro Run)

Attach to a Process...

Open Crash Dump...

- Task Manager / Create Dump File (!!32-bit vs. x64 stroj)
- DebugDiag / ADPLUS
- SysInternals PROCDUMP.EXE
- Windows Error Reporting
- Windows Crash Dump
- WIN32 API (extern v .NET)

DebugDiag

- „user“-friendly UI
- připravené analýzy
- sběr dat/dumpů
- pod pokličkou debugger services
- voláno např. i z Azure Web Apps KUDU

Stack Examination

```
!ClrStack [-i] [-a] [-l] [-p]
!DumpStack [-EE]
!EEStack [-EE] (all threads)
!DumpStackObjects (typy)
```

Heap Examination

```
!DumpHeap [-stat] [-type <name>]
          [-mt <MTaddr>] [-live|dead]
!HeapStat [-inclUnrooted]
!GCRoot <ObjAddr>           !GCHandles
!EEHeap –gc
!FinalizationQueue [-allReady]
!FindAppDomain <ObjAddr>
```

Object Inspection

```
!DumpObject <ObjAddr>
!DumpArray <ObjAddr>
!DumpVC <MTaddr> <ObjAddr>
dd <addr>
dq <addr>
!ObjSize <ObjAddr>
```

Error Diagnostics

```
!PrintException [ObjAddr] [-nested]
!DumpAllExceptions                    (PSSCOR4)
!wdae                                 (NETEXT)
!wpe                                  (NETEXT)
!VerifyHeap
!VerifyObj <ObjAddr>
!analyze -v                           (native)
```

Threads

```
!Threads                    !ThreadState <state>
~123s
!ThreadPool
```

REFERENCES

Demos - https://github.com/hakenr/CSharp8Demo

Blog – HAVIT Knowledge Base- http://knowledge-base.havit.cz/ + .eu

Twitter - @RobertHaken

YouTube - https://www.youtube.com/user/HAVITcz

Děkuji za pozornost

Pěkný den