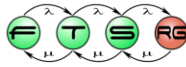


Memóriakezelés a Windowsban

Micskei Zoltán

<http://www.mit.bme.hu/~micskeiz>



Utolsó módosítás: 2012. 04. 10.

Az előadás magáncélra szabadon felhasználható. Köz- és felsőoktatásban felhasználható, csak előtte kérlek írd meg emailt nekem.

Copyright Notice

- These materials are part of the *Windows Operating System Internals Curriculum Development Kit*, developed by David A. Solomon and Mark E. Russinovich with Andreas Polze
- Microsoft has licensed these materials from David Solomon Expert Seminars, Inc. for distribution to academic organizations solely for use in academic environments (and not for commercial use)
- <http://www.academicresourcecenter.net/curriculum/pfv.aspx?ID=6191>
- © 2000-2005 David A. Solomon and Mark Russinovich



A fóliák részben a Windows Operating System Internals Curriculum Development Kit alapján készültek.

Rejtvény

Mennyi szabad memória
van most a gépem?



Nem is olyan triviális megválaszolni!

- Feladatkezelő számait óvatosan kell kezelni!
- Mit értek szabad alatt?
- Ha azt írja, hogy 10 MB van szabadon, akkor miért tudok elindítani egy olyan programot, ami 15 MB memóriát foglal le?
- Cache-nek használt memória hova számít?
- Ha a program, amit el akarok indítani, sok megosztott memóriát használ, akkor lehet, hogy sokkal kevesebbet foglalna most, mint akkor, ha csak egyedül fut.

A Windows memóriakezelésének alapelvei

- Virtuális tárkezelés
 - Lapszervezés (4KB / 2MB méretű lapok, 2/3/4 szintű)
 - Lapozófájl használata
- Hatékonyság
 - Igény szerinti lapozás + clustering + prefetch
 - Memória megosztás, copy-on-write
 - Fájl cachelés memóriában (memory mapped file)
- Biztonság
 - Minden folyamatnak külön címtartomány
 - Elérés leírókon keresztül (hozzáférési token)



Laptáblák:

- x86: 2 szintű laptáblák, x86 + PAE: 3 szintű, x64: 4 szintű

Lapozás:

- Kezdetben igény szerinti lapozás volt
- Clustering: ezt kiegészítették azzal, hogy a kért lap környékén lévő pár lapot is behozta (lokalitás elv)
- Prefetch: XP óta van egy prefetcher, ami rögzíti, hogy a programok induláskor miket szoktak igényelni, és azokat előre behozza (részletesebben lásd az előadás második felében)
- Vista óta további prefetch jellegű szolgáltatások (SuperFetch, ReadyBoost...)

Configuring the Memory Manager

Like most of Windows, the memory manager attempts to automatically provide optimal system performance for varying workloads on systems of varying sizes and types. While there are a limited number of registry values you can add and/or modify under the key HKLM\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\Session Manager\Memory Management to override some of these default performance calculations, in general, the memory manager's default computations will be sufficient for the majority of workloads.

Maximális fizikai memória (GB)

	x86	x64 (64-bit)
Windows 7 Basic	4	8
Windows 7 Prof	4	192
Server 2008 Standard	4	32
Server 2008 Enterprise	64	2048

32 biten max 4 GB címezhető meg (gyakorlati határ kevesebb!)

64 bit: lényegesen nagyobb memória

Physical Address Extension (PAE)
36 címbit: CPU + OS támogatás

- 32 bites rendszereken (ahol nincs PAE), 4 GB fizikai memória esetén is néha kevesebbet lát az OS, mert a memóriatartomány felső részére I/O eszközöket szoktak berakni (pl. ha van egy nagy memóriájú videokártyánk, akkor lehet, hogy csak 3,5 GB-ot lát az OS).

- *Physical Address Extension (PAE)*: bizonyos 32 bites processzorokban meglévő támogatás, ilyenkor 32 helyett 36 címbit van. Ha ezt az operációs rendszer ki tudja használni, akkor képes 64 GB fizikai memóriát is kezelni. Figyelem: a folyamatok címtére továbbra is 32 bites marad, csak az OS tud több fizikai memóriát kiosztani a különböző folyamatoknak.

- Kliens Windowsok nem használják a gépben lévő PAE támogatást, mert az a tapasztalat, hogy a kliensekben lévő eszközök meghajtói nem kezelik le rendesen a 4 GB-nál több fizikai memóriát.

- Lásd még: *Physical Address Extension*, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa366796%28v=VS.85%29.aspx>

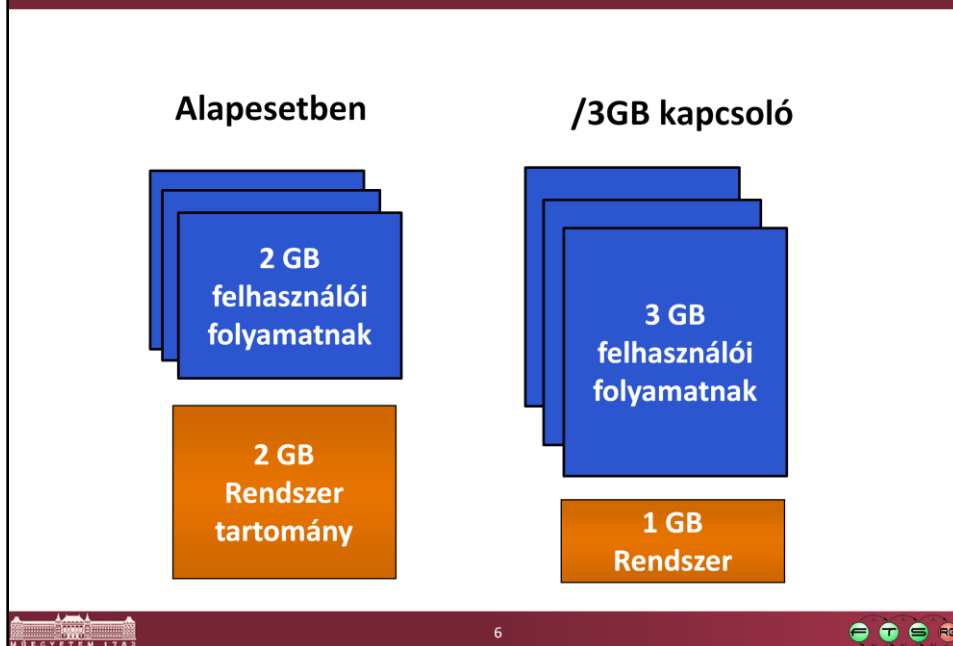
Érdekességek:

- *Memory Limits for Windows Releases*, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa366778%28v=VS.85%29.aspx>

- *Pushing the Limits of Windows: Physical Memory*,

<http://blogs.technet.com/markrussinovich/archive/2008/07/21/3092070.aspx>

32-bites x86 címtartomány



- Alapesetben 32 bites rendszeren egy felhasználói folyamat maximum 2 GB-os címtartományt használhat fel a saját kódjának és adatának tárolására. A címtartomány másik részén mindig a rendszer memóriaterület látszik.
- Ha a boot.ini-ben bekapcsoljuk a /3GB kapcsolót, akkor az arány 3 GB – 1 GB-ra változik (ez egy kényszer megoldás volt, akkor került bele, amikor már kevés volt a 2 GB egy folyamatnak, pl. egy nagy adatbázis-kezelőnek, de még nem tértek át a 64 bites OS-re)
 - Vista óta ezt 4GT-nek hívják, lásd: *4-Gigabyte Tuning*, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb613473%28VS.85%29.aspx>

64-bites címtartomány

- 64-bit = 17,179,869,184 GB
 - x64-en jelenleg 48 bites cím támogatott = 262,144 GB

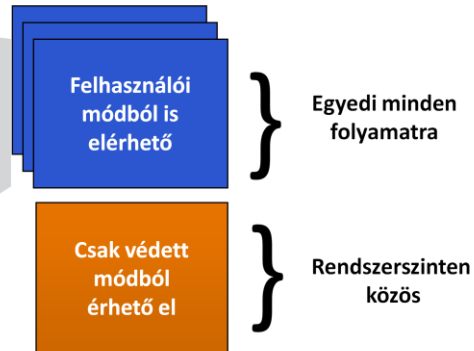


Látványosan nagyobb a címtér 64 bites esetén, ez a fő motivációja a 32 bitről áttérésnek.

Virtual Address Space (V.A.S.)

Felhasználó címtartomány:

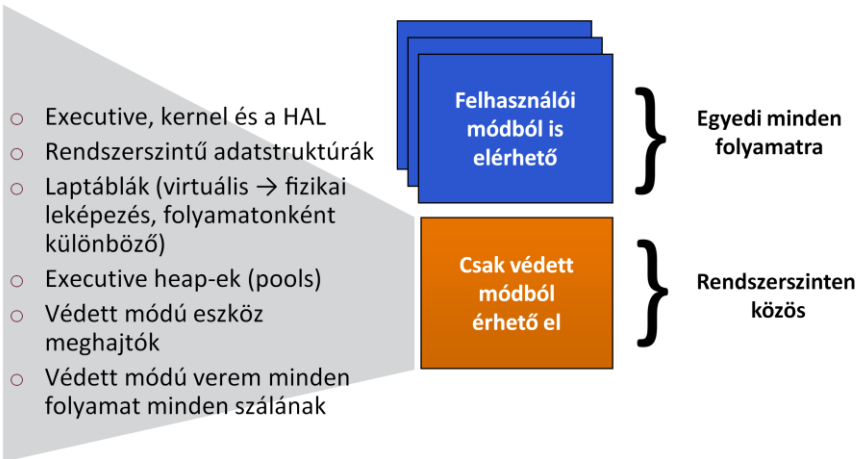
- A futó alkalmazás (.EXE és .DLL-ek)
- Felhasználói módú verem minden szálnak
- Alkalmazás adatstruktúrái



A felhasználói módú virtuális címtartomány minden folyamatra különböző, minden folyamatnak saját címtere van. Másik folyamat címtérét csak úgy érheti el, ha előbb a Windows biztonsági rendszere leellenőrzi, hogy van-e megfelelő jogosultsága rá.

Virtual Address Space (V.A.S.)

Rendszer tartomány:



No user process can touch kernel memory

- Page protection in process page tables prevent this
- OS pages only accessible from “kernel mode”
- Threads change from user to kernel mode and back (via a secure interface) to execute kernel code, this does not affect scheduling (not a context switch)

Folyamatok memóriafoglalása

Két lépésben:

- **Reserve:** virtuális címtartomány lefoglalása
- **Commit:** virtuális memória lefoglalása

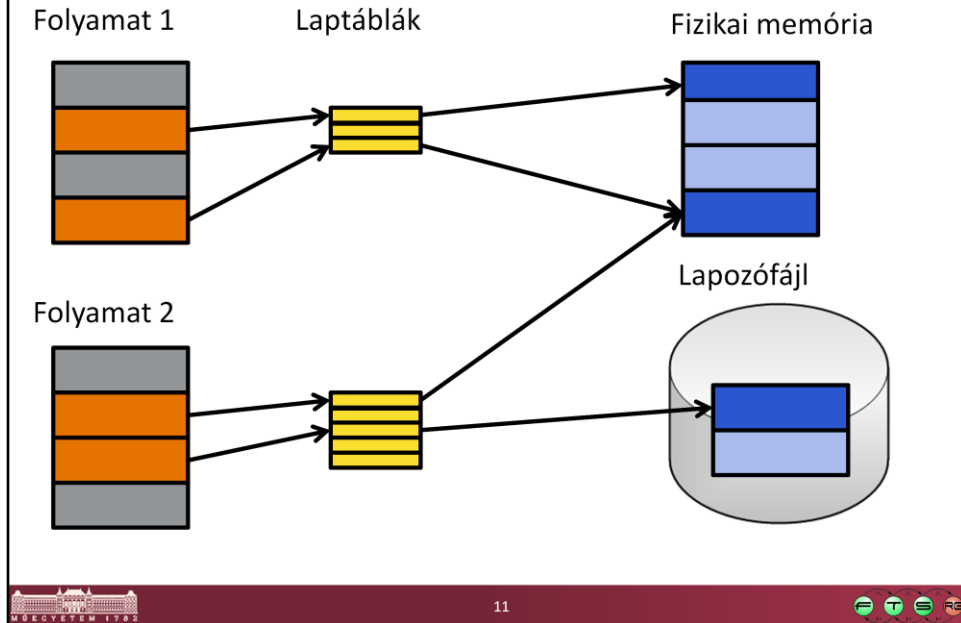
Előny:

- Csak annyit foglal, amennyi ténylegesen kell a folyamatnak



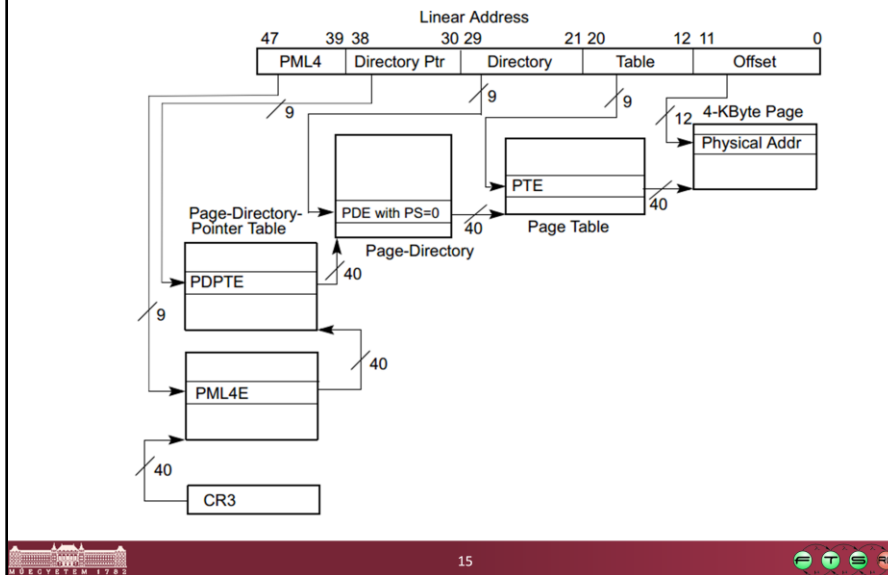
- A committed memóriának kell helyet fenn tartani, a reserve még csak szándék jelzése.
- A foglalás típusát a VirtualAlloc() memóriafoglaló függvény *dwAllocationType* paraméterében lehet jelezni (MEM_COMMIT vagy MEM_RESERVE).

Logikai és fizikai címek közötti leképezés (ism.)



Az ábra csak szemléltető jellegű, a valóság bonyolultabb ennél. Pl. a laptáblákat is tárolni kell valahol, azok is részei a folyamat virtuális címterének; a lapozófájlban lévő lapokra nem direktbe mutat rá a laptábla...

x64 címfordítás



Forrás: Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developers Manual,
<http://www.intel.com/products/processor/manuals/>

- Ha 4 KByte-os fizikai kereteket használunk, akkor 4 szintű a leképezés
- Jelenleg az Intel processzorok maximum 52 bitet használnak a fizikai címekben (MAXPHYADDR), és 48 bitet a logikai címekben (linear address az Intel szóhasználatában).
- PTE: page table entry, PDE: page-directory entry, PDPTE: page-directory-pointer table entry, PML4E: Page Map Level 4 entry

x64: PTE szerkezete

XD	Ignored	Rsvd.	Address of 4KB page frame										Ign.	P	G	A	D	A	P	P	U	R	1	PTE: 4KB page
	Ignored											Q	PTE: not present											

- 64 bites, 40 bit a lap címének
- Flagek:
 - P – present, R/W – read/write, U/S – user/supervisor, A – accessed, D – dirty, XD – execute-disable...



Forrás: Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developers Manual,
<http://www.intel.com/products/processor/manuals/>

DEMO Címfordítás megfigyelése

- WinDbg, kernel debugging
 - folyamat kikeresése
 - BaseDir címének kikeresése
 - !vtop: címfordítás
 - !pte: laptábla elemeinek megnézése



17



Local kernel debuggerben

```
!process 0 0
```

keressük ki a windbg.exe-t

```
!process <process address>
```

egyik szál start address mezőjét kikeresni

```
!vtop 0 <start address>
```

hibát dob, mert rossz folyamat kontextusában próbáljuk meg a címfordítást

```
.process /p <process address>
```

```
!vtop 0 <start address>
```

így már sikeres

```
db <virtual address>
```

```
!db <physical address>
```

elvileg ugyanazt kell látni mindkét helyen

```
!pfn <pfn from physical address>
```

Részletesebb leírás:

- *Virtuális - fizikai címfordítás Windows alatt x64-en,*

<http://micskeiz.wordpress.com/2009/05/09/virtualis-fizikai-cimforditas-windows-alatt-x64-en/>

Vagy itt:

-*Understanding !PTE, Part 1: Let's get physical,*
<http://blogs.msdn.com/ntdebugging/archive/2010/02/05/understanding-pte-part-1-let-s-get-physical.aspx>

-*Understanding !PTE, Part2: Flags and Large Pages,*
<http://blogs.msdn.com/ntdebugging/archive/2010/04/14/understanding-pte-part2-flags-and-large-pages.aspx>

Munkakészlet (Working Set)

- **Working Set:**
 - Egy folyamathoz tartozó fizikai memóriában lévő lapok
 - Ezeket éri el laphiba nélkül

- **Working set limit:**
 - Ennyi fizikai memóriát birtokolhat egyszerre
 - Ha eléri, lapcsere kell
 - NT 4.0: módosított FIFO algoritmus
 - Windows 2000: Least Recently Used (UP rendszereknél)
 - Ha a szabad memória lecsökken: *trimming*



Working set: Implemented as array of working set list entries (WSLE)

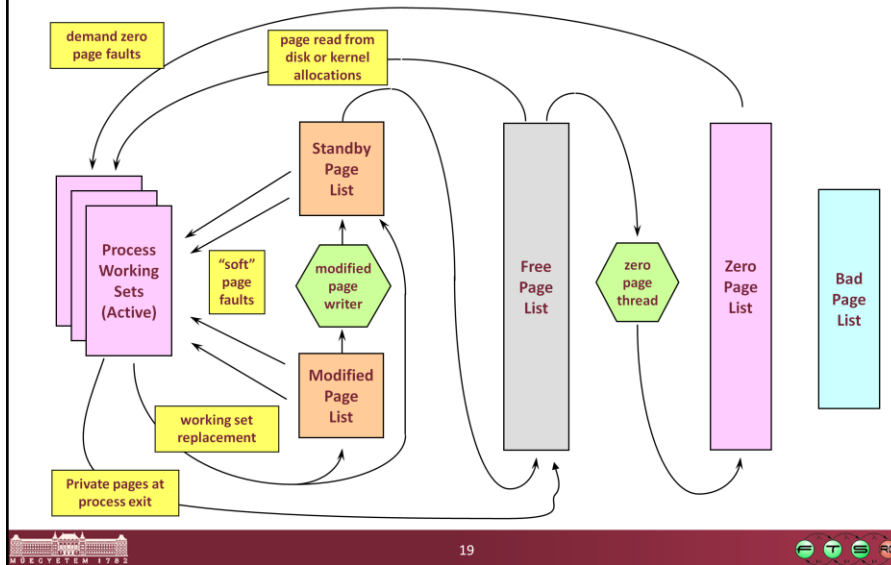
Soft vs. Hard laphiba:

Soft page fault: memóriában volt még a lap

Hard page fault: lemeztől kell beolvasni

Trimming: egy rendszer szál megvizsgálja a folyamatokat, és akinek sok fizikai memórialapja van vagy régóta nem használta őket, azoktól kezd elvenni párat. Ezt addig folytatja, amíg „elég” szabad memória nem lesz a rendszerben.

Fizikai memórialapok életciklusa



Status Description

Active/valid: Page is part of working set (sys/proc), valid PTE points to it

Transition: Page not owned by a working set, not on any paging list, I/O is in progress on this page

Standby: Page belonged to a working set but was removed; not modified

Modified: Removed from working set, modified, not yet written to disk

Free: Page is free but has dirty data in it – cannot be given to user process – C2 security requirement

Zeroed: Page is free and has been initialized by zero page thread

Bad: Page has generated parity or other hardware errors

Lapozófájl (page file)

- Mi kerül bele?
 - Csak a *módosított* adat, kód nem
- Mikor kerül bele?
 - Ha van szabad memória, akkor is lehet
 - Folyamatok nem foglalhatnak bármennyi memóriát
 - Tartalék az új/többi folyamatnak
- Meghajtónként egy darab
 - Ajánlott nem a rendszerlemezre rakni
 - De maradjon egy kicsi ott is a memory dumpnak
- Ajánlott méret
 - 1 vagy 1,5-szer a fizikai memória (?), Fix méret (?)

Lásd még: *How to configure paging files for optimization and recovery in Windows XP* (<http://support.microsoft.com/kb/314482/en-us>)

DEMO Fizikai memória, lapozófájl

- Process Explorer / System information
 - Paging Lists
 - Page Fault Delta

- Lapozófájl méretének állítása
 - GUI
 - regedit

- Perfmon: Lapozófájl kihasználtság (%)



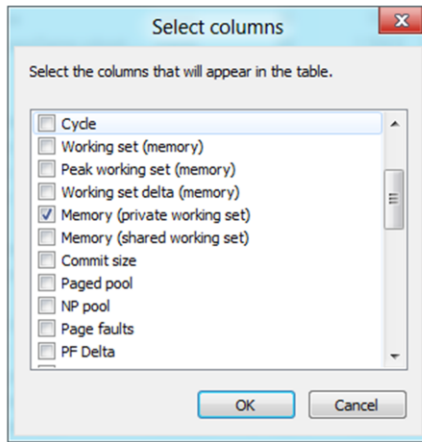
Lapozófájl állítása: GUI: System Properties / Advanced / Performance, Settings / Advanced / Virtual Memory, Settings
Registry: HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\Session Manager\Memory Management

Memória használat

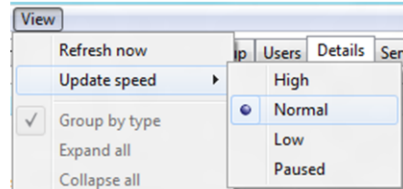
Egyszerűnek tűnő kérdés:
Mi mennyi memóriát foglal a gépen?

Folyamat memória használat - 0

■ Feladatkezelő oszlopai



■ Frissítés gyakorisága



Folyamat memória használat - 1

Name	Working set (memory)	Memory (private working set)	Commit size	PF Delta
conhost.exe	580 K	148 K	700 K	0
conhost.exe	752 K	156 K	712 K	0
ConsoleGuessGa...	4 740 K	1 496 K	13 832 K	0
csrss.exe	2 136 K	1 096 K	1 916 K	0
csrss.exe	16 184 K	956 K	1 952 K	0
dasHost.exe	7 276 K	2 260 K	2 800 K	0
devenv.exe	116 356 K	68 576 K	223 688 K	16

Fizikai memória használat = munkakészlet (working set)

1

- megosztott lapok is

2

- megosztott lapok nélkül

Privát, lefoglalt virtuális memória (committed)

3

- megosztott lapok nélkül
- ez kerül bele a lapozófájlba

A megosztott lapok beleszámolása illetve nem számolása miatt állhat elő az, hogy egyes folyamatoknál:

- a virtuális memória a nagyobb (okai lehetnek: kevesebb megosztott memória használata; memóriaterülete kikerült a lapozófájlba;)
- a munkakészlet a nagyobb (pl. sok megosztott dll-t használata)

• Ha összeadjuk a Mem usage oszlop tartalmát, az nem a folyamatok által használt tényleges fizikai memória lesz, mert az osztott lapokat többször számoltuk, és ebben nincs benne a kernel memória.

Folyamat memória használat - 2

- Process Explorer:
 - Folyamat részletes adatai
- Private Bytes
- Working Set
 - Ebből mennyi a megosztott

The screenshot shows the 'procexp.exe:2968 Properties' dialog box with the 'Performance' tab selected. The dialog is divided into several sections:

- CPU:**
 - Priority: 13
 - Kernel Time: 0:00:15.250
 - User Time: 0:00:40.843
 - Total Time: 0:00:56.093
 - Context: 2 015
- Virtual Memory:**
 - Private Bytes: 20 224 K
 - Peak Private Bytes: 22 204 K
 - Virtual Size: 96 864 K
 - Page Faults: 344 258
 - Page Fault Delta: 148
- Physical Memory:**
 - Working Set: 17 920 K
 - WS Private: 9 764 K
 - WS Shareable: 8 188 K
 - WS Shared: 6 460 K
 - Peak Working Set: 20 500 K
- I/O:**
 - Reads: 452
 - Read Delta: 0
 - Read Bytes Delta: 0
 - Writes: 58
 - Write Delta: 0
 - Write Bytes Delta: 0
 - Other: 9 488
 - Other Delta: 0
 - Other Bytes Delta: 0
- Handles:**
 - Handles: 423
 - GDI Handles: 411
 - USER Handles: 288

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are visible at the bottom right of the dialog.

Process Explorer

Kernel debugger: !vm, !memusage

DEMO Folyamat memóriaterülete

■ Sysinternals VMMMap

Process: Zoom!Leve
PID: 2728
Committed Memory Summary: 38,772 K
Working Set Summary: 7,496 K

Type	Size	Committed	Total WS	Private WS	Shareable WS	Shared WS	Blocks	Largest
Code	1,920 K	1,920 K	713 K	713 K	0 K	0 K	21	80 K
Image	28,964 K	28,964 K	2,936 K	356 K	2,580 K	2,336 K	150	12,580 K
Private	604 K	36 K	36 K	32 K	4 K	4 K	11	912 K
Shareable	19,312 K	5,888 K	3,664 K	3,664 K	3,664 K	3,652 K	19	12,288 K
Mapped File	3,292 K	3,292 K	348 K	348 K	348 K	348 K	3	2,876 K
Heap	1,856 K	384 K	284 K	280 K	4 K	4 K	15	1,024 K
Managed Heap	2,048 K	40 K	32 K	32 K	0 K	0 K	6	1,024 K
Stack	176 K	176 K	176 K	176 K	0 K	0 K	6	1,024 K
Free	2,041,012 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	1,845,120 K

Address	Type	Size	Committed	Total WS	Private ...	Sharea...	Share...	Blocks	Protection	Details
00000000	Free	64 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
00010000	Heap (Shareable)	64 K	64 K	4 K	4 K	4 K	4 K	1	Read/Write	Heap ID: 1
00020000	Private	4 K	4 K	4 K	4 K	0 K	0 K	1	Read/Write	
00021000	Free	60 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
00030000	Thread Stack	1,024 K	28 K	24 K	24 K	0 K	0 K	3	Read/Write	Thread ID: 2732
00130000	Shareable	16 K	16 K	16 K	16 K	16 K	16 K	1	Read	
00134000	Free	48 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
00140000	Shareable	8 K	8 K	8 K	8 K	8 K	8 K	1	Read	
00142000	Free	56 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
00150000	Private	4 K	4 K	4 K	4 K	0 K	0 K	1	Read/Write	
00151000	Free	60 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
00160000	Mapped File	412 K	412 K	220 K	220 K	220 K	220 K	1	Read	C:\Windows\System32\locale.nls
001C7000	Free	36 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
001D0000	Shareable	800 K	24 K	24 K	24 K	24 K	24 K	4	Read	
00296000	Free	32 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
002A0000	Private	4 K	4 K	4 K	4 K	0 K	0 K	1	Read/Write	
002A1000	Free	60 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	
002B0000	Free	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0 K	0	Reserved	

A VMMMap segítségével megnézhetjük, hogy egy adott folyamatnak milyen elemek vannak jelenleg a címterében:

- Hogy oszlik meg kód/adat/halom/verem között
- Adat esetén mennyi a reserved és mennyi a ténylegesen committed, majd ebből mennyi van aktuálisan a fizikai memóriában

A teljes rendszer memóriahasználata

1

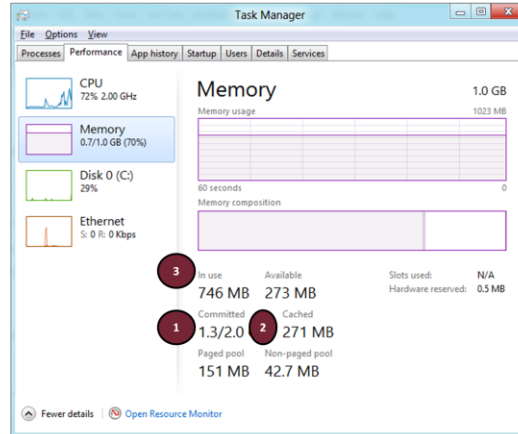
- Összes lefoglalt virtuális memória
- Ennyit kéne kiírni a lapozófájlba, de nem biztos, hogy ennyi van kiírva

2

Előjegyzési küszöb: összes fizikai memória + lapozófájlok aktuális mérete

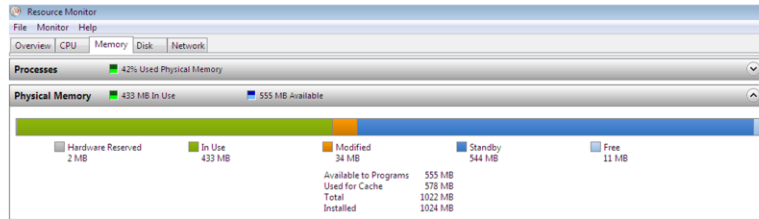
3

~ Aktív memórialapok száma

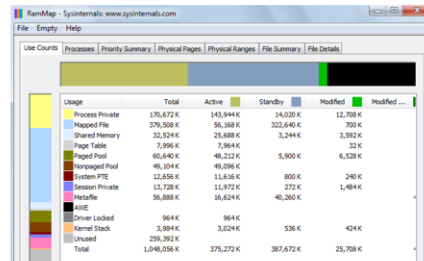


DEMO Resource Monitor

- Memórialapok állapotának gyors áttekintése:



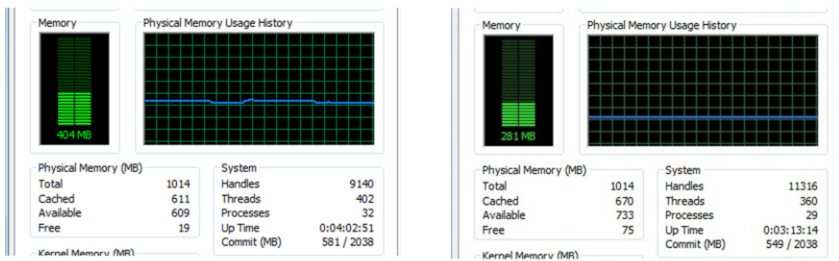
- Sysinternals RamMap: részletek



- Memórialapok eloszlása
- Indítsunk el egy memóriaintenzív alkalmazást (pl. virtuális gép), és nézzük, hogyan változik az eloszlás, hogyan nő közben a hard page fault / sec

Windows 8: memóriahasználat csökkentése

- Memory combining:
 - azonos tartalom keresése a háttérben
- Szolgáltatások csökkentése
 - + „Start on demand” indítási mód
- „Hot” és „cold” adatstruktúrák szétválasztása



Lásd: *Reducing runtime memory in Windows 8*, <http://blogs.msdn.com/b/b8/archive/2011/10/07/reducing-runtime-memory-in-windows-8.aspx>



Egy optimalizáció: Prefetch (Windows XP)

- Egy program indulásakor sok laphiba van
- Mindig ugyanazokat kell betölteni
- Prefetch: első tíz másodperc hozzáféréseit megjegyzi
- Prefetch "trace file": \Windows\Prefetch
 - Elnevezés: .EXE-<teljes elérés hash-e>.pf
- Alkalmazás következő indulásakor
 - Hivatkozott lapok betöltése *aszinkron* módon
- Bootolás figyelése is

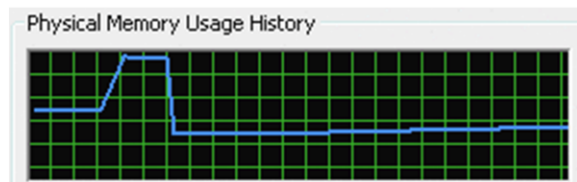


A gondot az okozza, hogy prefetch nélkül először pár lapot az egyik fájlból, majd pár lapot a másik dll-ből tölt be (ahogy éppen az utasítások jönnek a program kódban), és így a merevlemezen a fejnek össze-vissza kell mozognia.

Részletek: Windows XP Kernel Improvements, <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/cc302206.aspx>

Egy újabb: Superfetch (Vista)

- 8 Prioritás a memórialapokhoz
 - Standby listából 8 darab ennek megfelelően
- Lapok használatának követése
- Memória felhasználása esetén lassan visszahoz lapokat a standby listára, amik kellhetnek még



Forrás: <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/cc162480.aspx>

A significant change to the Memory Manager is in the way that it manages physical memory. The Standby List management used by previous versions of Windows has two limitations. First, the prioritization of pages relies only on the recent past behavior of processes and does not anticipate their future memory requirements. Second, the data used for prioritization is limited to the list of pages owned by a process at any given point in time. These shortcomings can result in scenarios like the "after lunch syndrome," where you leave your computer for a while and a memory-intensive system application runs (such as an antivirus scan or disk defragmentation). This application forces the code and data that your active applications had cached in memory to be overwritten by the memory-intensive activities. When you return, you experience sluggish performance as applications have to request their data and code from disk.

Windows XP introduced prefetching support that improved boot and application startup performance by performing large disk I/Os to preload memory with code and file system data that it expected, based on previous boots and application launches. Windows Vista goes a big step further with SuperFetch, a memory management scheme that enhances the least-recently accessed approach with historical information and proactive memory management.

SuperFetch is implemented in %SystemRoot%\System32\Sysmain.dll as a Windows service that runs inside a Service Host process (%SystemRoot%\System32\Svchost.exe). The scheme relies on support from the Memory Manager so that it can retrieve page usage histories as well as direct the Memory Manager to preload data and code from files on disk or from a paging file into the Standby List and assign priorities to pages. The SuperFetch service essentially extends page-tracking to data and code that was once in memory, but that the Memory Manager has reused to make room for new data and code. It stores this information in scenario files with a .db extension in the %SystemRoot%\Prefetch directory alongside standard prefetch files used to optimize application launch. Using this deep knowledge of memory usage, SuperFetch can preload data and code when physical memory becomes available.

Whenever memory becomes free—for example, when an application exits or releases memory—SuperFetch asks the Memory Manager to fetch data and code that was recently evicted. This is done at a rate of a few pages per second with Very Low priority I/Os so that the preloading does not impact the user or other active applications. Therefore, if you leave your computer to go to lunch and a memory-intensive background task causes the code and data from your active applications to be evicted from memory while you're gone, SuperFetch can often bring all or most of it back into memory before you return. SuperFetch also includes specific scenario support for hibernation, standby, Fast User Switching (FUS), and application launch. When the system hibernates, for example, SuperFetch stores data and code in the hibernation file that it expects (based on previous hibernations) will be accessed during the subsequent resume. In contrast, when you resume Windows XP, previously cached data must be reread from the disk when it is referenced.

DEMO Prefetch

- Process Monitor: betöltéskor használt fájlok

- Prefetch file-ok
 - C:\Windows\Prefetch
- Layout.ini

- Prefetch fájl tartalma:
 - strings.exe



defrag c: -b

Layout.ini-nek megfelelően az induláshoz szükséges fájlokat megpróbálja folyamatosan helyre rendezni, hogy gyorsabb legyen az indulás

Olvasnivaló

- Soczó Zsolt, [Windows memóriakezelés](#), MS Technet HUN, 4 részes cikksorozat

- [Inside the Windows Vista Kernel](#):
 - 1. rész: Multimedia Class Scheduler
 - 2. rész: Superfetch, Ready*



Technet HUN cikkek:

- Windows memóriakezelés - 1. rész - Memóriakezelési alapok, <http://www.microsoft.com/hun/technet/article/?id=7870c80b-7d94-4732-8220-256b625a3061>
- Windows memóriakezelés - 2. rész - A virtuális és a fizikai memória kapcsolata, <http://www.microsoft.com/hun/technet/article/?id=d0da1b41-169a-4e8c-a793-d0af5dc31d37>
- Windows memóriakezelés - 3. rész - Paged és Nonpaged Pool, <http://www.microsoft.com/hun/technet/article/?id=d698795b-d9a0-4c78-bd65-3be12d0780dc>
- Windows memóriakezelés - 4. rész - Page File és Working Set, <http://www.microsoft.com/hun/technet/article/?id=dcf95237-3966-4213-a66c-88102d8d1cbf>
- Windows memóriakezelés - 5. rész - Memóriakezelést gyorsító szolgáltatások, <http://www.microsoft.com/hun/technet/article/?id=a93f3d98-a3ff-42fb-a57d-47e2387250aa>

Inside the Windows Vista Kernel

- Part 1: <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/2007.02.vistakernel.aspx>
- Part 2: <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/2007.03.vistakernel.aspx>
- Part 3: <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/2007.04.vistakernel.aspx>

Összefoglalás

- Virtuális tárkezelés, lapszervezés
- Többszintű optimalizáció
- Memóriahasználat vizsgálata
 - Feladatkezelő: gyors áttekintés
 - Process Explorer, Perfmon, VMMap stb.: részletek