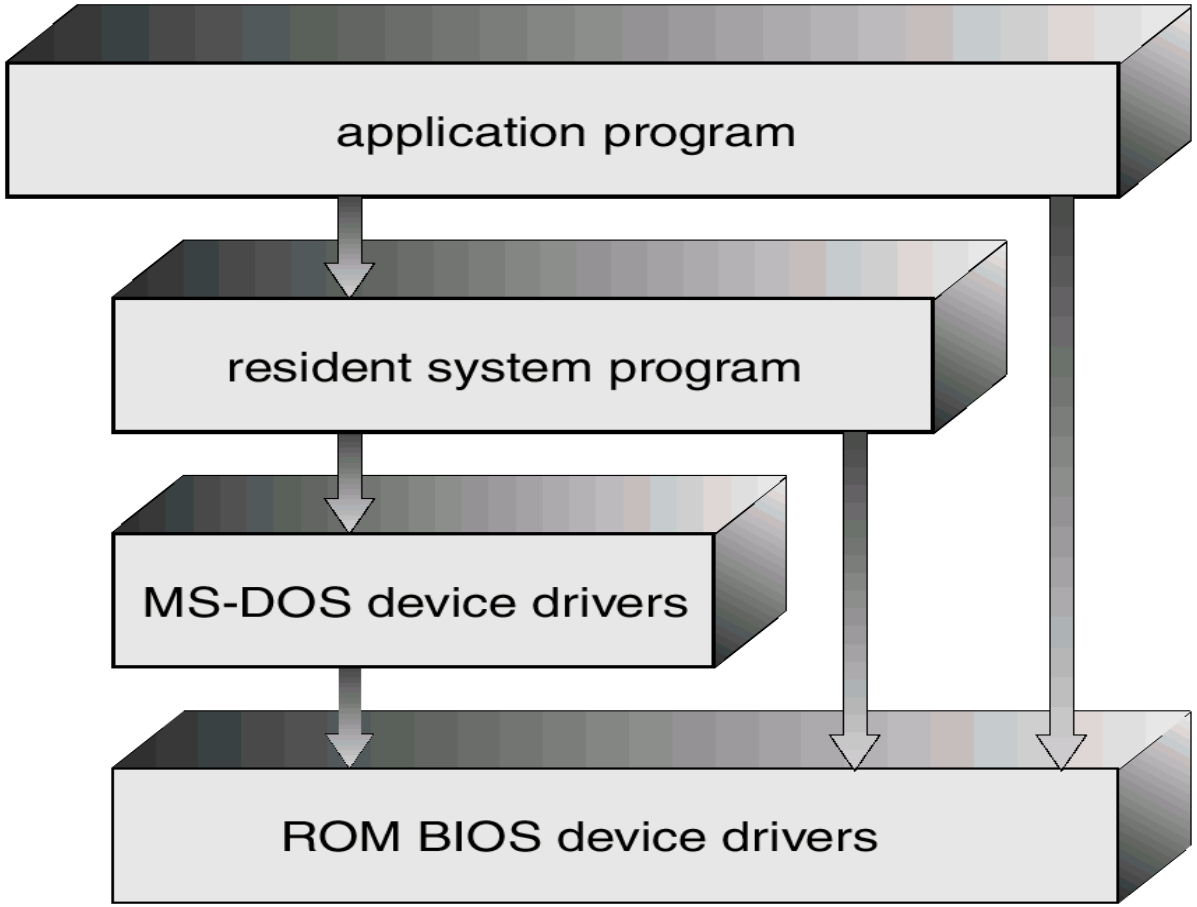
PB153 Operační systémy a jejich rozhraní

Principy výstavby OS

Vnitřní struktura OS

- Existuje řada přístupů a implementací
  - jedno velké monolitické jádro
  - modulární, hierarchický přístup
  - malé jádro a samostatné procesy
- Struktura mnoha OS je poznamenána historií OS a původními záměry, které se mohou od současného stavu radikálně lišit

Příklad: MS-DOS



Příklad MS-DOS (2)

- Při programování pro OS MS-DOS využíváme služeb
  - spuštěných rezidentních programů
    - např. ovladač myši (poskytuje služby na INT 33h)
  - operačního systému
    - např. přístup k souborům (INT 21h)
  - BIOSu
    - např. nastavení grafického režimu (INT 10h)
  - přímo HW
    - např. přímo zápis do videopaměti pro zobrazení dat

Příklad MS-DOS (3)

- Změna fontů v textovém režimu (bez využití služeb BIOSu, OS, přímo HW)

```
asm cli;
outport(0x3c4,0x0402);
outport(0x3c4,0x0704);
outport(0x3ce,0x0204);
outport(0x3ce,0x0005);
outport(0x3ce,0x0406);
for(i=0;i<=254;i++)
{ for(j=0;j<=15;j++)
{p=MK_FP(0xa000,32*i+j);
*p=font[y]; y++; } }
outport(0x3c4,0x0302);
outport(0x3c4,0x0304);
outport(0x3ce,0x0004);
outport(0x3ce,0x1005);
outport(0x3ce,0x0e06);
asm sti;
```

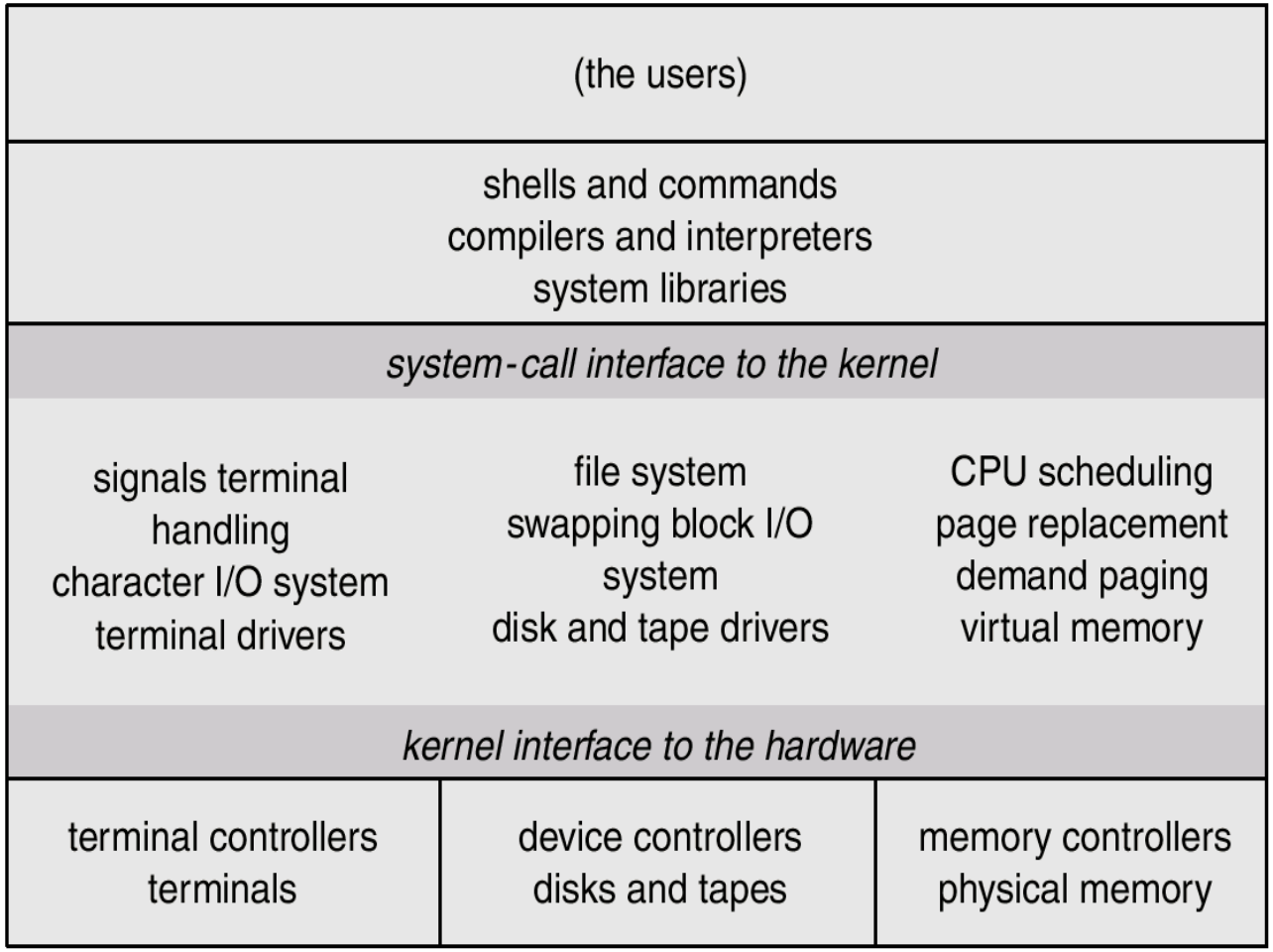
Příklad MS-DOS (4)

- Hlavní cíl návrhu
  - maximální možná funkcionalita v co nejmenším prostoru
- Výsledek
  - modulová architektura není aplikovaná
  - i když MS-DOS má jistou strukturu, jeho rozhraní a jednotlivé komponenty nejsou důsledně separovány a uspořádány

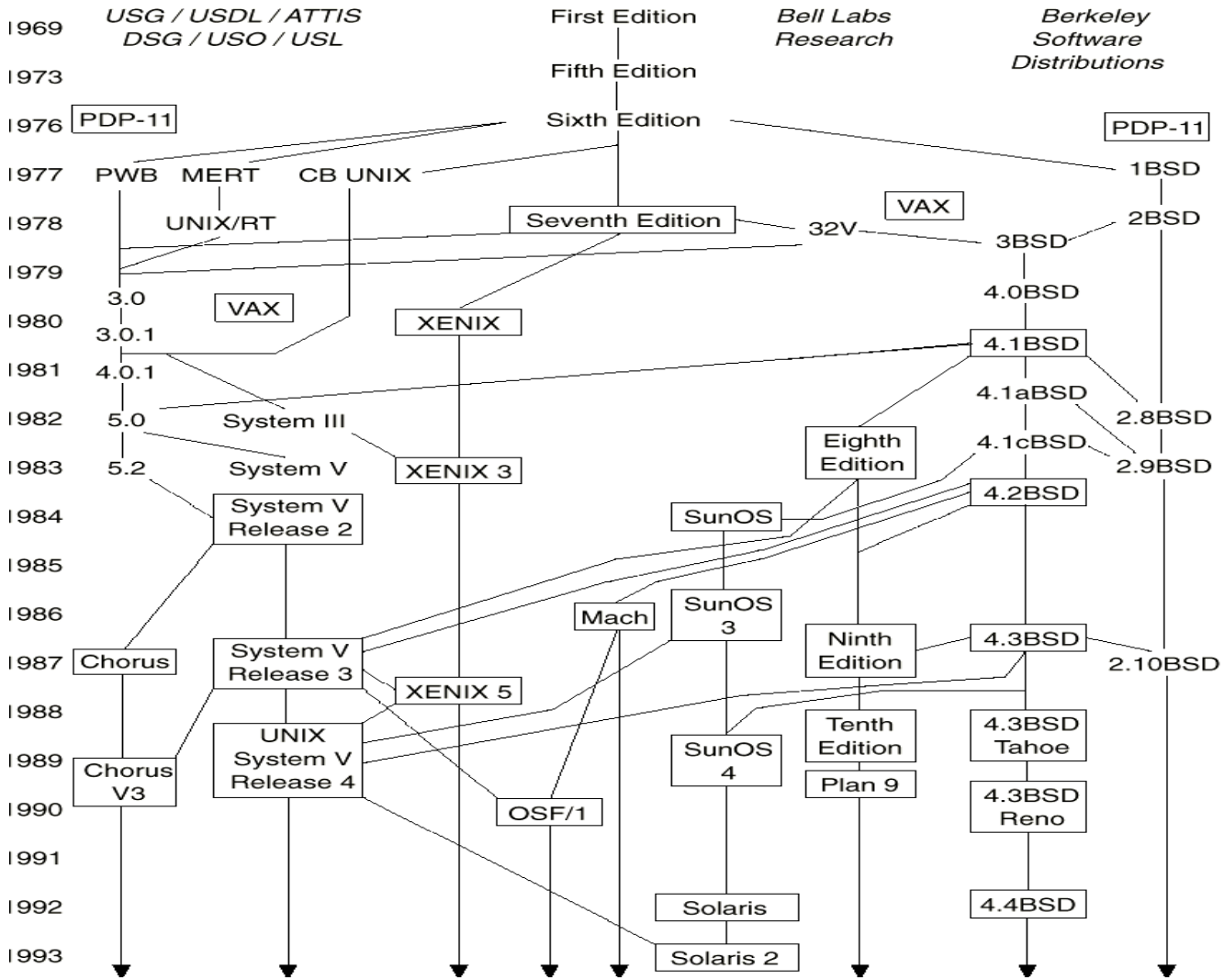
Příklad UNIX

- Také omezen hardwarem
  - vznik v polovině 70. let
- OS Unix sestává ze 2 částí
  - systémové programy
  - jádro
    - vše, co se nachází pod rozhraním volání systému a nad fyzickým hardware
    - obstarává plnění funkcí z oblastí systému souborů, plánování CPU, správy paměti, …
    - vrstvová architektura sice existuje, ale hodně funkcí je na jedné úrovni

Příklad UNIX (2)



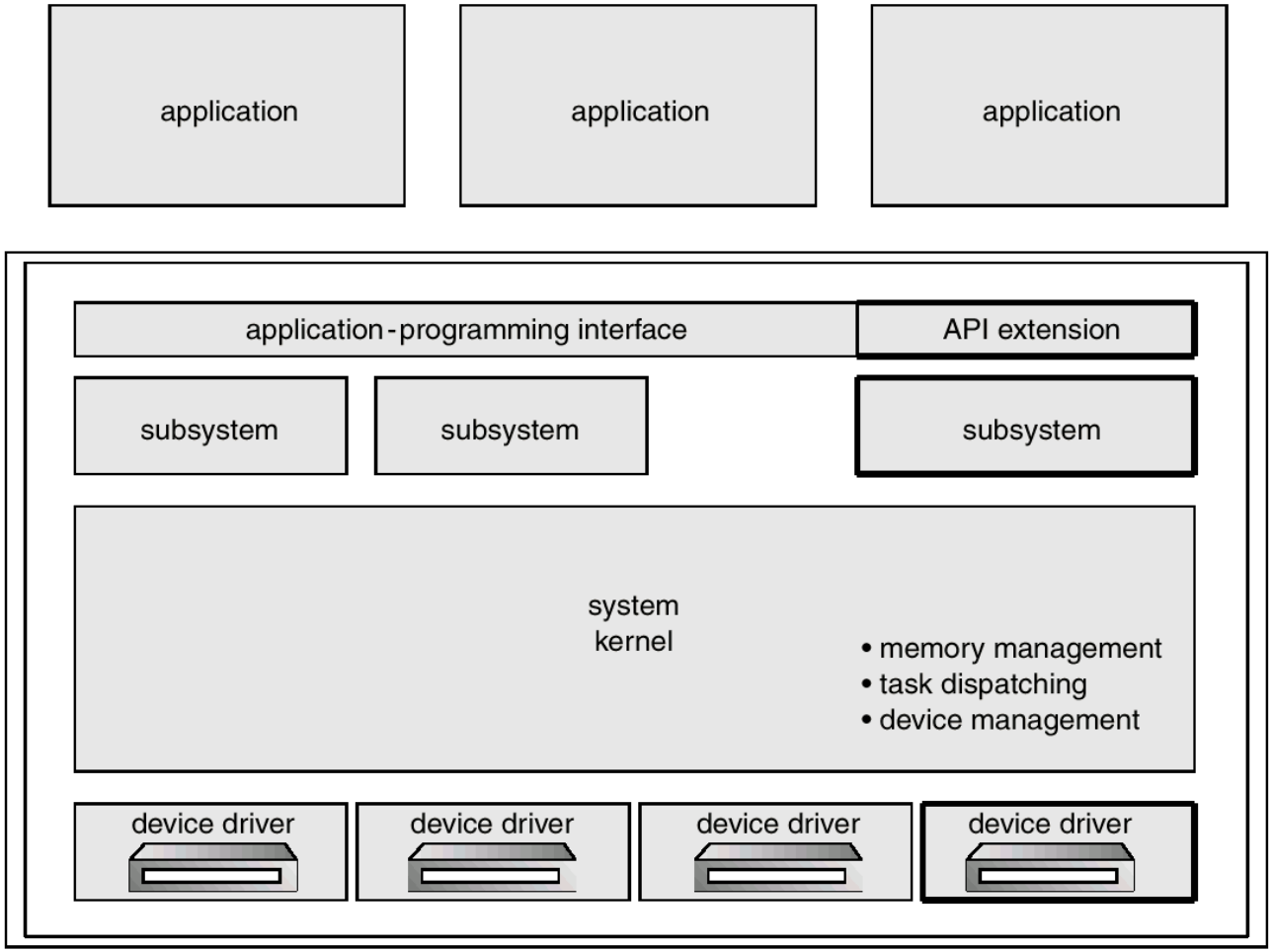
Příklad: UNIX (3)



XENIX

- V roce 1979 koupil Microsoft licenci na Unix verze 7 od AT&T.
- V roce 1987 předal Microsft Xenix firmě SCO.
- Koncem 80. let byl Xenix pravděpodobně nejrozšířenějším OS unixového typu podle počtu strojů, na kterých běžel.

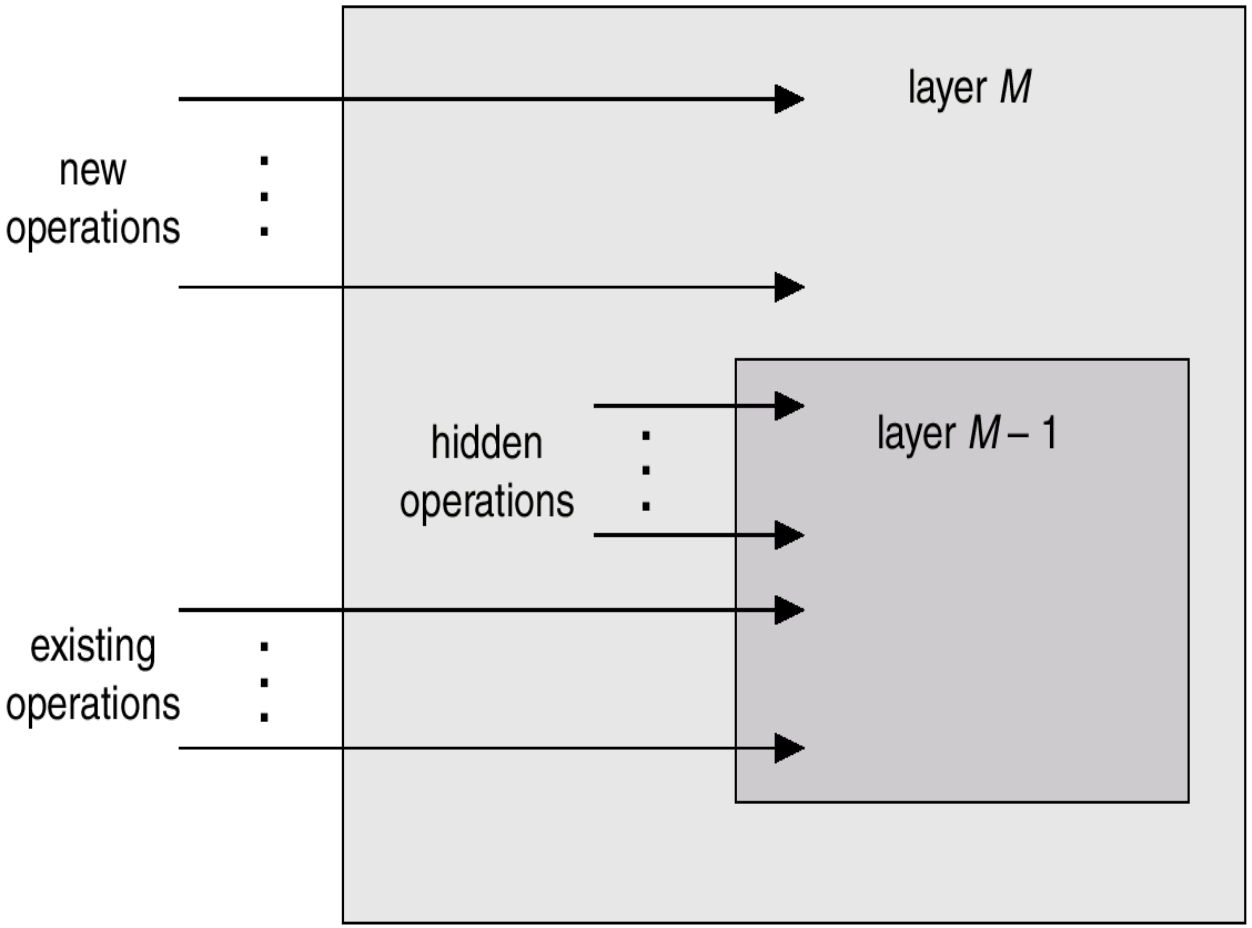
Příklad OS/2


application
application
application
application - programming interface
API extension
subsystem
subsystem
subsystem
system
kernel
• memory management
• task dispatching
• device management
device driver
device driver
device driver
device driver

Hierarchická vrstvová architektura

- OS se dělí do jistého počtu vrstev (úrovní)
- Každá vrstva je budována na funkcionalitě nižších vrstev
- Nejnižší vrstva (0) je hardware
- Nejvyšší vrstva je uživatelské rozhraní
- Pomocí principu modulů jsou vrstvy vybírány tak, aby každá používala funkcí (operací) a služeb pouze vrstvy $n - 1$

Hierarchická architektura



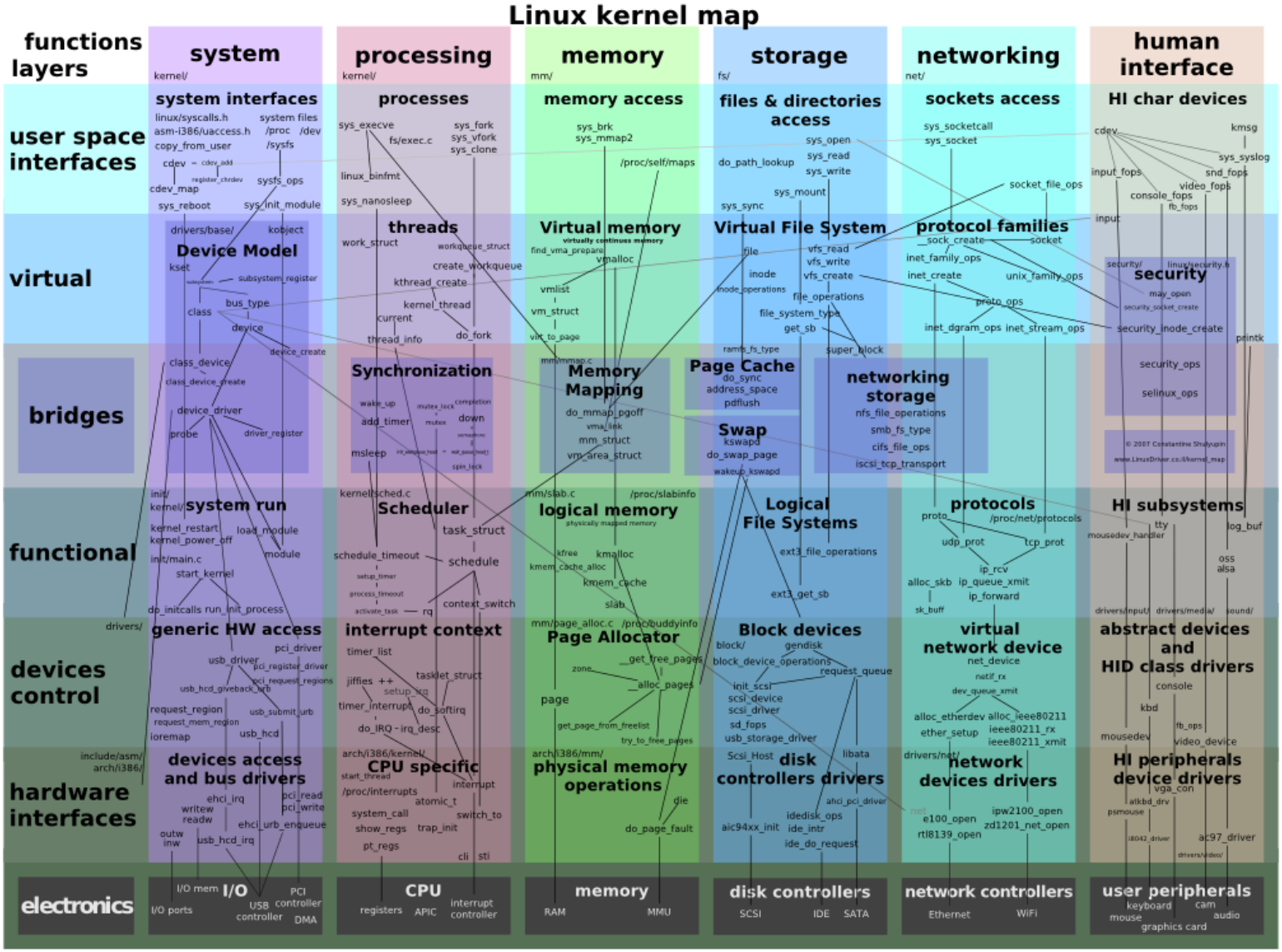
Hierarchická struktura

- Řeší problém přílišné složitosti velkého systému
  - Provádí se dekompozice velkého problému na několik menších zvládnutelných problémů
- Každá úroveň řeší konzistentní podmnožinu funkcí
- Nižší vrstva nabízí vyšší vrstvě „primitivní“ funkce (služby)
- Nižší vrstva nemůže požadovat provedení služeb vyšší vrstvy
- Používají se přesně definovaná rozhraní
  - Jednu vrstvu lze uvnitř modifikovat, aniž to ovlivní ostatní vrstvy – princip modularity

Hierarchická struktura

- Výhodou je modularita OS
- Nevýhodou je především vyšší režie a tím pomalejší vykonávání systémových volání
- Protože efektivita hraje v jádře OS významnou roli je třeba volit kompromis
  - pouze omezený počet úrovní pokrývající vyšší funkcionalitu
  - příklad: první verze Windows NT měli hierarchickou strukturu s řadou vrstev, avšak pro zvýšení výkonu OS bylo ve verzi NT 4.0 rozhodnuto přesunout více funkcionality do jádra a sloučit některé vrstvy

Příklad: Linux



Provádění služeb v klasickém OS

- Klasický OS (non-process kernel OS)
  - OS je prováděn jako samostatná entita v privilegovaném režimu
  - procesy – jen uživatelské programy
- Služba se provádí jako součást jádra
- Služba se provádí v rámci procesů
  - obecně lze celý OS provádět v kontextu uživatelského procesu
    - Leží v jeho adresovém prostoru
  - přerušení (volání služby OS) vyvolává implicitně pouze přepnutí režimu procesoru (z uživatelského do privilegovaného), ne změnu kontextu
  - k přepínání kontextu procesů dochází jen tehdy, je-li to nutné z hlediska plánování
  - pro volání procedur v rámci jádra se používá samostatný zásobník
  - program a data OS jsou ve sdíleném adresovém prostoru a sdílí je všechny uživatelské procesy

Služby v procesově konstruovaném OS

- OS je souhrnem systémových procesů
- Jádro tyto systémové procesy separuje, ale umožňuje jim synchronizaci a komunikaci
- Snaha o provádění co nejmenší části kódu v privilegovaném režimu procesoru
- V krajním případě je jádro pouze ústředna pro přepojování zpráv
- Takové řešení OS je snadno implementovatelné na multiprocesorových systémech
- Malé jádro - mikrojádro

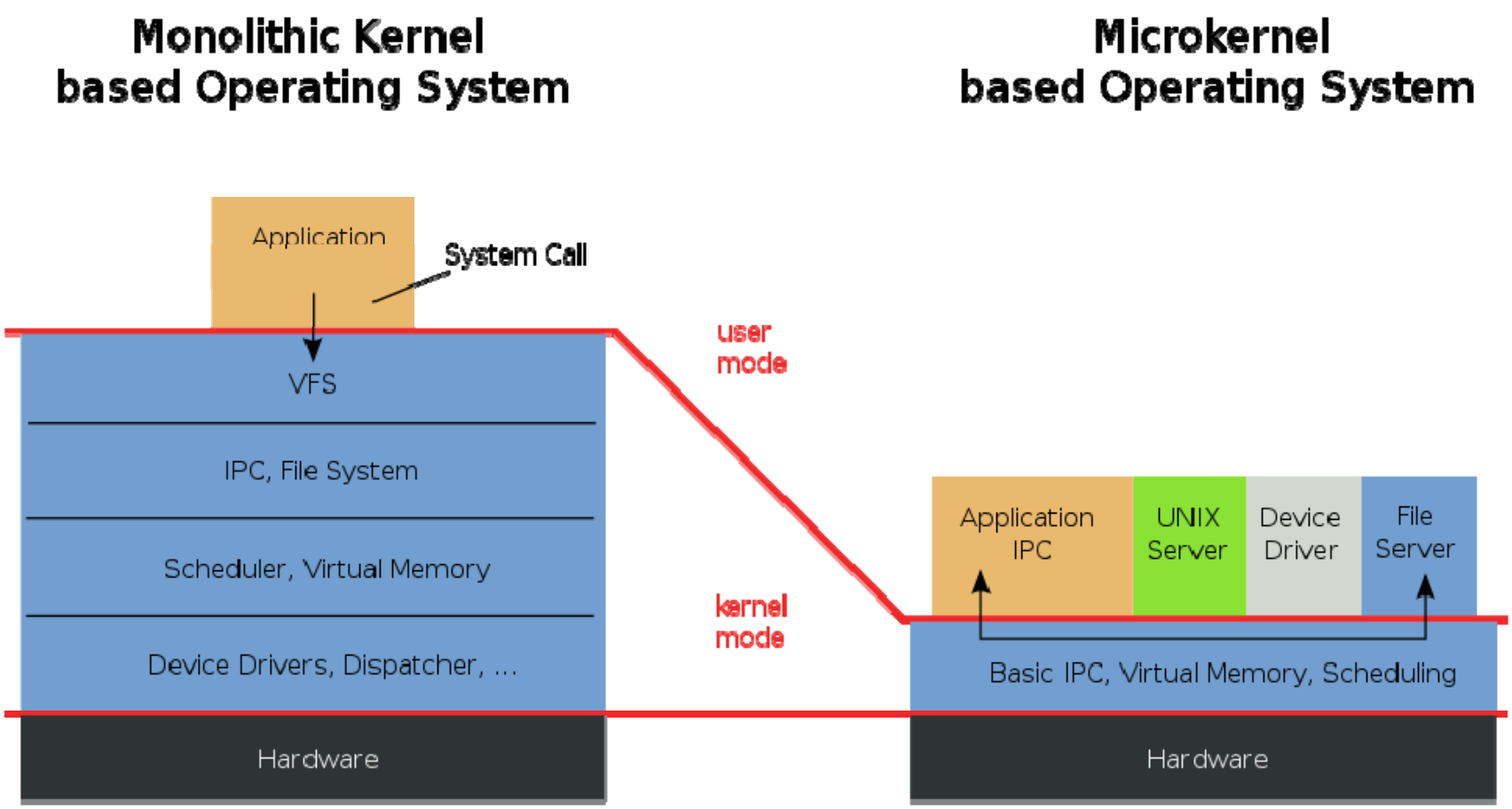
Struktura s mikrojádrem

- Microkernel System Structure
- Malé jádro OS plnící pouze několik málo nezbytných funkcí
  - primitivní správa paměti (adresový prostor)
  - komunikace mezi procesy – Interprocess communication (IPC)
- Většina funkcí z jádra se přesouvá do „uživatelské“ oblasti
  - ovladače HW zařízení, služby systému souborů, virtualizace paměti …
  - mezi uživatelskými procesy se komunikuje předáváním zpráv

Struktura s mikrojádrem (2)

- Výhody mikrojádra
  - snadná přenositelnost OS, jádro je malé
  - vyšší spolehlivost (moduly mají jasné API a jsou snadněji testovatelné)
  - vyšší bezpečnost (méně kódu OS běží v režimu jádra)
  - flexibilita (jednodušší modifikace, přidání, odebrání modulů)
  - všechny služby jsou poskytovány jednotně (výměnou zpráv)
- Nevýhoda mikrojádra
  - zvýšená režie
    - volání služeb je nahrazeno výměnou zpráv mezi procesy

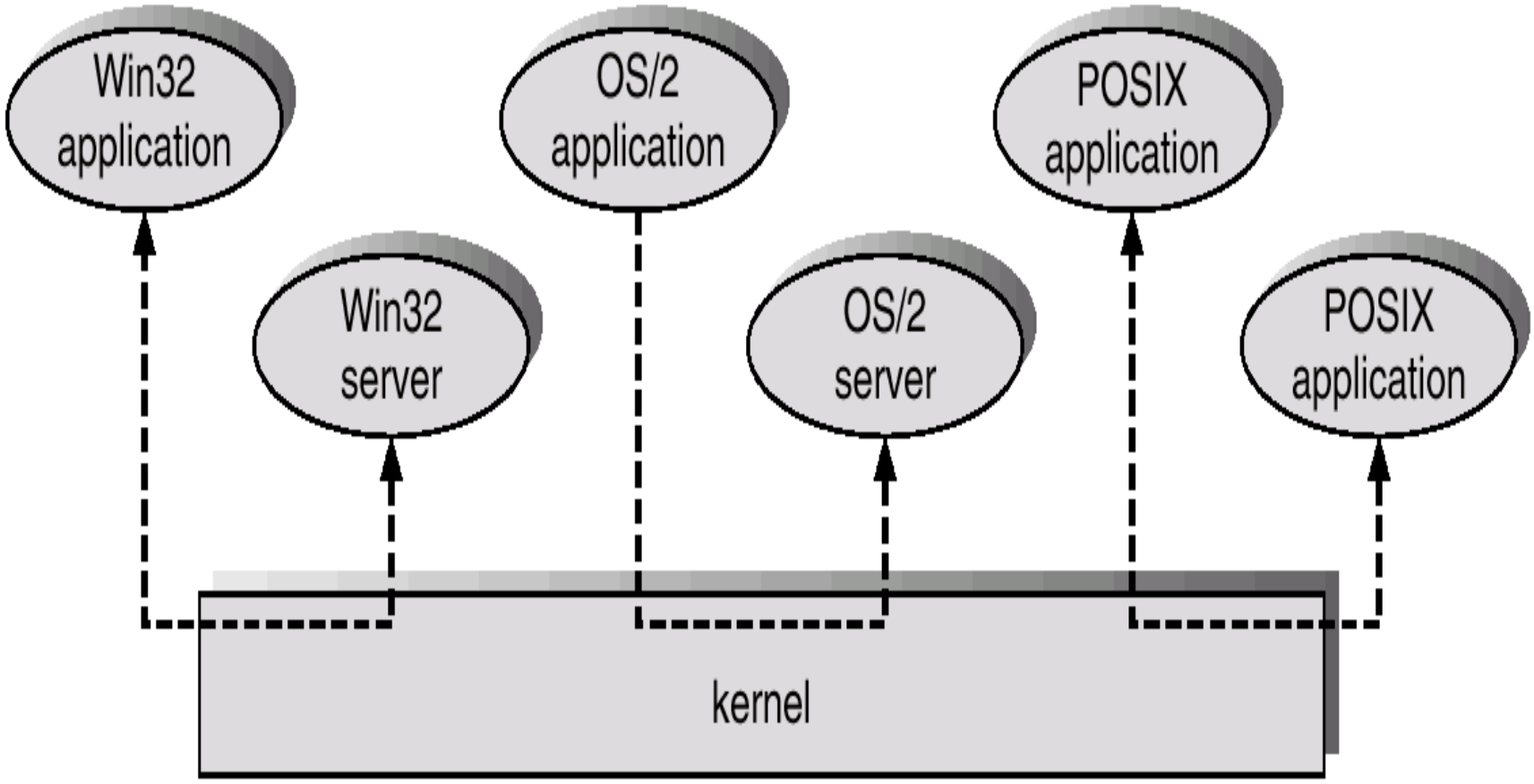
Mikrojádro a monolitické jádro



Mach

- Klasickým příkladem OS s mikrojádrem je Mach vytvořený v 80. letech
- Na přístupu Mach je založen např. Tru64 UNIX nebo realtimový OS QNX
- Windows NT používají hybridní strukturu
  - jádro má vrstevnou strukturu a zajišťuje komunikaci aplikace se „servery“
  - pro jednotlivé typy aplikací (Win32, OS/2, POSIX) existují „servery“ běžící v uživatelském režimu

Příklad: Windows NT



Příklad: Windows NT (pokr.)

- Další vývoj těchto subsystémů
  - OS/2 subsystém naposled ve Windows 2000
  - POSIX subsystém je v novějších Windows (ne variantách Home apod.) k dispozici ve formě „Subsystem for Unix-based Applications“ (SUA)
  - Win32 se nyní jmenuje Windows API
    - A zahrnuje také API na 64bitových systémech

Linux: modularita

- Do linuxového jádra můžeme při běhu přidávat kód – moduly
  - LKM – Loadable Kernel Module
- Přesto je Linuxové jádro monolitické
  - Moduly běží stejně jako zbytek jádra v privilegovaném režimu
  - Jde o modularitu kódu jádra ne o modulární architekturu jádra (mikrojádro)

Linux: modularita

- LKM umožňují:
  - Přidávat funkčnost za běhu
    - Např. připojení nového USB zařízení
  - Snižují paměťové nároky jádra
    - Nahráváme jen moduly, které potřebujeme
    - Oproti speciálně zkompilovanému jádru však mají vyšší režii

Linux: modularita

- insmod, rmmod, lsmod, modinfo, depmod, modprobe

```
[root@localhost ~]# lsmod
Module                  Size  Used by
snd_intel8x0           28144  0
snd_ac97_codec         92136  1 snd_intel8x0
ac97_bus                1424  1 snd_ac97_codec
snd_seq                46960  0
snd_seq_device          6232  1 snd_seq
ppdev                   8200  0
snd_pcm                64932  2 snd_intel8x0,snd_ac97_codec
snd_timer              17992  2 snd_seq,snd_pcm
snd                    50908  6 snd_intel8x0,snd_ac97_codec,snd_seq,snd_seq_devi
ce,snd_pcm,snd_timer
soundcore               5672  1 snd
snd_page_alloc          7892  2 snd_intel8x0,snd_pcm
parport_pc             22748  0
i2c_piix4              11968  0
parport                29300  2 ppdev,parport_pc
i2c_core               23160  1 i2c_piix4
pcnet32                28000  0
mii                     4120  1 pcnet32
floppy                 47700  0
```

Linux: modularita

- Linux moduly obvykle nepodepisuje

```
[root@localhost ipv4]# modinfo ipip.ko
filename:       ipip.ko
license:        GPL
srcversion:     C977B3330409AAC23EC3ECC
depends:        tunnel4
vermagic:       2.6.31.5-127.fc12.i686.PAE SMP mod_unload 686
```

- Ale všímá si licence …

```
[root@localhost ~]# insmod procview.ko
procview: module license 'unspecified' taints kernel.
Disabling lock debugging due to kernel taint
```

Linux: modifikace jádra za běhu

- /dev/kmem
  - Možnost přímo číst/měnit paměť jádra za běhu
  - Přístupné pouze pro administrátora, přesto nebezpečné
  - V řadě distribucí už /dev/kmem nenajdeme
- LKM
  - Běží v privilegovaném režimu procesoru jako zbytek jádra
  - Možnost změny chování jádra
  - Rootkity

Linux: tabulka systémových volání

- Nejjednodušší způsob jak implementovat rootkit je modifikovat tabulku rutin obsluhujících systémová volání (sys_call_table) a navázat se na volání jako open, readdir, …
- Snaha omezit možnost LKM modifikovat tabulku systémových volání
- Dnes není tento symbol exportován a není tak možné ho v LKM přímo použít a získat tak ukazatel na tabulku

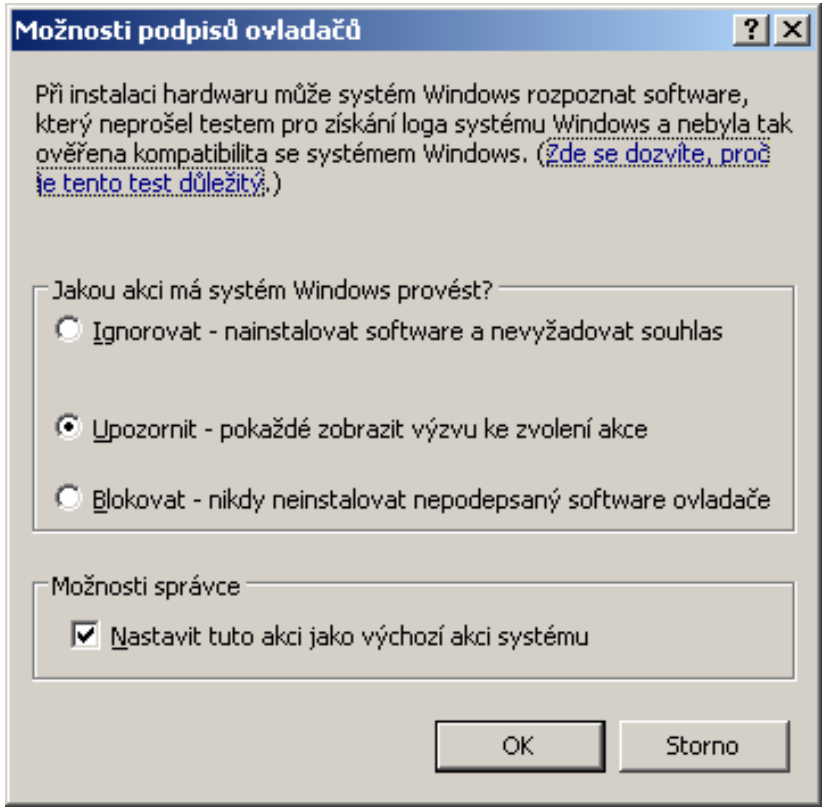
Windows: modularita

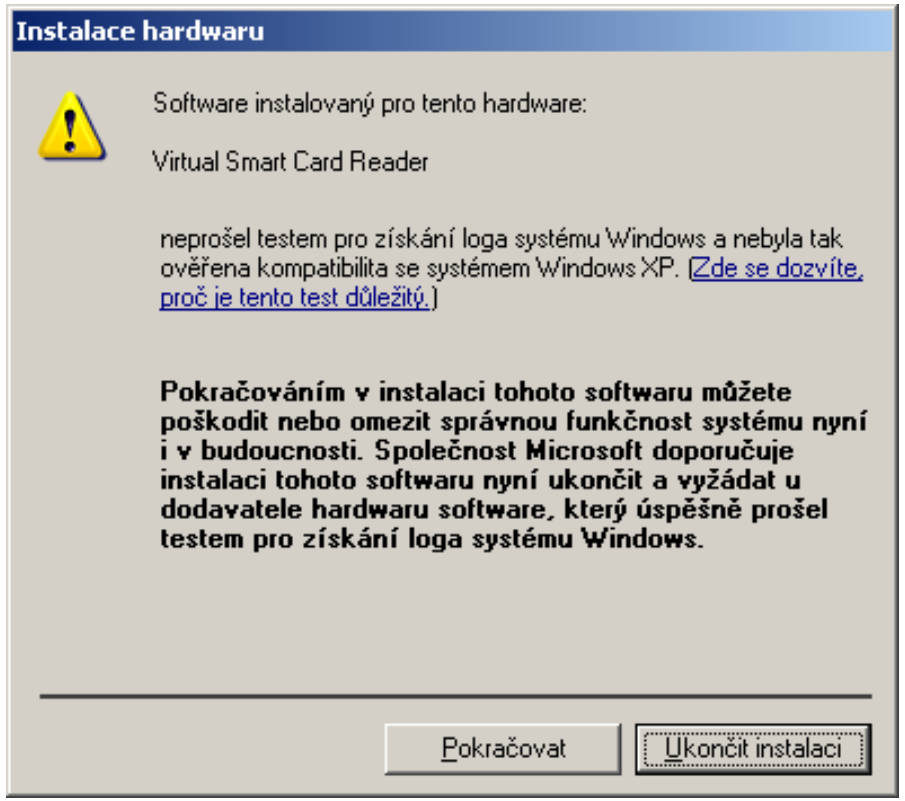
- Do jádra Windows můžeme za běhu vkládat ovladače
- Ty běží v privilegovaném režimu jádra

Windows: Modularita (př.)

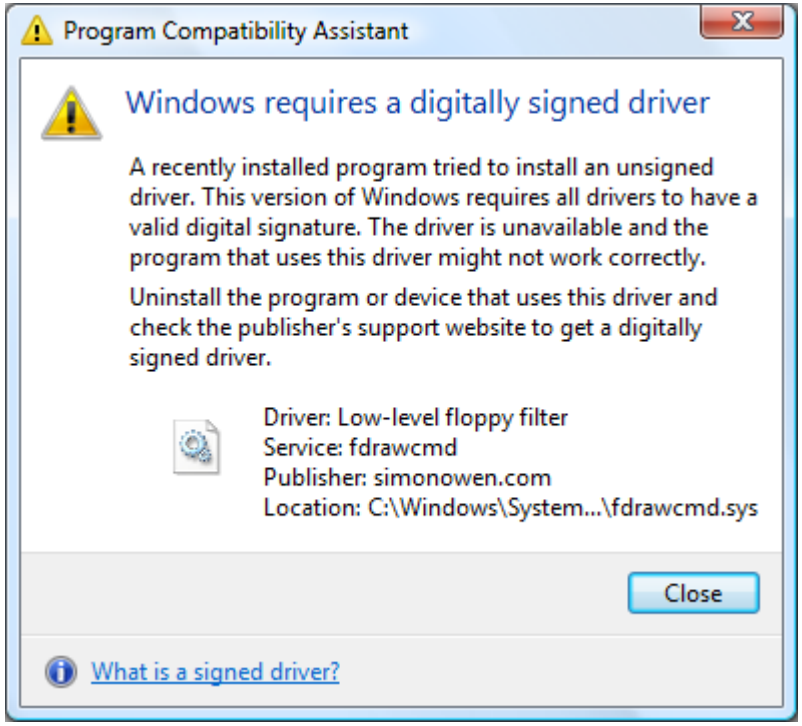
Driver Name	Loaded from (could be only name)	Address	Size	Hidden	References
ACPI.sys	ACPI.sys	0xB9F79000	188416	-	[ACPI.sys]
ACPIEC.sys	ACPIEC.sys	0xBA4C4000	12288	-	[ACPIEC.sys] [ntkrnlpa.exe]
ACPI_HAL	ACPI_HAL	0x806E4000	134400	-	[hal.dll] [ntkrnlpa.exe]
Afc.sys	C:\WINDOWS\system32\drivers\Afc.sys	0xBA448000	32768	-	[Afc.sys]
afd.sys	C:\WINDOWS\System32\drivers\afd.sys	0xA6FF7000	139264	-	[afd.sys]
atapi.sys	atapi.sys	0xB9CDC000	98304	-	[atapi.sys] [ntkrnlpa.exe]
ATMFD.DLL	C:\WINDOWS\System32\ATMFD.DLL	0xBFFA0000	286720	-	
audstub.sys	C:\WINDOWS\system32\DRIVERS\audstub.sys	0xBA797000	4096	-	[audstub.sys] [ntkrnlpa.exe]
BATTC.SYS	C:\WINDOWS\system32\DRIVERS\BATTC.SYS	0xBA4C0000	16384	-	
Beep.SYS	C:\WINDOWS\System32\Drivers\Beep.SYS	0xBA63A000	8192	-	[Beep.SYS] [ntkrnlpa.exe]
BOOTVID.dll	C:\WINDOWS\system32\BOOTVID.dll	0xBA4B8000	12288	-	
Cdfs.SYS	C:\WINDOWS\System32\Drivers\Cdfs.SYS	0xBA198000	65536	-	[Cdfs.SYS] [ntkrnlpa.exe]
cdrom.sys	C:\WINDOWS\system32\DRIVERS\cdrom.sys	0xBA1C8000	65536	-	[cdrom.sys] [CLASSPNP.SY...
CLASSPNP.SYS	C:\WINDOWS\system32\DRIVERS\CLASSPNP.SYS	0xBA0E8000	53248	-	
CmBatt.sys	C:\WINDOWS\system32\DRIVERS\CmBatt.sys	0xB9A4B000	16384	-	[CmBatt.sys] [ntkrnlpa.exe]
cmdguard.sys	C:\WINDOWS\System32\DRIVERS\cmdguard.sys	0xA7622000	126976	-	[cmdguard.sys] [ntkrnlpa.e...
cmdhlp.sys	C:\WINDOWS\System32\DRIVERS\cmdhlp.sys	0xBA3A8000	20480	-	[cmdhlp.sys]
compbatt.sys	compbatt.sys	0xBA4BC000	12288	-	[compbatt.sys] [ntkrnlpa.e...
cwgsd.sys	cwgsd.sys	0xB9D31000	1228800	-	[cwgsd.sys] [ntkrnlpa.exe]
disk.sys	disk.sys	0xBA0D8000	36864	-	[disk.sys] [CLASSPNP.SYS] ...
drmk.sys	C:\WINDOWS\system32\drivers\drmk.sys	0xBA318000	61440	-	
dump_atapi.sys	C:\WINDOWS\System32\Drivers\dump_atapi.sys	0xA6D9F000	98304	-	
dump_WMILIB.SYS	C:\WINDOWS\System32\Drivers\dump_WMILIB....	0xBA65C000	8192	-	
Dxapi.sys	C:\WINDOWS\System32\drivers\Dxapi.sys	0xA7059000	12288	-	
dxg.sys	C:\WINDOWS\System32\drivers\dxg.sys	0xBF000000	73728	-	
dxgthk.sys	C:\WINDOWS\System32\drivers\dxgthk.sys	0xBA7F4000	4096	-	

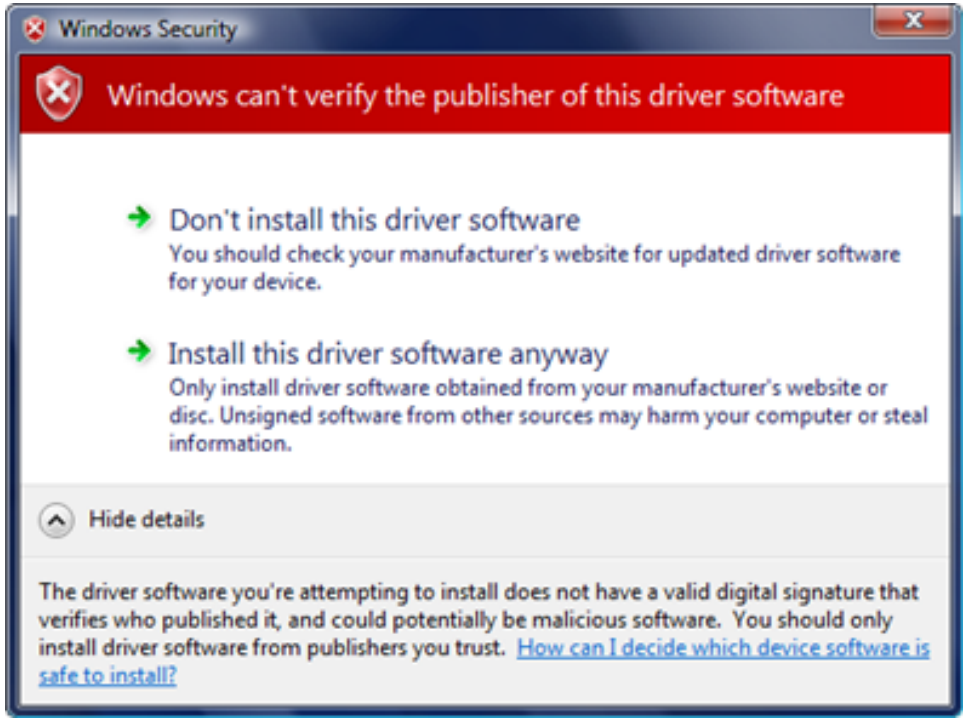
Ovladače ve Windows XP



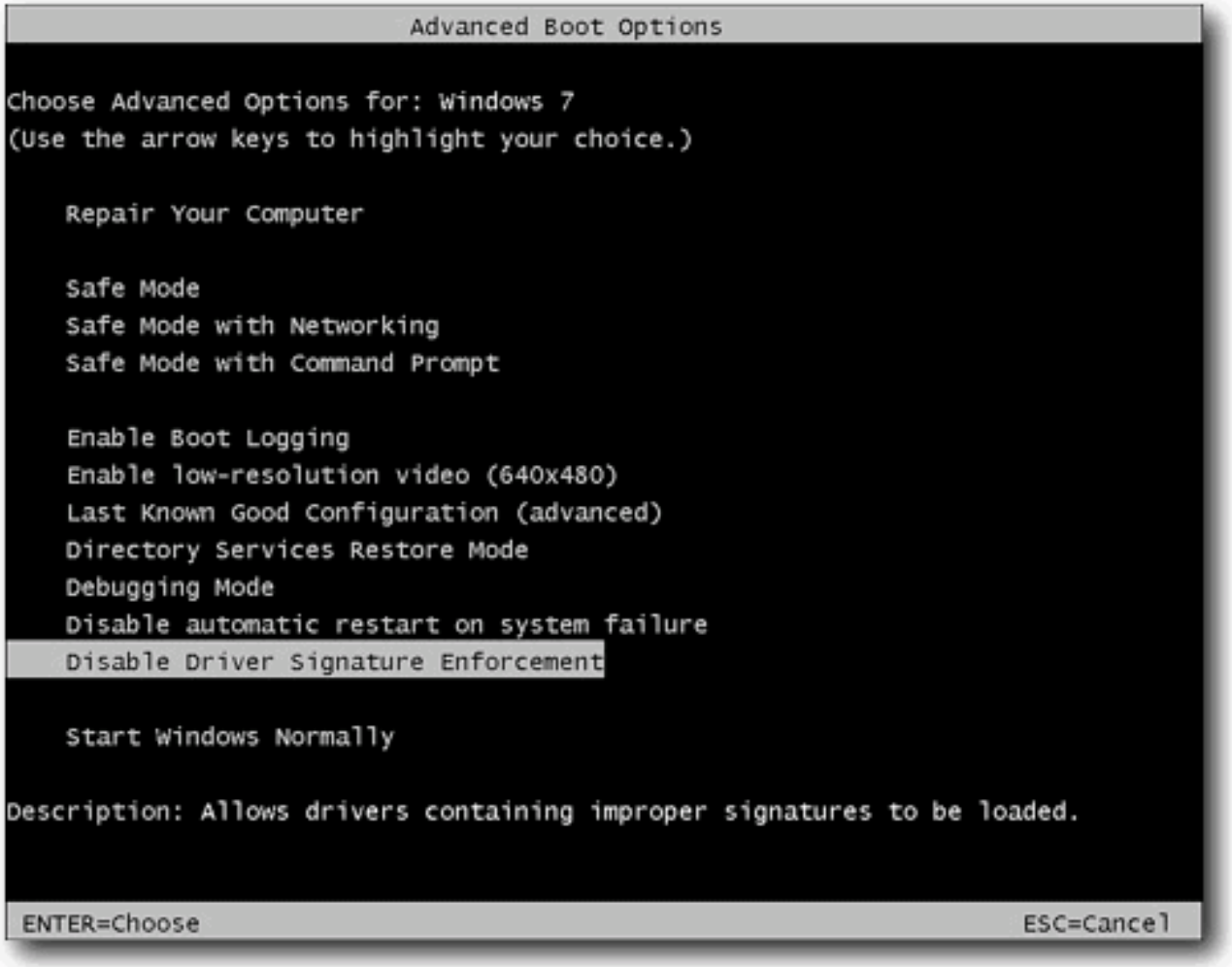


Ovladače a novější Windows





Podpisy vyžadovány u 64bitových systémů



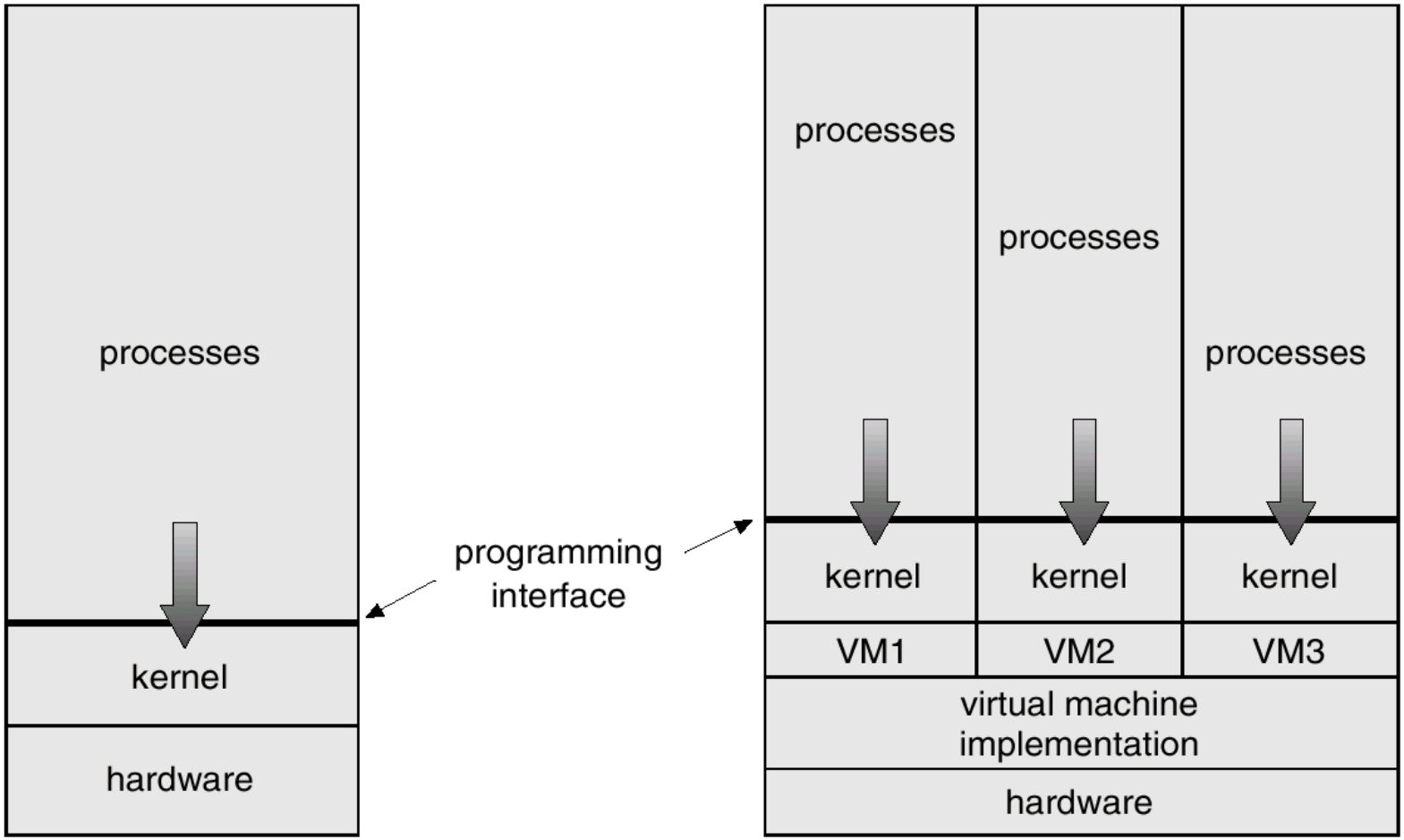
Podpisy ovladačů

- U Windows nejde při podepisování o čistotu jádra či licence
- Jde především o
  - Spolehlivost systému – tj. kvalitu kódu běžícího v privilegovaném režimu
  - A s tím související bezpečnost jádra/systému
  - DRM (!)
- User mode drivers – snaha snížit množství kódu běžící přímo v jádře

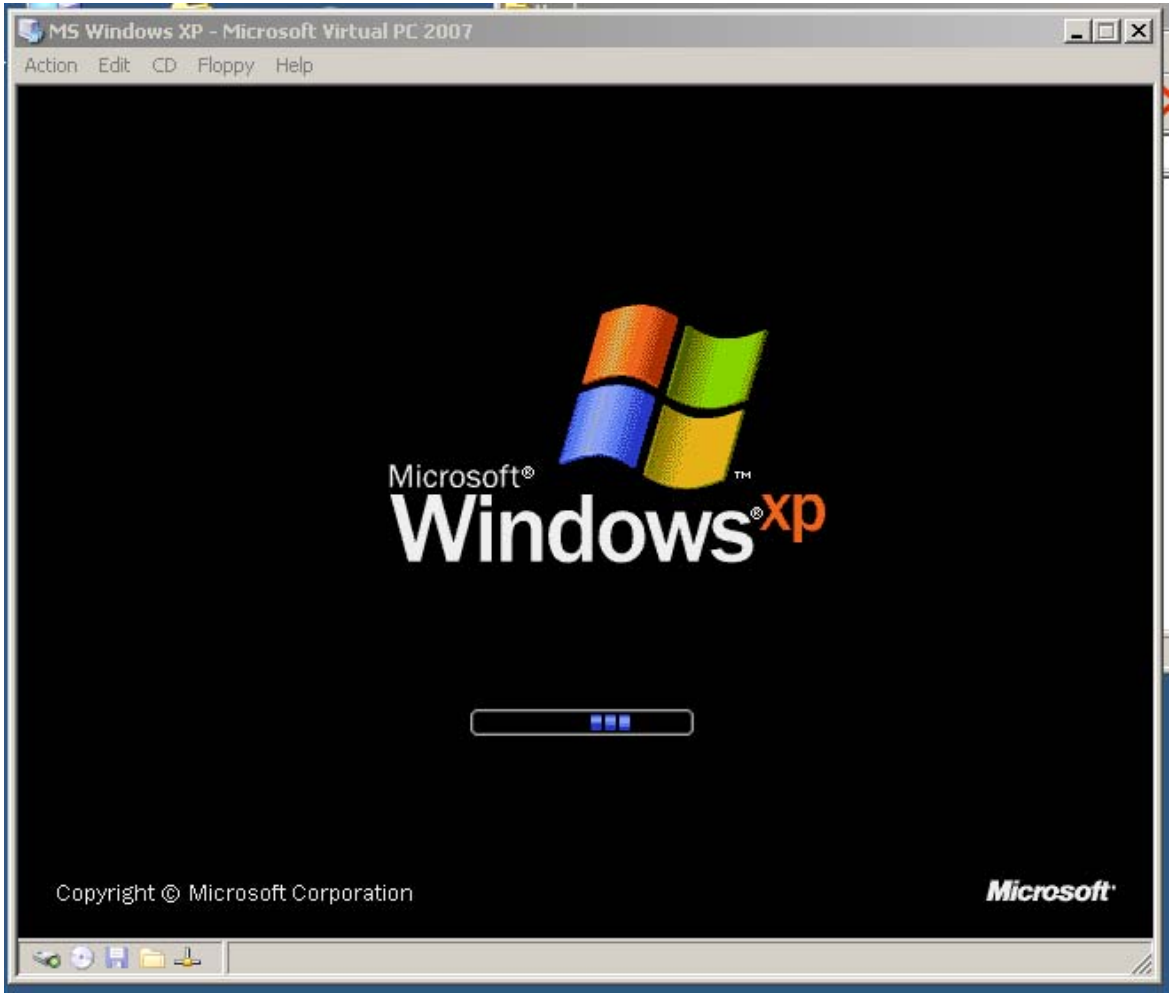
Virtuální stroje

- Virtuální stroj vytváří rozhraní identické s původním holým hardwarem
- Operační systém vytváří iluzi více procesů, kde každý běží na svém vlastním procesoru se svou vlastní (virtuální) pamětí
  - může vytvářet iluzi více systémů
    - s vlastnostmi původního fyzického počítače nebo úplněji jiného stroje
  - každý uživatel na jediném stroji může tudíž provozovat jiný OS
  - virtuální stroje zajišťují úplnou ochranu systémových zdrojů
    - každý virtuální stroj je izolován od všech ostatních virtuálních strojů
    - to však ztěžuje komunikaci mezi virtuálními stroji
  - Ve virtuálním stroji může běžet virtuální stroj ☺
    - Usnadňuje to např. ladění OS během jeho provozování
- Implementace virtuálních strojů není triviální

Virtuální stroje (2)



Virtualizace (příklad)



Java Virtual Machine

- Prostředí Java dosahuje nezávislosti na použité HW platformě pomocí JVM (Java Virtual Machine)
  - pro každou platformu je implementován JVM
  - kompilátor Java (javac) generuje „bytecode“ (ne přímo strojový kód určité architektury)
  - bytecode je interpretován JVM
- V praxi to s HW/OS nezávislostí není zcela pravdivé
- Problém rychlosti běhu
  - program v Javě se provádí pomaleji než obdobný program v C/C++
- Řešení
  - Těsně před provedením kompiluje kompilátor JIT (Just In Time), bytecode do strojového kódu patřičné platformy
  - A nebo počítačové platformy, kde instrukce strojového kódu = bytecode

Cíle návrhu systému

- Cíle pro uživatele
  - OS musí být snadno použitelný, snadno naučitelný, spolehlivý, bezpečný, rychlý, …
- Systémový cíl
  - OS se musí dát snadno navrhnout, implementovat, udržovat a musí být přizpůsobivý, spolehlivý, bezchybný, spolehlivý
- Zkušenost s výsledky
  - Operační systémy jsou (a asi vždy budou)
    - Obrovské – až desítky milionů řádků zdrojového kódu
    - Složité
    - Asynchronní (interaktivní)
    - (vždy) plné chyb a (často) nespolehlivé
    - Silně závislé na konkrétním hardware – obtížně přenositelné

Implementace systému

- Tradičně býval OS napsaný v symbolickém strojovém jazyku (assembleru)
- OS se stále častěji píší v běžných programovacích jazycích vysoké úrovně (obvykle C/C++)
  - lze naprogramovat rychleji
  - výsledek je kompaktnější
  - OS je srozumitelnější a lze ho snadněji ladit
  - je snadněji přenositelný na jinou architekturu

System Generation (SYSGEN)

- Operační systém je navržen tak, aby mohl běžet na jisté třídě architektur / sestav počítače
- OS musí být konfigurovatelný na konkrétní sestavu
- Program SYSGEN
  - Získává informace týkající se konkrétní konfigurace konkrétního hardwarového systému
- Bootování
  - Spuštění činnosti počítače zavedením jádra a předáním řízení na vstupní bod jádra pro spuštění činnosti
- Bootstrap program
  - Program uchovávaný v ROM, který je schopný naleznout jádro, zavést ho do paměti a spustit jeho provedení

Bootování IBM PC

- Řídí BIOS
  - provede se inicializace HW komponent
  - na základě uložené konfigurace zjistíme z kterého zařízení se má OS zavést
  - v případě pevného disku se spustí kód uložený v Master Boot Recordu (MBR)
    - tento kód například zjistí, která partition je aktivní a spustí boot sektor této partition. Kód uložený v boot sektoru načte soubory s jádrem OS do paměti
    - nebo např. LILO/Grub umožní interaktivně vybrat který OS bude zaveden (bootsektor které partition se má spustit?; kde je soubor s jádrem OS?)
    - tento kód může být delší než je délka MBR, musí pak být uložen v jiné oblasti disku

Příklad: Bootování Linuxu (IBM PC)

- BIOS kontroluje HW
- Z vybraného zařízení se získá a spustí zavaděč („boot loader“)
  - Např. se z pevného disku přečte prvních 512 bajtů (tzv. MBR) a spustí se tento „kód“ (fáze 1).

Hlavní zaváděcí záznam

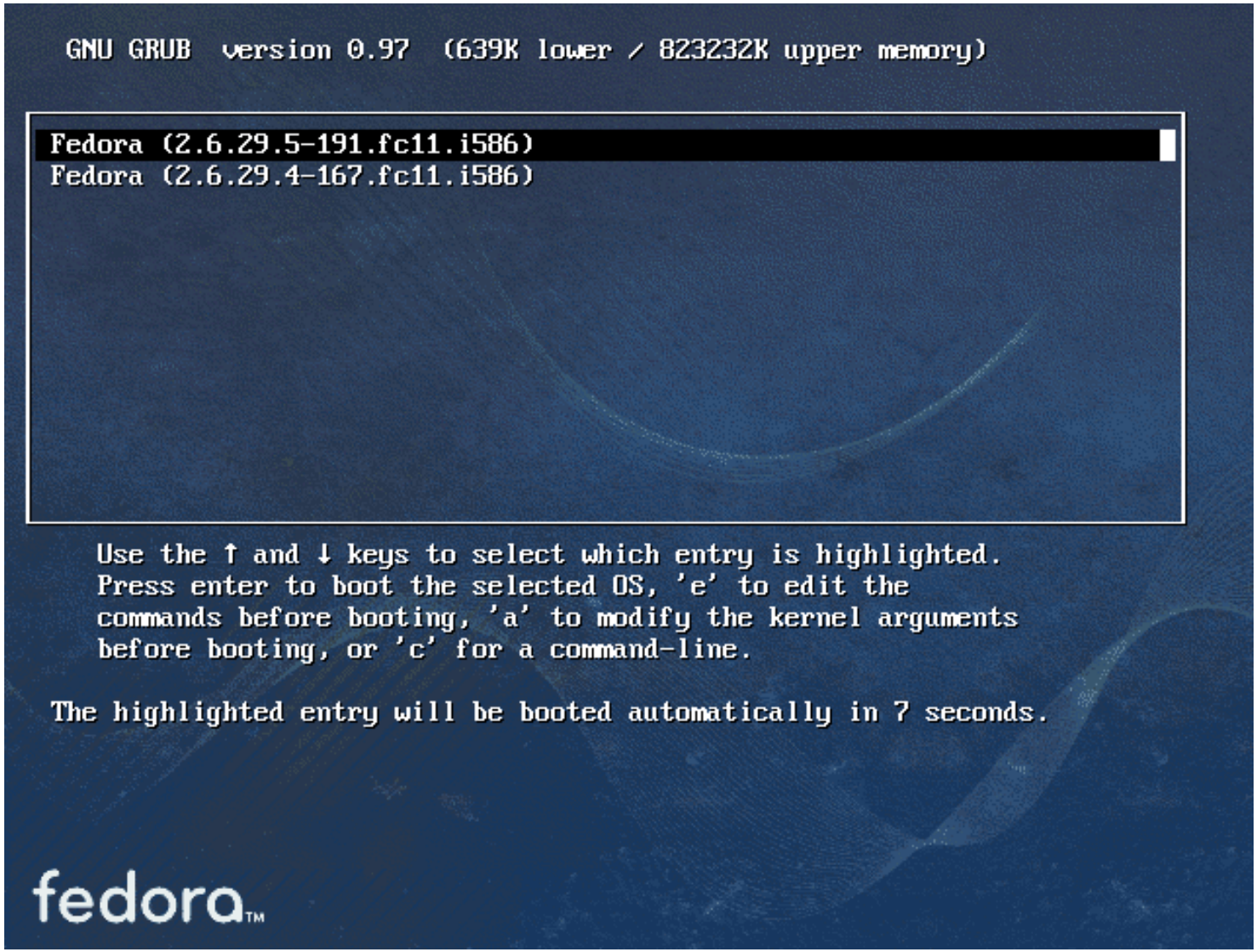
Struktura MBR

Adresa			Popis		Délka v bajtech
Hex	Oct	Dec			
0000	0000	0	Kód zavaděče		**440** (max 446)
01B8	0670	440	Volitelná signatura disku		4
01BC	0674	444	Obvykle nuly; 0x0000		2
01BE	0676	446	**Tabulka primárních oddílů** (4 položky po 16 bajtech, IBM schéma oddílů)		**64**
01FE	0776	510	55h	Signatura MBR; 0xAA55[1]	**2**
01FF	0777	511	AAh		
Celková délka MBR: 446 + 64 + 2 =					**512**

Příklad: Bootování Linuxu (IBM PC) - pokračování

- Spuštění zavadeče
  - Ve volitelné fázi 1.5 se zavede kód pro přístup k disku (BIOS nemusí plně umět).
  - Ve fázi 2 se zavede zbytek kódu zavaděče.
- Výběr OS a parametrů
  - GRUB je schopen pracovat s ext2, ext3, ext4 souborovými systémy
  - LILO souborové systémy nezná a pracuje s přímými adresami souborů na disku

Výběr OS - GRUB



Bootovaní Linuxu (IBM PC)

- Spuštění jádra
  - Z disku je přečten obraz jádra
  - Tento obraz se dekomprimuje
  - Provede se základní inicializace (např. tabulka stránek paměti)
  - Spustí se jádro (volá se funkce start_kernel())
- Jádro
  - Nastaví systém (ovladače přerušení, inicializace zařízení a ovladačů zařízení) a spustí plánovač.
  - Vytvoří proces Init (číslo procesu 1) – např. /sbin/init