

# MULTIMEDIÁLNÍ A HYPERMEDIÁLNÍ SYSTÉMY

11)  
Distribuce multimédií

Petr Lobaz, 12. 5. 2015

---

## HISTORICKÉ SOUVISLOSTI

---

### **PŮVODNÍ DISTRIBUCE OZVUČENÉHO FILMU**

- filmový pás + zvuk na externím nosiči (např. gramofonová deska nebo CD)
  - nutnost synchronizace
  - snadná možnost špatného spárování
  - snadná možnost distribuce filmu s jazykovými mutacemi zvuku
- filmový pás se zvukovou stopou
  - souběžný synchronní přenos
  - už v 50. letech se objevují filmové pásy s dvojitou zvukovou stopou (základní kvalita – optický záznam, vícekanálový zvuk – magnetický záznam)

---

## HISTORICKÉ SOUVISLOSTI

---

- situace navíc komplikovaná rozdělením filmu na několik cívek
  - nutnost dodržet předepsané pořadí promítání (playlist)
  - nutnost synchronního, nepozorovatelného napojení cívek při promítání
- prakticky stejné problémy se řeší ve světě digitálních multimédií
  - přenos mediálních dat
  - jejich synchronizace
  - jejich nepozorovatelné napojování

---

## HISTORICKÉ SOUVISLOSTI

---

### ŘEŠENÍ V ANALOGOVÉ TELEVIZI

- černobílá televize: souběžné televizní vysílání obrazové a zvukové stopy v odlišných frekvenčních pásmech
- barevná televize: zavedení dalšího frekvenčního pásma pro souběžné vysílání barvonosného (chrominančního) signálu
  - problém: jak zajistit, aby se tato pásma (tzv. *frekvenční multiplex*) navzájem nerušila
- řešení používané v satelitním přenosu: *časový multiplex* (soustavy MAC)
  - signály zvukové, jasové a barvonosné rozděleny na krátké úseky (pakety) odpovídající jedné řádce obrazu
  - rychlé střídavé vysílání postupně jeden paket za druhým
  - při dekódování složení paketů do potřebné podoby

---

# DIGITÁLNÍ MULTIMÉDIA

---

## ULOŽENÍ MULTIMEDIÁLNÍCH DAT

- obrazová a zvuková data zakódována do podoby elementárních proudů (*ES – elementary stream*)
  - kódování může (a nemusí) obsahovat techniky komprese dat
- požadavky na uložení/přenos při zajištění synchronizace ES jsou různé a protichůdné
  - obvykle se volí kompromis mezi univerzálností, snadností použití a hardwarové nezávislosti

---

# ZÁKLADNÍ PODOBY ULOŽENÍ

---

## ČASOVÝ MULTIPLEX

- obrazová a zvuková data z ES rozdělena do paketů
- střídavé ukládání do proudu multimediálních dat
- časově související data jsou uložena fyzicky blízko u sebe
- pakety opatřeny časovou známkou (timestamp)
  - zajištění synchronizace a odolnosti vůči výpadku paketu
- granularita (velikost paketů) závisí na velikosti vyrovnávacích pamětí vysílače/přijímače
- typická distribuční podoba – snadné přehrávání

---

## ZÁKLADNÍ PODOBY ULOŽENÍ

---

### PLAYLIST

- na datovém uložišti jsou uloženy jednotlivé ES
- každý ES opatřen obsahem (index)
  - informace, na jaké adrese začíná který snímek (případně struktura GOP atd.)
- multimediální data: předpis přehrávání jednotlivých ES, případně jejich částí (EDL – edit decision list)
  - předpisem se mívá pořadí a časování (synchronizace)
- výhodné pro střih a studiové zpracování
  - pracuje se jen se symbolickou informací
- výhodné pro skupinovou spolupráci na tvorbě videa
  - přenáší se jen symbolická informace (krátká)
  - samotné ES (objemné) jsou na společném uložišti

---

## KONTEJNEROVÁ STRUKTURA

---

- konkrétní způsob propojení elementárních proudů
  - implementace závislá na paměťovém médiu a požadované funkcionalitě
- typický obsah:
  - samotná data elementárních proudů, případně informace o jejich umístění
  - technická charakteristika obrazu (rozlišení, poměr stran, barevný prostor, ... + typ kódování)
  - technická charakteristika zvuku (vzorkovací frekvence, počet kanálů, ... + typ kódování)
  - netechnické informace k elementárním proudům (název televizního programu, jazyk zvukové stopy, ...)
  - synchronizační značky
  - data k interaktivní funkcionalitě

---

# MULTIMEDIÁLNÍ DATA

---

## ZÁKLADNÍ OPERACE

- kódování
  - kódování (příp. komprese) zvukových, obrazových aj. dat do podoby ES
  - skládání ES do kontejnerové struktury
- dekódování
  - výběr ES z kontejnerové struktury
  - dekódování (příp. dekomprese) zvukových, obrazových aj. dat

---

# MULTIMEDIÁLNÍ DATA

---

- transkódování
  - ideálně nevyžaduje dekódování a kódování ES (časově náročné, obvykle ztrátové)
  - změna charakteristik ES, např. redukce datového toku
  - přidání nebo ubrání ES v kontejnerové struktuře
  - převod na jinou kontejnerovou strukturu
  - plné dekódování a kódování ES se obvykle vyžaduje při změně obsahu ES nebo změně kódování (např. typu komprese) ES

---

## PAMĚŤOVÁ MÉDIA

---

- požadavky na kontejnerovou strukturu úzce souvisí s používaným paměťovým médiem

### **VYSÍLÁNÍ**

- např. televizní nebo rozhlasové
- de facto nejde o paměťové médium
  - fyzické uložení vysílaných dat nemusí existovat
  - přijímač i vysílač mají pouze krátké vyrovnávací paměti pro aktuálně přenášený obsah
- vysílač ani přijímač nemají možnost regulovat proud dat
- přirozené požadavky: konstantní datový tok, časový multiplex ES
- např. MPEG TS (distribuční kontejner pro televizní vysílání)

---

## PAMĚŤOVÁ MÉDIA

---

### **PÁSKOVÁ MÉDIA**

- možnost zastavení a převíjení pásky, případně přehrávání jinou rychlostí
- během přehrávání se obsah chová podobně jako při vysílání
  - nemožnost ovlivnit tok dat
- doba převíjení pásky dlouhá
  - ⇒ nemožnost náhodného přístupu
  - ⇒ obsah musí být na pásce přesně připraven v prezentační podobě
- např. DV, HDV (digitální páskový videozáznam)
- přirozené požadavky: konstantní datový tok, časový multiplex ES, při převíjení musí být dekodovatelná data o pozici na pásce, resp. náhledový obraz

---

## PAMĚŤOVÁ MÉDIA

---

### „LINEÁRNÍ“ DISKOVÁ MÉDIA

- přesuny čtecí/záznamové hlavy na disku celkem rychlé  
⇒ při dostatečně velké vyrovnávací paměti lze simulovat náhodný přístup k datům
- náhodný přístup využitý k interaktivitě
  - dělení pořadu na kapitoly
  - volitelné pořadí přehrávání
  - ...
- požadavky nejsou tak striktní jako u páskových médií
- obvykle časový multiplex ES + několik playlistů + mechanismus, jak mezi playlisty vybírat a přepínat
- např. Audio CD, DVD-Video

---

## PAMĚŤOVÁ MÉDIA

---

### SOUBOROVĚ ORIENTOVANÁ MÉDIA

- zajištěn rychlý náhodný přístup k datům
  - ⇒ data mohou být organizována podle smyslu do souborů a ne podle pořadí při záznamu/přehrávání
  - ⇒ data uvnitř souboru mohou být organizována implementačně nejpohodlnějším způsobem
- fyzická reprezentace může být různá (harddisk, paměťová karta, RAM, vzdálený přístup)
- požadavky se řídí konkrétní aplikací, omezeno jen rychlostí náhodného přístupu a velikostí vyrovnávacích pamětí
- např. MP4, MKV/WebM, MXF
- Blu-ray (distribuční i záznamová podoba) využívá prvky souborového i lineárního diskového média

---

## PRÁCE S MM DATY

---

- požadavky závisí i na způsobu používání multimediálních dat

### VYSÍLÁNÍ

- nepřerušovaný proud dat (*stream*)
- typicky televizní vysílání (*broadcast*), internetové vysílání
- musí umožňovat začátek dekódování „uprostřed proudu“ (pojem „začátek proudu“ de facto neexistuje)
- vyžadována odolnost vůči výpadku dat, chybě v přenosu
- v prostředí počítačové sítě vyžadováno řízení kvality, resp. datového toku
- často vyžadován přenos několika televizních programů v jednom proudu dat
- minimální požadavky na interaktivitu – přepínání mezi datovými proudy, zobrazení textových informací apod.

---

## PRÁCE S MM DATY

---

### VÝMĚNA DAT

- např. pro uložení hotového pořadu
- výsledek se využije pro tvorbu vysílací podoby, podoby pro Blu-ray, ...
- záznam by měl obsahovat jen data + informace, jak je dekódovat
- na strukturu kontejneru nejsou zvláštní požadavky

### PRACOVNÍ STUDIOVÝ FORMÁT

- založeno na playlistu, resp. EDL (edit decision list)
- obrazová a zvuková data mohou být uložena v samostatných ES, nebo v jiných pracovních studiových formátech



---

## PRÁCE S MM DATY

---

### **PRACOVNÍ FORMÁT K PŘÍPRAVĚ VYSÍLACÍ PODOBY**

- obsahuje jen data z hotového pořadu v časovém multiplexu „rozumné“ granularity
- formát připraven k snadné tvorbě různých distribučních podob (pro pozemní vysílání, internetové vysílání apod.)
- formát ideálně obsahuje jen návod, jak distribuční podobu připravit, aniž by transkodér musel rozumět detailům komprese obrazu a zvuku

### **PŘEHRÁVÁNÍ Z LOKÁLNÍHO ULOŽIŠTĚ**

- typicky vyžadován náhodný přístup, strukturovaný přístup (dělení na kapitoly), interaktivita

---

## UKÁZKA KONTEJNERU

---

- moderní kontejnerové struktury jsou často navrženy tak, aby umožňovaly různá využití
  - jejich vnitřní organizace se ale podle způsobu využití liší

### **ZÁKLADNÍ NAIVNÍ KONTEJNER**

- příklad vychází z kontejnerové struktury AVI
- příklad slouží k ukázce různých myšlenek a pastí v návrhu kontejnerové struktury
- data organizována v hierarchické struktuře „krabiček“
- „krabička“: (délka v bytech), (typ krabičky), (data krabičky)
- podle typu „krabičky“ mohou data obsahovat další „krabičky“ nebo neorganizovanou sekvenci bytů

---

## UKÁZKA KONTEJNERU

---

[ záhlaví  
  délka videa  
  počet ES  
  [ informace o ES1: obraz  
    barevný prostor, poměr stran, snímková frekvence  
    typ kódování (komprese) ]  
  [ informace o ES2: zvuk  
    počet kanálů, vzorkovací frekvence, počet bitů na vzorek  
    typ kódování ]  
  [ informace o ES3: alternativní zvuk ... ]  
  ... ]  
[ obsah  
  [ data ES1 (obraz) snímku 1 ]  
  [ data ES2 (zvuk) snímku 1 ]  
  [ data ES3 (alternativní zvuk) snímku 1 ]  
  ...  
  [ data ES1 (obraz) snímku 2 ]  
  [ data ES2 (zvuk) snímku 2 ]  
  ...]  
[index pozic v souboru  
  pozice začátku snímku 1  
  pozice začátku snímku 2  
  ...]

---

## UKÁZKA KONTEJNERU

---

### VÝHODNÉ VLASTNOSTI

- jednoduchost
- hodí se pro lokální přehrávání videa s jednoduše kódovanými ES
- pro jednoduché jednoúčelové použití je návrh v pořádku, problémy začne klást při používání nad rámec původního záměru

---

## UKÁZKA KONTEJNERU

---

### NEVÝHODNÉ VLASTNOSTI

- pro dekódování je nutné znát záhlaví  
⇒ nehodí se pro vysílání
- při poškození záhlaví je zbytek souboru nedekódovatelný
- jednotlivé ES musí mít stejnou délku  
⇒ nehodí se pro pracovní formát
- data obrazového ES musí být uložena v pořadí přehrávání  
⇒ nehodí se pro komprese se složitější strukturou GOP
- data zvukových ES musí být dělitelná na časové úseky odpovídající jednomu snímku ⇒ nehodí se pro komprese zvuku pracující s většími bloky vzorků
- umožňuje pouze pevnou snímkovou frekvenci ⇒ nehodí se např. pro záznamy přednášek („komentovaný powerpoint“), kodéry reagující na opakující se snímky ve videu apod.

---

## SYNCHRONIZAČNÍ STRUKTURA

---

- základ všech kontejnerů
- elementární proud rozdělen na bloky (pakety), každý má:
  - prezentační časovou známku (PTS – presentation time stamp): kdy se má blok začít zobrazovat
  - dekódovací časovou známku (DTS – decoding time stamp): kdy má dekodér začít s dekódováním bloku
- umožňuje, aby dekodér nemusel o ničem rozhodovat, ale jen vykonával předepsanou posloupnost činností (např. rozhodování o přehazování snímků v GOP může být komplikované)
- struktura bloků obecně nesouvisí se strukturou snímků (blok může obsahovat část dat pro snímek, data jednoho nebo více snímků)

---

## SYNCHRONIZAČNÍ STRUKTURA

---

- časové známky se nemusí objevovat u každého bloku
  - snižuje množství nadbytečně přenášených dat
  - vyžaduje složitější dekodér
  - pokud blok obsahuje více snímků, vztahují se časové známky k prvnímu
  - pokud blok obsahuje jen část dat snímku, časové známky chybí
  - chybějící časové známky se odvozují např. z konstantní snímkové frekvence
- v klasickém vysílání (pozemním, satelitním) je nutné zařídit stejnou rychlost hodin vysílače a přijímače
  - v proudu dat další synchronizační značky, přijímač podle nich doladuje rychlost interních hodin

---

## SYNCHRONIZAČNÍ STRUKTURA

---

- časové známky musí být kvůli přesnosti založeny na celých číslech
  - typicky se specifikuje časová báze (např. 27 MHz)
  - časové známky se udávají vzhledem k časové bázi
  - každý elementární proud má typicky svou vlastní časovou bázi
  - pro omezené pořady stačí reprezentace celým číslem
  - musí se vyřešit, jak časové známky reprezentovat při nepřetržitém vysílání (obvyklá zkratka: 24/7)
- bloky se označují identifikačním číslem, v každém bloku vyšší o 1
  - umožňuje kontrolu výpadku bloku
- takto upravený elementární proud: **PES** (packetized ES)

---

## MPEG-2 PS (PROGRAM STREAM)

---

- hodí se pro bezporuchová prostředí
- typicky kódování jednoho programu (obrazové + zvukové stopy)
- není zamýšlený pro přímou distribuci
- rozdělen do svazků (pack): záhlaví + několik PES paketů
  - PES pakety ve svazku mají typicky podobné časové známky ⇒ časový multiplex
- kromě svazků se průběžně objevují:
  - záhlaví proudu: definuje parametry časování
  - deskriptory programu: např. typ komprese
  - tyto průběžné informace umožňují začít dekódovat proud dat víceméně odkudkoliv

---

## DVD-VIDEO

---

- založeno na MPEG-2 Program stream
  - multimediální data uložena v souborech \*.VOB (video object) – MPEG-2 PS
  - zásadní informace o jejich obsahu (např. snímková frekvence, poměr stran apod.) uloženy v souborech \*.IFO
- VOB obsahuje
  - obrazové stopy
  - související zvukové stopy
  - statické obrázky s časovými známkami – titulky
  - příkazy jednoduchého programovacího jazyka

---

## DVD-VIDEO

---

- příkazy specifikují, jak má probíhat přehrávání
  - nejčastějším příkazem je skok na jistou část VOB
  - skoky mohou být podmíněné obsahem vnitřních proměnných
  - programovací jazyk dále definuje, jak vnitřní proměnné nastavovat
- ⇒ de facto algoritmicky generovaný playlist – program chain (PGC)
- pomocí různých PGC se definuje
  - interaktivní chování menu disku
  - uživatelský výběr zvukové stopy, titulkové sady apod.
  - přehrávání alternativních verzí filmu
  - ...

---

## MPEG-2 TS (TRANSPORT STREAM)

---

- navržen pro nespolehlivá prostředí
- primární účel: vysílání televizního signálu
- používán i jako kontejner v kamerách nebo součást složitějších systémů (Blu-ray)
- rozdělen do krátkých paketů stejné délky (188 bytů)
- do paketů se v časovém multiplexu ukládají
  - samostatné PES
  - hotové MPEG-2 PS
  - hotové MPEG-2 TS (na jejich složení platí stejná pravidla)
- v záhlaví paketu uložen identifikátor, ke kterému proudu paket patří
  - pakety se speciálním identifikátorem 0 přenášejí sdužovací tabulku (PAT – program association table)
  - sdužovací tabulka určuje, které proudy patří k sobě

---

## BLU-RAY

---

- struktura původně navržena pro záznam obrazu  
⇒ založeno na MPEG-2 TS
  - samotná AV data uložena v souborech \*.m2ts
- kvůli snadné editaci založena na playlistech
  - playlisty uloženy v samostatných souborech \*.mpls
  - informace o TS v samostatných souborech \*.clpi
- playlisty je možné (podobně jako na PGC na DVD) „vytvářet“ algoritmicky
- díky oddělené struktuře playlist / AV obsah je možné kombinovat AV data, která nejsou multiplexovaná
  - titulky mohou být v samostatném souboru
  - rychlost obrazu a zvuku se mohou lišit (např. interaktivní prohlížení obrazové galerie může být s asynchronním zvukovým doprovodem)

---

## MPEG-4 PART 12

---

- ISO Base Media File Format
- odstraňuje nevýhodu předchozích přístupů:  
ES musel být převeden na pakety (PES)
- vychází z kontejneru QuickTime,  
od něj je odvozen např. MP4, Flash Video (F4V)
- struktura podobná „základnímu naivnímu kontejneru“,  
ale s podstatnými rozdíly
- soubor složen z „krabiček“ (box)
  - jejich pořadí není pevně dané (!)
- box může obsahovat neorganizovaná data a/nebo další boxy
- data ES mohou být uložena kdekoliv (!)  
(v rámci jednoho souboru v boxech typu „mdat“,  
v externích souborech, na síti, ...)

---

## MPEG-4 PART 12

---

- box typu „trak“ rozděluje data ES pomocí indexů na „vzorky“ (několik snímků, část zvuku apod.)
  - každému „vzorku“ specifikuje časové známky PTS a DTS
  - ES tím pádem mohou zůstat v původní podobě
  - pokud je to vhodné, mohou být ES libovolně multiplexovány do sebe
- box typu „hint“ obsahuje podrobný návod, jak vytvořit podobu AV dat vhodnou k vysílání (streamování)
  - v jednom souboru může být víc hint boxů (např. jeden pro tvorbu MPEG TS, další pro MPEG PS atd.)

---

## MATROSKA (MKV)

---

- kontejner především určený pro lokální přehrávání
- díky vnitřnímu uspořádání snadný převod do vysílací (streamovací) podoby
  - ⇒ z MKV odvozen formát WebM pro internetové video
- hierarchická struktura založená na XML
  - ⇒ velmi volné konkrétní pořadí elementů



---

## INTERNETOVÁ DISTRIBUCE MM

---

- příprava kontejneru vhodného k lokálnímu přehrávání + stažení souboru
  - např. iTunes, knihovny filmů apod.
- příprava kontejneru vhodného k streamování + použití speciálního síťového protokolu
  - často použity protokoly RTP (přenos dat) + RTCP (řízení toku dat)
  - upřednostňuje se co nejrychlejší doručení síťového paketu před spolehlivostí doručení
  - vhodné pro přímé přenosy i přehrání z archivu (media on demand)

---

## INTERNETOVÁ DISTRIBUCE MM

---

- progresivní stahování
  - rozdělení obsahu na krátké kousky (např. 5 s)
  - kousky uloženy do kontejnerů vhodných k lokálnímu přehrávání
  - příprava playlistu složeného z kousků
  - stažení playlistu, průběžné stahování kousků
  - jednotlivé kousky mohou být připraveny v různé kvalitě, při stahování dalšího kousku automatický výběr kvality podle aktuálního stavu síťového připojení
  - dá se použít i pro přímý přenos: ke stažení k dispozici několik kousků, playlist se průběžně obnovuje
  - pro stahování se dá použít i http protokol (viz např. standard MPEG-DASH)

---

## INTERNETOVÁ DISTRIBUCE MM

---

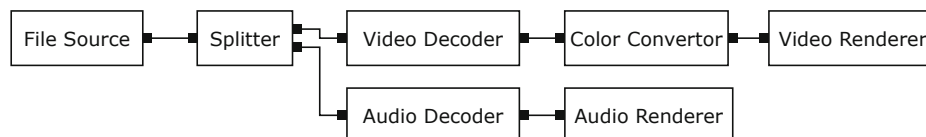
- obvykle je distribuce doplněna generováním náhledových obrázků (thumbnails) pro usnadnění náhodného přístupu do videa
- distribuce obvykle probíhá přes Content Delivery Network (CDN)
  - data duplikována na mnoha serverech
  - při požadavku na sledování multimediálního obsahu se automaticky vybere nejdostupnější server
- technická podoba se volí s ohledem na typ distribuce
  - 1:1 (jeden vysílač, jeden přijímač) – např. telefonie
  - 1:N – např. internetová televize
  - M:N – např. videokonference
  - technická podoba musí zejména řešit minimalizaci síťového provozu a synchronizaci mezi účastníky

---

## POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

- obvykle založeno na představě modulů předávajících si obsah
- moduly se skládají do grafů



---

## POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

- modul poskytuje standardní funkce typu přijmiData(), odešliData() a interní zpracujData()
- propojení filtrů A→B
  - de facto funkce A.odešliData() volá B.přijmiData() (metoda push)
  - nebo funkce B.přijmiData() volá A.odešliData() (metoda pull)
  - proces propojení filtrů: A, resp. B se dozví adresu funkce, kterou má volat
  - proces předávání dat je mírně složitější zařazením vyrovnávacích pamětí, ale princip zůstává

---

## POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

- jednotlivé moduly a mechanismus skládání grafů poskytuje operační systém nebo externí knihovny
  - Windows: aktuálně Microsoft Media Foundation, stále se lze setkat s DirectShow, Video for Windows
  - MacOS: QuickTime
  - externí knihovny: např. libavcodec (typicky na Linuxu)

---

# POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

## TYPICKÉ MODULY

- hlavní charakteristikou je počet vstupů a výstupů do grafu
- datové vstupy: ze souboru, ze síťového připojení, z externího zařízení, ...
- datové výstupy
- splitter (demuxery, demultiplexory): rozdělení kontejnerové struktury na elementární proudy
- muxery (multiplexory): skládání kontejnerové struktury z elementárních proudů
- dekodéry: dekódování (dekomprese) elementárních proudů
- kodéry: kódování (komprese) elementárních proudů

---

# POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

- konvertory: např. konverze barevného prostoru, počtu zvukových kanálů, ...
- mixážní filtry: kombinace několika proudů do jednoho
- replikátory: umožňují rozvětvit proud dat (připojení několika modulů na jeden výstup jiného modulu)
- renderery: koncové moduly zobrazující dekódovaný obsah (vykreslení obrazu, přehrání vzorků zvuku, ...)

---

## POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

- data se postupně umísťují do bloků paměti
  - blok se samostatným významem: událost
  - událost opatřena časovými známkami
  - je-li to možné, předávají si moduly pouze symbolické odkazy na události (např. předání dat mezi splitterem a dekodérem)
  - je-li třeba data události výrazně změnit (např. před dekódováním a po něm), vytváří modul novou událost a tu posílá symbolicky dál

---

## POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

- celý graf musí být synchronizován jedněmi hodinami
  - generování časové známky pro aktuální stav všech modulů grafu
  - často se odvozují z audio rendereru
- datový tok obvykle řízen výstupními moduly (metoda pull)
  - renderer chce v čase  $T$  zobrazit snímek
  - pokud nemá k dispozici data, požádá o ně předchozí modul
  - ...
- moduly typicky disponují vyrovnávací pamětí
  - kromě aktuálně zpracovávané události mají ve vyrovnávací paměti jednu nebo několik dalších
  - tok dat grafem se musí řídit tak, aby nedocházelo k přetečení ani podtečení vyrovnávacích pamětí

---

# POČÍTAČOVÉ ZPRACOVÁNÍ MM

---

## **TVORBA GRAFU MODULŮ**

- ručně: podle programátorových požadavků
- poloautomaticky: programátor pouze specifikuje počáteční a koncový modul
- automaticky: podle připravených šablon, např. „vstup ze souboru, výstup na obrazovku a zvukovou kartu“
- automatické propojování modulů A, B:
  - vstupy a výstupy modulů jsou označeny typem dat (např. nekomprimovaná obrazová data ve formátu YUY2)
  - pokud je typ výstupu A shodný se vstupem B, lze moduly propojit
  - pokud je vstup → výstup nekompatibilní, hledá se sekvence konverzních modulů mezi dostupnými moduly