

# Mechanismy přenosu digitální komunikace

# O čem přednáška je?

2

- děje a mechanismy implementované na fyzické vrstvě
- synchronní a asynchronní přenosy
- multiplexování
- digitální hierarchie PDH a SDH

# Synchronní a asynchronní přenosy

3

- digitální data jsou přenášena sériovým proudem bitů
- problém synchronizace času
  - ▣ přijímající strana musí být synchronizována s vysílající z hlediska vymezení časových intervalů
  - ▣ při 10 Mb/s je bitový interval  $0,1\mu\text{s}$
  - ▣ drift přijímače 1% tj. 10ns/bit posouvá střed bitového intervalu po 50 bitech na jeho okraj
- 2 řešení ztráty synchronnosti
  - ▣ synchronní přenos
  - ▣ asynchronní přenos

# Asynchronní přenos

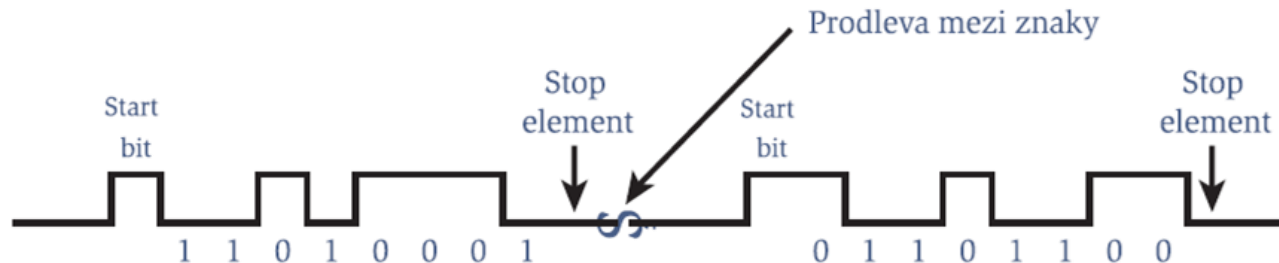
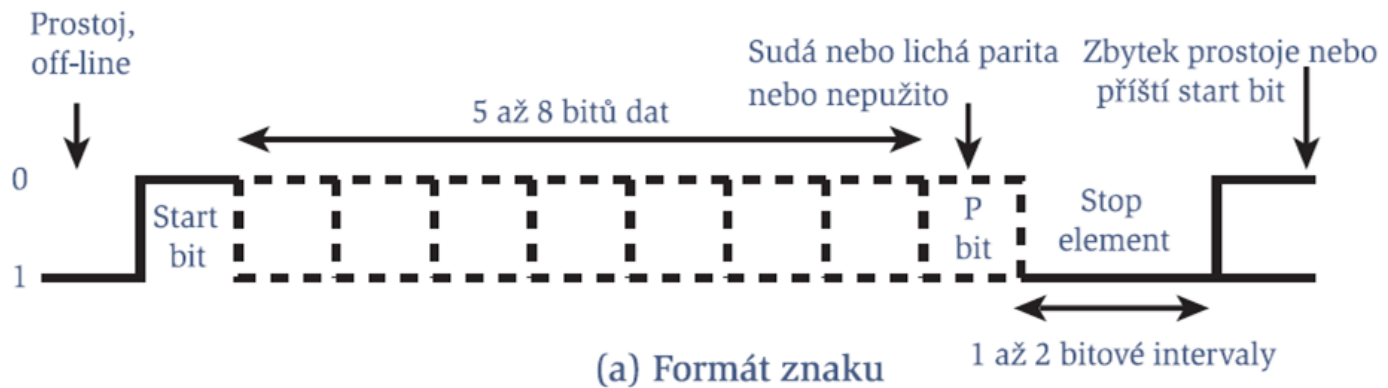
4

- data se vysílají po **znacích** (5, 7, 8 bitů)
- synchronizace se zajišťuje pouze na začátku přenosu, po dobu přenosu znaku se udrží
  - ▣ mezi znaky se vkládají **synchronizační značky**
  - ▣ pokud přijímač nepřijímá znak, vyhledává přechod 1 → 0
  - ▣ jakmile ho rozpozná, vzorkuje signál po dobu 5,7,8 bitů
  - ▣ pak vyhledává přechod 1 → 0
- jednoduché a levné řešení, typicky desítky kb/s
- na přenos 1 znaku přidá cca 20% režijního času
  - ▣ efektivní pouze při „řídkém“ přenosu dat např. z klávesnice

# Asynchronní přenos, 2

5

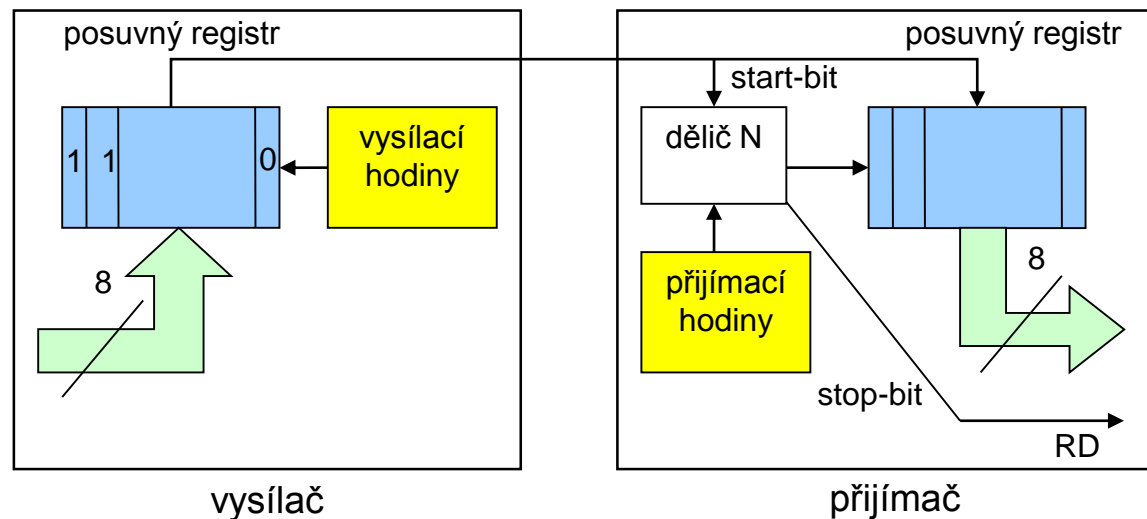
- je definována minimální délka **stop bitu** – 1 nebo 1,5 nebo 2 bity
  - ▣ není definována maximální délka stop bitu



# Udržování znakové synchronizace

6

- vzorkovací frekvence přijímače  $v_{vz} = 16 * v_p$
- po příjmu start bitu se počítá 8 taktů a pak se každých 16 taktů vzorkuje signál
- po N bitech (posuvný registr je plný) se vygeneruje signál RD (data ready)



# Udržování rámcové synchronizace

7

- data se vysílají po částech – **rámce**
  - ▣ důvod – chybové řízení, protokolové řízení, ...
- vymezení rámců při asynchronním přenosu – **STX/ETX**
  - ▣ řídicí znaky v abecedě (ASCII, UNICODE, ...)
- jedinečnost hranic bloků – vkládání **DLE** (Byte Stuffing)
  - ▣ **STX/ETX** se nevyskytují v datech
  - ▣ pokud se vyskytnou, jako hranice rámců se vysílá dvojice **DLE STX/DLE ETX**
  - ▣ pokud se v datech vysílá znak **DLE**, nahradí se dvojicí **DLE DLE**

# Synchronní přenos

8

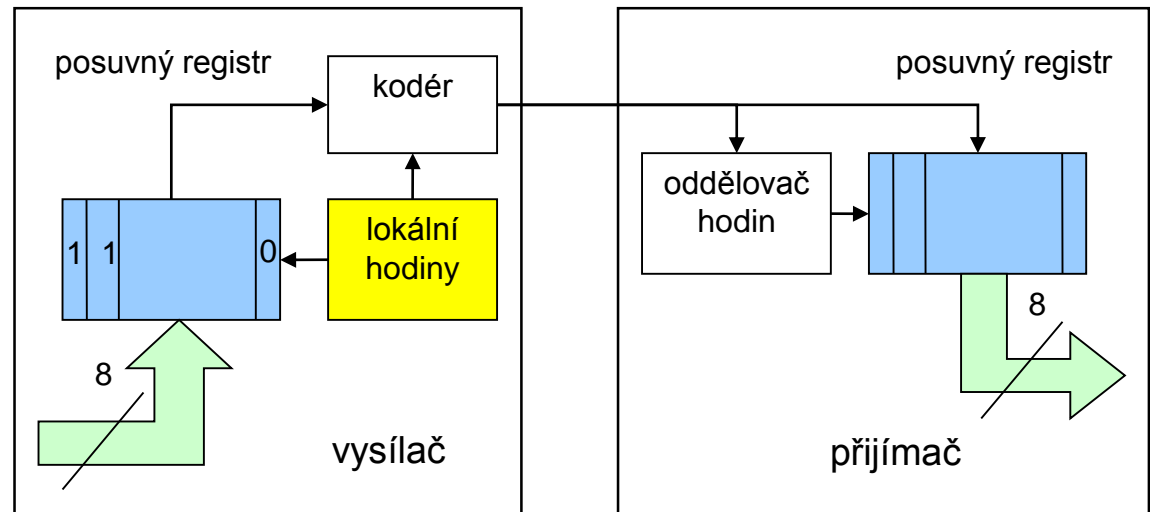
- data se přenáší bez start a stop bitů
- hodiny vysílače a přijímače musí běžet synchronně
- **samostatný časovací signál** – zřídka
- **odvozování časování od dat**
  - ▣ příjemce si seřizuje hodiny podle přicházejících dat
  - ▣ nesmí se vyskytovat dlouhé úseky beze změn
- **scrambler** – vkládání pseudonáhodných posloupností
  - ▣ sloučení dat a časování – nejčastěji
  - ▣ vhodným kódováním se „smíchají“ data a hodiny



# Kódování hodin a jejich extrakce

9

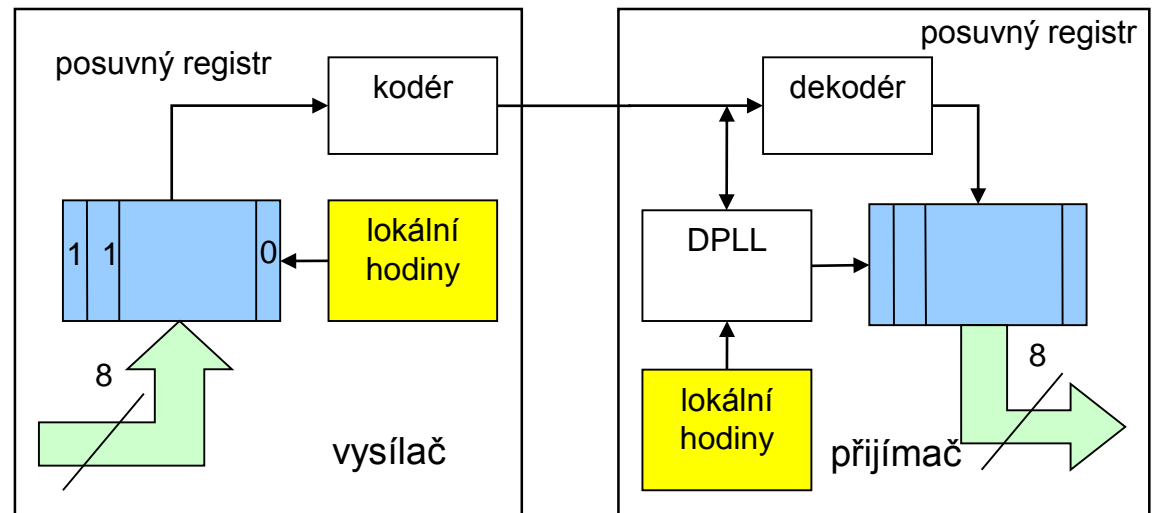
- použití třístavového kódování
  - ▣ např. bipolární kódování RZ, každý bitový interval obsahuje hodinový signál
  - ▣ jednoduchý kodér a dekodér



# Digitální fázový záměr

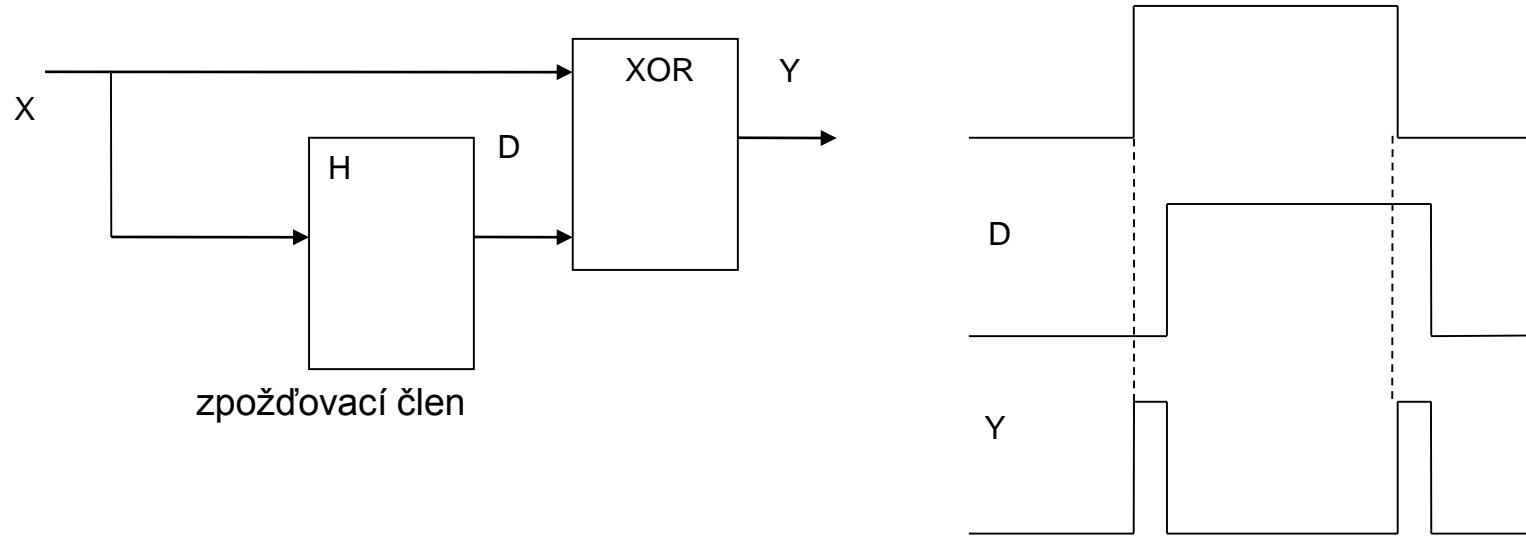
10

- digitální fázový záměr – DPLL
- můžeme použít pouze dvoustavové kódování
- detekce změn signálu i seřizování hodin



# Digitální fázový závěs, detekce změn

11

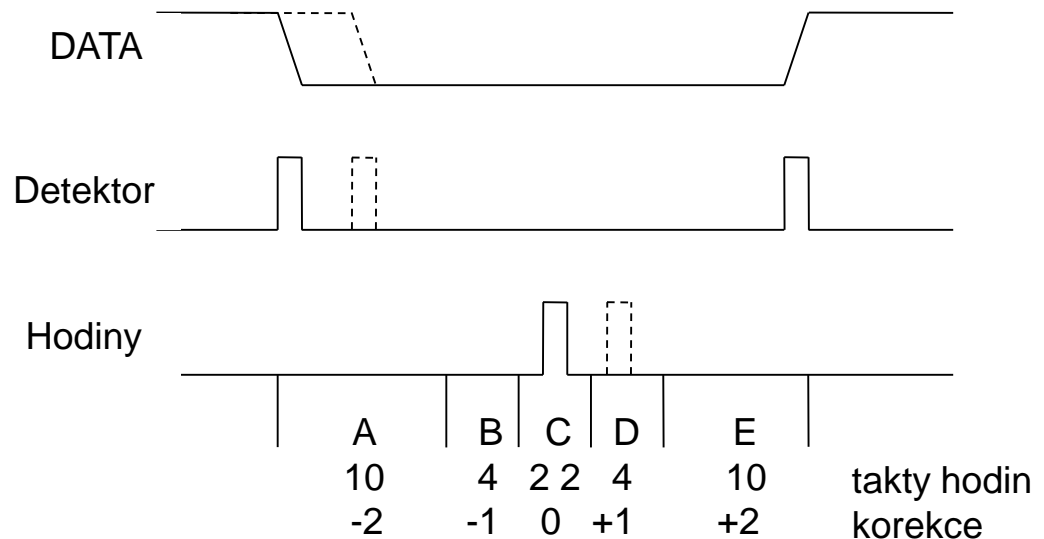


# Digitální fázový závěs, seřizování hodin

12

- hodiny přijímače běží 32x rychleji než hodiny vysílače
  - vzorkovací puls každých 32 taktů, porovnává se s odstupem od předchozího
  - nedetekuje-li detektor žádnou změnu, hodiny běží dál – korekce pouze při detekci změny
  - korekce jsou malé kvůli hysterezi, aby se DPLL nerozkmital

v nejhorším případě se  
hodiny seřídí po 10 změnách  
5x2 – A, 4x1 – B, 1 - C  
⇒ stačí 2 synchronizační byty  
(16 bitů)



# Udržování rámcové synchronizace

13

- např. v HDLC se před rámeček vkládá příznak **01111110**
  - ▣ jedinečnost příznaku se zajišťuje při vysílání vkládáním 0 po pěti 1 v poli dat (Bit Stuffing)
  - ▣ při příjmu se jedna 0 vyskytující se po pěti 1 vynechává
  - ▣ přijetí příznaku indikuje konec rámce
  - ▣ příznak se vysílá i mimo rámce – synchronizace
- synchronní přenos je efektivnější
  - ▣ např. v HDLC 2 příznaky + řídicí pole = 6 oktetů
  - ▣ typické datové pole 1000 oktetů tj. režie je 0,6%

# Techniky multiplexování

14

- týkají se toho, jak jednu přenosovou cestu rozdělit na více přenosových kanálů
  - ▣ jak po jedné cestě přenášet více věcí nezávisle na sobě
  - ▣ například více telefonních hovorů nebo data z různých zdrojů, pro různé příjemce
- pro různé účely a přenosové cesty jsou vhodné různé techniky tzv. **multiplexování**
  - ▣ analogové techniky – FDM, WDM
  - ▣ digitální techniky – TDM
  - ▣ deterministické a statistické formy multiplexu

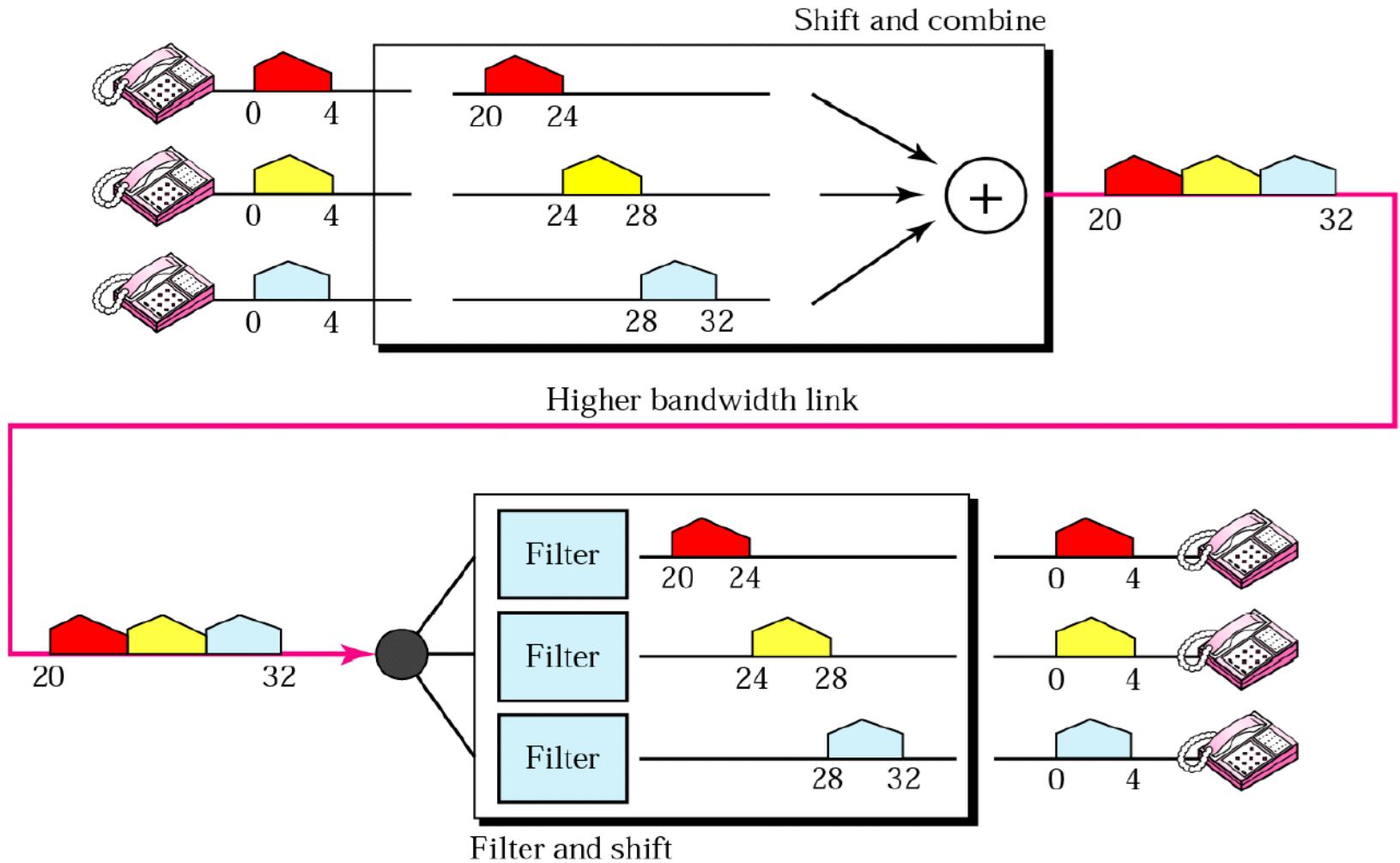
# Frekvenční multiplexace, FDM

15

- analogová technika – používala se v analogových sítích
  - ▣ jednotlivé vstupy se „posunou“ do různých frekvenčních poloh a pak se sloučí do jednoho výsledného signálu o větší šířce pásma
- náročná na realizaci – frekvenční posun signálu
- neefektivní – velká „režie“ na vzájemné oddělení signálů
- dnes se používá např. pro rozdělení „širších“ frekvenčních pásem na užší kanály – GSM, ADSL

# FDM, využití pásem

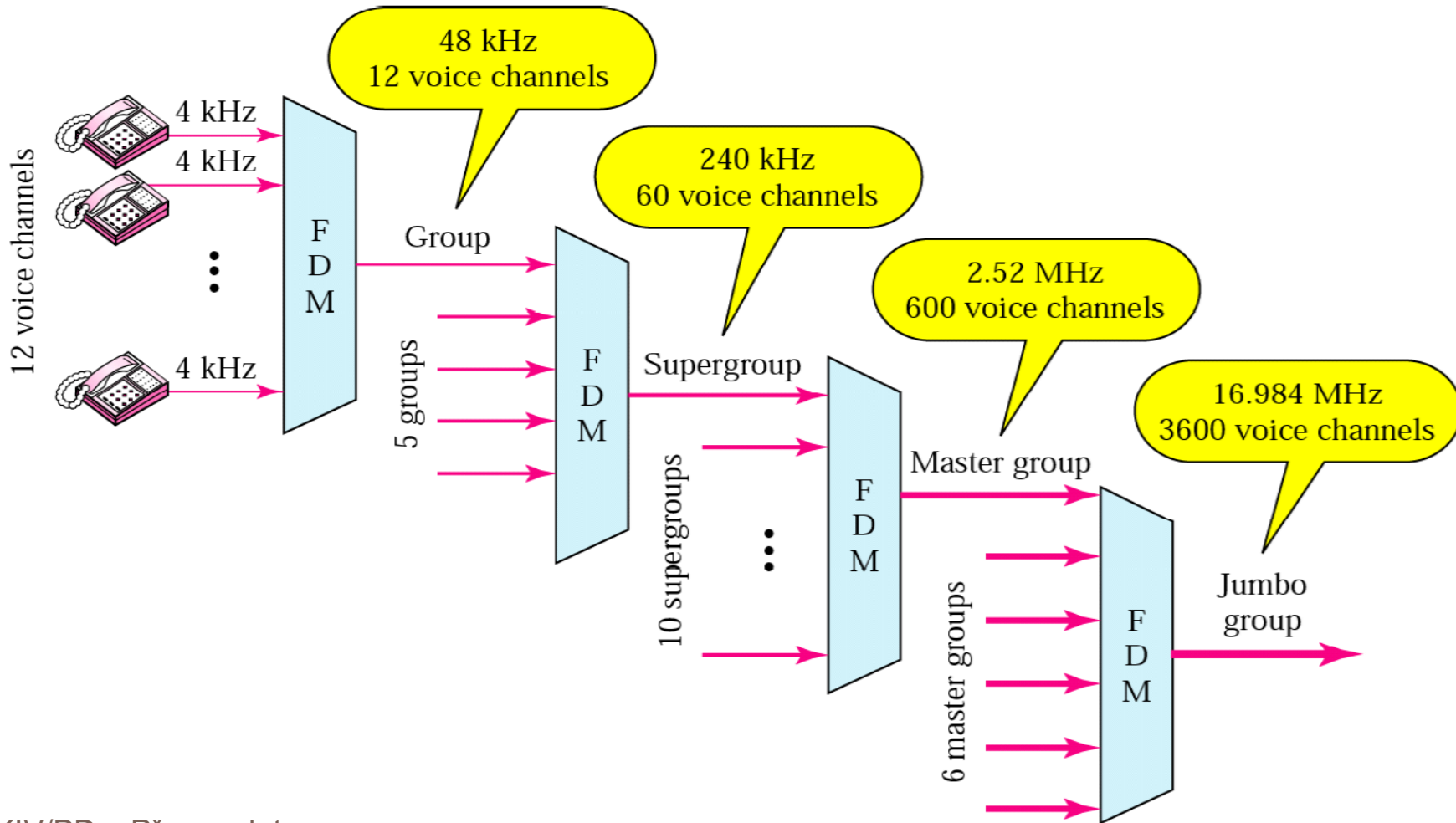
16





# FDM, příklad multiplexace telefonních kanálů

17



# Hierarchie analogového multiplexu

18

- 12 individuálních hlasových kanálů → **group**,  
 $12 \times 4\text{kHz} = 48\text{kHz}$
- 5 group → **supergroup**,  $5 \times 48\text{kHz} = 240\text{kHz}$   
60 hovorů jedním spojem současně
- 10 supergroup → **mastergroup**,  $10 \times 240\text{kHz} = 2,52\text{MHz}$   
600 hovorů jedním spojem současně
- 10 mastergroup → **jumbogroup**,  $10 \times 2,52\text{MHz} = 25,2\text{MHz}$   
3600 hovorů jedním spojem současně

# Vlnová multiplexace, WDM

19

- jistá forma FDM
- použití více světelných paprsků na různých frekvencích
  - ▣ určeno pro přenos optickými vlákny
  - ▣ každá barva reprezentuje 1 kanál
- 1997 Bell Labs
  - ▣ 100 paprsků
  - ▣ každý přenáší 10 Gb/s
  - ▣ výsledek 1 Tb/s
- komerčně dostupné systémy se 160 kanály po 10 Gb/s
- laboratorně  $256 \times 39,8 \text{ Gb/s} = 10,1 \text{ Tb/s}$

# Typy WDM

20

- Je založeno na vysílání optického záření na několika různých vlnových délkách po témže optickém vlákně
- Každá vlnová délka ponese namodulovaný jiný elektrický signál
- V principu je paralelou frekvenčního dělení pro optický signál
  - ▣ husté vlnové dělení **DWDM** (Dense WDM) s rozestupy optických nosných pod 1 nm
  - ▣ hrubé vlnové dělení **CWDM** (Coarse WDM) s rozestupy optických nosných nad 10 nm
  - ▣ **více v přednášce WDM technologie**

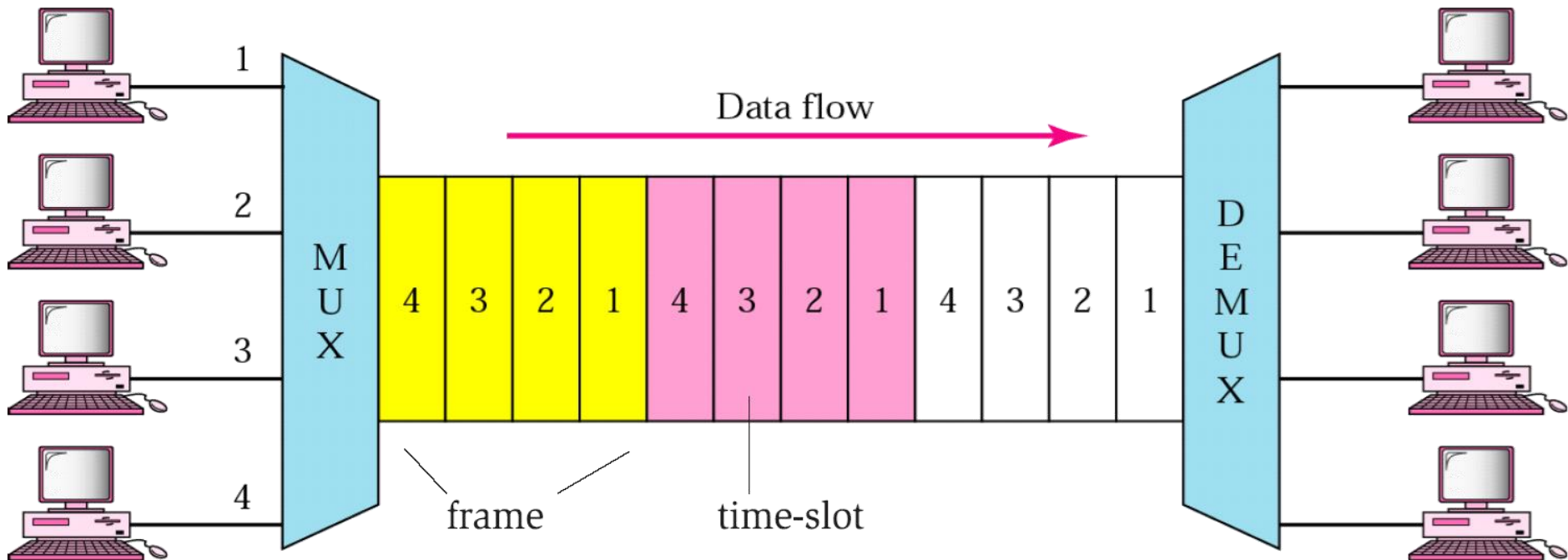
# Časová multiplexace, TDM

21

- přenosová cesta se rozdělí v čase na „časová okna“ (sloty) a ty se napevno přiřadí jednotlivým vstupům
  - ▣ během každého slotu se veškerá šířka pásma věnuje danému vstupu
- celková přenosová kapacita se dělí v poměru rozdělení slotů
  - ▣ rozdělení slotů nemusí být rovnoměrné
- rozdělení slotů mezi vstupy je pevné a je dáno předem
  - ▣ data nemusí být označena žádným identifikátorem
  - ▣ každý vstup má pevně přiřazenou kapacitu
  - ▣ pokud ji nevyužije, nemůže být přenechána někomu jinému
- režie časového multiplexu je malá
  - ▣ významné je druhotná rezie z nevyužitých slotů

# Časová multiplexace, TDM

22



# Techniky TDM

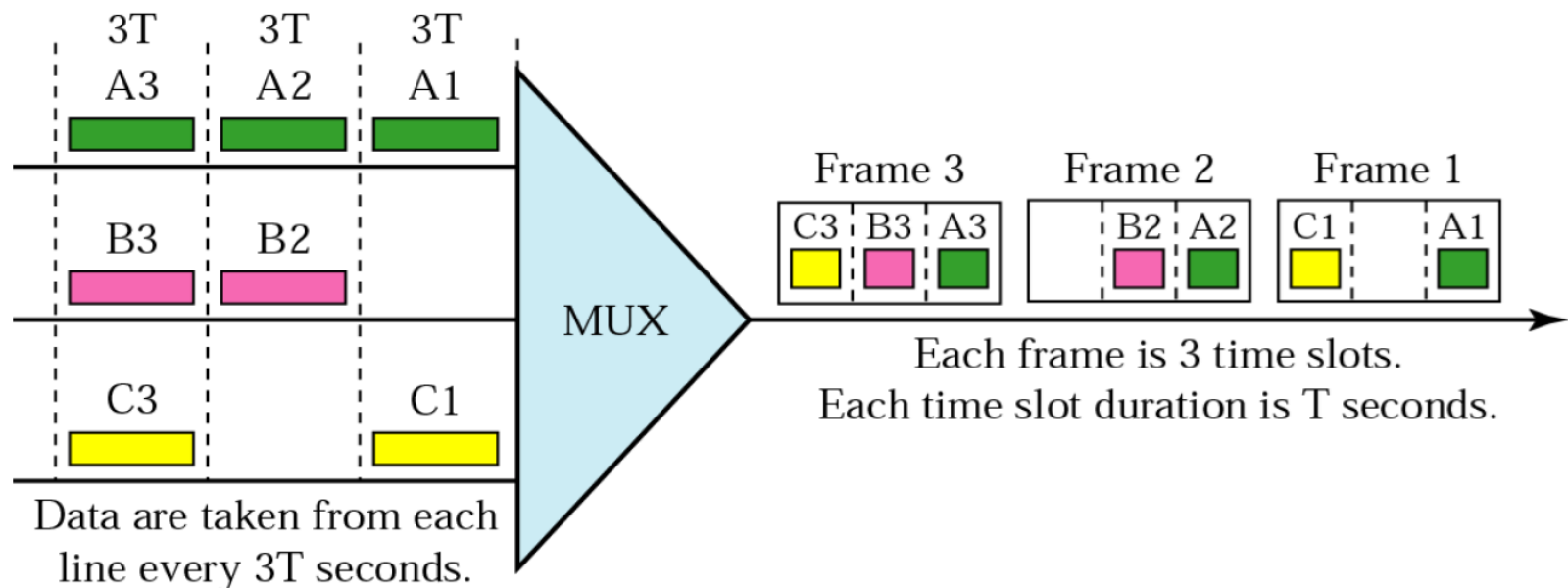
23

- dosažitelná rychlost přenosu dat v médiu musí být větší než požadovaná rychlost přenosu dat daného kanálu
- **časový díl**, time-slot – prostor na prokládání kanálů
- **rámec**, frame – periodické opakování skladby časových dílů
- **synchronní TDM**, TDM – kanály mají časové díly přidělené staticky
  - ▣ jeden cyklus přenosu všech časových dílů všech kanálů – TDM rámec
- **statistický TDM**, STDM – kanály soupeří o časové díly
  - ▣ data jednotlivých kanálů se přechovávají ve vyrovnávacích pamětech

# TDM rámce

24

- datová rychlost spoje je  $n$ -krát vyšší než datová rychlost kanálu
- tatáž datová jednotka se musí spojem přenést za  $n$ -krát kratší dobu než kanálem



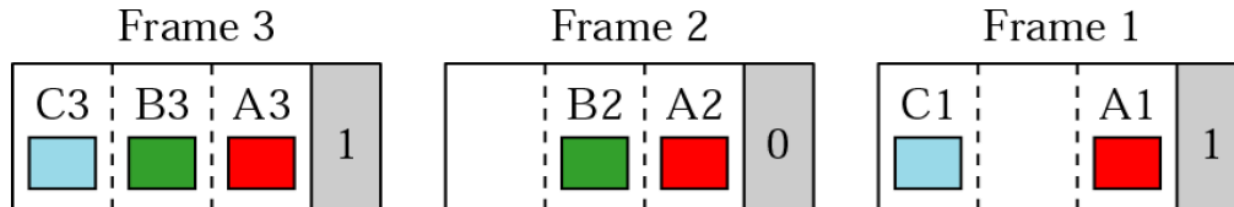


# Synchronizace TDM

25

- ztráta synchronizace vysílače a přijímače způsobí nesprávný demultiplexing
- do rámců se přidávají **synchronizační bity**, framing bits
  - ▣ hodnota synchronizačních bitů musí vyhovovat definovanému vzorku
  - ▣ nerozpoznání vzorku = indikace ztráty synchronizace

Synchronization pattern



# Multiplexování zdrojů s odlišnými rychlostmi

26

- rychlosti **jsou** násobky nejnižší rychlosti
  - ▣ jednotlivým zdrojům se přidělují různé počty časových dílů v rámci
- rychlosti **nejsou** násobky nejnižší rychlosti
  - ▣ multiplexor přidává režijní bity (**bit padding**) k přenášeným bitům v počtu, kterým se dosáhne celočíselného poměru rychlostí

# Hierarchie TDM

27

- prvotním cílem je přenos více signálů (původně hlasových) na velké vzdálenosti vysoce kapacitními médii (optika)
- bázová princip – kaskádní kombinace synchronních TDM
- princip hierarchie
  - $n$  TDM kanálů úrovně  $i$  s rámci o  $x$  časových dílech se slučuje do kanálu úrovně  $i+1$
  - rámce TDM kanálu úrovně  $i+1$  mají  $n.x$  časových dílů
  - počet rámců přenesených za jednotku času je v celé hierarchii shodný
- Americko (Japonsko) – Evropský dualismus
  - USA, Kanada, Japonsko – **Digital Carrier Systems**, DS- $i$
  - Evropa, ITU-T – **E-System**

# Digitalizace lidského hlasu

28

- při telefonním hovoru přenášíme frekvence 300 – 3400 Hz
- podle Shannonova kritéria je třeba vzorkovat 8000x za sekundu tj. každých 125  $\mu$ s
- technika PCM – každý vzorek se vyjádří pomocí oktetu bitů
- 2 typy kompresních charakteristik
  - ▣  $\mu$ -Law – PCM 24 (DS-1, USA, Japonsko)
  - ▣ A-Law – PCM 30/32 (E1, Evropa)
  - ▣ oba typy 8000 vzorků po 8 bitech = 64000 b/s
- digitální ústředny předpokládají právě tento způsob digitalizace hlasu – rezervují 64 kb/s pro každý hovor

# Signál PCM 1. řádu (E1)

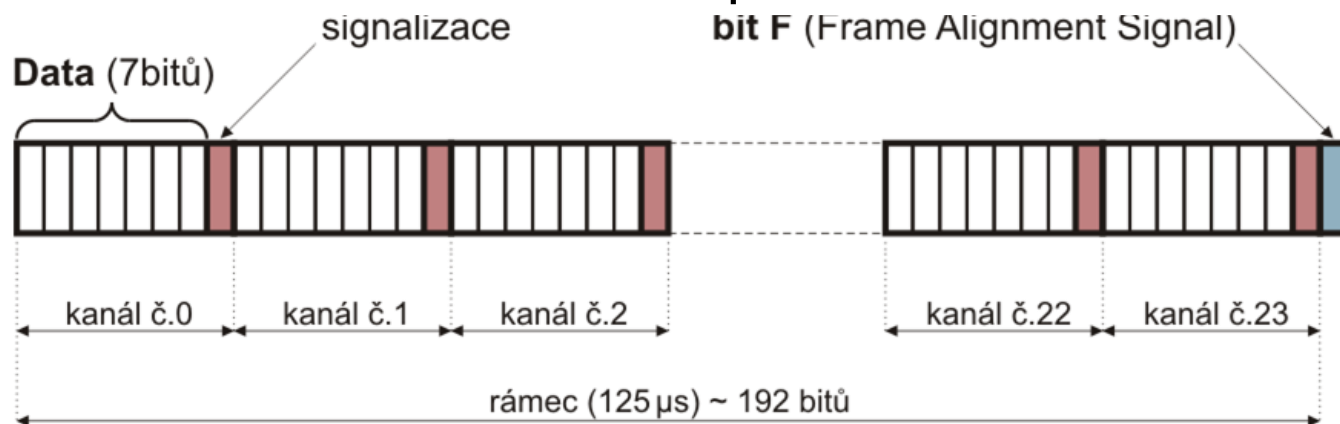
29

- digitální signál na rozhraních přenosové sítě tvoří nepřetržitý sériový synchronní (isochronní) tok binárních dat
- pro evropskou oblast je rámec složen z 32 osmibitových časových slotů
  - ▣ označuje se jako signál **PCM30/32** nebo **E1**
  - ▣ signál 1. řádu evropské hierarchie
  - ▣ 32 je celkový počet kanálových intervalů
  - ▣ 30 je počet telefonních kanálů, které lze přenést

# Signál PCM 1. řádu (T1)

30

- americká a japonská hierarchie je vybudována na odlišné rámcové struktuře **PCM 24** označované také **T1** nebo DS1 s přenosovou rychlostí 1554 kbit/s
- Rámec je tvořen jedním F-bitem a 24 kanálovými osmibitovými intervaly s přenosovou rychlostí 64 kb/s
- Při mezikontinentální komunikaci např. z Evropy do USA je nutný převod z PCM30/32 na PCM 24 a překódování z A-Law na  $\mu$ -Law



KIV/PD – Přenos dat

$$\text{Přenosová rychlost: } v_p = [24 \cdot (7+1) + 1] \cdot 8 \cdot 10^3 = 1544 \text{ kbit/s}$$

# Hierarchie TDM v USA a Evropě

31

USA			Evropa		
označení	počet hlas. kanálů	rychlost (Mb/s)	označení	počet hlas. kanálů	rychlost (Mb/s)
DS-1	24	1,544	E1	30	2,048
DS-1C	48	3,152	E2	120	8,448
DS-2	96	6,312	E3	480	34,368
DS-3	672	44,736	E4	1920	139,264
DS-4	4 032	274,176	E5	7680	565,148

# Plesiochronní digitální hierarchie (PDH)

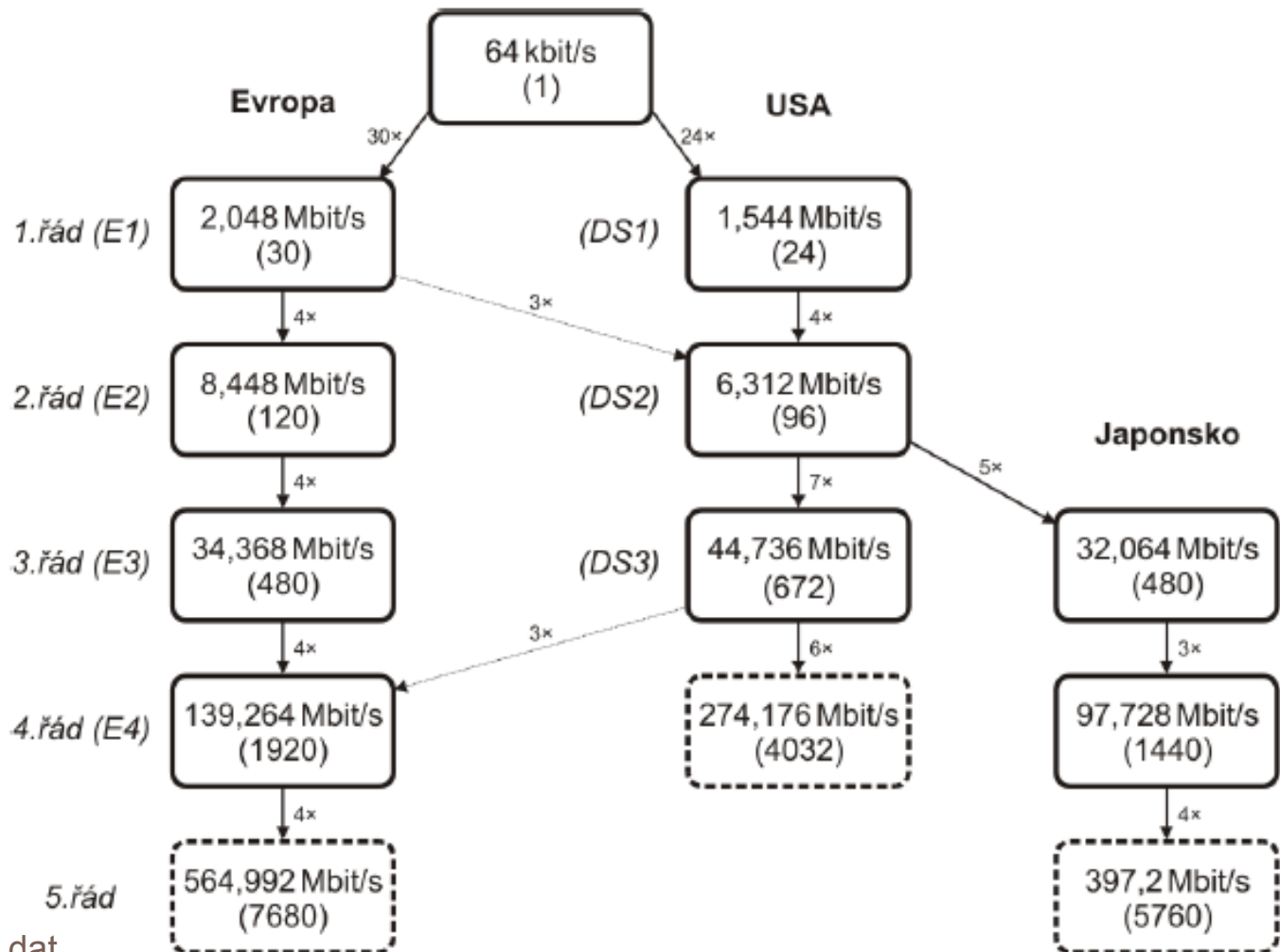
32

- sdružované signály nemají oproti signálu vyššího řádu definován pevný časový vztah - **asynchronní sdružování**
- v signálu vyššího řádu je vyčleněna určitá rezerva pro odchylky přenosových rychlostí signálu nižšího řádu
  - ▣ difference přenosových rychlostí v určitých předepsaných mezích
- u PDH se **prokládají** jednotlivé sdružované signály volně bit po bitu do rámce signálu vyššího řádu, aniž by byl jakýkoli definovaný vztah mezi rámcem signálu nižšího řádu a rámcem signálu vyššího řádu
- při mnohonásobně opakovaných operacích multiplexování a demultiplexování to může vést k degradaci signálu



# Multiplexní schéma PDH

33



# Plesiochronní digitální hierarchie - stuffing

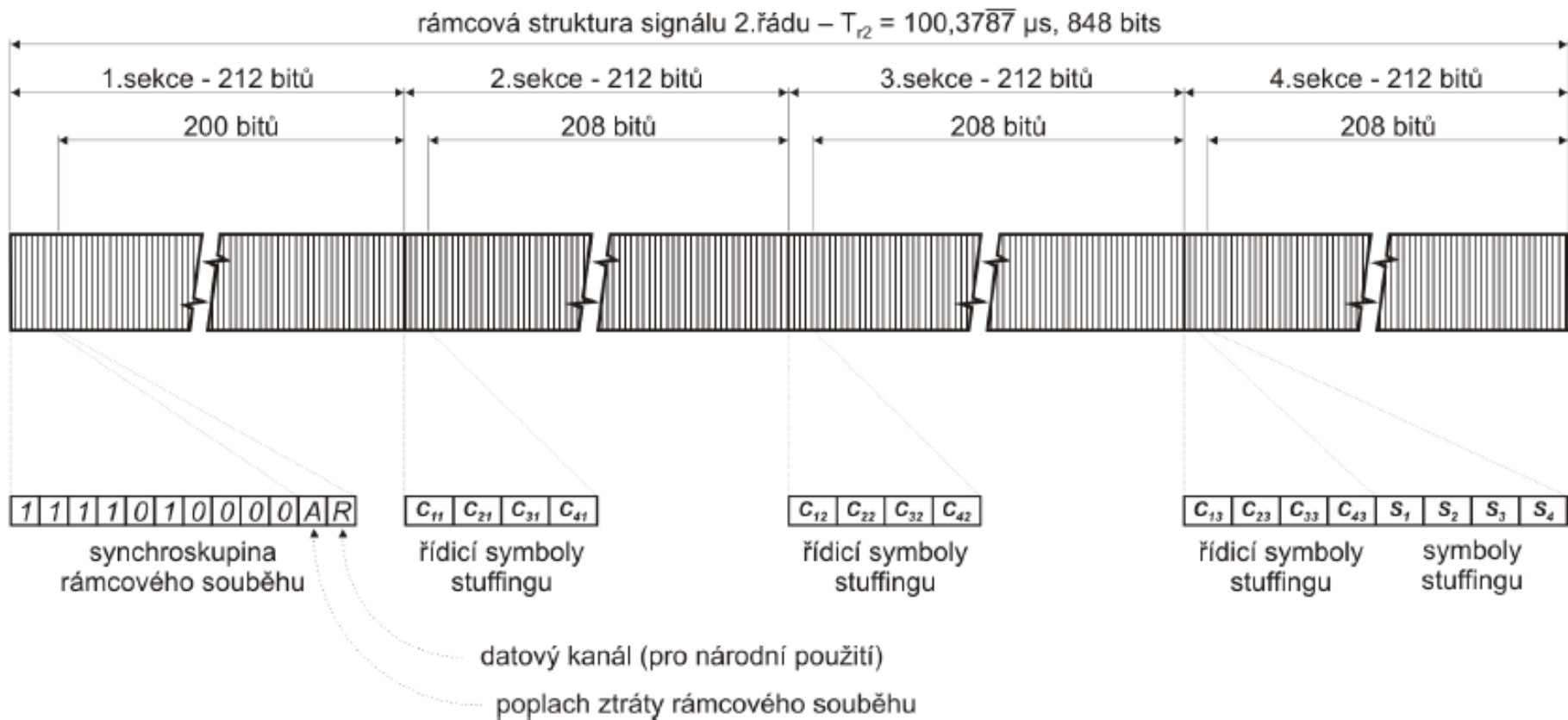
34

- pro schopnost přenést signály s vyšším taktem se vytváří v rámci rezerva v bitových místech, která je pro signály s nižším taktem nevyužita
  - ▣ dojde k vyplnění nevyužitého místa neúčinnou informací
- typy vyrovnávání přenosové rychlosti
  - ▣ **kladný stuffing** – přenosová rychlost signálu vyššího řádu je vyšší než násobek signálů řádu nižšího
  - ▣ **záporný stuffing** – přenosová rychlost signálu vyššího řádu je nižší než násobek signálů řádu nižšího
  - ▣ **oboustranný stuffing** – kombinace předchozích (kolísání přenosové rychlosti)



# PDH signál 2.řádu – rámcová struktura

36



# Synchronní digitální hierarchie (SDH)

37

- přidávání dalších stupňů do PDH by nebylo efektivní a ani technicky schůdné
  - ▣ nová hierarchie na odlišných principech, nejlépe celosvětově standardizovaná
- používá **se řízené prokládání po celých bytech**
  - ▣ pomocí adresace informačního pole lze jednoduše získat žádaná data i v rámci signálů vyšších řádů podle údajů ukazatele
- všechny signály se u SDH multiplexují **synchronně** s pevným časovým vztahem mezi signálem vyššího a nižšího řádu
- počítá se s vysokými přenosovými rychlostmi
  - ▣ nejnižší stupeň SDH začíná přibližně v oblasti, kde PDH rychlostně končí

# Hierarchické stupně SDH

38

- celosvětově standardizovaná technologie SDH vychází z amerického standardu **SONET** (Synchronous Optical Network)
- základní signály SDH se nazývají **synchronní transportní moduly STM-N**, kde N vyjadřuje hierarchický stupeň
  - ▣ nejnižší v hierarchii je STM-1, další se tvoří sdružováním vždy čtyř signálů nižšího řádu (STM-4, STM-16, STM-64, STM-256)

označení	STM-0	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
rychlost (Mb/s)	51,84	155,52	622,08	2488,32	9953,28	39813,12
označení SONET	STS-1 (OC-1)	STS-3 (OC-3)	STS-12 (OC-12)	STS-48 (OC-48)	STS-192 (OC-192)	STS-768 (OC-768)

# Začleňování cizích signálů do SDH

39

- pro různé příspěvkové signály americké i evropské PDH, které se mají přenášet přes síť SDH, jsou určeny různé typy tzv. **virtuálních kontejnerů**
  - do těchto virtuálních kontejnerů lze ukládat a přenášet jimi i další typy signálů, zejména **ATM buňky**, **IP pakety**, **Ethernet rámce**
  - úprava vnitřní struktury rámce začleňovaného signálu se označuje jako **mapování** (Mapping)
- přizpůsobování přenosových rychlostí **PDH** příspěvkových signálů se provádí s využitím oboustranného, tj. kladného i záporného bitového stuffingu a adaptace **SDH** příspěvkových signálů pomocí pevných výplňových (stuffingových) symbolů

# Začleňování cizích signálů do SDH, 2

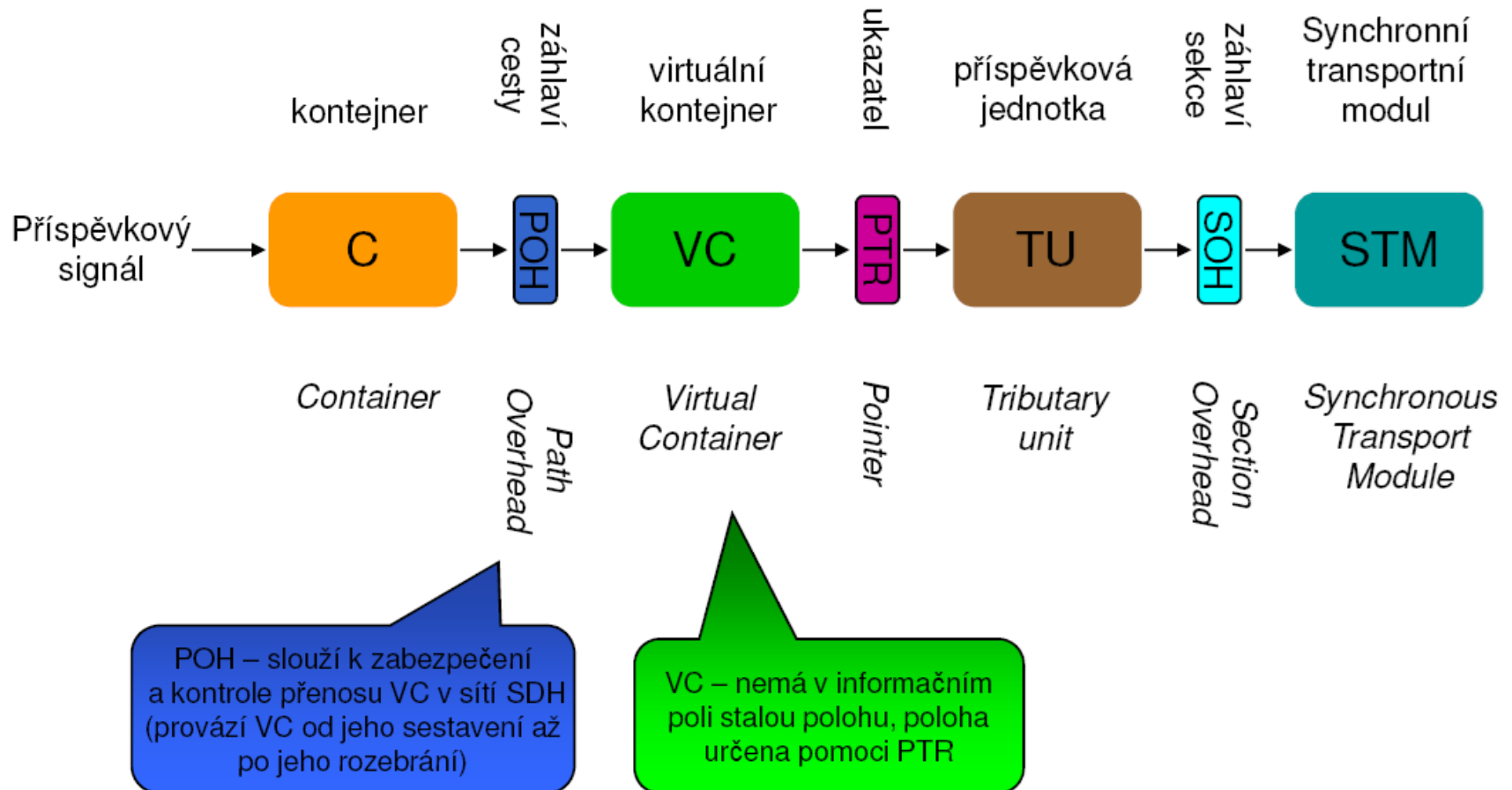
40

- základní struktura rámce vytvořeného při mapování příspěvkového signálu se označuje jako **kontejner C-nk**
  - ▣ **n** odpovídá hierarchické úrovni signálu PDH
  - ▣ **k** rozlišuje pro příspěvkové signály 1. řádu struktury kontejnerů podle přenosové rychlosti mapovaných signálů (Amerika, Evropa)
- přidáním služebních bajtů záhlaví cesty **POH** (Path Overhead) ke kontejneru **C-nk** se vytvoří rámec, označovaný jako **virtuální kontejner VC-nk**
  - ▣ poloha je určena na základě hodnoty tzv. ukazatele **PTR** (Pointer) v záhlaví
  - ▣ může začínat kdekoliv v informačním poli transportního modulu STM



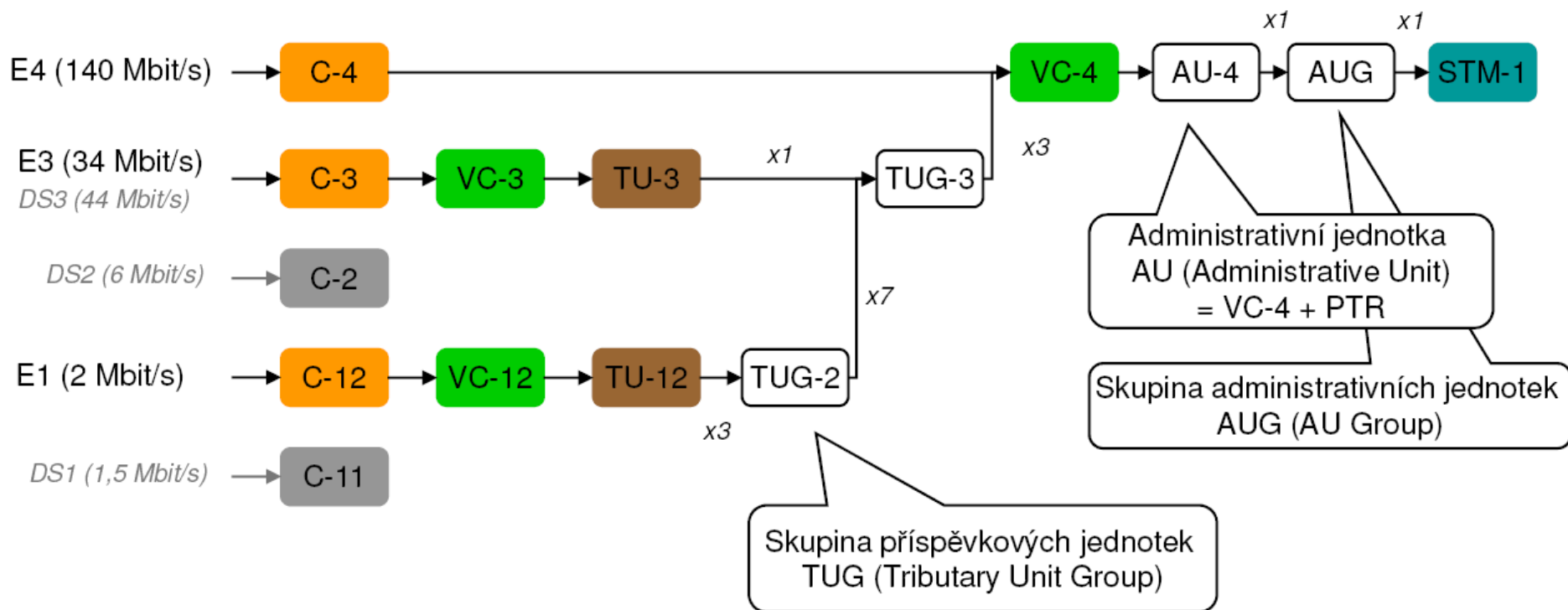
# Začleňování cizích signálů do SDH, 3

41



# Multiplexní proces u SDH

42



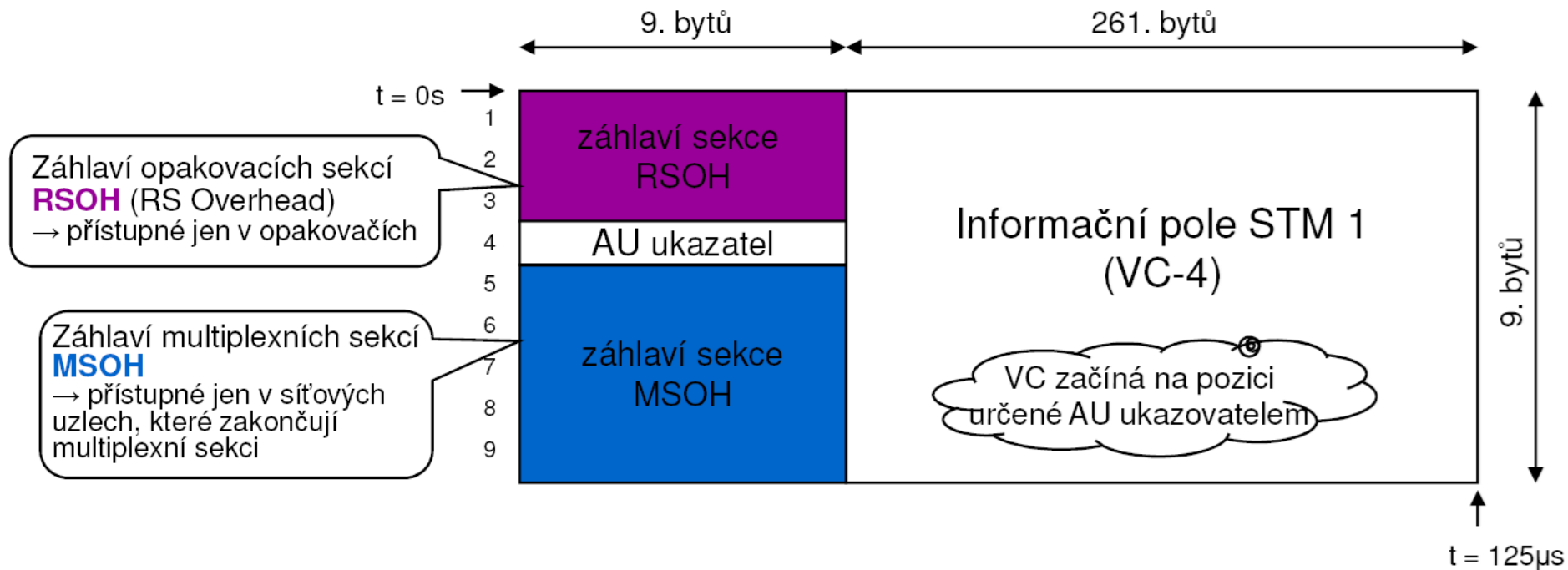
# Rámec STM STM-1 a jeho možnosti

43

- má rozměr 270×9B a přenosovou rychlost 155,52 Mb/s
- prvních 9B přenáší služební informaci **SOH** (Section OverHead) rozdělenou do dvou dílčích záhlaví
  - ▣ **záhlaví opakovacího úseku RSOH** (Regenerator Section OverHead)
    - přístup umožněn opakovačům a ostatním zařízením síťových uzlů SDH
  - ▣ **záhlaví multiplexní sekce MSOH** (Multiplex Section OverHead)
    - přístupné pouze v zařízeních síťových uzlů SDH zakončujících multiplexní sekci
- sekce je definována jako část sítě, ve které nedochází k multiplexování nebo demultiplexování signálu STM

# Struktura rámce STM STM-1

44



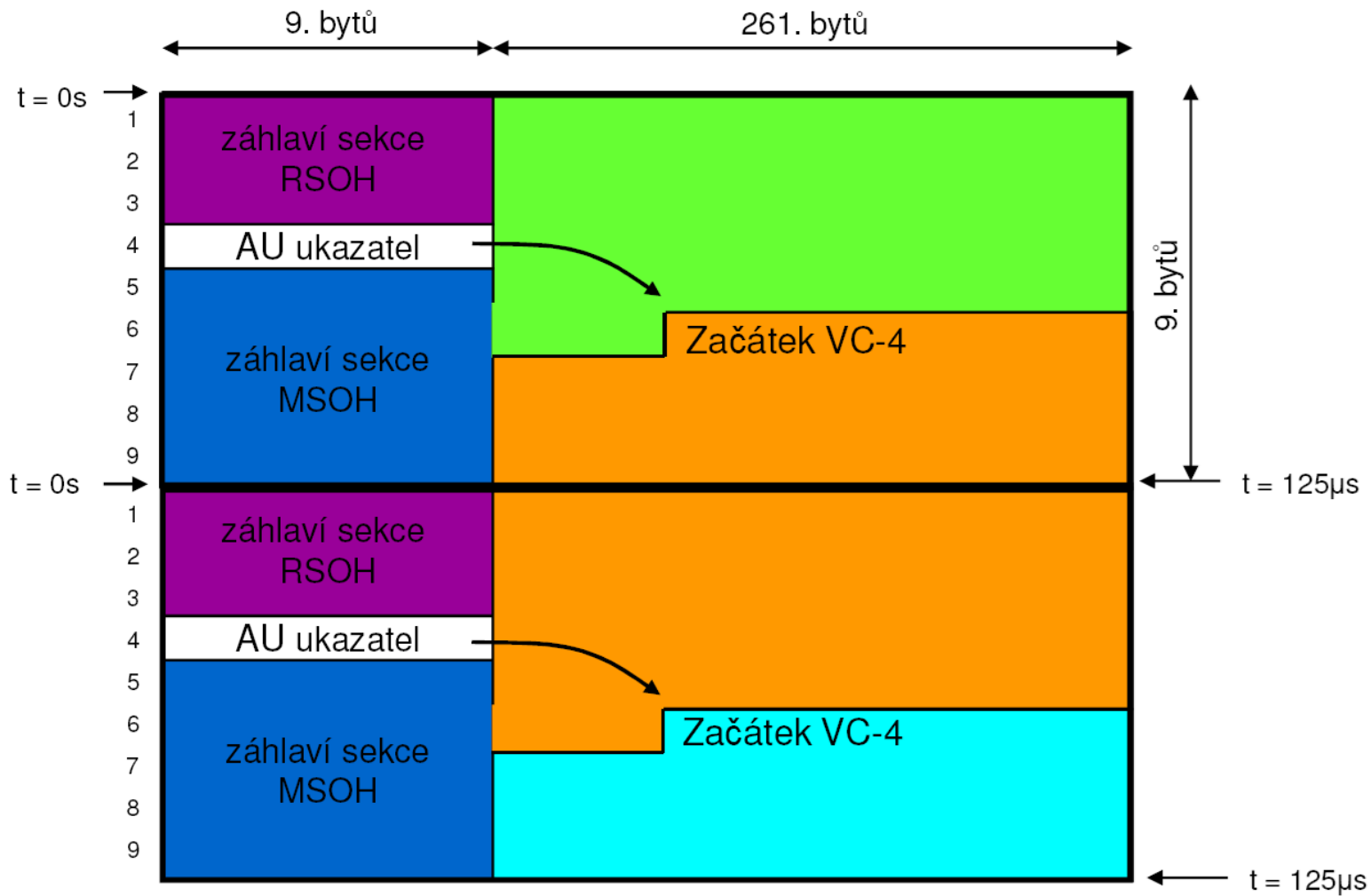
$$\text{Přenosová rychlost } v_p = 270 * 9 * 8 * 8000 = 155,52 \text{ Mbit/s}$$

Počet bitů v jednom STM-1 rámci

Vzorkovací kmitočet (1/125us)

# Struktura rámce STM STM-1

45



# Síťové prvky SDH

46

- **synchronní muldex SM** (Synchronous Multiplex)
  - ▣ koncový synchronní muldex SMT (SM Terminal)
  - ▣ vydělovací synchronní muldex ADM (Add-Drop Multiplex)
  - ▣ linkový synchronní muldex SML (SM Line)
    - sdružení signálu nižšího řádu do signálu vyššího řádu
  - ▣ rozdělovací synchronní muldex SMH (SM Hubbing)
    - rozdělení signálu do více jak dvou směrů
- **synchronní digitální rozvadeč SDXC** (SD Cross-Connect)
  - ▣ s komutací jednotek cest vyššího řádu (AU-4)
  - ▣ s komutací jednotek cest nižšího řádu (TU)
  - ▣ s komutací jednotek cest nižšího a vyššího řádu
- **opakovač** (Regenerator)