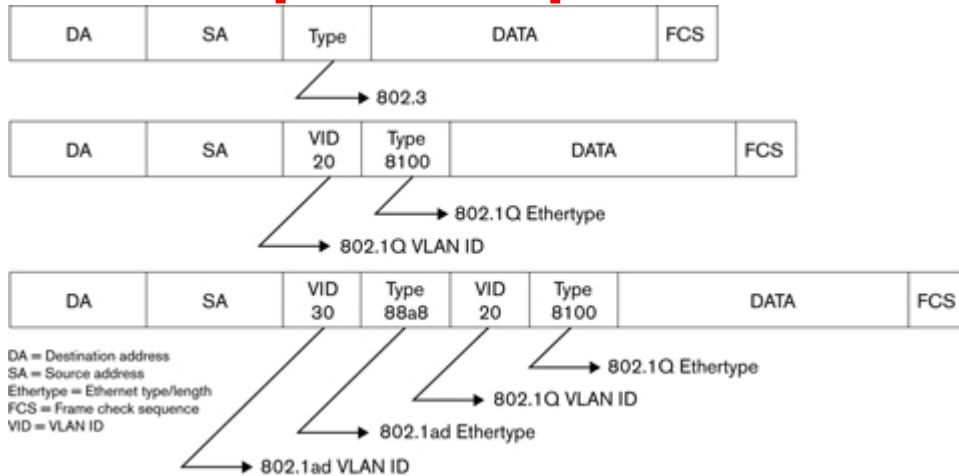


10. prednáška



Spojová vrstva (2.časť), prístup k zdieľanému spoju



Prehľad prednášky

- ❑ **Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju**
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
- ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
- ❑ Bluetooth a 802.15
- ❑ WiMAX 802.16

Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju

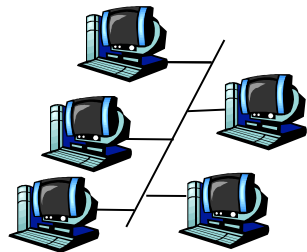
Dva typy spojov:

□ bod-bod

- ❖ PPP (point-to-point protocol) pre dial-up pripojenie
- ❖ spojenie bod-bod medzi vzdialenými smerovačmi

□ Zdieľaný spoj (drôtový alebo bezdrôtový)

- ❖ Ethernet “po starom”
- ❖ HFC (hybrid fiber coax)
- ❖ 802.11 wireless LAN



zdieľaný drôt (napr.
Ethernet 802.3)



zdieľaná frekvencia
(napr. 802.11 WiFi)



zdieľaná frekvencia
(satelit)



ľudia na párty
(zdieľaný vzduch
na šírenie zvuku)

Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju

- ❑ spoločne zdieľaný spoj
- ❑ ak dva alebo viac uzlov súčasne vysielajú, nastáva interferencia
 - ❖ **kolízia** - ak uzol odhalí v rovnakom čase v spoji viac signálov

Prístupové metódy k zdieľanému spoju

- ❑ založené na distribuovanom algoritme, ktorý určí, akým spôsobom sa má zdieľať prenosový kanál, t.j. určí, kedy môže ktorý uzol vysielat'
- ❑ komunikácia o riadení kanála používa ten istý kanál
 - ❖ žiaden extra kanál na riadenie

Ideálna prístupová metóda k zdieľanému spoju

Zdieľaný kanál s prenosovou rýchlosťou R:

1. ak chce vysielat' iba jeden uzol, môže vysielat' rýchlosťou R
2. ak chce vysielat' M uzlov, každý vysielala priemernou rýchlosťou R/M
3. plne decentralizovaný:
 - ❖ neexistuje uzol, ktorý riadi celú komunikáciu
 - ❖ žiadna synchronizácia hodín, slotov
4. jednoduchý

Rozdelenie typov prístupových metód

❑ Delený kanál

- ❖ rozdelený kanál na menšie “kúsky” (časové úseky, frekvencia)
- ❖ vyhradená časť kanála pre dané spojenie

❑ Zdieľaný prístup

- ❖ kanál sa nedelí, každý “vysiela, keď potrebuje”
- ❖ možné kolízie a zotavovanie z nich

❑ “Štafetový” prístup

- ❖ uzly si vymieňajú informáciu o tom, kto je na rade
- ❖ uzly, ktoré nemajú čo vysielat', sú na rade kratšie ako tie, čo majú čo vysielat'

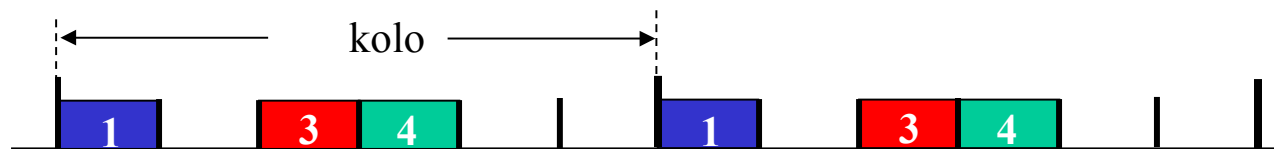
Prehľad prednášky

- Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ **delený kanál**
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- Bezdrôtové siete všeobecne
 - WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - Bluetooth a 802.15
 - WiMAX 802.16

Delenie kanála: TDMA

TDMA: time division multiple access

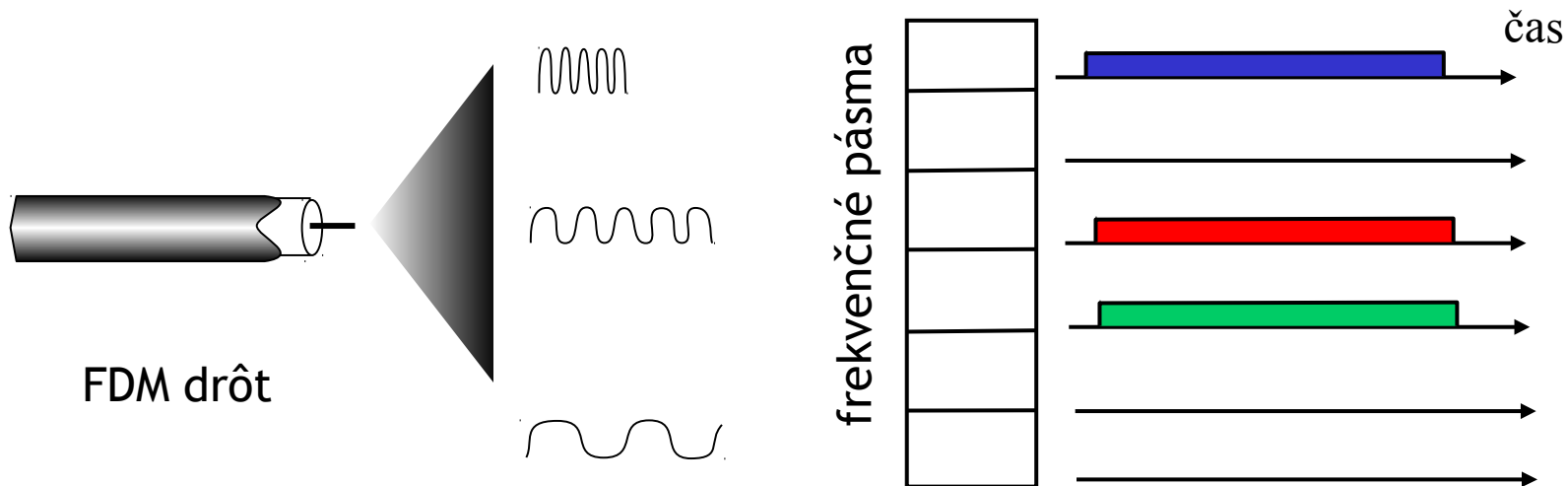
- prístup ku kanálu v kolách
- každá stanica dostane v každom kole časový úsek fixnej dĺžky (dĺžka = čas na posielanie rámcov)
- nevyužitú úseky nevedia použiť iné stanice
- príklad: 6-uzlov na LAN: iba uzly 1, 3 a 4 majú čo poselať, úseky 2, 5 a 6 sú nevyužitú



Delenie kanála: FDMA

FDMA: frequency division multiple access

- ❑ kanál je rozdelený na frekvenčné pásma
- ❑ každý uzol má pridelené fixne veľké frekvenčné pásmo
- ❑ nevyužitá pásma nevedia použiť iné stanice
- ❑ príklad: 6-uzlov na LAN: iba uzly 1, 3 a 4 majú čo posielat', pásma 2, 5 a 6 sú nevyužitá



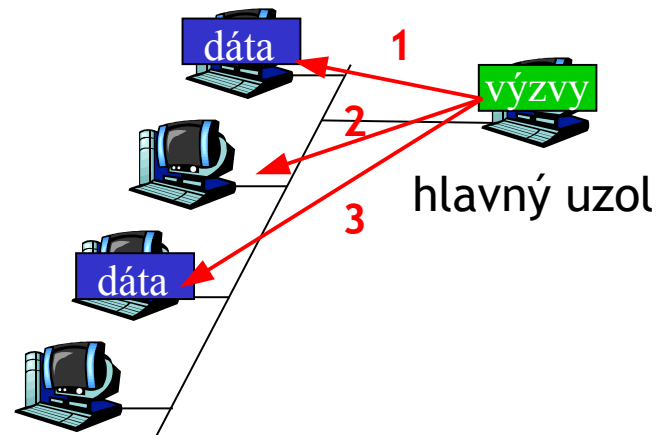
Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

“Štafetový” prístup

Vyzývanie:

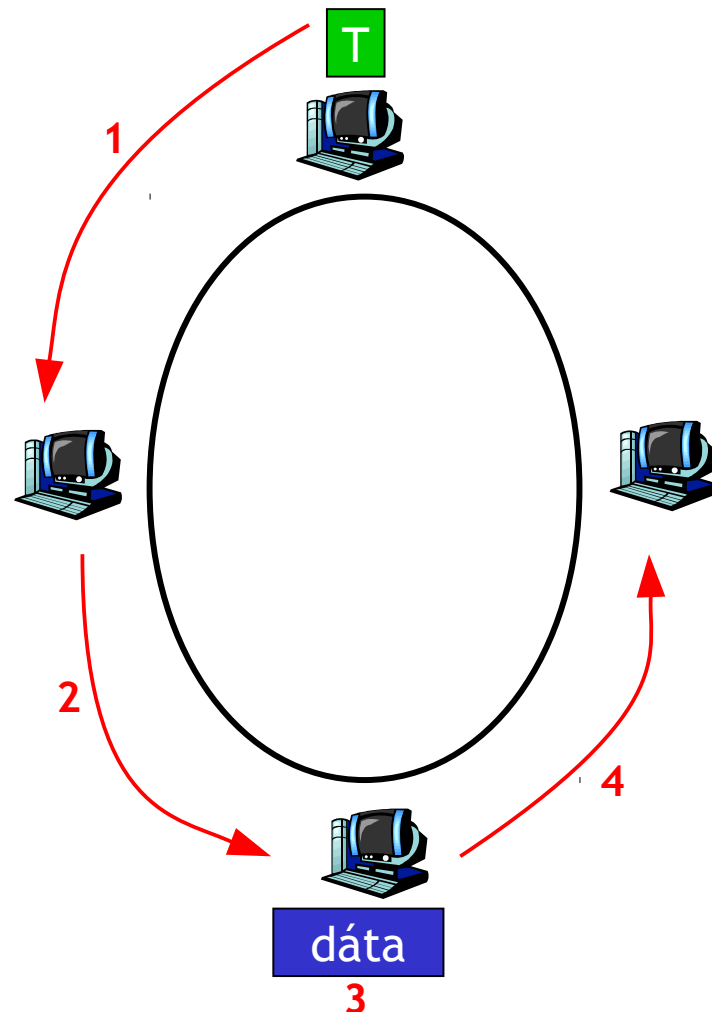
- ❑ hlavný uzol postupne vyzve ostatné uzly, aby posielali svoje rámce
- ❑ má zmysel pre hlúpe zariadenia
- ❑ problémy:
 - ❖ vyzývanie stojí čas
 - ❖ oneskorenia
 - ❖ single point of failure (hlavný uzol)



“Štafetový” prístup

Podávanie tokenu:

- ❑ kontrolný token si stanice podávajú v určenom poradí
- ❑ vysielam, ak mám token
- ❑ ak mám token a nemám čo vysielat', pošlem token ďalej
- ❑ problémy:
 - ❖ posielanie tokenu stojí čas
 - ❖ oneskorenia
 - ❖ single point of failure (token)



Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ **zdieľaný prístup**
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

Zdieľaný prístup ku spoju

- ❑ ak uzol má čo vysielat'
 - ❖ vysielala plnou rýchlosťou prenosového pásma R
 - ❖ žiadne riadenie toho, kedy môže kto vysielat'
- ❑ ak vysielajú súčasne dva alebo viac uzlov → “kolízia”
- ❑ **prístupová metóda pre zdieľaný prístup** určuje:
 - ❖ ako odhaliť kolízie
 - ❖ ako sa zotaviť z kolízie (napr. cez pozdržané preposlanie)
- ❑ príklady prístupových metód pre zdieľaný prístup:
 - ❖ úseková ALOHA
 - ❖ ALOHA
 - ❖ CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Úseková ALOHA (slotted ALOHA)

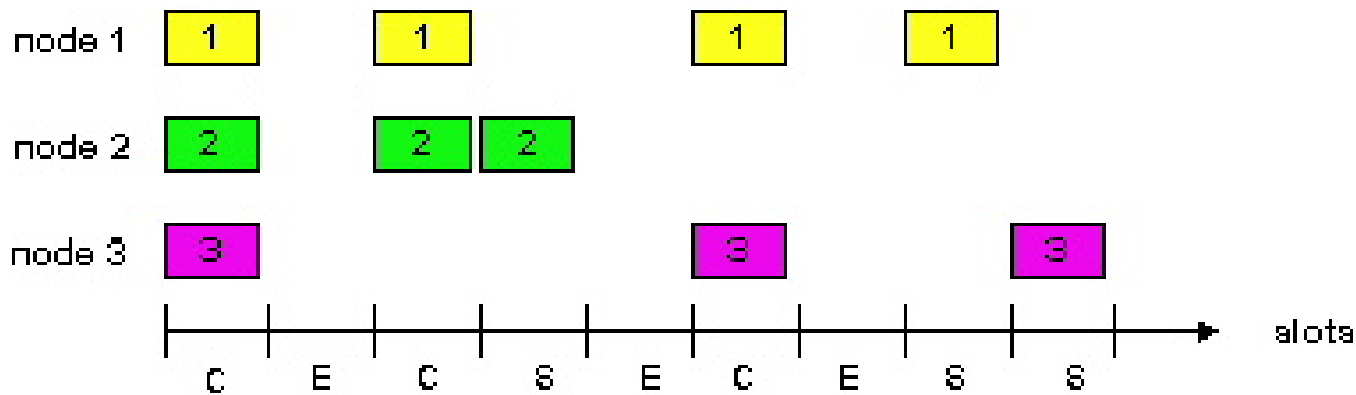
Predpoklady:

- ❑ všetky rámce majú rovnakú veľkosť
- ❑ čas je rozdelený na rovnaké časové úseky - čas na odoslanie 1 rámca
- ❑ uzly začínajú vysielat' iba na začiatku úseku
- ❑ uzly sú zosynchronizované
- ❑ ak 2 alebo viac uzlov vysielajú v jednom úseku, všetky uzly zistia kolíziu

Fungovanie:

- ❑ ak uzol chce poslať rámec, vyšle ho v najbližšom časovom úseku
 - ❖ *ak nenastala kolízia:* v ďalšom úseku môže odoslať ďalší rámec
 - ❖ *ak nastala kolízia:* uzol prepošle rámec v niektorom z ďalších úsekov s pravdepodobnosťou p až pokiaľ neuspéje

Úseková ALOHA



Pozitíva

- ❑ ak je jediný vysielaajúci uzol, môže neustále vysielať plnou rýchlosťou
- ❑ decentralizovaná: potrebujeme iba synchronizovať časové úseky
- ❑ jednoduchý

Negatíva

- ❑ kolízie
- ❑ nevyužitý úseky
- ❑ uzly by mohli zistiť kolíziu aj pred doposielaním rámca počas kolízie
- ❑ synchronizácia časových úsekov

Efektivita úsekovvej Alohy

Efektivita : pomer úspešných prenosov k neúspešným, ak veľa uzlov na spoločnom médiu má stále čo posielat'

- N uzlov s nekonečnou zásobou rámcov na odoslanie
- všetky uzly posielajú dáta v slote s pravdepodobnosťou p
- pravdepodobnosť, že uzlu sa podarí vyslať rámec je $p(1-p)^{N-1}$
- pravdepodobnosť, že ľubovoľnému uzlu sa podarí vyslať rámec je $Np(1-p)^{N-1}$

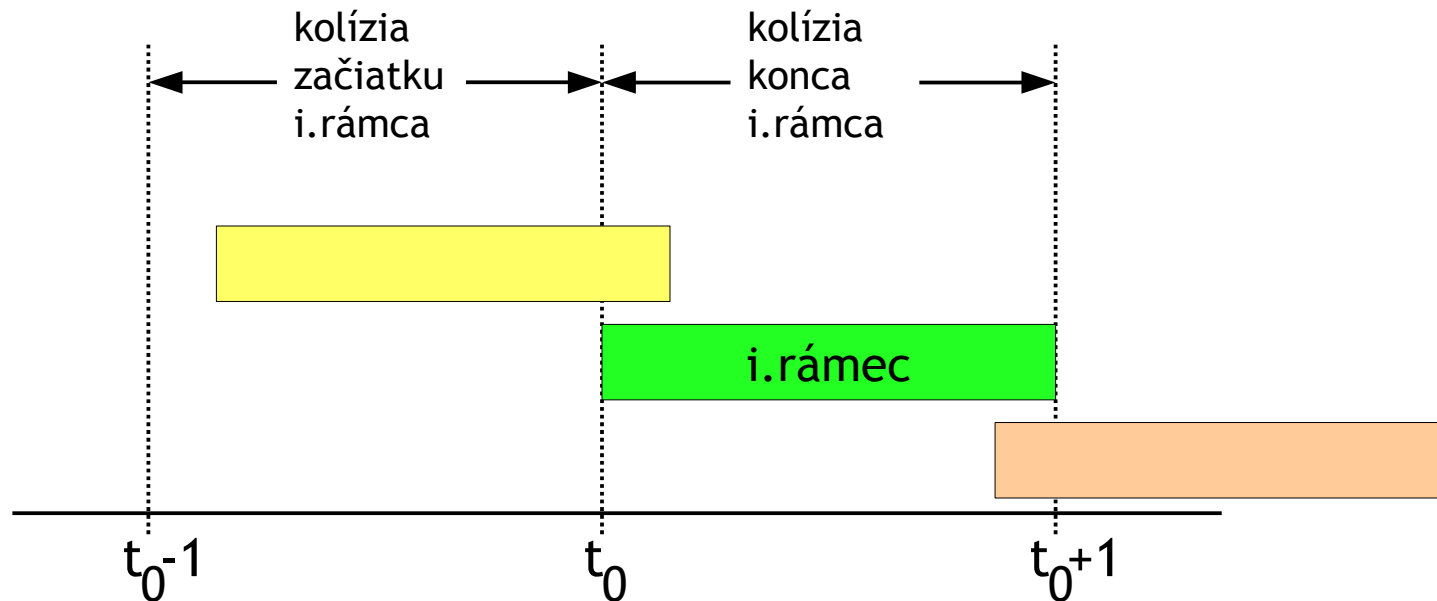
- maximálna efektivita: treba nájsť p' také, že maximalizuje $Np'(1-p')^{N-1}$
- pre mnoho uzlov vypočítame limitu $Np'(1-p')^{N-1}$ pre N idúce do nekonečna, dostaneme: max. efektivitu = $1/e = 0,37$

Kanál sa dá využiť **pri najlepšom** iba 37% času



(Neúseková) ALOHA

- ❑ Aloha: jednoduchšia, nepotrebuje synchronizáciu
- ❑ ak potrebujeme vyslať rámec, vyšleme ho okamžite
- ❑ narastá pravdepodobnosť kolízií:
 - ❖ rámec vyslaný v čase t_0 koliduje s rámcami vyslanými v čase $[t_0-1, t_0+1]$



Efektivita Alohy

- ❑ $P(\text{úspech odoslania rámca z uzla}) = P(\text{uzol vysielal}) * P(\text{nik nevysielal v čase } [t_0-1, t_0]) * P(\text{nik nevysielal v čase } [t_0, t_0+1]) =$
 $= p * (1-p)^{N+1} * (1-p)^{N+1}$
 $= p * (1-p)^{N+2}$
- ❑ vyberieme optimálne p a počítame limitu pre N idúce do nekonečna
- ❑ $= 1/2e = 0.18$
 - ❖ horšie ako v prípade úsekovej Alohy !

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

CSMA: počúvame pred posielaním:

- ❑ Ak neregistrujeme, že v kanále niekto vysiela, pošleme celý rámec
- ❑ Ak sa kanál používa, nevysielame

- ❑ analógia: neskáčem do reči, keď niekto rozpráva!

CSMA kolízie

kolízie môžu stále nastávať:

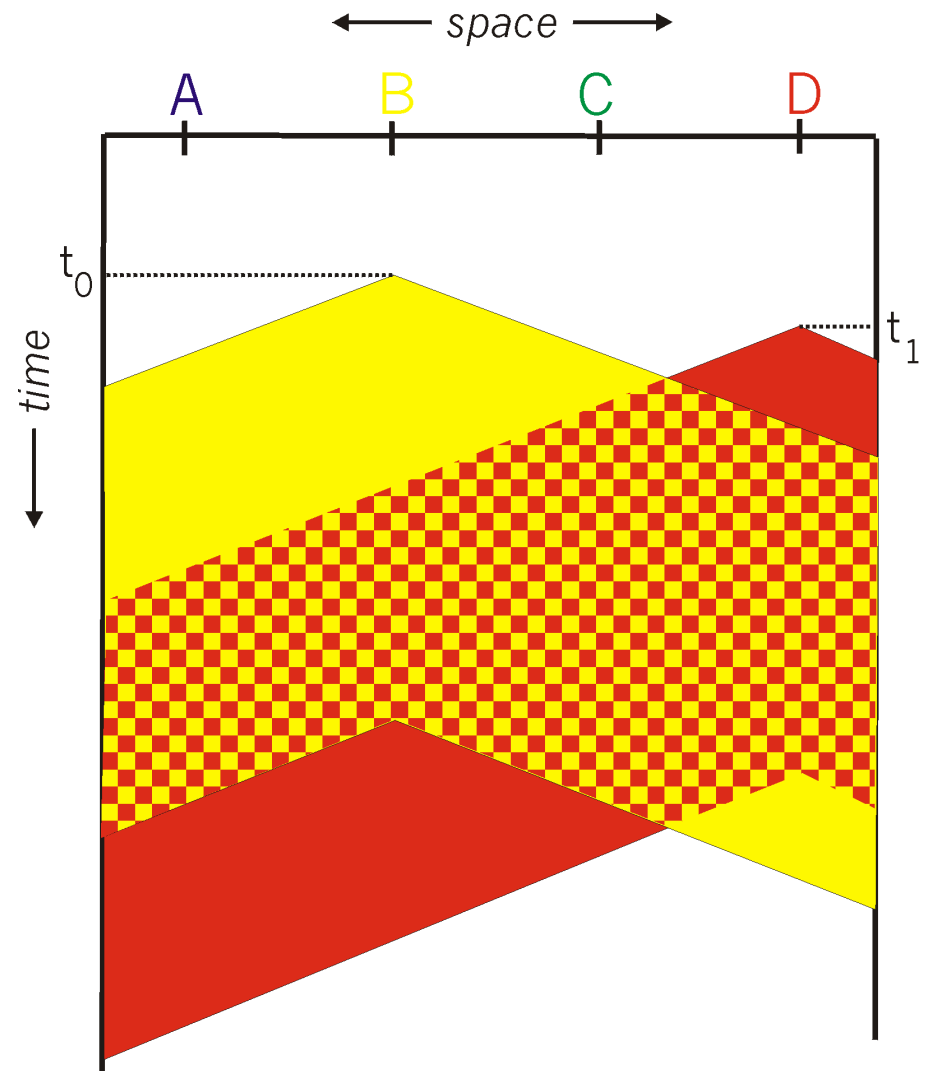
čas prenášania kanálom môže spôsobiť, že dva uzly nevedia, že vysielajú súčasne

kolízia:

celý čas vysielania je nevyužitý - stratený

poznámka:

na zistenie pravdepodobnosti kolízie musíme počítať s časom prenosu a vzdialenosťou uzlov



Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

CSMA/CD (Collision Detection)

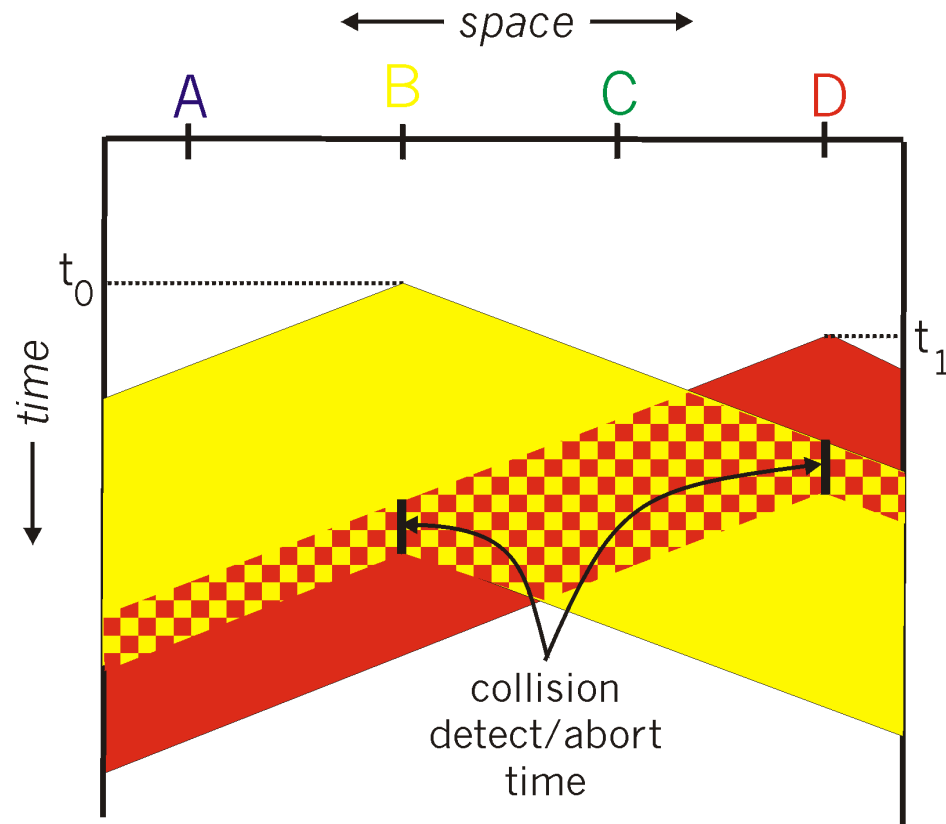
CSMA/CD: zistenie prenášania oddiali vysielanie ako v CSMA, ale:

- ❖ *detekcia* kolízie v krátkom čase aj počas vysielania
- ❖ pri kolízii sa prestáva odosielať
- ❖ zmenšenie nevyužitého času

□ odhalenie kolízie:

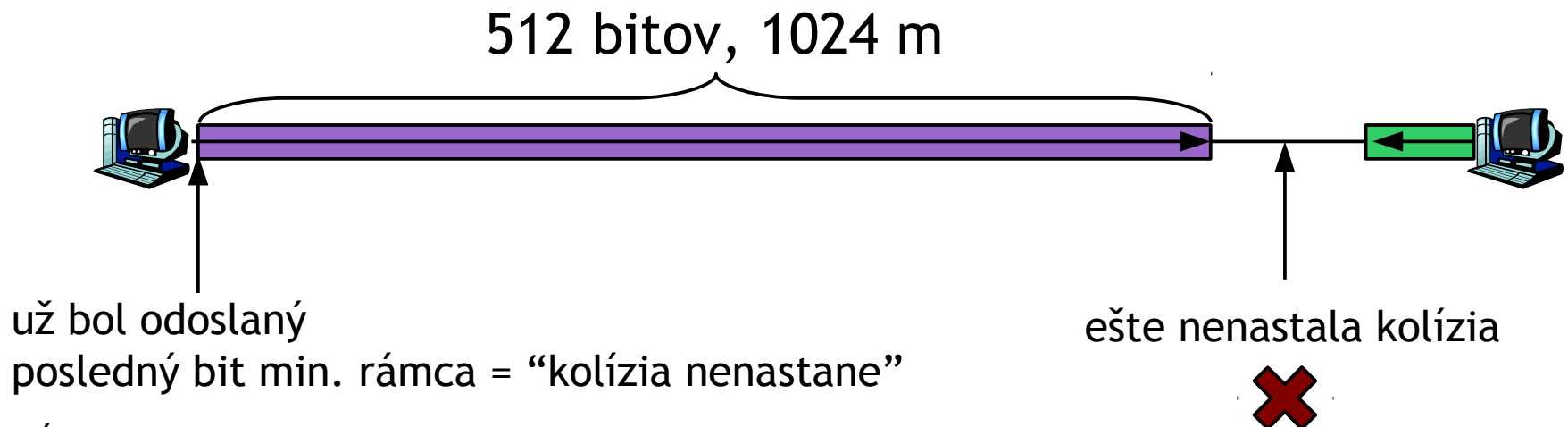
- ❖ jednoduchá na drôtových spojoch: meriame silu signálu, porovnávame so silou, ktorá sa vysiela a prijíma
- ❖ ťažké pri bezdrôtových spojoch: prichádzajúca sila signálu je menšia ako sila vysielaného signálu

CSMA/CD detekcia kolízie



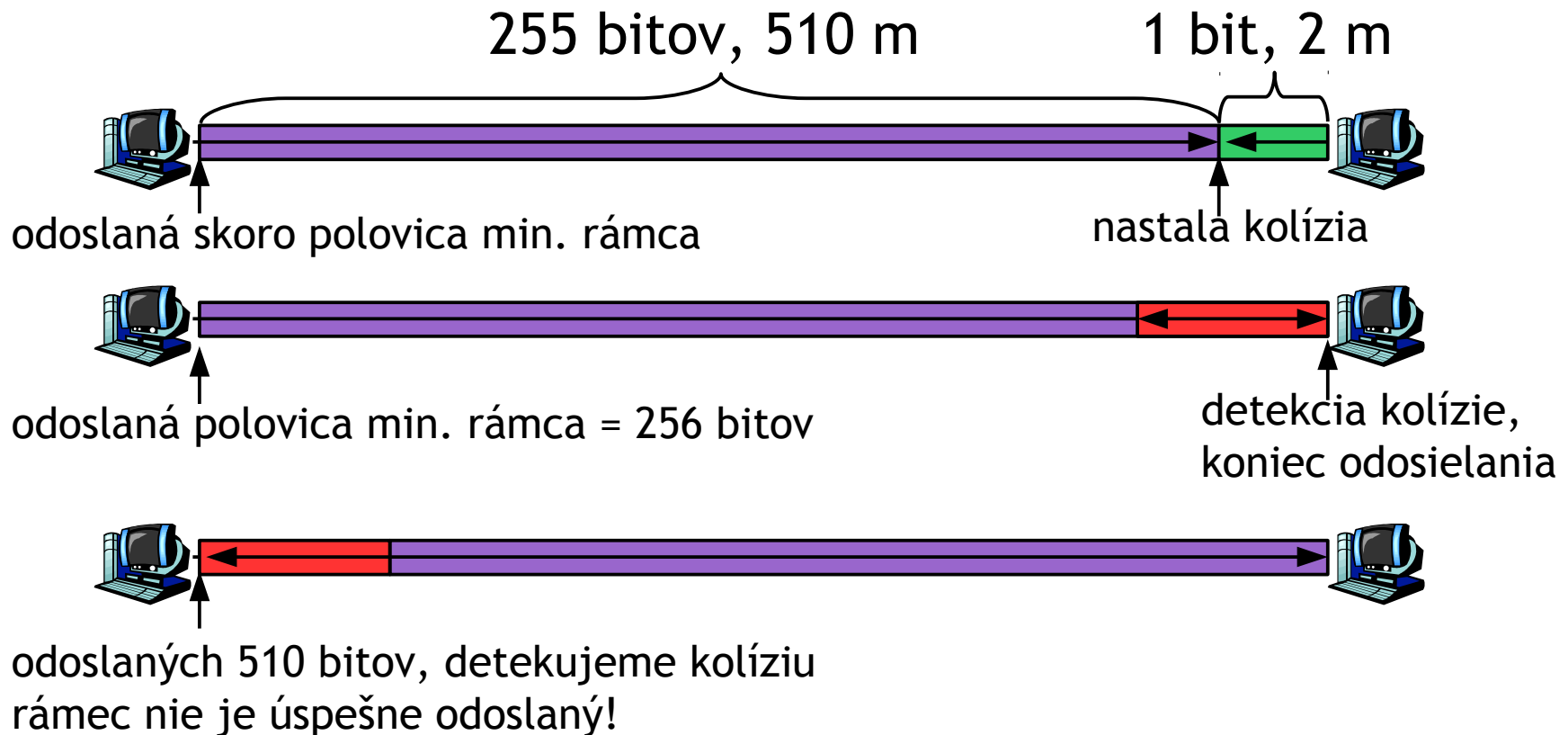
Minimálna veľkosť rámca

- ❑ Ak máme prenosovú rýchlosť 100Mb/s, tak na odoslanie 1 bitu potrebujeme 10^{-8} s
- ❑ V medenom drôte je rýchlosť šírenia signálu cca 200 000 km/s, takže pokiaľ odošleme 1 bit, signál prejde 2 metre
- ❑ Uzol musí zaregistrovať kolíziu pred odoslaním posledného bitu minimálneho rámca
- ❑ Minimálny rámec v 100Base-TX (“medený Ethernet” 100Mb/s) je 512 bitov



Maximálna vzdialenosť uzlov

- Teoretická maximálna vzdialenosť = polovica vzdialenosti prejdenej signálom pri odosielaní minimálneho rámca



Maximálna vzdialenosť uzlov

- ❑ Teoretická maximálna vzdialenosť = polovica vzdialenosti prejdenej signálom pri odosielaní minimálneho rámca
- ❑ Maximálna vzdialenosť daná normou je nižšia (zarátaný čas potrebný na istotu detekcie kolízie)
- ❑ **100Base-TX** (med') max. 100 m (200 m s opakovačom), min. rámec 512 b
- ❑ **100Base-FX** (optika) max. 412 m, min. rámec 512 b
- ❑ **1000Base-T** (med') max. 100 m (200 m s opakovačom), min rámec 520 B (4160 b)
- ❑ **1000Base-SX** (optika) max. 550m, min. rámec 520 B
- ❑ Väčšie vzdialenosti - full duplex point-point bez kolízií

Algoritmus CSMA/CD

1. Adaptér dostane datagram zo sieťovej vrstvy a vyrobí rámec.
2. Ak adaptér neregistruje žiadne vysielanie na spoji, začne vysielat' rámec.
Ak adaptér registruje vysielanie na spoji, čaká, kým sa spoj uvoľní a potom začne vysielat'
3. Ak celé vysielanie rámca prebehlo bez zistenia iného vysielania, rámec je považovaný za **úspešne odoslaný** !
4. Ak počas vysielania adaptér zistí, že vysielala aj niekto iný, skončí vysielanie a vyšle JAM signál
5. Po prerušení začne **súperenie**: po *m-tej* kolízii si adaptér vyberie náhodné číslo *K* z *intervalu* $<0, 2^{m-1}>$, adaptér potom čaká čas $K \cdot \text{slot_time}$

$$\begin{aligned} \text{slot_time} &= \text{čas na odoslanie} \\ &\quad \text{minimálneho rámca} \\ &= 512 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 5,12 \mu\text{s v } 100\text{Base-TX} \end{aligned}$$

Algoritmus CSMA/CD

JAM signál:

- ❑ signál takej intenzity, aby určite všetci zistili, že nastala kolízia; čas dĺžky $48 \cdot \text{slot_time}$
- ❑ Informácia o tom, že nastáva súperenie
- ❑ Do súperenia sa môžu zapojiť aj tí, ktorí kolíziu nespôsobili - čakali, lebo registrovali odosielanie na spoji

Súperenie:

- ❑ **Cieľ:** prispôbiť čas opätovného poslania aktuálnym požiadavkám na vysielanie na zdieľanom spoji
 - ❖ veľa vysielateľov: v priemere sa čaká dlhšie
- ❑ prvá kolízia: vyber K z množiny $\{0,1\}$; čakanie bude $K \cdot \text{slot_time}$
- ❑ po druhej kolízii: vyber K z množiny $\{0,1,2,3\}$...
- ❑ po desiatich kolíziách: vyber K z množiny $\{0,1,2,3,4, \dots, 1023\}$

CSMA/CD efektivita

- ❑ t_{prenos} = maximálny čas prenosu medzi 2 uzlami
- ❑ $t_{\text{posielanie}}$ = čas na vyslanie rámca maximálnej dĺžky

$$\text{efektivita} = \frac{1}{1 + 5 \cdot t_{\text{prenos}} / t_{\text{posielanie}}}$$

- ❑ efektivita sa blíži k 1 ak
 - ❖ ak t_{prenos} sa blíži k nule
 - ❖ ak $t_{\text{posielanie}}$ sa blíži k nekonečnu
- ❑ lepšia efektivita ako ALOHA: a jednoduchšie, lacné a decentralizované riešenie!

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

Vysielanie v úzkom pásme

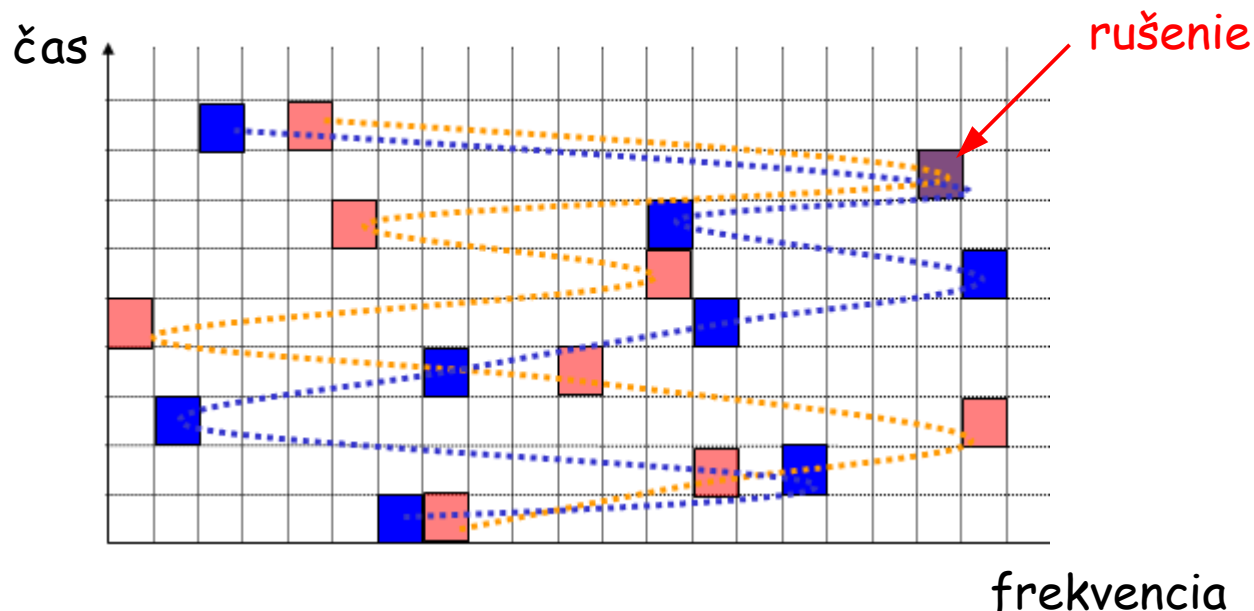
- ❑ energia je sústredená do úzkeho rozsahu frekvencií
- ❑ signál musí byť taký silný, aby mal dostatočný odstup od sily šumu
- ❑ ak vysiela viac vysielačov “šumom” je vysielanie toho druhého a môže spôsobiť zničenie dát
 - ❖ riešime to dohodou vysielačov (CSMA/CA, WiMAX ,..)

Vysielanie v širokom pásme

- ❑ rovnaká energia ide teraz do širokého rozsahu frekvencií
- ❑ šum môže byť v nejakej časti pásma v danom čase väčší ako sila signálu
- ❑ netreba, aby príjemca prijal bezchybne signály zo všetkých frekvencií, stačí aby dokázal extrahovať odosielané dáta

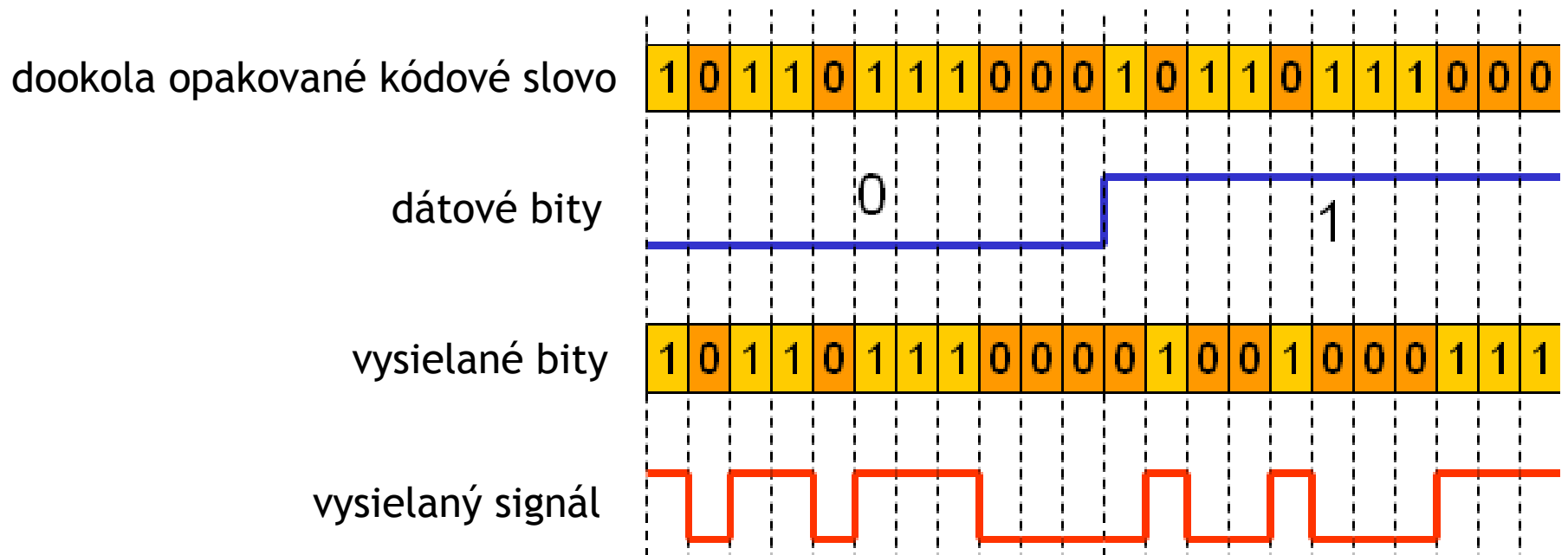
Frekvenčné skákanie (frequency hopping)

- z celého spektra vysielame každú chvíľu iba jednou nosnou frekvenciou a postupne preladujeme na iné (vopred známe)
- predpokladané využitie v 802.11 - preladenie 2,5 krát za sekundu
- využitie v Bluetooth - 1600 krát za sekundu



DSSS: Direct sequence spread spectrum

- ❑ je dané kódové slovo (chipping code), s ktorým sa XOR-uje vysielaný bit
- ❑ namiesto 1 bitu sa teda vyšle toľko bitov, aké dlhé je kódové slovo



DSSS: Direct sequence spread spectrum

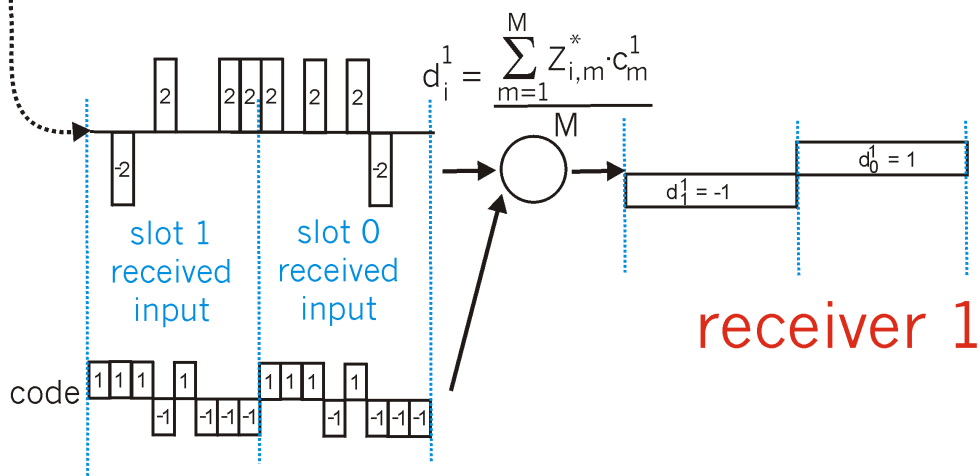
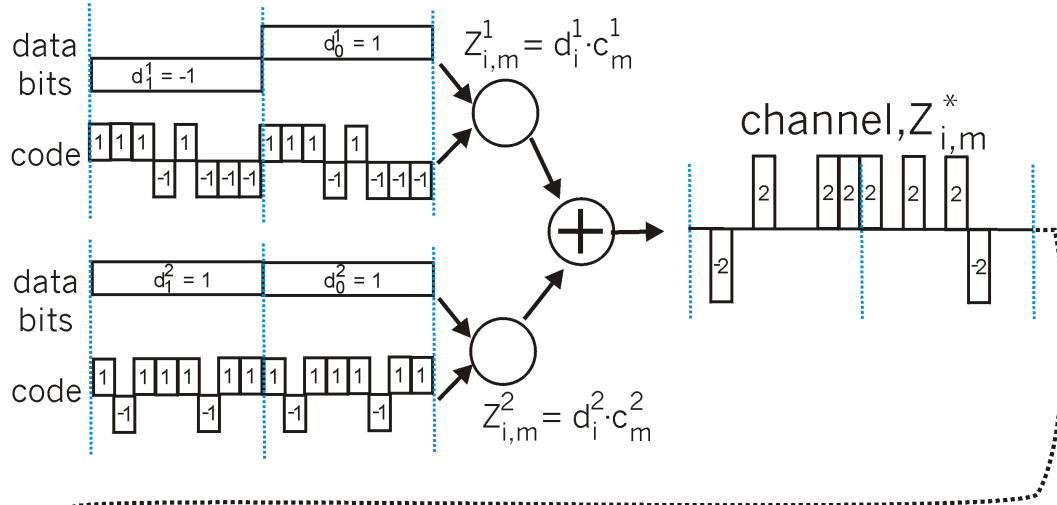
- ❑ príjemca pozná napr. 11 bitové kódové slovo
- ❑ prijme 11 bitov pre každý dátový bit
- ❑ urobí XOR kódového slova a prijatých bitov
- ❑ ak správa prišla bez chyby, dostane buď 11x jednotku alebo 11x nulu.
- ❑ samooprava:
 - ❖ ak je suma bitov najviac 5, prehlásim to za 0
 - ❖ ak je suma bitov minimálne 6, prehlásim to za 1

CDMA: Code Division Multiple Access

- ❑ každý účastník komunikácie s danou stanicou má pridelené vlastné kódové slovo
- ❑ všetci využívajú ten istý rozsah frekvencií
- ❑ *kódovanie ako pri DSSS* = (dátové bity) XOR (kódové slovo)
- ❑ *dekódovanie*: vyextrahovanie dátových bitov zo sčítaného signálu od všetkých vysielačov na základe kódového slova
- ❑ umožňuje viacerým úspešne vysielať na rovnakej frekvencii naraz, ak sú kódové slová vybrané dost' chytro (musia byť vzájomne ortogonálne)

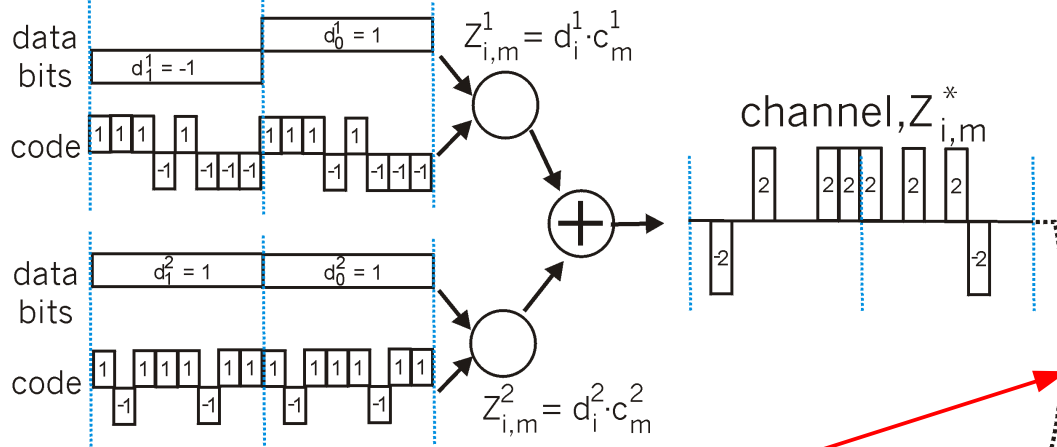
CDMA: interferencia dvoch odosielateľov

senders



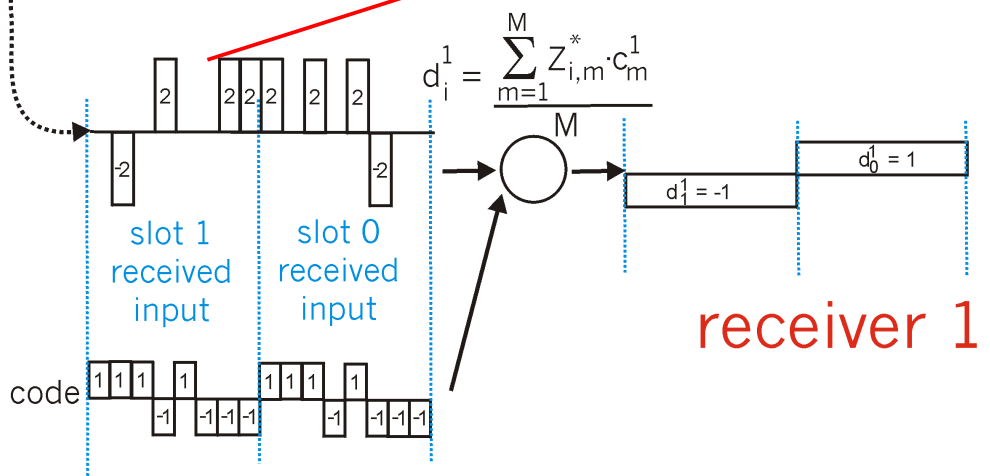
CDMA: interferencia dvoch odosielateľov

senders



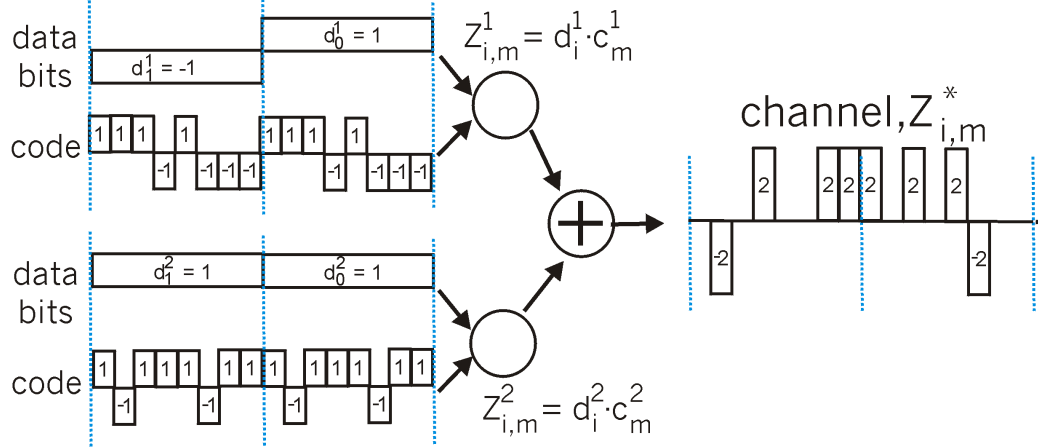
(0, -2, 0, 2, 0, 0, 2, 2)
(1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1)
(0, -2, 0, -2, 0, 0, -2, -2)

súčet je -8, delené 8 je -1,
prenášal sa bit 0



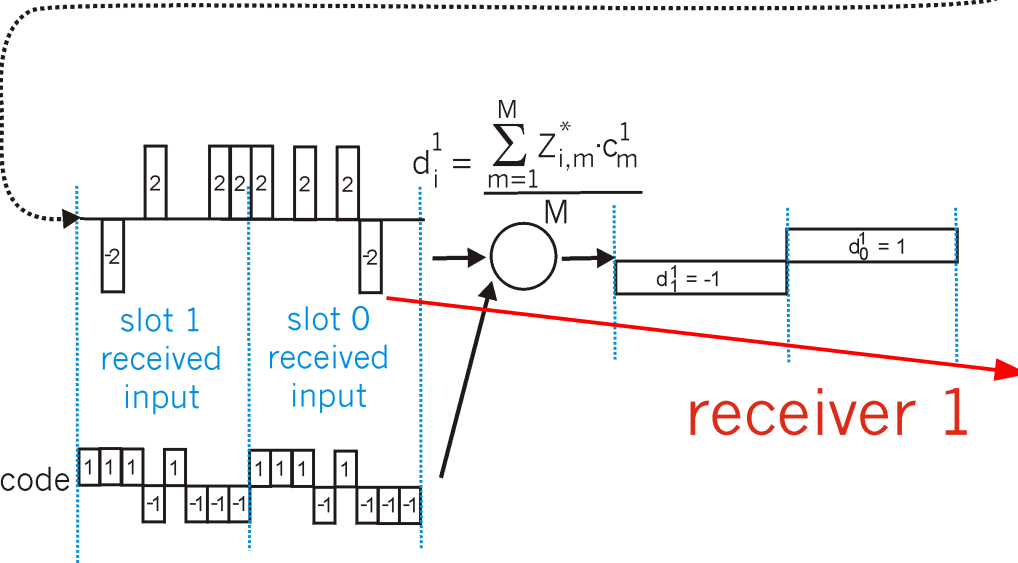
CDMA: interferencia dvoch odosielateľov

senders



(0, -2, 0, 2, 0, 0, 2, 2)
(1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1)
(0, -2, 0, -2, 0, 0, -2, -2)

súčet je -8, delené 8 je -1,
prenášal sa bit 0



(2, 0, 2, 0, 2, -2, 0, 0)
(1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1)
(2, 0, 2, 0, 2, 2, 0, 0)

súčet je 8, delené 8 je 1,
prenášal sa bit 1

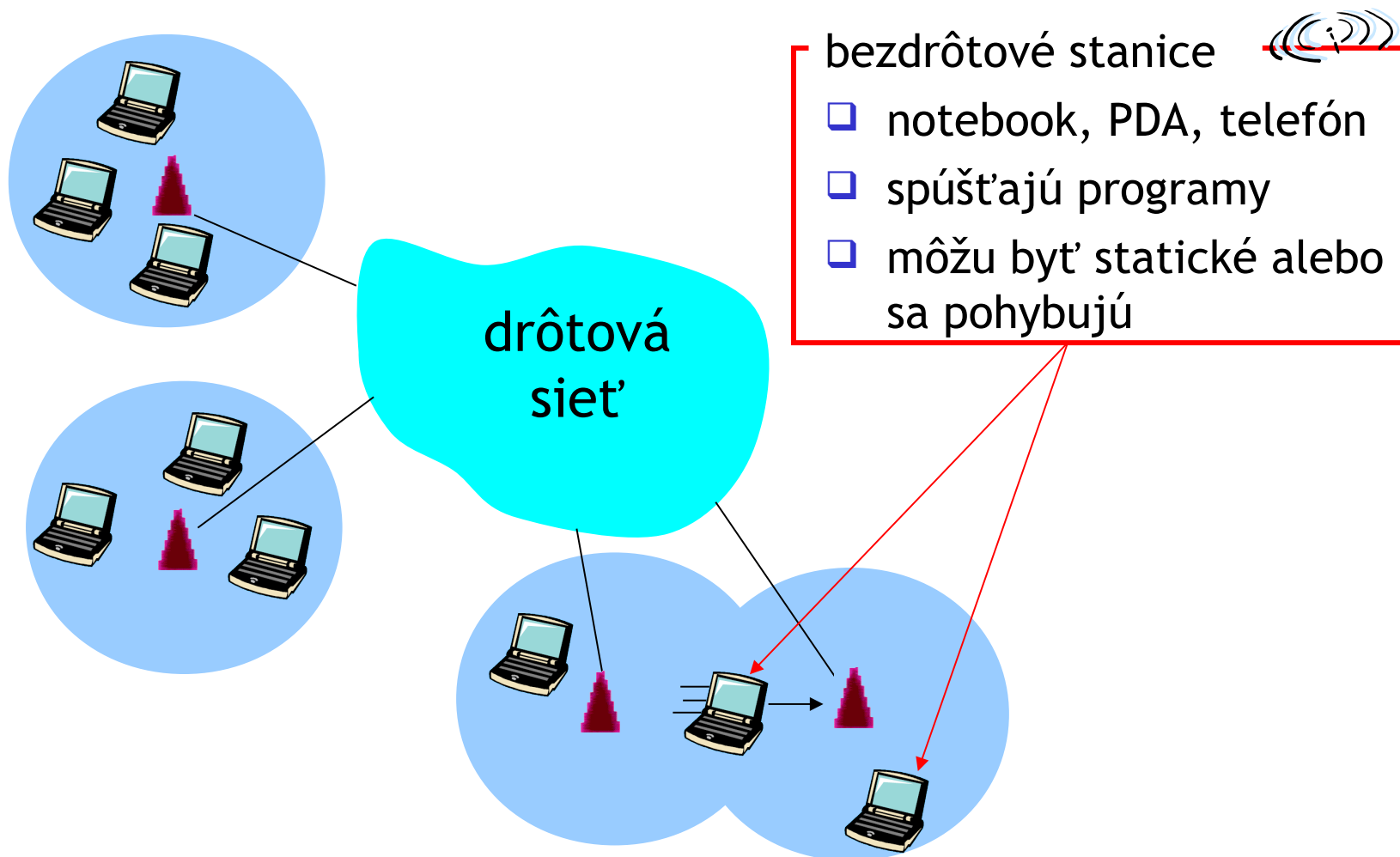
Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ **Bezdrôtové siete všeobecne**
- ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
- ❑ Bluetooth a 802.15
- ❑ WiMAX 802.16

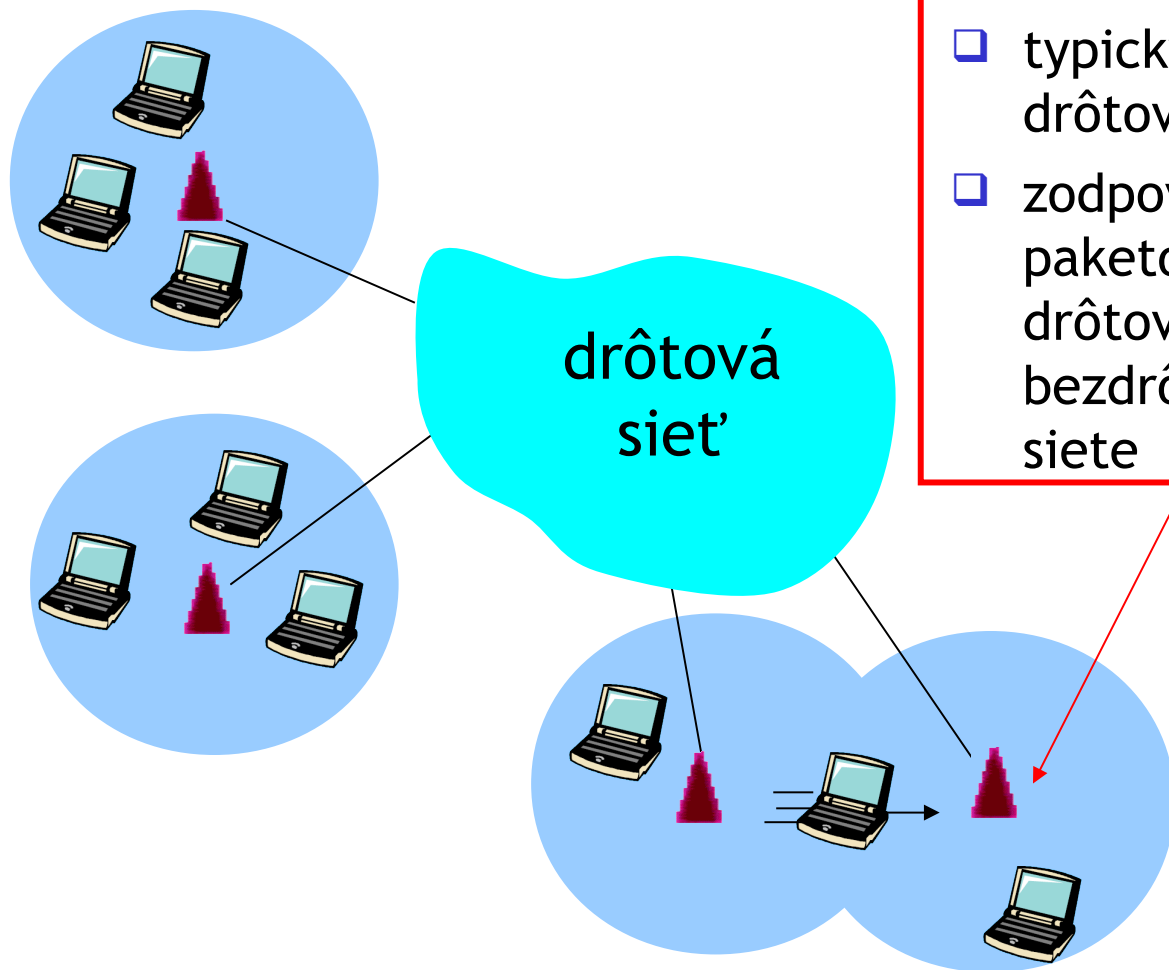
Bezdrôtové a mobilné siete

- ❑ počet zariadení pripojených bezdrôtovo už presiahol počet zariadení pripojených drôtom
- ❑ realita: notebooky, tablety, internet cez mobilný telefón, čítačky kníh s internetovým pripojením
- ❑ dva hlavné (ale rôzne) problémy
 - ❖ *bezdrôtové pripojenie*: komunikácia cez bezdrôtový spoj
 - ❖ *mobilita*: riešenie mobilnej stanice, ktorá mení miesto, cez ktoré sa pripája

Prvky bezdrôtovej siete



Prvky bezdrôtovej siete

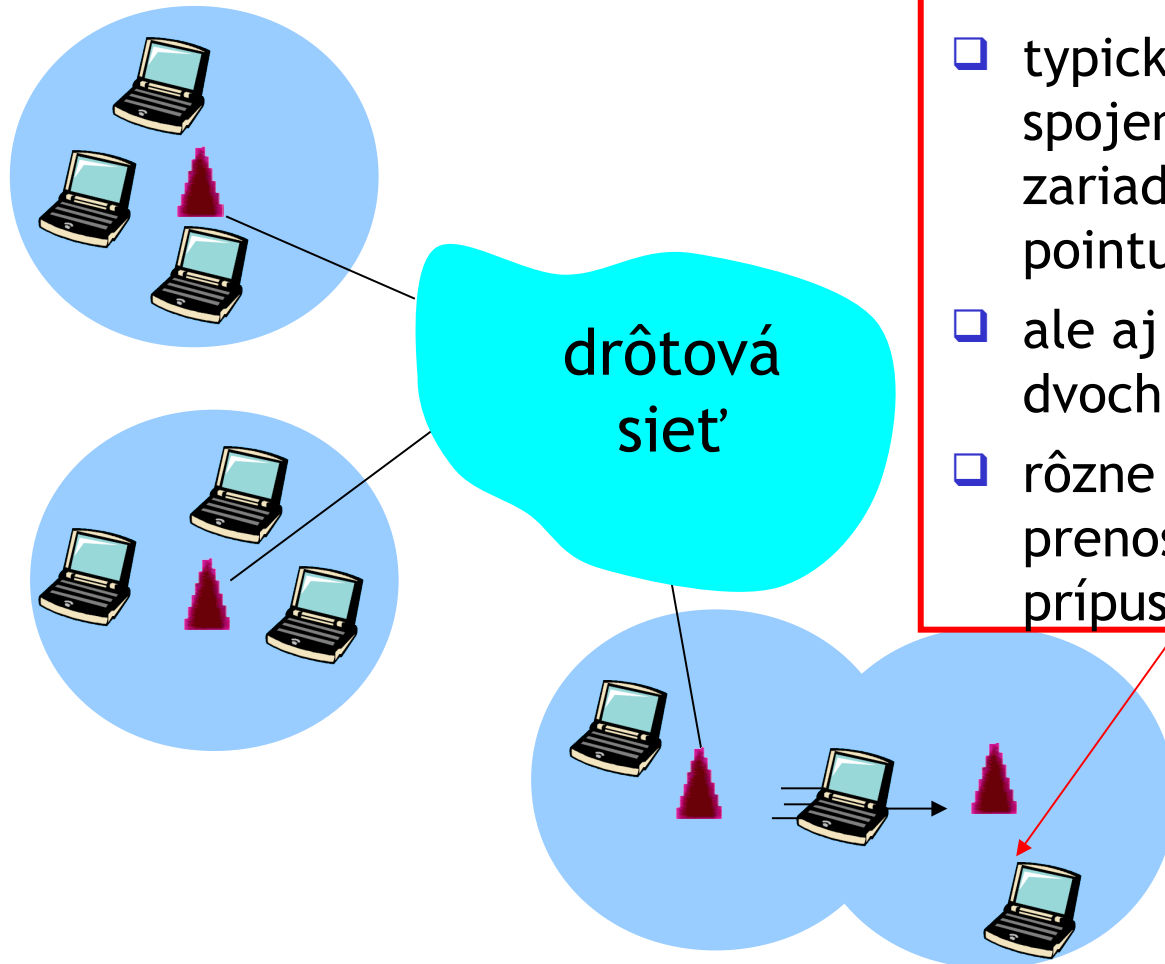


access point



- typicky napojený na drôtovú sieť
- zodpovedný za prenos paketov medzi drôtovou a bezdrôtovou časťou siete

Prvky bezdrôtovej siete

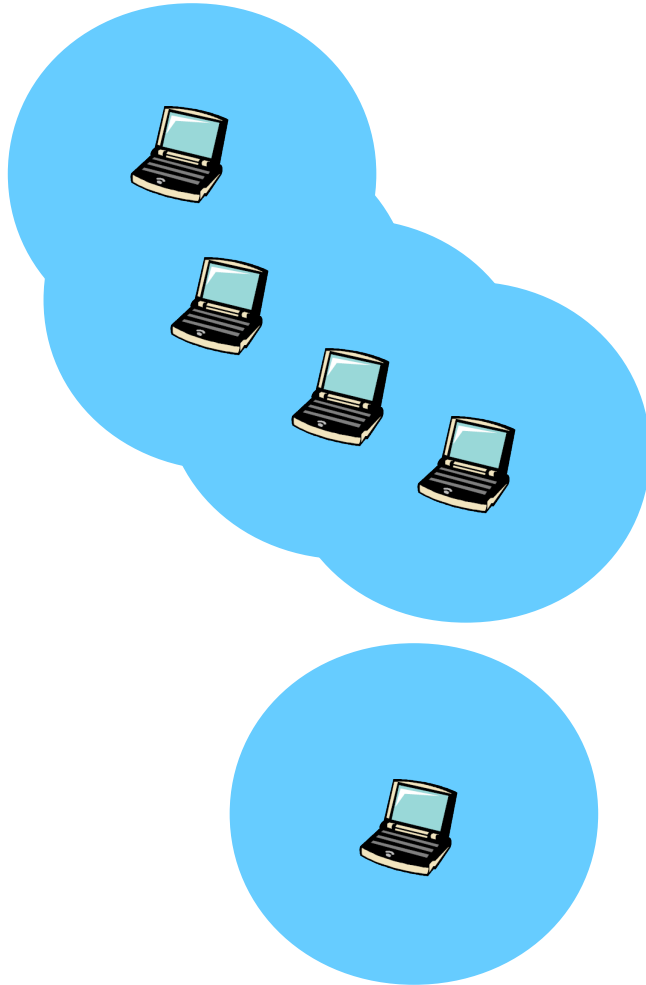


bezdrtový spoj



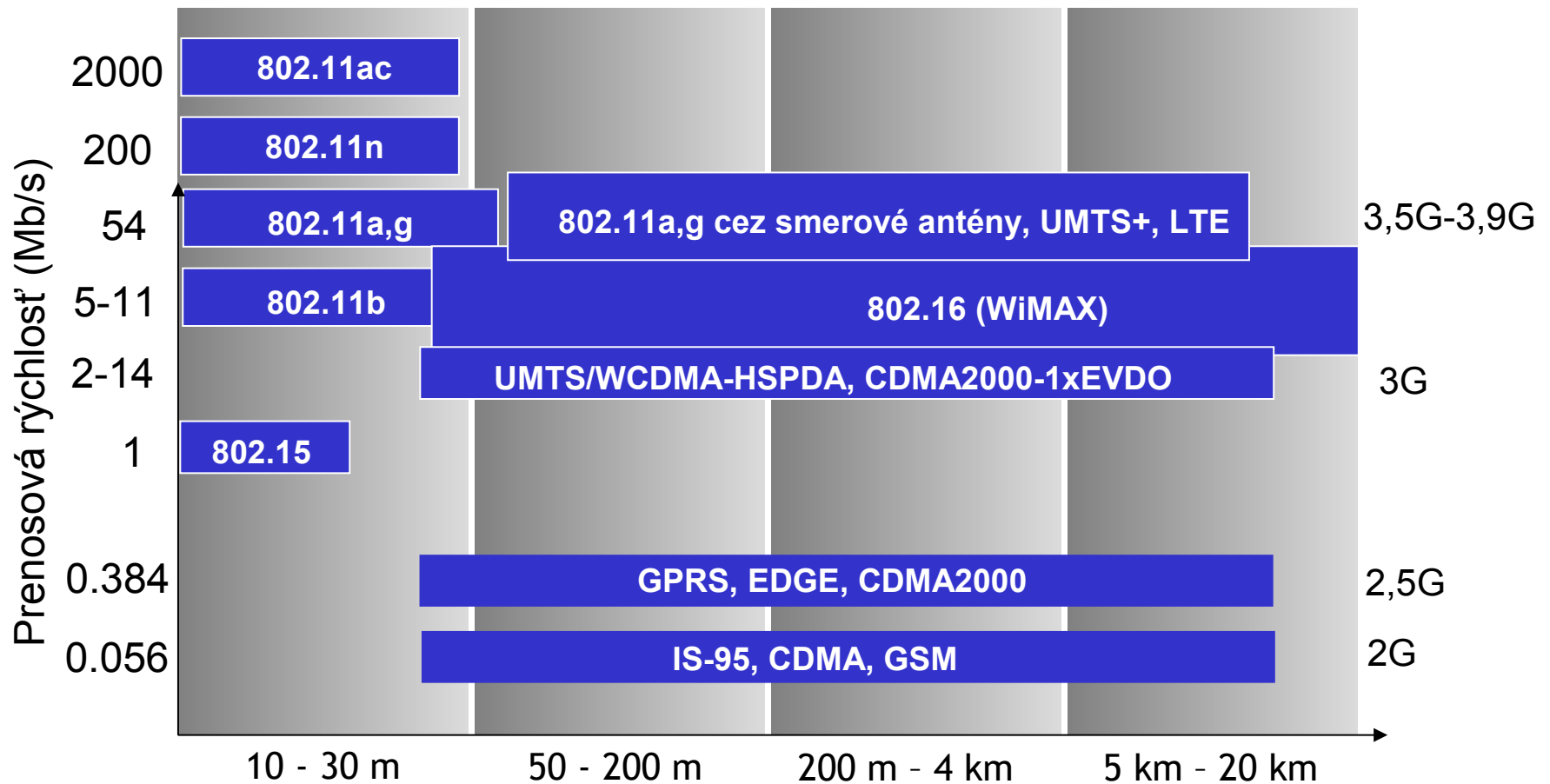
- ▣ typicky predstavuje spojenie koncového zariadenia a access pointu
- ▣ ale aj prepojenie dvoch access pointov
- ▣ rôzne rýchlosti prenosu, rôzne prípustné vzdialenosti

Zapojenie AD-HOC



- ❑ žiaden access point
- ❑ uzly sa napájajú iba na iné uzly v dosahu
- ❑ uzly sa organizujú do siete, kde niektoré uzly preposielajú pakety pre iné uzly, ktoré nie sú navzájom v dosahu

Rôzne bezdrôtové štandardy

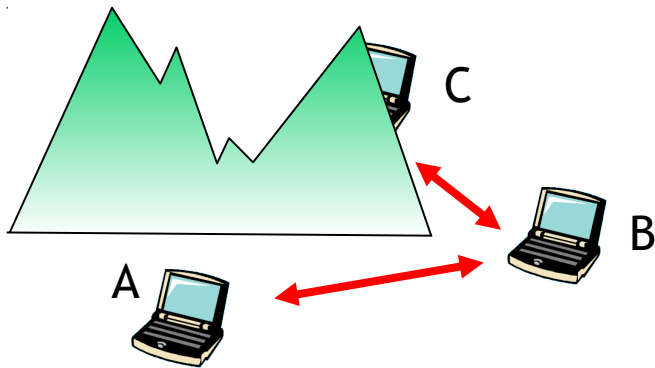


Špecifiká bezdrôtového spojenia

- ❑ **zoslabovanie signálu:** rádiový signál sa zoslabuje pri šírení prostredím
- ❑ **interferencie z iných zdrojov žiarenia:** štandardizované frekvencie “používajú” aj iné typy zariadení - mikrovlnky, telefóny, elektromotory,...
- ❑ **zmena frekvencie:** pri odraze od objektov v prostredí, pri vzájomnom pohybe vysielača a prijímača

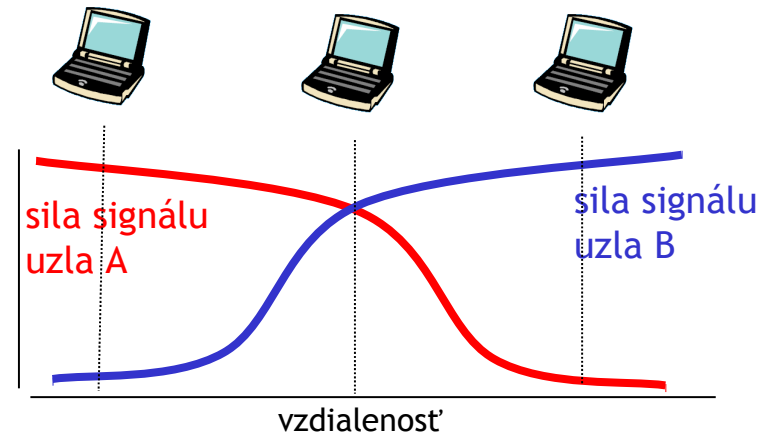
Špecifiká bezdrôtového spojenia

Viac bezdrôtových uzlov prináša nové problémy:



Hidden terminal problem

- B a A sa počujú
- B a C sa počujú
- A a C sa nepočujú kvôli prekážke



Zoslabovanie signálu:

- B a A sa počujú
- B a C sa počujú
- A a C sa nepočujú, lebo sú od seba ďaleko

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

IEEE 802.11 Wireless LAN (WiFi)

□ 802.11a

- ❖ 5-6 GHz
- ❖ až do 54 Mb/s

□ 802.11g

- ❖ 2.4-2.485 GHz
- ❖ až do 54 Mb/s

□ 802.11n: viac antén

- ❖ 2.4-2.485 GHz
- ❖ až do 200 Mb/s

□ 802.11ac: viac antén

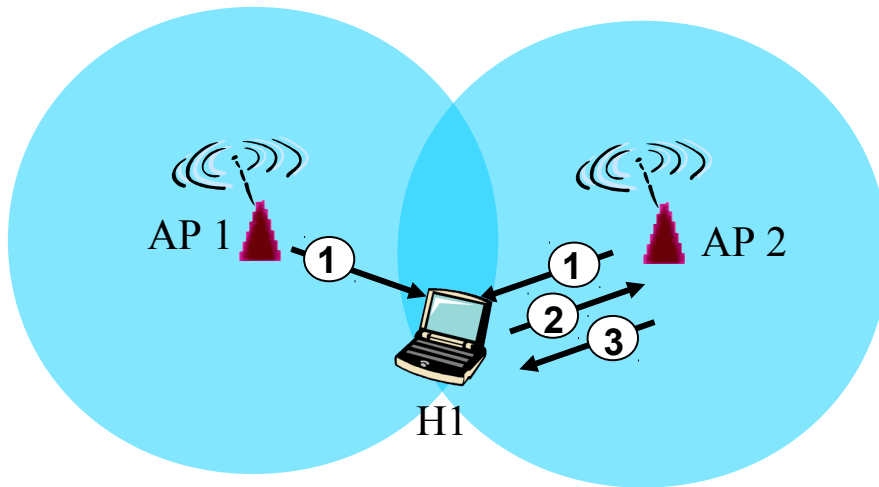
- ❖ 2.4-2.485 GHz, 5-6 GHz
- ❖ 500 - 4000 Mb/s

-
- všetky používajú prístupovú metódu CSMA/CA na zdieľaný prístup
 - všetky majú verziu pre napojenie cez access point aj ad-hoc

802.11: kanály, napojenie

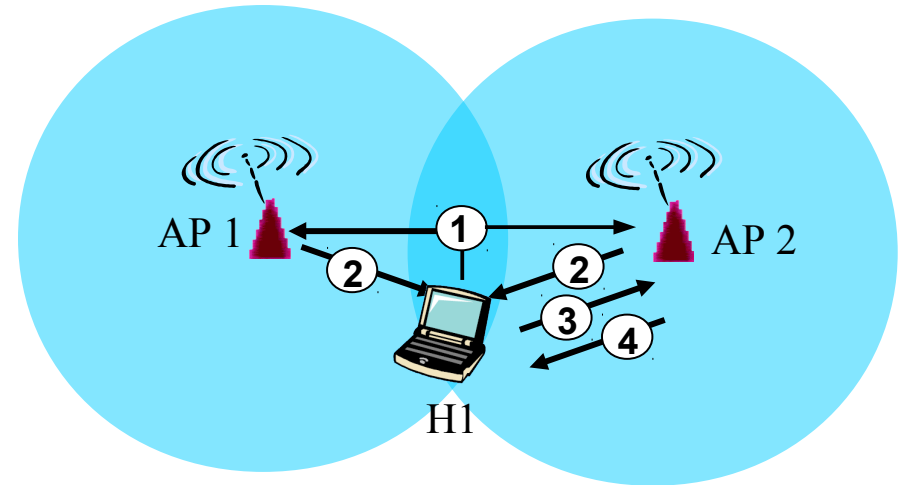
- 802.11b,g: rozsah frekvencií 2.4 GHz-2.485 GHz je rozdelený na 11 kanálov s rôznymi frekvenciami
 - ❖ správca AP si vyberie frekvenciu, na ktorej bude operovať
 - ❖ možná interferencia: môžeme vybrať rovnaký alebo blízky kanál ako susedný AP
- stanica: musí sa *napojiť* na access point
 - ❖ ladí na jednotlivé kanály a počúva, či nezachytí *signálny rámec* obsahujúci meno AP (SSID) a jeho MAC adresu
 - ❖ vyberie si AP, na ktorý sa chce napojiť
 - ❖ niekedy sa musí autentifikovať (WEP, WPA, WPA2)
 - ❖ typicky hneď po napojení spustí DHCP klienta na získanie IP adresy

802.11: pasívne/aktívne hľadanie (zjednodušená verzia)



Pasívne hľadanie:

- (1) AP-ty posielajú signálne rámce
- (2) H1 pošle rámec požiadavky na napojenie k vybranému AP
- (3) AP zašle rámec odpovede pre H1



Aktívne hľadanie:

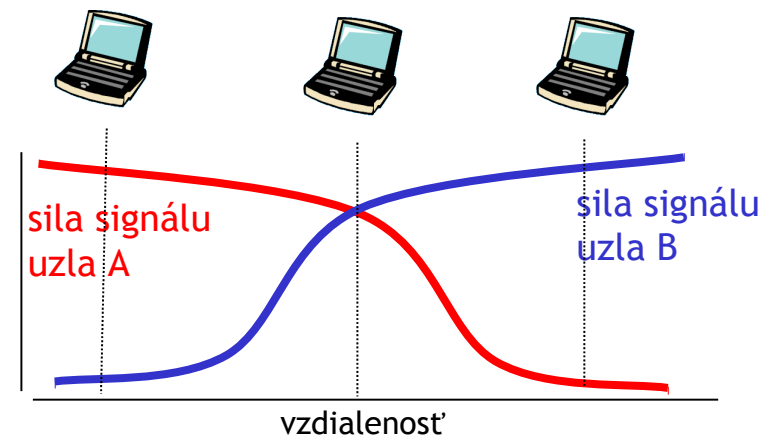
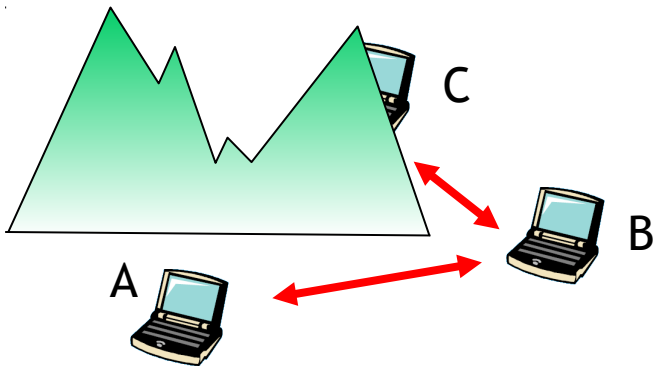
- (1) Požiadavka hľadania AP je vyslaná z H1
- (2) Odpovede hľadania sú zaslané každým AP v dosahu
- (3) H1 pošle rámec požiadavky na napojenie k vybranému AP
- (4) AP zašle rámec odpovede pre H1

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

IEEE 802.11: zdieľaný prístup

- ❑ vyhýbanie sa kolíziám, ako je to len možné
- ❑ kolízia ≥ 2 uzlov vysiela naraz
- ❑ 802.11: CSMA - počúvanie pred vysielaním
 - ❖ nechcem spôsobiť kolíziu, ak vysiela niekto iný
- ❑ 802.11: *žiadna* detekcia kolízií pri vysielaní!
 - ❖ ťažké zistiť, keďže cudzie signály sú oveľa slabšie ako vlastné vysielenie
 - ❖ nie vždy vieme zistiť, či nespôsobíme kolíziu: hidden terminal, rušenie
 - ❖ riešenie: *predchádzanie kolíziám*: prístupová metóda CSMA/CA (Collision Avoidance)



CSMA: carrier sense multiple access

802.11 odosielateľ

1.ak neregistrujeme vysielanie počas **DIFS** času
tak

vyšli celý rámec (nemáme detekciu kolízie)

2.ak registrujeme vysielanie tak

vymysli si číslo

ak nik nevysiela znižuj hodnotu čísla

ak začne niekto vysielat' neznižuj číslo

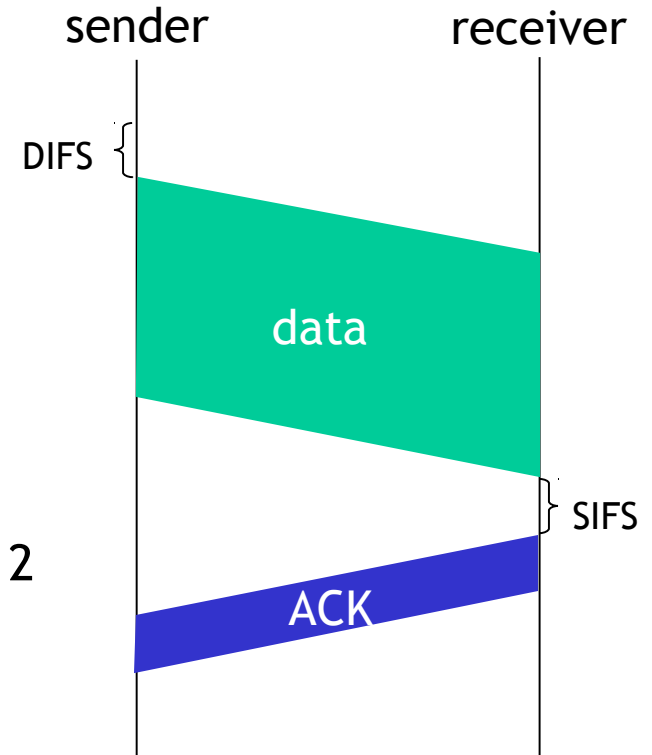
ak dopočítaš do nuly pošli celý rámec

ak nepríde potvrdenie (ACK), začni zasa bod 2

802.11 príjemca

- ak prišiel rámec v poriadku

zašli ACK po **SIFS** čase (ACK rieši spoľahlivosť aj hidden terminal problém)

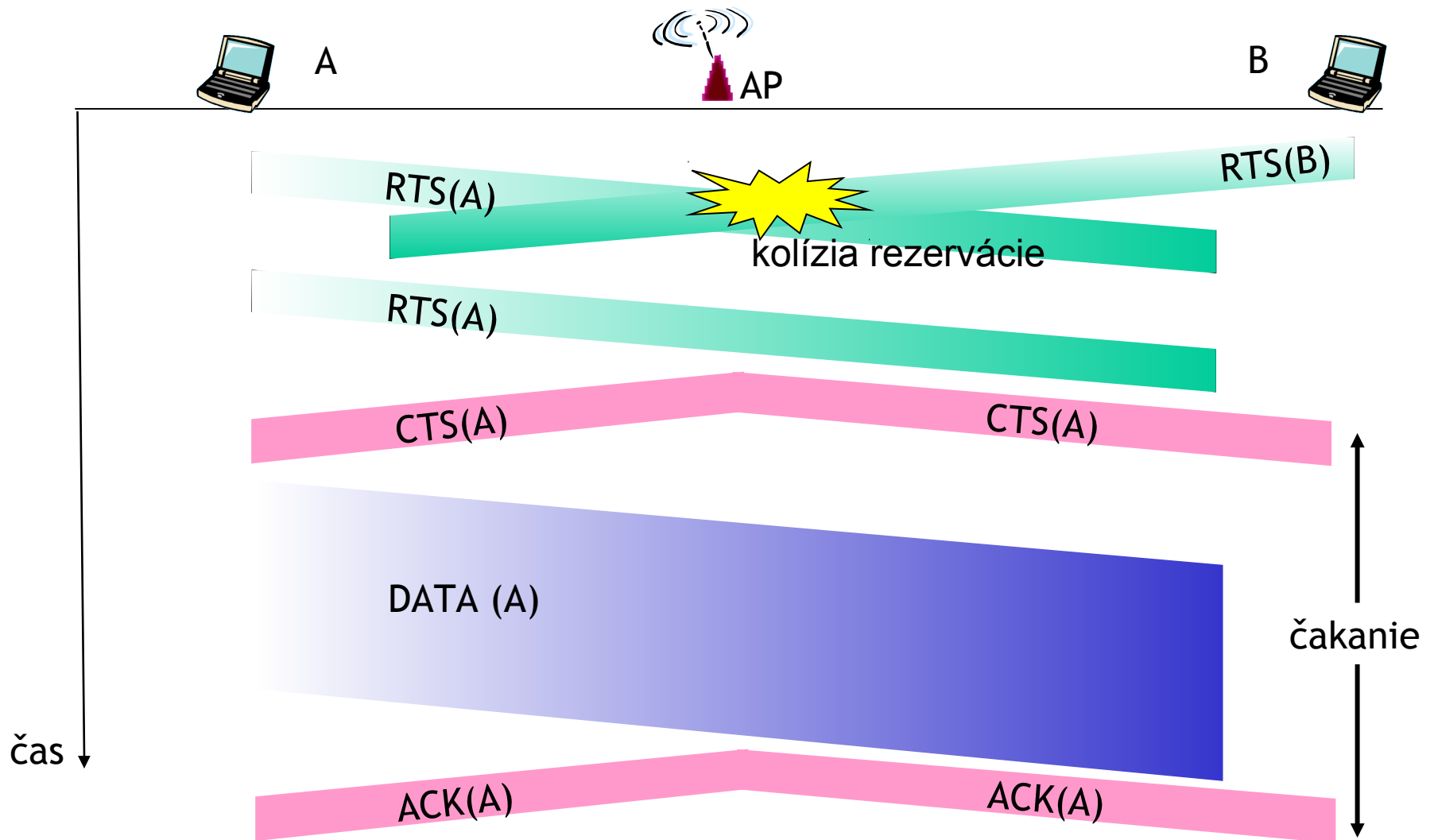


CSMA/CA: predchádzanie kolíziám

idea: poskytnúť odosielateľovi možnosť “rezervovať” si kanál namiesto vysielania v náhodnom čase: vyhnutie sa kolíziám pre dlhé rámce

- ❑ odosielateľ najprv odošle *malý* request-to-send (RTS) paket access pointu cez CSMA
 - ❖ aj RTS môže vojsť do kolízie (ale je malý)
- ❑ AP rozpošle broadcastom clear-to-send (CTS) paket
- ❑ CTS počujú všetky uzly
 - ❖ odosielateľ posiela veľký dátový rámec
 - ❖ ostatné stanice nemôžu daný čas zatiaľ vysielat'

Predchádzanie kolíziám: RTS a CTS



Prehľad prístupových metód

❑ *delenie kanála*

- ❖ podľa času, podľa frekvencie

❑ *zdieľaný prístup*

- ❖ ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
- ❖ zisťovanie kolízie: jednoduché v drôtoch, ťažké pri bezdrôtových spojoch
- ❖ CSMA/CD v Ethernete 802.3
- ❖ CSMA/CA (collision avoidance) v 802.11 (WiFi) - bude neskôr

❑ *štafetové protokoly*

- ❖ vyzývanie z hlavného uzla, posielanie tokenu
- ❖ Bluetooth, FDDI, IBM Token Ring

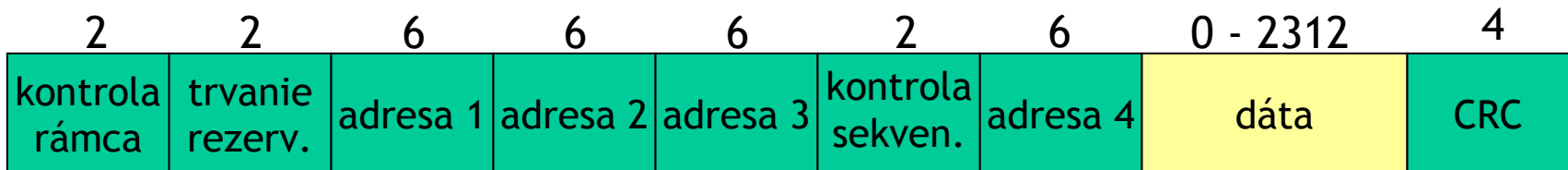
❑ *vysielanie v širokom pásme*

- ❖ využíva viacero frekvenčných pásiem, kolízia môže nastať na niekoľkých z nich
- ❖ Frekvenčné skákanie (bluetooth), DSSS, CDMA

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ **Rámec**
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

802.11 rámec: adresácia



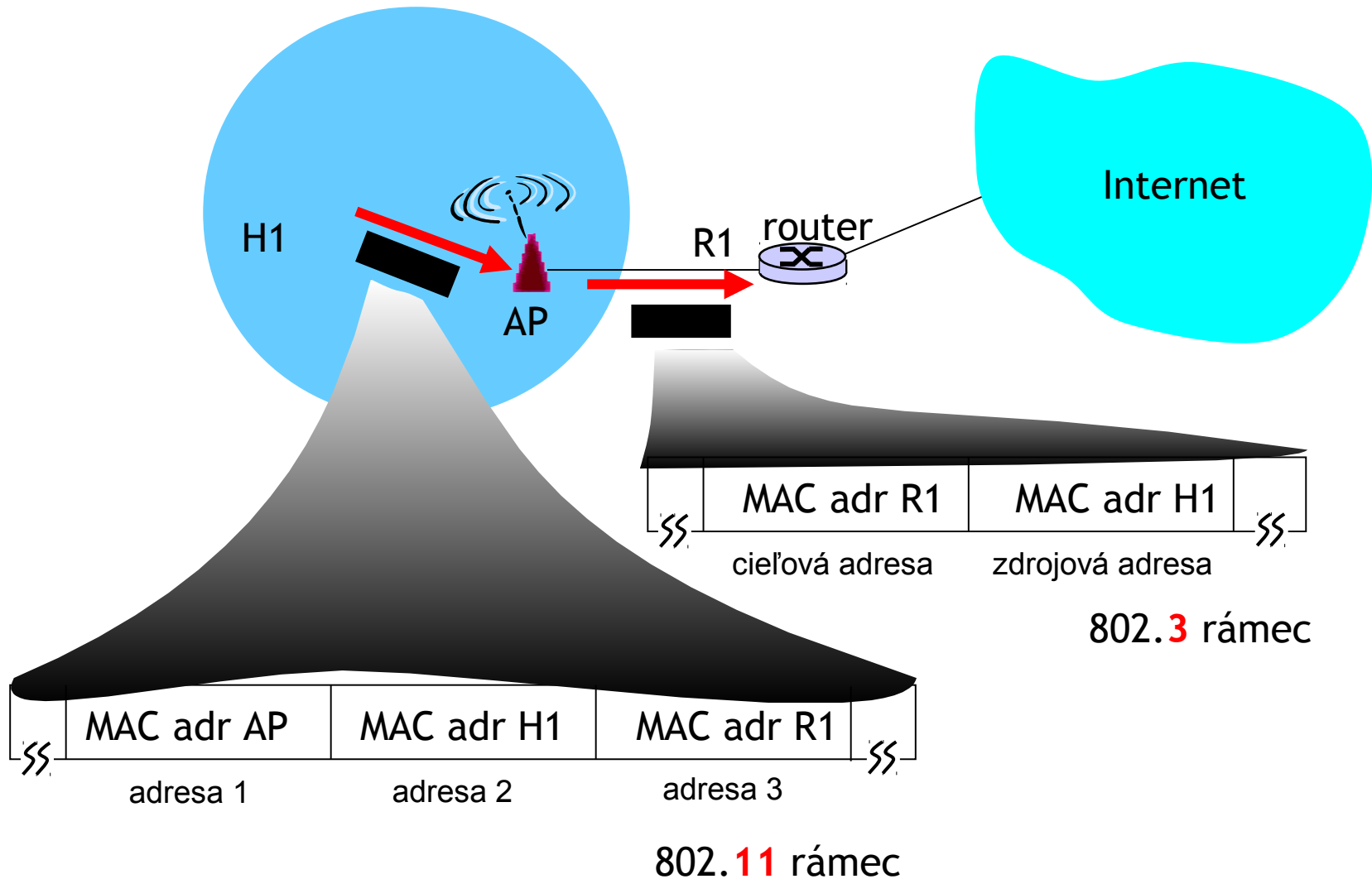
adresa 1: MAC adresa bezdrôtového príjemcu rámca (stanica alebo AP)

adresa 2: MAC adresa bezdrôtového odosielateľa rámca (stanica alebo AP)

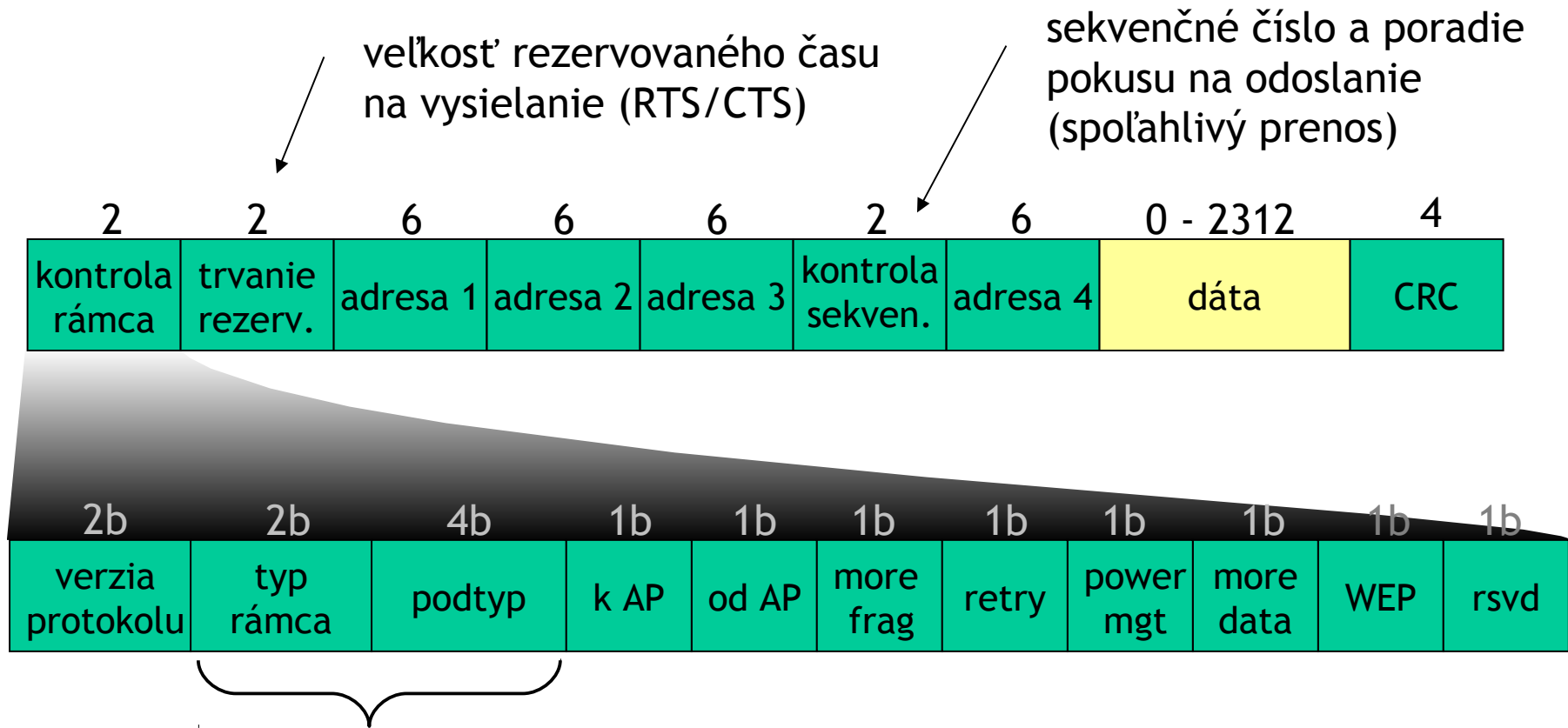
adresa 3: MAC adresa cieľového uzla v sieti (router alebo stanica)

adresa 4: pôvodný odosielateľ v sieti

802.11 rámeček: adresácia



802.11 rámec



RTS, CTS, ACK, dáta
riadenie (signálny rámec, hľadanie AP,..)

802.11: úspora energie

- ❑ uzol vyšle: “neprijímam nič až do času vyslania ďalšieho signálneho rámca”
 - ❖ AP vie, že nemá zmysel v tom čase niečo pre tento uzol posielat’
 - ❖ uzol sa zobudí tesne pred vysielaním ďalšieho signálneho rámca
- ❑ signálny rámec: obsahuje zoznam staníc, pre ktoré má prichystaný nový rámec
 - ❖ uzol ostane počúvať iba ak preňho AP niečo má, inak ide spať až do času vysielania ďalšieho signálneho rámca
- ❑ úspora až 99% energie

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
- ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
- ❑ **Bluetooth a 802.15**
- ❑ WiMAX 802.16

Prehľad prednášky

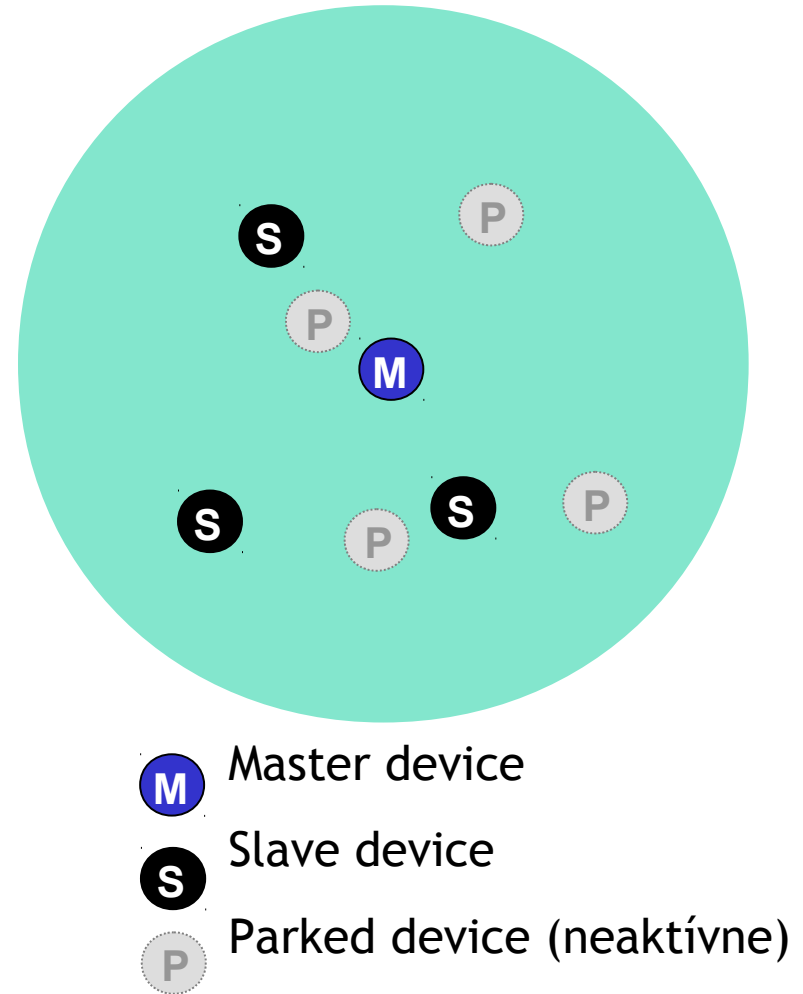
- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
- ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
- ❑ **Bluetooth a 802.15**
- ❑ WiMAX 802.16

Everything is better
with Bluetooth



802.15: personal area network

- ❑ dosah do 10 m
- ❑ náhrada za drôtové pripojenia periférií (myš, klávesnica, slúchadlá)
- ❑ iba ad-hoc architektúra
- ❑ master/slave princíp:
 - ❖ slave žiada mastra o povolenie vysielat'
 - ❖ master rozdeľuje, kto bude vysielat'
- ❑ 802.15: vyvinuté zo špecifikácie Bluetooth
 - ❖ frekvencie 2.4-2.5 GHz
 - ❖ rýchlosť do 721 kb/s



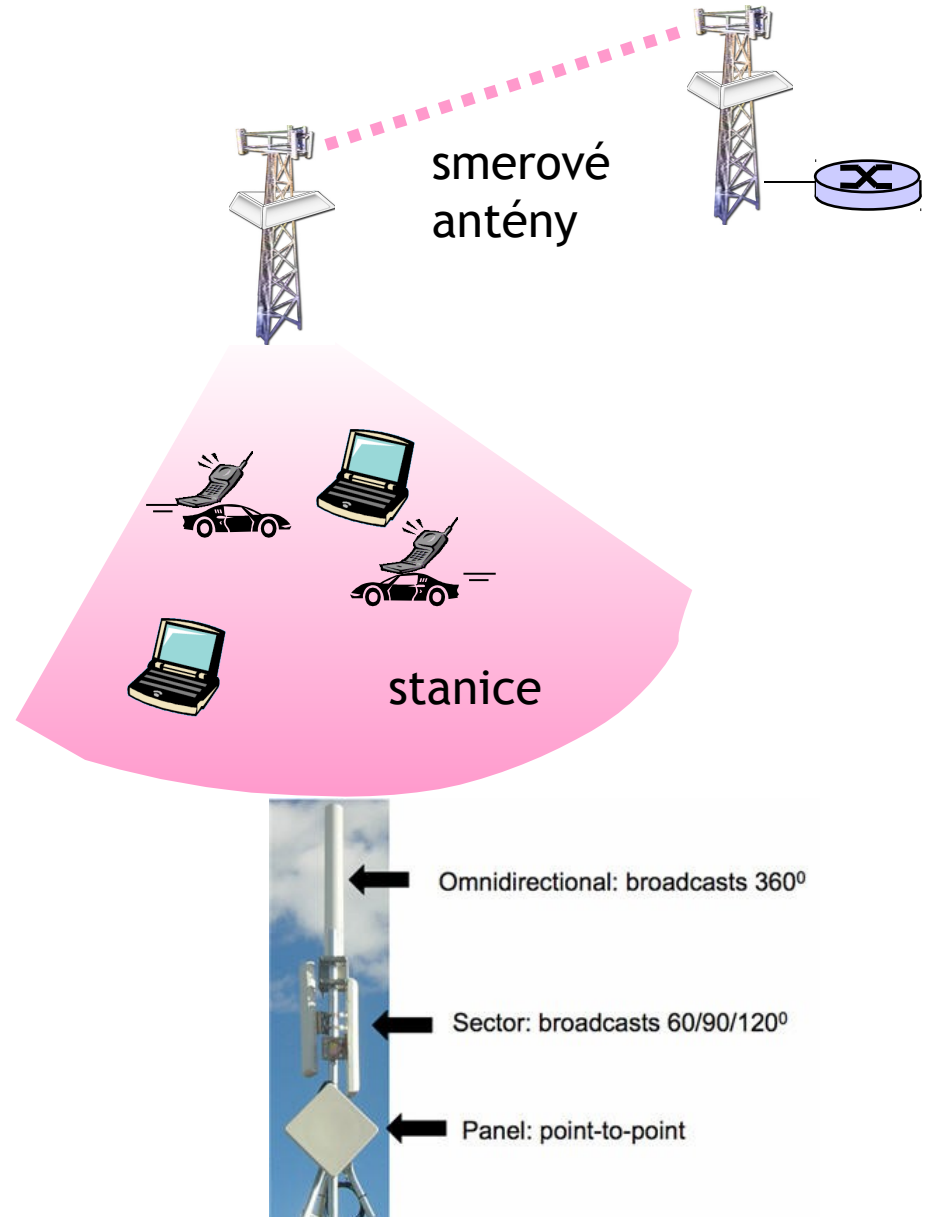
Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
- ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
- ❑ Bluetooth a 802.15
- ❑ **WiMAX 802.16**

802.16: WiMAX

- ❑ architektúra cez základné stanice (AP)
 - ❖ spojenia so stanicami cez všesmerovú anténu alebo sektorovú anténu
 - ❖ komunikácia medzi základnými stanicami cez smerové antény
- ❑ na rozdiel od 802.11:
 - ❖ dosah ~ 10 km
 - ❖ ~ 14 Mb/s
- ❑ u nás:

Slovanet a.s.



802.16: WiMAX

- ❑ základná stanica riadi, kto má kedy odosielať
- ❑ odosielať rámca má vyhradený celý kanál
- ❑ počas jedného cyklu najprv základná stanica rozpošle zoznam príjemcov a odosielaťov
 - ❖ potom postupne pre každého príjemcu pošle jeho rámec
 - ❖ potom majú odosielaťelia možnosť využiť sebe pridelený čas na odoslanie svojho rámca základnej stanici

Ďakujem za pozornosť

Modifikované slajdy z knihy:

Computer Networking: A Top Down Approach ,
4th edition.

Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, July 2007.