



# Rádiová komunikácia v mriežkových sieťach

František Galčík

Ústav informatiky  
Univerzita P.J. Šafárika, Prírodovedecká fakulta

24.9.2007

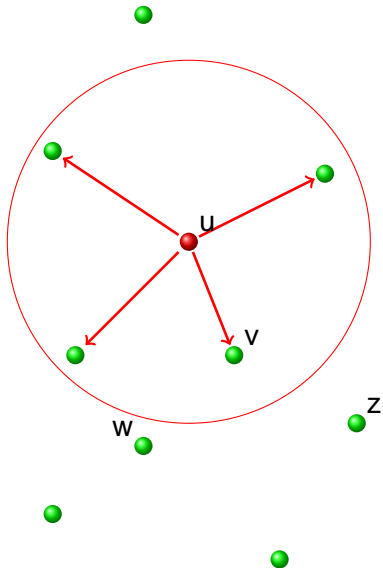
## Prečo študovať rádiové siete ?

- relatívne nízke náklady na vybudovanie komunikačnej infraštruktúry
- mobilita používateľov
- množstvo potencialných aplikácií
  - bezdrôtová komunikácia
  - senzorové siete
  - vojenské aplikácie

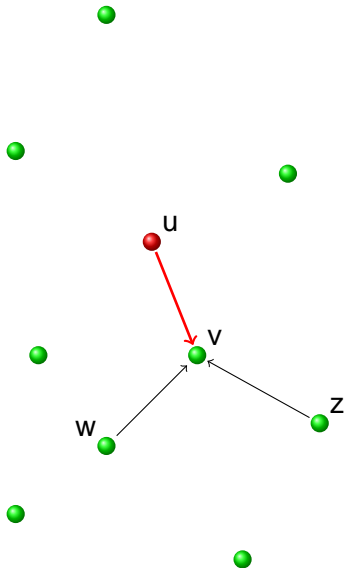


# Čo je to rádiová sieť ?

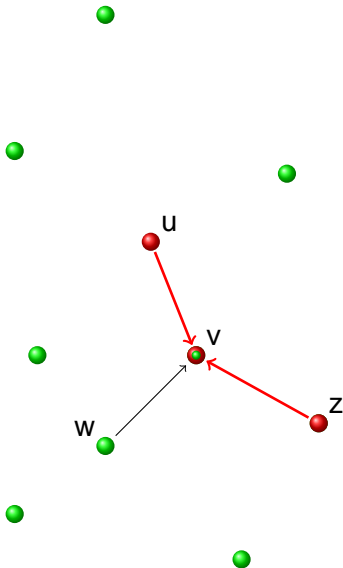
- kolekcia vysielaco-prijímacích rádiových zariadení (uzlov)
- komunikácia prostredníctvom **zasielania správ**
- práca v globálne **synchronizovaných** časových slotoch (kolách)
- zariadenie v každom kole pracuje buď ako **prijímač** alebo ako **vysielač**
- všetky uzly pracujú na **rovnamej** rádiovkej frekvencii



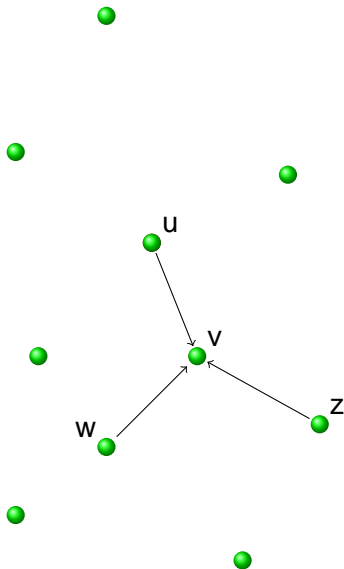
- ak uzol  $u$  vysiela, tak signál (správa) z  $u$  príde do **všetkých** uzlov, ktoré sú v jeho vysielacom rozsahu



- ak uzol  $u$  vysiela, tak signál (správa) z  $u$  príde do **všetkých** uzlov, ktoré sú v jeho vysielacom rozsahu
- ak uzol  $v$  pracuje **prijímacom režime**: tak prijme správu z uzla  $u$  práve vtedy, keď  $u$  je **jediný** vysielajúci uzol, ktorý má  $v$  vo svojom vysielacom rozsahu



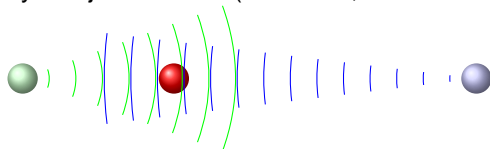
- ak uzol  $u$  vysiela, tak signál (správa) z  $u$  príde do **všetkých** uzlov, ktoré sú v jeho vysielacom rozsahu
- ak uzol  $v$  pracuje **prijímacom režime**: a je vo vysielacom rozsahu **viac než jedného** vysielajúceho uzla, tak vzniká **kolízia** a nie je prijatá žiadna správa - uzol  $v$  počuje **interferenčný šum**



- ak uzol  $v$  pracuje prijímacom režime: a nie je vo vysielacom rozsahu **žiadneho** vysielajúceho uzla, tak  $v$  počuje **šum prostredia**

- **interferencia súčasného vysielania**

- nastáva, ak uzol-prijímač je v danom kole v dosahu dvoch vysielajúcich uzlov (hovoríme, že nastáva **kolízia**)



- **všesmerovosť vysielania**

- uzol vysielala **vždy všetkým** uzlom ležiacim v jeho dosahu



- sieť modelovaná orientovaným grafom (**graf dosiahnuteľnosti**)  
 $G = (V, E)$ , kde
  - množina vrcholov  $V$  zodpovedá uzlom siete
  - hrana  $e = (u, v) \in E \iff$  uzol  $v$  je v dosahu vysielania uzla  $u$
- ak je vysielacia sila všetkých uzlov rovnaká, potom graf dosiahnuteľnosti je **symetrický** (modelovanie neorientovaným grafom)

- graf dosiahnuteľnosti je **2-rozmerná mriežka**  $G_{p,q}$ , pre nejaké  $p, q > 1$ :

$$V(G_{p,q}) = Z_p \times Z_q = \{(i, j) | 0 \leq i < p, 0 \leq j < q\}$$

$$E(G_{p,q}) = \{((i, j), (i', j')) | \\ (i' = i \wedge j' = j \pm 1) \vee (i' = i \pm 1 \wedge j' = j)\}$$

- každý uzol siete  $v$  ma iniciálne priradený **jedinečný identifikátor**  $ID(v)$
- okrem  $ID(v)$  uzol **nemá** žiadnu **iniciálnu informáciu** (okrem znalosti faktu, že sa nachádza v mriežke)
- uzol môže vysielat' až po úspešnom prijatí správy
- **distribované riadenie**
- uzly **nedokážu rozlíšiť interferenčný šum** a **šum pozadia**

- **broadcasting** - cieľom je doručiť informáciu z vybraného uzla siete do všetkých ostatných uzlov siete
- **výpočet inicializačných informácií**:
  - vypočet koordinátov uzlov v sieti
  - vytvorenie efektívneho komunikačného mechanizmu

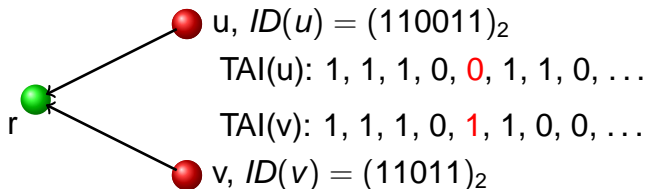
## Miery efektívnosti:

- **časová zložitosť**: čas (počet kôl) na realizáciu úlohy
- **energetická zložitosť**: celkový počet odvysielaných správ v sieti

## Parametre siete:

- $N = \max\{ID(v) | v \in V(G_{p,q})\}$  - maximálny identifikátor v sieti
- *ecc* - excentricita zdroja
- *n* - počet uzlov siete

- $(a_1, a_2, \dots, a_k)_2$  - binárny zápis identifikátora  $ID(v)$
- vysielacia **sekvencia prisluchajúca identifikátoru**  $ID(v)$ :  
 $1, a_k, a_{k-1}, \dots, a_2, a_1, 0, 0, \dots$

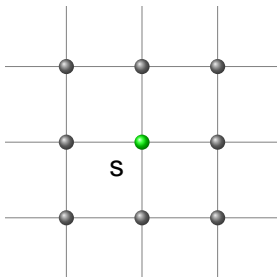


- vysielanie podľa vysielacej sekvencie (**1 - vysielala, 0 - nevysielala**)  
**garantuje úspešné doručenie** správy od jedného z dvoch participujúcich susedných vrcholov

- 1 zdroj vyberie jedného zo svojich susedov (zistí jeho ID)
- 2 vrcholy v okolí zdroja vypočítajú inicializačnú informáciu
- 3 v sieti sa rozšíri zdrojová správa

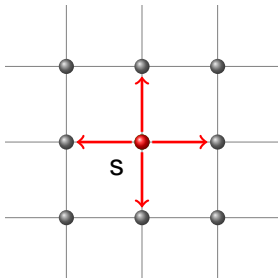
# Výber susedného vrcholu zdrojom

- prebieha v 4 **súčasne vykonávaných** úlohách
- time-division multiplexing stratégia:  
v kole  $j$  sa vykonáva krok úlohy  $i$  ak  $j \equiv i \pmod{4}$



# Výber susedného vrcholu zdrojom

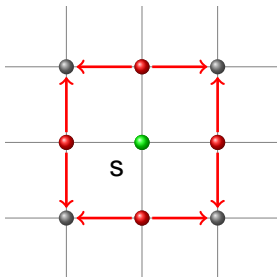
- prebieha v 4 **súčasne vykonávaných** úlohách
- time-division multiplexing stratégia:  
v kole  $j$  sa vykonáva krok úlohy  $i$  ak  $j \equiv i \pmod{4}$



**Krok 1:** Zdroj  $s$  inicializuje algoritmus

# Výber susedného vrcholu zdrojom

- prebieha v 4 **súčasne vykonávaných** úlohách
- time-division multiplexing stratégia:  
v kole  $j$  sa vykonáva krok úlohy  $i$  ak  $j \equiv i \pmod{4}$

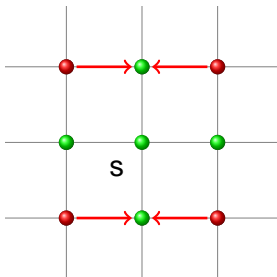


**Úloha 1:** TAI procedúra s cieľom informovať uzly, ktoré susedia s práve 2 susedmi zdroja



# Výber susedného vrcholu zdrojom

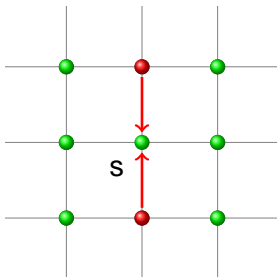
- prebieha v 4 **súčasne vykonávaných** úlohách
- time-division multiplexing stratégia:  
v kole  $j$  sa vykonáva krok úlohy  $i$  ak  $j \equiv i \pmod{4}$



**Úloha 2:** TAI procedúra s cieľom informovať susedov zdroja o úspešnom prijatí identifikátora v úlohe 1 (uzol s prijatým ID prechádza do úlohy 3)

# Výber susedného vrcholu zdrojom

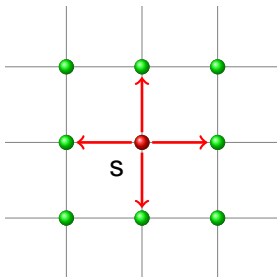
- prebieha v 4 **súčasne vykonávaných** úlohách
- time-division multiplexing stratégia:  
v kole  $j$  sa vykonáva krok úlohy  $i$  ak  $j \equiv i \pmod{4}$



**Úloha 3:** TAI procedúra s cieľom informovať zdroj o identite jedného z maximálne dvoch vybraných uzlov v úlohe 2

# Výber susedného vrcholu zdrojom

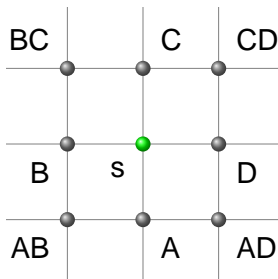
- prebieha v 4 **súčasne vykonávaných** úlohách
- time-division multiplexing stratégia:  
v kole  $j$  sa vykonáva krok úlohy  $i$  ak  $j \equiv i \pmod{4}$



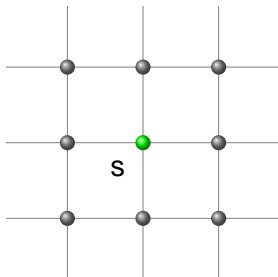
**Úloha 4:** Zdroj  $s$  informuje o **ukončení výberu** po prijatí identity suseda počas úlohy 3

# Výpočet inicializačnej informácie

- inicializačná informácia (zaradenie do niektorej zo skupín) láme uniformitu uzlov v okolí zdroja

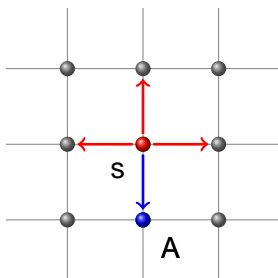


# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



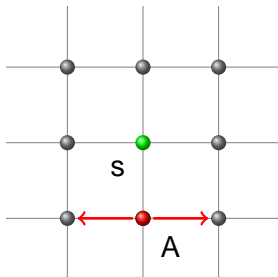
Iniciálny stav.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



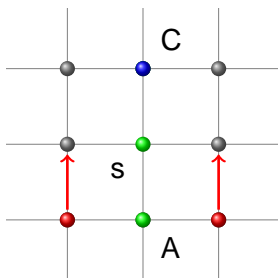
Zdroj **s** vysiela správu na inicializovanie výpočtu **s identitou vybraného suseda**. Vybraný sused získava značku **A**.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



Uzol so značkou **A** informuje svojich susedov.

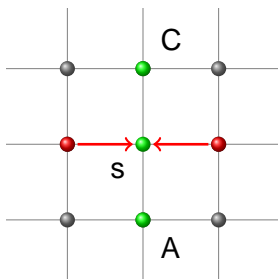
# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



Susedia uzla **A** posielajú prijatú správu ďalej: sused zdroja neprijímajúci správu si priradzuje značku **C**.

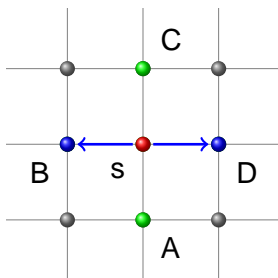


# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



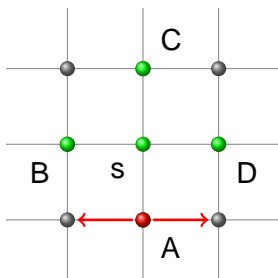
Susedia zdroja bez značky aplikujú **TAI procedúru**, po ktorej zdroj pozná identitu jedného z nich.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



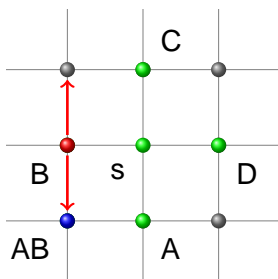
Zdroj informuje o identite uzla, od ktorého prijal správu: susedia si priradia rôzne označenia **B** a **D**.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



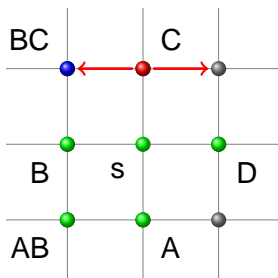
Individuálne vysielania susedov zdroja s cieľom označiť spoločné susedné uzly.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



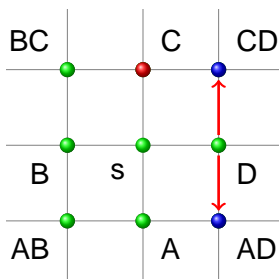
Individuálne vysielania susedov zdroja s cieľom označiť spoločné susedné uzly.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



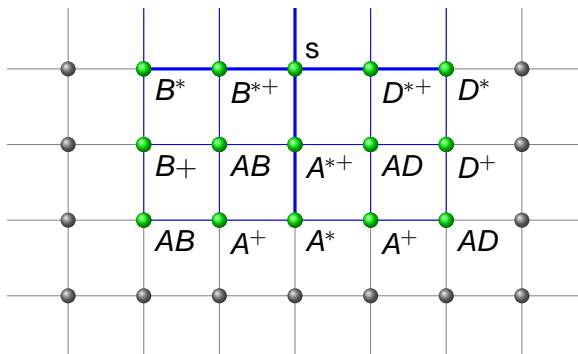
Individuálne vysielania susedov zdroja s cieľom označiť spoločné susedné uzly.

# Výpočet inicializačnej informácie (schéma)



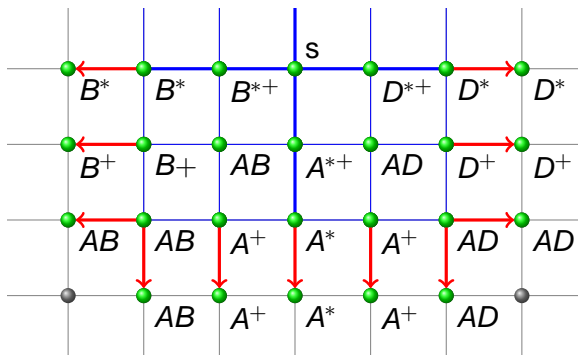
Individuálne vysielania susedov zdroja s cieľom označiť spoločné susedné uzly.

# Šírenie zdrojovej správy v mriežke (schéma)



- správa sa šíri **vo vln** v **tvare štvorca**
- vlna sa **posúva** počas **jednej fázy** algoritmu
- číslo aktuálnej fázy a kola v rámci fázy sú súčasťou každej vyslanej správy
- uzly na hranici vlny udržiavajú **štrukturálnu informáciu**

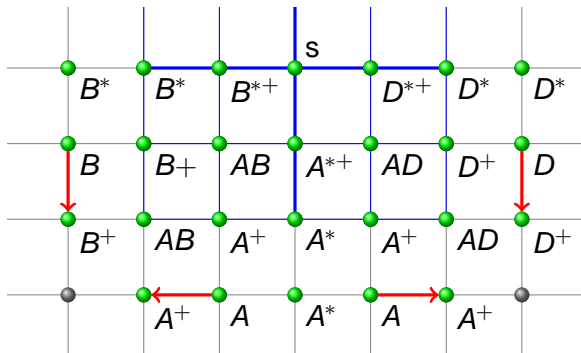
# Šírenie zdrojovej správy v mriežke (schéma)



- uzly na hranici vlny vysielajú zdrojovú správu spolu s zaradením do skupiny (značkou)

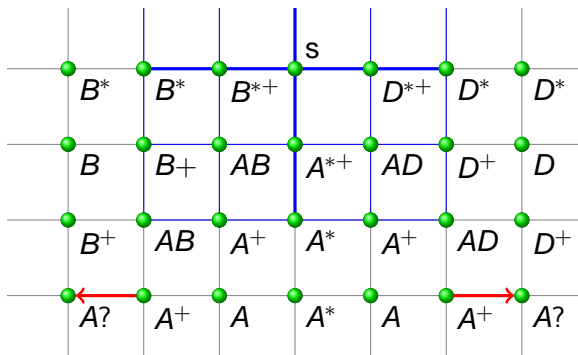


# Šírenie zdrojovej správy v mriežke (schéma)



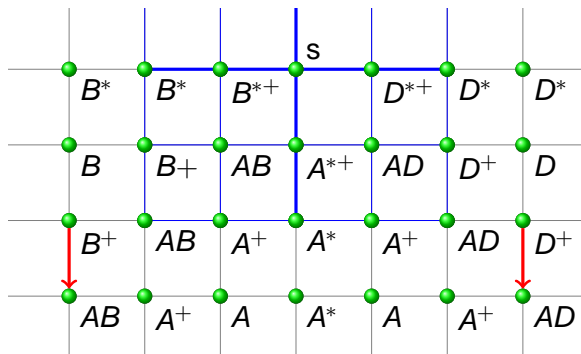
- novoinformované uzly so značkou + vysielajú svoje označenie
- odosielateľ ruší značku +
- príjemca v  $XY$  skupine mení svoje označenie na označenie v prijatej správe

# Šírenie zdrojovej správy v mriežke (schéma)



- uzly na hranici vlny so značkou  $A^+$  a  $C^+$  vysielajú svoju značku spolu so zdrojovou správou

# Šírenie zdrojovej správy v mriežke (schéma)



- uzly na hranici vlny so značkou  $B^+$  a  $D^+$  vysielajú svoju značku spolu so zdrojovou správou
- uzly, ktoré v dvoch posledných kolách prijímajú značky sú označené "kombinovanou značkou" XY

Využijeme uzly "pokroku":

- označené symbolom \*
- vytvárajú **komunikačný kanál** končiaci v zdroji a **kontrolúci šírenie** informácie v jednotlivých smeroch
- ak bol uzol  $v$  informovaný v  $i$ -tej fáze, potom:
  - $P(v) = (i \bmod 3) \bmod 4$ , ak  $v$  má značku  $A^*$
  - $P(v) = (i \bmod 3 + 1) \bmod 4$ , ak  $v$  má značku  $B^*$
  - $P(v) = (i \bmod 3 + 2) \bmod 4$ , ak  $v$  má značku  $C^*$
  - $P(v) = (i \bmod 3 + 3) \bmod 4$ , ak  $v$  má značku  $D^*$

Informované uzly "pokroku" **vysielajú správu vo vyhradenom kole  $k$  fázy  $j$  práve vtedy**, ak:

- $j \equiv P(v) \pmod{4}$
- v predchádzajúcej fáze prijali v kole  $k$  správu alebo ešte ani raz nevysielali v kole  $k$

- zdroj na základe prijmu správ v kole  $k$  každej fázy vie určiť, či sa zdrojová správa v danom smere šíri
- zdroj vie určiť koľko fáz sa šírila správa v danom smere

**Dôsledok:** zdroj vie určiť rozmery mriežky a svoju pozíciu v mriežke.

**Zložitosť algoritmu:**

- časová:  $O(\text{ecc} + \log N)$  kôl
- energetická:  $O(n + \log N)$  správ

# Výpočet koordinátov uzlov v mriežke

- broadcastovací algoritmus zachováva štruktúru "vlny", v ktorej sa zdrojová správa šíri
- jednotlivým značkám je možné priradiť vektory zmeny koordinátov
- modifikácia broadcastovacieho algoritmu:
  - informované uzly majú vypočítané (a fixované) koordináty v mriežke
  - pri posune broadcastovacej vlny sa k správam pridávajú koordináty odosielateľa
  - zo značky a koordinátov odosielateľa novoinformaný príjemca vypočíta svoje koordináty
- zložitosť rovnaká ako pri broadcastovacom algoritme

- založený na
  - znalosti koordinátov uzla v sieti
  - výsledkoch o **2-distance coloring** v mriežkach (Fertin a ďalší, 2003).
- **2-distance coloring** - regulárne farbenie, kde žiaden vrchol **nemá 2 susedov rovnakej farby**
- $TR(v) = (2x + y) \bmod 5$  - bezkolízne číslo pre uzol  $v$  so súradnicami  $[x, y]$
- **modifikácia** algoritmu nepredpokladajúceho kolízie:
  - každé kolo sa rozdelí na 5 podkôl
  - uzol  $v$  vysielá v podkole  $TR(v)$
- vlastnosti 2-distance coloring-u **garantujú bezkolíznosť** vysielaní

- **asymptoticky optimálny distribuovaný broadcastovací algoritmus** pre mriežkové rádiové siete
- **efektívna inicializácia** siete modifikáciou algoritmu:
  - výpočet koordinátov uzlov v mriežke
  - bezkolízny komunikačný mechanizmus
  - výpočet počtu uzlov siete
  - redukcia identifikátorov uzlov na rozsah  $1, \dots, n$
- aplikovateľné na synchronónne siete, kde uzol v jednom kole môže prijať nanajvýš jednu správu (uzly s obmedzeným prijímacím buffrom)
- základná myšlienka aplikovateľná i na mriežkové rádiové siete s interferenčným rozsahom presahujúcim vysielací rozsah



Ďakujem za pozornosť