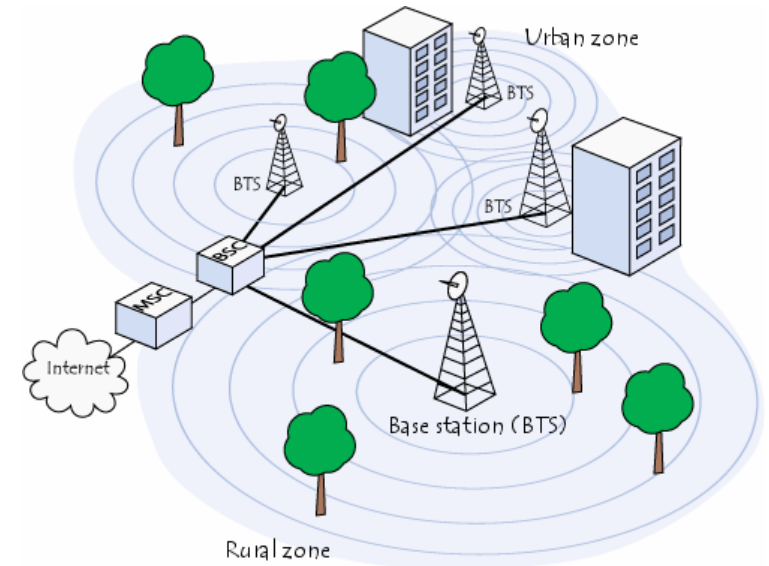


Počítačové siete 2

MAC protokoly, sieťová kapacita



Infraštruktúra je regulovaná vládou.

Ad hoc siete nepotrebujú vládou regulovanú infraštruktúru.

Figure sources: <http://en.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/gsm.php3>,
<http://www.ecofriend.com/entry/eco-tech-turkish-cellphone-operator-installs-sun-and-wind-powered-base-station/>,
<http://www.technicalxinc.blogspot.com/>

OSI referenčný model



L7: Aplikačná vrstva (Web, email client, ...)

L6: Prezentačná (reprezentácia dát)

L5: Relačná (spojenie štart/ukončenie)

L4: Transportná (TCP, UDP)

L3: Sieťová (smerovanie) (IP; AODV, DSR, TORA, LAR)

L2: Linková (MAC) (802.11, CSMA, MACA, Aloha)

L1: Fyzická (Hardvér, modulácia)

MAC protokol umožňuje používateľom zdieľať rádiové spektrum, ktoré má obmedzenú kapacitu.

- Umožňujú používateľom zdieľať rádiové spektrum
- Potrebné na dosiahnutie vysokej kapacity pomocou alokácie spektra viacerým používateľom
- Bez degradácie výkonnosti
- Energicky efektívne

QoS (Quality of Service)

Oneskorenie: časový interval medzi prijatím a odoslaním dátového paketu (vrátane jeho spracovania, čakaním vo paketovej fronte atď.)

Spravodlivosť (fairness): možnosť rozdielných používateľov a spojení využívať spektrum rovnako

- Dlhodobá
- Krátkodobá (sekundy a menej)

Spravodlivosť pre n spojení

JFI:= 0.0 je nespravodlivé,

JFI:= 1.0 je spravodlivé.

$$JFI = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i' \right)^2}{n \left(\sum_{i=1}^n x_i'^2 \right)}$$

x_i je počet paketov prijatých na spojení i

$$x_i' = \frac{x_i}{\bar{x}_i}$$

\bar{x}_i je počet paketov prijatých na spojení i pri požadovanej spravodlivosti

QoS (Quality of Service)

Priepustnosť (throughput): množstvo dát úspešne poslaných od odosielateľa k príjemcovi (bits per second).

Užitočná priepustnosť (goodput): množstvo užitočných dát úspešne poslaných od odosielateľa k príjemcovi (bits per second).

Réžia (overhead): množstvo pomocných dát potrebných na poslanie dátových paketov (CRC, adresy, typ paketu atď.)

QoS miery môžu byť upravené tak, aby vyhovovali danému scenáru

Deterministické (scheduled)

- **TDMA**, Time division multiple access: časový multiplex, vyžaduje presnú synchronizáciu času, pridávanie používateľov vyžaduje nový plán rozdelenia času
- **FDMA**, Frequency division multiple access: frekvenčný multiplex, rozdielne kanály (frekvencie) pre rozdielnych používateľov
- **CDMA**, Code division multiple access: kódový multiplex, na dekódovanie je potrebný kód, dekódovanie je založené na korelácií

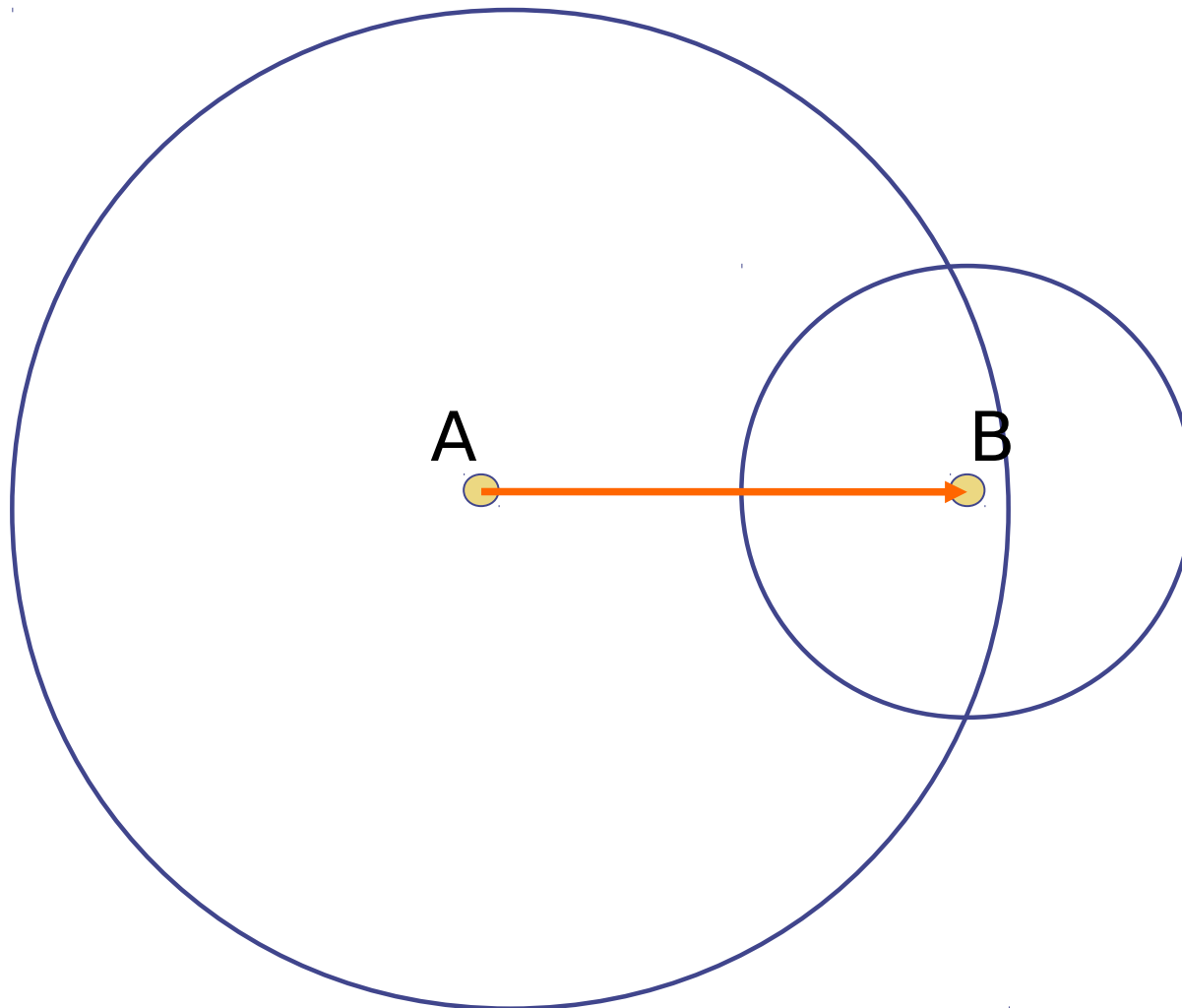
Stochastické (založené na súťaži)

- Súťaž o prístup k médiu: (virtuálna) detekcia nosnej, exponenciálne čakanie.

Návrh MAC protokolov

- Minimum kolízií
- Energická efektívnosť
- Škálovateľnosť a adaptívnosť: schopnosť podporovať siete akejkoľvek veľkosti, hustoty uzlov a topológie. Používatelia sa môžu kedykoľvek stať súčasťou siete
- Vysoké využitie spektra/kanálov

Predpoklady



B môže počuť A neimplikuje, že A môže počuť B
Šírenie signálu nie je uniformné

Pure ALOHA: dátový paket je poslaný hneď ako je to možné. Ak nie je prijatý potom nastane poslanie s náhodným oneskorením.

Slotted ALOHA: čas je rozdelený do nedeliteľných časových intervalov (slotov), posielanie je možné len na začiatku intervalu.

Bez detekcie nosnej, bez rezervácie kanálu

Vhodné pre siete s nízkou hustotou uzlov

Nie je IEEE štandard.

CSMA: Carrier Sensing Multiple Access

CSMA je založený na schopnosti bezdrôtových zariadení monitorovať využitie kanálu. Ak kanál nie je využitý nastane poslanie dát, v opačnom prípade nastane náhodné oneskorenie a opätovné poslanie.

1-persistent CSMA čaká pokým kanál nie je voľný a potom pošle dáta s pravdepodobnosťou 1.0.

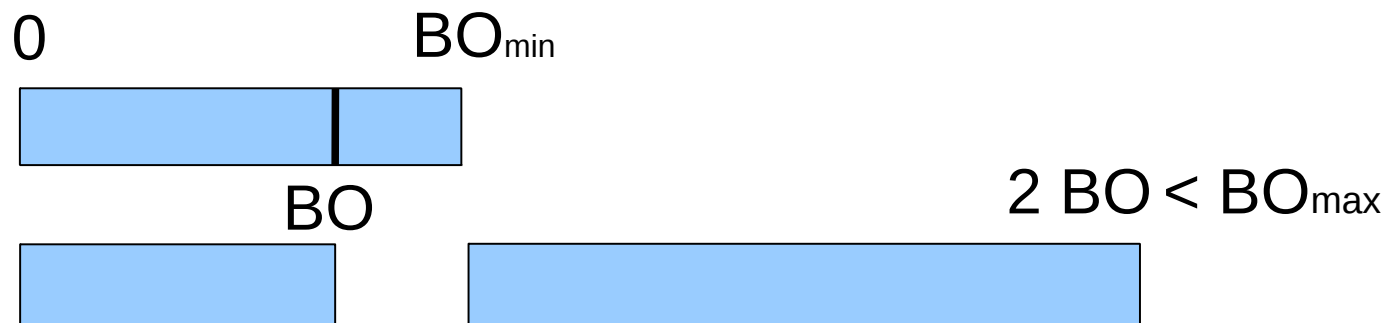
p-persistent CSMA ... pošle s pravdepodobnosťou p v nasledujúcom slote a s pravdepodobnosťou $1-p$ v nasledujúcich slotoch.

Non-persistent CSMA poslanie nastane po náhodnom oneskorení.

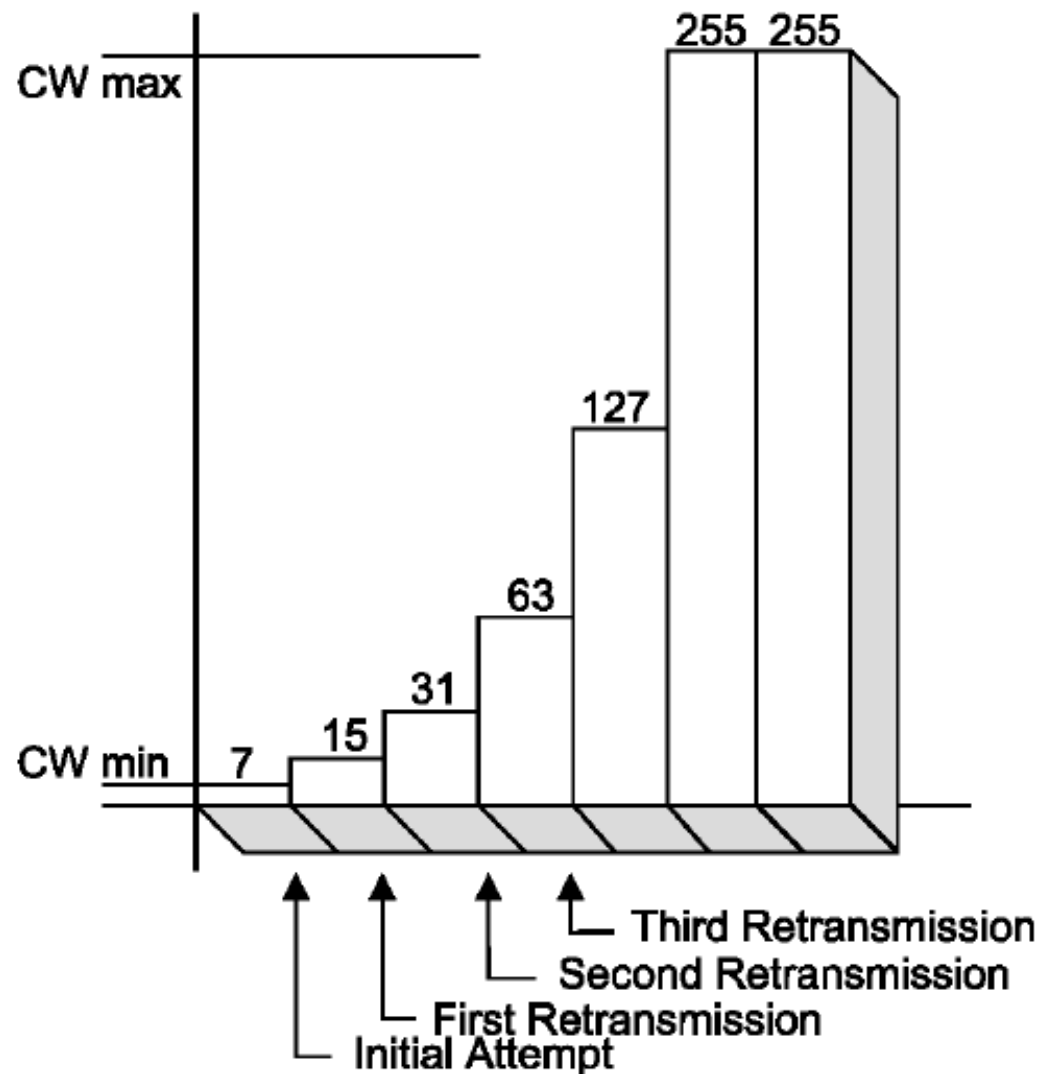
Exponenciálne čakanie

Oneskorenie nastane, keď je kanál obsadený.

Veľkosť okna súperenia je nastavená na min. veľkosť (BO_{\min} ~20 mikrosekúnd). Čakanie je zvolené z okna (uniformne náhodne); ak je kanál stále obsadený veľkosť okna sa zdvojnásobí. Ak je kanál voľný a prebehne poslanie paketu veľkosť okna je znova nastavená na min. veľkosť. Max. veľkosť okna je zvyčajne určená $BO_{\max} = \sim 16BO_{\min}$.

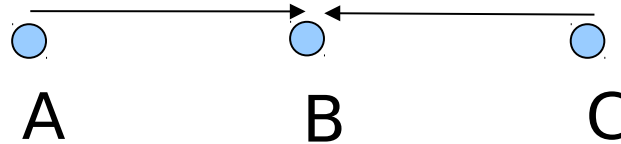


Exponenciálne oneskorenie



Skrytý terminál

Skrytý terminál je hlavný nedostatok CSMA. A a C počujú B; A nepočuje C a C nepočuje A.

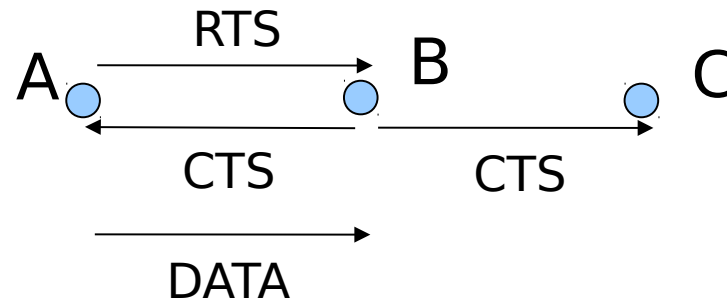


A aj C chcú poslať dáta B, detegujú nosnú a zistia, že kanál je voľný.

MACA: Multiple Access Collision Avoidance

RTS = Ready-to-Send

CTS = Clear-to-Send



A pošle RTS. Ak je B pripravené prijať dátový paket, tak pošle CTS. A aj C prijímú CTS, C oneskorí posielanie paketov. A pošle paket. Ak A neprijme CTS tak nastane exponenciálne čakanie.

CSMA with Collision avoidance

CSMA + MACA + exponenciálne čakanie

Detekcia nosnej + RTS/CTS + exponenciálne čakanie

Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless

MAC pre bezdrôtový LAN

RTS-CTS-DATA-**ACK**

Používa ACK, dáta sú potvrdené (na L2 vrstve)

Sú kolízie stále možné?

Vyriešili sme problém kolízie dátových paketov?

Môžu pakety stále kolidovať?

Diskusia...

Sú kolízie stále možné?

Odpoveď: vyriešili sme kolízie dátových paketov. RTS/CTS pakety môžu naďalej kolidovať.

Zlá správa: RTS/CTS/ACK pakety znižujú užitočnú priepustnosť

Dobrá správa: RTS/CTS/ACK pakety sú zvyčajne výrazne menšie ako dátové pakety

Podporuje dva módy:

1. ad hoc mód (DCF = Distributed Coordination Function)
2. access point mód (PCF = Point Coordination Function)

My sa budeme zaoberať DCF.

802.11 DCF podporuje:

1. detekciu nosnej s exponenciálnym oneskorením
2. Four-way handshake RTS/CTS/DATA/ACK v prípade, že veľkosť dátového paketu je väčšia ako RTS_threshold.
3. Kumulatívne ACK, jeden ACK môže potvrdiť viacero dátových paketov.
4. Virtuálna detekcia nosnej.

A tiež: autentifikáciu, power management atď.

DIFS/SIFS/EIFS:

DIFS (Distributed Interframe Space): čas vyhradený na detekciu nosnej; 128 mikrosekúnd.

SIFS (Short Interframe Space): čas medzi RTS-CTS-DATA-ACK; 28 mikrosekúnd.

EIFS (Extended Interframe Space): čas po zistení chyby v prenose.

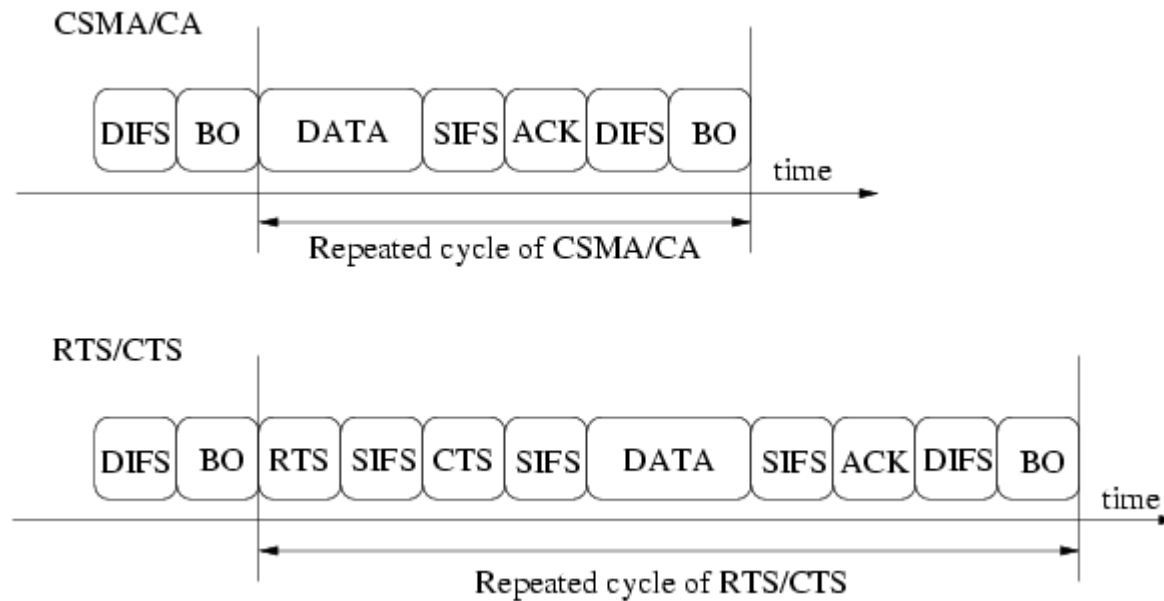
DIFS/SIFS/EIFS definície

SIFS: The SIFS shall be used prior to transmission of an ACK frame, a CTS frame, the second or subsequent MPDU of a fragment burst....

DIFS: The DIFS shall be used by STAs operating under the DCF to transmit data frames (MPDUs)... A STA using the DCF shall be allowed to transmit if its CS mechanism determines that the medium is idle at the TxDIFS slot boundary as defined in 9.2.10 after a correctly received frame, and its backoff time has expired. A correctly received frame is one where the PHY-RXEND.indication does not indicate an error and the FCS indicates the frame is error free.

EIFS: A STA's DCF shall use EIFS before transmission, when it determines that the medium is idle following reception of a frame for which the PHY-RXEND.indication primitive contained an error or a frame for which the MAC FCS value was not correct.

DIFS/SIFS/EIFS příklady



Exponenciálne oneskorenie:

1. Ak médium nie je voľné
2. Po opakovanom prenose dátového paketa
3. Po úspešnom prenose dátového paketa

Nie je potrebné ak uzol posiela nový paket a médium bolo voľné dlhšie ako DIFS.

NAV – Network Allocation Vector.

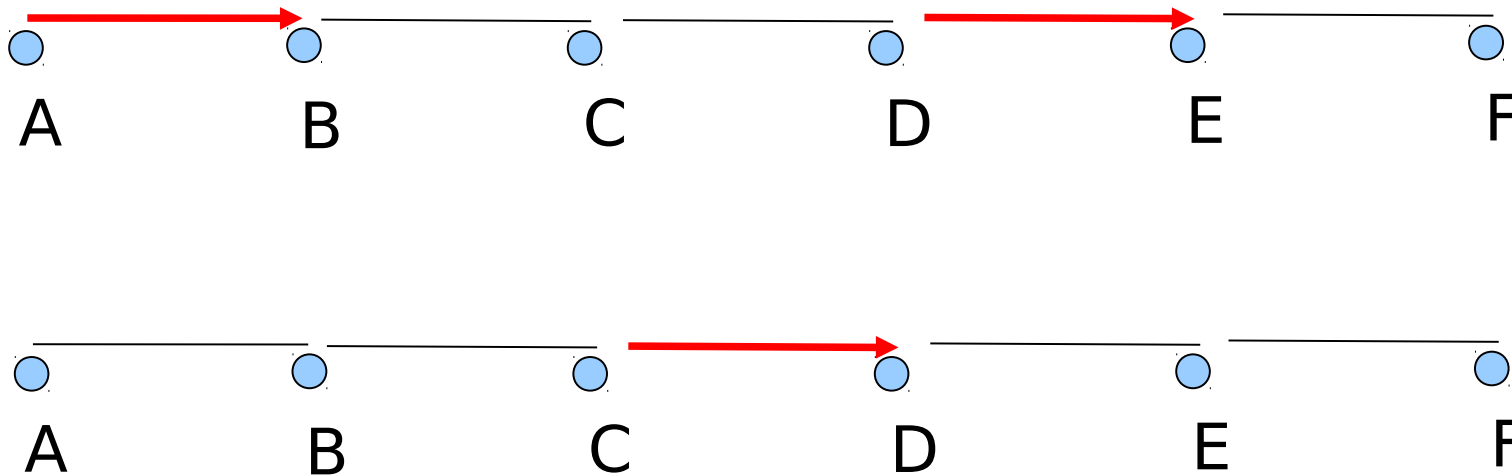
NAV obsahuje informáciu tzv. duration values pre svojich susedov: odhadovaný čas pre ukončenie RTS/CTS/DATA/ACK.

Hodnoty trvania sú obsiahnuté v každom RTS, CTS, DATA, ACK. NAV je aktualizovaný, keď je jeden z týchto paketov prepočutý.

Okamžitá kapacita MAC vrstvy

Koľko prenosov je možných v tom istom čase na MAC vrstve?

V našom príklade (dole) sú to jeden alebo dva.



Maximálne d2- párovanie

Nech $G(V, E)$ je neorientovaný graf, ktorý reprezentuje bezdrôtovú sieť.

Max. d2-párovanie: nájdí najväčšiu množinu hrán E' , kde E' je podmnožina E , takú, že žiadna z dvoch hrán v E' nie je spojená hranou z E .

Zložitosť: NP-úplné; rozhodovací prípad.

Chamtivý algoritmus

1. Opakuj nasledujúce kroky dovtedy, pokým $E(G) = \{\}$.
2. Zvoľ hranu e takú, že $r(e) = \min r(e')$; e' patrí $E(G)$.
3. Pridaj e do E' a zmaž všetky hrany v $E(G)$ do vzdialenosti 2.

$r(e) = r(u) + r(v)$; u, v sú uzly, $r(u)$ je stupeň uzla u .

$O(1)$ aproximácia.

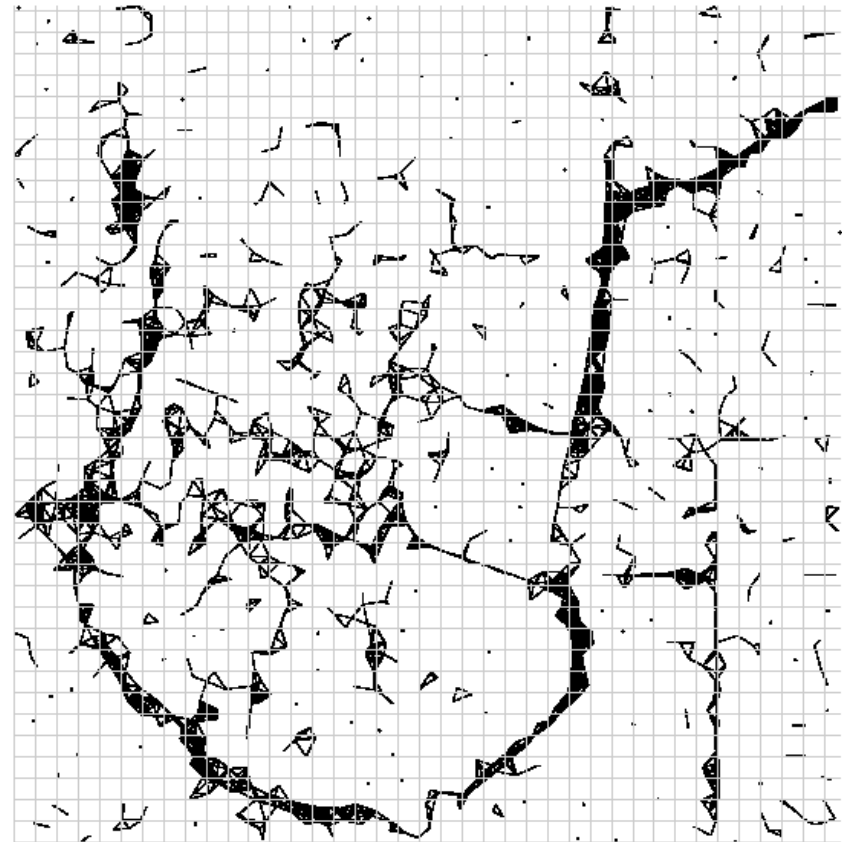
d-2 párovanie ako miera kapacity

Portland, OR

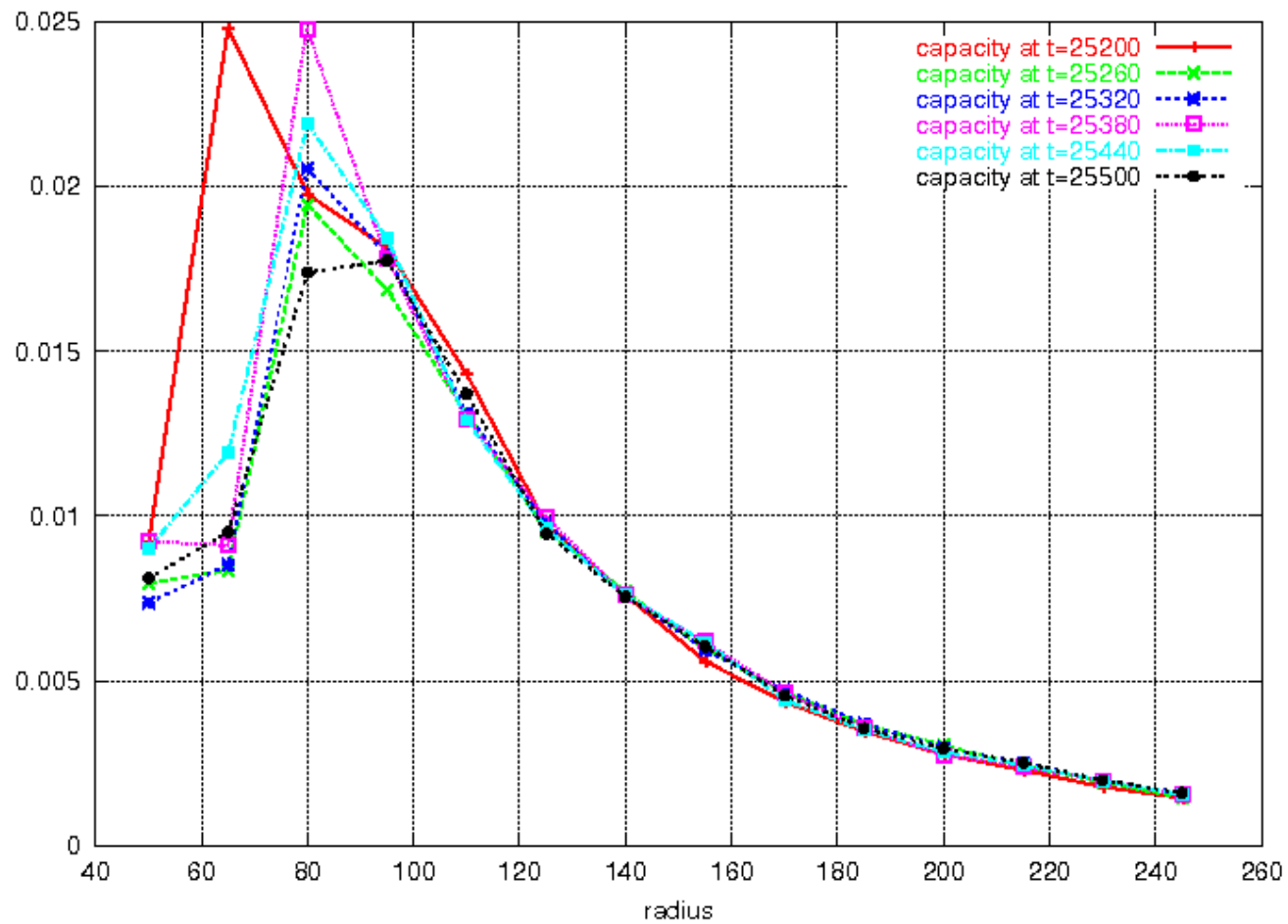
3x3km

Uniformné šírenie signálu
100m

Uzly sú autá a chodci



d-2 párovanie ako miera kapacity



Ye, W. and Heidemann, J. Medium Access Control in Wireless Sensor Networks, *Wireless Sensor Networks*, 2004.

<http://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Ye03c/>