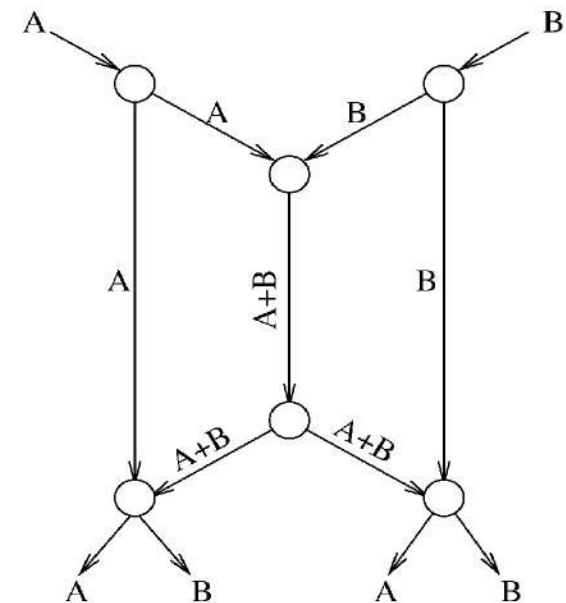


Számítógép hálózatok és osztott rendszerek

Network Coding

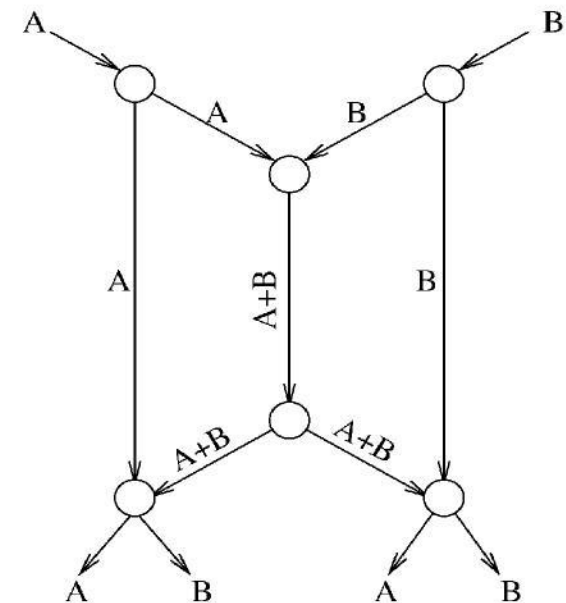
Network Coding

- R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, and R. W. Yeung, "Network Information Flow", (*IEEE Transactions on Information Theory*, IT-46, 1204-1216, 2000)
- Példa:
 - A és B bitet kell átvinni
 - Minden link 1 bitet visz át
 - Ha a biteknek változatlanoknak kell maradni, akkor
 - A és B vagy csak a bal oldalon vagy csak a jobb oldalon fogadhatók
 - Megoldás: számítsuk ki $A+B$ ($A \text{ XOR } B$) és küldjük el a középső linken. Mindkét oldal megkapja A-t és B-t



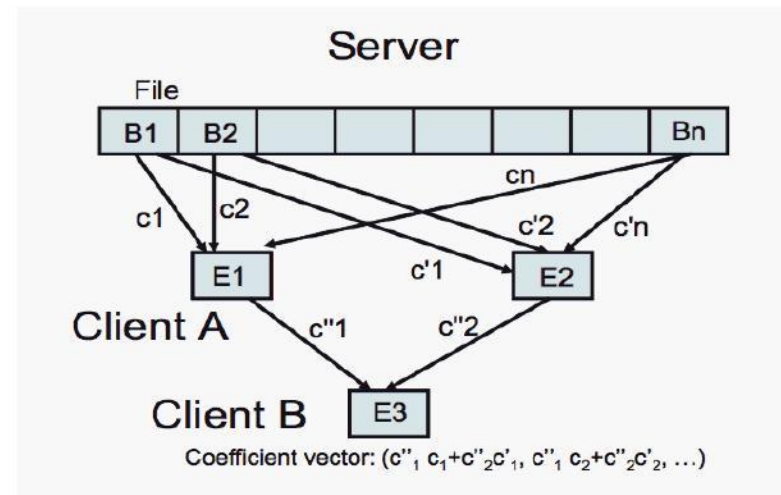
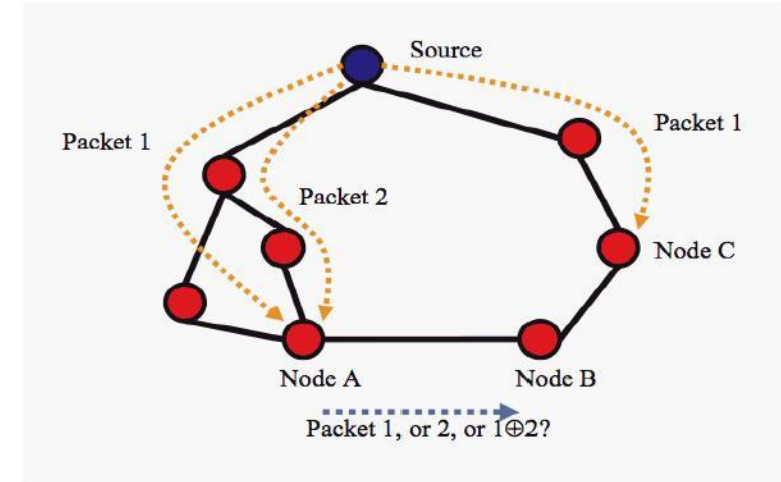
Network Coding és Folyam

- R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, and R. W. Yeung, "Network Information Flow", (*IEEE Transactions on Information Theory*, IT-46, pp. 1204-1216, 2000)
- Tétel [Ahlswede et al.]
 - Van olyan „network code” minden gráfhoz, hogy minden célcsomópont annyi adatot kap, amennyit a max. folyam probléma minden célhoz megenged.



Praktikus Network Coding Peer-to-Peer Hálózatokban

- Christos Gkantsidis, Pablo Rodriguez Rodriguez, 2005
- Cél
 - Kerüljük meg a „coupon collector” problémát az adatok elosztásában
 - Egy m blokkot tartalmazó üzenet akkor lehet fogadni, ha a fogadott kódolt blokkok száma legalább m
 - Fájlok optimális átvitele a rendelkezésre álló sávszélességre nézve
- Módszer
 - Használjuk az üzenet blokkjainak lineáris kombinációit
 - Küldjük el a kombinációt a megfelelő változókkal
 - Kombináljuk az átvitt blokkokat a közbelső állomásokban
 - A fogadók gyűjtik a lineáris kombinációkat
 - A paraméterek mátrix inverzét használjuk az eredeti üzenet rekonstrukálására



Kódolás és Dekódolás

- Eredeti üzenet blokkjai: x_1, x_2, \dots, x_m
- Kódolt blokkok: y_1, y_2, \dots, y_m
- Random változók r_{ij}

- Így
$$\begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mm} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix}$$

- Ha a mátrix (r_{ij}) invertálható, akkor

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mm} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix}$$

Egy Random Mátrix Invertálása

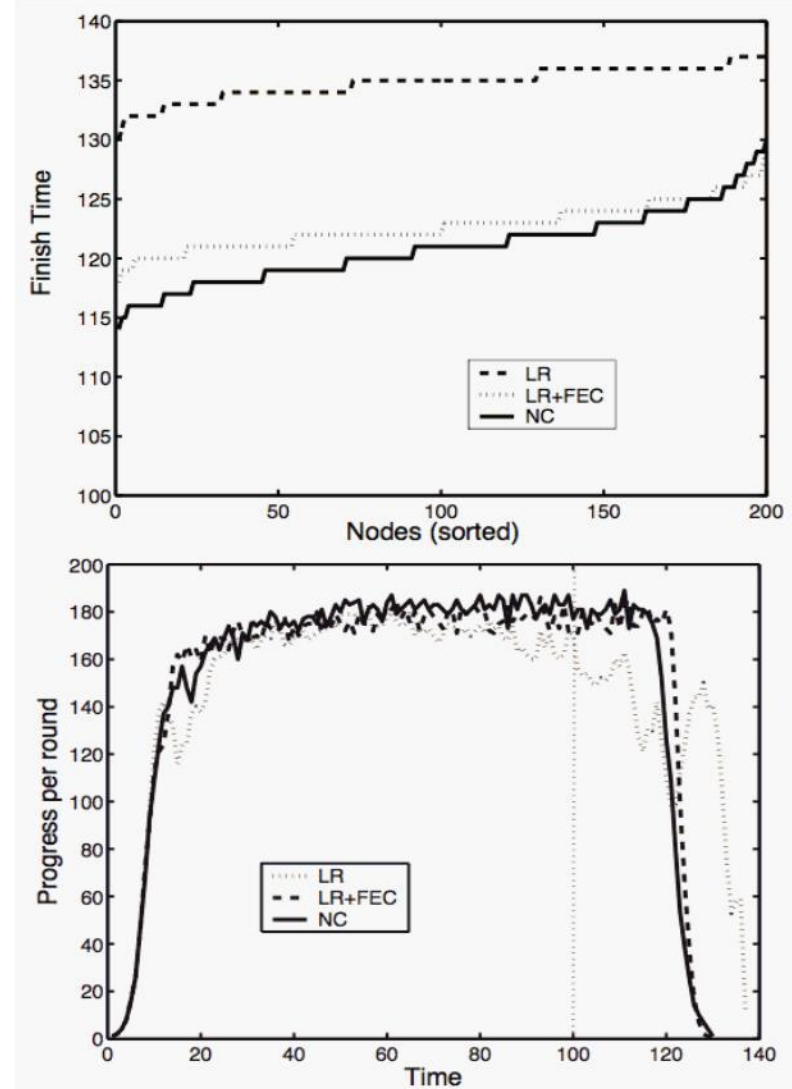
- Tétel
 - Ha egy $m \times m$ random mátrix elemeit függetlenül, egyenletes eloszlás szerint választjuk egy b elemű véges testből, akkor annak a valószínűsége, hogy a random mátrix invertálható, legalább

- $$1 - \sum_{i=1}^m \frac{1}{b^i}$$

- Ötlet: Válasszuk a $GF[2^8]$ véges testet
 - A számítás byte-okkal hatékony
 - A sikeresség valószínűsége legalább 0.99
 - Sikertelen esetben egy további blokkal a sikeresség valószínűsége újra legalább 0.99

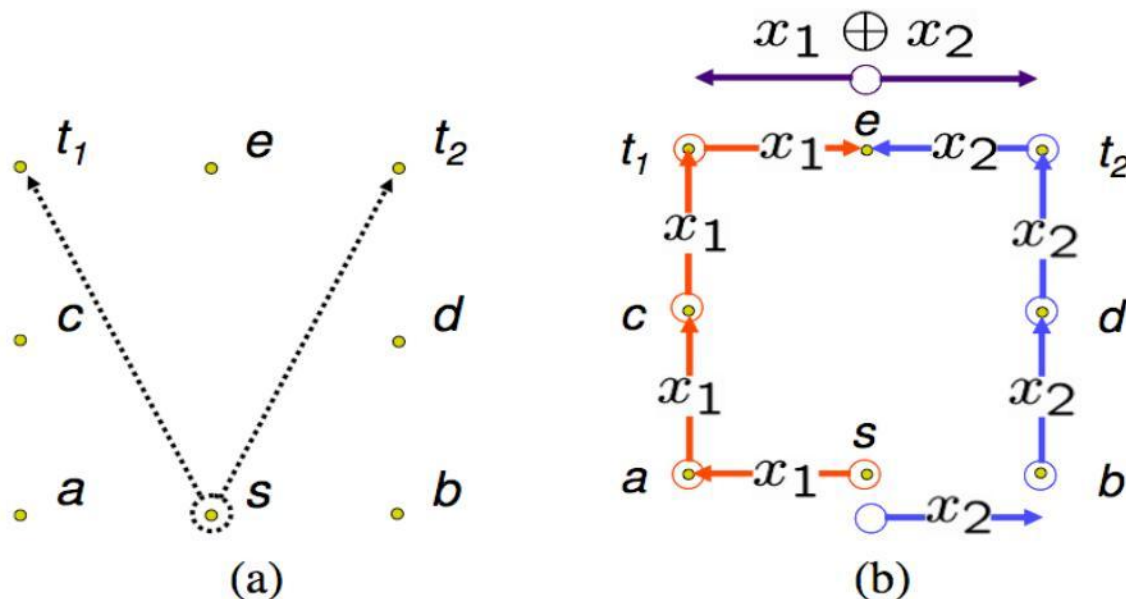
Network Coding Sebessége Peer-to-Peer Hálózatokban

- Összehasonlítás
 - Network-Coding (NC) versus
 - Local-Rarest (LR) and
 - Local-Rarest+Forward-Error-Correction (LR+FEC)



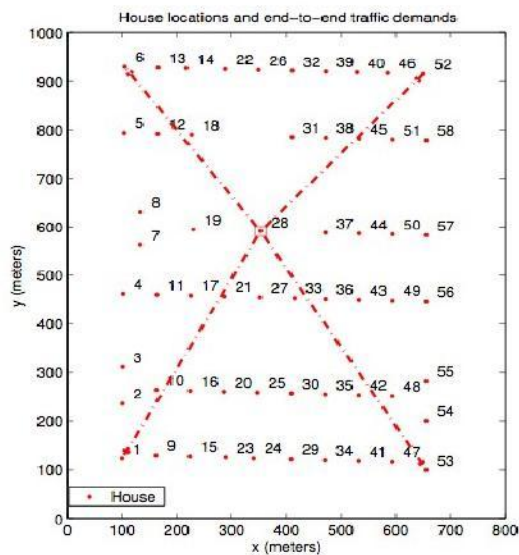
Multicast Ad Hoc Hálózatokban

- Minimum-Energy Multicast in Mobile Ad hoc Networks using Network Coding, Yunnan Wu, Philip A. Chou, Sun-Yuan Kung, 2006
- Multicast: Küldjünk üzenetet egy csomópontból egy kiválasztott halmaz csomópontjainak
- Példa:
 - Tradicionális módszer költsége: 5 egység energia 1 üzenetre
 - Network coding: 9 egység energia 2 üzenetre

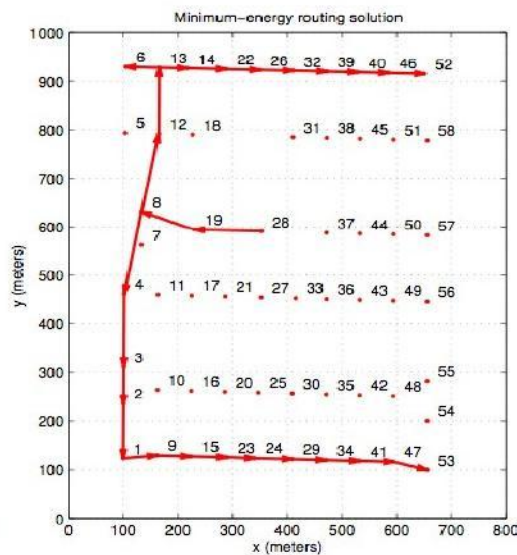


Multicast Ad Hoc Hálózatokban

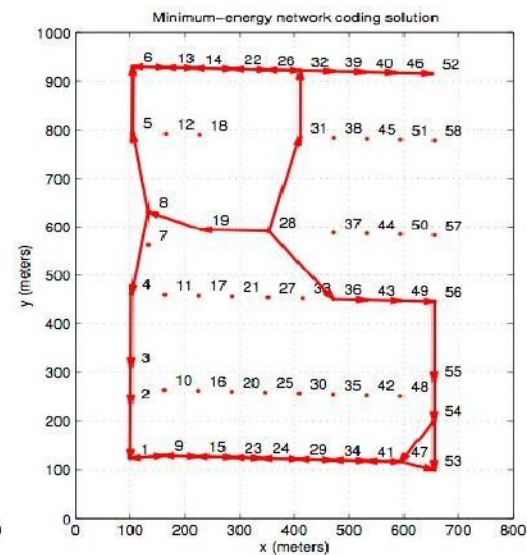
- Minimum-Energy Multicast in Mobile Ad hoc Networks using Network Coding, Yunnan Wu, Philip A. Chou, Sun-Yuan Kung, 2006
- Minimalis energia multicast probléma NP-nehéz
 - Probléma: Oldjunk meg egy egész értékű lineáris programozási feladatot
- Network coding használatával a maximális átvitel megtalálható polinóm időben
 - Oldjunk meg egy lineáris optimalizálási problémát, egy spec. folyam. problémát



(a)



(b)



(c)

„XOR-ok a levegőben”

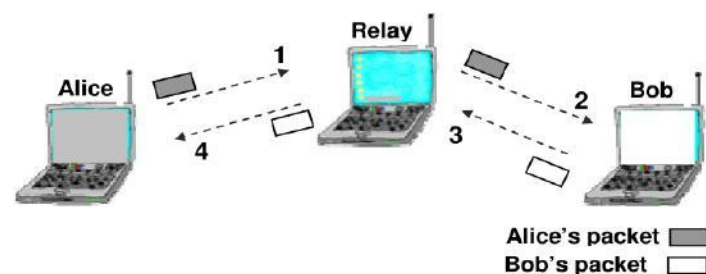
- XORs in the Air: Practical Wireless Network Coding, Sachin Katti Hariharan Rahul, Wenjun Hu Dina , Katabi, Muriel Médard, Jon Crowcroft 2006

- Probléma:

- Maximalizáljuk az átvitelt egy ad hoc hálózatban
- Multihop üzenetek interferenciához vezetnek

- Példa

- Tradícionálisan: 4 üzenet kell egy üzenet elküldéséhez Alice-tól Bob-nak és Bob-tól Alice-nak
- Network Coding: 3 üzenet



(a) Current Approach

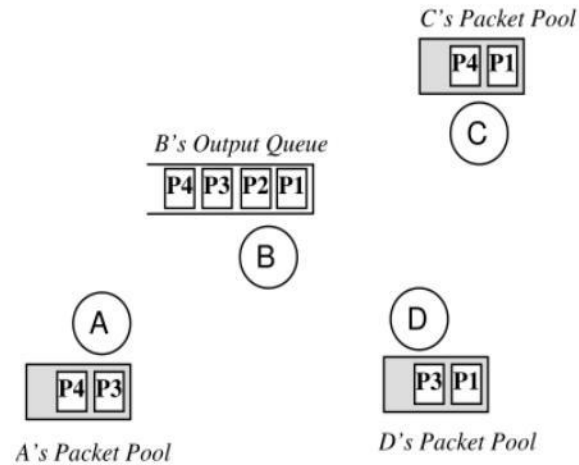


(b) COPE

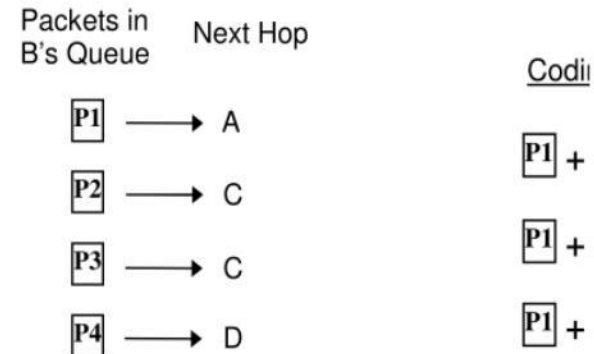
COPE Komponensei

- Opportunista hallgatóság (Opportunistic Listening)
 - Maximális környezet legyen meg az üzenetek dekódolásához
- Opportunista kódolás (Opportunistic Coding)
 - „A kulcskérdés, hogy mely csomagokat kell együtt kódolni, hogy maximalizáljuk az átvitelt. Egy csomópontnak több lehetősége is lehet, de arra kell törekednie, hogy maximalizálja az eredeti blokkok számát egy elküldött kódolt blokkban, úgy hogy biztosítja, hogy minden szomszédnak van elég információja az eredeti blokkja dekódolásához.“
- A szomszéd állapotának megtanulása
 - Minden csomópont meghirdeti a csomagokat, amiket fogadott
 - Minden csomópont lekérdezi a szomszédjait, hogy mely csomagokat tudná fogadni

Opportunistic Coding



(a) B can code packets it wants to send



(b) Nexthops of packets in B's queue

- A
- C
- C
- D

packets in B's queue

Coding Option	Is it good?
P1 + P2	Bad Coding (C can decode but A can't)
P1 + P3	Better Coding (Both A and C can decode)
P1 + P3 + P4	Best Coding (Nodes A, C, and D can decode)

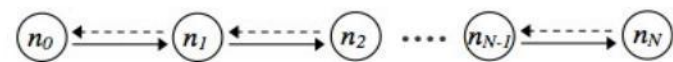
(c) Possible coding options

Elméleti Nyereség

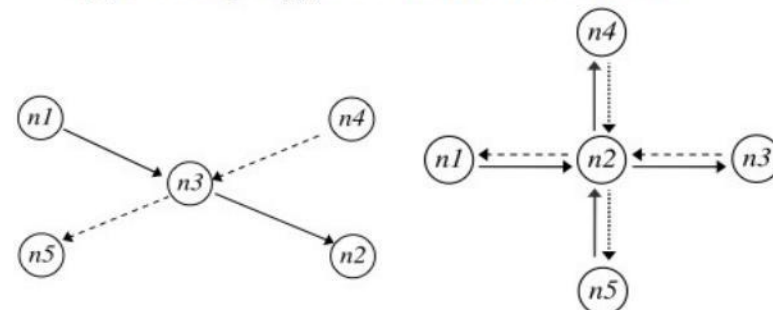
- Kódolási nyereség:
 - Megtakarítás az üzenetek üzenetek számában a network coding-nak köszönhetően
- Coding+MAC nyereség:
 - Közbenső routerek, amik szűk keresztmetszetet képeznek késleltetik a médium hozzáférést
 - COPE használata további gyorsulást eredményez

Topology	Coding Gain	Coding+MAC Gain
Alice-and-Bob	1.33	2
“X”	1.33	2
Cross	1.6	4
Infinite Chain	2	2
Infinite Wheel	2	∞

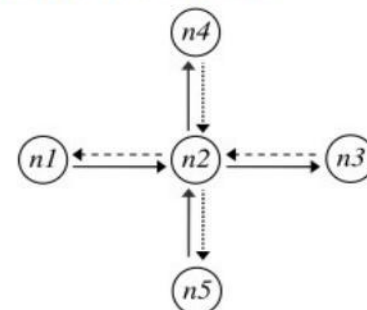
Table 2—Theoretical gains for a few basic topologies.



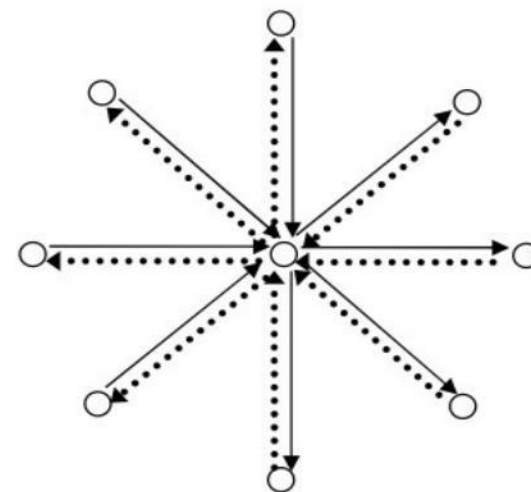
(a) Chain topology; 2 flows in reverse directions.



(b) “X” topology
2 flows intersecting at n_2 .



(c) Cross topology
4 flows intersecting at n_2



(d) Wheel topology; many flows intersecting at the center node.

Network Coding Összefoglalása

- Network Coding segíthet
 - Növelni az átvitelt Peer-to-Peer hálózatokban
 - Növelni a robusztusságot és csökkenti a hiba rátát
 - Csökkenteni az energia felhasználást multicast esetén
 - Növelni az átvitelt Ad Hoc hálózatokban
 - Növelni az átvitelt vezeték nélküli szenzor hálózatokban
- Sok Network Coding séma szenved nagy mátrixok invertálásának számítási igényétől, ami késleltetést okoz a dekódolásnál
- COPE egy kivétel, hatékony és nem okoz késleltetést

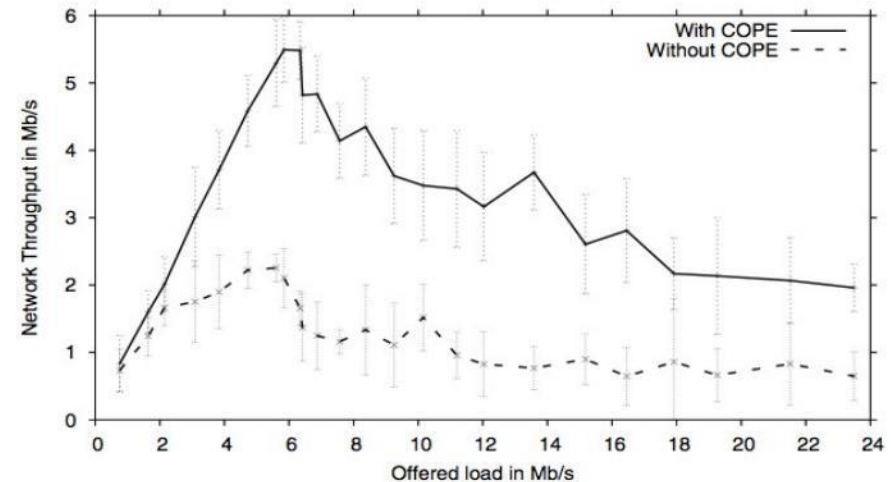


Figure 12—COPE can provide a several-fold (3-4x) increase in the throughput of wireless Ad hoc networks. Results are for UDP flows with randomly picked source-destination pairs, Poisson arrivals, and heavy-tail size distribution.