Hálózatok II
2006

12 Peer-To-Peer Hálózatok II

P2P hálózatok kritériumai

- Kezelhetőség
  - Milyen nehéz a hálózatot működtetni
- Információ-koherencia
  - Mennyire jól osztja el az információt?
- Bővíthetőség
  - Milyen könnyen tud növekedni?
- Hibatűrés
  - Milyen könnyen hárítja el a hibákat?
- Biztonság
  - Mennyire nehezen rombolható szét tudatosan?
- Skálázhatóság
  - Milyen nagyra tud a hálózat növekedni?

Content Addressable Network (CAN)

Két kérdés az információ keresésénél

- Hol van?
- Hogy jutunk oda?

- Napster:
  - Hol?
    - A szerveren ☺
  - Hogy jutunk oda?
    - torlódás/dugó a szerveren ☹
- Gnutella
  - Hol?
    - Nem tudjuk ☹
  - Hogy jutunk oda?
    - Mindenkit megkérdezünk ☹

- Egy jobb ötlet:

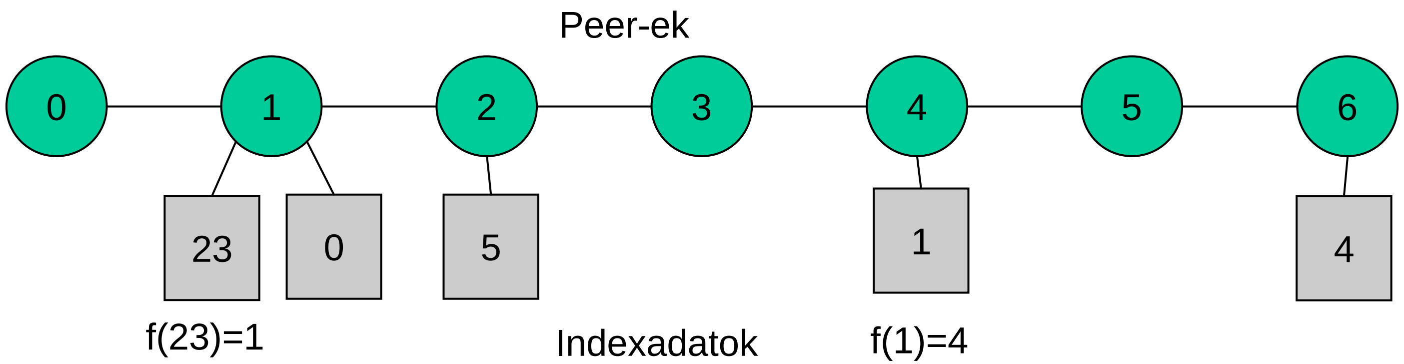
- Hol van az x adat?
  - Az f(x) helyen

  - Mi az az f(x)?
    - x egy minden résztvevő számára ismert leképezése egy térre

- Hogy jutunk oda?
  - Egy jól definiált útvonalon, amely a kérdező helyétől f(x) helyréhez vezet.

Egy hash-tábla mint Peer-to-Peer hálózat

- Minden Peer egy tárhelyet reprezentál 0,1,2,..,n-1
  - f(x): egy minden Peers számára ismert hash-függvény, pl. n = 7 esetén
    - f(x) := (3x+1 mod 23) mod 7
  - A Peer-eket kössük össze láncként

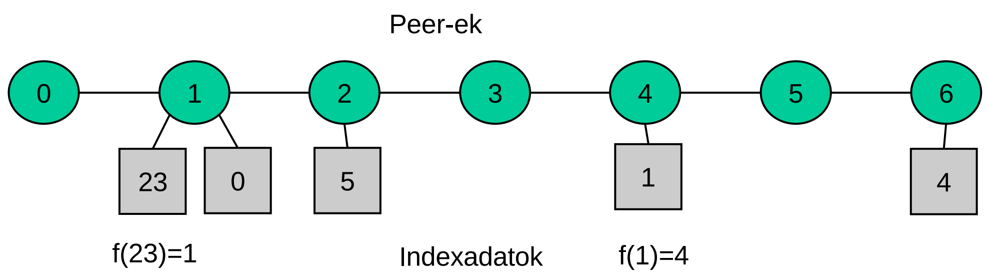


- Keresés
  - Számítsuk ki f(x)-et
  - Menjünk oda ahhoz a Peer-hez a láncon, amely f(x)-et reprezentálja

Hash-táblától az elosztott hash-táblához (DHT)

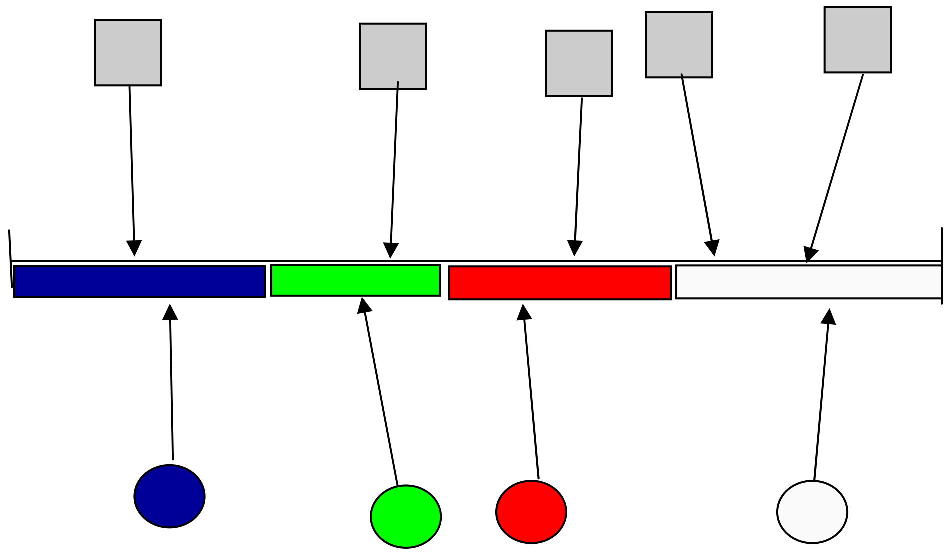
Hash-Táblák

- Előny
  - A keresés egyszerű
- Hátrány
  - Egy új Peer kapcsolódásakor új hash-függvényt kell választani
  - Hosszú utak, nagy élterhelés



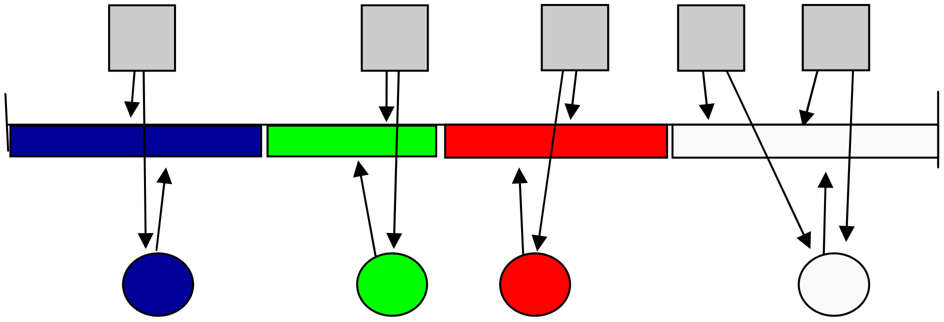
Elosztott Hash-Tábla
(Distributed Hash Table, DHT)

- A Peer-eket leképezzük (hashing által) egy helyre és minden Peer-hez hozzárendeljük a hash-függvény értéktartományának egy részét
- Az adatokat is hash-eljük
  - A hash-függvény értéké alapján a tartományért felelős Peer-en tároljuk

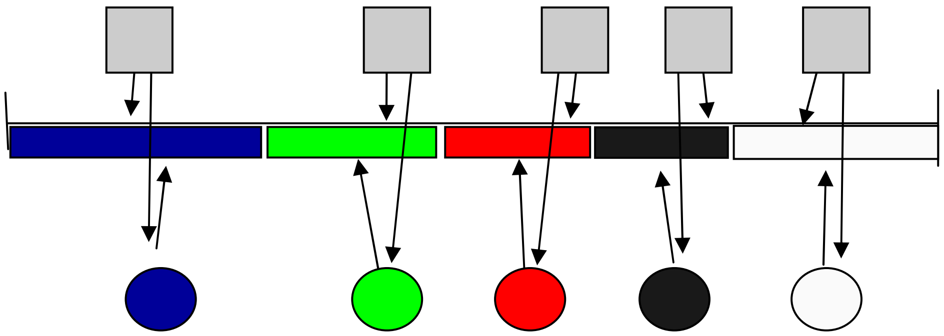


Befűzés a DHT-ba

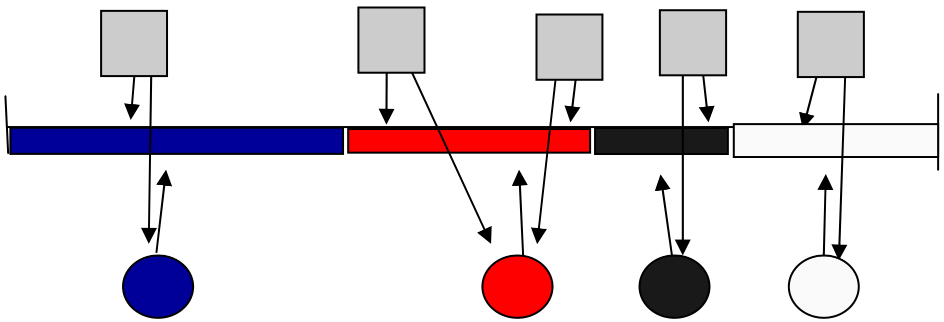
- Elosztott Hash-Tábla
  - Peer-ek et hash-eljük egy helyre
  - Mindegyik egy tartományért felelős
  - Adatokat szintén hash-eljük



- Bekapcsolódik egy új Peer (csomópont)
  - A szomszédok átadják a tartományuk egy részét és a hozzátartozó adatokat

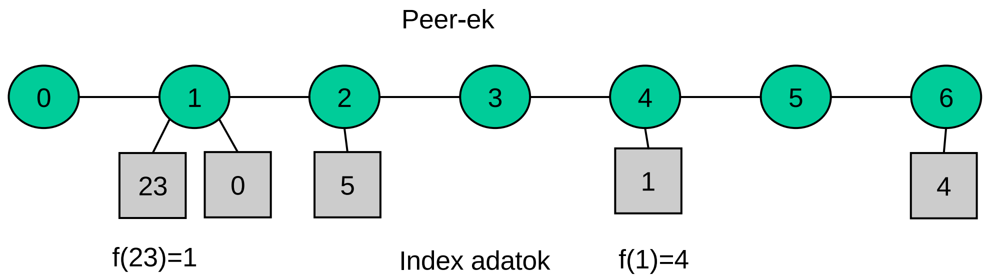


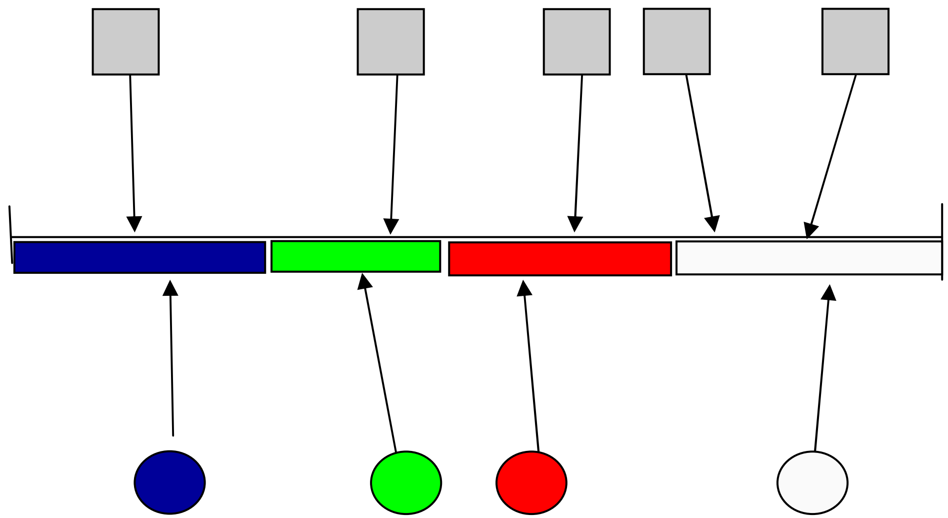
- Egy Peer elhagyja a hálózatot
  - A szomszédai átveszik a tartományát és a hozzátartozó adatokat



DHT tulajdonságai

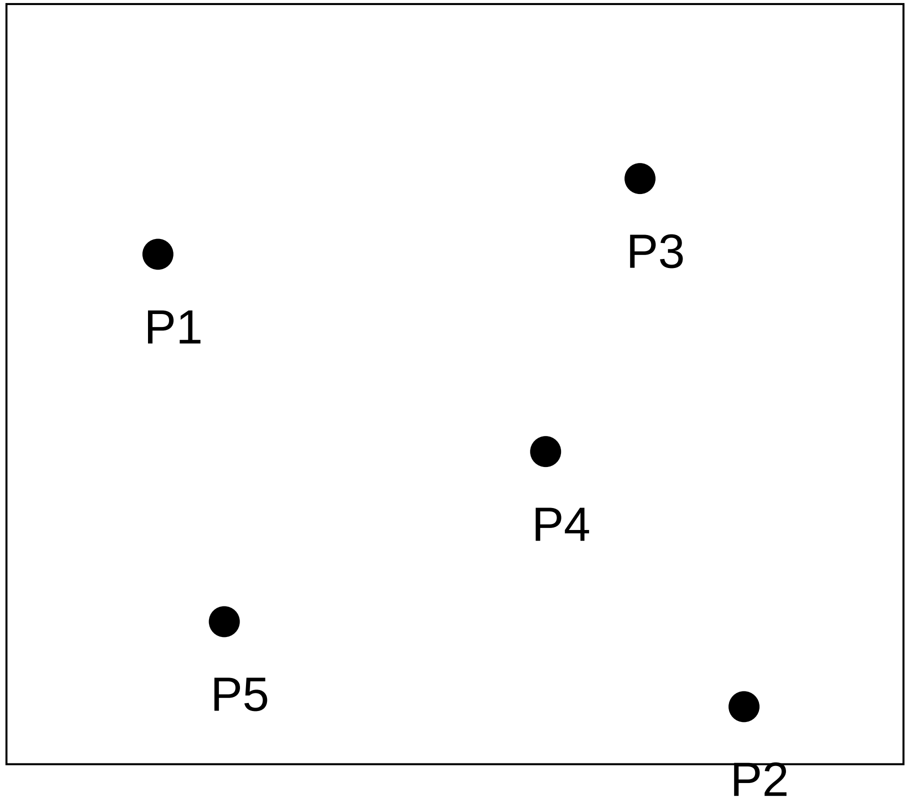
- Előny
  - Minden adatot egyértelműen hozzá lehet rendelni egy Peer-hez
  - Egy Peer csatlakozása vagy kilépése a hálózatból csak a szomszédainál okoz változást
- DHT-t sok P2P hálózat használ
- Még tisztázni kell:
  - Az kapcsolódások struktúráját





Content Addressable Network (CAN)

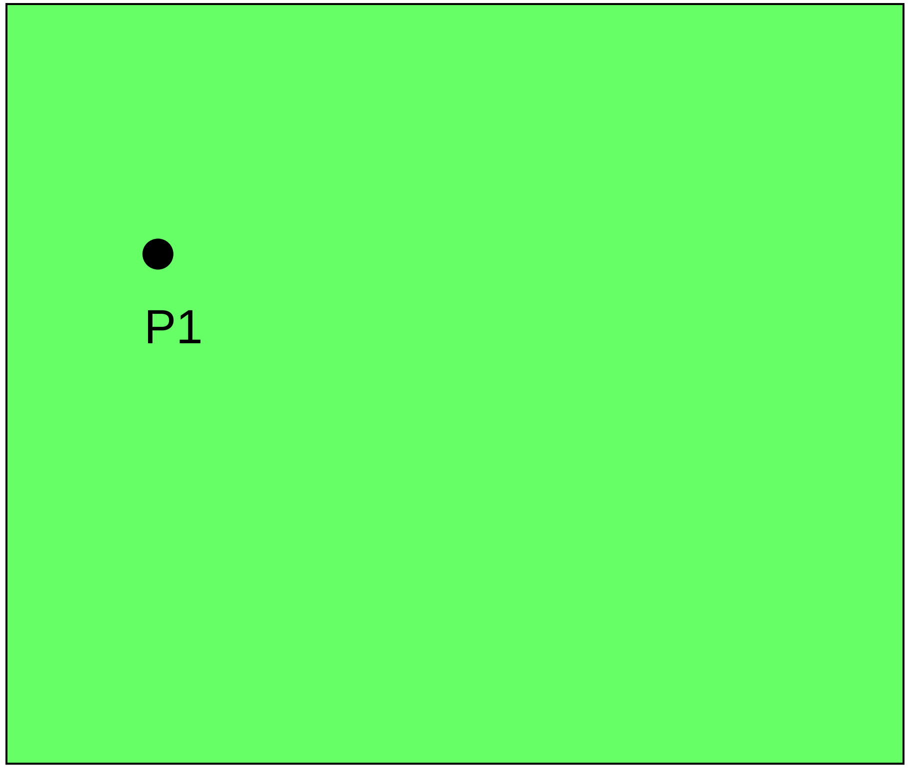
- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek



Content Addressable Network (CAN)

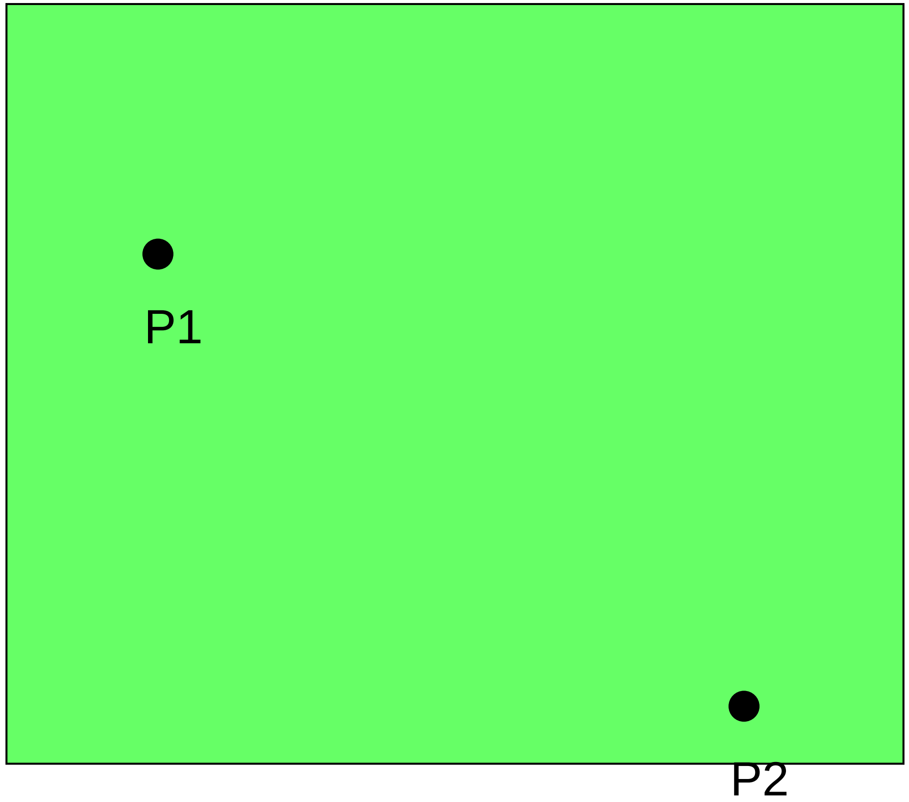
- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek

- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)



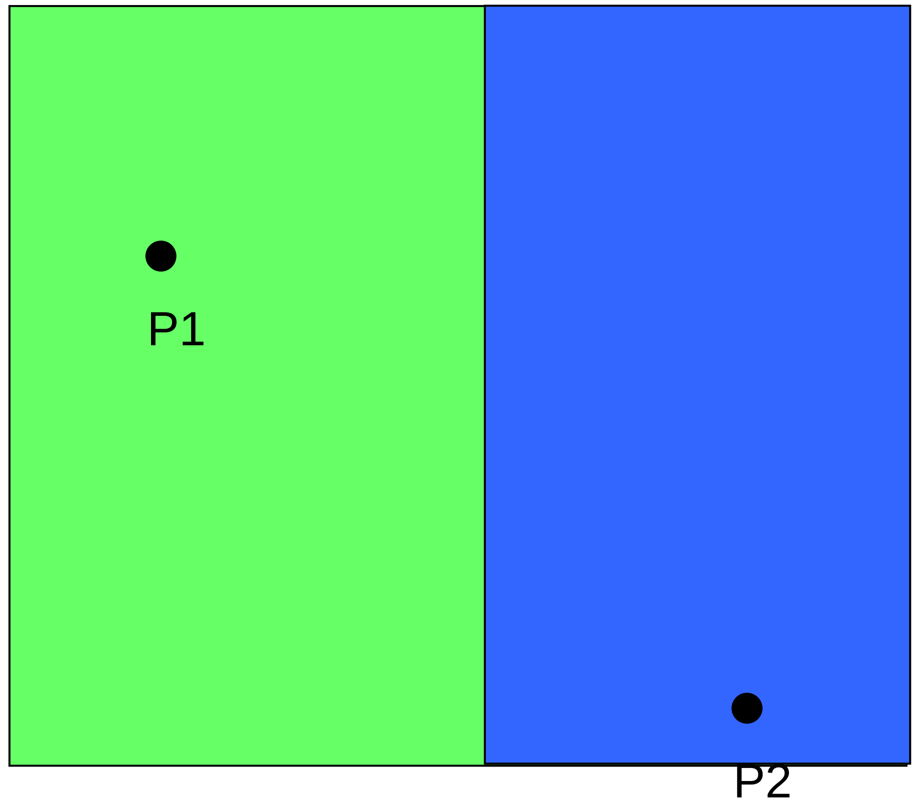
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



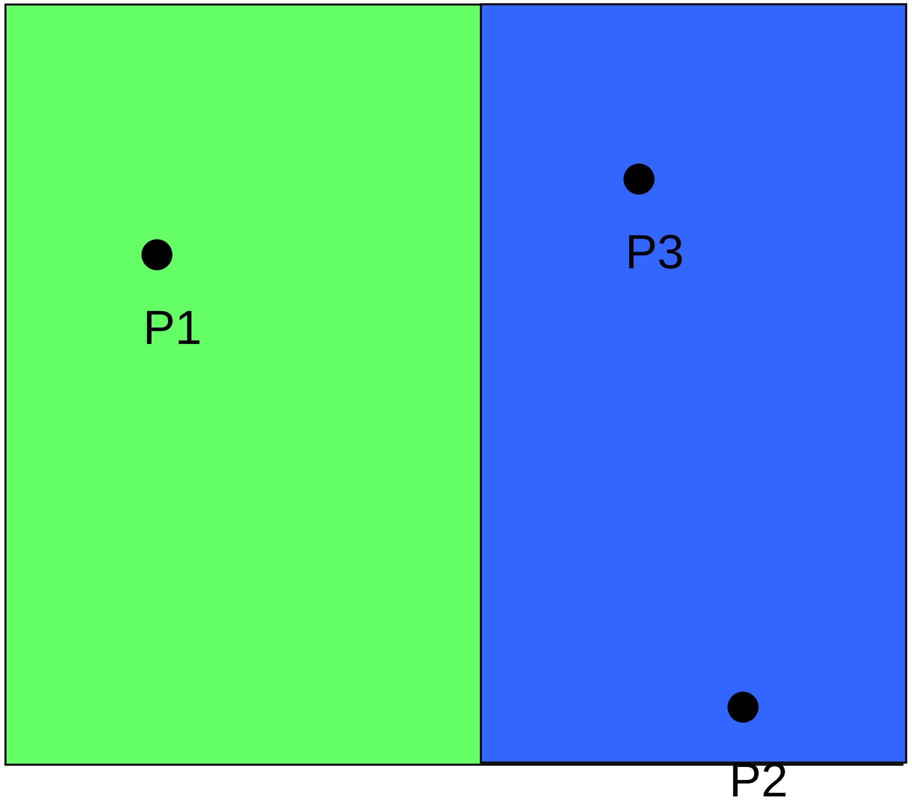
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



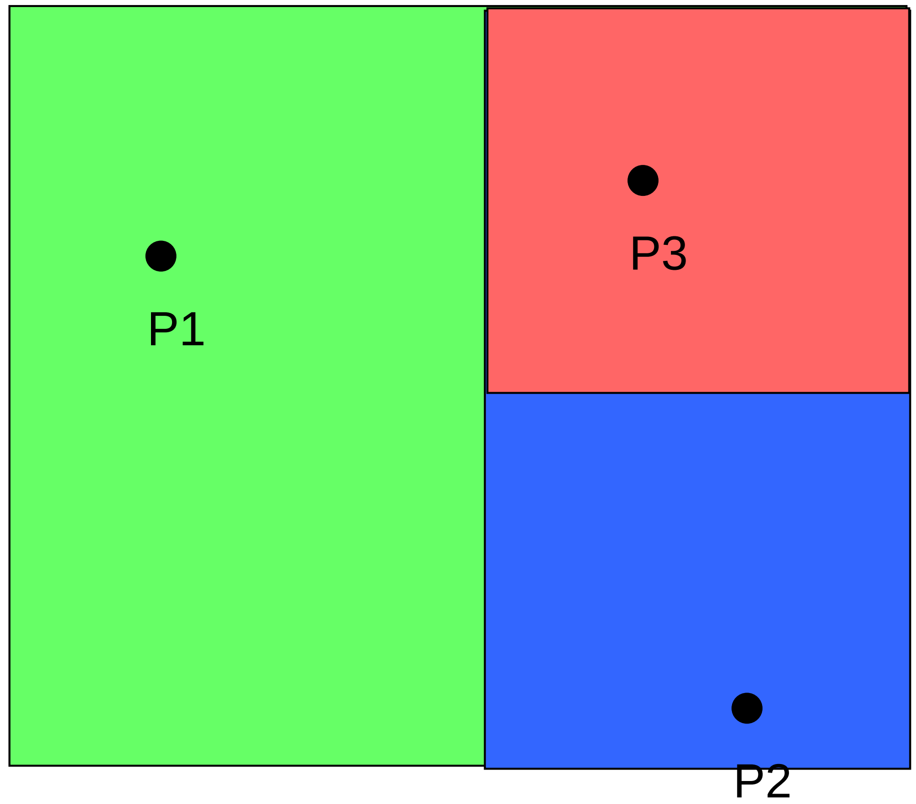
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



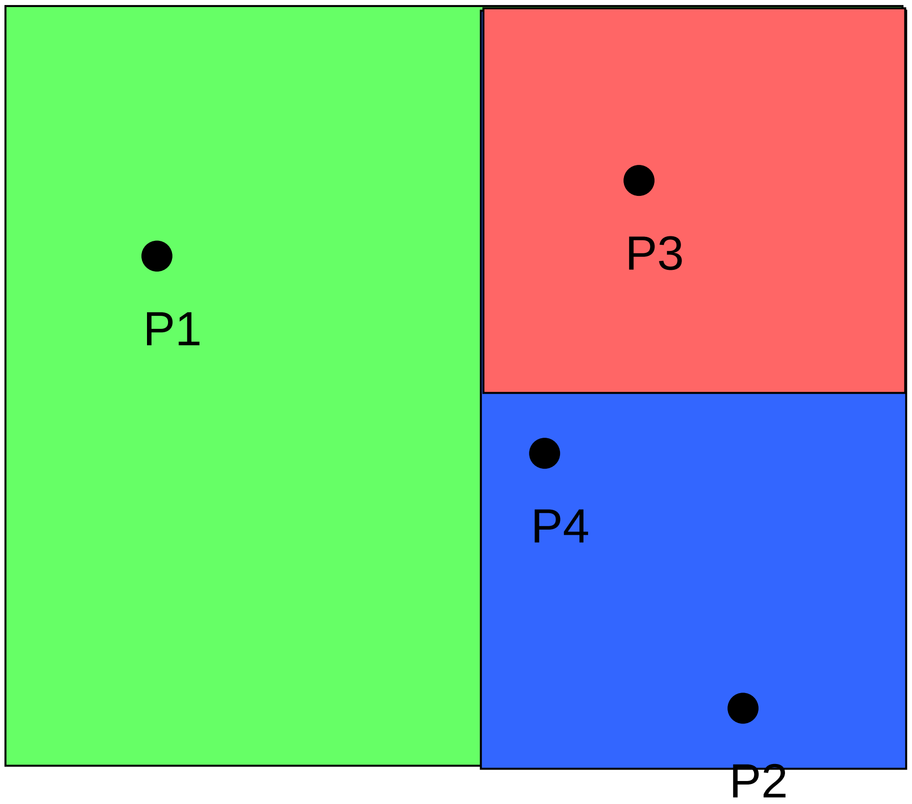
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



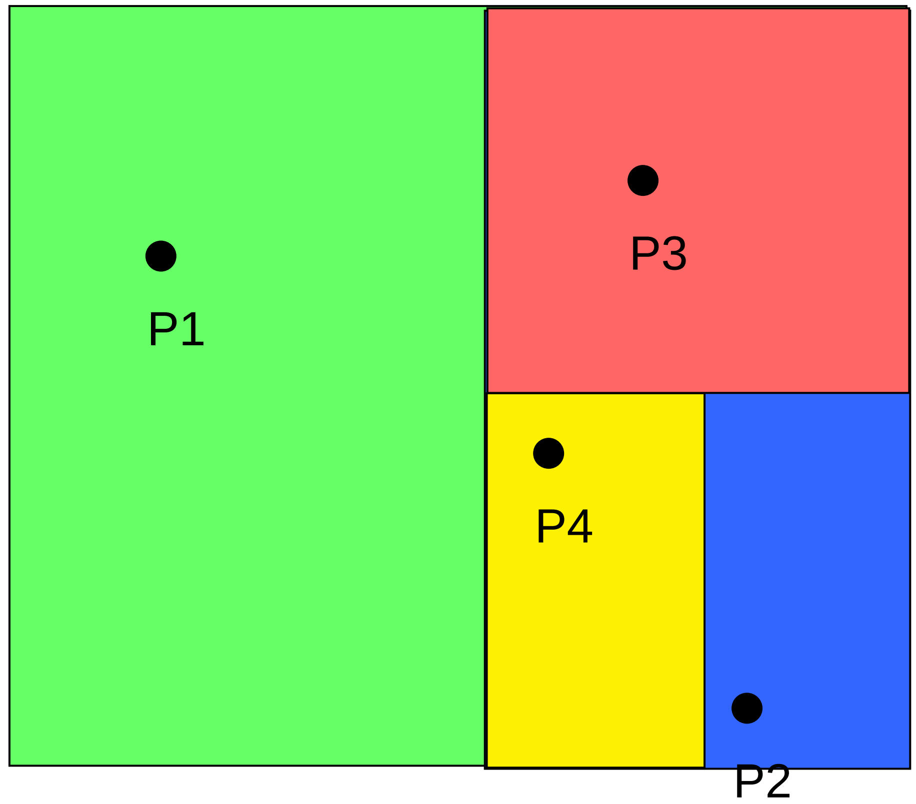
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



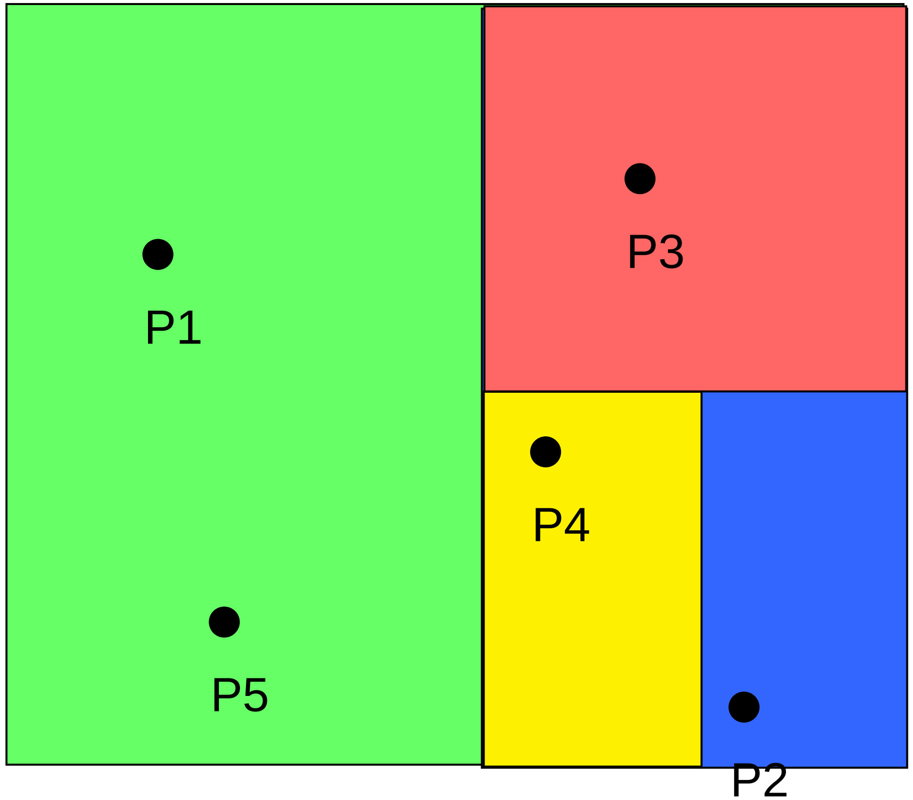
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



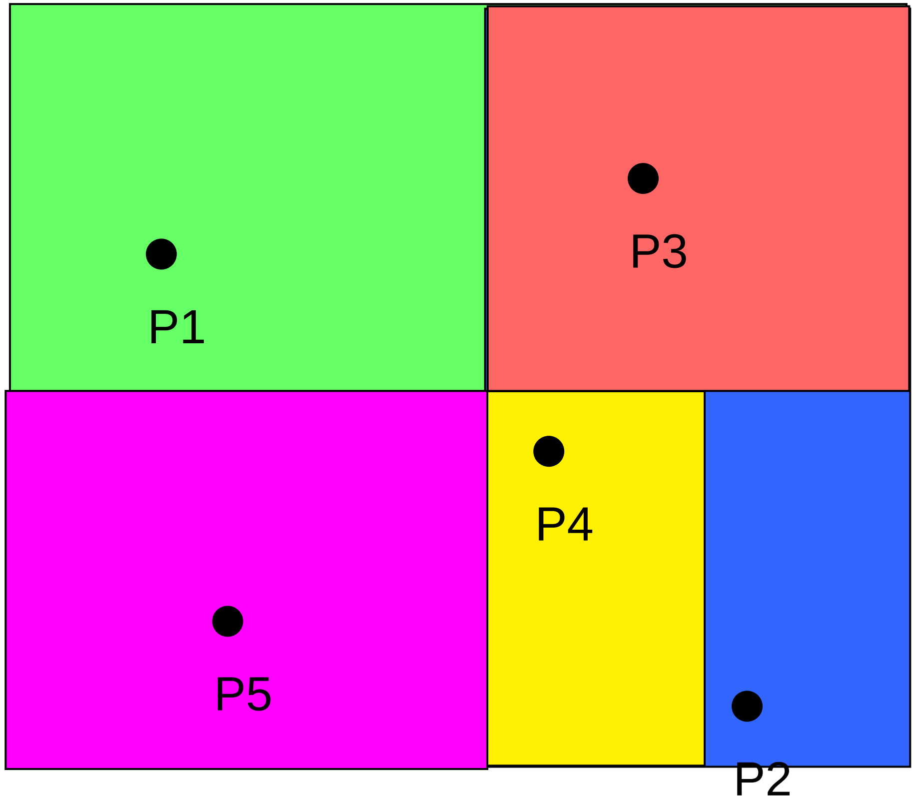
Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



Content Addressable Network (CAN)

- A Peer-ek és a file-ok egy (kétértékű) hash-függvénnyel az egységnégyzetbe képeződnek
- Kezdetben egy üres négyzet és egyetlenegy Peer mint tulajdonos
  Ez a négyzet a Peer zónája (tartománya)
- Egy tartomány tulajdonosa minden adatot tárol, amely arra a tartományra képeződik le
- Egy Peer választ egy véletlen pontot a négyzetben (hash-függvény)
  - A megfelelő négyszög tulajdonosa kettéosztja a négyszöget és
  - átadja a felét az új Peer-nek



Milyen nagyok/kicsik lehetnek a négyszögek

R(p) : Egy p Peer négyszöge
A(p) : Egy p Peer négyszögének területe
n : Peer-ek száma
Kezdeti négyszög: terület 1

Lemma

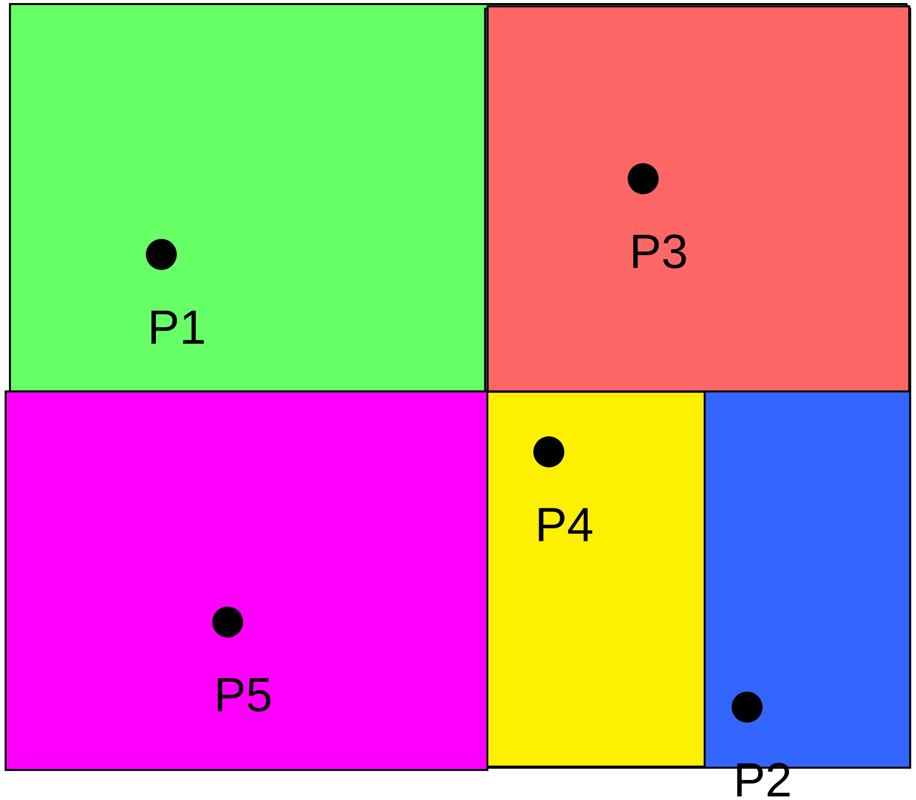
Minden p Peer-re érvényes

1. $E[A(p)] = \frac{1}{n}$

2. Legyen $P_{R,n}$ annak a valószínűsége, hogy n Peer közül egy se esik az R négyszögbe. Ekkor

$$P_{R,n} \leq e^{-nVol(R)}$$

ahol Vol(R) az R területe



Egy Peer négyszögének várható területe a CAN-ban

Biz. 1.-hez $E[A(p)] = \frac{1}{n}$

Legyen {1,..,n} a Peer-ek halmaza.

Ekkor:

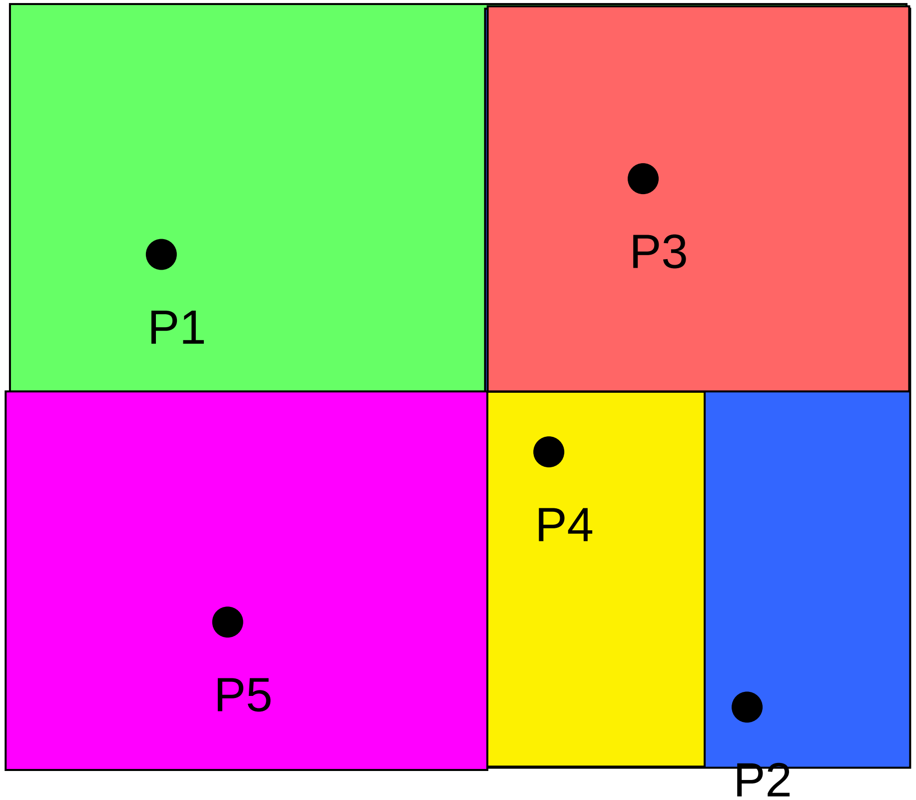
$$\sum_{i=1}^{n} A(p) = 1$$

Továbbá a szimmetria miatt

$$\forall i \in \{1, ..., n\} : E[A(i)] = E[A(1)]$$

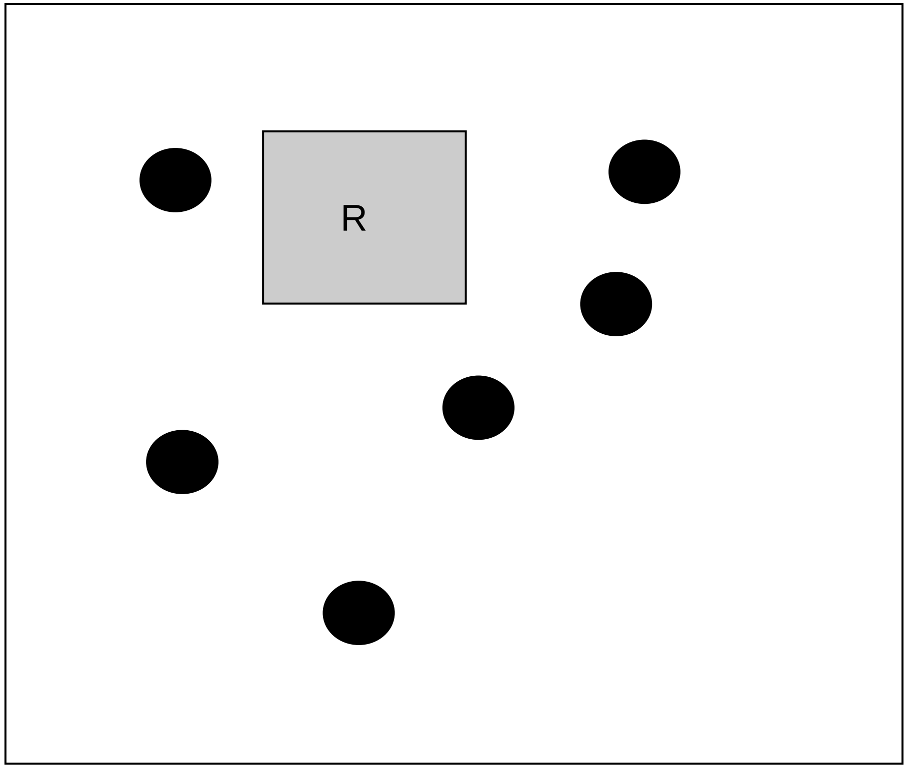
Így teljesül:

$$1 = \sum_{i=1}^{n} A(i) = E\left[\sum_{i=1}^{n} A(i)\right] = \sum_{i=1}^{n} E[A(i)] = nE[A(1)]$$



Egy nem eltalált négyszög

Biz. 2-höz $P_{R,n} \leq e^{-nVol(R)}$



Tekintsünk egy R négyszöget, melynek területe x=Vol(R)

Annak a valószínűsége, hogy egy Peer nem R-be esik

$$1 - x$$

Annak a valószínűsége, hogy mind az n Peer nem R-be esik

$$(1 - x)^n$$

Így a valószínűség, hogy egy Peer se esik R-be legfeljebb

$$(1 - x)^n = ((1 - x)^{\frac{1}{x}})^{nx} \leq e^{-nx}$$

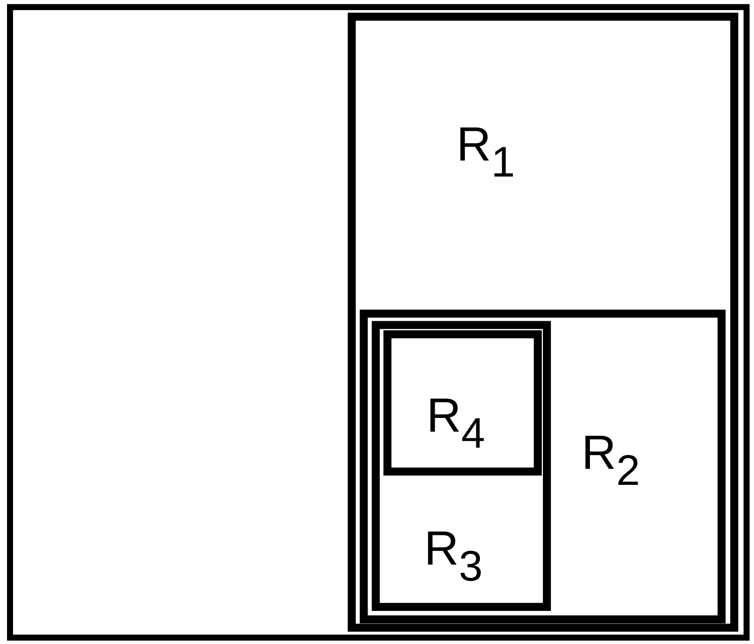
Ebből következik a lemma. □

Milyen nagy lehet egy nem eltalált négyszög?

Mivel $P_{R,n} \le e^{-nVol(R)}$, következik,
hogyha R_i egy 2^{-i} területű négyszög, akkor

$$P_{R_i, c2^i \ln n} \le e^{-c2^i \ln n Vol(R_i)} = n^{-c}$$

Így annak valószínűsége, hogy $c2^i \ln n$ Peer R_i -t szétosztja: $1 - n^{-c}$



Kezdetben a hálózat üres.

Tekintsük n Peer belépését a hálózatba:

az i-edik fázisban, $i \in \{1, ..., \log \frac{n}{2c \ln n}\}$, belép $c2^i \ln n$ Peer.

$$\sum_{i=1}^{\log \frac{n}{2c\ln n}} c \cdot 2^i \ln n = c \cdot \ln n \cdot \sum_{i=1}^{\log \frac{n}{2c\ln n}} 2^i \le c \cdot \ln n \cdot 2^{\log \frac{n}{c \ln n}} = n$$

Milyen nagy lehet egy nem eltalált négyszög?

Így annak a valószínűsége, hogy egy $\frac{2c \ln n}{n}$ területű R négyszög nem lesz szétosztva:

Pr[R valamelyik elődje vagy R nem lesz szétosztva] $\leq n^{-c} \log n$

Legfeljebb $\frac{n}{2c \ln n}$ ekkora négyszög van, így

Pr[létezik egy ekkora négyszög, ami nem lesz szétosztva]$\leq \frac{n}{2c \ln n} n^{-c} \log n \leq n^{-c+1}$

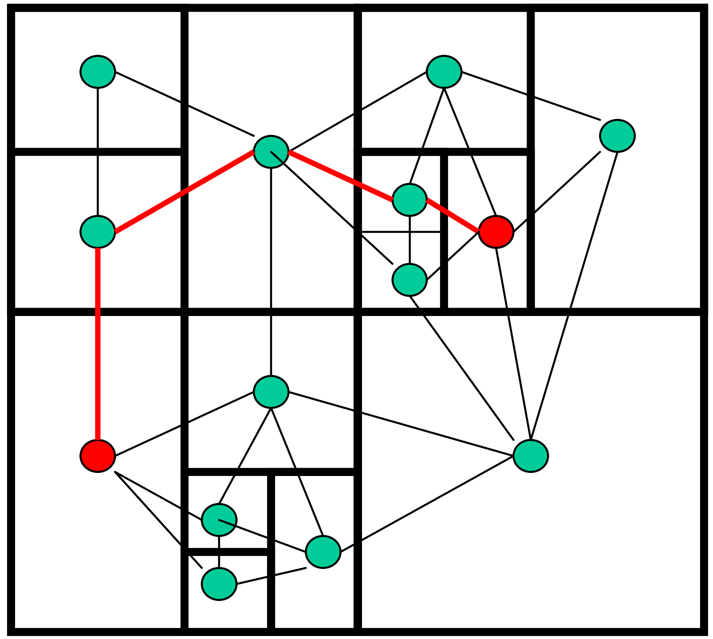
Tétel: Legyen c>1 egy konstans.

n Peer belépése után nem marad $\frac{2c \ln n}{n}$ területű vagy annál nagyobb négyszög nagy valószínűséggel, azaz $1 - n^{-c'}$ valószínűséggel (c'=c-1). □

Milyen kiegyensúlyozottan osztja el az adatokat?

- Ha összesen m elemet tárolunk, egy adott Peer-en tárolt elemek számának várható értéke arányos a Peer négyszögének területével.
  - akkor minden Peer maximum 2 c (ln n) m/n elemet tárol (nagy valószínűséggel)
  - miközben az átlag m/n elemet tárol
- Azaz nagy valószínűséggel minden Peer legfeljebb 2c (ln n)-szer több elemet tárol, mint az átlag.

Lookup a CAN-ban



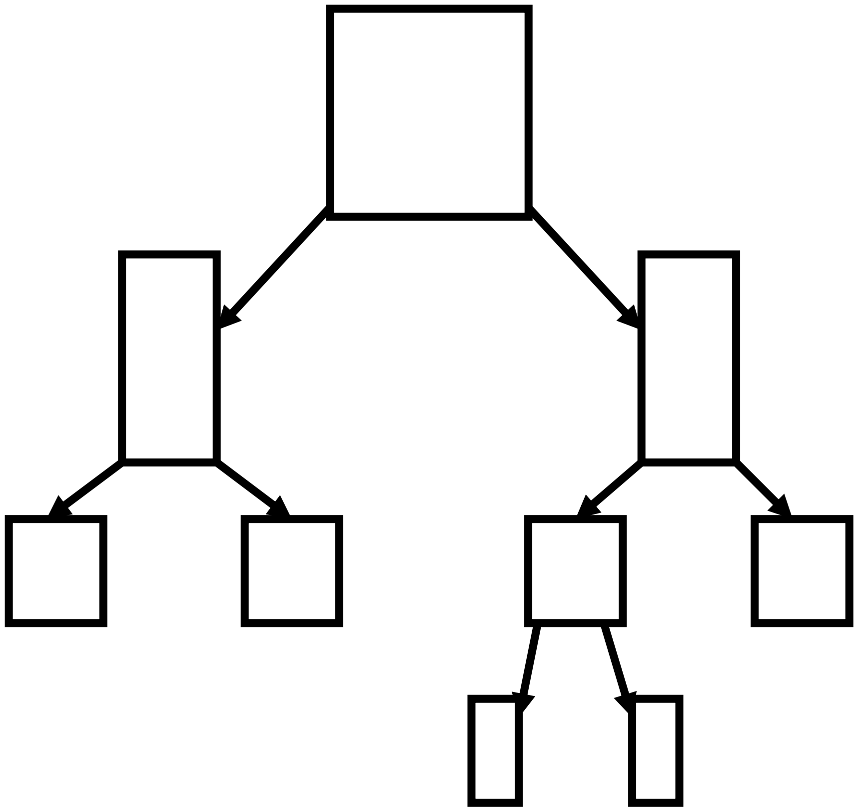
- Először az adat helyét határozzuk meg a hash-függvény értékének kiszámolásával
- A szomszédos négyszögek tulajdonosai között élek vannak
- A kérés az adat helyének irányába továbbítódik

- d dimenziós négyzet/kocka
  - 1 dimenziós: szakasz
  - 2 dimenziós: négyzet
  - 3 dimenziós: kocka
  - 4: ...

- Az élek várható értéke az úton: $n^{1/d}$
- A csomópontok átlagos fokszáma: O(d)

Befűzés CAN-ba = Véletlen fa

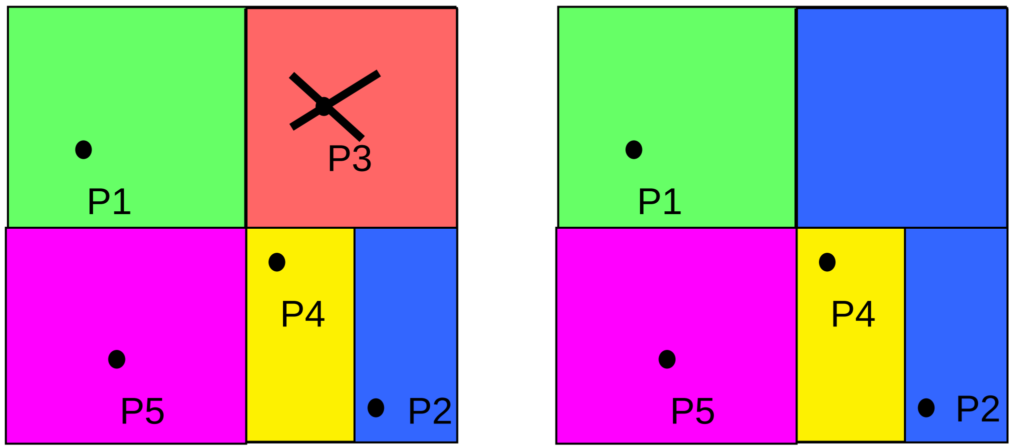
- Véletlen fa
  - Új levelek kerülnek véletlenül befűzésre.
  - Ha az aktuális csomópont belső csomópont, folytassuk véletlenül a bal vagy a jobboldali részfában
  - Ha az aktuális csomópont levél, fűzzünk két levelet gyermekként ehhez a csomóponthoz
- A fa mélysége:
  - Várható érték: 2 log n + O(1)
  - Mélység: O(log n) nagy valószínűséggel, azaz $1-n^{-c}$ valószínűséggel.

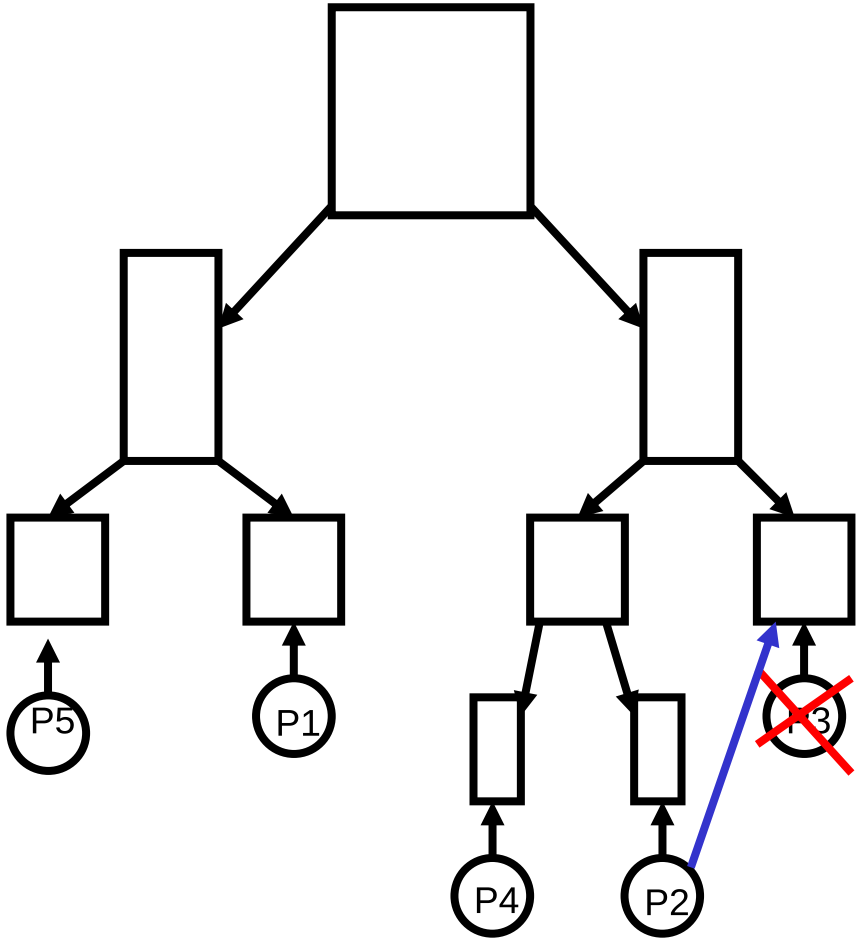


- Megfigyelés:
  - A CAN az új Peer-eket úgy fűzi be, mint új leveleket a véletlen fába

Peer törlése a CAN-ban

- Mikor egy Peer rendesen kijelentkezik, átadja a zónáját és adatait egy szomszédos Peer-nek.
- Mikor eltünik, nem biztos, hogy bejelenti előre
  - Ezért a szomszédai rendszeresen tesztelik a jelenlétét
  - Amelyik szomszéd először észleli a Peer eltünését, átveszi annak a zónáját
- A Peer-ek több tartományt kezelhetnek
- Gyakori befűzés és törlés fragmentáláshoz vezet



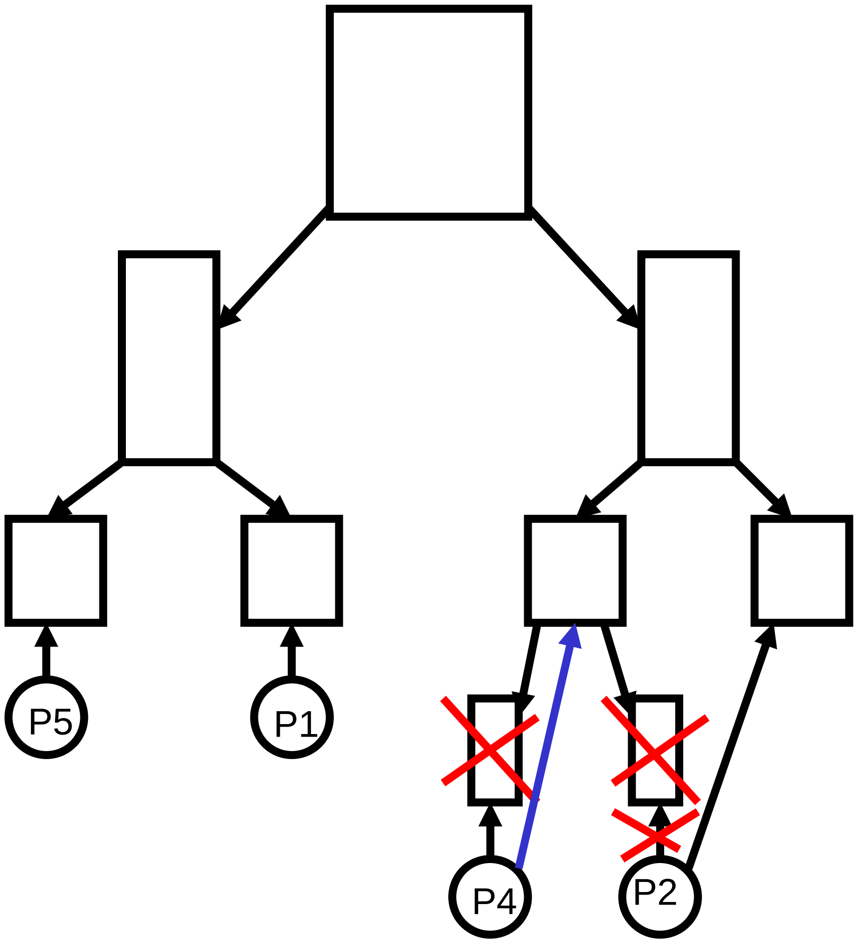


Defragmentálás – Az egyszerű eset

- A fragmentálás megszüntetéséhez időről időre végrehajtunk egy zóna-újrahozzárendelést (zóna=terület)

- Minden P Peer-hez, amelynek legalább két zónája van,
  - Töröljük P legkisebb zónáját és keressünk ehhez zónához egy új tulajdonos Peer-t

1. Eset:
   A szomszéd a fában nincs kettéosztva
   - Mindkét Peer levélnek felel meg a CAN-fában
   - Rendeljük hozzá a zónát a szomszédcsomóponthoz



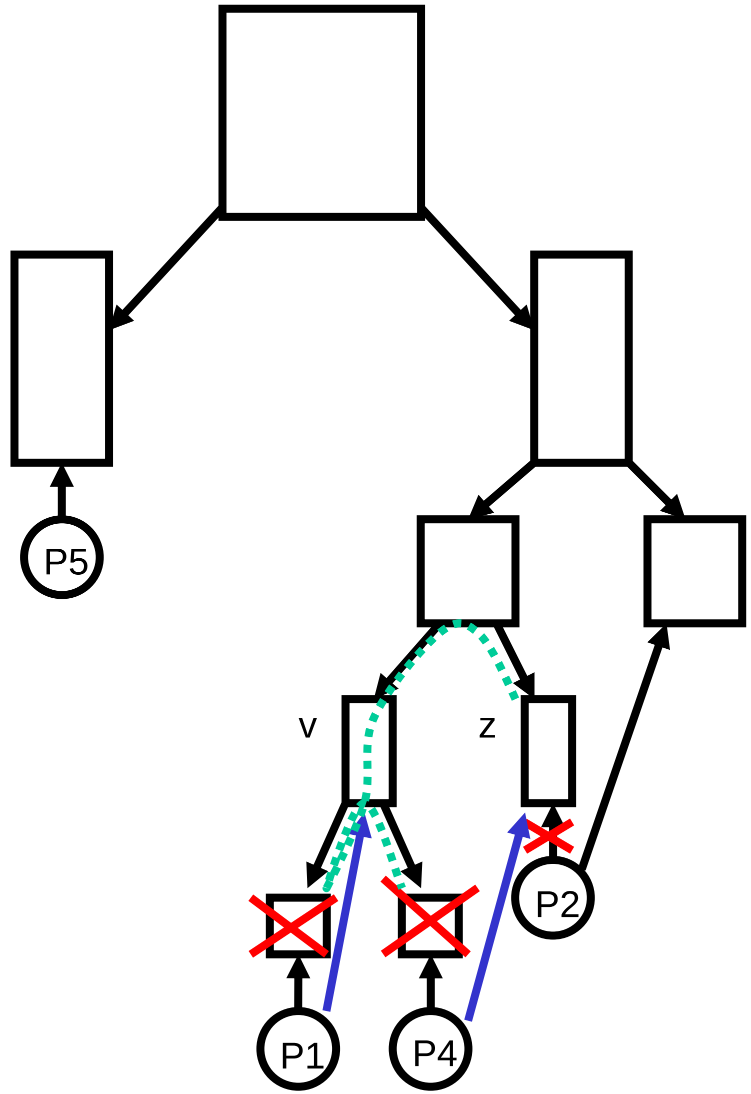
Defragmentálás – A nehezebb eset

- Minden P Peer-hez, amelynek legalább két zónája van,
  - Töröljük P legkisebb z zónáját és keressünk z-hez egy új tulajdonos Peer-t

2. Eset:

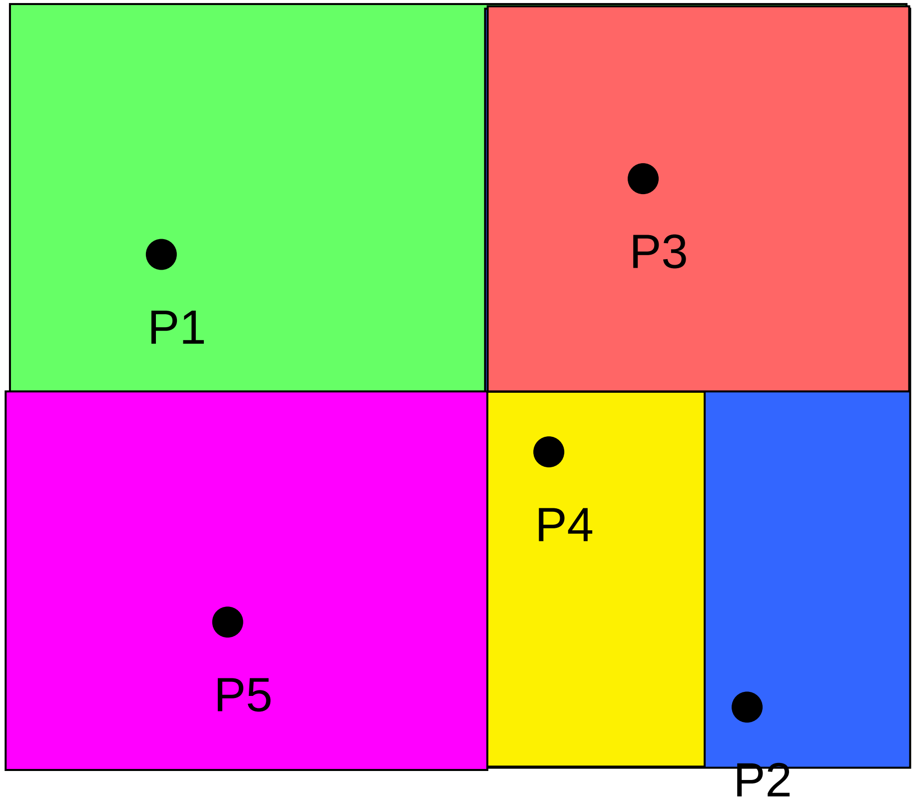
A szomszéd v a fában ketté van osztva

- Hajtsunk végre a fában v-ből egy mélységi keresést addig, amíg két szomszédos levelet találunk
- Rendeljük hozzá az egyik levél Peer-jéhez mindkét levél zónáját és
- Válasszuk a másik levél Peer-jét a z zóna tulajdonosának



CAN Értékelése

- Előny
  - Egyszerű robusztus viselkedés
  - Kiegyensúlyozza az adatok eloszlását a Peer-ek között
  - Alacsony fokszám
  - A hálózat többszörösen összefüggő, ezáltal robusztus
  - Különböző utakat ismer a célhoz, ezáltal tud utakat optimalizálni
- Hátrány
  - Átmérő konstans dimenzió esetén polinomiális: d dimenzió esetén $O(n^{1/d})$

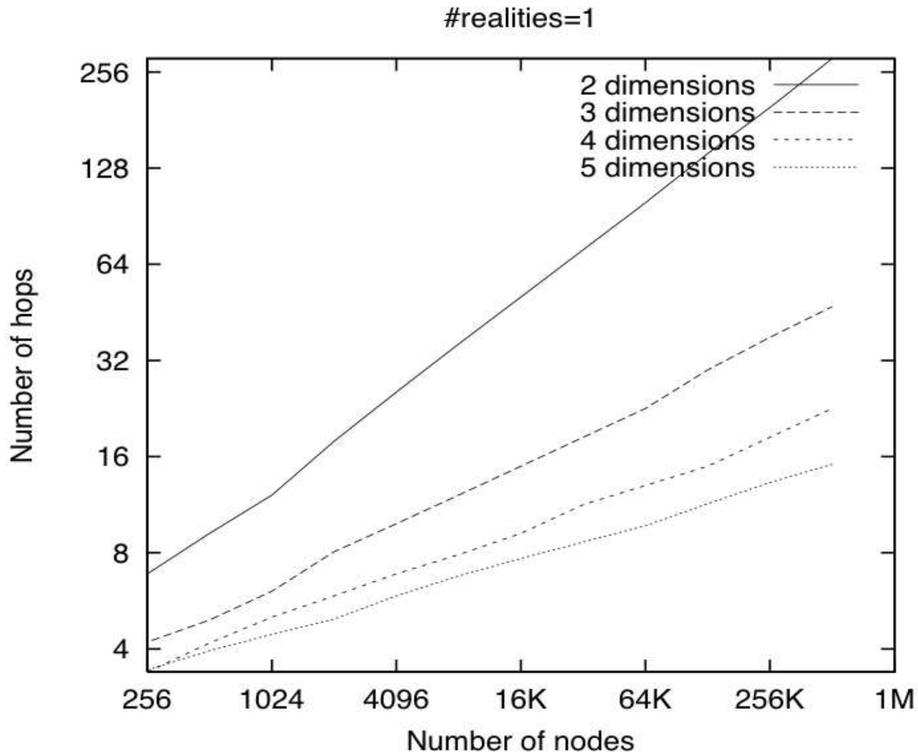


Rendszerjavítások a CAN-hoz

1. Többdimenziós terek
2. Különböző valóságok
3. Távolságmetrika a routinghoz
4. Zónák túlpakolása
5. Többszörös hashing
6. Topologia-függő hálózatkonstrukció
7. Egyenletesebb partícionálás
8. Caching, Replikáció és und Hot-Spot-Management

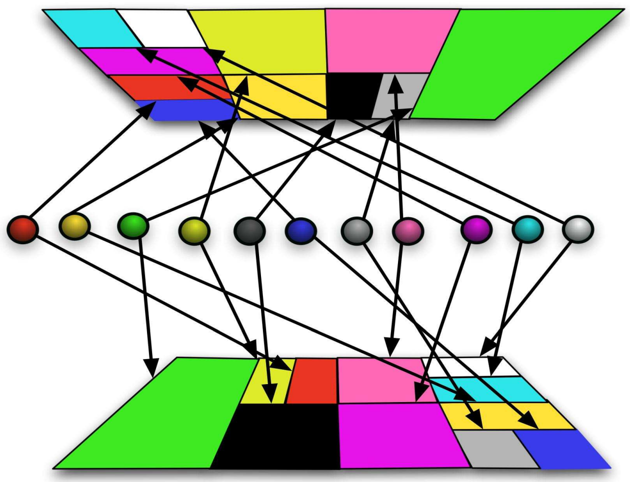
Többdimenziós terek

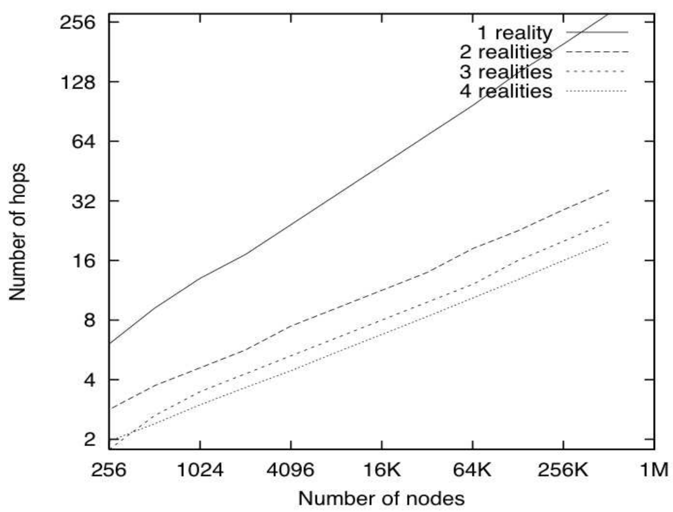
- d-dimenziós tér (2-D helyett)
  - 1: szakasz
  - 2: négyzet
  - 3: kocka
  - ...
- A várható útvonalhossz d-dimenzió esetén $O(n^{1/d})$
- A szomszédok számának várható értéke $O(2^d)$



Több valóság

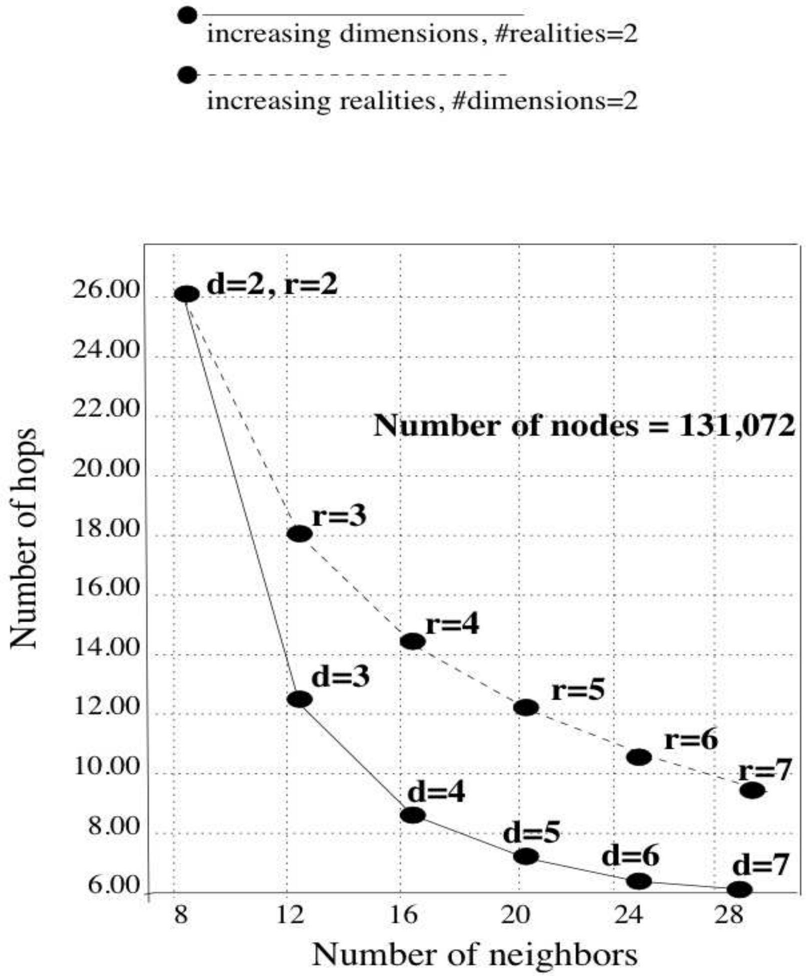
- Szimultán r CAN-hálózatot építünk fel
- Minden CAN-hálózatot valóságnak nevezünk
- Ha egy adatot keresünk,
  - ugorhatunk a valóságok között
  - Azt a valóságot választjuk, amelyben a távolság a célhoz minimális
- Előny
  - Robusztus
  - Rövidebb utak





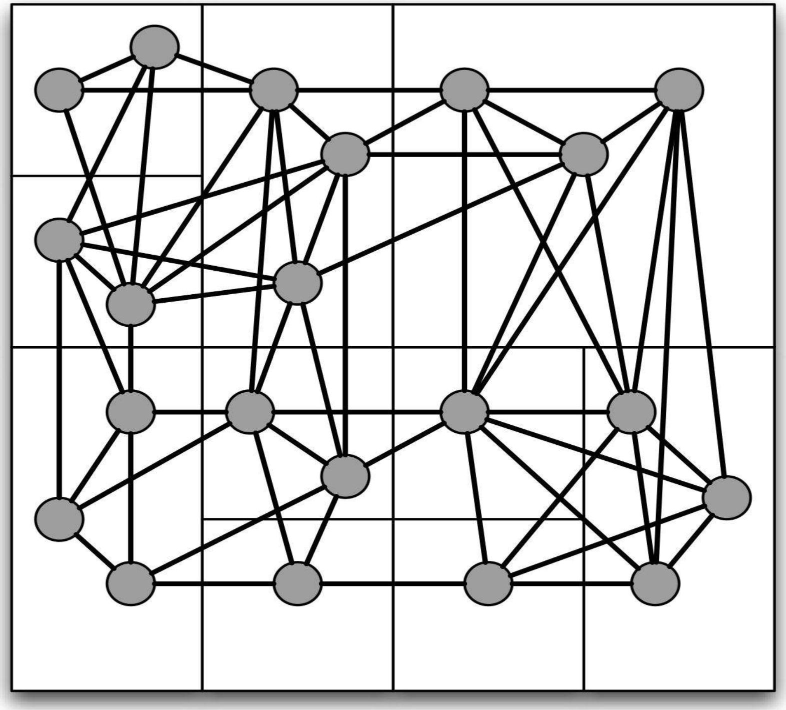
Több realitás vagy több dimenzió

- Több dimenzió jobban csökkenti az utak hosszát
- Több realitás robusztusabb hálózatot eredményez



Zónák túlpakolása

- Minden zónában MAXPEERS (z.B. 10) Peer lehet
  - Minden Peer ismer minden Peer-t a saját zónájában
  - és mindegyik ismer egy Peer-t a szomszéd zónában
  - Ezáltal az utak nem lesznek hosszabbak
- Az utak O(MAXPEERS)-szer rövidebbek lesznek
- A várakozási idő megrövidül, ha
  - minden Peer a szomszéd zóna földrajzilag legközelebbi Peer-jét választja
- Jobb hibatolerancia



Távolságmetrikák a routinghoz

- Az RTT (round trip time) mérése által becsüljük a távolságot
- Ezen metrika szerinti legközelebbi szomszédokat részesítjük előnyben
- Előny:
  - Csökken a várakozási idő
- Topológiafüggő hálózatkonstrukcióval több időmegtakarítás érhető el

Többszörös Hashing

- Az adatokat nem csak egyszer, hanem több helyen is tároljuk,
  - úgy, hogy a kulcsot a k $\in$ {1,2,..,COPIES} számmal kombináljuk
- A robusztusság ezáltal növekszik
- Kisebb távolságok
  - A legközelebbi másolatot keressük
  - Az routing-útvonalak hossza indirekt összefügg a másolatok számával. (pl. 1-dimenzióban fordítottan arányos a másolatok számával)

Topológiafüggő hálózatkonstrukció

- A mért várakozási idők m kitüntetett Peer-hez – amiket landmark-oknak nevezünk – információként szolgálnak a pozícióról
- A várakozási időket sorbarendezzük
- A sorbarendezett lista kulcsként szolgál: m! lehetséges kulcs
- Ezt kulcsot képezzük le
  - A leképezéshez nem egy hash-függvényt használunk
  - Minden permutációnak megfeleltetjük a koordináta-rendszer egy tartományát, és a Peert ezen a tartományon képezzük le egy véletlen pontra.
- Ezáltal
  - Közeli csomópontok azonos (közeli) tartományba kerülnek
  - A várakozási idők drasztikusan csökkennek (közeli tartományok esetén)
- De
  - A landmark-csomópontok választása nehéz
  - Fennál a veszélye a feladatok egyenletlen eloszlásának

Irodalom

- Sylvia Ratnasamy, Paul Francis, Mark Handley, Richard Karp, and Scott Shenker: **A scalable content-addressable network**. In *Proc. ACM SIGCOMM*, 161-172, 2001.
- M. Jovanovic, F. Annexstein, and K. Berman: **Scalability Issues in Large Peer-to-peer networks: A case study of Gnutella**.
- Napster: http://computer.howstuffworks.com/file-sharing.htm