

Párhuzamos és Grid rendszerek *(2. ea)*

párhuzamos algoritmusok tervezése

Szeberényi Imre

BME IIT

<szebi@iit.bme.hu>

Az ábrák egy része Ian Foster: **Designing
and Building Parallel Programs**
(Addison-Wesley) c. könyvéből származik.



MŰEGYETEM 1782

Hol tartunk ?

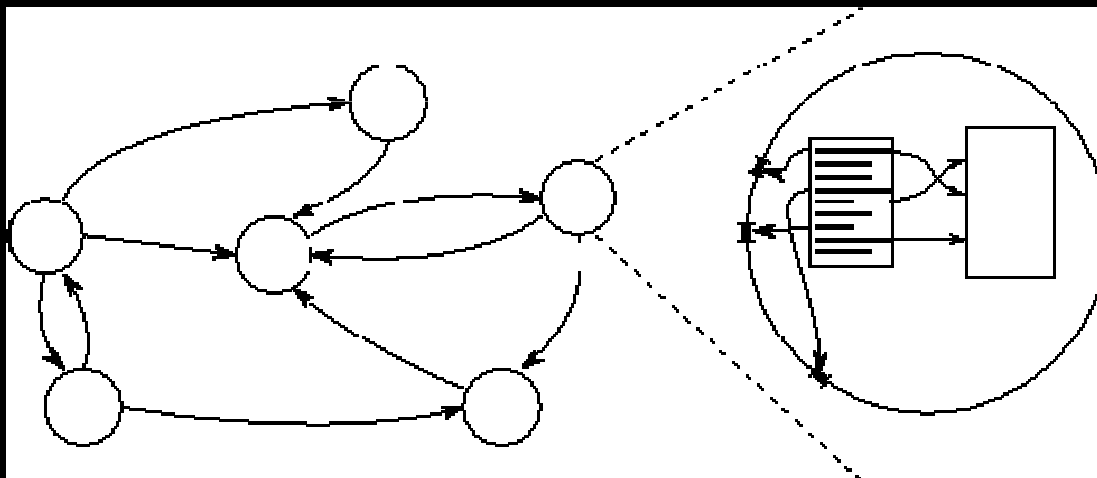
- Megismerkedtünk az alapfogalmakkal
- Megismertük a fontosabb párhuzamos architektúrákat:
 - SMP (NUMA, ccNUMA)
 - MPP
 - CLUSTER

Hol tartunk ? /2

- Felvázoltunk fizikai és logikai összeköttetések
- Egyszerű absztrakciós modellt alkottunk a párhuzamos gépek leírására
- Említett programozási modellek
 - Közös memóriás
 - Elosztott közös memóriás
 - Üzenet küldéses

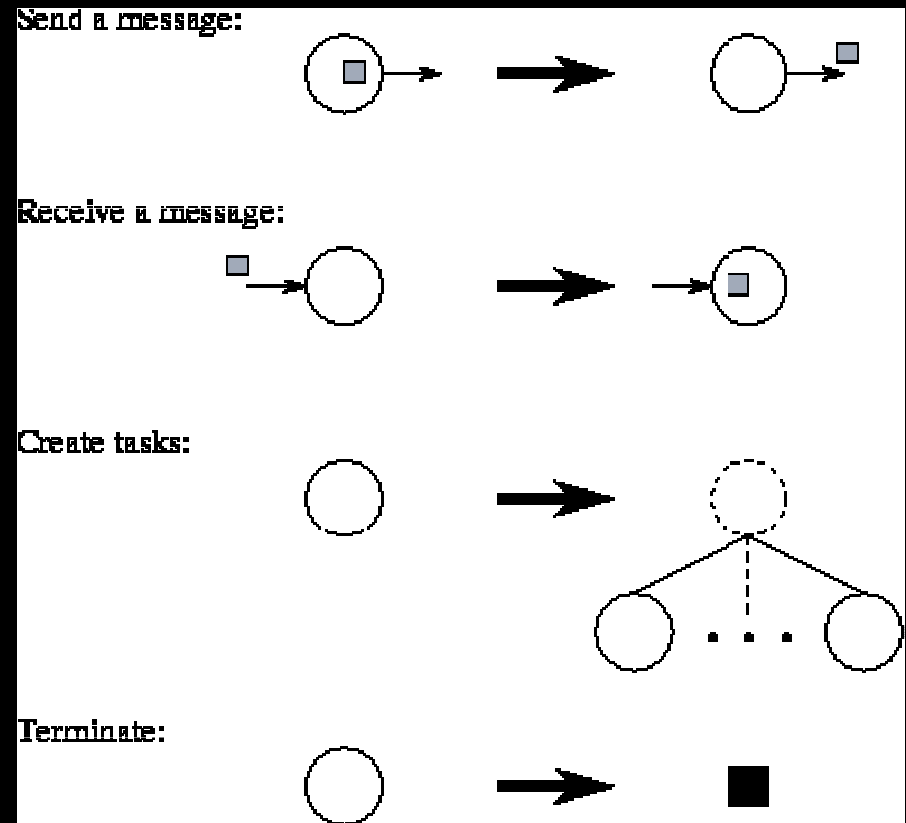
Taszk/csatorna modell /1

- minden taszk szekvenciális programot futtat
- minden taszknak van saját memóriája
- taszkok csatornákkal kapcsolódnak
- a csatornák üzenetsorokat valósítanak meg



Taszok/csatorna modell /2

- taszok konkurenszek
- van lokális memóriájuk
- küldés aszinkron
- fogadás szinkron
- csatornához in/out portokkal csatlakoznak
- taszok tetszőlegesen rendelhetők össze a processzorokkal



Taszk/csatorna modell /3

- Példa: termelő-fogyasztó probléma

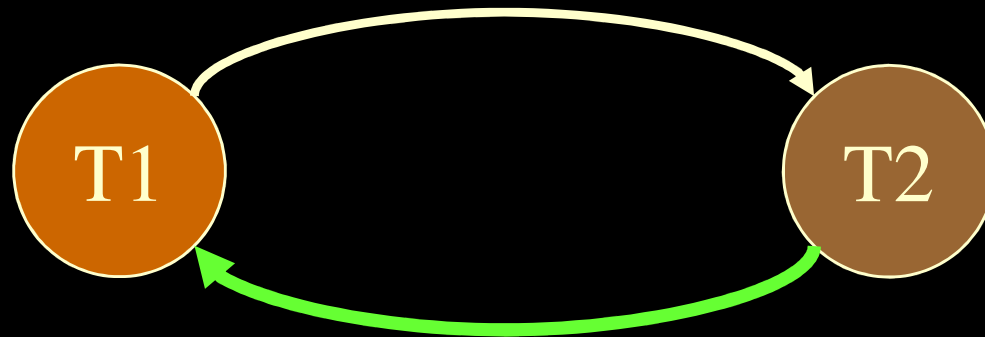
- taszk1: termelő
- taszk2: fogyasztó



- ha a fogyasztó lassabb, akkor a felhalmozódik a termelt adat
- ha a termelő a lassabb, akkor vár a fogy.

Taszk/csatorna modell /4

- Példa: termelő-fogyasztó probléma
 - taszk1: termelő
 - taszk2: fogyasztó



- második csatornán a fogyasztó jelzi, ha kér újabb adatot
- a termelő ennek hatására termel

Taszk/csat. modell jellemzői

- A modell közvetlenül hozzárendelhető az idealizált számítógéphez.
- A taszk egy soros kódot reprezentál.
- A csatorna processzorok közötti kommunikációt valósít meg.
- A taszk működése független a taszk-processzor összerendeléstől, taszkok számától.
- Moduláris felépítést tesz lehetővé.

Taszok/csatorna vs. üzenet

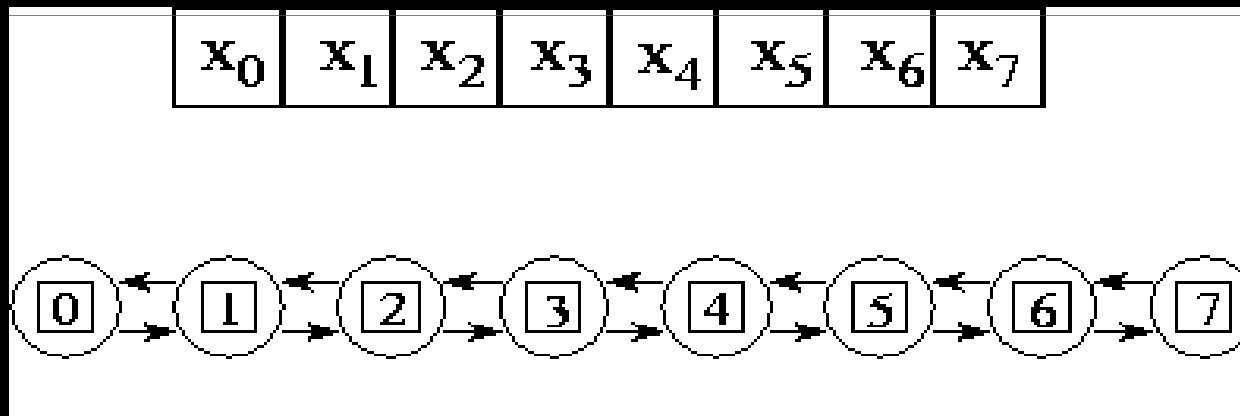
- Az üzenet egy adott taszknak szól, ezért kevésbé absztrakt, mint a csatorna.
- Az általános üzenetküldéses modell szerint nem lehet dinamikusán új taszot létrehozni. (Több megvalósításban lehet.)
- Egy processzor csak egy taszot futtathat. (Több megvalósításban ez sem korlát.)

Párh. algoritmus példák /1

- Véges differenciák:
 - egy vektor minden elemére T-szer végre kell hajtani a következő műveletet:

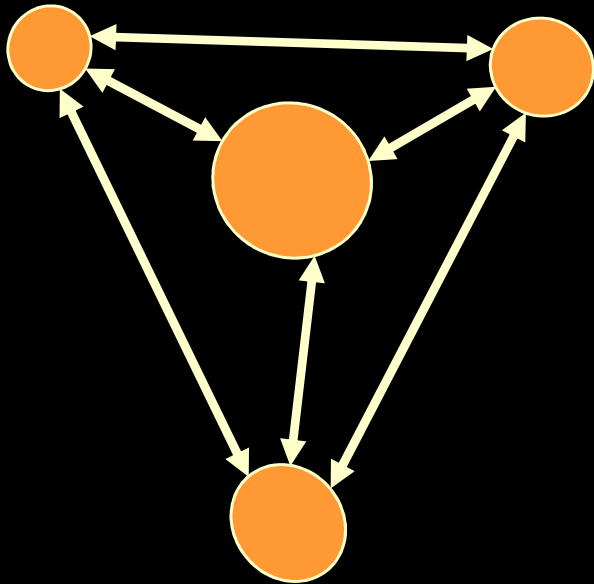
$$0 < i < N - 1, 0 \leq t < T : X_i^{(t+1)} = \frac{X_{i-1}^{(t)} + 2X_i^{(t)} + X_{i+1}^{(t)}}{4}$$

- Minden elemet egy-egy taszk számol, aki kommunikál a szomszédaival:



Párh. algoritmus példák /2

- Páronkénti iteráció (pl. atomok kölcsönös egymásra hatása)



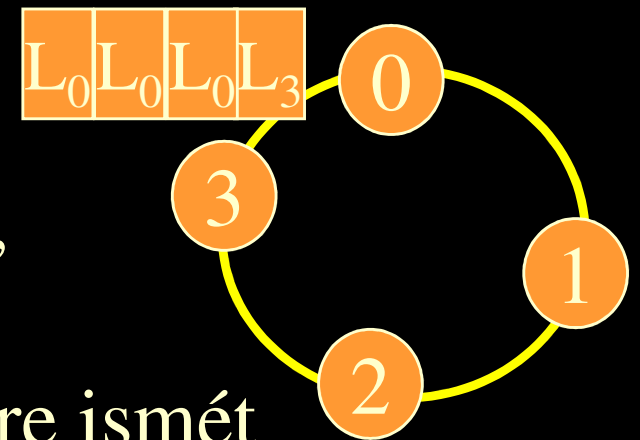
$$f_i = \sum_{j=0}^{N-1} F(X_i, X_j)$$

- $N*(N-1)$ üzenet kell, esetleg $N*(N-1)/2$, ha kihasználjuk a szimmetriát.

Párh. algoritmus példák /3

- Körkörös kapcsolat (csatorna) a fenti problémára hatékonyabb üzenetstruktúrát eredményez:

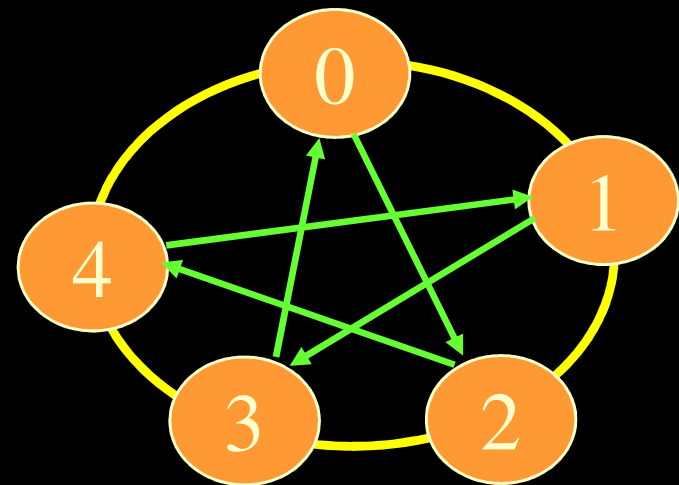
- Egy N elemű vektorba minden taszk beteszi a saját adatát (koord., tömeg) és elküldi a szomszédnak.
- A bejövő üzenetbe megfelelő helyre ismét elhelyezi a saját adatát és továbbküldi azt.
- $N-1$ lépés után mindenki ismeri az a többiek koordinátáit és tömegét.
- F értéke minden lépésben az új partnerek adata alapján akumulálható.



Párh. algoritmus példák /4

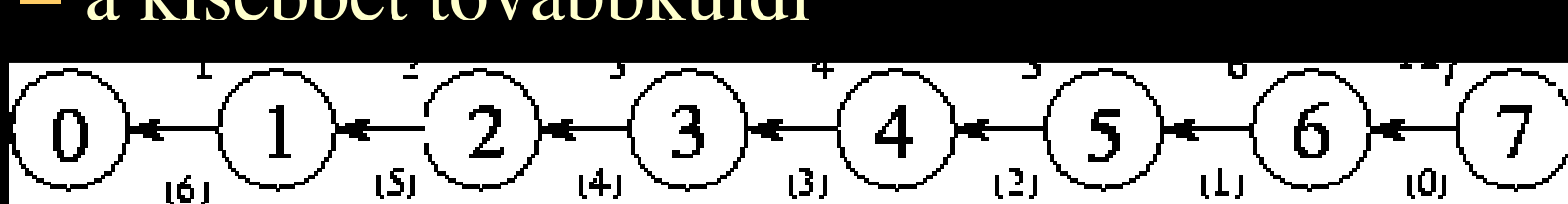
- N újabb csatornával az algoritmus a szimmetria miatt tovább egyszerűsíthető:
 - hozzunk létre minden i . taszk és $i+N/2$ -dik taszk között egy újabb csatornát.
 - az adott atomra ható erőket folyamatosan számoljuk, és küldjük is körbe.
 - $N/2$ iterációval előáll az eredmény.

L_0	L_1	L_2	L_3	L_4
F_0	F_1	F_2	F_3	F_4

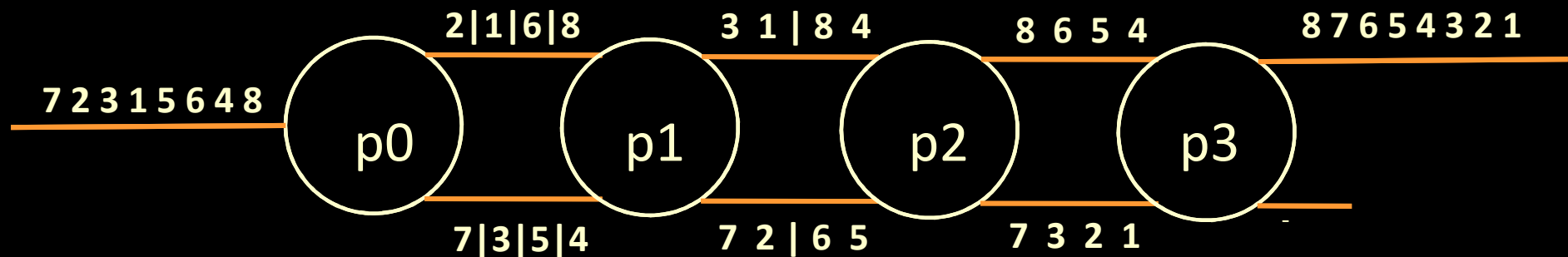


Párh. algoritmus példák /6

- Pipeline rendezés:
 - minden elem megtartja a nagyobbát
 - a kisebbet továbbküldi

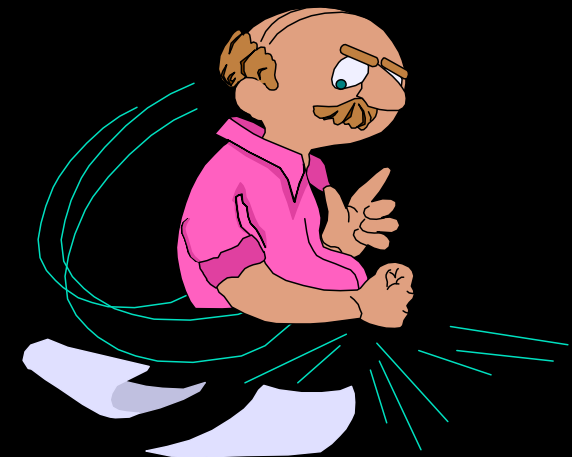


- Pipeline merge sort

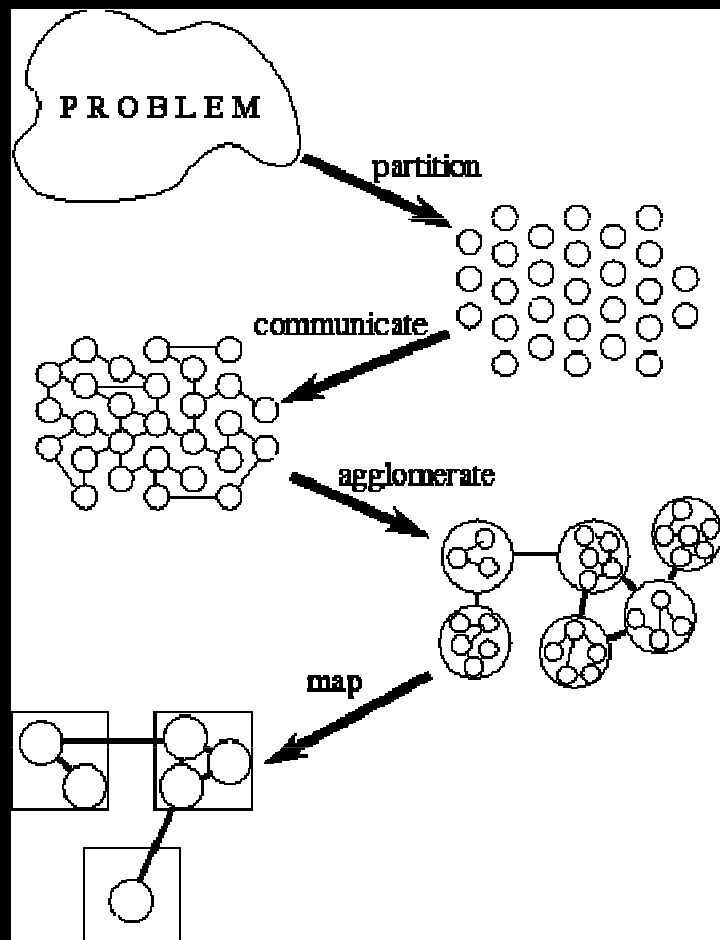


Párh. algoritmusok tervezése

- Nem egyszerű.
- Kreativitást igényel.
- Számos iterációt tartalmaz.
- Nincs egyszerű recept.
- Vannak betartható, ajánlott lépések, módszerek.



PCAM módszertan



1. **Particionálás:** Részfeladatokra osztás. NEM veszi figyelembe a fizikai gép adottságait.
2. **Kommunikáció** megtervezése: Részfeladatok közötti adatcsere és szinkronizációs séma kialakítása.
3. **Agglomeráció:** Részfeladatok nagyobb egységekbe gyűjtése a hatékonyságnövelés érdekében.

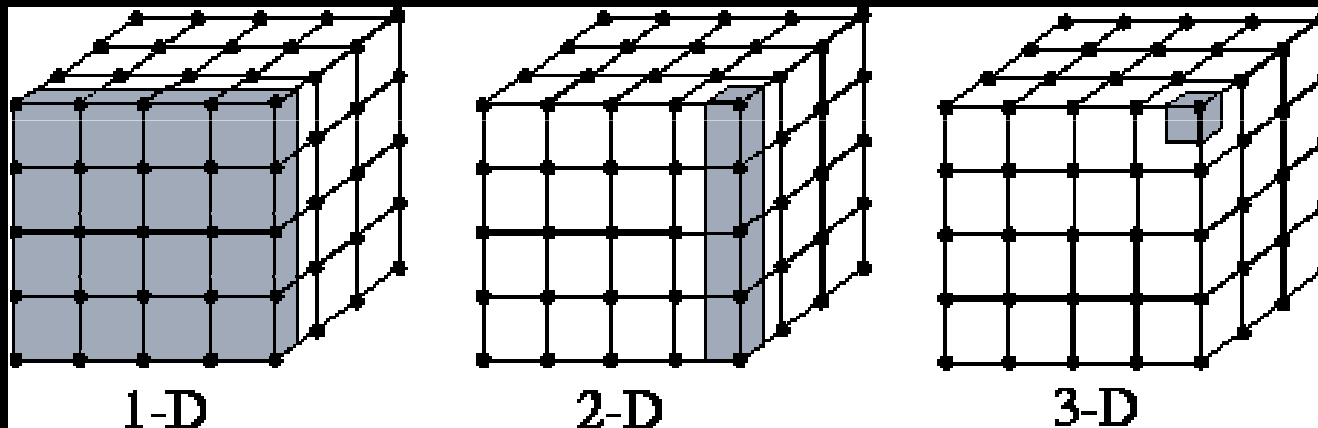
4. **Leképezés:** A részfeladatok processzorhoz (feldolgozó elemhez) rendelése.

Particionálás

- **Cél:** Párhuzamosítható részek felderítése. A művelet absztrakt, nem veszi figyelembe párhuzamos környezet HW/SW adottságait.
- Finom felbontás (sok kis részfeladat) előállítása hatékonyabb és egyszerűbb.
- A feladatot és az adatokat is kis részekre szedjük.
 - *domén dekompozíció*
 - *funkcionális dekompozíció*

Domén dekompozíció

- Adat vagy paramétertér felosztása. Az adat lehet input, output, vagy közbülső adat.
 - Példa: Egy 3D rácson minden rácspontban ki kell számolni egy értéket. 1, 2, vagy 3 dimenziós partíció:



Funkcionális dekompozíció

- Az algoritmus felosztása olyan részekre, melyek párhuzamosíthatók.
- Alapvetően a feladat funkcióiból adódik.
- Az adatokra is figyelni kell.
- Tipikus példa, amikor az adatok partícionálása nem járható: keresés fában.
 - funkcionálisan viszont bontható

Hogy sikerült a partícionálás?

- Jól, ha partícionálással kapott taszkok száma nagyságrendileg több mint a proc. száma.
- Jól, ha redundancia mentes.
- Jól ha a taszkok mérete hasonló.
- Jól, ha a probléma méretével a taszkok száma is nő.

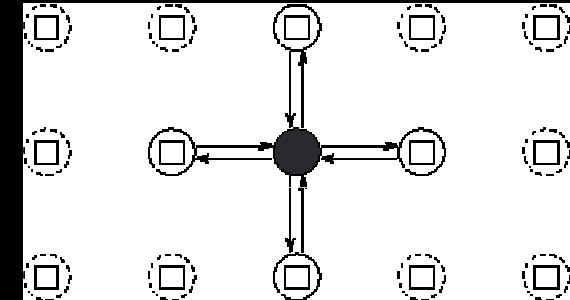
Kommunikáció

- Kis környezetű (local) és globális
 - a taszkok csak kis környezetükben (szomszéd), vagy sok másik taszkkal is kommunikálnak.
- Strukturált és nem strukturált
 - rács, gyűrű, ... vagy más
- Statikus és dinamikus
 - végrehajtás közben változik
- Szinkron vagy aszinkron
 - koordináció hiánya

Kommunikációs példák /1

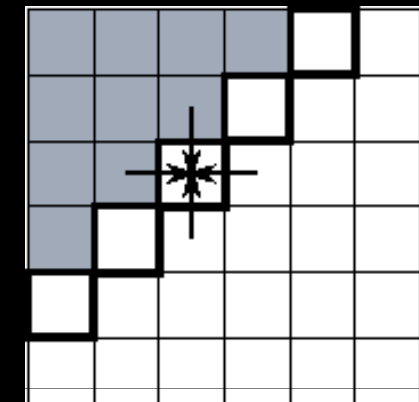
Lokális kommunikáció (Jakobi):

$$X_{ij}^{(t+1)} = \frac{4X_{ij}^{(t)} + X_{i-1,j}^{(t)} + X_{i+1,j}^{(t)} + X_{i,j-1}^{(t)} + X_{i,j+1}^{(t)}}{8}$$

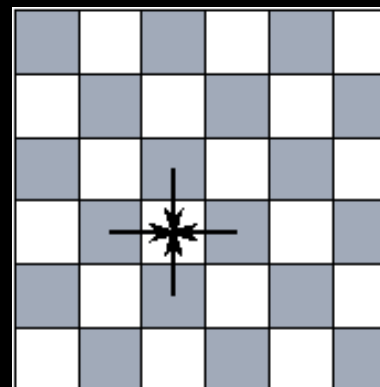


(Gauss-Seidel):

$$X_{ij}^{(t+1)} = \frac{4X_{ij}^{(t)} + X_{i-1,j}^{(t+1)} + X_{i+1,j}^{(t)} + X_{i,j-1}^{(t+1)} + X_{i,j+1}^{(t)}}{8}$$

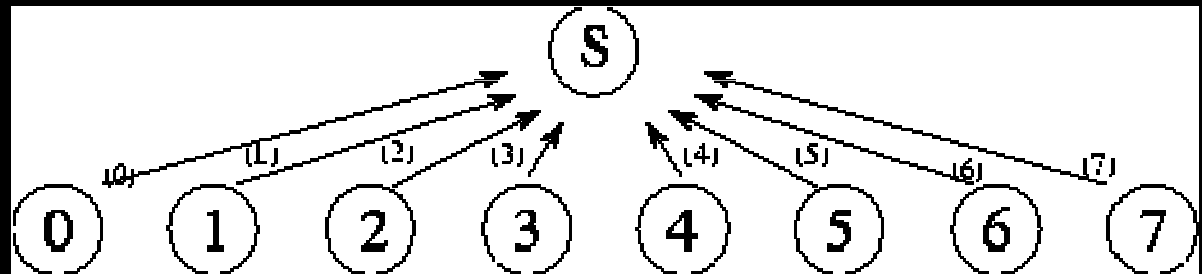


Red-Black ordering:

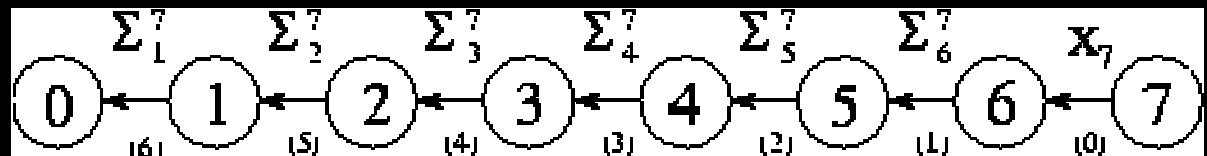


Kommunikációs példák /2

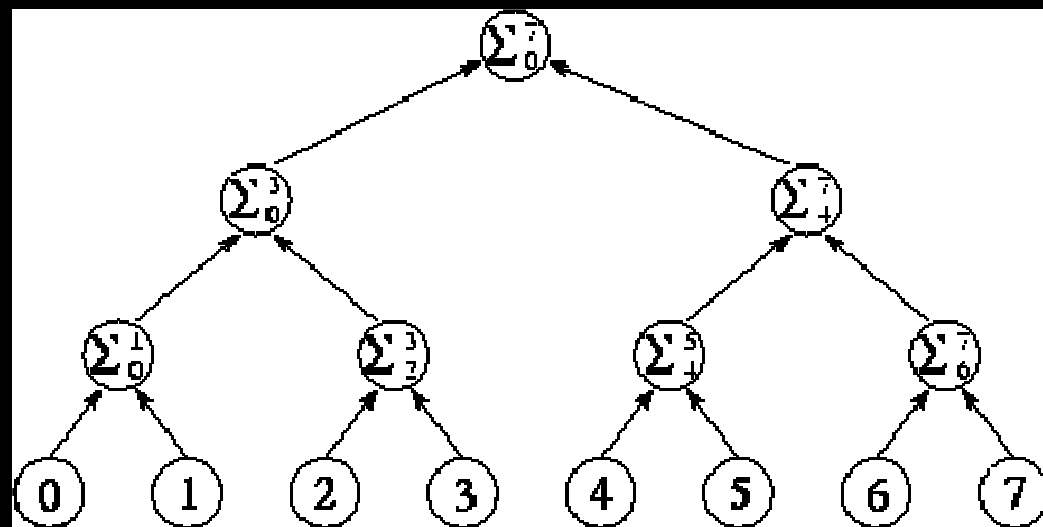
Globális kommunikáció (szumma):



Csővezeték:



Oszd meg és uralkodj:

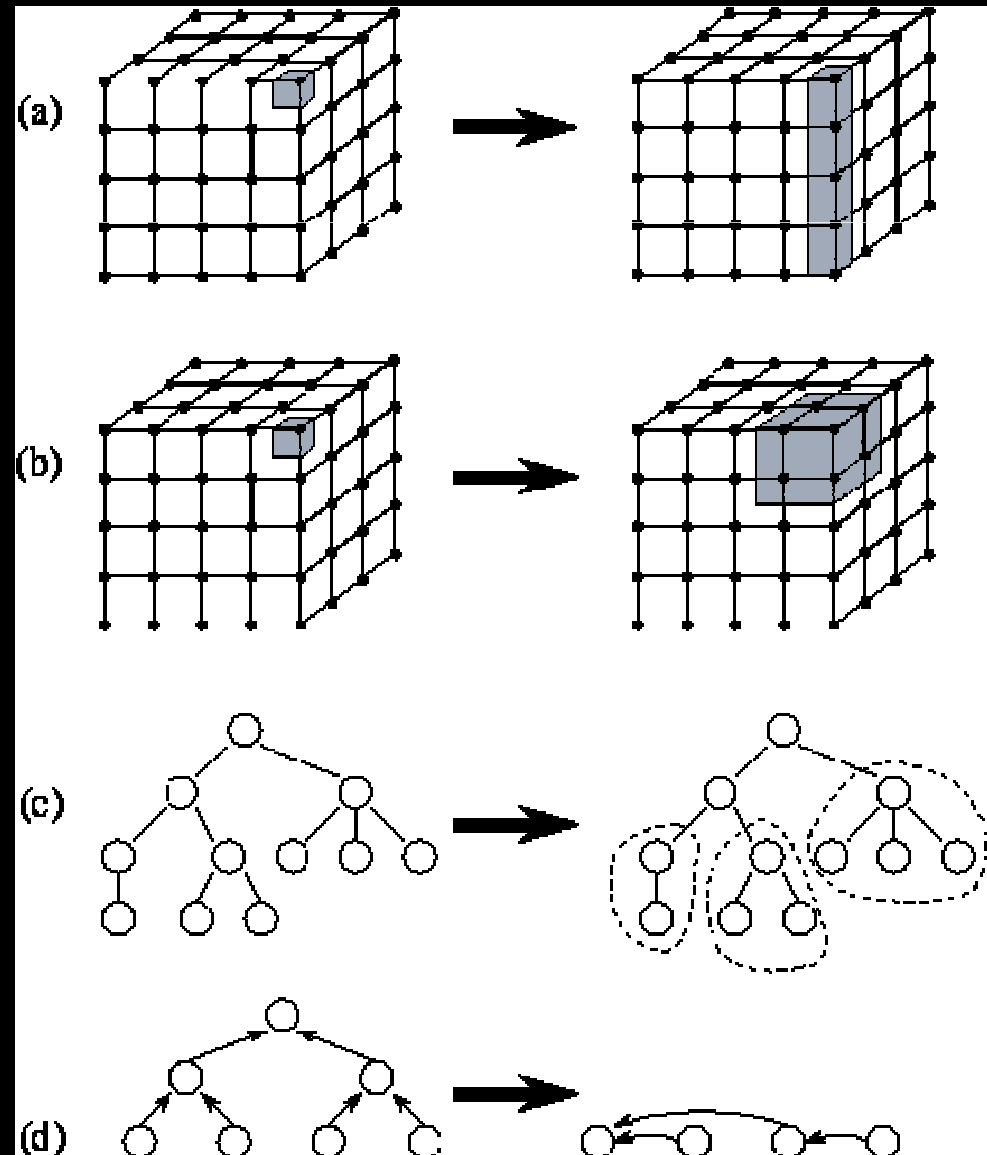


Hogy sikerült a kommunikáció?

- Jól, ha közel azonos számú kommunikációt végez minden taszk.
- Jól, ha a taszkok csak lokális környezetükkel kommunikálnak.
- Jól, ha kommunikáció konkurensen párhuzamosan zajlik.
- Különböző taszkok konkurensen kommunikálnak.

Agglomeráció

- A tényleges párhuzamos gép kommunikációs adottságait is figyelembe véve a részfeladatokat nagyobb egységekbe gyűjtjük.



Agglomeráció szükségessége

- A kommunikáció "költséges"
- A kommunikáció szükségtelen szinkronizációt okoz
- Tértogat-felület effektus (számítás/kommunikáció arány)
- Flexibilitás megtartása

Hogy sikerült az agglomeráció?

- Jól, ha jelentősen növekedett a lokális kommunikáció
- Jól, ha a skálázhatóság nem romlott.
- Jól, ha az összevont taszkok mérete közel azonos.
- Jól, ha a probléma méretével növekszik a taszkok száma.
- Jól, ha a már nem vonhatók össze feladatok anélkül, hogy a skálázhatóság vagy a terhelés kiegyenlíthetőség ne romlana.

Leképezés (mapping)

- Tényleges HW/SW környezet figyelembe vétele, leképezés a fizikai gépre.
- Jelentősen befolyásolhatja a terhelés kiegyenlítést, ütemezési algoritmust.

Hogy sikerült a leképezés?

- Jól, ha nem keletkezett szűk keresztmetszet a programban.
- Jól, ha több lehetséges leképezést is megvizsgáltunk.
- Ha figyelemmel voltunk a terhelés kiegyenlítésre.

Komplex példa: mátrix szorzás /1

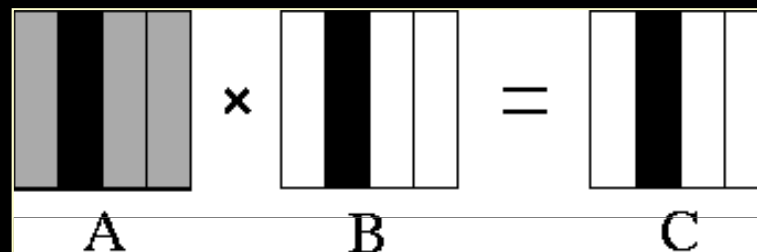
Mátrix-mátrix szorzás: $O(N^3)$

$$C_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} A_{ik} \cdot B_{kj}$$

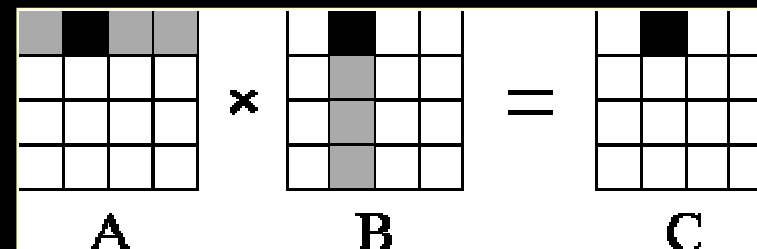
- Partícionálás:

- egy C_{ij} -t csak egy processzor számoljon
- domén dekompozíció

– 1D:

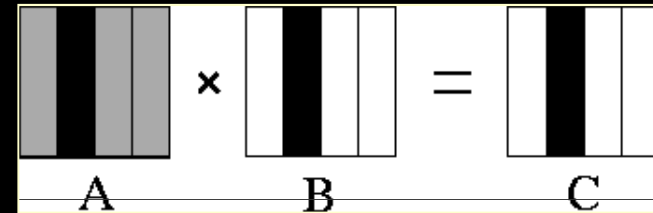


– 2D:



Komplex példa: mátrix szorzás /2

- Kommunikáció



- 1D: Minden proc.-nak szüksége van a teljes A-ra.
- tfh. egy processzor felelős az adatok szétküldéséért és begyűjtéséért (pl. SPMD)
- $T_{1d} = (P-1) * (N^2 + 2 * N^2 / P) \approx P * N^2$
- A kommunikációs igény processzor számával lineárisan nő!

Komplex példa: mátrix szorzás /2

- Kommunikáció

- 2D: Azonos sor ill. azonos oszlop kell A-ból és B-ből.
- Algoritmus (Fox's):

1. $C = 0$

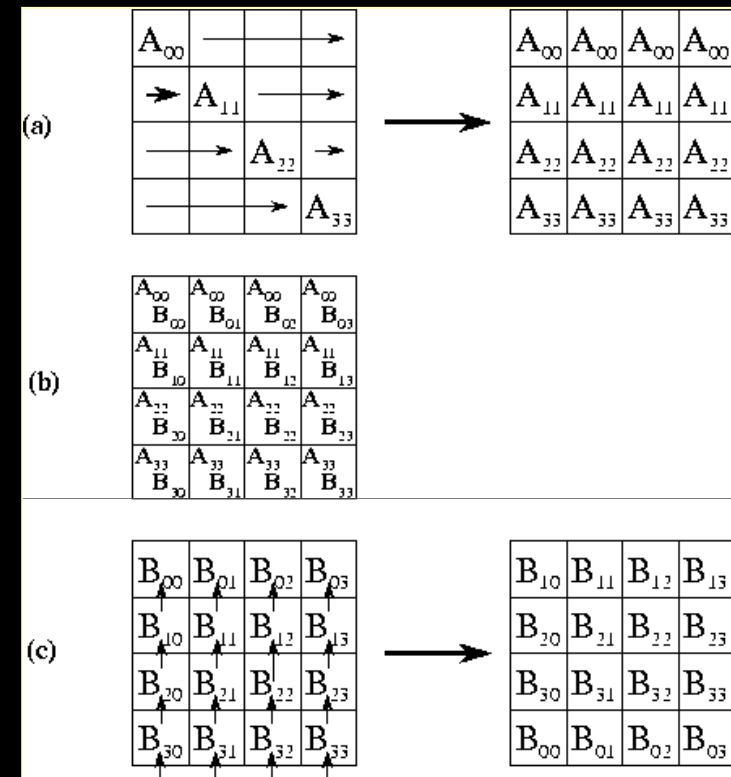
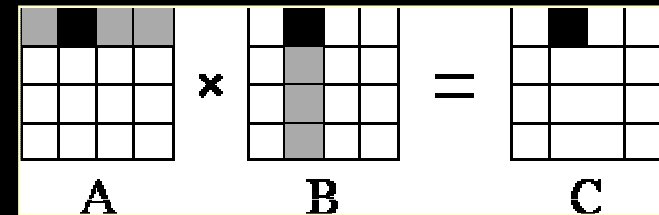
2. Ismétlés N-1-szer:

3. A átlóit soronként ismételve tegyük egy A'-be

4. $C_{ij} = C_{ij} + B_{ij} * A'_{ij}$

5. $B = B$ ciklikus feltolása

- $T_{2d} = 2 * (\sqrt{P}-1) * N^2 + (P-1) * N^2 / P \approx N^2 / \sqrt{P}$



Komplex példa: mátrix szorzás /4

- Agglomeráció:
 - A kommunikációs igény felmérésénél láttuk, hogy érdemes lehet nagyobb csoportokat alkotni.
 - Esetleg más algoritmusok (pl. Cannon) más agglomerációt igényelhetnek.
- Leképezés (mapping):
 - Rács
 - Fa