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.

Hol tartunk ?

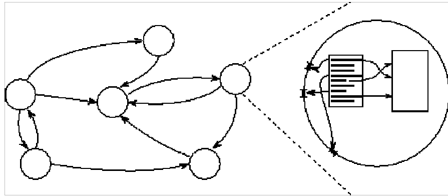
- Megismerkedtünk az alapfogalmakkal
- Megismertük a fontosabb párhuzamos architektúrákat:
- SMP (NUMA, ccNUMA)
- MPP
- CLUSTER

Hol tartunk ? /2

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

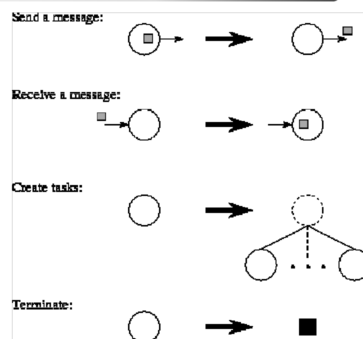
Taszk/csatorna modell /1

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



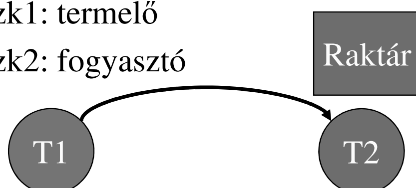
Taszk/csatorna modell /2

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



Taszk/csatorna modell /3

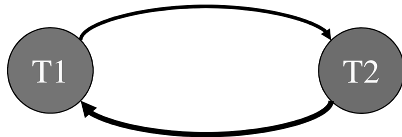
- Példa: termelő-fogyasztó probléma
  - taszk1: termelő
  - taszk2: fogyasztó



- 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

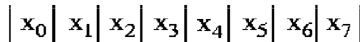
- A modell közvetlenül hozzárendelhető az idealizált számítógéphez.
- A taszk egy soros kódot reprezentál.
- A csatorna processzorok közötti kommunikációt valósít meg.
- A taszk működése független a taszk-processzor összerendeléstől, taszkok számától.
- Moduláris felépítést tesz lehetővé.

Taszk/csatorna vs. üzenet

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

Párh. algoritmus példák /1

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



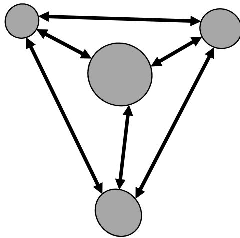
$$0 < i < N-1,\ 0 \le t < T:\ X_i^{(t+1)} = \frac{X_{i-1}^{(t)} + 2X_i^{(t)} + X_{i+1}^{(t)}}{4}$$

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

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7

Párh. algoritmus példák /2

- Páronkénti iteráció (pl. atomok kölcsönös egymásra hatása)

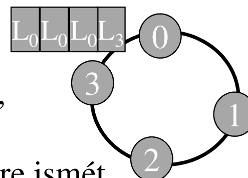


$$f_i = \sum_{j=0}^{N-1} F(X_i, X_j)$$

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

Párh. algoritmus példák /3

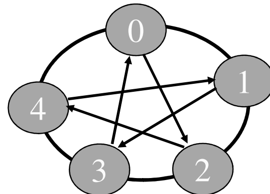
- Körkörös kapcsolat (csatorna) a fenti problémára hatékonyabb üzenetstruktúrát eredményez:
  - Egy N elemű vektorba minden taszk beteszi a saját adatát (koord., tömeg) és elküldi a szomszédnak.
  - A bejövő üzenetbe megfelelő helyre ismét elhelyezi a saját adatát és továbbküldi azt.
  - N-1 lépés után mindenki ismeri az a többiek koordinátáit és tömegét.
  - F értéke minden lépésben az új partnerek adata alapján akkumulálható.



Párh. algoritmus példák /4

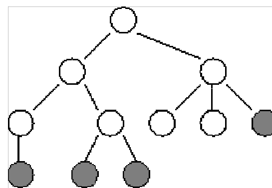
- N újabb csatornával az algoritmus a szimmetria miatt tovább egyszerűsíthető:
  - hozzunk létre minden i. taszk és i+N/2-dik taszk között egy újabb csatornát.
  - az adott atomra ható erőket folyamatosan számoljuk, és küldjük is körbe.
  - N/2 iterációval előáll az eredmény.

L_0	L_1	L_2	L_3	L_4
F_0	F_1	F_2	F_3	F_4

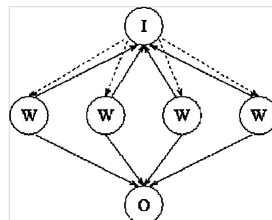


Párh. algoritmus példák /5

- Párhuzamos keresés:
  - fában történő keresés egyszerűen párhuzamosítható

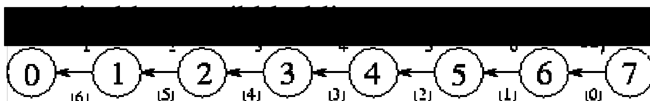


- Paraméter elemzés:
  - master-worker algoritmus

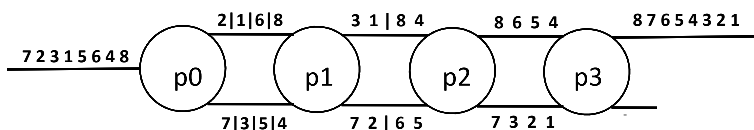


Párh. algoritmus példák /6

- Pipeline rendezés:
  - minden elem megtartja a nagyobbat

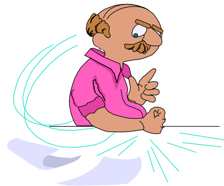


- Pipeline merge sort

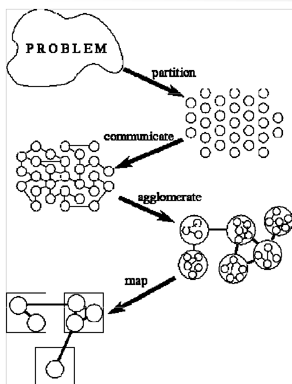


Párh. algoritmusok tervezése

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



PCAM módszertan



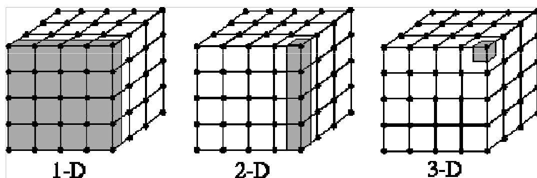
1. Particionálás: Részfeladatokra osztás. NEM veszi figyelembe a fizikai gép adottságait.
2. Kommunikáció megtervezése: Részfeladatok közötti adatcsere és szinkronizációs séma kialakítása.
3. Agglomeráció: Részfeladatok nagyobb egységekbe gyűjtése a hatékonyságnövelés érdekében.
4. Leképezés: A részfeladatok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

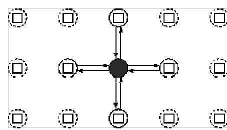
Kommunikáció

- 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

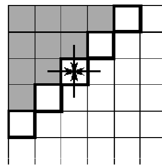
Lokális kommunikáció (Jakobi):

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

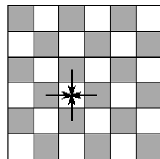


(Gauss-Seidel):

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

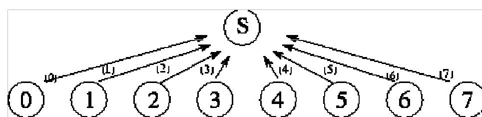


Red-Black ordering:



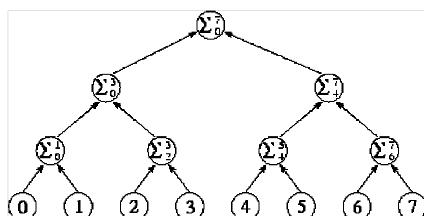
Kommunikációs példák /2

Globális kommunkáció (szumma):



Csővezeték:

Oszd meg és uralkodj:

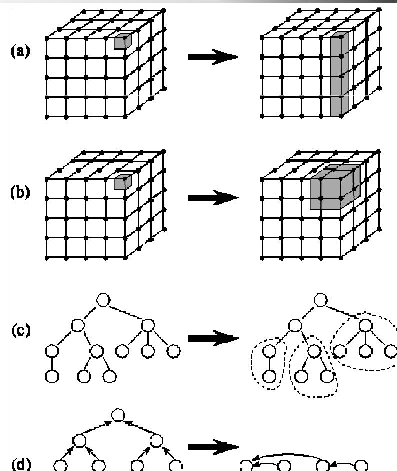


Hogy sikerült a kommunikáció?

- Jól, ha közel azonos számú kommunikációt végez minden taszk.
- Jól, ha a taszkok csak lokális környezetükkel kommunikálnak.
- Jól, ha kommunikácó 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
- Térfogat-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 terheléskiegyenlíthetőség ne romlana.

Leképezés (mapping)

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

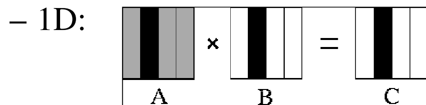
Hogy sikerült a leképezés?

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

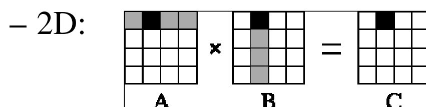
Komplex példa: mátrix szorzás /1

Mátrix-mátrix szorzás: $O(N^3)$ $$C_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} A_{ik}.B_{kj}.$$

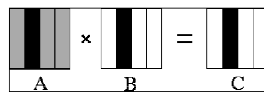
- Partícionálás:
  - egy Cij-t csak egy processzor számoljon
  - domén dekompozíció
  - 1D:



  - 2D:

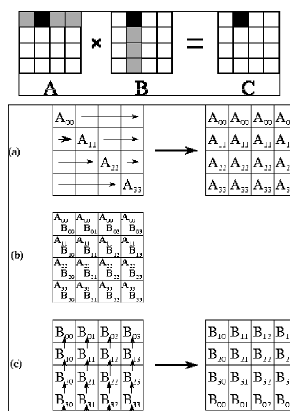


Komplex példa: mátrix szorzás /2



- 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