Párhuzamos és Grid rendszerek (1. ea)

alapfogalmak

Szeberényi Imre

BME IIT

<szebi@iit.bme.hu>

Parallel programozás áttekintése

Miért fontos a párhuzamos feldolgozás ?

- Nagyobb teljesítmény elérése miatt ? Csak a teljesítményért ?
  - a párhuzamosítás ebben az esetben csak technológia
  - nem fontos az alkalmazás tervezője számára
  - el kell fedni (mint pl. a hardware regisztereket, cache-t,...)
- Egy lehetséges eszköz a valóság modellezésére
- Egyszerűsítheti a tervezési munkát

Párhuzamos feldolgozás problémái

- Gyakran nehezebb kivitelezni, mint a soros feldolgozást
- törékeny (nem determinisztikus viselkedés)
- deadlock problémák léphetnek fel
- erőforrás allokációs problémák lehetnek
- nem egyszerű hibát keresni

Ezek valós tapasztalatok, de nem szükségszerűek!

Történelmi áttekintés

- Neumann korában felmerült az ötlet (Daniel Slotnick), de a csöves technológia nem tette ezt lehetővé.

Első szupergép:

- 1967-ben ILLIAC IV (256 proc, 200MFlop)
- Thinking Machines CM-1, CM-2 (1980)
- Cray-1

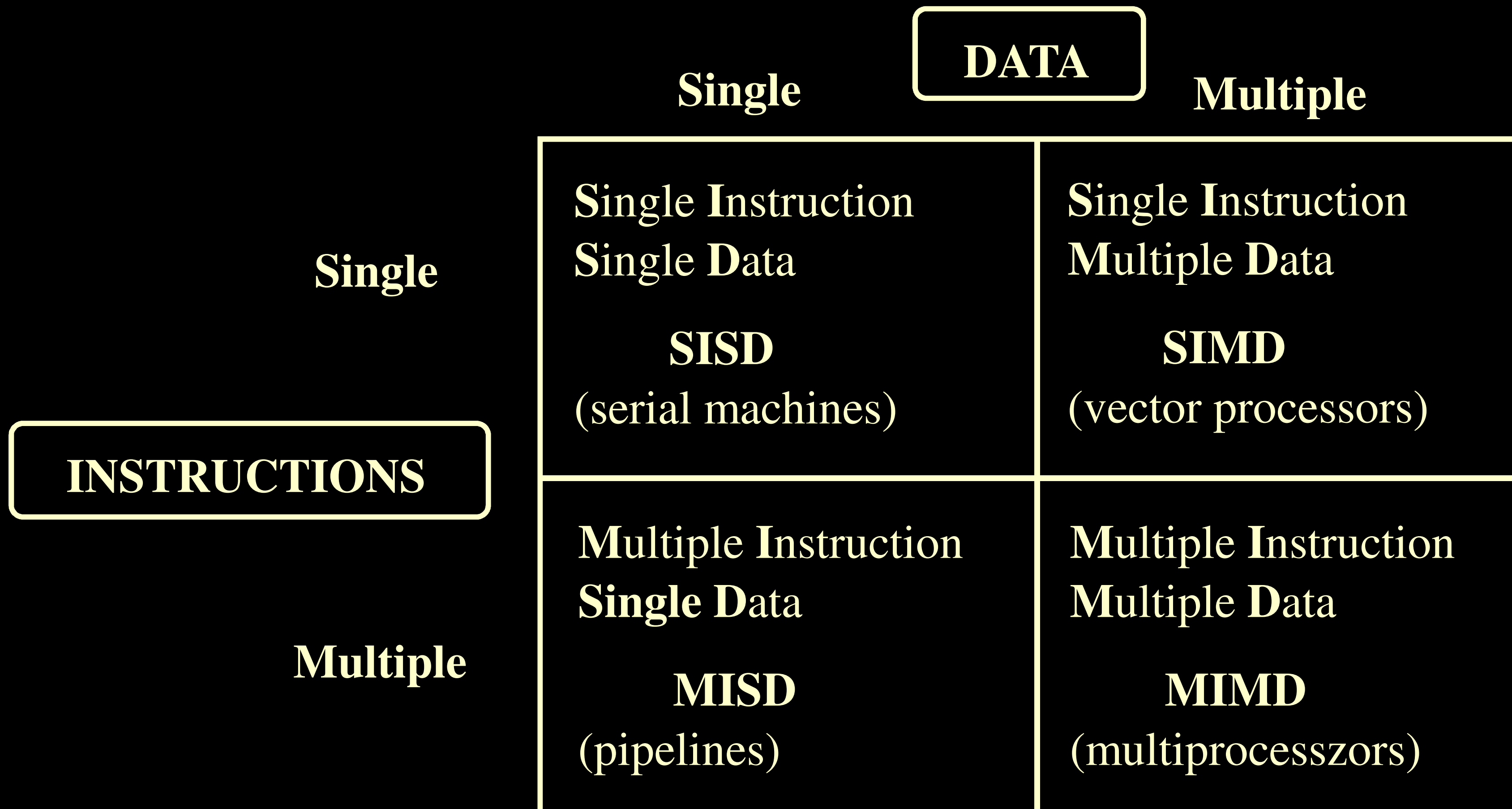
Jellemző szupersz.gép típusok

- Vektorprocesszoros rendszerek
  - Gyors műveletvégzés vektor jellegű adatokon
- Masszívan párhuzamos rendszerek (MPP)
  - Üzenetküldéses elosztott memóriás (MDM)
  - Szimmetrikus multiprocesszoros (SMP)
  - Elosztott közös memória (DSM)
- Elosztott számítási rendszerek
  - Homogén rendszerek
  - Heterogén rendszerek
- Metaszámítógépek és Grid redszerek

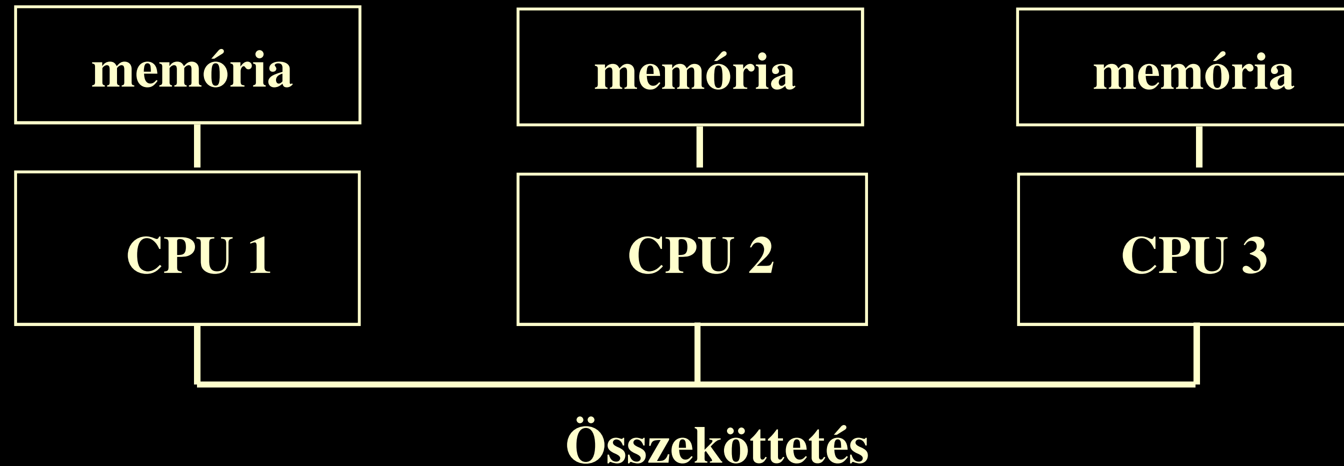
Párhuzamos gép modellje

- Több modell alakult ki.
- A legegyszerűbb a Flynn-féle modell, mely a Neumann modell kiterjesztésének tekinti a párhuzamos gépet.
- A másik gyakran alkalmazott modell az idealizált párhuzamos számítógép modell

Flynn-féle architektúra modell



Idealizált párhuzamos számítógép

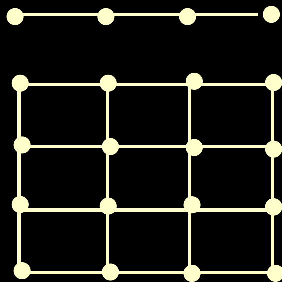


- Több processzor egyazon problémán dolgozik.
- Minden processzornak saját memóriája és címtartománya van.
- Üzenetekkel koordinálnak és adatokat is tudnak átadni.
- A lokális memória elérése gyorsabb.
- Az átviteli sebesség független a csatorna forgalmától.

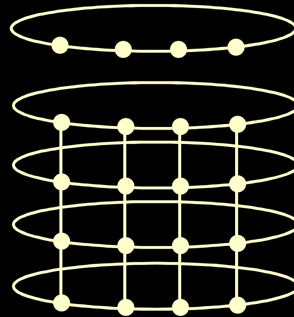
Architektúrák jellemzői

- Processzorok eloszlása
- Homogén vagy heterogén
- A kapcsolat késleltetése és sávszélessége
- Topológia

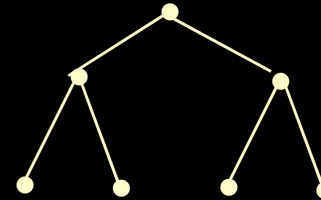
Hálók



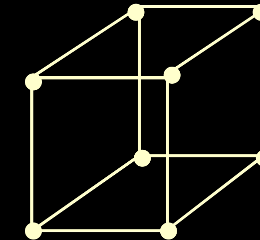
Gyűrűk



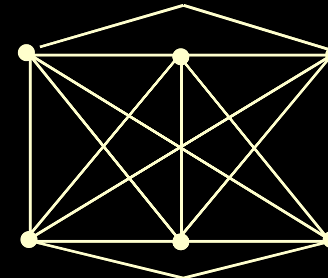
Fák



Hiperkockák



Teljesen összekötött



- Közös memóriás
- Elosztott közös memóriás
- Üzenet küldéses

Valójában egyik modell sem kötődik szorosan a tényleges architektúrához

Közös memória elv jellemzői

Közös memória használatának előnyei

- Egységes hozzáférés
- Egyszerűbb programozás
- A hw adottságaitól függően jó speed-up értékel érhetők el

Közös memória használatának hátrányai

- Memória-hozzáférés szűk keresztmetszetet jelenthet
- Nem jól skálázható
- Cache problémák megoldása külön hardvert igényel
- Nehéz nyomkövethetőség

Elosztott memória elv jellemzői

Elosztott memória használatának előnyei

- Skálázható
- Költségkímélő
- A redundancia növelésével növekedhet a megbizhatóság
- Speciális feldolgozó eszközökkel is együttműködik

Elosztott memória használatának hátrányai

- Kommunikáció igényes
- Nem minden algoritmus párhuzamosítható így
- A meglevő soros programokat és a közös memóriát használó alkalmazásokat át kell dolgozni
- Jó speed up értékeket nehéz elérni
- Nehéz nyomkövethetőség

Párhuzamos gépek osztályai

- Szimmetrikus multiprocesszoros (SMP)
  - sok azonos processzor közös memóriával
  - egy operációs rendszerrel
  - NUMA, ccNUMA
- Masszívan párhuzamos (MPP)
  - sok processzor gyors belső hálózattal
  - elosztott memória
  - sok példányban fut az operációs rendszer
- Klaszter
  - sok gép gyors hálózattal összekötve
  - elosztott memória
  - sok példányban esetleg heterogén operációs rendszer

Teljesítménymérés

Sebességnövekedés (Speed Up): **Sn = Ts/Tn**

ahol: Sn N processzorral elért sebességnövekedés
Ts futási idő soros végrehajtás esetén
Tn futási idő N processzor esetén

Hatékonyság (Efficiency): **En = Sn/N**

ahol: En N processzorral elért hatékonyság
Sn N processzorral elért sebességnövekedés
N processzorok száma

Rededundancia (Redundancy): **r = Cp/Cs**

ahol: r párhuzamos program redundanciája
Cp párhuzamos program műveleteinek száma
Cs soros program műveleteinek száma

Speed Up határa

Amdahl féle felső határ: **$Sa = 1/(s+(1-s)/N)$**

ahol: Sa N processzorral elértetô sebességnövekedés felsô határa

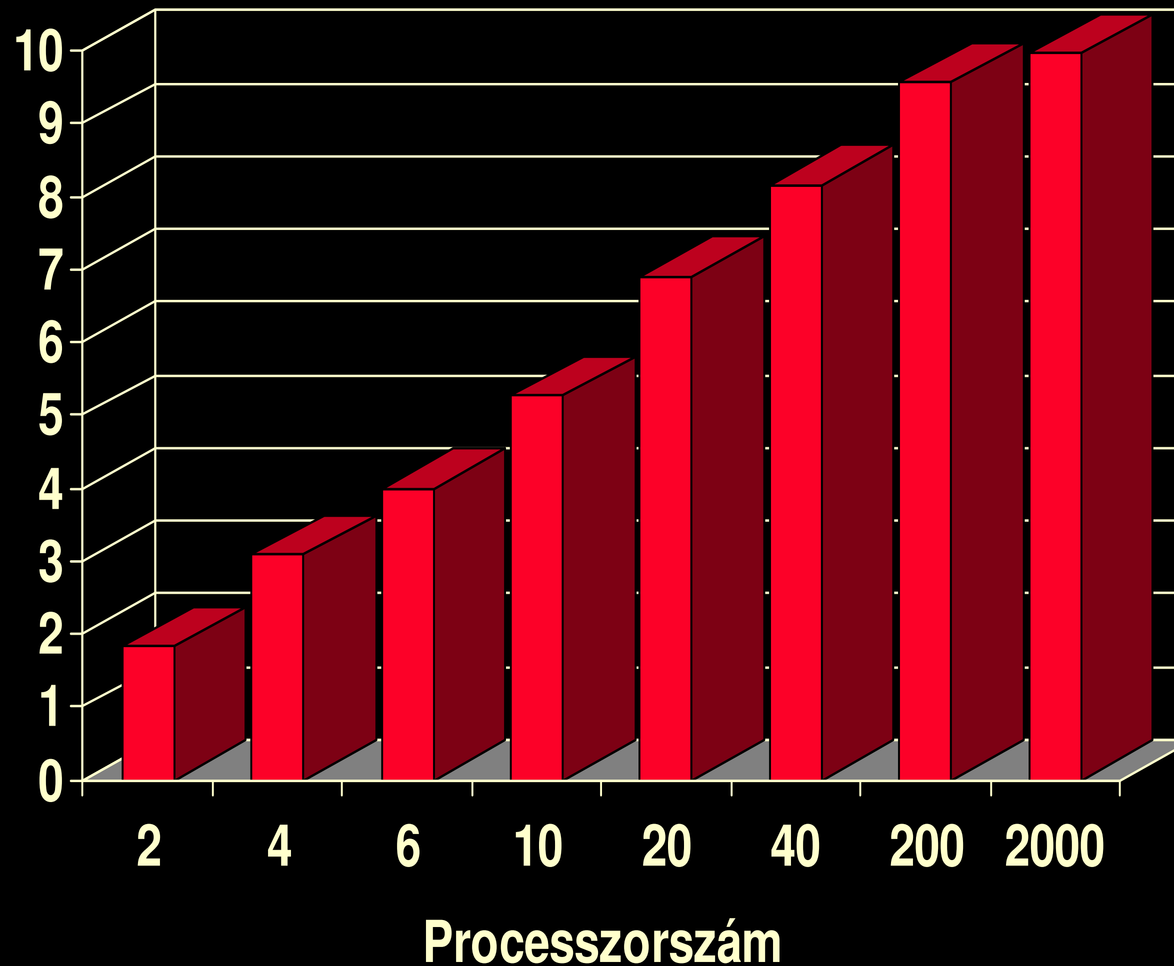
s a feladat nem párhuzamosítható része

N processzorok száma

Az (1-s)/N tagot elhagyva: **$Sa < 1/s$**

összefüggést kapjuk, ami egy felső korlátot ad. Ez azt jelenti, hogy pl. 10% nem párhuzamosítható rész mellet 1/0.1 = 10 adódik a speed up felső korlátjaként.

Nem gyorsítható korlátlanul



Programozási nyelvek

- Linda – közös memória modell, Tuple Space
  - out – kimásol egy adathalmazt a közös területre
  - in, inp – behoz egy adathalmazt (megszűnik)
  - rd, rdp – behoz egy adathalmazt
  - eval – végrehajt egy függvényt processzként

Egyszerű modell, de implementációs nehézségek vannak, főleg az üzenetküldéses architektúrákon.

Programozási nyelvek/2

- Express – elosztott memória modell

  160 C-ből és fortranból hívható rutin:
  - programindítás, leállítás
  - logikai kommunikációs topológia felépítése
  - programok közötti kommunikáció, szinkronizáció
  - fájlműveletek
  - grafikai műveletek
  - teljesítmény analízis, debug

Programozási nyelvek/3

- PVM – elosztott memória modell

  70 C-ből és fortranból hívható rutin:
  - programindítás, leállítás
  - programok közötti kommunikáció, szinkronizáció

Mire használják a PVM-et ?

- "Szegények" szuperkomputere

  a szabad CPU kapacitások összegyűjthetők a munkaállomásokról és a PC-ről

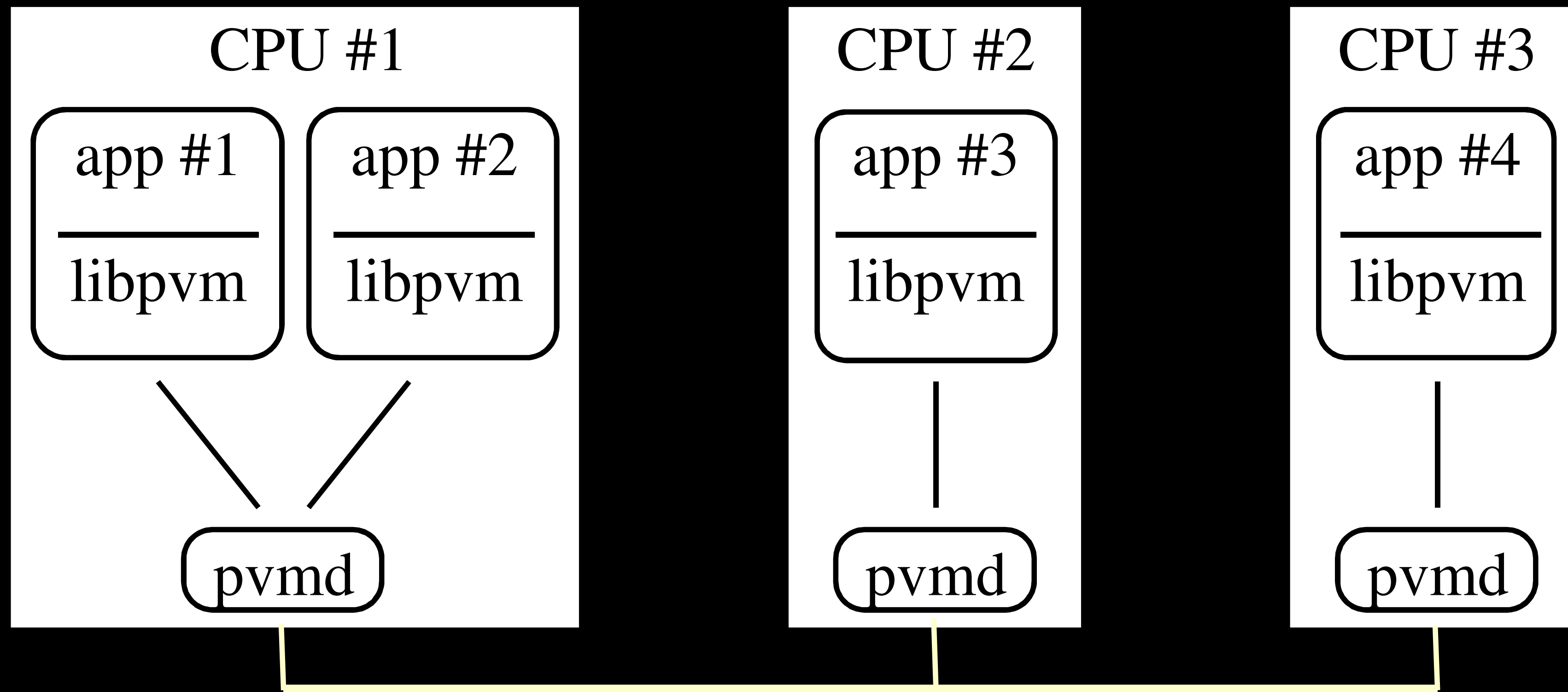
- Több szuperkomputer összekapcsolásával hihetetlen számítási kapacitás állítható elő
- Oktatási eszköz

  a párhuzamos programozás tanításához hatékony eszköz

- Kutatási eszköz

  skálázható és költségkímélő

PVM alapkoncepciója



app # → Az alkalmazás része

libpvm → Nyelvi interfész

pvmd → PVM daemon

libpvm

A libpvm által nyújtott funkciók a négy csoportra oszthatók:

- Adminisztratív funkciók

  Virtuális gép indítása, megállítása, álapotlekérdezés, új node felvétele

- Folyamatkezelő funkciók

  Folyamatok indítása, megállítása

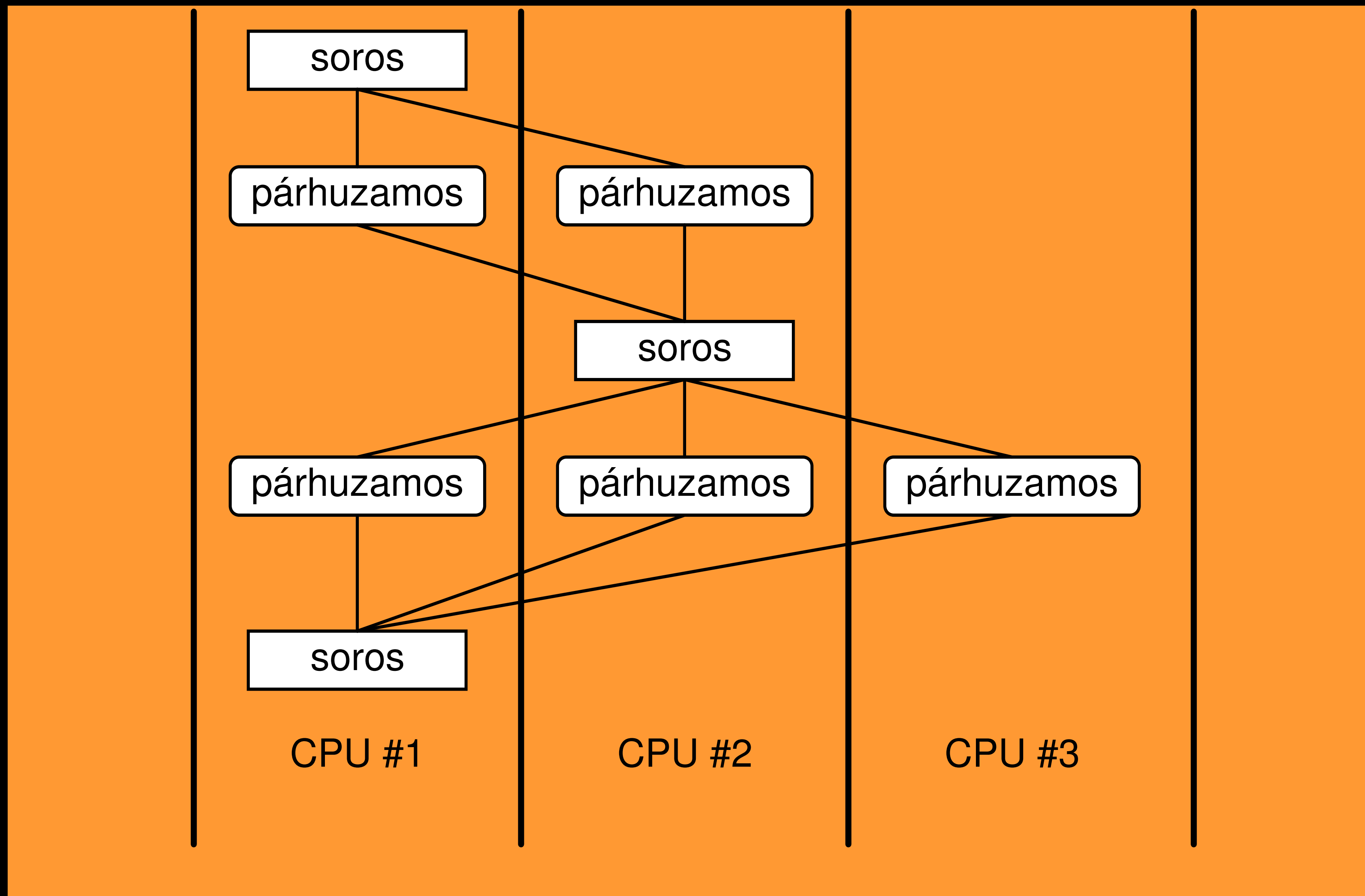
- Adatátviteli funkciók

  Üzenetek összeállítása, elküldése, vétele, szétcsomagolás

- Szinkronizációs funkciók

  Üzenetküldéssel, vagy barrier használatával

Párhuzamos program felépítése



Párhuzamosítási startégiák

Kényszerű

- A program soros változatát futtatjuk párhuzamosan különböző adatokkal.
- Csak akkor kielégítő módszer, ha a soros változat elviselhető futási idejű.

Ciklusok párhuzamosítása

- Akkor alkalmazható, ha az egyes iterációk függetlenek egymástól

Felosztó párhuzamosítás (master / slave)

- Egy felügyelő taszk fut az egyik node-on
- Akkor alkalmazható, ha a felügyelő program feladatai egyszerűbbek mint a többi taszk feladatai.
- Ha a taszkok függetlenek egymástól, akkor jól skálázható a taszkok számának változtatásával.

Párhuzamosítási startégiák /2

Egymást követő

- Minden node a következő node-nak adja tovább a részben feldolgozott adatot.
- Akkor használható, ha a soros része a feldolgozásnak lényegesen rövidebb, mint a párhuzamos rész.
- Rendszerint minden node azonos kódot futtat.
- Különösen alkalmas a gyűrű topológiához.

Régiók párhuzamosítása

- Az adatfüggőség régiókba lokalizálható.
- Akkor használható, soros végrehajtási idő nagyobb mint a párhuzamos.
- Rendszerint nagy kommunikációigényű.
- Legbonyolultabb.

Párhuzamosítási példa

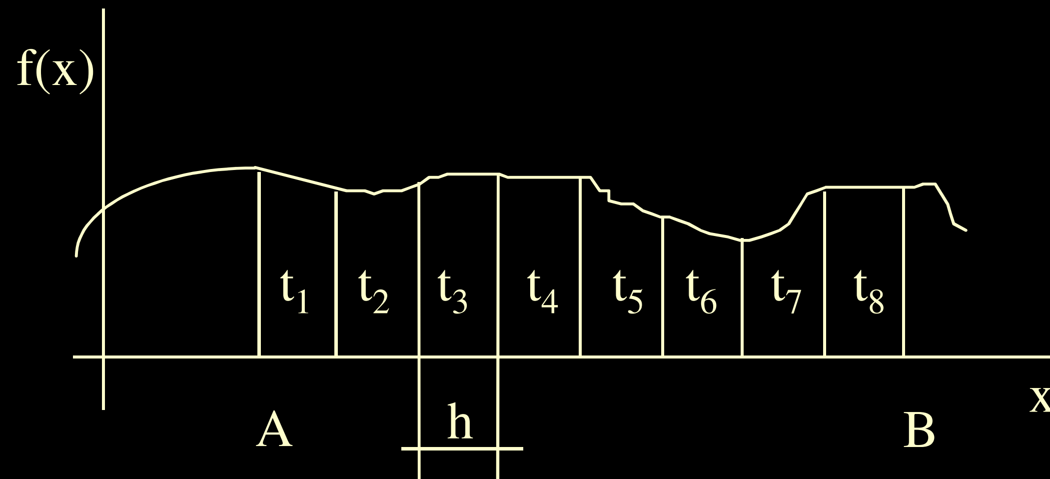
Számítsuk ki az

$$\int_A^B f(x)\,dx$$

integrál értékét egyszerű numerikus közelítéssel (téglány összegek)!

$$\int_A^B f(x)\,dx = h \cdot \sum_{i=1}^{N} f\left(A - \frac{h}{2} + i \cdot h\right) \qquad \text{ahol } h = \frac{B-A}{N}$$

N=8 esetén pl:



Az egyes téglányok számítása egymástól függetlenül, párhuzamosan is elvégezhető.

Párhuzamosítási példa

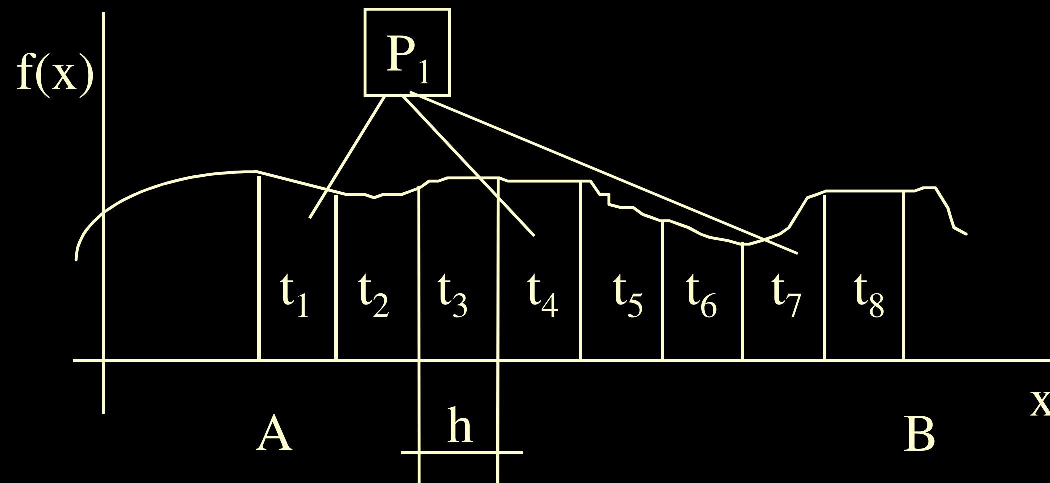
Számítsuk ki az

$$\int_A^B f(x)\,dx$$

integrál értékét egyszerű numerikus közelítéssel (téglány összegek)!

$$\int_A^B f(x)\,dx = h \cdot \sum_{i=1}^{N} f\left(A - \frac{h}{2} + i \cdot h\right) \qquad \text{ahol } h = \frac{B-A}{N}$$

N=8 esetén pl:



Az egyes téglányok számítása egymástól függetlenül, párhuzamosan is elvégezhető. Pl. minden task csak minden M-edik téglányt számol ki, majd az összegezzük az eredményeket.

Párhuzamosítási példa

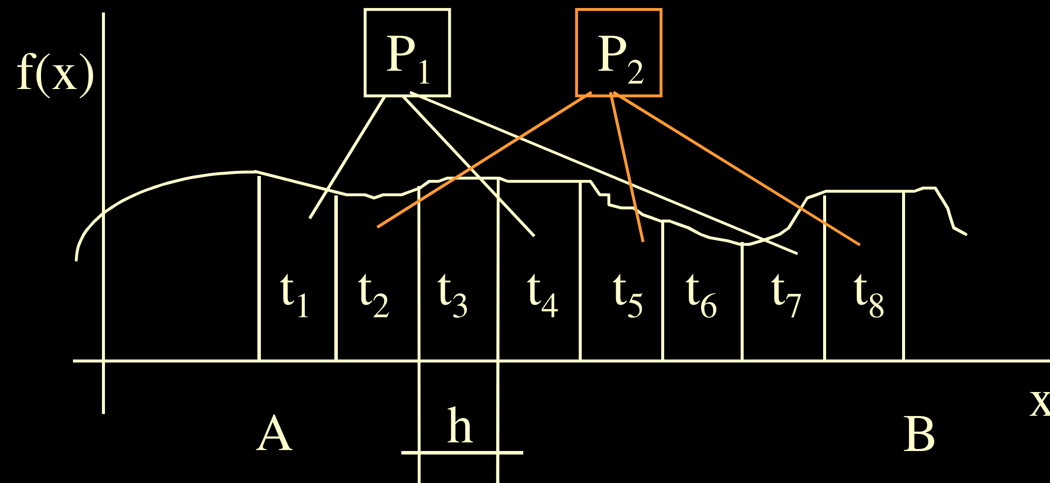
Számítsuk ki az

$$\int_A^B f(x)\,dx$$

integrál értékét egyszerű numerikus közelítéssel (téglány összegek)!

$$\int_A^B f(x)dx = h \cdot \sum_{i=1}^{N} f(A - \frac{h}{2} + i \cdot h) \qquad \text{ahol } h = \frac{B-A}{N}$$

N=8 esetén pl:



Az egyes téglányok számítása egymástól függetlenül, párhuzamosan is elvégezhető. Pl. minden task csak minden M-edik téglányt számol ki, majd az összegezzük az eredményeket.

Párhuzamosítási példa

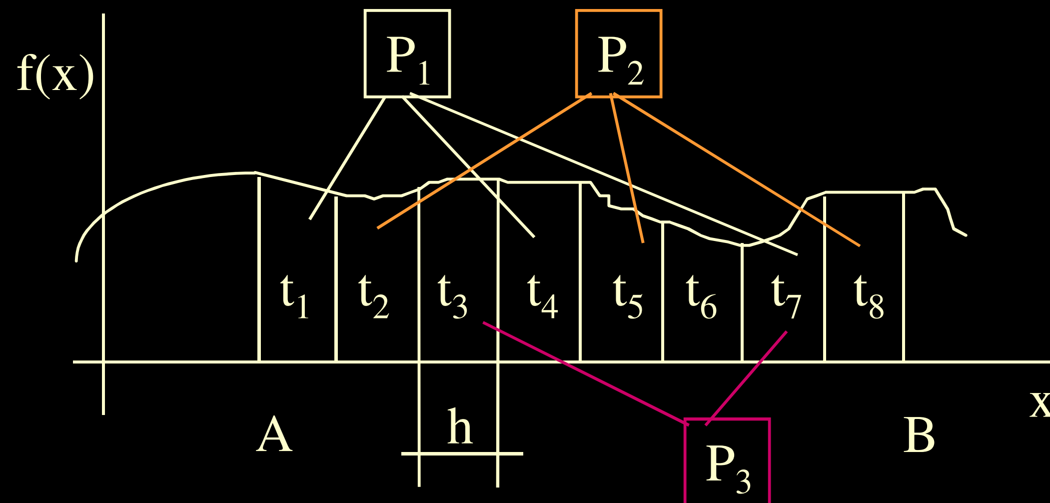
Számítsuk ki az

$$\int_A^B f(x)\,dx$$

integrál értékét egyszerű numerikus közelítéssel (téglány összegek)!

$$\int_A^B f(x)dx = h \cdot \sum_{i=1}^{N} f(A - \frac{h}{2} + i \cdot h) \qquad \text{ahol } h = \frac{B-A}{N}$$

N=8 esetén pl:

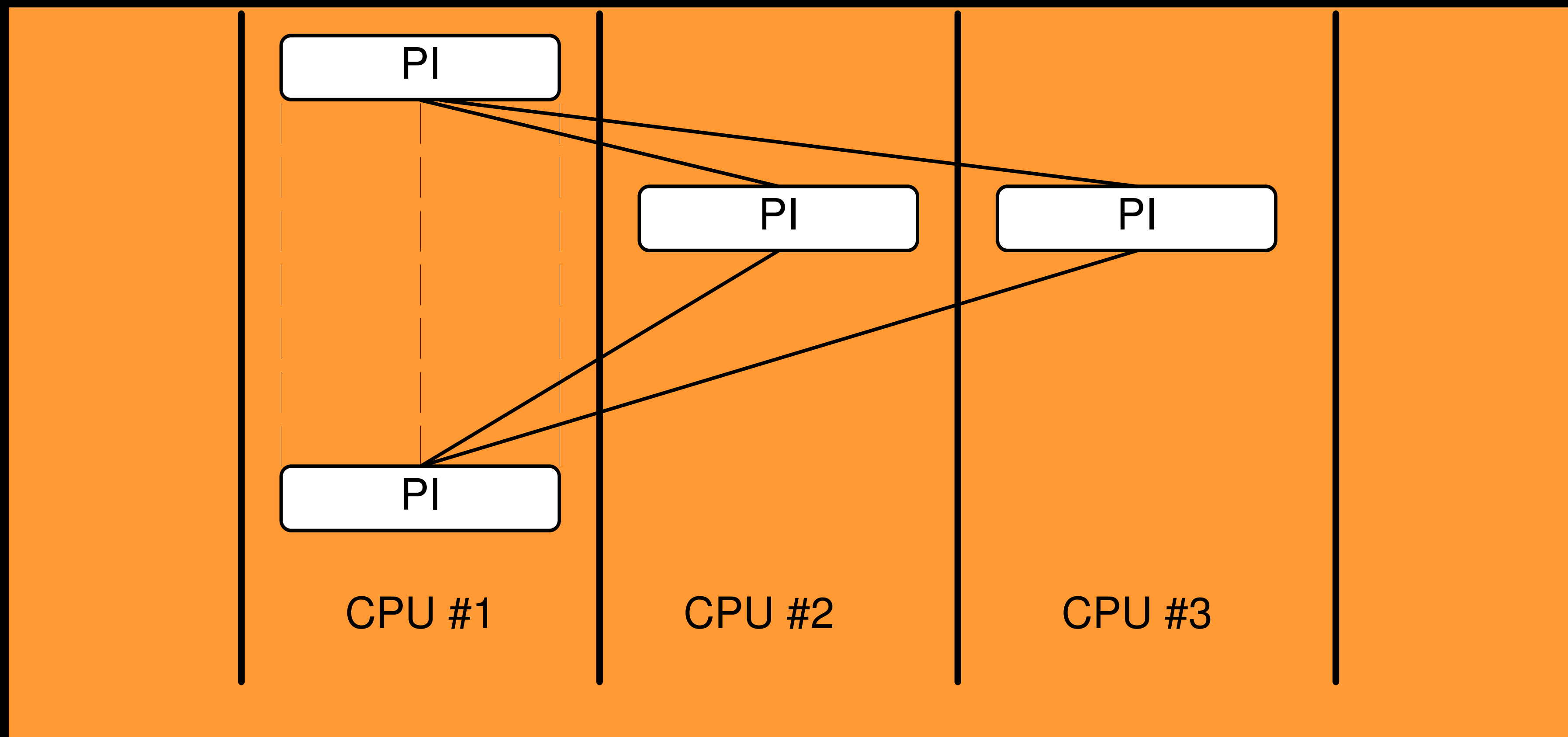


Az egyes téglányok számítása egymástól függetlenül, párhuzamosan is elvégezhető. Pl. minden task csak minden M-edik téglányt számol ki, majd az összegezzük az eredményeket.

Egy példa

Számítsuk ki PI értékét a $\int_0^1 \frac{4}{1+x^2}\,dx$ integrál numerikus integrálásával!

A fenti módszert alkalmazva SPMD programot írunk. A program első példánya bekéri a lépésközt és elindítja a többi példányt. Az egyes példányok csak minden M-edik téglányt számítanak, majd az eredményeket elküldik az indító taszk-nak.



pi.c program

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include "pvm3.h"                /* PVM 3 include file */

#define f(x) ((float)(4.0/(1.0+x*x)))
#define PI ((float)(4.0*atan(1.0))) /* csak az ellenorzeshez */
#define MAXPROCS        32       /* node programok max szama */
#define TAG_N           111      /* N uzenettipus */
#define TAG_SUM         222      /* SUM uzenettipus */
#define TAG_TIDS        333      /* TIDS uzenettipus */
/*
 * Az elso peldany belep a PVM-be es elinditja
 * sajat magat nproc peldanyban.
*/
void  startup(int *pmynum, int *pnprocs, int tids[])
{
 int  i, mynum, nprocs, mytid, numt, parent_tid;

 mytid = pvm_mytid();
 if (mytid < 0) {
  printf("sikertelen mytid\n"); exit(0);
 }
```

pi.c program /2

```
parent_tid = pvm_parent();
if (parent_tid  ==  PvmNoParent) {  /* ez az elso peldany */
 mynum = 0; tids[0] = mytid;
 printf ("Hany node peldany(1-%d)?\n", MAXPROCS);
 scanf("%d", nprocs);
 numt = pvm_spawn("pi", NULL, PvmTaskDefault, "", nprocs, &tids[1]);
 if (numt  !=  nprocs) {
  printf ("Hibas taszk inditas numt= %d\n",numt); exit(0);
 }
 *pnprocs = nprocs;                    /* node peldanyok szama */
 pvm_initsend(PvmDataDefault);         /* tid info az mindenkinek */
 pvm_pkint(&nprocs, 1, 1);
 pvm_pkint(tids, nprocs+1, 1);
 pvm_mcast(&tids[1], nprocs, TAG_TIDS);
} else {                               /* ez nem elso peldany */
 pvm_recv(parent_tid, TAG_TIDS);
 pvm_upkint(&nprocs, 1, 1);
 pvm_upkint(tids, nprocs+1, 1);
 for (i = 1; i  <=  nprocs; i++)
  if (mytid  ==  tids[i]) mynum=i;
}
*pmynum = mynum;
}
```

pi.c program /3

```
/*
 * N ertek eloallitasa. (Az elso peldany bekeri).
*/
void solicit(int *pN, int *pnprocs, int mynum, int tids[])
{
 if (mynum == 0) {            /* ez az elso taszk */
  printf("Kozelites lepesszama:(0 = vege)\n");
  if (scanf("%d", pN) != 1) *pN = 0;
  pvm_initsend(PvmDataDefault);
  pvm_pkint(pN,1,1);
  pvm_pkint(pnprocs,1,1);
  pvm_mcast(&tids[1], *pnprocs, TAG_N);
 } else {                     /* egyebkent a fonok node kuldi */
  pvm_recv(tids[0], TAG_N);
  pvm_upkint(pN, 1, 1);
  pvm_upkint(pnprocs, 1, 1);
 }
}
```

pi.c program /4

```
main()
{
 float sum, w, x;
 int   i, N, M, mynum, nprocs, tids[MAXPROCS+1];

 startup(&mynum, &nprocs, tids);
 for (;;) {
  solicit (&N, &nprocs, mynum, tids);
  if (N <= 0) {
   printf("A %d. peldany kilep a virtualis gepbol\n", mynum);
   pvm_exit(); exit(0);
  }
 }
/*
 * Szamitas. M=nprocs+1 peldany van, igy csak minden M.
 * teglanyt szamolja egy processz. */
 M = nprocs+1;
 w = 1.0/(float)N;
 sum = 0.0;
 for (i = mynum+1; i <= N; i += M)
   sum = sum + f(((float)i-0.5)*w);
 sum = sum * w;
```

pi.c program /4

```
 /* Eredmenyek feldolgozasa */
 if (mynum  ==  0) {               /* ha ez az elso peldany */
  printf ("Elso peldany szamitasa x = %7.5f\n", sum);
  for (i = 1; i <= nprocs; i++) {
   pvm_recv(-1, TAG_SUM);
   pvm_upkfloat(&x, 1, 1);
   printf ("Elso peldany x = %7.5f erteket kapott\n", x);
   sum = sum+x;
  }
  printf("sum=%12.8f\terr=%10e\n", sum, sum-PI);
  flush(stdout);
 } else {        /* tovabbi peldanyok elkuldik az eredmenyt. */
  pvm_initsend(PvmDataDefault);
  pvm_pkfloat(&sum, 1, 1);
  pvm_send(tids[0], TAG_SUM);
  printf("A %d. elkuldte a reszosszeget: %7.2f \n", mynum, sum);
  fflush(stdout);
 }
}
}
```

Message Passing Interface (MPI)

- Alapvetően más célokkal fejlődött ki:
  - szabványos, a gyártók által elfogadott, speciális hw. környezetet is támogató fejl. környezet.
  - hosszú nyűgös fejlődés
  - kezdetben csak statikus processzkezelés
  - nem igényli a virtuális gép előzetes felépítését, mert a teljes kommunikációs séma az alkalmazáshoz szerkesztődik.
  - Ezzel szemben a PVM op.r. funkciókat nyújt. viszonylag gyorsan fejlesztették.

Cluster koncepció

- Gyors hálózattal összekapcsolt gépek
- Gyakran közös fájlrendszer
- CPU vagy tárolási kapacitás növelése
- Paraméter study, vagy párhuzamos alkalmazások