

Paralelné programovanie

Róbert Špir

Výpočtovo náročné úlohy

- CFD – computational fluid dynamics, modely turbulencií, modely šírenia požiarov
- modelovanie globálnych zmien počasia
- supravodivosť, jadrové a termojadrové reakcie
- biológia, spracovanie genómov, tzv. protein folding
- chémia, modelovanie chemických väzieb
- medicína, spracovanie medicínskych dát
- správa veľkých databáz
- obsluha veľkého počtu transakcií
- ...

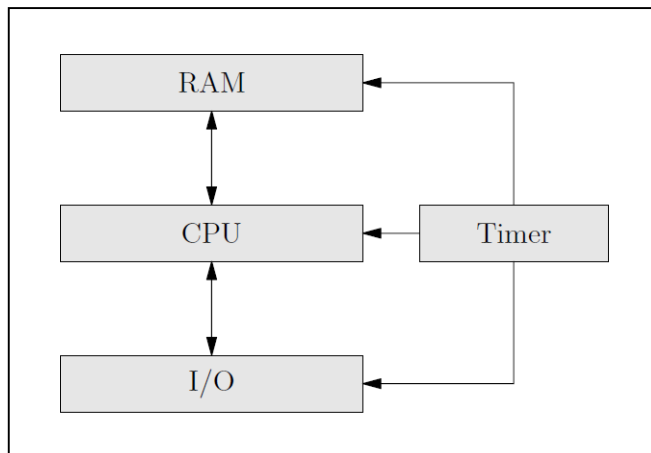
⇒ snaha zefektívniť **časovo/pamäťovo náročné výpočty**

⇒ využitie paralelných počítačov (súbežné vykonanie elementárnych úkonov)

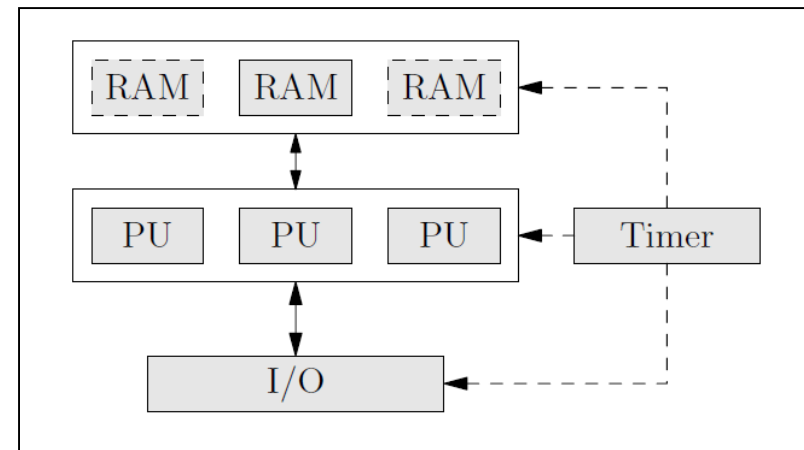
Architektúra paralelných počítačov

Sekvenčné počítače:

(Von Neumannova architektúra)



Paralelné počítače:



Definícia: paralelná architektúra je taká, ktorá obsahuje viac jednotiek na spracovanie dát (PU)

Architektúra paralelných počítačov

Príklady paralelných architektúr:

- **Processors Arrays**
- **Multiprocesory** (spoločné adresové pole)
 - nesymetrické multiprocesory
 - symetrické multiprocesory
- **Klaster** (nemá spoločné adresové pole)
- **Grid**
 - niekoľko uzlov (aj bežné PC)
- **GPU** – graphical processing unit
 - 100-3000 PU (nVidia, AMD)

Multiprocesorové architektúry

Zloženie:

- niekoľko plnohodnotných procesorov
- zdieľané pamäte (rovnaké adresy u dvoch rôznych CPU ukazujú na rovnaké miesto v pamäti)
- nezdieľané pamäte (nezávislý adresový priestor u rôznych CPU)

Delenie:

- podľa typu pamäte (zdieľaná alebo distribuovaná)
- podľa „zdieľateľnosti“ adresového priestoru

Table 1. Categorization of Parallel Architectures

	Shared Address Space	Individual Address Space
Centralized memory	SMP (Symmetric Multiprocessor)	N/A
Distributed memory	NUMA (Non-Uniform Memory Access)	MPP (Massively Parallel Processors)

Klaster – SAV

- ▶ Príklad: klaster na SAV (slovenská akadémia vied)

IBM Power 775

– Konfigurácia: 1 stojan, 12 políc, 98 uzlov, 3072 jadier

92 výpočtových uzlov

– 32 jadier na uzol

– Pamäť: 256 GB na výpočtový uzol

– Celková pamäť 24 TB

– Úložný priestor 600 TB

Cena: 13 miliónov eur



Klaster – SAV

- ▶ Dostupný pre vedcov na celom Slovensku
 - Vysoký výkon
 - Dostupné veľké objemy pamäte
 - Dlhé čakacie doby
 - Malá kontrola behu a spúšťania programov
 - Obmedzená softvérová výbava

Klaster – KMaDG

▶ Klaster na katedre matematiky SvF STU:

AMD Opteron, OS Linux

– Konfigurácia: 6 uzlov, 160 jadier

– 32 jadier na uzol – 4 uzly

– 16 jadier na uzol – 4 uzly

– Pamäť: 8 GB na jadro

– výpočtové uzly s 256 a 128 GB

– Celková pamäť 1.28 TB

– Úložný priestor 40 TB

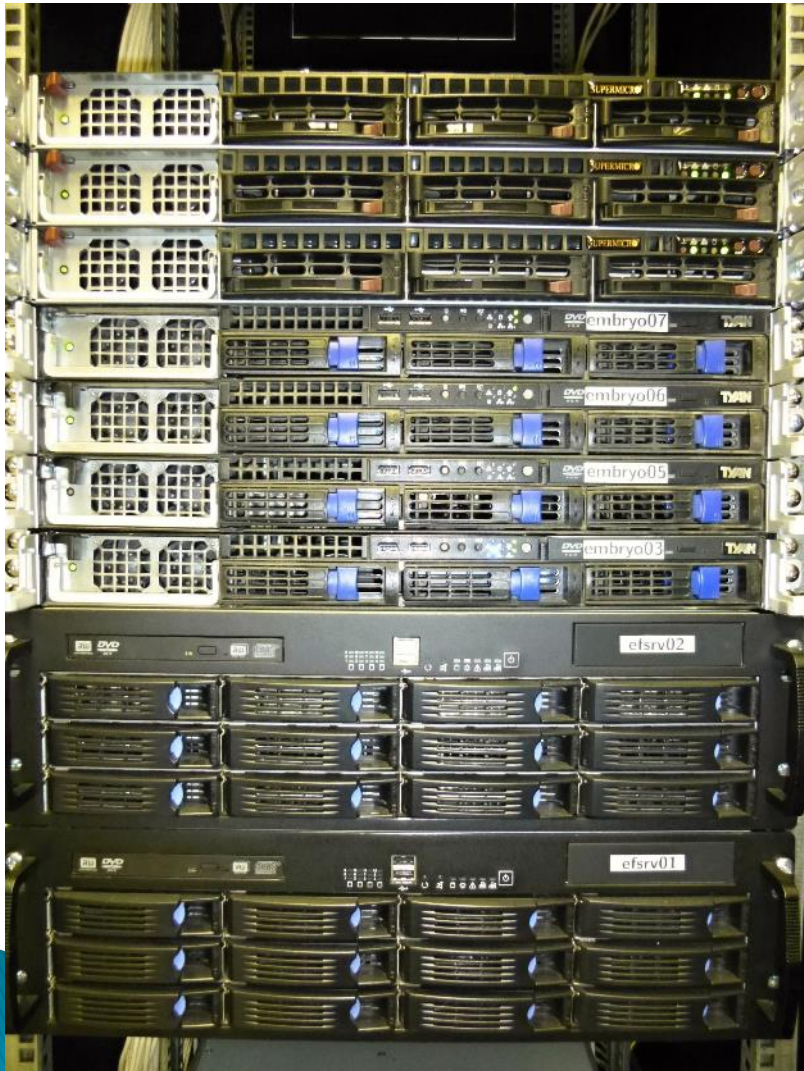
Cena: cca 50000 eur



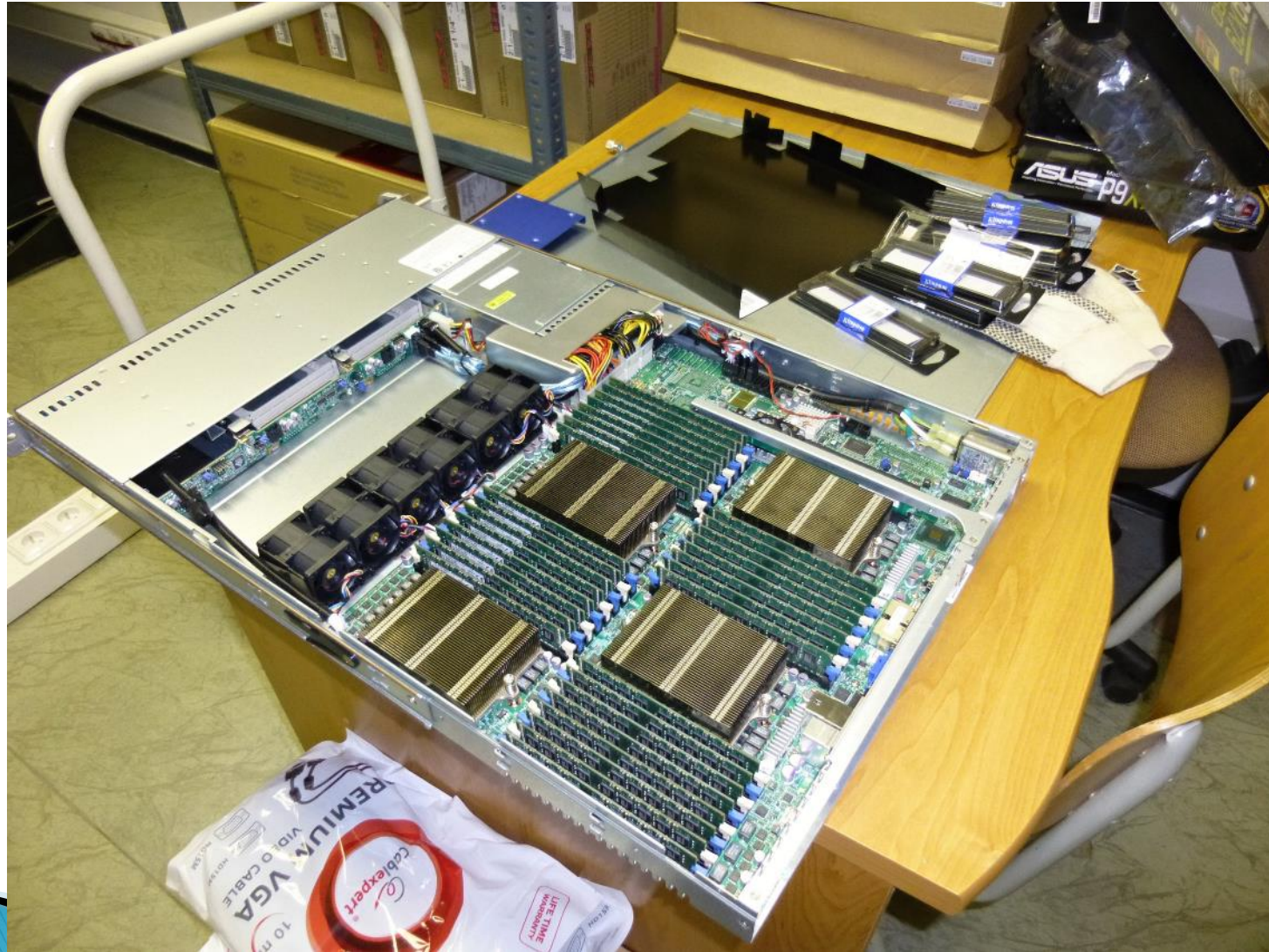
Klaster – KMaDG

- ▶ Vyhradený iba pre potreby katedry
 - Možnosť využitia aj študentami MPM pri bakalárskych, diplomových prácach...
 - Žiadne čakacie doby (v rámci dohody kto a kedy bude počítať na katedre 😊)
 - Plná kontrola behu a spúšťania programov
 - Možnosť doinštalovania rôznych softvérov podľa potreby a požiadaviek

Klaster – KMaDG



Klaster – KMaDG



GPU computing

- výpočty na grafických kartách \Rightarrow výrazné zrýchlenie (aj 10-20-krát)
- hrubý výkon jedného výpočtového modulu Nvidia Tesla K40
 - 5364 Gflops
- obmedzenie na pamäť (12 GB)

- hrubý výkon jedného procesora Intel Core i7-4770K
 - 474 Gflops

CUDA (Compute Unified Device Architecture)

- a parallel computing architecture developed by [NVIDIA](#)

OpenCL (Open Computing Language)

- otvorený multiplatformový štandard

DirectCompute

- API vytvorené spoločnosťou [Microsoft](#)

Modely paralelného programovania

Cieľ paralelného programovania:

- využiť dostupné procesory a znížiť výpočtový čas
- distribuovať výpočty na rozsiahlych dátach na viacero pamäťových uzlov

Rôzne druhy architektúr \Rightarrow rôzne modely paralelného programovania:

- a) SMP Based
- b) MPP Based on Uniprocessor Nodes (Simple MPP)
- c) MPP Based on SMP Nodes (Hybrid MPP)
 - Multiple Single-Thread Processes pre Node
 - One Multi-Thread Process per Node

Modely paralelného programovania

- ▶ „multi-threaded“ programy sú najvhodnejšie pre SMP architektúru
 - Jednotlivé vlákna zdieľajú svoje, nie je potrebná špeciálna komunikácia medzi nimi
 - OpenMP
- ▶ Ak adresový priestor nie je zdieľaný medzi uzlami
 - potreba prenosu dát cez prepojovaciu sieť
 - message-passing
 - MPI – message-passing interface
 - Rozhranie pre komunikáciu medzi procesmi a uzlami

OpenMP (Open Multi-Processing)

OpenMP – implicitná paralelizácia

- Fork-Join model
- Zdieľaný adresný priestor medzi jednotlivými vláknami
- Programovanie pomocou direktív kompilátora
- Je súčasťou štandardu programovacieho jazyka
- Nutná podpora kompilátora – iba C/C++ a Fortran

```
#pragma omp parallel for private(j,k)
for (i=0;i<=idim+1;i++)
  for (j=0;j<=jdim+1;j++)
    for (k=0;k<=kdim+1;k++)...
```

MPI – Message–Passing Interface

MPI is „message-passing library interface specification“ ⇒

- je to špecifikácia, nie implementácia
- nie je to programovací jazyk
- všetky MPI operácie sú vyjadrené ako funkcie, „subroutines“ alebo metódy pre daný programovací jazyk (C, C++, Fortran, Java, C#, Python...) ⇒ tvoria „**MPI standard**“ pre komunikáciu v systémoch s distribuovanou pamäťou

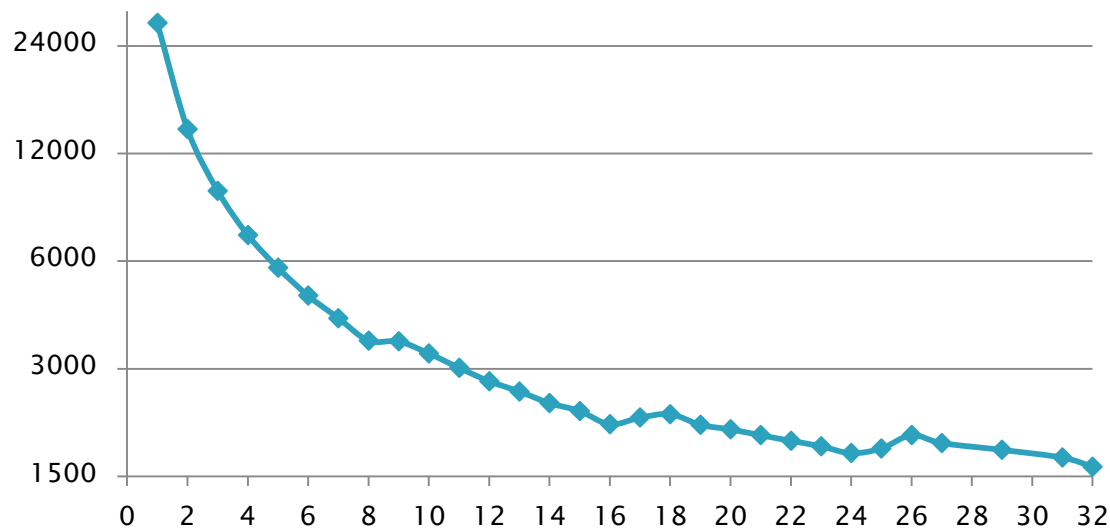
Ciel' MPI: vývoj všeobecného štandardu na písanie „message-passing“ programov

Historický vývoj:

- **80s** – viac nezávislých skupín vyvíja vlastné spôsoby komunikácie ⇒ snaha zjednotiť
- **1992:** asi 40 organizácií (najmä IBM Watson Research Center, Intel's NX/2, Express, nCUBE's Vertex a PARMACS) začína spolupracovať na prvej verzii štandardu, tzv. verzii **MPI-1.0**
- **1993:** založenie „**MPI Forum**“ (www.mpi-forum.org)
- postupné korigovanie a dopĺňanie MPI štandardu ⇒ rôzne verzie
- posledná verzia z novembra 2012: **MPI-3.0**

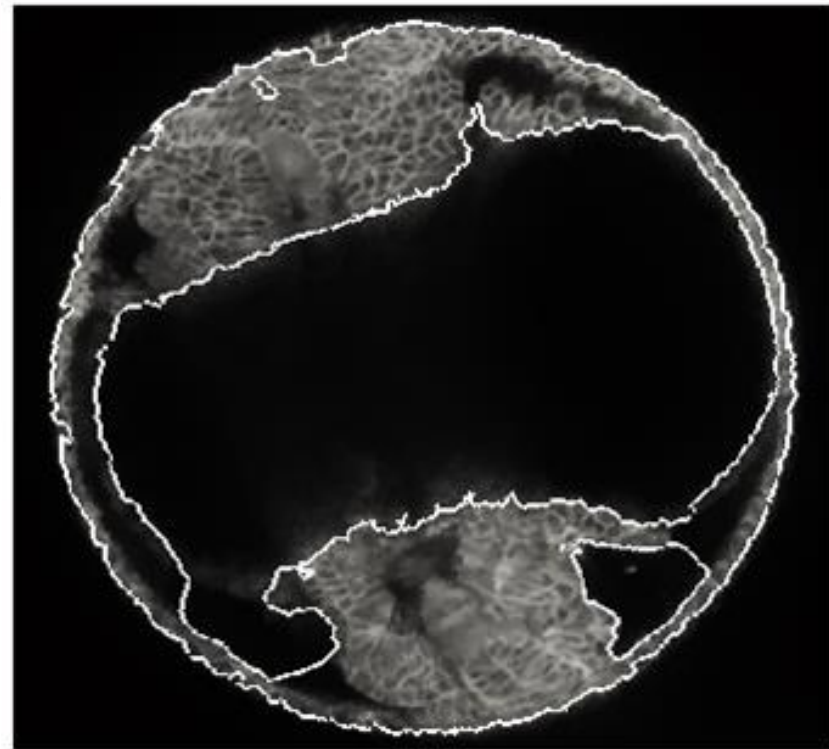
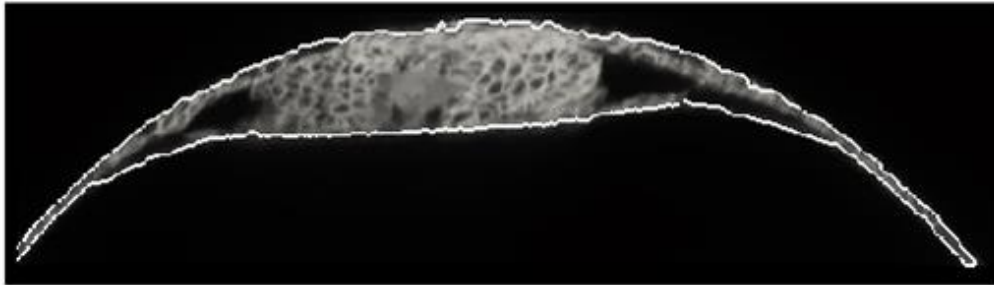
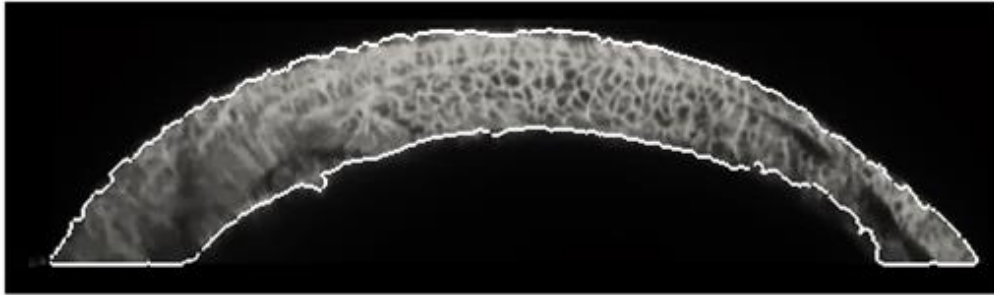
Paralelné výpočty

- ▶ Porovnanie zrýchlenia paralelného výpočtu
 - Paralelná segmentácia medicínskych dát



Počet procesov	1	2	4	8	16	32
Čas výpočtu [s]	27802	14036	7099	3596	2098	1597
Faktor zrýchlenia	-	1,98	3,91	7,73	13,25	17,41

Paralelné výpočty



Paralelné výpočty

- ▶ Porovnanie zrýchlenia paralelného výpočtu
 - Paralelný výpočet funkcie vzdialenosti v 4D priestore

Počet procesov	1	2	4	8	16	32
Čas výpočtu [s]	752	324	143	73	43	32
Faktor zrýchlenia	-	2,32	5,26	10,30	17,49	23,50

Paralelné výpočty

- ▶ Ďalšie paralelné výpočty na katedre:
 - Geodetické aplikácie
 - Výpočet geodetických veličín na zemskom povrchu
 - Modelovanie geoidu
 - Filtrácia geodetických dát
 - Medicínske aplikácie
 - Filtrácia a segmentácia medicínskych dát
 - Automatická detekcia bunkových centier v mikroskopických snímkach organizmov
 - Sledovanie pohybu a delenia buniek pri vývoji organizmov
 - Výpočet funkcie vzdialenosti medzi jednotlivými bunkovými centrami
 - Ostatné aplikácie
 - Modelovanie šírenia požiarov
 - Spracovanie obrazu
 - Vývoj geometrických plôch

Vizualizácia

- ▶ Vizualizácia dát a výsledkov našich výpočtov

Ďakujem za pozornosť