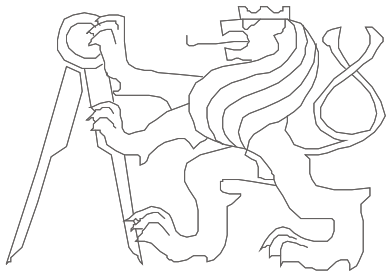
Pokročilé architektury počítačů

03

Programování paralelních systémů – Část II.

OpenMP a MPI



České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická

Přehled: OpenMP vs. MPI

OpenMP
(Open Multi-Processing)

- jenom pro SMS
- jednoduchá paralelizace (pomocí direktiv)
- implicitní komunikace

MPI
(Message Passing Interface)

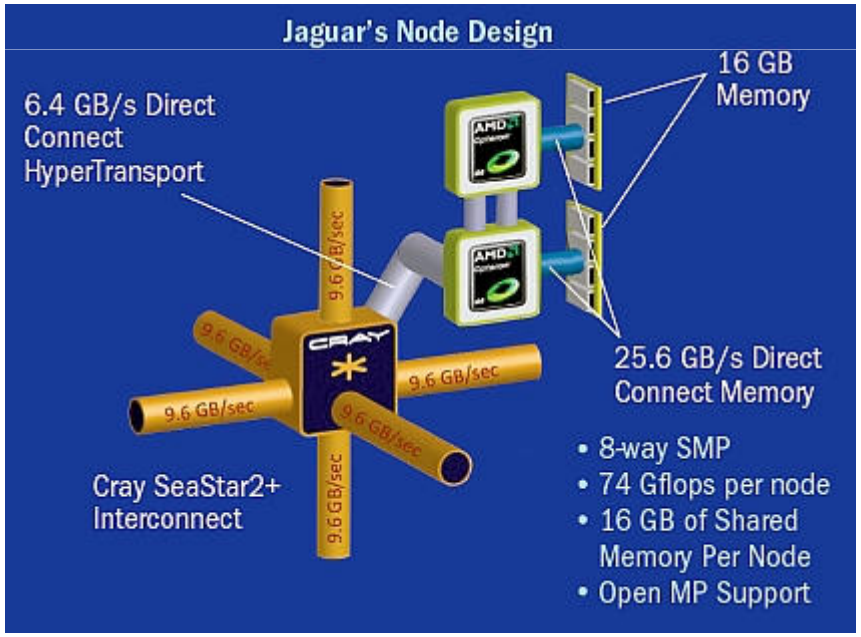
- jak pro SMS tak DMS
- náročné pro programátora (paralelizace, debugging)
- explicitní komunikace

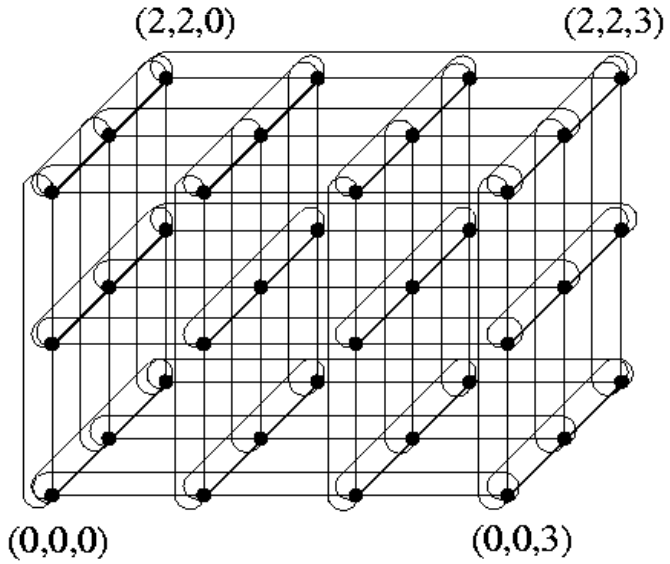
Hybridní přístup: OpenMP + MPI

- současný softwarový trend v paralelním počítání
- MPI napříč uzly clusteru, OpenMP uvnitř uzlu (efektivní využití prostředků; potlačení komunikačního přetížení uvnitř uzlu; dynamické vyvažování zátěže)
- je možné dosáhnout lepší speedup než při použití jenom OpenMP nebo jenom MPI

MPP – Cray XT5-HE

- ≈ 37 000 výpočetních uzlů (224 162 VE celkem), servisné uzly pro I/O
- Jeden uzel – dva 6-jádrové procesory – oba přístup do sdílené paměti
- Každý uzel – 25.6 GB/s do lokální paměti (XT6: 85.3 GB/sec), 6.4GB/s do sítě,
- Uzly jsou pospojovány do 3D toroidu
- 12 OpenMP nebo MPI úloh v uzlu, MPI mezi uzly

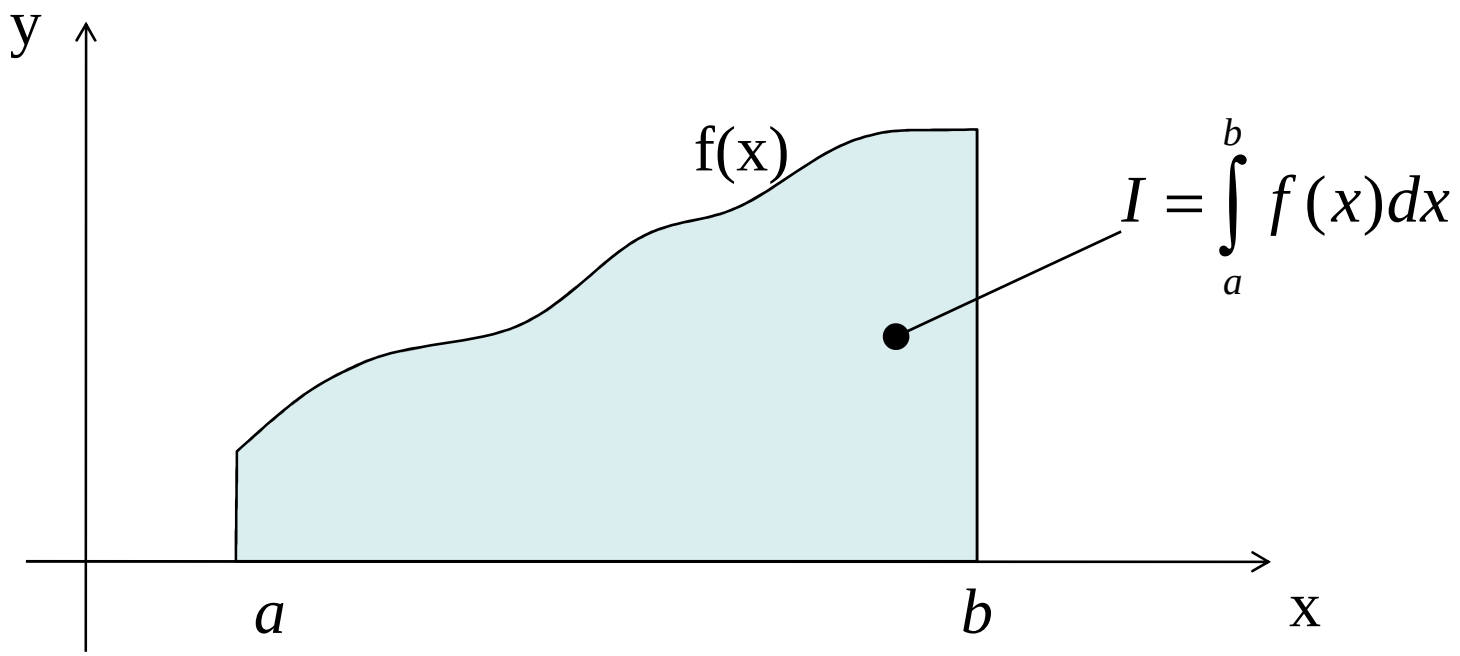




Cluster

- poskytuje výpočetní výkon spojením vícero počítačů (obvykle střední cenové kategorie)
- patří sem 85 % systémů z dnes 500 nejvýkonnějších
- výhodou je nižší cena, dobrá škálovatelnost

Příklad – výpočet určitého integrálu



Příklad – výpočet určitého integrálu

```
#include <stdio.h>


double integral(double a, double b, double (*f)(double), unsigned long int N)
{
  double sum=0, dx=(b-a)/N, x=a+dx;
  long int i;

  for(i=1; i<N; i++ )
              sum += f(x+i*dx);
  sum += (f(a)+f(b))/2;
  return sum*dx;
}

double polynom(double x)  { return 2*x+1; }

void main()  {
              long int N=5e8;
              double res, a=4, b=5;
              res = integral(a,  b,  polynom,  N);
              printf("I = %lf ",res);
}
```

Příklad – výpočet určitého integrálu

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

double integral(double a, double b, double (*f)(double), unsigned long int N)
{
  double sum=0, dx=(b-a)/N, x=a+dx;
  long int i;
#pragma omp parallel for shared(x,N,dx,f) private(i) reduction(+:sum)
  for(i=1; i<N; i++ )
              sum += f(x+i*dx);
  sum += (f(a)+f(b))/2;
  return sum*dx;
}

double polynom(double x)  { return 2*x+1; }

void main()  {
              long int N=5e8;
              double res, a=4, b=5;
              res = integral(a,  b,  polynom,  N);
              printf("I = %lf ",res);
}
```

Speedup: 1,85 !!!

OpenMP - přehled

- vše začíná: **#pragma omp directive [clause list]**
- program běží sekvenčně pokud nenarazí na *parallel* direktivu
- *clause list* specifikuje podmínky paralelizace, počet vláken, přístup k datům a následnou manipulaci s nimi, rozčleňování..
  - podmíněná paralelizace: **if(scalar expression)**
  - stupeň paralelizace: **num_threads(integer expression)**
  - přístup k datům: **shared(variable list), private(variable list), firstprivate(variable list)**
  - sběr privátních dat na konci paralelního vykonávání: **reduction(operator: variable list)**, možné operátory: +, *, -,&, |, ^, &&, ||
  - rozčleňování a rozvrhování: **schedule(scheduling_class[, parameter])**, přičemž je možné volit z: static, dynamic, guided, a runtime

OpenMP – paralelizace *for* cyklů

```
#pragma omp parallel default (private) shared (n)
{
   #pragma omp for
     for (i = 0;  i < n; i++) {
              /* tělo cyklu*/
      }
}
```

nebo zkráceně:

```
#pragma omp parallel for default (private) shared (n)
     for (i = 0;  i < n; i++) {
              /* tělo cyklu*/
      }
```

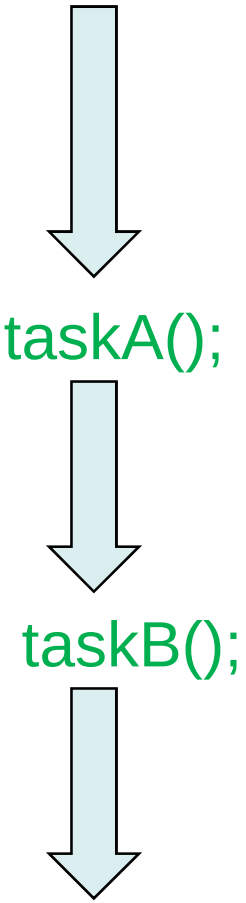
OpenMP – paralelizace *for* cyklů

```
#pragma omp parallel default (private) shared (n)
{
   #pragma omp for
     for (i = 1;  i < n; i++) {
              a[i] = i + a[i-1];
      }
}
```

?

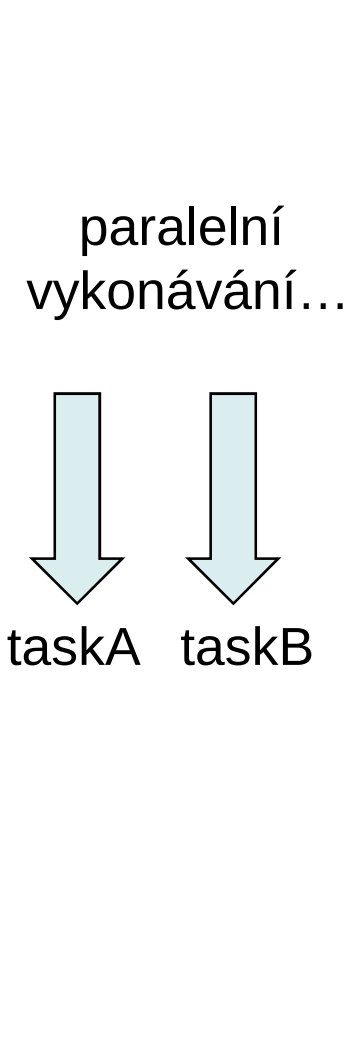
OpenMP – každé vlákno dělá něco jiného

sekvenční vykonávání…



OpenMP – každé vlákno dělá něco jiného

```
1     #pragma omp parallel
2     {
3        #pragma omp sections
4        {
5           #pragma omp section
6           {
7              taskA();
8           }
9           #pragma omp section
10          {
11             taskB();
12          }
13       }
14    }
```



OpenMP – každé vlákno dělá něco jiného

nebo zkráceně:

```
1     #pragma omp parallel sections
2     {
3        #pragma omp section
4        {
5           taskA();
6        }
7        #pragma omp section
8        {
9           taskB();
10       }
11    }
```

OpenMP – co dále umožňuje?

- vnořený paralelizmus (OMP_NESTED nastavit na TRUE)
- explicitně specifikovat bariéry (bod synchronizace)
- označit kód, který má vykonávat pouze jedno vlákno (buď libovolné nebo master)
- označit kritickou sekci (může vstoupit a vykonávat pouze jedno vlákno v daném čase; ostatní buď čekají, nebo jsou již za touto sekcí)
- uspořádané vykonávání (jako při sériovém vykonávání)
- vynucení zápisu do paměti (aktualizace proměnných..) – flush; kdy se flush použije implicitně? A flush is implied at a barrier, at the entry and exit of critical, ordered, parallel, parallel for, and parallel sections blocks and at the exit of for, sections, and single blocks. A flush is not implied if a nowait clause is present. It is also not implied at the entry of for, sections, and single blocks and at entry or exit of a master block.

OpenMP – co dále poskytuje?

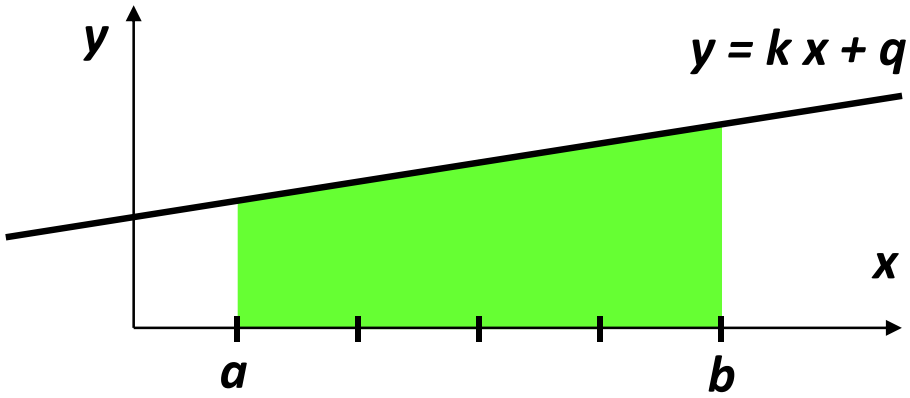
- void omp_set_num_threads (int num_threads);
- int omp_get_num_threads ();
- int omp_get_max_threads ();
- int omp_get_thread_num ();
- int omp_get_num_procs ();
- int omp_in_parallel();

- void omp_init_lock (omp_lock_t *lock);
- void omp_destroy_lock (omp_lock_t *lock);
- void omp_set_lock (omp_lock_t *lock);
- void omp_unset_lock (omp_lock_t *lock);
- int omp_test_lock (omp_lock_t *lock);

A mnoho jiných funkcí…

Příklad – výpočet určitého integrálu jinak

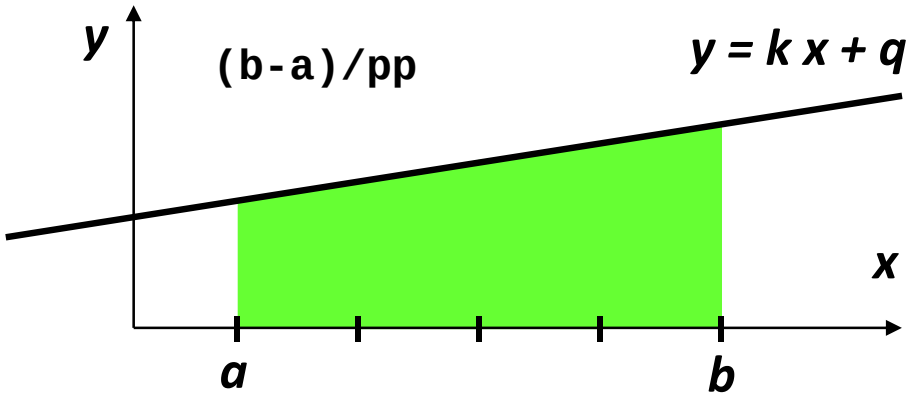
```
#include <stdio.h>


double integral(double a, double b, double (*f)(double), long N);

double polynom(double x)  {
        return 2*x+1;
}

void main()  {
        long int N=5e8;
        double res, a=4, b=5;
```




```
        res = integral(a,  b,  polynom,  N);

        printf("I = %lf ",res);
}
```

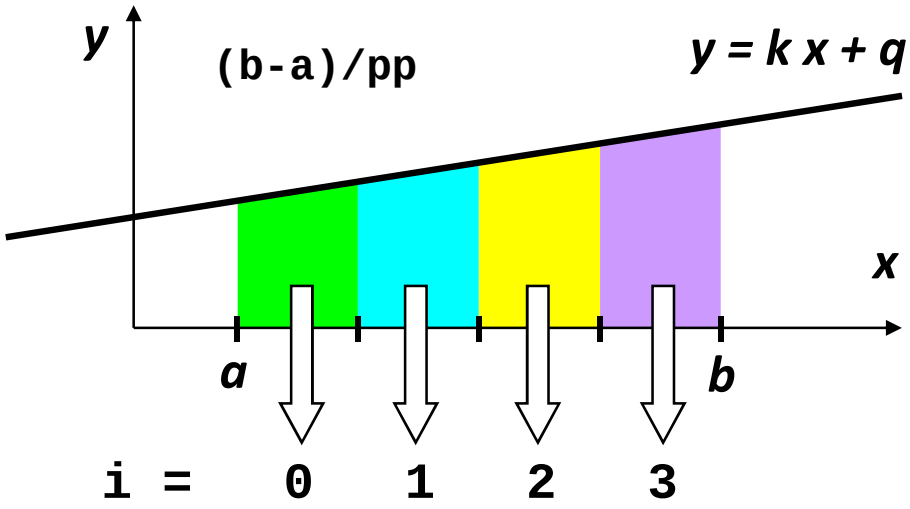
Příklad – výpočet určitého integrálu jinak

```
#include <stdio.h>

double integral(double a, double b, double (*f)(double), long N);

double polynom(double x)  {
        return 2*x+1;
}

void main()  {
        long int N=5e8;
        double res, a=4, b=5;
        int i=0,  pp=1;

        res = integral(a+((b-a)/pp)*i,  a+((b-a)/pp)*(i+1),  polynom,  N/pp);

        printf("I = %lf ",res);
}
```



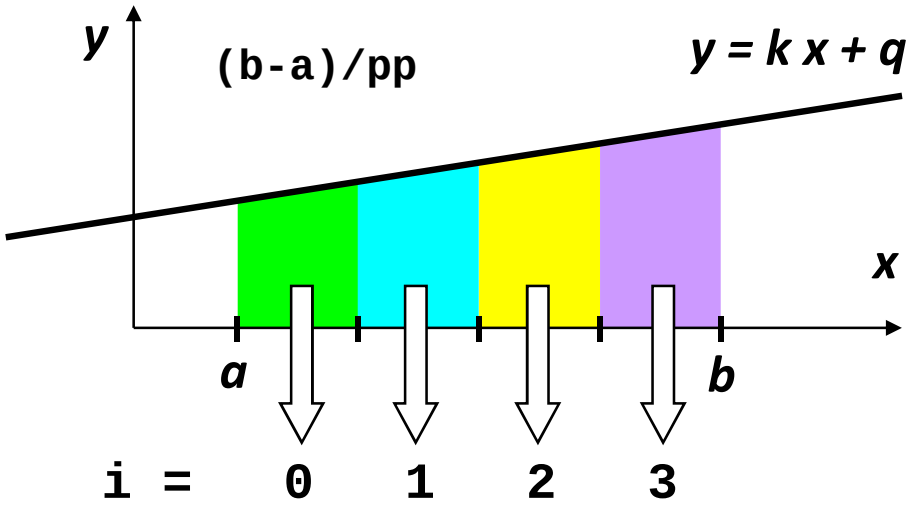
Příklad – výpočet určitého integrálu jinak

```
#include <stdio.h>

double integral(double a, double b, double (*f)(double), long N);

double polynom(double x)  {
        return 2*x+1;
}

void main()  {
        long int N=5e8;
        double res, a=4, b=5;
        int i=???,  pp=4;

        res = integral(a+((b-a)/pp)*i,  a+((b-a)/pp)*(i+1),  polynom,  N/pp);

        printf("I = %lf ",res);
}
```



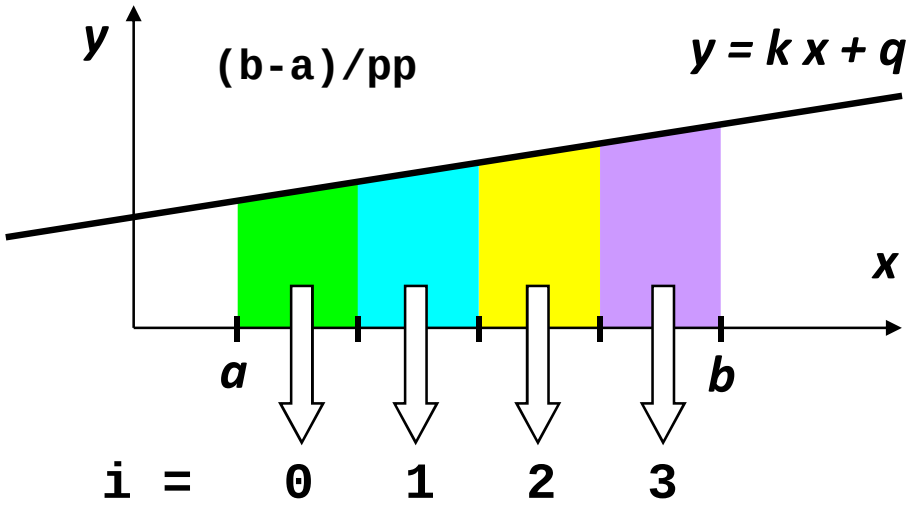
Příklad – výpočet určitého integrálu jinak

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

double integral(double a, double b, double (*f)(double), long N);

double polynom(double x)  {
        return 2*x+1;
}

void main()  {
        long int N=5e8;
        double res, a=4, b=5;
        int i,  pp=4;

#pragma omp parallel private(i) reduction(+:res) num_threads(pp)
        {
          i = omp_get_thread_num();
          res = integral(a+((b-a)/pp)*i,  a+((b-a)/pp)*(i+1),  polynom,  N/pp);
        }
        printf("I = %lf ",res);
}
```



Příklad – výpočet určitého integrálu jinak

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

double integral(double a, double b, double (*f)(double), long N);

double polynom(double x)  {
        return 2*x+1;
}

void main()  {
        long int N=5e8;
        double res, a=4, b=5;
        int i,  pp;
        pp = omp_get_num_procs();
#pragma omp parallel private(i) reduction(+:res) num_threads(pp)
        {
          i = omp_get_thread_num();
          res = integral(a+((b-a)/pp)*i,  a+((b-a)/pp)*(i+1),  polynom,  N/pp);
        }
        printf("I = %lf ",res);
}
```



OpenMP – další příklad

```
#include <omp.h>
 int  a, b, i, tid;
#pragma omp threadprivate(a)

main ()  {
 omp_set_dynamic(0); /* Explicitly turn off dynamic threads */

 #pragma omp parallel private(b,tid)
  {
  tid = omp_get_thread_num();
  a = b = tid;
  printf("Thread %d:   a,b,%d %d \n",tid,a,b);
  }  /* end of parallel section */


#pragma omp parallel private(tid)
  {
  tid = omp_get_thread_num();
printf("Thread %d:   a,b,%d %d \n",tid,a,b);
  }  /* end of parallel section */
}
```

MPI – Message Passing Interface

komunikace je **explicitní**, proto:

- většina MPI funkcí požaduje komunikátor jako argument,
- **komunikátor** je objekt definující skupinu procesů, které mohou vzájemně mezi sebou komunikovat,
- komunikátor MPI_COMM_WORLD zahrnuje všechny procesy,
- uvnitř komunikátoru pak mají všechny procesy přiděleno své unikátní identifikační číslo – RANK,
- komunikace je buď kolektivní (zúčastňují se všechny procesy komunikátoru), nebo point-to-point

MPI – Message Passing Interface

kolektivní komunikace:

- je vždy blokující,
- používá předdefinované datové typy MPI (MPI_CHAR, MPI_INT, MPI_LONG,…)
- se dále dělí na:
  - synchronizaci (procesy se počkají v daném bodě)
  - kolektivní výpočet (redukci) – kdy jeden proces sesbírá data od všech ostatních a vykoná nad nimi zadanou operaci
  - přesuny dat (Broadcast, Scatter, Gather, All-to-All)

MPI – téměř minimální program

```
#include <stdio.h>
#include <mpi.h>

void main(int argc, char *argv[]) {
    int numprocs, rank, namelen;
    char proc_name[MPI_MAX_PROCESSOR_NAME];

    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &numprocs);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Get_processor_name(processor_name, &namelen);

    printf("Process %d on %s out of %d\n", rank, proc_name,
     numprocs);

  MPI_Finalize();
}
```

Příklad – výpočet určitého integrálu ještě jinak

```
#include <stdio.h>
#include "mpi.h"

inline double f(double x) {  return 2*x+1; }

int main(int argc, char *argv[])
{
  int myid, numprocs,volba=0;
  unsigned long int i, n;
  double startwtime, endwtime, a = 4.0, b = 5.0;
  double total, integral = 0.0;

  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &numprocs);  // zjistí počet procesů
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &myid);  // zjistí číslo procesu
```

Příklad – výpočet určitého integrálu ještě jinak

```
do {
   if (myid == 0) {
         printf("\n Zadej pocet intervalu (0 pro ukonceni): "); fflush(stdout);
         scanf("%ld", &n);
         if(n==0) break;
         startwtime = MPI_Wtime();
   }

   // pošle proměnou n, délky 1, typu int, z procesu #0 ostatním
   MPI_Bcast(&n, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
```

Příklad – výpočet určitého integrálu ještě jinak

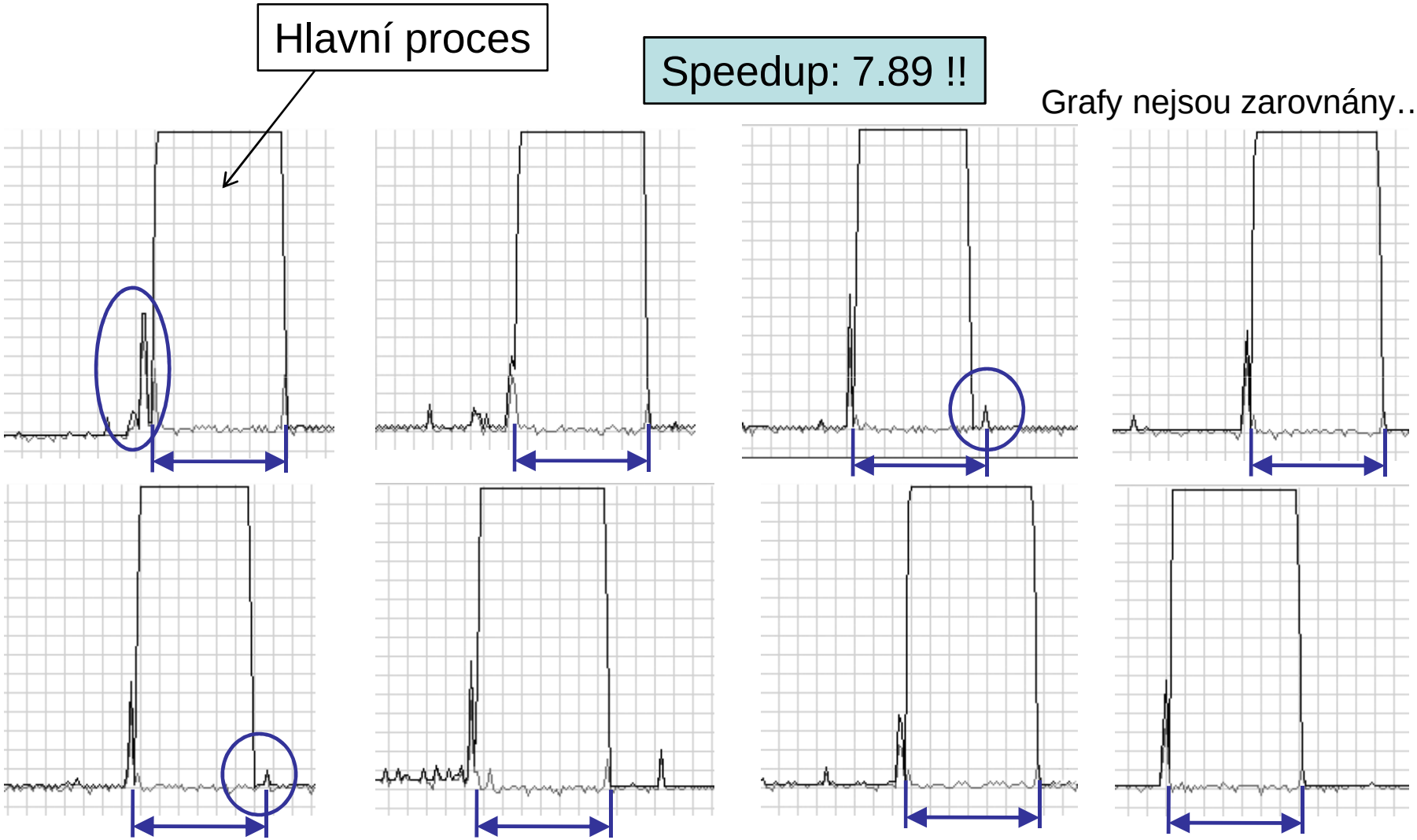
```
if (n != 0) {
                double h = (b - a) / n;
                double i1 = myid*(n/ numprocs);
                double i2 = (myid+1)*(n/numprocs);

                integral= ( f(a+i1*h) + f(a+i2*h) ) / 2;

                for( i=i1+1 ; i<i2 ; i++ )
                        integral += f(a+i*h);
        }
  // proměnou integral ze všech procesů převede do total procesu 0,
  // délka 1, typ double, operace sčítání
  MPI_Reduce(&integral, &total, 1, MPI_DOUBLE, MPI_SUM, 0,
  MPI_COMM_WORLD);
```

Příklad – výpočet určitého integrálu ještě jinak

```
    if (myid == 0) {
            endwtime = MPI_Wtime();
            printf("I= %f\n", total);
            printf("trvani vypoctu: %f s\n", endwtime - startwtime); fflush(stdout);
          }
    } while (n != 0);

  MPI_Finalize();
  return 0;
}
```

Příklad – výpočet určitého integrálu ještě jinak

Výpočet na osmi jedno-jádrových procesorech:



Kombinace OpenMP a MPI – téměř minimální program

```
#include <stdio.h>
#include "mpi.h"
#include <omp.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    int numprocs, rank, namelen, iam = 0, np;
    char processor_name[MPI_MAX_PROCESSOR_NAME];

    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &numprocs);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Get_processor_name(processor_name, &namelen);
 #pragma omp parallel default(shared) private(iam, np)
  {
      np = omp_get_num_threads();
      iam = omp_get_thread_num();
      printf("Hello from thread %d out of %d from process %d out of %d on
     %s\n", iam, np, rank, numprocs, processor_name);
  }

    MPI_Finalize();
    return 0;
}
```