Párhuzamos és Grid rendszerek (7. ea)

szálak, openMP

Szeberényi Imre
BME IIT
<szebi@iit.bme.hu>

Áttekintés

- Eddig általános eszközöket láttunk, melyek SMP és Cluster környezetben is használhatók.
- SMP/NUMA környezet egyre gyakoribb a hétköznapokban:
  - többmagos, többszálas processzorok
  - 2, 4, 6, 8, … mag
- Újabb architektúrák, ClearSpeed, GPGPU
- Újabb programozási modellek (CL, CUDA)

Szálak

- A processzek memóriaterületei egymástól teljesen elkülönítettek.
- A szálak olyan processzek, melyeknek csak a stack területe különül el.
- Így lényegesen gyorsabban lehet váltani közöttük, valamint könnyebben is kommunikálnak egymással.
  - pthread_create(), pthread_join(), pthread_exit()
  - pthread_mutex_..., pthread_cond_...

pthread példa

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
void* do_loop(void *id)
{
    int i, j;
    float f = 0;
    char me = *(char *)id;
    for (i=0; i<10; i++) {
        for (j=0; j<5000000; j++) f++;
        printf("Thread_%c: %d\n", me, i);
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

thread-et megvalósító függvény

thread egyedi adata

pthread példa/2

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    pthread_t thread_a, thread_b;
    char a='a', b='b', c='c';

    pthread_create(&thread_a, NULL,
                   do_loop, &a);
    pthread_create(&thread_b, NULL,
                   do_loop, &b)

    do_loop(&c);
    printf("Ide nem jut!\n");
    return 0;
}
```

thread leírója

egyedi paraméter

megvalósító függvény

Kölcsönös kizárás

- mutex:
  - pthtread_mutex_init
  - pthtread_ mutex_destroy
  - pthtread_ mutex_lock
  - pthtread_ mutex_trylock
  - pthtread_ mutex_unlock

pthread_mutex

```
....
pthread_mutex_t mutex_cnt;
....
pthread_mutex_init(&mutex_cnt, NULL);
....
  pthread_mutex_lock(&mutex_cnt);

  // kritikus régió

  pthread_mutex_unlock(&mutex_cnt);
```

Feltétel változó

- condition:
  - pthtread_ cond_init
  - pthtread_ cond_destroy
  - pthtread_ cond_wait
  - pthtread_ cond_timedwait
  - pthtread_ cond_signal
  - pthtread_ cond_broadcast

pthread_cond

```
pthread_mutex_t mutex_cnt;
pthread_cond_t cond_cnt;
pthread_mutex_init(&mutex_cnt, NULL);
pthread_cond_init(&cond_cnt, NULL);
.... // egyik szál
  pthread_mutex_lock(&mutex_cnt);
    ....
    // kritikus régió, várni kell valamire
    pthread_cond_wait(&cond_cnt,
  &mutex_cnt);
    ....
  pthread_mutex_unlock(&mutex_cnt);
```

pthread_cond (2)

```
....
.... // másik szál
  pthread_mutex_lock(&mutex_cnt);
      ....
      // a várt esemény bekövetkezett
      pthread_cond_signal(&cond_cnt);
      ....
  pthread_mutex_unlock(&mutex_cnt);
  ....
```

OpenMP motiváció

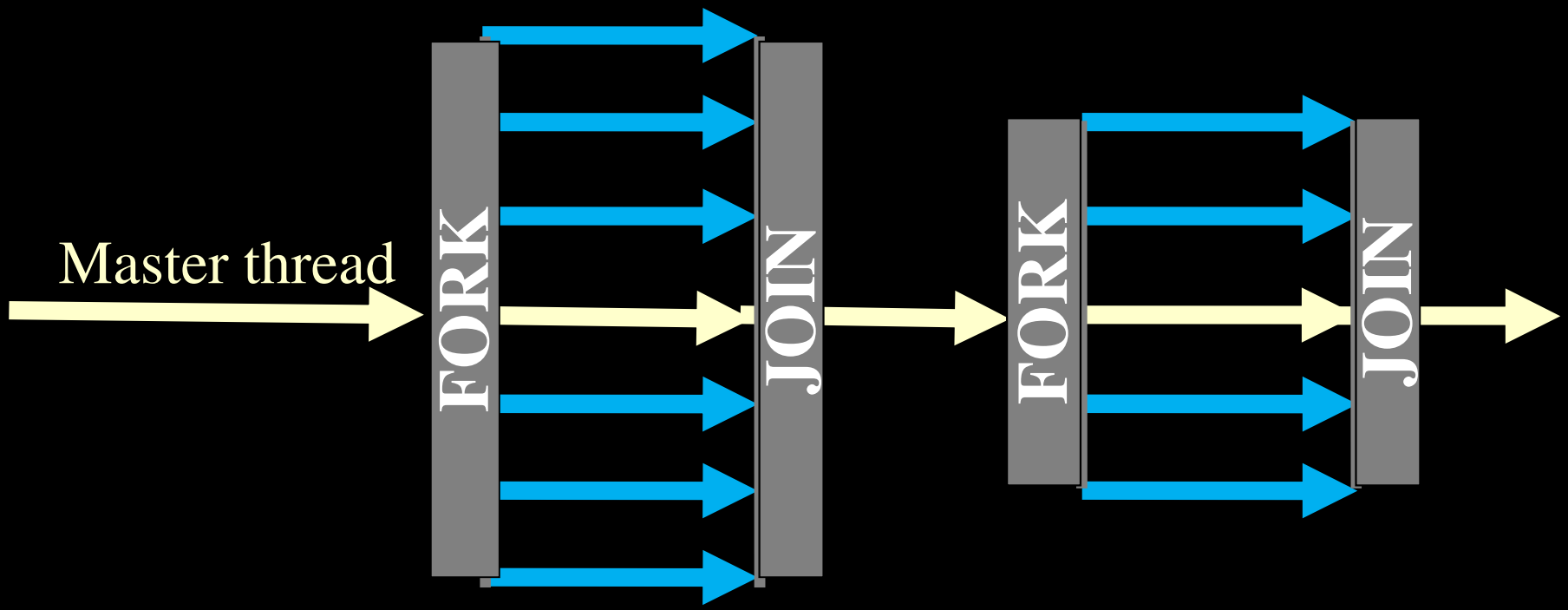
- Szálakkal történő párhuzamosítás macerás:
- OS függő API-k:
  - Windows: CreateThread
  - UNIX: pthread_create
- Még egy vektor elemeinek összeadásához is sok ismeret kell:
  - Kölcsönös kizárás (mutex)
  - Külön soros és párhuzamos kód keletkezik
  - Nehéz a skálázhatóság megoldása

OpenMP

- Nyelvi kiterjesztés
- A programozó a funkcionalitásra koncentrálhat.
- A párhuzamosítás csak lehetőség.
- Shared memóriás párhuzamosítás
- Ipari szabvány
- 1997: 1.0
- 2011: 3.1
- 2013: 4.0 – jelenleg draft

http://openmp.org/mp-documents/OpenMP3.1-CCard.pdf

Végrehajtási modell



Shared memoria modell

- A szálak változókon keresztül kommunikálnak.
- A megosztás nyelvi szinten definiált
- Versenyhelyzet kialakulhat
  - Szinkronizációs eszközök
  - Megosztás minimalizálása

Szintaxis

- #pragma omp construct [clause [clause] …]
- Egy blokkra vonatkozik (egy belépés, egy kilépés)
- OpenMP konstrukciók:
  - Parallel régiók megadása
  - Munka elosztás (work sharing)
  - Adatelérés szabályozása
  - Szinkronizáció
  - Runtime függvények

Paralell régiók

```
double D[1000] = { 1, 2, 3, 4 };
#pragma omp parallel
{
  int i; double sum = 0;
  for (i=0; i<1000; i++) sum += D[i];
  printf("Thread %d computes %f\n",
                    omp_get_thread_num(), sum);
}
// annyiszor fut, ahány thread van.
//OMP_NUM_THREADS
```

shared

private

Work sharing

```
#pragma omp sections
{
  #pragma omp section
  a = computation_1();
  #pragma omp section
  b = computation_2();
}
c = a + b;
```

Hosszú futási idejű valami

Kézi párhuzamosítás

```
for (int i=0; i<N; i++) { a[i]=b[i]+c[i]; }
```

```
#pragma omp parallel
{
  int id = omp_get_thread_num();
  int nThr = omp_get_num_threads();
  int istart = id*N/nThr, iend = (id+1)*N/nThr;
  for (int i=istart; i<iend; i++) { a[i]=b[i]+c[i]; }
}
```

Automatikus párhuzamosítás

```
#pragma omp parallel
#pragma omp for schedule(static)
{
  for (int i=0; i<N; i++) { a[i]=b[i]+c[i]; }
}
```

Csak egyszerű for ciklus lehet:

- 1 db int ciklusváltozó,
- cmp. op: <, >, <=, >
- Növelés/csökkentés: ++, --, értékadó op.
- Ciklusfüggetlen init, last, növelés

Párhuzamos for problémai

- Load balancing
  - Egyes részek futási ideje lehet, hogy nem azonos
  - A futási idők eltérése csak ritkán becsülhetők előre
  - Dinamikus szétosztás kellene
- Granualitás
  - A szálak létrehozása, szinkronizálása akkor is idő, ha ezt eldugja a fordító.

Ütemezés

- schedule(static [, chunksize])
  - Statikus kiosztás
  - Default: azonos darabok
  - Round-robin (több darab, mint thread esetén)
- schedule(dynamic [, chunksize])
  - Dinamikus kiosztás
  - Default chunksize = 1
- schedule(guided [, chunksize])
  - Dinamikus, exponenciálisan csökken

Granularitás

- #pragma omp parallel if (expression)
  - Párhuzamosítás a feltétellel vezérelhető
- #pragma omp num_threads (expression)
  - A szálak száma módosítható

Adatok elérése

- Osztott változók

  - globális változók

```
int sum = 0;
#pragma omp parallel for
for (int i=0; i<N; i++) sum += i;
```

- Privát
  - Párh. blokk auto változói
  - Függvények auto változói
  - Explicit privát deklaráció esetén

Tárolási attribútumok megadása

- private:
  - Privát példány keletkezik, de nem másolódik le az eredeti adat
  - Ugyanaz, mintha { } között lenne
- firstprivate:
  - Kezdő érték lemásolódik
- lastprivate:
  - Legutolsó érték visszamásolódik
- threadprivate:
  - Perzisztens a párh. részek között (globális)

Tárolási attribútumok pl.

```
int i;
#pragma omp parallel for private(i)
for (i=0; i<n; i++) { … }
```

```
int idx=1;
int x = 10;
#pragma omp parallel for firsprivate(x) \
                                    lastprivate(idx)
for (i=0; i<n; i++) {
   if (data[i]==x) idx = i;
}
```

Tárolási attribútumok pl./2

```
int data[100];
#pragma omp threadprivate(data)
…
#pragma omp parallel for copyin(data)
for (int i=0; i<n; i++)
                data[i]++;
```

Redukció

```
int sum = 0;
#pragma omp parallel for reduction(+: sum)
for (int i =0; i<N; j++)
  sum = sum+a[i]*b[i];
```

- Csak skalár
- Másolat készül, a végén elvégzi a műveletet
- x op expr
- x++, ++x, x--, --x,
- op nem lehet túlterhelt

Szinkronizációs mechanizmusok

- Single/Master execution

  #pragma omp single

  #pragma omp master

- Critical sections, Atomic updates

  #pragma omp critical [name]

  #pragma omp atomic

  update_statement

  Csak skalár, a redukciónál megismert formában.

Szinkronizációs mech./2

- Ordered

  #pragma omp ordered

```
int vec[100];
#pragma omp parallel for ordered
for (int i=0; i<100; i++) {
   vec[i] = 2 * vec[i] + i;
   #pragma omp ordered
   printf("vec[i] = %d\n", vec[i]);
}
```

Szinkronizációs mech./3

- Barriers

  #pragma omp barrier
- Nowait

  #pragma omp sections nowait
- Flush

  #pragma omp flush (list)
- Reduction

Kontroll funkciók

- omp_set_dynamic(int)/ omp_get_dynamic()
- omp_set_num_threads(int)/ omp_get_num_threads()
  - OMP_NUM_THREADS env.
- omp_get_num_procs()
- omp_get_thread_num()
- omp_set_nested(int)/omp_get_nested()
- omp_in_parallel()
- omp_get_wtime()
- omp_init_lock(), omp_destroy_lock(),
- omp_set_lock(), omp_unset_lock(),
- omp_test_lock()

Példa: integrálás

```
double integ(double low, double high, long n) {
  int num_pes = -1;
  double w, pew, sum = 0;
  int penum;                  // private
  double sump, l, h;          // private

#pragma omp parallel default (none) \
        shared(low, high, n, num_pes, w, pew) \
        private(penum, sump, l, h) \
        reduction(+:sum)
{  // Paralel régió kezdete
  if (num_pes < 0)
    num_pes = omp_get_num_threads();
  penum = omp_get_thread_num();  // private
```

Példa: integrálás /2

```
    w = (high - low) / n; // shared
    pew = (high - low) / num_pes; // shared
    l = pew * penum + low; // private
    h = l + pew;           // private
    sump = 0.0;
    l += w / 2.0;
    while (l < h) {
      sump += fx(l);
      l += w;
    }
    sum += sump;
  } // Paralel régió vége
  return sum * w;
}
// gcc -fopenmp prog.c -lgomp
```