ETH zürich

Übung 13

Datenstrukturen und Algorithmen, D-MATH, ETH Zurich

Programm von heute

Feedback letzte Übung

Wiederholung Theorie

Nächste Übung

1. Feedback letzte Übung

Aufgabe: Summe eines Vektors

```
void sum_par( Iterator beg, Iterator end, int& result ) {
  const int nThreads = std::thread::hardware_concurrency();
  std::vector<std::thread> myThreads;
  std::vector<int> sums( nThreads, 0 );
  const int partSize = (end-beg)/nThreads;

  for( int i=0; i<nThreads-1; ++i ){
    myThreads.emplace_back(
      std::thread(sum_ser, beg, beg + partSize, std::ref(sums[i])));
    beg += partSize;
  }
  // ...
  for( auto& t:myThreads ) t.join();
  sum_ser( sums.begin(), sums.end(), result );
}
```

Aufgabe: Summe eines Vektors

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  int local = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    local += *from;
  result = local;
}
```

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  result = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    result += *from;
}
```

Aufgabe: Summe eines Vektors

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  int local = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    local += *from;
  result = local;
}
```

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  result = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    result += *from;
}
```

Difference?

Aufgabe: Summe eines Vektors

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  int local = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    local += *from;
  result = local;
}
```

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  result = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    result += *from;
}
```

Difference?

execution time: 0.468879 ms

execution time: 0.944031 ms

Aufgabe: Summe eines Vektors – False Sharing!

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  int local = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    local += *from;
  result = local;
}
```

```
void sum_ser(
    Iterator from,
    Iterator to,
    int& result ) {

  result = 0;
  for( ;from != to; ++from )
    result += *from;
}
```

Difference?

execution time: 0.468879 ms

execution time: 0.944031 ms

Aufgabe: Mergesort (2-threads)

```
void mergesort_par( std::vector<int> & v ) {
  int n = v.size();
  int partSize = n / 2;

  std::thread t1( mergesort, std::ref(v), 0, partSize-1 );
  std::thread t2( mergesort, std::ref(v), partSize, n-1 );
  t1.join();
  t2.join();
  merge( v, 0, partSize-1, n-1 );
}
```

Analog mit n threads

Aufgabe: Mergesort Rekursiv

```
void mergesort_par(std::vector<int> & v, int cutoff, int l, int r) {
  if (r-l < cutoff){ // sequential base case
    mergesort( v, l, r );
  } else {
    int m = ( l+r )/2 ;
    std::thread t (mergesort_par,std::ref(v),cutoff,l,m);
    mergesort_par(v,cutoff,m+1,r); // avoid forking another thread
    t.join();
    merge(v,l,m,r);
  }
}
```

2. Wiederholung Theorie

Speedup, Performanz und Effizienz

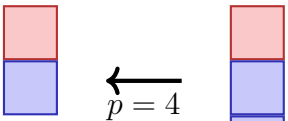
Gegeben

- fixierte Rechenarbeit W (Anzahl Rechenschritte)
- Sequentielle Ausführungszeit sei T_1
- Parallele Ausführungszeit T_p auf p CPUs

	Ausführungszeit	Speedup	Effizienz
Perfektion (linear)	$T_p = T_1/p$	$S_p = p$	$E_p = 1$
Verlust (sublinear)	$T_p > T_1/p$	$S_p < p$	$E_p < 1$
Hexerei (superlinear)	$T_p < T_1/p$	$S_p > p$	$E_p > 1$

Amdahl vs. Gustafson

Amdahl



Gustafson

Amdahl vs. Gustafson, or why do we care?

Amdahl	**Gustafson**
Pessimist	Optimist
starke Skalierung	schwache Skalierung

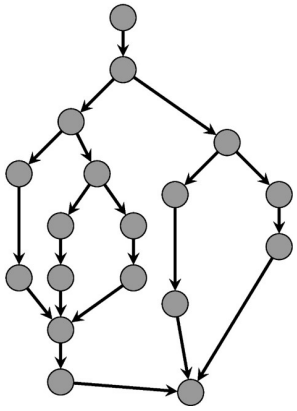
Amdahl vs. Gustafson, or why do we care?

Amdahl	**Gustafson**
Pessimist	Optimist
starke Skalierung	schwache Skalierung

$\Rightarrow$ Methoden müssen entwickelt werden so dass sie einen möglichst kleinen sequenziellen Anteil haben.

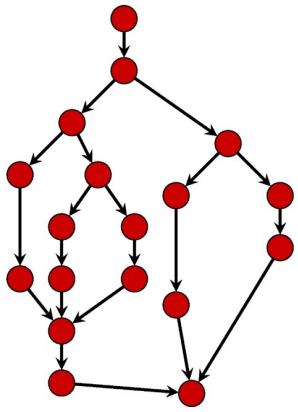
Task Parallelität: Performanzmodell

- p Prozessoren
- Dynamische Zuteilung
- T_p: Ausführungszeit auf p Prozessoren



Performanzmodell

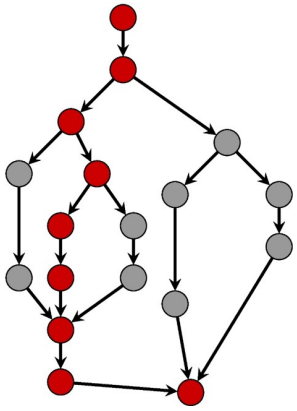
- T_p: Ausführungszeit auf p Prozessoren
- T_1: **Arbeit:** Zeit für die gesamte Berechnung auf einem Prozessor
- T_1/T_p: Speedup



Performanzmodell

- T_∞: **Zeitspanne**: Kritischer Pfad. Ausführungszeit auf ∞ Prozessoren. Längster Pfad von der Wurzel zur Senke.
- T_1/T_∞: **Parallelität:** breiter ist besser
- Untere Grenzen

$$T_p \geq T_1/p \quad \text{Arbeitsgesetz}$$
$$T_p \geq T_\infty \quad \text{Zeitspannengesetz}$$



Greedy Scheduler

Greedy Scheduler: teilt zu jeder Zeit so viele Tasks zu Prozessoren zu wie möglich.

Theorem 1

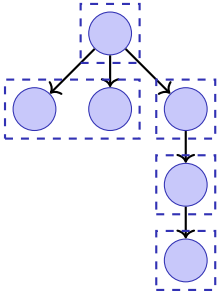
Auf einem idealen Parallelrechner mit p Prozessoren führt ein Greedy-Scheduler eine mehrfädige Berechnung mit Arbeit T_1 und Zeitspanne T_∞ in Zeit

$$T_p \leq T_1/p + T_\infty$$

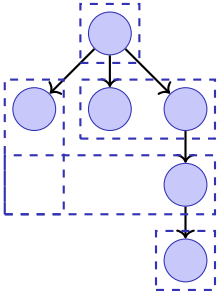
aus.

Beispiel

Annahme $p = 2$.



$T_p = 5$



$T_p = 4$

Race Conditions (Wettlaufsituationen)

Data Race (low-level Race-Conditions) Fehlerhaftes Programmverhalten verursacht durch ungenügend synchronisierten Zugriff zu einer gemeinsam genutzten Resource, z.B. gleichzeitiges Lesen/Schreiben oder Schreiben/Schreiben zum gleichen Speicherbereich.

Bad Interleaving (High Level Race Condition) Fehlerhaftes Programmverhalten verursacht durch eine unglückliche Ausführungsreihenfolge eines Algorithmus mit mehreren Threads, selbst dann wenn die gemeinsam genutzten Resourcen anderweitig gut synchronisiert sind.

Speichermodelle

Wann und ob Effekte von Speicheroperationen für Threads sichtbar werden, hängt also von Hardware, Laufzeitsystem und der Programmiersprache ab.

Ein **Speichermodell** (z.B. das von C++) gibt Minimalgarantien für den Effekt von Speicheroperationen.

- Lässt Möglichkeiten zur Optimierung offen
- Enthält Anleitungen zum Schreiben Thread-sicherer Programme

C++ gibt zum Beispiel **Garantien, wenn Synchronisation mit einer Mutex verwendet** wird.

Counter Problem

```
std::vector<std::thread> tv(10);
int counter {0};
for (auto & t:tv)
  t = std::thread([&]{
    for (int i =0; i<100000; ++i){counter++;} // race!!
  });
for (auto & t:tv)
  t.join();
std::cout << "count= "<< counter << std::endl;
```

Counter Lösung 1

```
std::vector<std::thread> tv(10);
std::mutex lock;
int counter {0};
for (auto & t:tv)
  t = std::thread([&]{
  for (int i =0; i<100000; ++i){
    mutex.lock(); counter++; mutex.unlock(); // synchronized!
  }});
for (auto & t:tv)
  t.join();
std::cout << "count= "<< counter << std::endl;
```

Counter Lösung II

```
std::vector<std::thread> tv(10);
std::atomic<int> counter {0};
for (auto & t:tv)
  t = std::thread([&]{
    for (int i =0; i<100000; ++i){counter++;} // atomic!!
  });
for (auto & t:tv)
  t.join();
std::cout << "count= "<< counter << std::endl;
```

Quiz:Was ist hier falsch?

```
void exchangeSecret(Person & a, Person & b) {
  a.getMutex()->lock();
  b.getMutex()->lock();
  Secret s = a.getSecret();
  b.setSecret(s);
  a.getMutex()->unlock();
  b.getMutex()->unlock()
}
```

Deadlock (Verklemmung)

Thread 1:

```
exchangeSecret(p1, p2);
```

Thread 2:

```
exchangeSecret(p2, p1);
```

Deadlock (Verklemmung)

Thread 1:

```
exchangeSecret(p1, p2);
```

Thread 2:

```
exchangeSecret(p2, p1);
```

Was tun?

Mögliche Lösung

```
void exchangeSecret(Person & a, Person & b) {
  std::mutex* first;
  std::mutex* second;
  if (a.name < b.name){
    first = a.getMutex(); second = b.getMutex();
  } else {
    first = b.getMutex(); second = a.getMutex();
  }
  first->lock();
  second->lock();
  Secret s = a.getSecret();
  b.setSecret(s);
  first->unlock();
  second->unlock();
}
```

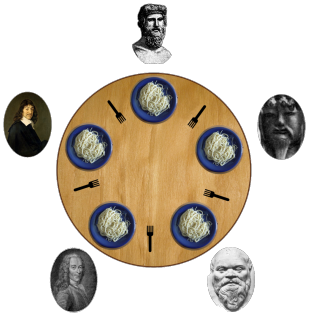
Deadlocks und Races

- Nicht einfach zu sehen
- Schwierig zu debuggen
- Treten u.U. selten auf
- Testing genügt nicht
- Eigentlich muss man die Korrektheit des Codes formal beweisen

Vorsicht und Sorgfalt ist gefragt beim Programmieren mit Locks!

3. Nächste Übung

Dining Philosophers



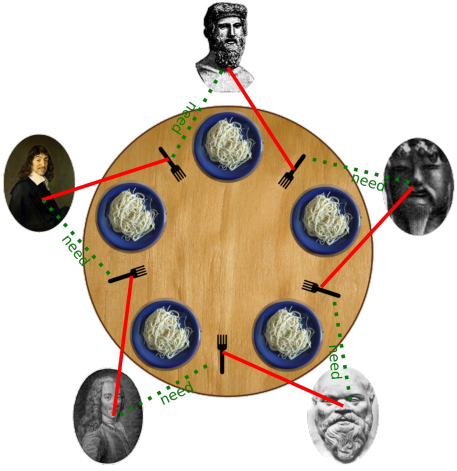
- Philosophen denken und essen abwechslungsweise. Zum Essen brauchen sie zwei Gabeln.
- Philosoph = Thread, Gabel = Lock.

Dining Philosophers - Pseudocode

```
while(true) {
    think();
    acquire_fork_on_left_side();
    acquire_fork_on_right_side();
    eat();
    release_fork_on_right_side();
    release_fork_on_left_side();
}
```

- Problem mit diesem Program?

Dining Philosophers - Deadlock



- Lösung?

Dining Philosophers

- Zyklische Abhängigkeit brechen
- Beispielsweise: Philosoph fünf nimmt erste **rechte** Gabel.
- Allgemeine Möglichkeit: Lock Ordnung definieren. Dann immer in dieser Reihenfolge locken.