Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü 7 – Ringpuffer

C. Erhardt, J. Schedel, A. Ziegler, J. Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2015 – 11. bis 15. Juni 2015

https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS15/V_SP2

Agenda

27-ABA_handout

Agenda

eval: 2016-01-09

Hinweise zur Evaluation

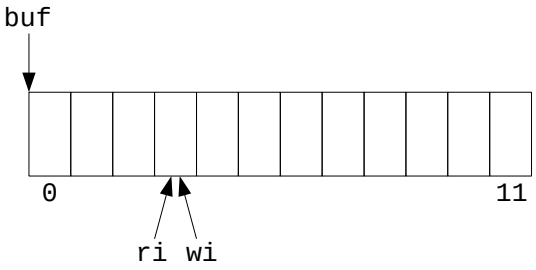
- Bei Kommentaren, die sich auf einen bestimmten Übungsleiter beziehen, bitte dessen Namen **in jedem Feld** voranstellen
  - Kommentarfelder werden in der Auswertung durcheinandergewürfelt

eval: 2016-01-09

Agenda

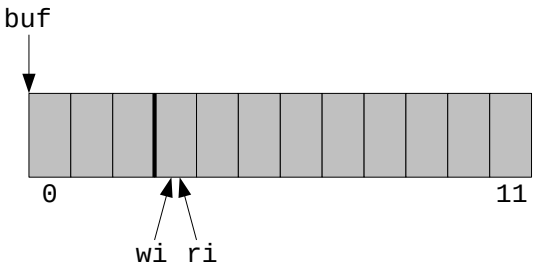
Über-/Unterlaufsituationen

- Leerer Ringpuffer:



  - Weiteres Lesen würde noch nicht gefüllten Slot liefern → Unterlauf!

- Voller Ringpuffer:



  - Weiteres Schreiben würde vollen Slot überschreiben → Überlauf!

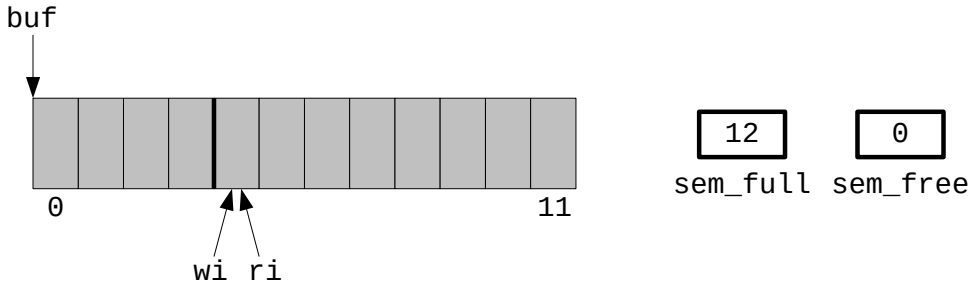
- Synchronisation mit Hilfe zweier Semaphore

Wettlauf der Leser

- Auslesen des Slots und Inkrementieren des Leseindex `ri` geschieht nicht atomar
  - Mehrere Threads könnten nebenläufig den selben Slot auslesen
- Es existiert keine Abhängigkeit der Leser untereinander
  → Nicht-blockierende Synchronisation möglich
- Synchronisation mittels *Compare and Swap* (CAS)

27-ABA_handout

Wettlauf der Leser



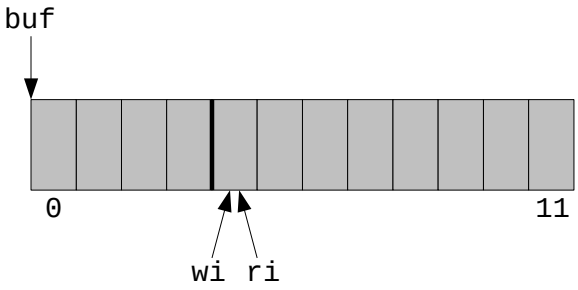
- Erhöhen des Leseindex mittels CAS – vollständig korrekt?

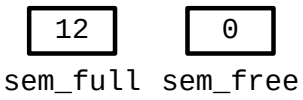
```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do { // Wiederhole...
    pos = ri;                 // Lokale Kopie des Werts ziehen
    npos = (pos + 1) % 12;    // Folgewert lokal berechnen
  } while(!cas(&ri, pos, npos)); // ... bis CAS erfolgreich
  fd = buf[pos];
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

27-ABA_handout

Wettlauf der Leser

Vorsicht bei CAS!





- Überlaufsituation: Schreiber blockiert, weil keine Slots frei

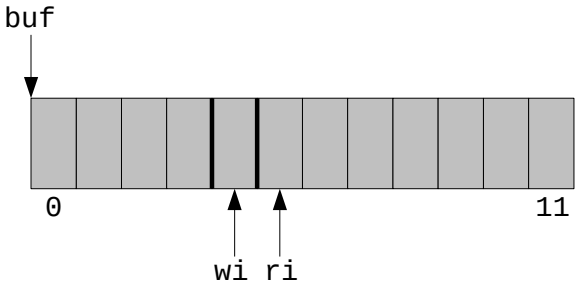
```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

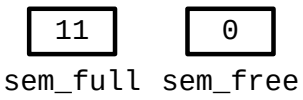
W

```
void add(int val) {
  P(sem_free);

  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;

  V(sem_full);
}
```


Wettlauf der Leser

Vorsicht bei CAS!





- R1 sichert sich Leseindex 4, wird nach erfolgreichem CAS verdrängt

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];  pos: 4
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

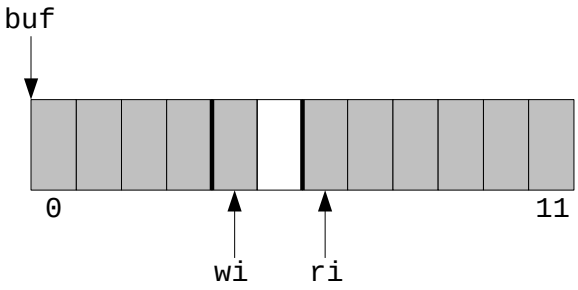
R1

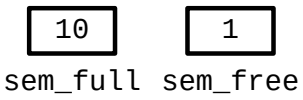
W

```
void add(int val) {
  P(sem_free);

  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;

  V(sem_full);
}
```

Wettlauf der Leser

Vorsicht bei CAS!





- R2 durchläuft `get()` komplett, entnimmt Datum in Slot 5

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];   pos: 4    pos: 5
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

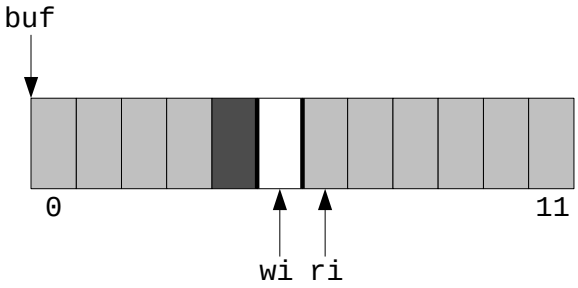
R1 R2

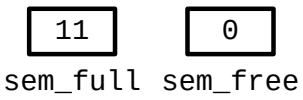
W

```
void add(int val) {
  P(sem_free);

  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;

  V(sem_full);
}
```


Wettlauf der Leser

Vorsicht bei CAS!





- W wird deblockiert, komplettiert `add()` und überschreibt Slot 4

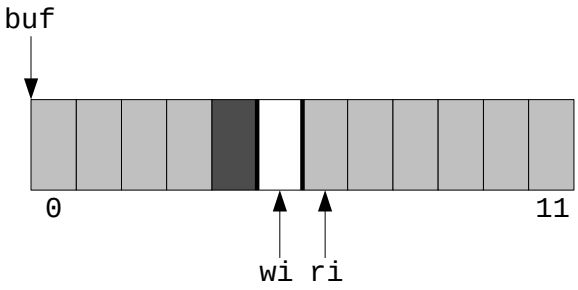
```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];   pos: 4    pos: 5
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

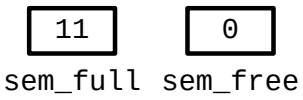
R1 R2

W

```
void add(int val) {
  P(sem_free);

  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;

  V(sem_full);
}
```


Wettlauf der Leser





- Ursache: FIFO-Entnahmeeigenschaft des Puffers nicht sichergestellt

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];   pos: 4    pos: 5
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

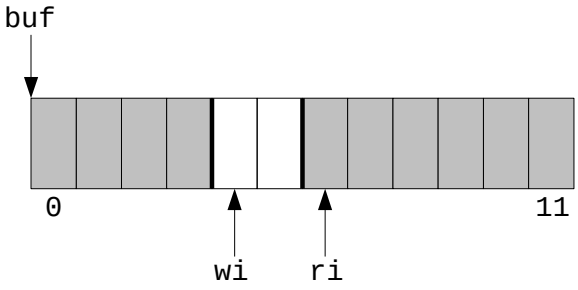
R1 R2

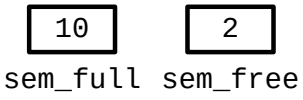
```
void add(int val) {
  P(sem_free);

  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;

  V(sem_full);
}
```

W

Wettlauf der Leser

Vorsicht bei CAS!





- Lösung: Entnahme des Datums **innerhalb** der CAS-Schleife

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  P(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
    fd = buf[pos]; // Datum bereits vorsorglich entnehmen
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  V(sem_free);
  return fd;
}
```

Brauchen wir das `volatile`-Schlüsselwort?

Schreibindex

- Szenario: nur ein Produzenten-Thread
  - Kein nebenläufiger Zugriff auf den Schreibindex
  - `volatile` nicht erforderlich

Leseindex

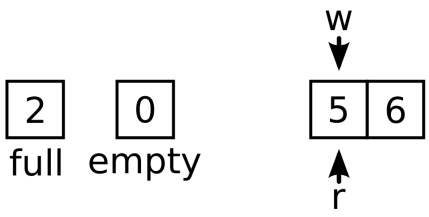
- Szenario: mehrere Konsumenten-Threads möglich
  - Nebenläufiger Zugriff auf den Leseindex möglich
  - GCC-Doku: *[`__sync_bool_compare_and_swap()` is] considered a full barrier. That is, no memory operand will be moved across the operation, either forward or backward. Further, instructions will be issued as necessary to prevent the processor from speculating loads across the operation and from queuing stores after the operation.*
  - `volatile` also nicht falsch, aber nicht zwangsläufig erforderlich

27-ABA_handout

Agenda

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



Aktiver Thread

T1

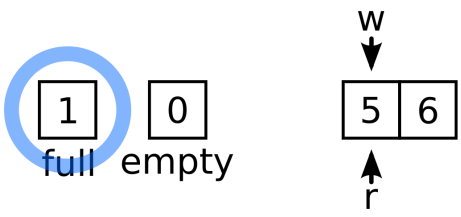
```
bbGet();
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



T1
Aktiver Thread

T1

```
bbGet();
```

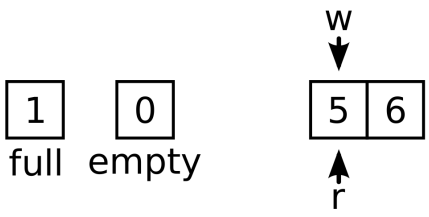
```
bbGet() {
  ...
  int retVal=0;
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while (!cas(&r,0,1));
  ...
  V(empty);
}
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



T1

```
bbGet();
```

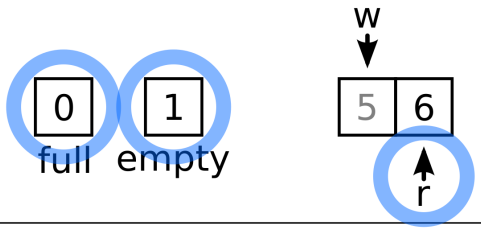
```
bbGet() {
  ...
  int retVal=0;
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while (!cas(&r,0,1));
  ...
  V(empty);
}
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



T1

```
bbGet();
```

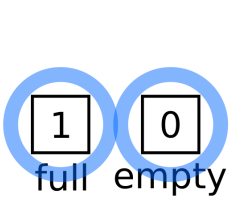
```
bbGet() {
  ...
  int retVal=0;
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while (!cas(&r,0,1));
  ...
  V(empty);
}
```

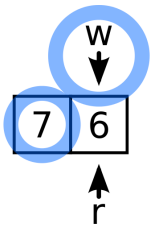
T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





T2
Aktiver Thread

T1

```
bbGet();
```

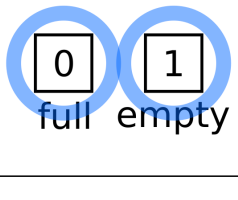
```
bbGet() {
  ...
  int retVal=0;
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while (!cas(&r,0,1));
  ...
  V(empty);
}
```

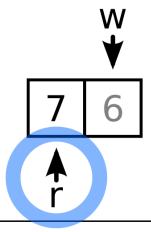
T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





T2
Aktiver Thread

T1

```
bbGet();
```

```
bbGet() {
  ...
  int retVal=0;
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while (!cas(&r,0,1));
  ...
  V(empty);
}
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

27-ABA_handout

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

T1

```
bbGet();
```

```
bbGet() {
  ...
  int retVal=0;
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while (!cas(&r,0,1));
  ...
  V(empty);
}
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```


ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

- `bbGet()` liefert 5 statt 7 zurück
  - CAS schlägt nicht fehl, weil `r` nach dem Wiedereinlasten des Threads den selben Wert hat wie vor dessen Verdrängung
  - Zwischenzeitliche Wertänderung von `r` wird nicht erkannt
- Grundsätzliches Problem von inhaltsbasierten Elementaroperationen wie CAS
- Erhöhte Auftrittswahrscheinlichkeit, je kleiner der Puffer und je höher die Systemlast
- Gegenmaßnahmen siehe Vorlesung C | X-4 S. 24ff.

ABA-Problem in den Griff bekommen

- Einführen eines Generationszählers, der bei jeder erfolgreichen Operation inkrementiert wird
- ABA-Situation: Leseindex hat nach Umlaufen des Ringpuffers wieder den alten Wert – aber Generationszähler hat anderen Wert → CAS schlägt fehl
- **Möglichkeit 1:** separate Zählvariable
  - Erfordert *Double-Word-CAS*
- **Möglichkeit 2:** eingebetteter Generationszähler
  - Nutzung der oberen Bits des Leseindex
- Keine hundertprozentige Sicherheit möglich:
  - Generationszähler hat begrenzten Wertebereich und kann überlaufen
  - Je nach Größe des Zählers und konkretem Szenario (hoffentlich) ausreichend unwahrscheinlich

Agenda

27-ABA_handout

Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

- Vorteile gegenüber sperrenden oder blockierenden Verfahren (Auswahl):
  - Rein auf Anwendungsebene, keine teuren Systemaufrufe
  - Geringere Mehrkosten als bei Locking, wenn die CAS-Operation auf Anhieb funktioniert
  - Konkurrierende Fäden werden vom Scheduler nach dessen Kriterien eingeplant
  - Durch Locks wird eine Abhängigkeit vom Halter des Locks geschaffen:
    - Halter des Locks wird möglicherweise im kritischen Abschnitt verdrängt
    - Der „Zweite“, „Dritte“ usw. werden durch den „Ersten“ verzögert
- In unserem konkreten Anwendungsbeispiel kommen diese Vorteile nicht wirklich zum Tragen
  - Übungsbeispiel zum Begreifen des Konzepts