

Übungen zu Systemprogrammierung 2

B4 – Ringpuffer

Wintersemester 2025/26

Jürgen Kleinöder, Thomas Preisner, Tobias Häberlein, Ole Wiedemann

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

FAU
Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Agenda



- 4.1 Synchronisation des Ringpuffers
- 4.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS
- 4.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

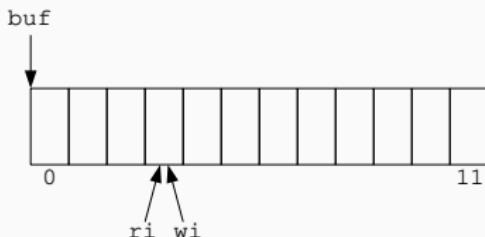
Agenda



- 4.1 Synchronisation des Ringpuffers
- 4.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS
- 4.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

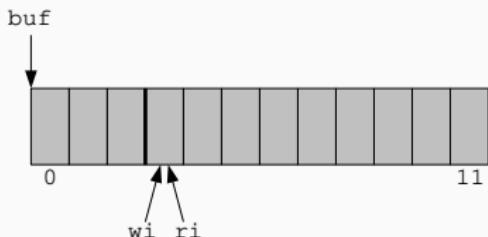
Unter-/Überlaufsituationen

Leerer Ringpuffer:



Weiteres Lesen würde noch nicht
gefüllten Slot liefern
→ Unterlauf!

Voller Ringpuffer:



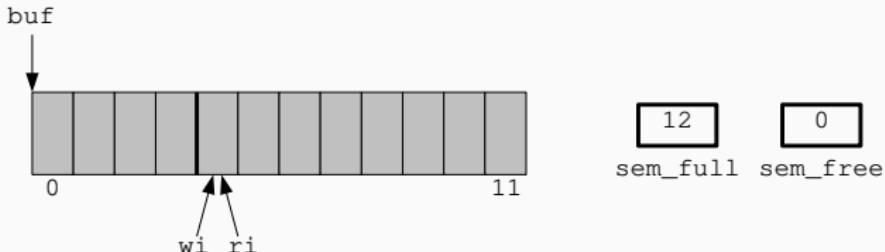
Weiteres Schreiben würde vollen
Slot überschreiben
→ Überlauf!

☞ Synchronisation mit Hilfe zweier Semaphore



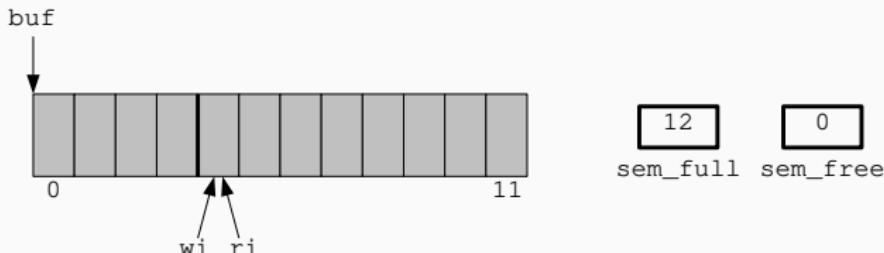
- Auslesen des Slots und Inkrementieren des Leseindex ri geschieht nicht atomar
 - Mehrere Threads könnten nebenläufig den selben Slot auslesen
- Synchronisation mittels *Compare and Swap* (CAS)

Wettlauf der Leser



- Erhöhen des Leseindex mittels CAS – vollständig korrekt?

```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    down(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];
    up(sem_free);
}
```

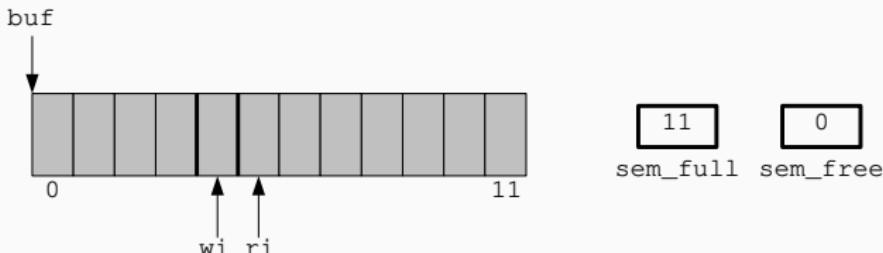


- Überlaufsituations: Schreiber blockiert, weil keine Slots frei

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

```
void add(int val) {
    down(sem_free);
    buf[wi] = val;
    wi = (wi + 1) % 12;
    up(sem_full);
}
```

W
↓



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

```

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

```

R1

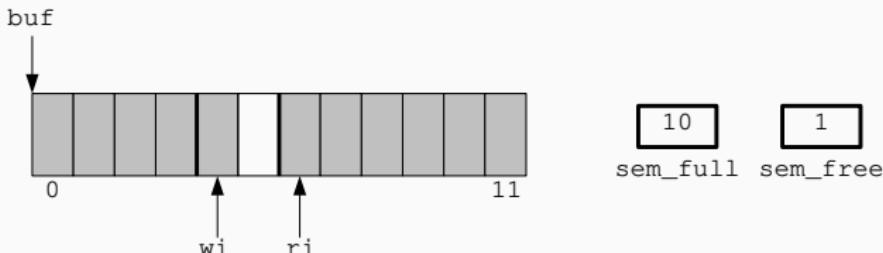
pos: 4

```

void add(int val) {
    down(sem_free);
    buf[wi] = val;
    wi = (wi + 1) % 12;
    up(sem_full);
}

```

W



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

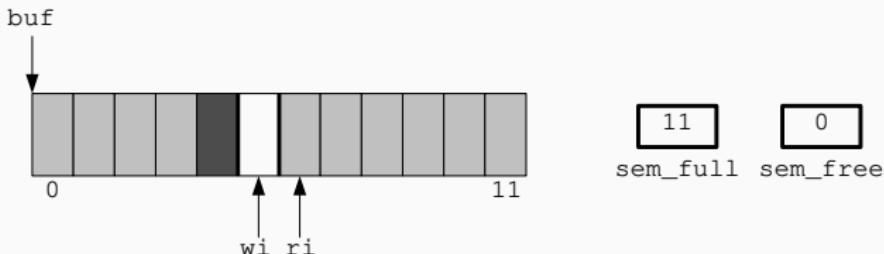
```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    down(sem_full);
    do {
        pos = ri;
        npos = (pos + 1) % 12;
    } while(!cas(&ri, pos, npos));
    fd = buf[pos];
    up(sem_free);
    return fd;
}
```

R1 R2

pos: 4 pos: 5

```
void add(int val) {
    down(sem_free);
    buf[wi] = val;
    wi = (wi + 1) % 12;
    up(sem_full);
}
```

W
↓



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

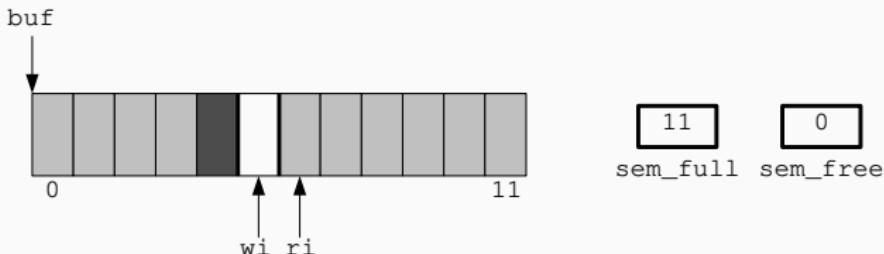
```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    down(sem_full);
    do {
        pos = ri;
        npos = (pos + 1) % 12;
    } while(!cas(&ri, pos, npos));
    fd = buf[pos];
    up(sem_free);
    return fd;
}
```

R1 R2

pos: 4 pos: 5

```
void add(int val) {
    down(sem_free);
    buf[wi] = val;
    wi = (wi + 1) % 12;
    up(sem_full);
}
```

W



- Ursache: FIFO-Entnahmeeigenschaft des Puffers nicht sichergestellt

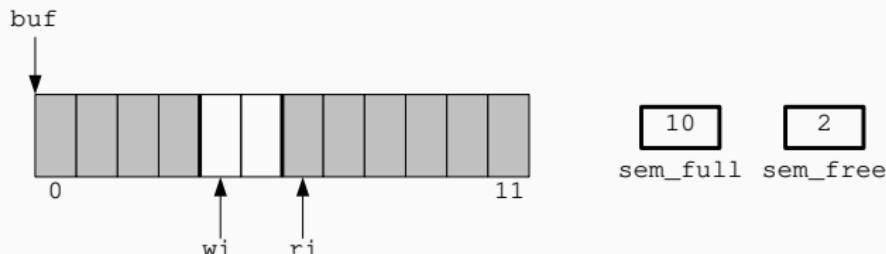
```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    down(sem_full);
    do {
        pos = ri;
        npos = (pos + 1) % 12;
    } while(!cas(&ri, pos, npos));
    fd = buf[pos];
    up(sem_free);
    return fd;
}
```

R1 R2

pos: 4 pos: 5

```
void add(int val) {
    down(sem_free);
    buf[wi] = val;
    wi = (wi + 1) % 12;
    up(sem_full);
}
```

W



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

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

Agenda

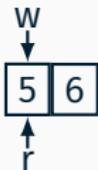


- 4.1 Synchronisation des Ringpuffers
- 4.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS
- 4.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



full empty



Aktiver Thread

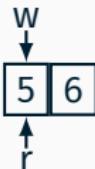
T1

```
bbGet();
```

T2

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

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



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

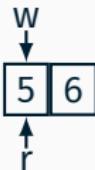


```
bbGet();  
bbPut(7);  
bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



1 **0**
full empty



Aktiver
Thread

T1

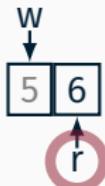
```
bbGet();      bbGet() {  
    ...  
    int retVal = 0;  
    down(full);  
    do {  
        ...  
        retVal = 5;  
    } while(!cas(&r, 0, 1));  
    ...  
    up(empty);  
}
```

T2



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

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



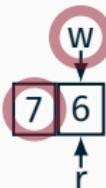
T1

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

T2

```
/* 5 */ bbGet();  
bbPut(7);  
bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



T1

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

T2

/* 5 */ bbGet();
→ bbPut(7);
bbGet();



ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



T1
Aktiver Thread

T1

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

```
/* 5 */ bbGet();  
bbPut(7);  
/* 6 */ bbGet();  
→
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



O full **1** empty



T1
Aktiver Thread



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

```
/* 5 */ bbGet();  
bbPut(7);  
/* 6 */ 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 gleichzeitige, atomare Änderung **beider** Zählvariablen
 - Bei 8 Byte Zählvariablen: 16 Byte CAS-Operation erforderlich
- **Möglichkeit 2:** eingebetteter Generationszähler
 - Zählvariable wird monoton erhöht (Index über Modulo berechnen)
 - Überlaufbehandlung erforderlich
- Keine hundertprozentige Sicherheit möglich:
 - Generationszähler hat begrenzten Wertebereich und kann überlaufen
 - Je nach Größe des Zählers und konkretem Szenario (hoffentlich) ausreichend unwahrscheinlich

Agenda



- 4.1 Synchronisation des Ringpuffers
- 4.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS
- 4.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation



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