

Übungen zu Systemprogrammierung 2

Ü 7 – Ringpuffer

Wintersemester 2018/19

Christian Eichler, Jürgen Kleinöder

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



Agenda



- 7.1 Synchronisation des Ringpuffers
- 7.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS
- 7.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation



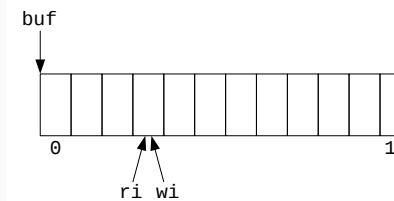
7.1 Synchronisation des Ringpuffers

7.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

7.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation



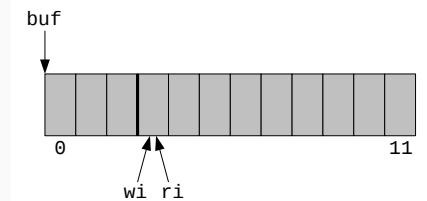
Leerer Ringpuffer:



Weiteres Lesen würde noch nicht
gefüllten Slot liefern

→ Unterlauf!

Voller Ringpuffer:



Weiteres Schreiben würde vollen
Slot überschreiben

→ Überlauf!

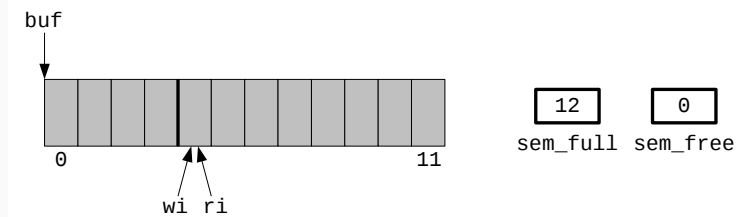
☞ Synchronisation mit Hilfe zweier Semaphore

Wettlauf der Leser



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

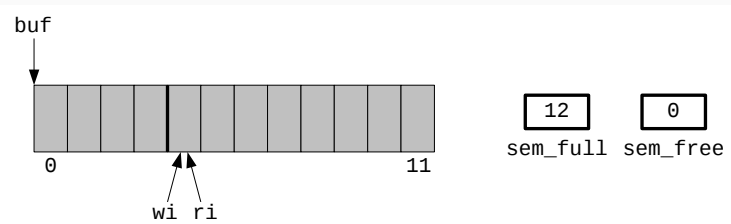
Wettlauf der Leser



- 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);
}
```

Wettlauf der Leser



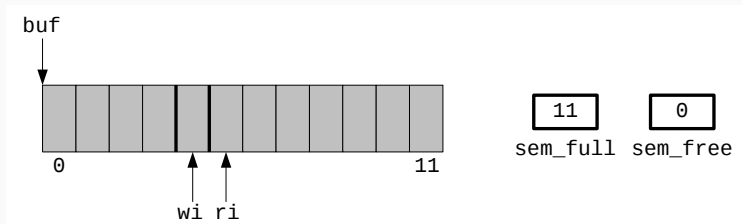
- Überlaufsituation: Schreiber blockiert, weil keine Slots frei

```
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;
}
```

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

W
↓

Wettlauf der Leser



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

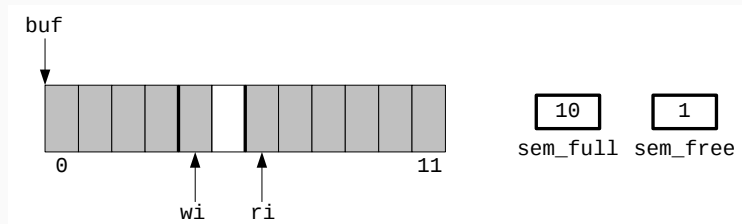
```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    P(sem_full);
    do {
        pos = ri;
        npos = (pos + 1) % 12;
    } while(!cas(&ri, pos, npos));
    fd = buf[pos];
    V(sem_free);
    return fd;
}
```

R1
↓
pos: 4

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

W
↓

Wettlauf der Leser



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

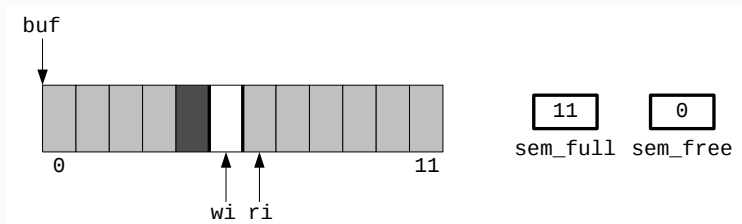
```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    P(sem_full);
    do {
        pos = ri;
        npos = (pos + 1) % 12;
    } while(!cas(&ri, pos, npos));
    fd = buf[pos];
    V(sem_free);
    return fd;
}

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

W
```

R1 (red wavy line) points to pos: 4. R2 (blue wavy line) points to pos: 5.

Wettlauf der Leser



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

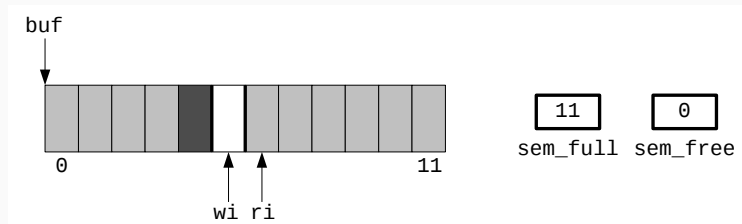
```
int get(void) {
    int fd, pos, npos;
    P(sem_full);
    do {
        pos = ri;
        npos = (pos + 1) % 12;
    } while(!cas(&ri, pos, npos));
    fd = buf[pos];
    V(sem_free);
    return fd;
}

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

W
```

R1 (red wavy line) points to pos: 4. R2 (blue wavy line) points to pos: 5. W (black wavy line) points to pos: 4.

Wettlauf der Leser



- Ursache: FIFO-Entnahmeeigenschaft des Puffers nicht sichergestellt

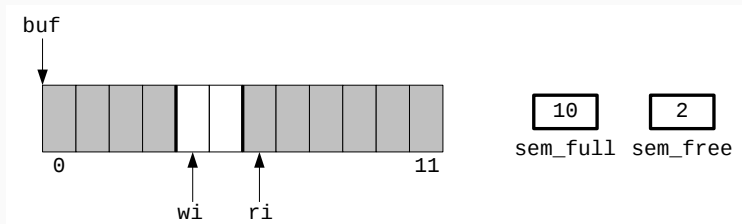
```

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];
    V(sem_free);
    return fd;
}

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

Diagram showing a race condition between two readers (R1, R2) and a writer (W). R1 is at pos: 4, R2 is at pos: 5, and W is at pos: 5. The buffer state is consistent with the semaphore values.

Wettlauf der Leser



- 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
 - C11 Atomics: *[Strong] atomic operations [like `atomic_compare_exchange_strong`] not only order memory [such that] everything that happened-before a store in one thread becomes a visible side effect in [another] thread, but also establish a single total modification order of all [strong] atomic operations.*
 - `volatile` also nicht falsch, aber nicht zwangsläufig erforderlich

Agenda

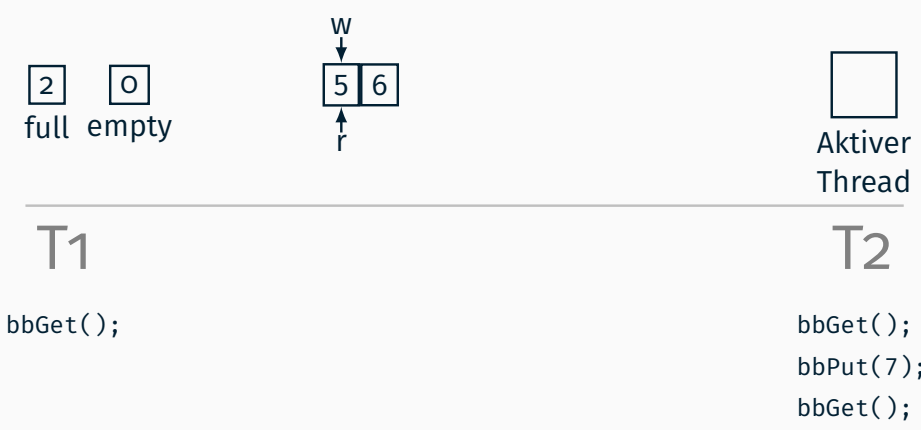


7.1 Synchronisation des Ringpuffers

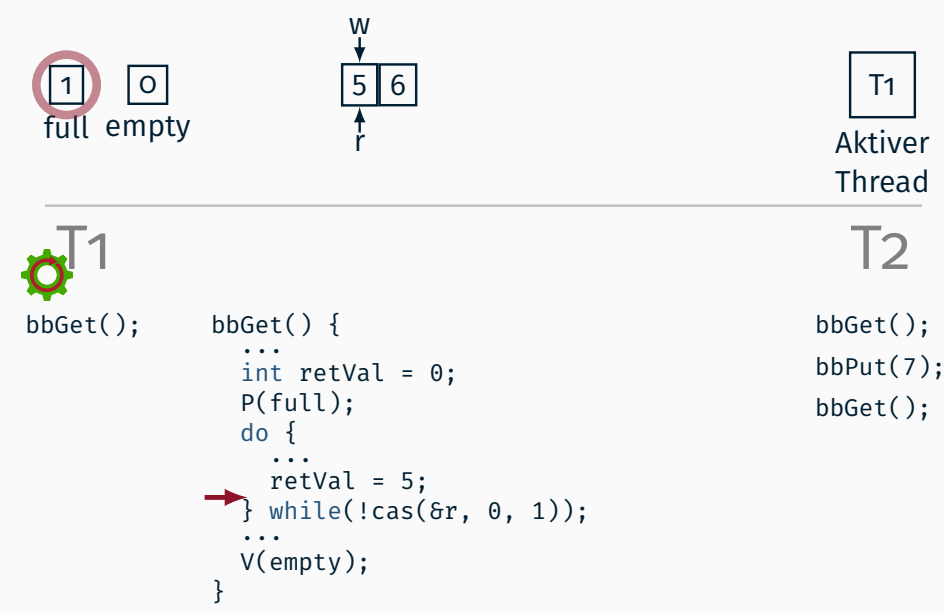
7.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

7.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

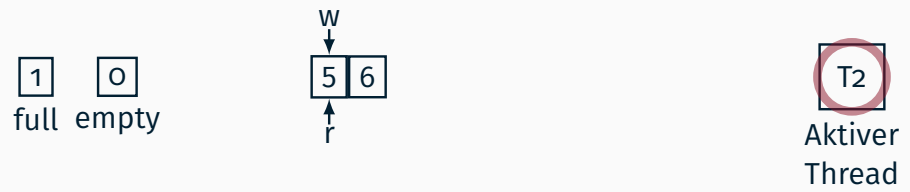
ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



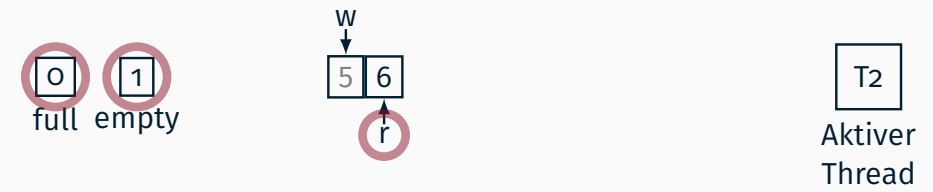
T1

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

T2

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

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



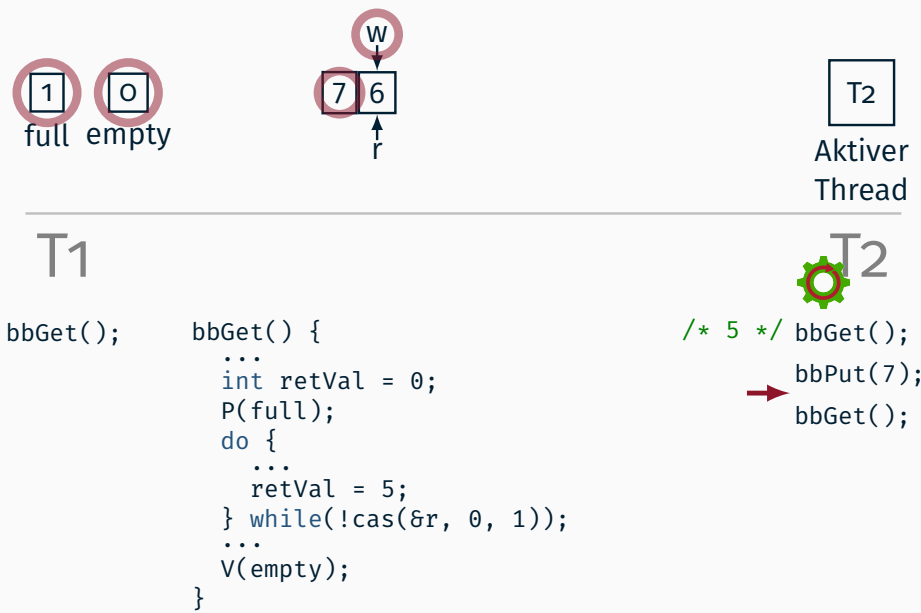
T1

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

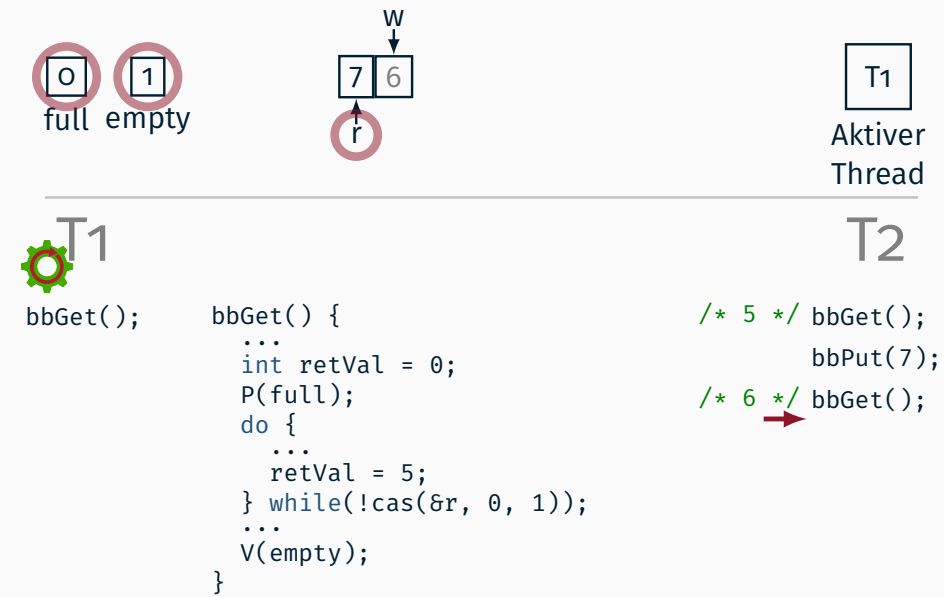
T2

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

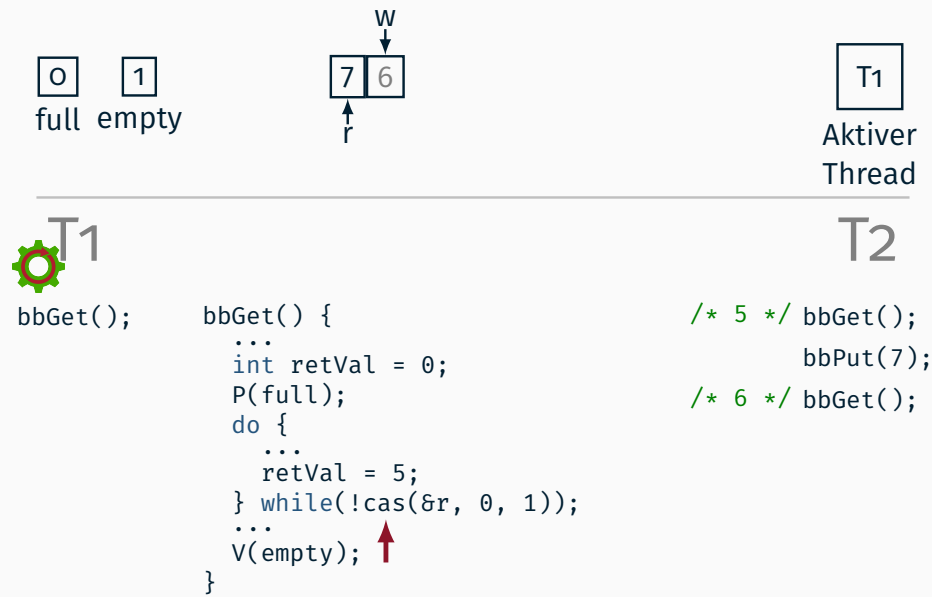
ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



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

11

Agenda



7.1 Synchronisation des Ringpuffers

7.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

7.3 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