Ludwig Maximilians Universität München
Institut für Informatik
Lehr- und Forschungseinheit für Datenbanksysteme

Skript zur Vorlesung

Managing and Mining Multiplayer Online Games

im Sommersemester 2014

Kapitel 4:Das Persistenzsystem

http://www.dbs.ifi.lmu.de/cms/VO_Managing_Massive_Multiplayer_Online_Games

Kapitelübersicht

- Anforderungen an ein Persistenzsystem
- SaveGames und Replays
  - State Logs
  - Transition Logs
  - Action Logs
- Persistenz in MMOs
- Check-Point-Recovery Verfahren
  - Naive Snapshot
  - Copy-on-update
  - Wait-free Zigzag
  - Wait-free PingPong

Aufgaben des Persistenzsystems

1. **Sichern eines Teils ($gs \in GS$) des aktuellen Game States GS**
   - Erlaubt das Spiel zu einem anderen Zeitpunkt fortzusetzen
   - Bei Systemabsturz einen konsistenten Spielstand zu erzeugen
   - Spielstände können bewusst nur an bestimmten Orten gespeichert werden (z.B. Resident Evil, Diablo III, …)
   - Es können bewusst bestimmte Teile nicht gesichert werden (Position der NPC/Monster/Gegner, Zufallskarten, …)

2. **Speichern des Spielverlaufs (gs_1, …, gs_{end})**
   - Erlaubt das Nachvollziehen und die Analyse des Spielverlaufs
   - Spielverläufe werden in der Regel auf den Clients angelegt
   - Je nach Speichermethode können diese „Replays“ sehr groß werden
   - Da der letzte GS auch ein Teil des Replays ist, können Replays auch zu Sicherung verwendet werden

Anforderungen an das Persistenzsystem

- Speichern darf das Spiel nicht verlangsamen
  => Tick-Dauer darf das Zeitlimit nicht überschreiten
- der Spielstand sollte möglichst aktuell sein
  => GS sollte möglichst in jedem Tick abgespeichert werden

- Laden eines Spielstandes soll einen konsistenten Zustand erzeugen
  => Alle GEs im Spielstand sollten gleich aktuell sein
  => Minimalziel Game State muss logisch konsistent sein
  (jede GE kommt nur einmal vor …)

Wichtige Einflussgrößen:

- Größe des Game States
- Anforderungen an Aktualität und Tick-Rate
- Rolle der Ladezeit beim Wiederherstellen
- Teil des Game States / Spielverlaufs der gesichert werden soll

Methoden für Replays und Save-Games

Save-Game/Replay: Lokale Datei, die Game State/Spielverlauf enthält.

State-Log:

Jede Game Entity wird in jedem Tick gesichert

⇒ Sequentielle Datei mit Folge von Game States

Beispiel: Demo-Files von Quake/Halflife/Counterstrike
(geparsed und in XML transformiert) (Bachelorarbeit: J. Rummel 2011)

```
<replay path=" c:\data ncsdemos n dus t210 .dem“ duration=" 3379,459 " noOfRounds="39”
   mapname="dedust2 " maxCl ients="16" serverName="HLTV.org/VeryGames .net">
 <rounds>
<roundnumber="1" roundBegin="0" roundEnd=" 40 ,496184 “  endingReason="Bombing" winner=" Terrorists">
<teamScore ct="2" t="1" />
 <ticks>
<ticktime="1"> . . . </tick>
<ticktime="2"> . . . </tick>
<ticktime="3">
<players>
<playerid=" 765611887383 " localName="q“ 15 team="Terrorist" kills="3" deaths="7“x=“680" y=“819" z="164“
 angle0="2" angle1="60" moveType=“" weaponModel="172„  modelIndex="149“  isHi t="Helmet" outOfAmmo="
Rifle" />
….
```

Diskussion State-Log

Vorteile:

- dokumentiert echte Folge von Game States
- Wahlfreier Einsprung zu jedem Zeitpunkt ist möglich
- Ladevorgang sehr einfach und schnell

Nachteile:

- bei geringer Änderungsrate sehr redundant
- großes Datenvolumen durch hohe zeitliche Auflösung (je Tick)
- max. Schreiblast => evtl. nicht auf große Game States anwendbar

Transition-Log

Logge alle Änderungen des Game States durch:

- Zeitstempel
- ID_GameEntity
- Attribut
- neuer Wert

Vorteil:

- kompakter als Snap-Shot

Nachteil:

- mehr Aufwand bei der Rekonstruktion des Game States
- Änderungen müssen beim Persistenz-System registriert werden

Action-Log

- enthält die zeitliche Abfolge aller Benutzereingaben
- benötigt das Spiel um Spielstände mittels der Benutzereingaben „nachzuspielen“
- Zufallsereignisse müssen gespeichert werden (Ergebnisse oder Zahlen)

Beispiel: Starcraft II (*.sc2replays Dateien) nach Parsing mit SC2gears (http://sites.google.com/site/sc2gears/)

```
0:00  TSLHyuN       Select Hatchery (10230)
0:00  TSLHyuN       Select Larva x3 (1027c,10280,10284), Deselect all
0:00  TSLHyuN       Train Drone
0:01  TSLHyuN       Train Drone
0:01  roxkisSlivko  Select Hatchery (10250)
0:01  roxkisSlivko  Select Larva x3 (10270,10274,10278), Deselect all
0:01  TSLHyuN       Select Drone x6 (10234,10238,1023c,10240,10244,10248), Deselect all
0:01  roxkisSlivko  Train Drone
0:01  TSLHyuN       Right click; target: Mineral Field (10114)
0:01  roxkisSlivko  Select Egg (10270), Deselect 1 unit
0:01  roxkisSlivko  Select Drone x6 (10254,10258,1025c,10260,10264,10268), Deselect all
0:01  roxkisSlivko  Right click; target: Mineral Field (10164)
0:01  TSLHyuN       Deselect 6 units
0:01  roxkisSlivko  Right click; target: Mineral Field (10164)
0:02  TSLHyuN       Right click; target: Mineral Field (10170)
0:02  roxkisSlivko  Deselect 6 units
….
```

Diskussion Action-Log

Vorteile:

- Speicherung kann kompakter sein
  (Action per Minute APM vs. Ticks per Second)
- keine Redundanz
- kann mehr Informationen enthalten als Game State

  => Benutzereingaben die den GS nicht verändert haben

  (z.B. Maus-Bewegungen, Anzeigen, …)

Nachteil:

- hoher Aufwand bei der Wiederherstellung des letzten Zustands
  durch Simulation des Spielverlaufs
- Prinzip wird schwierig bei hohem Anteil an Zufallselementen
- Computergesteuerte Spieler/Objekte:
  - erfordert deterministisches Verhalten
    (NPC Verhalten ist Teil des Spiels und kann ebenfalls nachsimuliert werden)
  - AI muss über dieselben Befehlsprimitive gesteuert werden wie menschliche Spieler

Spielstände in MMOs

Normale Spiele: „kleine“ Game States bei dezentraler Speicherung

⇒ lokale Clients schreiben dezentrale Spielstände in Dateien

Bei MMO-Games:

- kompletter und konsistenter Game State liegt nur beim Server vor
  => Persistenz muss zentral am Server realisiert werden
  => Bei Verbindungsverlust zählt der Zustand auf dem Server
- Game State ist wesentlich umfangreicher
  => Performanz beim Wegschreiben kann Game Loop bremsen
  => unstrukturiertes Abspeichern in einer Datei ist unpraktisch
  (selektives Laden von Spielern nach einem Login)
  => historische Information über Spielverlauf verursachen
  teils sehr große Datenvolumen

MMOGs und relationale Datenbanken

Verwaltung großer Mengen fest strukturierter Objekte

=> Verwendung einer relationalen Datenbank

Vorteile bei der Verwendung einer relationalen Datenbank:

- Datenbank übernehmen bestimmte Konsistenzprüfungen (keine Duplikate, …)
- Datenbanken unterstützen selektive Anfragen durch effiziente Index-Strukturen
- aktueller Game State steht direkt zur Verfügung
- Datenbanksysteme verfügen über eigene Recovery-Mechanismen

  (Absicherung gegen System- und Hardwarefehler)

Nachteile:

- strukturiertes Abspeichern und Vermeidung von Anomalien erhöhen die Bearbeitungszeiten von Änderungsoperationen

Persistenz über Log-Dateien

Schnelle Speicherung aller Änderungen im Game State

$\Rightarrow$ Logging mit sequentiellen Dateien

Vorteile:

- System hat kaum Overhead
- Schreiben ans Ende eines sequentiellen Files

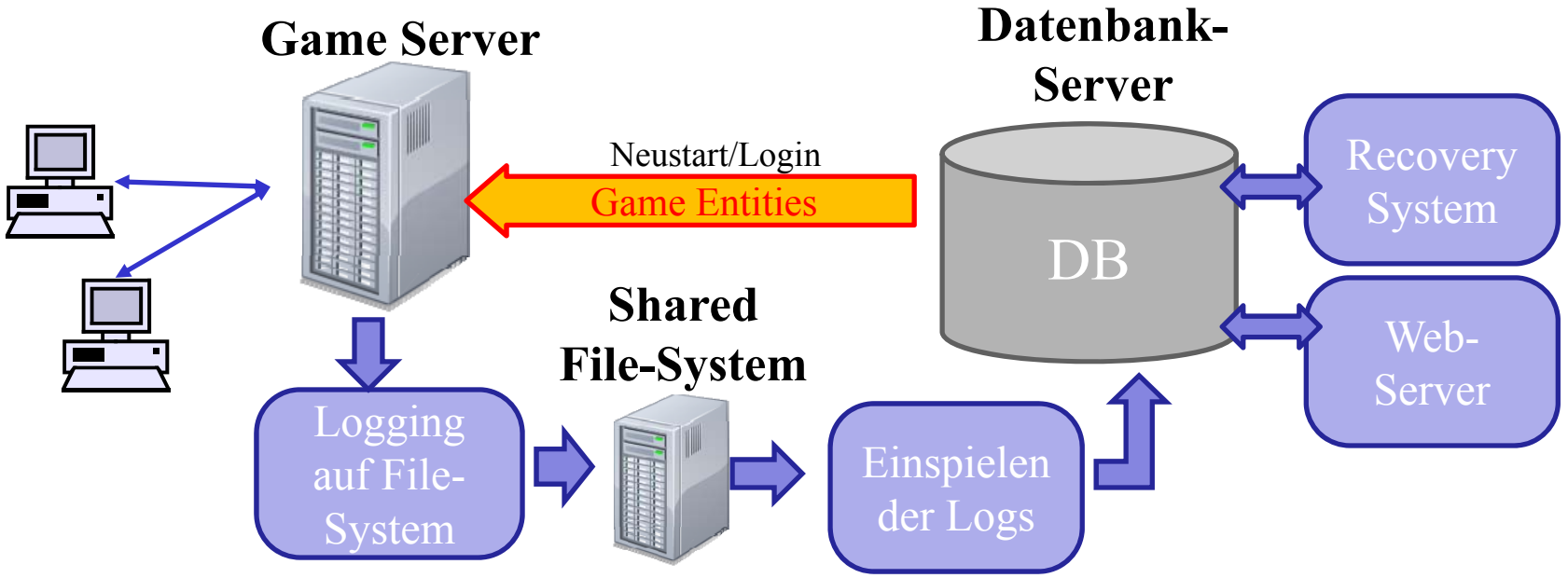
  $\Rightarrow$ minimale Wartezeiten

Nachteile:

- keine Sicherung bei Platten- oder Systemfehlern
- keine Unterstützung von selektiven Anfragen
- Laden des letzten konsistenten Game States erfordert eventuell Check-Point als Ausgangspunkt für relative Änderungen

Beispiel für eine Hybride Architektur

- Wegschreiben der Daten vom Game Server auf das Persistenzsystem über Logging-Verfahren => minimale Belastung der Tick-Zeiten
- Im Persistenz-Server: Einspielen der Log-Dateien in einen Datenbankserver
  - dauerhafte und sichere Speicherung von Game States
    - konsistente und redundanzfreie Version des Game States
    - mit Recovery Mechanismen (ggf. Remote-Sicherung)
  - vom Spiel entkoppelte Information für Anfragedienste (z.B. Armory, …)



Offene Punkte

- Welche Logging-Methode ist die beste für volatile Systeme?
  - Änderungsrate pro Objekte
    (Wie viele Objekte ändern sich in einem Tick?)
  - Komplexität der Änderungen

    (sind Aktionen kompakter als die resultierenden Attributsänderungen?)
  - Burstiness der Änderungen
    (Fallen Änderungen periodisch in großer Zahl an?)
- Was muss vom Game State gespeichert werden?
  - alle beweglichen Objekte
  - Zustände aller Spieler
  - räumliche Positionen von Spielern und Objekten
- Aktualität und Rückstand
  - Welche Aktionen müssen wie schnell gesichert werden?
    (Laufen vs. Looten)

Check-Point Recovery Verfahren für Spiele

- **Check-Point**: Konsistenter Zustand des Game States
- **Check-Point Phase:** Zeitraum, der benötigt wird um einen Check-Point zu erstellen.
- **Ziel**: Wegschreiben des Game State mit minimalem Zeitaufwand im Game Loop
  => Minimale Auswirkung auf Latenz
- **Idee**: Speichere Informationen nicht direkt, sondern kopiere alle Informationen zunächst in einen Schattenspeicher
  - ⇒ Daten im Schattenspeicher werden nicht mehr durch Aktionen verändert
  - ⇒ Game Loop braucht nicht auf das IO-System zu warten
    (Verwendung eines asynchronen Schreibe-Threads)
  - ⇒ Schreiben kann mehrere Ticks dauern, Persistenzsystem hängt etwas hinterher
- **Unterscheidung der Strategien nach**:
  - Bulk-Copies vs. selektives Kopieren
  - Locking von Einzel-Objekten
  - Rücksetzen von Dirty-Bits
  - Speicherverbrauch

Naive-Snapshot

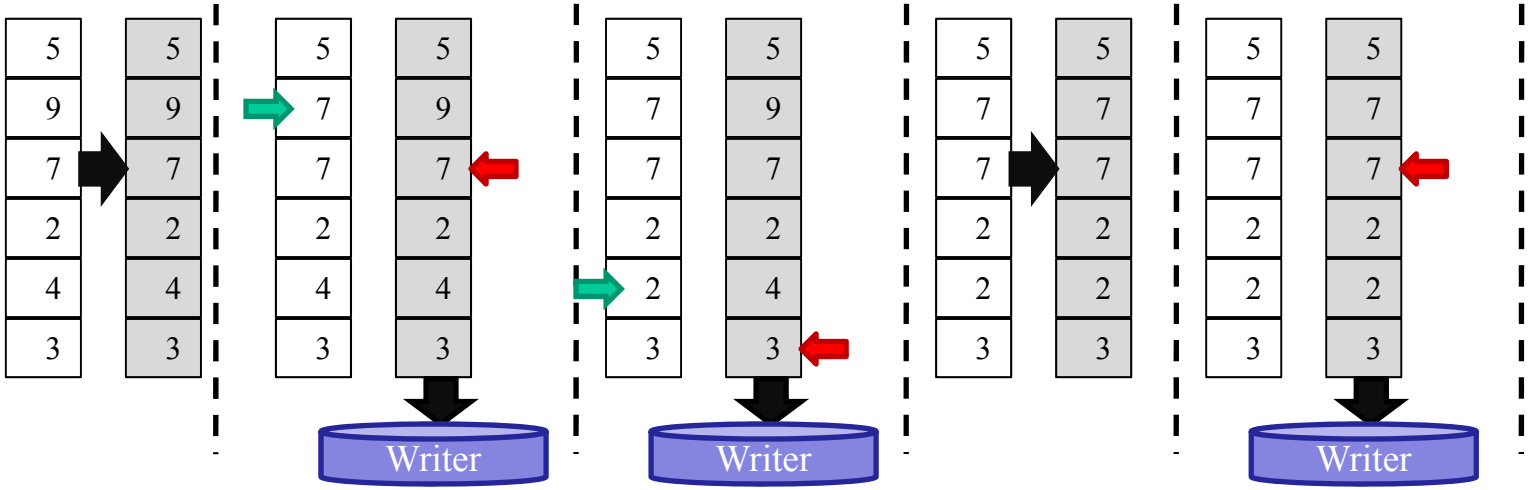
- Sofern Schreibe-Thread mit dem letzten Check-Point fertig ist,
  kopiere am Tick-Ende den gesamten Game State in den Schattenspeicher
- nach Ende der Kopie startet der nächste Tick und der Schreibe-Thread schreibt den kopierten Game State aus dem Schattenspeicher

Vorteile:

- kein Overhead durch Locking oder Bit-Resets
- Effizient bei sehr vielen Änderungen

Nachteile:

- bei begrenzten Änderungen viel Overhead beim Kopieren und Schreiben
- periodisch sehr viel Aufwand in Ticks an denen Game State kopiert wird



Copy-On-Update

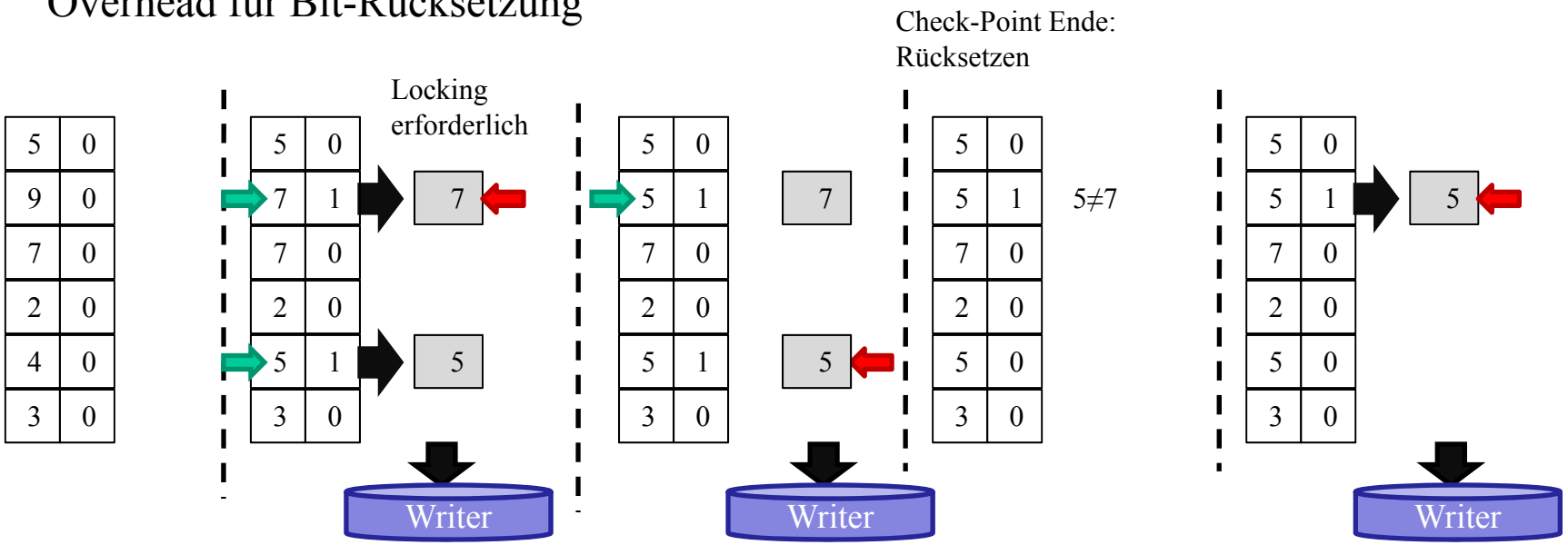
- Objekte werden bei Änderung in den Schattenspeicher kopiert und markiert (Dirty-Bits)
- Objekte werden pro Phase nur 1 Mal kopiert
- nachdem Check-Point geschrieben wurde, werden Markierungen zurückgesetzt

Vorteil:

- weniger Änderungsvolumen
- bessere Umverteilung der Kopien auf mehrere Ticks

Nachteile:

- erfordert Locking, damit nicht gleichzeitig geändert und kopiert wird
- Overhead für Bit-Rücksetzung



Wait-Free Zigzag

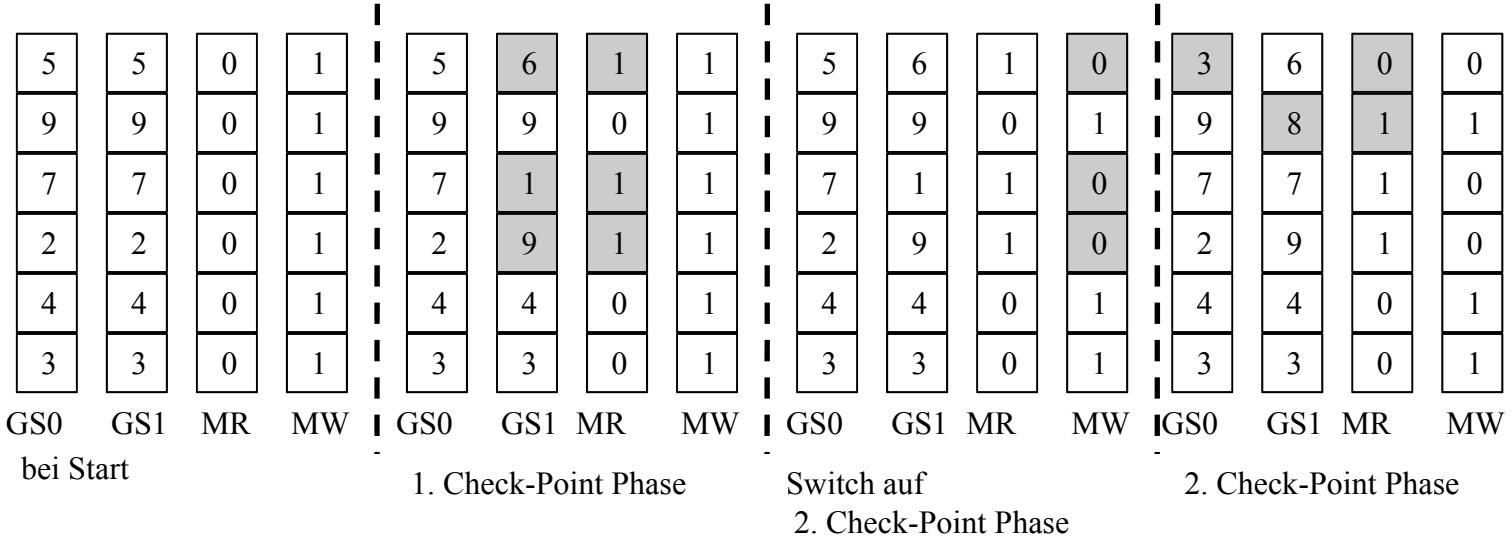
- jedes Objekt hat 2 Flags, die auf einen GS zeigen:
  MW (Schreibe-State) und MR (Lese-State) für Aktionsverarbeitung
- Eintrag in GS[MW]wird während der Phase nicht geändert
- Bei Änderung wird MR auf MW gesetzt
- Writer-Thread liest jeweils das Element aus GS[$\neg MW_i$] für Objekt i

Vorteil:

- kein Locking notwendig
- Änderung können über die Zeit hinweg verteilt geschrieben werden

Nachteil:

- benötigt immer noch Switch-Phase mit Bit-Rücksetzungen



Wait-Free Ping-Pong

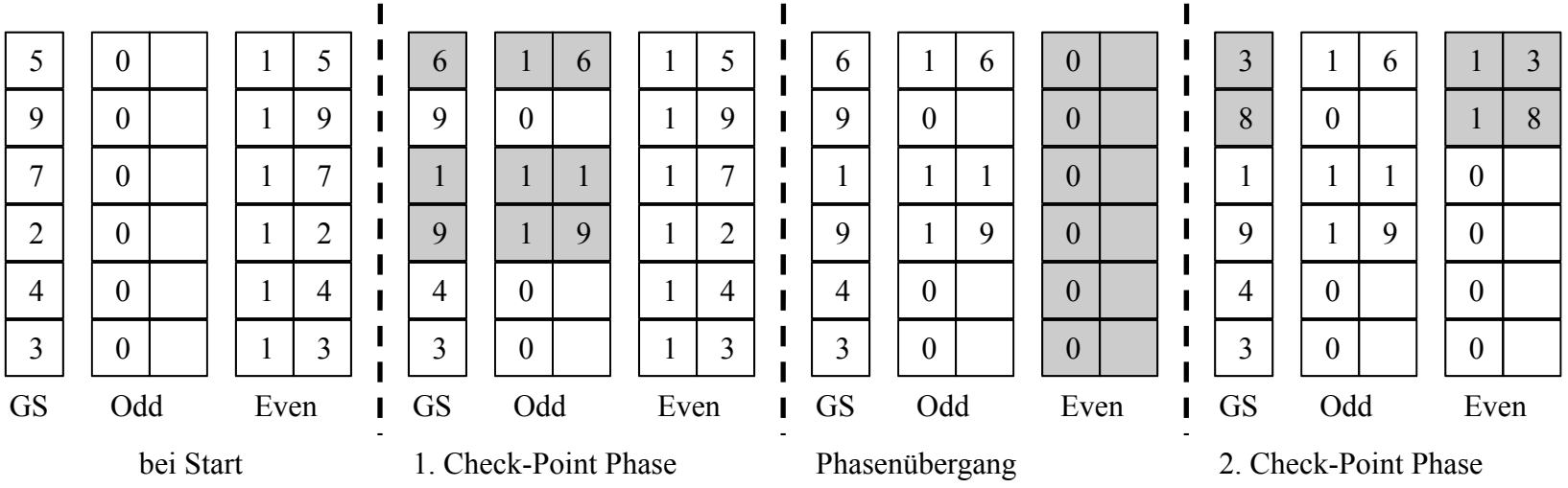
- Verwendung von 3 Game States:
  Aktionsverwaltung (GS), Peristenz-System (read), Persistenz-System (write) (odd oder even)
- Update erfolgen immer in GS und Persistenz-System (write)
- Writer-Thread liest Persistenz-System (read)
- bei Phasenwechseln vertauschen von Persistenz-System (write) und Persistenz-System (read)

Vorteil:

- weder Locking noch Bit-Rücksetzungen beim Phasenwechsel

Nachteil:

- dreifacher Speicherbedarf statt bisher nur doppelter



Diskussion

- Naive-Snapshot ist bei sehr volatilen Systemen mit vielen Änderungen am einfachsten umzusetzen
- Je weniger Änderungen auftreten, desto vorteilhafter werden die übrigen Verfahren
- Wait-Free Ping-Pong und Wait-Free Zig-Zag verhindern Locking der Game Entities durch das Persistenzsystem
- Wait-Free Zig-Zag reduziert sogar den Overhead beim Phasenwechsel, verbraucht aber extrem viel Speicher

Lernziele

- Aufgaben des Persistenzsystems
  - Speicherung eines Game States
  - Speicherung einer Folge von Game States (Replay)

- Arten von Save-Games und Replays:
  State-Log, Transition-Log, Action-Log

- Persistenz in MMOs:
  Datenbanken, Logging und Hybride Architekturen

- Check-Point Recovery Verfahren für MMOs
  - Naive-Snap Shot
  - Copy-on-update
  - Wait-Free Zigzag
  - Wait-Free Ping-Pong

Literatur

- Tuan Cao, Marcos Vaz Salles, Benjamin Sowell, Yao Yue, Alan Demers, Johannes Gehrke, Walker White
  Fast checkpoint recovery algorithms for frequently consistent applications
  In Proceedings of the 2011 International Conference on Management of Data, 2011.

- Marcos Antonio Vaz Salles, Tuan Cao, Benjamin Sowell, Alan J. Demers, Johannes Gehrke, Christoph Koch, Walker M. White
  An Evaluation of Checkpoint Recovery for Massively Multiplayer Online Games
  PVLDB, 2(1): 1258-1269, 2009.

- Kaiwen Zhang, Bettina Kemme, and Alexandre Denault. 2008. **Persistence in massively multiplayer online games**. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Workshop on Network and System Support for Games* (NetGames '08), ACM, New York, NY, USA, 53-58.