Überblick

Zeit in verteilten Systemen

- Ist Ereignis A auf Knoten X passiert bevor B auf Y passiert ist?
  Beispiele: Internet-Auktion, Industrie-Steuerungen, ...
- Prinzipiell keine konsistente Sicht auf Gesamtsystem möglich
  - Unabhängigkeit von Ereignissen
  - Informationsaustausch mit Latenzen verbunden
- $\Rightarrow$ Nur näherungsweise Lösungen möglich
- Bestes Verfahren abhängig von Einsatzgebiet und notwendigen Eigenschaften

Echtzeit-basierte Uhren

- Nachrichten mit Zeitstempel lokaler, physikalischer Uhren versehen
  - Einfach zu implementieren
  - Wenig Kommunikationsaufwand
  - Ohne Synchronisation: Zunehmende Abweichungen
- Nutzung eines gemeinsamen Zeitsignals
  - Auflösung beschränkt
  - Schwierig über größere Entfernungen
    Ausbreitungsgeschwindigkeit ≈ 20 cm/ns, $\frac{1}{1\text{GHz}} = 1\text{ns}$
- Relative Zeitunterschiede
- Keine Darstellung kausaler Zusammenhänge
  $\Rightarrow$ Verwendung **logischer Uhren**

Logische Uhren

- **Grundidee:** Kausale Zusammenhänge entstehen durch gegenseitige Beeinflussung, d.h. Nachrichtenaustausch in verteiltem System
- **Modell:** Untereinander kommunizierende Prozesse P_i versehen auftretende Ereignisse a mit logischem Zeitstempel $C_i\langle a\rangle$
- **Uhrenbedingung**: Wenn Ereignis b aufgrund von a aufgetreten ist $(a \rightarrow b)$, muss die Relation $C_i\langle a\rangle < C_j\langle b\rangle$ gelten
- Eigenschaften: transitiv, asymmetrisch $\Rightarrow$ Striktordnung
- Umkehrschluss **nicht** möglich: Aus $C_i\langle a\rangle < C_j\langle b\rangle$ folgt nicht $a \rightarrow b$!
- Erweiterte Ansätze können zusätzliche Eigenschaften garantieren
  - Totalordnung
  - Zuverlässige Unterscheidung abhängiger Ereignisse ($\rightarrow$ Vektoruhr)

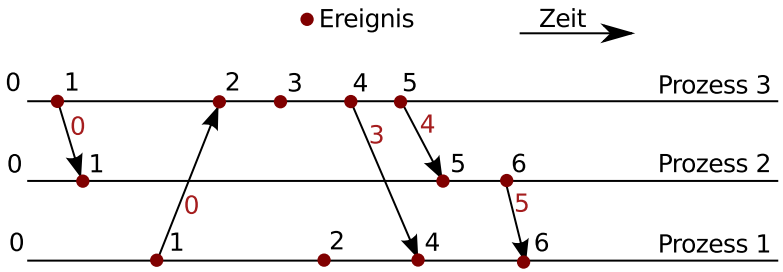
Uhrenbedingung von Lamport

- Uhrenbedingung im Kontext von kommunizierenden Prozessen:
  1. Aufeinanderfolgende Ereignisse innerhalb eines Prozesses erhalten streng monoton steigende Zeitstempel
  2. Senden einer Nachricht muss vor deren Empfang passiert sein, daher muss $C_i\langle Senden\rangle < C_j\langle Empfang\rangle$ gelten

- Regeln für **Implementierung**:
  1. Die logische Uhr C_i eines Prozesses P_i muss zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen immer inkrementiert werden
  2. Wird eine Nachricht von Prozess P_j empfangen und deren Zeitstempel $C_i\langle Senden\rangle$ ist größer oder gleich dem Wert der Uhr C_j des Prozesses P_j, muss die Uhr auf einen Wert größer $C_i\langle Senden\rangle$ erhöht werden.

Uhrenbedingung von Lamport

- Kein genereller Zusammenhang mit Ablauf physikalischer Zeit
  - Kein gleichmäßiger Verlauf
  - Abfolge von Ereignissen nach logischer Zeit nicht zwangsläufig identisch mit physikalischem Auftreten



Erweiterungen Lamport-Uhr

- Für viele Anwendungen Totalordnung wünschenswert
  - Wenn Zeitstempel $C_i\langle a\rangle$ und $C_j\langle b\rangle$ gleich, gilt weder $C_i\langle a\rangle < C_j\langle b\rangle$, noch $C_j\langle b\rangle < C_i\langle a\rangle$
  - Beliebiges **determiniertes** Verfahren zur Festlegung möglich
  - Am einfachsten: Global eindeutige Prozess-ID entscheidet
  - Keine Beeinflussung der Aussage bezüglich kausaler Zusammenhänge

- Implementierung von Relationen in Java mittels `Comparable`

```
public interface Comparable<T> {
  public int compareTo(T obj);
}
```

- Methode `compareTo()` liefert Zahl abhängig von Relation

  Negativ : `this` $<$ `obj`
  0 : `this` $=$ `obj`, entspricht `equals()`
  Positiv : `this` $>$ `obj`

Synchronisation in verteilten Systemen

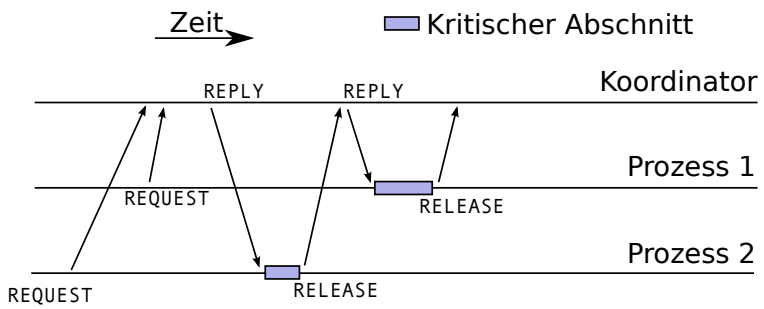
- Koordination von Zugriffen auf gemeinsame Betriebsmittel in verteilten Systemen notwendig

- Verschiedene Möglichkeiten:
  - Zentraler Koordinator
  - Koordination untereinander

- Exklusiver Zugriff äquivalent zur Bestimmung totaler Ordnung: Einigung auf Reihenfolge der Zuteilung der Ressource

Zentraler Koordinator

- Zentraler Prozess ist zuständig für Koordination
- Anfragen werden geordnet und in Reihenfolge freigegeben
- Nachrichtenfolge: `REQUEST`, `REPLY`, `RELEASE`



Lock-Protokoll von Lamport

- **Idee:** Ausnutzen der Totalen Ordnung über Zeitstempel von logischer Uhr bezüglich Lock-Anfragen
- Voraussetzungen:
  - FIFO-Protokoll: Nachrichten eines Absenders müssen immer in der Reihenfolge ankommen in der sie abgeschickt wurden
  - Zuverlässiger Nachrichtenkanal
  - Toleriert ohne weitere Maßnahmen keine Ausfälle
- Ablauf:
  1. `REQUEST` via Broadcast an alle Prozesse versenden
  2. Warten bis eigene Anfrage vorne in der Warteschlange steht **und** kein anderer Prozess sich vor dem eigenen Eintrag einreihen kann
  3. Kritischen Abschnitt ausführen
  4. Broadcast der `RELEASE`-Nachricht zum Freigeben des Locks

Lock-Protokoll von Lamport

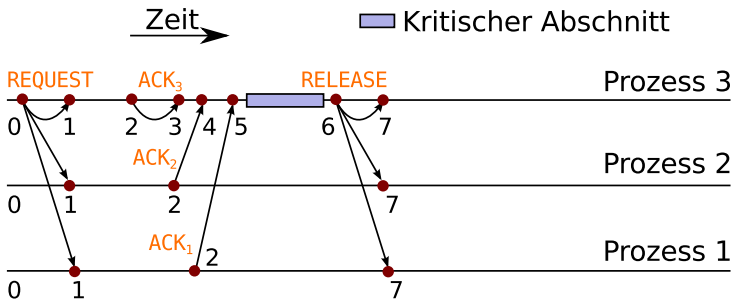
- Warteschlangenverwaltung:
  - Einreihen von eingehenden `REQUEST`-Nachrichten (auch selbst gesendete)
  - Sortierung nach totaler Ordnung über Zeitstempel logischer Uhr
  - Entfernen des kleinsten Elements bei Empfang von `RELEASE` (auch selbst gesendete)
- Einreihen vor eigenem Eintrag nicht mehr möglich wenn von allen Prozessen bereits Nachricht mit größerem Zeitstempel als der eigene `REQUEST` empfangen wurden
  - $\Rightarrow$ Merken des jeweils zuletzt empfangenen Zeitstempels je Prozess
  - FIFO-Eigenschaft garantiert streng monotonen Anstieg

Lock-Protokoll von Lamport

- Empfang einer `REQUEST`-Nachricht von anderem Prozess muss zudem mit `ACK`-Nachricht an Absender quittiert werden
  - Notwendig um Fortschritt zu garantieren
  - Dient lediglich Erhöhung und Übermittlung logischer Uhr
  - Bestätigung durch Nachrichtenaustausch auf Anwendungsebene implizit möglich
- Eigenschaften:
  - `RELEASE`-Nachrichten sind total geordnet
  - Erweiterungsmöglichkeiten bezüglich Fehlertoleranz, da `REQUEST`-Warteschlange implizit repliziert
  - Geringe Latenzen bei häufig beanspruchten Locks
  - Allerdings größeres Nachrichtenaufkommen als bei zentralem Koordinator

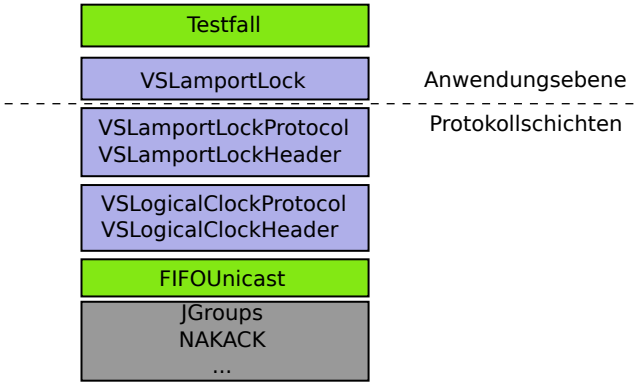
Lock-Protokoll von Lamport

- Beispiel:



Protokollstapel

- Grundlage für die zu implementierenden Protokollschichten bildet Basis mit FIFO-Garantien
  - JGroups NAKACK garantiert FIFO **nur** bezüglich Broadcast-Nachrichten
  - ⇒ Bereitgestellte `FIFOUnicast` erfüllt Eigenschaft
- Zu implementieren: Schichten für verteilte Synchronisation zwischen FIFO-Protokoll und Anwendung



Lock-Protokoll: Benutzerschnittstelle

- Implementierung in zwei Teilen: Benutzerschnittstelle und Protokollschicht
- Benutzerschnittstelle bietet Anwendungen blockierenden `lock()`-Aufruf und `unlock()` zum Entsperren
- Implementierung des blockierenden Verhaltens durch lokale Semaphore oder `wait()`/`notify()`
- Interaktion mit `VSLamportLockProtocol` mittels Suchen der Klasse im Protokollstack und Registrieren des Objekts für Rückrufe

```
JChannel channel;
VSLamportLockProtocol myLockProtocol =
  (VSLamportLockProtocol)channel.getProtocolStack()
  .findProtocol(VSLamportLockProtocol.class);
```


Lock-Protokoll: Protokollschicht

- Implementierung in Klasse `VSLamportLockProtocol`
- Trennung Protokoll-interner Nachrichten von Nachrichten für höhere Protokollschichten
  - Header zur Unterscheidung
  - Senden interner Nachrichten durch Aufruf von `down_prot.down()` aus `up()` heraus
  - Interne Nachrichten nicht an höhere Schichten weiterreichen ⇒ `return null;`
- Eigene `RELEASE`-Nachrichten beim Freigeben des Locks sollten lokal und synchron aus der Warteschlange entfernt werden, da es sonst zu Problemen bei schnell aufeinanderfolgenden Lock-Anforderungen kommt

Logische Uhr

- Implementierung in Klasse `VSLogicalClockProtocol`
- Zeitstempel werden in Form von Header an *jede* gesendete Nachricht angefügt
- Protokollschichten können nebenläufig ausgeführt werden, daher ist Synchronisation notwendig!
  - Nachrichten können sich auch innerhalb des Protokollstacks überholen
- Statische Methode `getMessageTime()` soll Extrahieren des Zeitstempels aus einer Nachricht ermöglichen

Test-Anwendung

- Bereitgestellte Anwendung erlaubt einfaches Testen der Implementierung
- Konfiguration wie bei Übungsaufgabe 5:
  - Zu verwendende Rechner in Datei `my_hosts` ablegen
  - Start im CIP-Pool mit `distribute.sh`
  - Skripte müssen im Basisverzeichnis der eigenen Paket-Hierarchie abgelegt werden (Eclipse: `bin`-Verzeichnis)
- Zwei verschiedene Testfälle:

  Einfacher Fall (Aufruf ohne Parameter) :
  - In Endlosschleife Beantragen und Freigeben
  - Darf nicht stehen bleiben

  Komplexer Fall (mit Parameter `fancy`) :
  - Gegenseitiges Umbuchen von Beträgen zwischen Konten
  - Summe darf sich nicht ändern („Sum is“)
  - Darf nicht stehen bleiben

Quellenangaben

Leslie Lamport.
Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system.
Commun. ACM, 21:558–565, July 1978.