

Zeit

Motivation

Network Time Protocol (NTP)

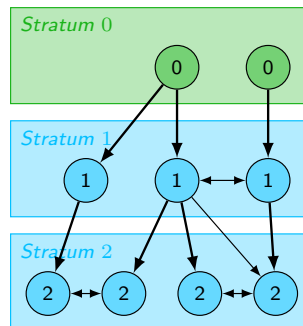
Logische Uhren

- Zeit als Mittel zur Reihenfolgebestimmung (Beispiele)
 - Erkennung von Modifikationen an Dateien (z. B. bei `make`)
 - Protokollierung von Ereignissen zu Debugging-Zwecken
- Problem: Völlig identische physikalische Uhren existieren nicht
 - Unterschiedliche Offsets bei der Initialisierung
 - Abweichende Ganggeschwindigkeiten (Frequenzfehler)
 - Umgebungseinflüsse (z. B. Bauteilalterung, Temperaturschwankungen)
- Beobachtungen in Bezug auf verteilte Systeme
 - Regelmäßige Synchronisierung von Uhren erforderlich
 - Physikalische Zeitstempel für manche Anwendungsfälle zu grobgranular
- Herausforderungen
 - Wie lassen sich physikalische Uhren möglichst präzise synchronisieren?
 - Wie können Ereignisse ohne physikalische Zeitstempel geordnet werden?

Network Time Protocol (NTP)

■ Network Time Protocol (NTP)

- Genauigkeit
 - Lokales Netz < 1 ms
 - Weitverteiltes Netz ~ 10 ms
- Implementierung
 - Einsatz von 64-Bit-Zeitstempeln
 - Kommunikation per UDP
- Zusammenschluss von Referenz-Servern auf mehreren Hierarchiestufen (*Strata*)
 - Stratum 0 Zeitgeber (z. B. Atomuhren)
 - Stratum 1 Primäre NTP-Server
 - Stratum $i > 1$ Abhängige NTP-Server
- Fehlertoleranz durch Interaktion mit mehreren Referenz-Servern

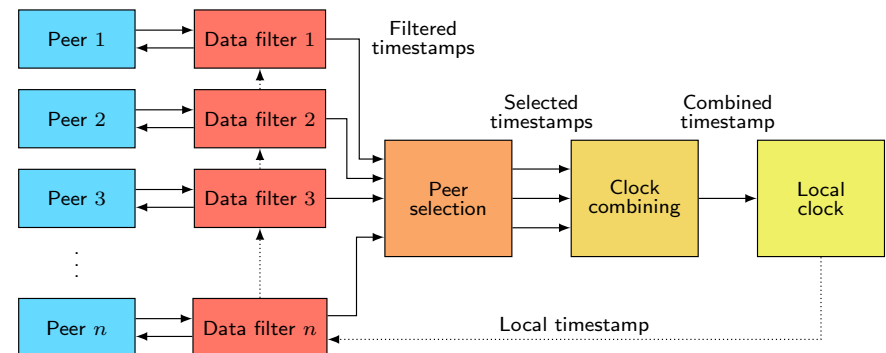


■ Literatur

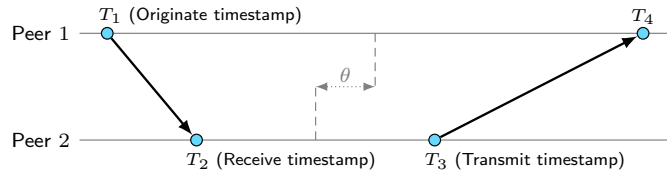
David L. Mills
Internet time synchronization: The network time protocol
IEEE Transactions on Communications, 39(10):1482-1493, 1991.

Architektur

- Austausch von Zeitstempeln mit mehreren Referenz-Servern (*Peers*)
- Verarbeitung von Zeitstempeln
 - Bestimmung eines Referenzzeitstempels pro Peer durch Filterung
 - Auswahl (vermeintlich) präziser Peers
 - Kombination der selektierten Informationen
- Aktualisierung des Regelmechanismus der lokalen Uhr



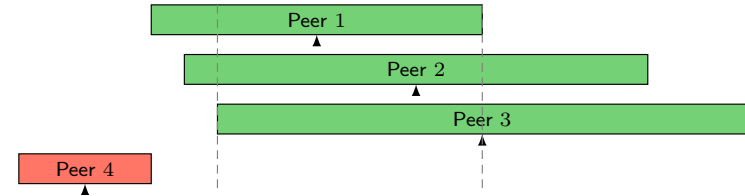
- Durchführung von Messungen
 - Weitergabe von Zeitstempeln per Nachrichtenaustausch zwischen Peers
 - Bestimmung der Nachrichtenlaufzeit $\delta = (T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)$
 - Abschätzung der Uhrenabweichung
 - Offset zwischen zwei Uhren: $\theta = \frac{T_2 + T_3}{2} - \frac{T_1 + T_4}{2}$
 - Exakter Wert, falls Laufzeiten in beide Richtungen identisch
 - Maximaler Fehler bei asymmetrischen Laufzeiten: $\frac{\delta}{2}$



- Filterung von Messwerten für jeden Peer
 - Betrachtung der letzten 8 Wertpaare (δ, θ)
 - Bevorzugung von Messergebnissen mit kürzeren Nachrichtenlaufzeiten
 - Benachteiligung älterer Werte bei Abschätzung von Messfehlern



- Auswahl präziser Peers
 - Trennung genauer Knoten („truechimers“) von ungenauen („falsetickers“)
 - Berücksichtigung von Messfehlern durch Einsatz von Konfidenzintervallen
 - Suche nach einem Intervall X mit folgenden Eigenschaften
 - X ist vollständig in jedem Konfidenzintervall genauer Knoten enthalten
 - X enthält alle Mittelpunkte der Konfidenzintervalle genauer Knoten
 - Abbruch, falls weniger als die Hälfte der Knoten als „genau“ eingestuft



- Kombination der ausgewählten Zeitstempel
 - Bevorzugung von Peers mit kleinem Stratum
 - Berechnung eines gewichteten Mittelwerts der Offsets selektierter Peers



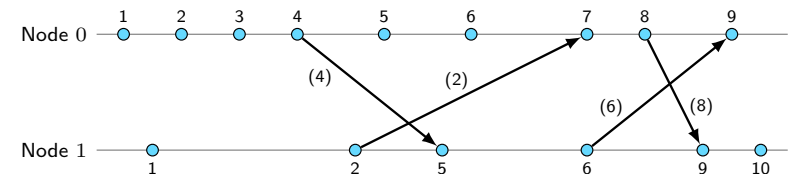
- Problemstellung
 - Erstellung einer Ordnung auf Ereignisse in einem verteilten System
 - Annahme: Physikalische Zeitstempel zu ungenau
- Lösungsansatz: Einsatz von *logischen Uhren*
 - Einführung einer „ereignete sich vor“-Relation „ \rightarrow “ („happened before“)
 - Bedingungen für verschiedene Ereignisse a, b und c
 - Falls sich a auf demselben Knoten wie b und vor b ereignete, dann $a \rightarrow b$
 - Falls a das Senden einer Nachricht ist und b ihr Empfang, dann $a \rightarrow b$
 - Falls $a \rightarrow b$ und $b \rightarrow c$ gilt, dann muss auch $a \rightarrow c$ gelten
 - Ereignisse a und b sind *nebenläufig*, falls $a \not\rightarrow b$ und $b \not\rightarrow a$ gilt
 - Praktische Umsetzung in Form von *Lamport-Uhren*

Literatur

Leslie Lamport
Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system
Communications of the ACM, 21(7):558-565, 1978.



- Annahmen
 - Jeder Knoten i im System verfügt über einen Zähler C_i („Uhr“)
 - Relevante Ereignisse: Versand/Empfang von Nachrichten, lokale Aktionen
- Algorithmus
 - Lokale Aktionen führen jeweils zur Erhöhung des Zählers um 1
 - Ereignis s : Versand einer Nachricht durch Knoten i
 1. Erhöhung des Zählers $C_i := C_i + 1$
 2. Hinzufügen eines Sendezeitstempels $C\langle s \rangle := C_i$ zur Nachricht
 - Ereignis e : Empfang einer Nachricht mit Zeitstempel $C\langle s \rangle$ auf Knoten j
 1. Ermittlung eines Empfangszeitstempels $C\langle e \rangle := \max(C_j, C\langle s \rangle) + 1$
 2. Setzen der lokalen Uhr auf $C_j := C\langle e \rangle$



Eigenschaften

- Erzeugung einer **partiellen** Ordnung auf der Menge aller Ereignisse
- Existenz von „gleichzeitigen“ Ereignissen möglich
- Zeitstempel (potentiell) kausal abhängiger Ereignisse
 - Annahme: Ereignis a hat Ereignis b beeinflusst
 - Folge: $C\langle a \rangle < C\langle b \rangle$
- Kein Umkehrschluss von Zeitstempeln auf kausale Abhängigkeit möglich
 - Annahme: Für zwei Zeitstempel $C\langle c \rangle$ und $C\langle d \rangle$ gilt $C\langle c \rangle < C\langle d \rangle$
 - Ereignis d kann von c (potentiell) beeinflusst worden sein oder auch nicht

Erstellung einer **totalen** Ordnung

- Vergabe einer eindeutigen ID i für jeden beteiligten Knoten
- Zeitstempel (C_i, i) : Kombination aus lokaler Zeit und Knoten-ID
- Anordnung: $(C_i, i) < (C_j, j) \Leftrightarrow C_i < C_j \vee (C_i = C_j \wedge i < j)$
- Anwendungsbeispiel: *Lamport-Locks* [Siehe 6. Übungsaufgabe]



Problem bei Lamport-Uhren

- Nutzung derselben Zeitlinie durch alle beteiligten Knoten
- Zeitstempel lassen keine Rückschlüsse auf mögliche Zusammenhänge zu

Vektoruhren

- Erweiterung des Lamport-Uhren-Prinzips
- Verwaltung einer eigenen Zeitlinie für jeden beteiligten Knoten

Literatur

Colin J. Fidge
Timestamps in message-passing systems that preserve the partial ordering
Proceedings of the 11th Australian Computer Science Conference (ACSC '88), S. 55-66, 1988.

Friedemann Mattern
Virtual time and global states of distributed systems
Parallel and Distributed Algorithms, 1(23):215-226, 1989.

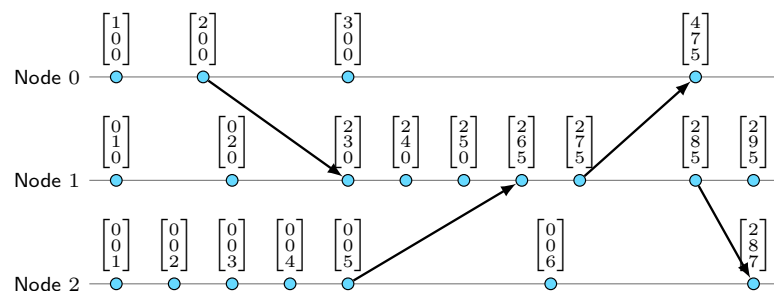


Annahmen

- N ist die Anzahl der Knoten im System
- Jeder Knoten i verfügt über einen Zähler-Vektor \vec{C}_i der Länge N

Hauptunterschiede zu Lamport-Uhren

- Ereignisse auf Knoten i führen zur Erhöhung des i -ten Zählers $\vec{C}_i[i]$
- Komponentenweise Kombination von Zeitstempeln bei Empfang von $\vec{C}\langle s \rangle$
 - $\vec{C}_i[i] := \vec{C}_i[i] + 1$
 - $\vec{C}_i[x] := \max(\vec{C}_i[x], \vec{C}\langle s \rangle[x])$ für $0 \leq x \neq i < N$



Vergleich von Vektoruhren

- Einführung einer „ist kleiner als“-Relation „ \prec “ für Vektoruhren
- $\vec{C}_i \prec \vec{C}_j \Leftrightarrow (\forall x : \vec{C}_i[x] \leq \vec{C}_j[x]) \wedge (\exists x : \vec{C}_i[x] < \vec{C}_j[x])$

Identifizierung (potentiell) kausal abhängiger Ereignisse möglich

- $\vec{C}\langle a \rangle \prec \vec{C}\langle b \rangle$ Ereignis b wurde eventuell von Ereignis a beeinflusst
- $\vec{C}\langle a \rangle \not\prec \vec{C}\langle b \rangle$ Ereignisse a und b sind unabhängig voneinander

Bestimmung der **kausalen Vergangenheit** eines **Ereignisses**

