

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)

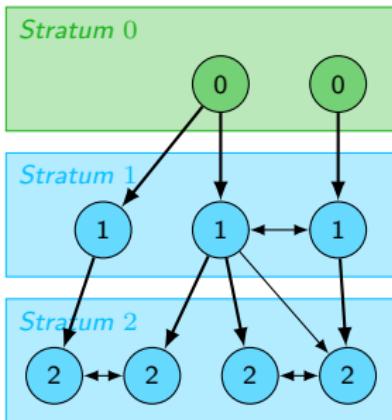
- Network Time Protocol (NTP)
 - Genauigkeit
 - Lokales Netz < 1 ms
 - Weitverteiltes Netz ~ 10 ms
 - Implementierung
 - Einsatz von 64-Bit-Zeitstempeln
 - Kommunikation per UDP
 - Zusammenschluss von Referenz-Servern auf mehreren Hierarchiestufen (*Strata*)
 - Stratum 0 Zeitgeber (z. B. Atomuhren)
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



David L. Mills

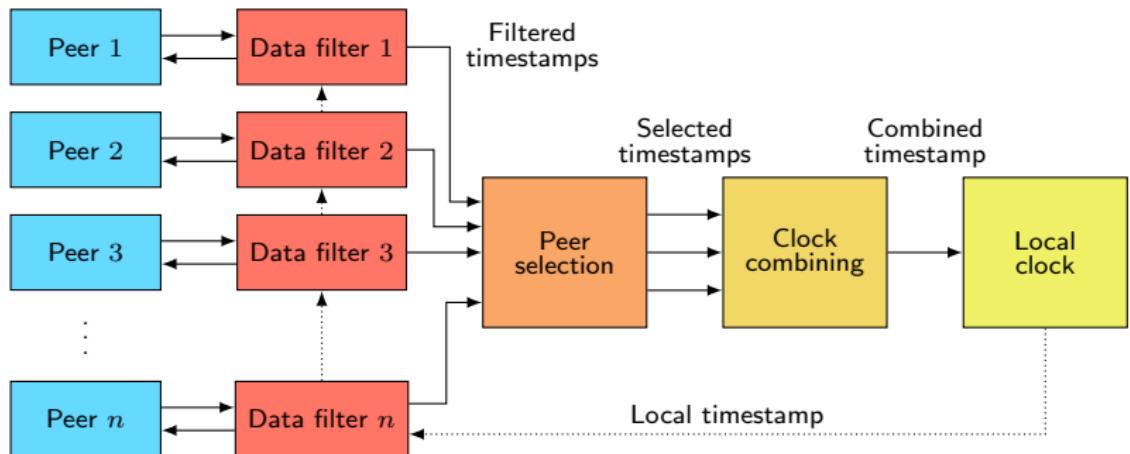
Internet time synchronization: The network time protocol

IEEE Transactions on Communications, 39(10):1482–1493, 1991.



Architektur

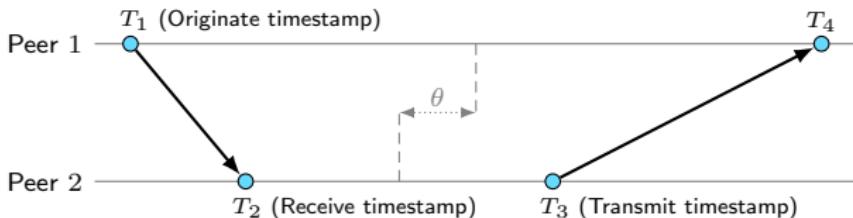
- Austausch von Zeitstempeln mit mehreren Referenz-Servern (*Peers*)
- Verarbeitung von Zeitstempeln
 - Bestimmung eines Referenzzeitstempels pro Peer durch Filterung
 - Auswahl (vermeintlich) präziser Peers
 - Kombination der selektierten Informationen
- Aktualisierung des Regelmechanismus der lokalen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



Sammlung und Aufbereitung von Messdaten

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

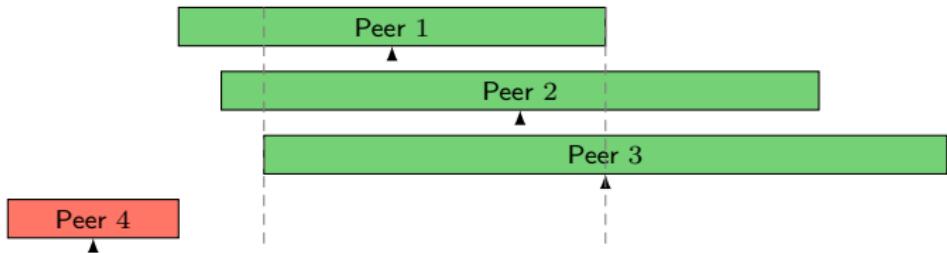
- Betrachtung der letzten 8 Wertpaare (δ, θ)
- Bevorzugung von Messergebnissen mit kürzeren Nachrichtenlaufzeiten
- Benachteiligung älterer Werte bei Abschätzung von Messfehlern



Auswahl und Kombination von Messdaten

■ Auswahl präziser Peers

- Trennung genauer Knoten („*truechimers*“) von ungenauen („*falsestickers*“)
- 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.

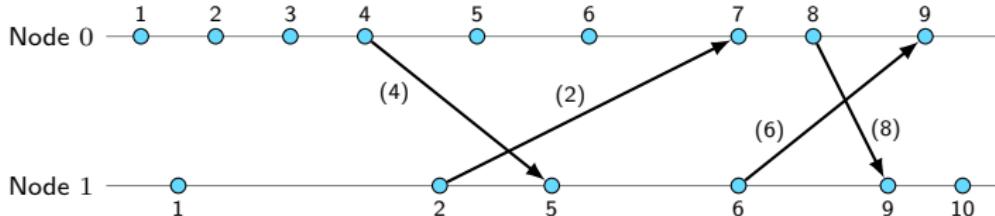


■ Annahmen

- 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 $C(s) := C_i$ zur Nachricht
- Ereignis e : Empfang einer Nachricht mit Zeitstempel $C(s)$ auf Knoten j
 1. Ermittlung eines Empfangszeitstempels $C(e) := \max(C_j, C(s)) + 1$
 2. Setzen der lokalen Uhr auf $C_j := C(e)$



■ 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: $C(a) < C(b)$
- Kein Umkehrschluss von Zeitstempeln auf kausale Abhängigkeit möglich
 - Annahme: Für zwei Zeitstempel $C(c)$ und $C(d)$ gilt $C(c) < C(d)$
 - 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.

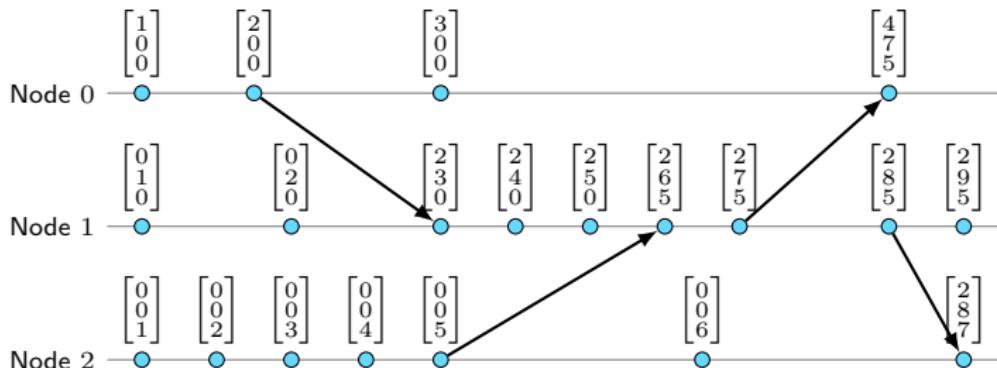


- Annahmen

- 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 $\vec{C}(s)$
 - $\vec{C}_i[i] := \vec{C}_i[i] + 1$
 - $\vec{C}_i[x] := \max(\vec{C}_i[x], \vec{C}(s)[x])$ 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**

