

Übung Sensornetze – (für 27. Januar 2005)

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 18: Signallaufzeiten

Eine Kirchturmglöcke wird von einer digital gesteuerten Mechanik exakt zur vollen Stunde geläutet. Wieviel später ist es zum Zeitpunkt des Eintreffens des jeweils ersten Glockenschlages bei einem 2 km entfernten Sensorknoten, wenn sich Schall mit 300 Meter/Sekunde ausbreitet?

Im zweiten Szenario befindet sich der Knoten in Europa und kann die Funkuhr der 1800km entfernten Physikalisch-Technischen Bundesanstalt empfangen. Funksignale breiten sich mit etwa 300.000 km/s aus. Wie groß ist die Verzögerung hier?

Lösung:

$$\frac{2000 \text{ m}}{300 \text{ m/s}} \approx 6,667 \text{ s}$$

Es ist eine Verzögerung von 6,667 Sekunden zu erwarten.

$$\frac{1800 \text{ km}}{300000 \text{ km/s}} \approx 6 \text{ ms}$$

Die Verzögerung beträgt 6 ms. Man kann also nicht grundsätzlich sagen, dass die Verzögerung auf der Funkstrecke keinen Einfluss hat.

Übung Sensornetze – (für 27. Januar 2005)

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 19: Referenz Broadcast Synchronization

Ein Knoten A empfängt das letzte akustische Synchronisationssignal 2000 ms (Millisekunden) nach seiner Initialisierung. Zum Zeitpunkt 2100 ms detektiert er ein Ereignis.

Zum Zeitpunkt 3400 ms bekommt A von B die Nachricht, dass B zum Zeitpunkt 1700 ms nach seiner erstmaligen Initialisierung das Ereignis detektiert hat. Seine letzte Synchronisation fand zum Zeitpunkt 1500 ms statt. Der Schall breitet sich mit 300 Meter/Sekunde aus und es gibt nur einen globalen Taktgeber für die Synchronisation.

a) Um wieviele Zeiteinheiten hat B das Ereignis früher oder später gehört als A (gestützt auf die vorliegenden Informationen). Worin besteht der mögliche Fehler in dieser Aussage?

Lösung:

Zum Zeitpunkt der Synchronisation von A und B durch das gleiche Signal zeigte Bs Uhr 1500 an, die von A zeigt 2000 an. Eine Zeitangabe von B entspricht also der von A minus 500. Wenn also B das Ereignis um 1700 detektiert hat, entspricht dies 2200 im zeitlichen Bezugssystem von A. B hat es also 100 ZE später gehört.

Allerdings überlagern sich hier zwei Phänomene, nämlich das der Signallaufzeit der Schallquelle und das der Signallaufzeit des Synchronisationssignales. Beides ist grundsätzlich der gleiche Sachverhalt. Die zeitliche Differenz der 100 ZE ist also nur dann genau, wenn beide Knoten auch gleichzeitig synchronisiert wurden.

Übung Sensornetze – (für 27. Januar 2005)

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 19: Referenz Broadcast Synchronization

b) Zusätzlich ist nun bekannt, dass Knoten A 100 Meter vom akustischen Signalgeber entfernt ist, Knoten B 300 Meter. Wie läßt sich die Aussage aus a) nun präzisieren?

Lösung:

Nun ist bekannt, dass die Synchronisation bis Knoten B 200 Meter mehr Weg zurücklegen muss als bis A.

Hierzu braucht der Schall $200/300 = \text{ca. } 667$ ms. Diese Zeit kann man daher von den 100 ZE aus Teil a) abziehen (da B idealerweise 667 ms früher synchronisiert werden sollte.)

Aufgabe 20: Intervallschätzung für Zeitpunkte unter Unsicherheit

Ein Knoten B erhält zum Zeitpunkt 3400 (ms nach seiner Initialisierung) eine Nachricht von Knoten A, dass sich ein Ereignis zugetragen hat. Knoten A teilt ebenfalls mit, dass er selbst zum Zeitpunkt 7800 Kenntnis von diesem Ereignis erhalten hat und dass er die Nachricht zum Zeitpunkt 8400 an B weitergegeben hat.

B hat nach seiner Uhr zum Zeitpunkt 1200 zum letzten Mal ein Paket an A gesendet. A teilt in seiner Nachricht seinerseits mit, dass er nach seiner Uhr von B seit 2000 Zeiteinheiten nichts mehr gehört hat.

Zuletzt ist global bekannt, dass die Uhr von Knoten B eine Gleichlaufschwankung von maximal $p_B=0.08$ aufweist (d. h. die Uhr ist max. um den Faktor $1-0.08$ zu langsam oder um $1+0.08$ zu schnell), die von schwankt um bis zu $p_A=0.1$ Zeiteinheiten.

a) Geben Sie ein möglichst kleines Intervall für Knoten B an, außerhalb dessen sich das Ereignis gerade nicht mehr befinden kann.

Übung Sensornetze

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 20: Intervallschätzung für Zeitpunkte unter Unsicherheit

Lösung:

Knoten B hört zum Zeitpunkt 3400 vom Ereignis. Ohne weitere Information kann man die 3400 als zeitliche Ober- und Untergrenze verwenden. Danach geht es darum, von der Untergrenze so viel wie möglich, von der Obergrenze so wenig wie möglich weg zu nehmen.

[3400, 3400]

Offensichtlich hat A nach seiner Uhr zwischen der Kenntnisnahme und dem Weiterleiten der Nachricht an B 8400-7800 Zeiteinheiten vergehen lassen. Für die Berechnung der Untergrenzen nehmen wir an, dass B's Uhr zu schnell und A's Uhr zu langsam ist. Mit anderen Worten: Eine Zeiteinheit bei A dauert für B viel länger. Bei der Berechnung der Obergrenzen gehen wir vom Gegenteil aus. Vollständig ignorieren dürfen wir die Wartezeit bei A jedoch auch bei der Obergrenze nicht.

$$[3400 - (600 \times 1.08 / 0.9), 3400 - (600 \times 0.92 / 1.1)]$$

=

[2680, 2898]

Nun muss noch die Paketlaufzeit berücksichtigt werden – genaugenommen nur die einfache. Leider weiss man dabei nicht, wie sich diese Paketlaufzeit auf Hin- und Rückweg verteilt. Eine sichere Untergrenze ist, dass die Laufzeit der Nachricht von A nach B keine Zeit braucht, eine sichere Obergrenze, dass das Paket die gesamte Roundtrip Time zwischen A und B benötigt. Die Paketlaufzeit setzt sich zusammen aus der Zeitspanne seit B zum letzten Mal mit A kommuniziert hat und dem Eintreffen von A's Nachricht minus der Zeitspanne die vergangen ist, seit A zum letzten mal von B gehört hat. Siehe hierzu die Folie „was hat es mit rtt-idle auf sich?“.

$$[2680 - ((3400 - 1200) - (2000 \times 0.9 / 1.08)), 2898 - 0]$$

=

$$[2680 - (2200 - 1667), 2898]$$

=

[2147, 2898]

Übung Sensornetze

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 20: Intervallschätzung für Zeitpunkte unter Unsicherheit

- b) Im obigen Szenario teilt Knoten A dem Knoten B über längere Zeit weitere Ereignisse mit. Knoten B hat seinerseits keinen Grund Nachrichten zu verschicken und empfängt daher immer nur. Von Störungen des Funkverkehrs sehen wir hier ab. Worin besteht das Problem bei fortschreitender Zeit?

Lösung:

Die Ermittlung der Paketlaufzeit (hier) von B nach A und zurück, von A nach B läßt sich über das von NTP verwendete Ping realisieren, welches von einem Pong beantwortet wird. In Sensornetzen versucht man unnötige Nachrichten zu vermeiden. Daher kann man einfach auch den Zeitpunkt der letzten Nachricht an den anderen Knoten als das Ping bei NTP interpretieren und eine aktuelle Nachricht von diesem anderen Knoten als Pong-Antwort.

Schickt der andere Knoten mehrmal hintereinander Nachrichten (A in dieser Aufgabe), so kann B immer wieder die gleiche Zeit verwenden, zu der B das letzte mal A eine Nachricht geschickt hat – in der Sprache von NTP also immer wieder das alte Ping verwenden, obwohl A immer wieder neue Nachrichten (Pongs) schickt. Allerdings driften so diese beiden Ereignisse immer weiter auseinander, so dass die Ungenauigkeit die während dessen entsteht irgendwann in die Größenordnung der Paketlaufzeit selbst kommt.

Das Problem läßt sich dadurch lösen, dass B zum verjüngen der Zeitspanner von Zeit zu Zeit eine Nachricht schickt.

Übung Sensornetze

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 21: RBS vs. RTT basiert

Um den Versatz (Drift) von Uhren zu bestimmen kann man das Reference Broadcast basierte Synchronisationsverfahren oder ein RoundTrip Time basiertes Verfahren wie z. B. NTP verwenden. Entscheiden und begründen Sie welches Verfahren das bessere ist.

- a) Es gibt keine wesentliche Störgröße außer der Zugriffszeit auf das Medium. Diese ist jedoch mit einer hohen Varianz verbunden.

Lösung:

RBS ist hier die bessere Wahl, da der Zugriff auf das Medium nur auf der Seite der synchronisierenden Station stattfindet. Eine Verzögerung an dieser Stelle geht nicht in die Ungenauigkeit e_2 der Synchronisation ein, denn entscheidend ist nur der Zeitpunkt, zu dem das Signal bei den Stationen (auf der Anwendungsebene) ankommt.

- b) Es gibt keine wesentliche Störgröße außer der Zugriffszeit auf das Medium. Diese ist unbekannt, variiert aber nicht.

Lösung:

Hier verhalten sich RBS als auch RTT basierte Synchronisationsverfahren gleich. Für RBS gilt das gleiche Argument wie in a). Im Rahmen des RTT basierten NTP haben wir in der Vorlesung eine Abschätzung für den Fehler e_1 bei der Driftberechnung gesehen. Dabei wurde der Fehler dann Null, wenn sich die Latenz auf dem Hinweg mit der auf dem Rückweg aufhob. Dies ist hier der Fall.

$$e_1 = \frac{S_A + A_A + R_B - S_B - A_B - R_A}{2} \quad e_2 = P_{S,A} + R_A - P_{S,B} - R_B$$

Übung Sensornetze

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 21: RBS vs. RTT basiert

c) Nur die Zeit ein Paket zu empfangen ist nicht zu vernachlässigen. Sie ist für jeden Knoten unterschiedlich, jedoch deterministisch.

Lösung:

Bei RBS entstehe bei Knoten A und B eine Verzögerung beim Empfang. Sind die Verzögerungen gleich groß, so wurden beide Uhren zum gleichen Zeitpunkt synchronisiert. Ein Fehler entsteht also nur durch die Differenz der beiden Verzögerungen.

Im Fall von NTP entstehen bei der gegenseitigen Synchronisation zweier Uhren ebenfalls zwei Verzögerung, nämlich die auf dem Hinweg (Ping) und auf dem Rückweg (Pong) der Anfrage. Auch hier gilt, dass sich der Fehler aufhebt, wenn beide Verzögerungen gleich sind. Was bleibt ist eine evtl. Differenz.

Folge: Beide Verfahren haben die gleiche Eignung.

d) Nur die Signallaufzeit (von z. B. akustischen Signalen) ist rel. groß und die Lage der Knoten im Netz ist nicht bekannt.

Lösung:

Hier spielt nur die Signallaufzeit eine Rolle. Zwischen zwei Knoten A und B ist diese auf dem Hin- und Rückweg etwa gleich und fällt so aus der Fehlerberechnung e_1 heraus. Bei der Fehlerberechnung e_2 für die zentrale Synchronisation fällt die Laufzeit dagegen nicht heraus, so dass hier RBS weniger geeignet ist.

Übung Sensornetze

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 22: RBS

Man möchte die Drift per RBS zwischen zwei Knoten A und B ermitteln, hat aber nur diese beiden Knoten. Daher wird einer der beiden gewählt, um das Synchronisationssignal zu erzeugen. Welche Ungenauigkeit ergibt sich hier im Vergleich zu einem Szenario mit zentralem Zeitgeber? Warum braucht man den zentralen Zeitgeber überhaupt?

Lösung:

Knoten A erzeuge die Synchronisation für Knoten B. Grundsätzlich könnte sich Knoten A auch selbst triggern, Knoten B würde durch das ankommende Signal getriggert. Dabei fehlen Knoten A jedoch alle Latenzfehler, die sich auf dem Weg zu Knoten B einschleichen könnten, also der Zugriff A_A auf das Medium, die Ausbreitungszeit $P_{A,B}$ und die Empfangszeit R_B . Das Fehlen der Zugriffszeit könnte man jedoch noch dadurch ausgleichen, dass Knoten A erst eine eigene Uhr abliest, wenn er bereits Zugriff auf das Medium hat. Die anderen Fehler bleiben jedoch unbekannt.

Durch die Verwendung eines zentralen Zeitgebers hofft man, dass zwei unterschiedliche Knoten etwa die gleichen Fehlerquellen haben und sich der Fehler möglichst ausgleicht.

Übung Sensornetze

Vorlesung 10: Synchronisation in Sensornetzen

Aufgabe 23: Vergleich von unscharf bestimmten zeitlichen Ereignissen

Ein Ereignis A finde im Intervall $[t_1, t_2]$, B im Intervall $[t_3, t_4]$ und C im Intervall $[t_5, t_6]$ statt. Es gibt $t_1 < t_3 < t_5 < t_2 < t_4 < t_6$. Mit welcher Wahrscheinlichkeit ereignet sich zuerst C, dann B und zuletzt A?

Lösung:

Berechne die Wahrscheinlichkeit, dass jeder der Knoten in das Intervall $[t_5, t_2]$ fällt. Nur dann kann die Reihenfolge C, B, A eingehalten werden.

$$\text{Knoten A} \quad \frac{t_2 - t_5}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Knoten B} \quad \frac{t_2 - t_5}{t_4 - t_3}$$

$$\text{Knoten C} \quad \frac{t_2 - t_5}{t_6 - t_5}$$

Wahrscheinlichkeit, dass sich alle Knoten in diesem Intervall befinden:

$$(t_2 - t_5)^3 \times [(t_2 - t_1)(t_4 - t_3)(t_6 - t_5)]^{-1}$$

Jede Reihenfolge von Knoten ist gleich wahrscheinlich, jedoch gilt im Rahmen der Aufgabe nur eine als „Treffer“ im statistischen Sinn. Es folgt daher eine Wahrscheinlichkeit von:

$$\frac{(t_2 - t_5)^3 \times [(t_2 - t_1)(t_4 - t_3)(t_6 - t_5)]^{-1}}{6}$$

