



Doctoral Thesis

Guaranteed time synchronization in wireless and ad-hoc networks

Author(s):

Blum, Philipp

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004930535> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 15760

Guaranteed Time Synchronization in Wireless and Ad-Hoc Networks

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
PHILIPP BLUM
Ing. Microtechnique Dipl. EPFL
born March 2, 1974
citizen of Beromünster, LU

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Lothar Thiele, examiner
Prof. Dr. Wolfgang Fichtner, co-examiner

2004

Abstract

Time synchronization is an important service in many distributed systems. The goal of time synchronization is to provide the nodes of such a system with a common, i.e. synchronized, time base. Synchronized time allows for coordinated actuation and sensor fusion. Time synchronization requires that the nodes have local clocks and can then be achieved by communication among the nodes. The reasons why time synchronization is never perfect are the variable delay of messages exchanged by the nodes and the variable speed of the nodes' local clocks, i.e. clock drift. Clock-synchronization algorithms aim at providing the nodes with a means to translate their local time to synchronized time.

This thesis is about guarantees on the quality of time synchronization that can be provided for real systems. Such guarantees can be obtained by measuring the synchronization quality in a real system or by using analytical methods and formal system models. In the first part of this thesis, we apply both approaches in the context of the wireless-loudspeakers application. This application poses particularly hard requirements on the synchronization quality since the human ear can discern a temporal misalignment in the order of a few microseconds between correlated audio channels. The main contributions are listed in the following.

- A novel class of clock synchronization algorithms is introduced, which, in contrast to known state-of-the-art algorithms, achieve sufficient synchronization quality in a wide range of conditions, that is in various operation modes of the wireless network and in situations of heavy network traffic.
- A novel framework for the optimization and comparison of clock-synchronization algorithms is presented. The framework combines trace-based simulation and evolutionary optimization to provide for a realistic and reproducible evaluation and a fair comparison.
- The comparison of empirical and analytical worst-case results allows to argue about the suitability of system models. A novel delay model is proposed that captures the relevant properties of measured delay sequences more accurately than previously known delay models.

In the second part, this thesis also contributes to the understanding of the worst-case synchronization quality that can be achieved in large-scale systems. Here the goal is to design the time-synchronization service so that a high synchronization quality can be achieved with minimal overhead in terms of communication among the nodes. In large-scale systems, some nodes and links between nodes may fail, and nodes may be mobile. A novel class of algorithms is proposed that has the advantage over known approaches that it is completely local. No global configuration is required and thus a high resilience against node and link failures is achieved.

Finally, it is shown how this approach for organizing time synchronization in large-scale networks can be combined with the algorithms for accurate point-to-point synchronization presented in the first part of the thesis.

Kurzfassung

Zeitsynchronisation ist ein wichtiger Dienst in vielen verteilten Systemen. Das Ziel ist es, den Knoten in einem solchen System eine gemeinsame, also synchronisierte, Zeitbasis zur Verfügung zu stellen. Damit werden koordinierte Aktionen und die gemeinsame Auswertung von Beobachtungen ermöglicht. Ein Zeitsynchronisationsdienst basiert darauf, dass alle Knoten eine lokale Uhr besitzen und miteinander kommunizieren können. Perfekte Synchronisation kann nicht erreicht werden, weil die Laufzeiten von Nachrichten und die Laufgeschwindigkeiten der lokalen Uhren variabel sind. Uhrensynchronisationsalgorithmen erlauben es den Knoten, die lokale Zeit in synchronisierte Zeit umzurechnen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Garantien zur Synchronisationsqualität, welche in realen Systemen erreicht werden kann. Solche Garantien können durch Messungen oder mittels analytischer Methoden und formaler Modelle gefunden werden. Im ersten Teil dieser Arbeit werden beide Methoden im Kontext von drahtlosen Lautsprechern angewendet. Diese Anwendung stellt besonders harte Anforderungen an die Synchronisationsqualität, da das menschliche Ohr zeitliche Verschiebungen von wenigen Mikrosekunden zwischen zusammengehörigen Audiokanälen wahrnehmen kann. Nachfolgend die wichtigsten Resultate:

- Eine neue Klasse von Uhrensynchronisationsalgorithmen wird vorgestellt, mit welchen im Gegensatz zu bekannten Algorithmen unter verschiedenen Randbedingungen und auch unter starker Netzwerkbelastung eine für drahtlose Lautsprecher genügende Synchronisationsqualität erreicht wird.
- Eine Methode zur Optimierung und zum Vergleich von Uhrensynchronisationsalgorithmen wird präsentiert. Die Methode kombiniert Trace-basierte Simulation mit evolutionärer Optimierung, was realistische und reproduzierbare Resultate sowie einen fairen Vergleich von verschiedenen Algorithmen erlaubt.
- Die Gegenüberstellung von empirischen und analytischen Resultaten erlaubt es, die Eignung verschiedener Systemmodelle kritisch zu hinterfragen. Ein neues Modell für Nachrichtenlaufzeiten wird vorgeschlagen, welches die relevanten Eigenschaften von Laufzeitsequenzen besser beschreibt als bekannte Modelle.

In einem zweiten Teil enthält die vorliegende Arbeit Beiträge zum Verständnis der erreichbaren Synchronisationsqualität in Systemen mit sehr vielen Knoten. Hier ist es das Ziel, den Synchronisationsdienst so zu gestalten, dass eine gute Qualität mit minimalen Aufwand bezüglich der Zahl benötigter Nachrichten erreicht wird. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in grossen Systemen Knoten ausfallen und/oder mobil sein können. Eine neue Klasse von Algorithmen wird vorgestellt, welche den Vorteil haben, dass sie rein lokal, also ohne globale Konfiguration arbeiten und daher robust gegen Ausfall und Mobilität von Knoten sind.

Abschliessend wird gezeigt, wie dieser Ansatz zur Organisation der Synchronisation in grossen Netzen mit den im ersten Teil der Arbeit eingeführten Punkt-zu-Punkt-Synchronisationsalgorithmen kombiniert werden kann.