

## Zeitsynchronisation über WLAN-Netzwerke

In der Industrie wird für vernetzte Systeme eine Zeitsynchronisation mit einer Genauigkeit von mindestens einer Millisekunde gefordert. Diese Genauigkeit wird beispielsweise für maschinelle Steuerungsprozesse und die Datenauswertung von Sensorsystemen benötigt. Ziel dieser Bachelorarbeit war es zu untersuchen, ob diese Vorgabe in einem WLAN-Netzwerk mit Standard-Hardware erreicht werden kann.

Da WLAN-Netzwerke über ein geteiltes Medium kommunizieren, sind die Latenzen der beiden Kommunikationsrichtungen zwischen Access Point (AP) und Station (STA) asymmetrisch. Auf die Genauigkeit der Zeitsynchronisation wirkt sich dies negativ aus. Die Grösse und Asymmetrie der Latenzen beider Kommunikationsrichtungen wurde mit TraGaL, einer am InES entwickelten Software, untersucht. Dazu wurde ein WLAN-Testsystem bestehend aus einem AP und vier STAs aufgebaut. Mit diesem Testsystem wurden Latenzmessungen für drei WLAN-Standards durchgeführt.

Es konnte gezeigt werden, dass der IEEE 802.11n Standard bei geringer Netzlast eine deutlich kleinere Asymmetrie als die beiden anderen WLAN-Standards aufweist. Bei erhöhter Netzlast hingegen ist dieser Vorteil nicht ersichtlich.

Aus der Analyse dieser Latenzmessungen ergaben sich die initialen Parameter, welche im nächsten Schritt für die Zeitsynchronisation verwendet wurden. Für die vom InES entwickelte Software zur Zeitsynchronisation ElevatorTime wurden diese Parameter durch verschiedene Messreihen optimiert. Mit diesen Optimierungen wurden weiterführende Messungen durchgeführt, um die Genauigkeit und Robustheit der Zeitsynchronisation zu bewerten.

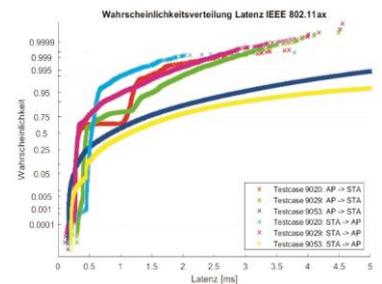
Es konnte gezeigt werden, dass mit allen untersuchten WLAN-Standards unter den Bedingungen des Testsystems eine Zeitsynchronisation mit einer maximalen Abweichung von  $\leq 0.5$  ms erreicht wird. Auch unter erhöhter Netzlast konnte die Vorgabe einer maximalen Abweichung von  $\leq 1$  ms für die untersuchten WLAN-Standards eingehalten werden. Im IEEE 802.11n Standard wurden dabei die besten Resultate mit einer maximalen Abweichung von  $\leq 0.1$  ms erreicht.

Um die Genauigkeit und Robustheit der Zeitsynchronisation zusätzlich zu erhöhen, wurden Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des heuristischen Filters untersucht. Hier konnte eine Optimierung implementiert werden, welche für alle drei WLAN-Standards die Genauigkeit um mindestens 26 % erhöht. Auch unter erhöhter Netzlast wurde damit eine Verbesserung von mindestens 15 % erreicht.

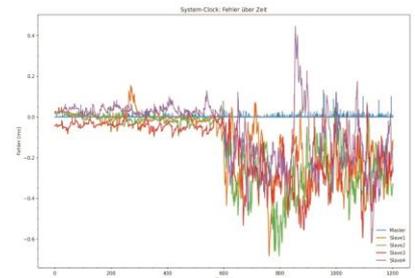


Diplomierende  
Thomas Ruesch  
Sebastian Senn

Dozierende  
Martin Ostertag  
Kilian Brunner



Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzen bei IEEE 802.11ax.



Messung der Zeitabweichung mit ElevatorTime.