



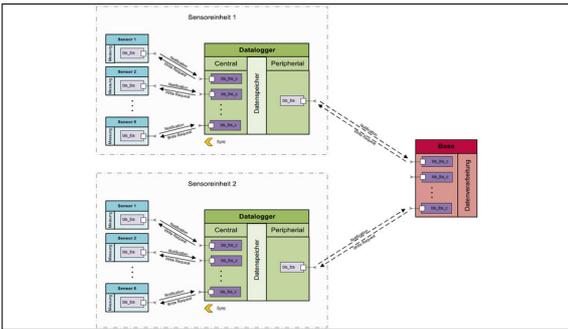
Jens Müller



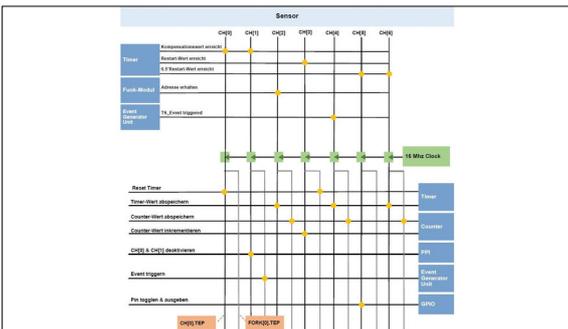
Christina van der Geest

|              |                                      |
|--------------|--------------------------------------|
| Studenten    | Jens Müller, Christina van der Geest |
| Examinator   | Prof. Reto Boderer                   |
| Themengebiet | Embedded Software Engineering        |

## Bluetooth Pairing und Zeitsynchronisation



Übersicht unseres Netzwerks inkl. Services und Verbindungen  
Eigene Darstellung



Mittels programmierbaren Peripherie-Schnittstellen wird hardwarenahes Timestamping ermöglicht.  
Eigene Darstellung



Maximale und mittlere Zeitdifferenz zwischen den Sampling-Events der Sensoren (blau, rot, grün)  
Eigene Darstellung

**Ausgangslage:** In der heutigen Zeit von Internet of Things (IoT) und Big Data werden immer mehr Daten benötigt. Diese Daten werden zunehmend von kabellosen Sensornetzwerken aufgezeichnet. Einige Anwendungen finden sich im Bereich Gesundheitsmonitoring bei Patienten mit spezifischen medizinischen Vorbedingungen, beim Umweltmonitoring von Wildtierlebensräumen sowie bei der bautechnischen Stabilität der Golden Gate Bridge in San Francisco (USA). Doch wie wird sichergestellt, dass die kabellosen Sensoren im Netzwerk Daten schnell und dabei synchron aufzeichnen?

Im Rahmen dieser Arbeit möchten wir aufzeigen, dass es mit Bluetooth Low Energy (BLE) möglich ist, in einem Sensornetzwerk zeitsynchrone Messungen durchzuführen. Das Netzwerk besteht aus mehreren Sensoreinheiten und einer Basisstation. Eine Sensoreinheit besteht aus mehreren Sensoren und einem Datalogger. Dabei sollen sich die Sensoren mit ihrem dedizierten Datalogger verbinden und ihm die aufgezeichneten Daten übermitteln. Die Datenaufzeichnung auf allen Sensoren muss zeitgleich erfolgen. Die maximale Abweichung zwischen dem Messzeitpunkt aller Sensoren innerhalb einer Sensoreinheit muss im Submillisekundenbereich liegen. Sobald die Basisstation in Reichweite des Dataloggers kommt, werden alle gespeicherten Daten übertragen.

**Problemstellung:** Zuerst gilt es sicherzustellen, dass sich die richtigen Geräte miteinander verbinden und die Messdaten übertragen werden können. Weiter unterliegt die kabellose Übermittlung nicht-deterministischen Verzögerungen im Bereich von einigen Millisekunden. Die Frequenzen von Quarzoszillatoren unterscheiden sich aufgrund von Herstellungstoleranzen und Umwelteinflüssen. Entsprechend muss das Auseinanderdriften der lokalen Clocks im Sensornetzwerk synchronisiert werden.

**Ergebnis:** Unsere Implementation unterstützt ein Netzwerk bestehend aus einer Basisstation sowie acht Datenloggern mit jeweils acht Sensoren. Die Validierung erfolgte bei einer Aufnahmefrequenz von zehn Kilohertz und einem Synchronisationsintervall von einer Sekunde. Gemessen wurde eine maximale Abweichung zwischen den Messzeitpunkten der Sensoren von 5.3 Mikrosekunden. Im Mittel betrug der Fehler zirka 1.7 Mikrosekunden.