

Diss. ETH No. 19230

Testing of Wireless Sensor Networks

A dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

MATTHIAS WOEHRLER

Diplom in Electrical Engineering from TU Karlsruhe

born October 27, 1978

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Lothar Thiele, examiner

Prof. Dr. Koen Langendoen, co-examiner

2010

Abstract

A Wireless Sensor Network (WSN) is an embedded computation system for distributed sensing of a dispersed phenomenon. It is a distributed system built of autonomous, yet cooperating embedded devices, so-called sensor nodes. Each sensor node provides computational, communication and storage resources and typically operates on limited energy resources. WSNs are often deployed in remote locations for long-term unattended operation. Hence, the validation of correct functioning of the system before the actual installation is of utmost importance.

Validation of WSNs is typically focused on *system testing*, i.e., analyzing system executions including software and sensor node hardware. System testing of WSNs is a complex task. WSNs are distributed systems and have a high degree of concurrency, resulting in a very large state space. The internal state of the sensor nodes is hidden rendering analysis of executions intricate. System testing needs to consider that the operation of a WSN is highly dependent on the environment. As a prominent example, wireless communication depends on environmental conditions, is changing over time and hence unreliable.

This thesis contributes several solutions for testing WSNs. Its goal is to provide automated tool support for executing testcases, extracting meaningful information from test executions, analyzing the monitored information, and checking for the conformance to a specification of expected behavior. To this end, the first part of the thesis focuses on testing functional properties of a WSN. It describes a framework to execute the same test on different test platforms such as simulators and testbeds. Furthermore, an analysis framework is presented that allows a tester to extract behavioral information from test execution logs. A corresponding programming language was developed that simplifies common analysis tasks such as determining the routing paths of a network protocol. The second part of the thesis focuses on testing non-functional properties, in particular power consumption. It presents a test architecture that enables a tester to extract and monitor such properties. Moreover, it describes a formal conformance test for measurements of power consumption and details on its formal foundations. It discusses various optimizations to make the conformance test relevant for practical application and demonstrates its efficiency by a comparison with a state-of-the-art online testing tool.

Zusammenfassung

Ein drahtloses Sensornetzwerk ist ein eingebettetes Rechensystem zur verteilten Überwachung von räumlichen Phänomenen. Es ist ein verteiltes System aus autonomen, jedoch kooperierenden Sensorknoten. Sensorknoten verfügen über Rechen-, Kommunikations- und Speicherressourcen und haben ausserdem üblicherweise ein begrenztes Energiebudget. Drahtlose Sensornetzwerke werden gewöhnlich für einen autonomen Langzeit-Betrieb eingesetzt. Daher ist es wichtig das System vor der Installation auf korrekte Funktionsweise zu überprüfen.

Die Überprüfung von drahtlosen Sensornetzwerken konzentriert sich meist auf Systemtests. Es werden Ausführungen des kompletten Systems, bestehend aus Hardware- und Softwarekomponenten, analysiert. Das Testen von drahtlosen Sensornetzwerken ist eine komplexe Aufgabe: Ein drahtloses Sensornetzwerk ist ein verteiltes, nebenläufiges System und hat daher einen grossen Zustandsraum. Die Analyse ist erschwert, da der interne Zustand des Systems verborgen ist. Systemtests müssen berücksichtigen, dass die Ausführung eines drahtlosen Sensornetzwerks stark von der Umgebung abhängt. Zum Beispiel hängt die Qualität der drahtlosen Kommunikation von den Umgebungsbedingungen ab und ist zeitlich variabel.

Diese Dissertation stellt mehrere Lösungsansätze für Systemtests vor die den Testprozesses zu unterstützen. Dies beinhaltet die Ausführung von Tests, das Aufzeichnen von aussagekräftigen Informationen, die Analyse solcher Testaufzeichnungen und die Überprüfung auf Konformanz mit einer Spezifikation des Verhaltens. Der erste Teil der Dissertation behandelt funktionale Eigenschaften von drahtlosen Sensornetzwerken. Ein Verfahren wird beschrieben das es erlaubt Tests auf verschiedenen Testplattformen, wie einem Simulator oder einem Testbett, auszuführen. Es wird ein Ansatz vorgestellt um Verhaltensinformationen aus Testaufzeichnungen zu extrahieren. Eine daraus entwickelte Programmiersprache erleichtert typische Analyseaufgaben wie das Bestimmen der Routingpfade eines Netzwerkprotokolls. Der zweite Teil der Dissertation beschäftigt sich mit nicht-funktionalen Eigenschaften, im speziellen mit der Leistungsaufnahme. Er präsentiert eine Testarchitektur, die diese Eigenschaften aufzeichnet und überwachen lässt. Ausserdem wird ein formaler Konformanztest der Leistungsaufnahme beschrieben.