

Zuverlässige Drahtloskommunikation im Internet der Dinge

Dependable wireless communications in the Internet of Things

Carlo Alberto Boano

Die Temperatur hat einen starken Einfluss auf den Betrieb aller elektrischen und elektronischen Komponenten. Unter anderem können Temperaturschwankungen die Effizienz von Low-Power-Funkmodulen beeinflussen und die drahtlose Konnektivität beeinträchtigen. Ein tiefes Verständnis dieses Einflusses ist notwendig, um Lösungen zu erarbeiten, die die Zuverlässigkeit der Kommunikation zwischen drahtlosen Geräten im Internet der Dinge erhöhen können.

Netzwerke von batteriebetriebenen Funksensoren in intelligenten Objekten sind ein integraler Bestandteil unseres täglichen Lebens geworden und werden in der Zukunft in Anwendungsbereichen mit strengen Anforderungen an die Zuverlässigkeit, wie der intelligenten Produktion (Industrie 4.0), den Smart Cities oder vernetzten Autos, eingesetzt werden. Um diese attraktiven Anwendungen zu ermöglichen, muss die Störanfälligkeit von eingebetteten Funkgeräten beseitigt werden.

Tatsächlich spielt häufig die Umgebung, in die drahtlose Sensornetze eingebettet werden, eine entscheidende Rolle, insbesondere hinsichtlich der Zuverlässigkeit ihrer Kommunikation. Ein Beispiel für solche Umgebungseinflüsse sind Temperaturschwankungen. Neben dem Einfluss auf die Taktzeiten und die Kapazität der Batterien (die zu einem Verlust der zeitlichen Synchronisation und zu Stromausfällen führen können) können Temperaturschwankungen insbesondere die Effizienz von batteriebetriebenen Funkmodulen drastisch reduzieren und eine Verringerung der Qualität der drahtlosen Verbindung verursachen. Dies kann die drahtlose Verbindung zwischen Geräten stark beeinträchtigen.

Fallstudie

In unserer Arbeit haben wir gezeigt, dass schon die täglichen Temperaturschwankungen, die häufig im Freien auftreten, die Konnektivität in einem drahtlosen Netzwerk beeinträchtigen können. Im Rahmen des EU-Projekts RELYonIT haben wir einen >

Temperature has a strong impact on the operations of all electric and electronic components. Among other things, temperature variations may affect the efficiency of low-power radios and compromise wireless connectivity between devices. Shedding light on this impact is essential to derive solutions that can increase the dependability of communications between wireless devices in the Internet of Things.

Networks of low-power wireless sensors and smart objects are becoming an integral part of our daily lives and are envisioned to be soon employed in application domains imposing strict dependability requirements on network performance, such as smart production (Industry 4.0), smart cities, or connected cars. An essential challenge that needs to be solved in order to enable these attractive applications is the vulnerability of embedded wireless devices to the surrounding environment.

The environment in which wireless sensor nodes are embedded, indeed, often plays a critical role for their performance, especially with respect to the dependability of their communications. An example of environmental impact is temperature variation. Besides affecting the speed of clocks and the capacity of batteries (potentially causing loss of synchronization and early power outages), temperature variations may also drastically decrease the efficiency of low-power radios and cause a degradation in the wireless link quality that compromises the wireless connectivity among devices.

Case study

We have shown in our recent work that even the daily temperature fluctuations commonly found outdoors may compromise the connectivity in a wireless network. In the context of the EU-project "RELYonIT" we carried out a pilot outdoor deployment of a wireless sensor network near Madrid, Spain, in order to monitor how well the insulating materials used for the construction of buildings reduce >



Carlo Alberto Boano ist seit Juli 2015 Assistenzprofessor am Institut für Technische Informatik. Hauptthema seiner Forschung ist der Entwurf von zuverlässigen vernetzten, eingebetteten Systemen, mit Schwerpunkt auf Energieeffizienz und Robustheit von drahtlosen Kommunikationsprotokollen.

Carlo Alberto Boano has been an assistant professor at the Institute of Technical Informatics since July 2015. His research focus is on the design of dependable, networked, systems, with emphasis on the energy efficiency and reliability of low-power wireless communications protocols.

Feldversuch in der Nähe von Madrid, Spanien, durchgeführt, um mit einem drahtlosen Sensornetz zu überwachen, wie gut die Baumaterialien die Wärmeübertragung reduzieren. Wie Abbildung 1 zeigt, wurden drahtlose Sensorknoten an den Gebäudefassaden installiert und damit dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt. Trotz der Einhaltung des letzten Stands der Technik erwies sich die gesamte Kommunikationsleistung als sehr unzureichend, mit dem Empfang von nur 61 Prozent der gesendeten Nachrichten. Das Netzwerk arbeitete während der Nacht allerdings problemlos. Lediglich tagsüber, genauer gesagt, wenn die Temperatur der Sensorknoten Werte über 60 °C als Folge der Sonneneinstrahlung erreichte, wurden die meisten Nachrichten nicht mehr empfangen.

Abbildung 1:
Testgebäude in Madrid und
verwendete drahtlose Sensorknoten.
Figure 1:
Buildings in Madrid's test facility and
wireless sensor node used in our
 pilot deployment.

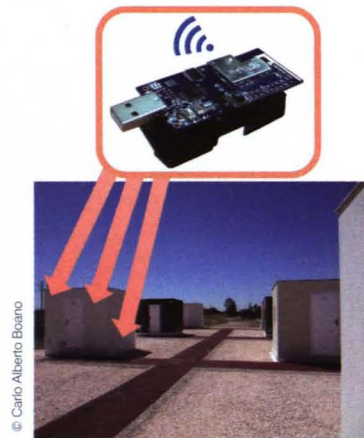


Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen der gemessenen Temperatur der Sensorknoten und der Paketempfangsrate: Während des Tages, durch die Erhöhung der Temperatur der Knoten aufgrund der normalen Sonneneinstrahlung, bricht die Verbindung (die während der Nacht perfekt funktioniert) völlig zusammen.

Diese Anfälligkeit auf Temperaturschwankungen kann wesentlich die Entwicklung von Internet-of-Things-Systemen beeinflussen: Wie sollen Entwickler/innen mit dem Internet der Dinge intelligente Städte realisieren, wenn Parkplatzbelegungs- und Schadstoffkonzentrationssensoren nicht in der Lage sind, während der heißesten Zeit des Tages zu kommunizieren?

Unsere Strategie zur Lösung dieses Problems ist die Analyse der Temperature Auswirkungen auf der Hardware-Plattform, um dann genaue Modelle zu entwickeln, die vorhersagen, wie das verwendete Kommunikationsprotokoll betroffen ist.

heat transfer. Wireless sensor nodes were installed on the building façades and exposed to direct sunshine, as shown in Figure 1. Despite using state-of-the-art communication protocols, the overall communication performance turned out to be highly insufficient, with only 61 percent of the packets sent in the network being actually received. The network, however, operated flawlessly during nighttime. It was only during daytime, and more precisely, once the on-board temperature of the sensor nodes reached values higher than 60°C as a result of sun exposure that most of the packets were not received.

Figure 2 shows the relationship between the recorded on-board temperature of the nodes and the packet reception rate: during daytime, the increase in on-board temperature caused by normal exposure to sunshine completely breaks what is a perfect wireless link during nighttime.

This vulnerability to temperature variations can significantly affect the design of Internet of Things applications: how can developers create smart city solutions if they know that parking spots occupancy and pollution concentration sensors may not be able to communicate during the hottest times of the day?

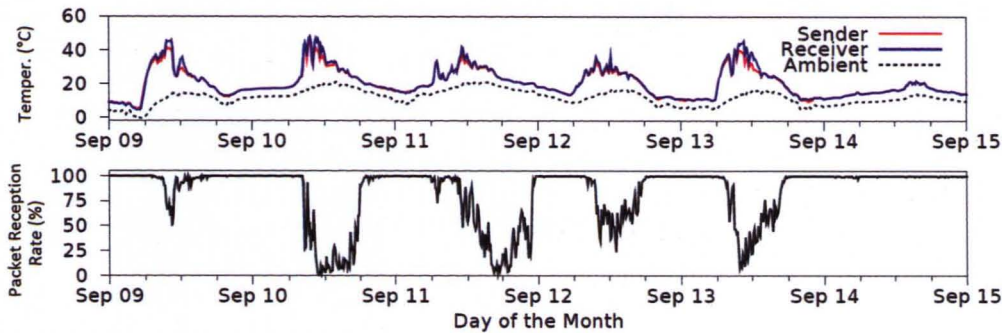
Our strategy to provide solutions to this problem is to first obtain a deeper understanding of the impact of temperature on the hardware platform in use and to then devise accurate models that can anticipate how the employed communication protocol is in turn going to be affected.

Customized testbeds

To systematically study the performance of wirelessly networked embedded devices as a function of temperature variations, we have designed a testbed infrastructure that is able to reproduce the same on-board temperature profiles encountered in the real-world directly on the wireless devices hardware. Such testbed infrastructure, based on remotely controlled, infrared heating lamps placed on top of tens of wireless sensor nodes (see Figure 3) allows experiments to be rerun under identical environmental conditions and shortcomings of state-of-the-art communication protocols to be revealed and debugged.

Compensating for the impact of temperature

We are using this testbed facility to benchmark different wireless transceivers embedded in common IoT devices and to devise accurate mod-



© Carlo Alberto Boano

Abbildung 2:
Hohe Temperaturen haben einen negativen Einfluss auf die Paketempfangsrate von batteriebetriebenen Funkgeräten.

Figure 2:
High temperature has a strong negative effect on the packet reception rate of low-power wireless devices.

Neue Testumgebungen

Um systematisch die Leistung von drahtlos vernetzten, eingebetteten Geräten in Abhängigkeit von Temperaturschwankungen zu untersuchen, haben wir eine neue Testumgebung entwickelt, die den Temperaturverlauf drahtloser Geräte in der realen Welt im Labor exakt reproduzieren kann. Eine solche Testumgebung, die mithilfe von ferngesteuerten Infrarotwärmelampen am Institut für Technische Informatik aufgebaut wurde (wie in der Abb. 3 gezeigt), erlaubt das wiederholte Durchführen von Experimenten unter identischen Umgebungseinflüssen, um die Schwächen von etablierten Kommunikationsprotokollen aufzuzeigen und zu beheben.

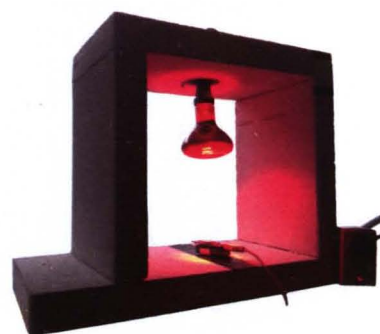
Kompensation der Temperatur-Auswirkungen

Wir nutzen die Testumgebung, um verschiedene drahtlose Funkmodule zu bewerten und um genaue Modelle über die Auswirkungen der Temperatur auf eine spezifische Hardwareplattform zu entwickeln. Für die meisten batteriebetriebenen Funkmodule kann die Verschlechterung der Verbindungsqualität in Abhängigkeit von Temperaturschwankungen auf eine Dämpfung der Signalstärke im Verstärker des Empfangszweigs beziehungsweise des Sendezweigs zurückgeführt werden.

Ein einfaches lineares Modell, das durch Laborexperimente parametrisiert wird, kann zur Erweiterung und Rekonfiguration der Kommunikationsprotokolle verwendet werden, sodass sie jeden durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Fehler kompensieren können. Mit der Kenntnis über die Temperaturänderungen an den Nachbarknoten kann jeder drahtlose Sensorknoten autonom die Temperatureinflüsse auf die Kommunikationsleistung vorhersagen und Protokollparameter wie den Clear-Channel-Assessment (CCA)-Schwellenwert so einstellen, dass Störungen kompensiert werden. Dies ermöglicht eine Verbesserung der Zuverlässigkeit von drahtlosen Funkverbindungen und die Kompensation von Umwelteinflüssen durch intelligente, adaptive Kommunikationsprotokolle. ■

els capturing the impact of temperature on each specific hardware platform. In most low-power radios, for example, the degradation in link quality as a function of temperature is due to the signal strength attenuation at the low-noise amplifier during reception and at the power amplifier during transmission.

A simple linear model parametrized through lab experiments can be used to extend and correct communication protocols such that they can anticipate any fault introduced by temperature variations. With knowledge of the node temperature changes in the neighborhood, wireless sensor nodes can autonomously predict the impact that temperature can have on communication performance and compensate for it by adjusting protocol parameters such as the clear channel assessment threshold. In this way, we can significantly increase the dependability of low-power wireless communications and seamlessly mitigate the environmental impact by means of adaptive communication protocols. ■



© Carlo Alberto Boano

Abbildung 3:
Heizlampe in unserer Testumgebung, um drahtlose Sensorknoten zu erhitzen.

Figure 3:
Heating lamp used to heat wireless sensor nodes in our testbed infrastructure.