

Scoping für Drahtlose Sensornetze

Jan Steffan Ludger Fiege

Fachbereich Informatik, TU Darmstadt
64289 Darmstadt, Germany

steffan@ito.tu-darmstadt.de, fiege@dvs1.informatik.tu-darmstadt.de

Zusammenfassung Sensornetze dienen dazu, Messwerte zu sammeln und zu verarbeiten. Genauigkeit und Effizienz hängen dabei stark davon ab, welche Knoten für die einzelnen Teilaufgaben ausgewählt werden. Die Auswahl und Gruppierung von Knoten nach verschiedenen Kriterien ist daher eine wichtige Abstraktion bei der Programmierung von Sensornetzen. Wir stellen Scoping als generisches Konzept zur Gruppierung von Knoten in Sensornetzen vor, das existierende Ansätze subsumiert und als Dienst in einer Middleware für Sensornetze angeboten werden kann.

1 Einführung

Drahtlose Sensornetze bestehen aus hunderten oder tausenden Knoten, die sich in einem dynamischen multi-hop Netz organisieren. Das gewünschte globale Verhalten des Sensornetzes muss durch lokale Algorithmen realisiert werden, die auf den einzelnen Knoten ablaufen. Die Auswahl geeigneter Knoten und deren Gruppierung zu Knoten übergreifenden Strukturen ist daher eine der Hauptaufgaben einer Middleware für drahtlose Sensornetze [5]. Die Art und Verwendung von Knotengruppen ist vielfältig und beinhaltet beispielsweise lokales Clustering, die Auswahl von Knoten für bestimmte Rollen, die Trennung von mehreren Anwendungen und die Adaption von Kommunikationsdiensten. Die Auswahl und Gruppierung von Knoten ist somit impliziter Teil von Algorithmen und Anwendungen für Sensornetze.

Lösungen für wiederkehrende Problemstellungen können abstrahiert und modularisiert werden und gehören zu den typischen Aufgaben einer Middleware. Ansätze zur Abstraktion von Teilaspekten der Auswahl und Gruppierung von Knoten wurden beispielsweise mit Abstract Regions [4] oder generischen Knoten-Rollen [2] vorgestellt.

Dass eine Verallgemeinerung vorteilhaft ist, haben wir für Event-basierte Systeme gezeigt [1]. Die in diesem Zusammenhang entwickelten *Scopes* trennen die Auswahl und Gruppierung von Knoten von den zu Grunde liegenden Kommunikationsmechanismen. Sie werden dadurch zu einem universellen Abstraktionsmittel für lose gekoppelte Systeme.

Die Anwendung dieses Konzepts auf drahtlose Sensornetze [3] bietet einerseits ein Abstraktionsmittel zur effizienteren und einfacheren Programmierung von Sensornetzen, andererseits erlaubt es eine modulare und damit flexible und Ressourcen sparende Architektur. Als Module in Frage kommen verschiedene

Auswahlkriterien sowie Gruppierungsmechanismen und daran gebundene Dienste. Zur Zeit arbeiten wir an einem Scoping-Mechanismus für Sensornetze mit modularen Auswahlkriterien.

Als Motivation und Anwendungsszenarien betrachten wir in Abschnitt 2 Mehrzweck-Sensornetze, die in besonders hohem Maße von einem modularen und flexiblen Middleware-Dienst zur Knotenauswahl und -gruppierung profitieren. Abschnitt 3 beschreibt beispielhaft zwei bestehende Ansätze, die in diese Richtung gehen. Abschnitt 4 stellt Scopes als verallgemeinerten Ansatz eines solchen Middleware-Dienstes vor und umreißt einige der Fragestellungen, die bei der Umsetzung zu berücksichtigen sind.

2 Mehrzweck-Sensornetze

Ein Gebiet, in dem die Auswahl und Gruppierung von Knoten eine große Bedeutung hat sind Mehrzweck-Sensornetze, d. h. Sensornetze, die gleichzeitig von verschiedenen Anwendungen benutzt werden. Dies kann aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sinnvoll sein oder wenn mehrere Parteien an den im Sensornetz gesammelten Daten Interesse haben. Für verschiedene Anwendungen sind typischerweise nur bestimmte Knoten relevant. Darüberhinaus haben Anwendungen unterschiedliche Anforderungen bezüglich Dienst- und Datenqualität oder Sicherheit, die jedoch nur im für die Anwendung relevanten Teil des Sensornetzes umgesetzt werden sollen. Ein weiterer Aspekt ist die Trennung von Anwendungen aus Gründen der Verwaltung und Sicherheit.

Als Beispielszenario betrachten wir mit Sensorknoten ausgestattete Frachtcontainer. Verschiedenen Typen Sensoren kommen vor, z. B. solche zur Kontrolle von Temperatur, Feuchtigkeit, Erschütterungen oder zur Einbruchserkennung. Eine Gruppierung von Knoten kann also nach Sensortyp sinnvoll sein, aber auch nach verschiedenen Meta- und Kontext-Informationen wie der transportierten Ware, deren Besitzer oder der Position des Containers.

Unentbehrlich für die Realisierung von Mehrzweck-Sensornetzen ist eine flexible und modulare Middleware, die an das Szenario angepasst und um anwendungsspezifische Komponenten ergänzt werden kann. Im Gegensatz zu existierenden Sensornetzen, die fest für eine Aufgabe programmiert sind, müssen Anwendungen unabhängig voneinander zur Laufzeit aktiviert werden können.

3 Auswahl und Gruppierung als Middleware-Schicht

Aus einer Reihe von Ansätzen, die die Auswahl oder Gruppierung von Knoten als Middleware-Schicht realisieren, greifen wir hier Abstract Regions [4] und einen Rollen basierten Ansatz [2] heraus. Ziel beider Ansätze ist die Vereinfachung der Programmierung durch eine abstraktere Schnittstelle.

Abstract Regions basiert auf Gruppen von Knoten, die innerhalb der direkten Nachbarschaft um einen Knoten ausgewählt werden. Die Auswahl erfolgt an Hand lokal auswertbarer Knoten-Eigenschaften wie Sensor-Messwerte, Position

oder Güte der drahtlosen Verbindung. Der Prozess der Auswahl und deren dynamische Anpassung an Veränderungen ist für den Programmierer transparent. Innerhalb einer so gebildeten Gruppe von Knoten können Daten ausgetauscht und aggregiert werden. Diese Dienste sind allerdings nicht austauschbar und die Beschränkung auf Nachbarknoten ist fester Bestandteil der Implementierung.

Der in [2] vorgestellte Rollen-basierte Ansatz hat im Gegensatz zu Abstract Regions das gesamte Sensornetz als Grundmenge. Jeder Knoten ist in der Lage, verschiedene Rollen zu übernehmen, etwa das Sammeln, Aggregieren oder Weiterleiten von Messwerten. Die Auswahl der Rollen erfolgt dynamisch zur Laufzeit abhängig von verschiedenen lokaler Knoten-Eigenschaften, wie bei Abstract Regions, oder von Eigenschaften von Nachbarknoten. Im Unterschied zu Abstract Regions gibt es keinerlei Struktur zur Gruppierung der Knoten einer Rolle. Dienste wie der Austausch oder die Aggregation von Daten innerhalb einer Gruppe müssen also nachwievor selbst implementiert werden.

Beiden Ansätzen gemeinsam ist die Spezifikation der Regionen bzw. Rollen schon zur Übersetzungszeit. Ein einmal programmiertes Sensornetz kann daher nicht für zusätzliche Anwendungen verwendet werden wie dies für Mehrzweck-Sensornetze nötig wäre.

4 Scopes für drahtlose Sensornetze

Scopes als Mittel zur Strukturierung verteilter Systeme wurden zuerst im Zusammenhang mit Publish/Subscribe-Systemen untersucht [1]. Ein Scope besteht im Kern aus einer Gruppe von Knoten oder Komponenten, die durch eine Auswahlbedingung oder durch Aufzählen spezifiziert wird. Durch die Betrachtung von Scopes als eigenständiges Objekt erhält man ein Mittel zur Strukturierung, das die Kommunikation zwischen Scopes kontrolliert, aber orthogonal zu Kommunikations- und Anwendungslogik innerhalb der Gruppen ist. Dies erlaubt es, Scopes für vielfältige Zwecke zu verwenden und zusätzliche Dienste und Eigenschaften daran zu binden.

Im Folgenden geben wir einen Überblick über die Anwendung dieses Konzepts auf drahtlose Sensornetze. Fast alle oben genannten Aspekte der Knotenauswahl und Gruppenbildung in Sensornetzen lassen sich auf Scopes abbilden.

4.1 Spezifikation von Scopes

Zur Spezifikation eines Scopes bedarf es vor allem einer Sprache zur Beschreibung der Scope-Zugehörigkeitsbedingung. Im Gegensatz zu den meisten anderen Netzwerken kommt es bei drahtlosen Sensornetzen meistens nicht darauf an, einzelne Knoten direkt zu adressieren, sondern Knoten mit bestimmten Eigenschaften zu finden und anzusprechen. Diese Eigenschaften müssen von einer Scope-Beschreibungssprache abgedeckt werden. In Frage kommen hierfür sowohl statische *Knoteneigenschaften* wie „Knoten hat einen Temperatursensor“ als auch dynamische wie „Knoten hat mindestens drei Nachbarn“.

Um die modulare Erweiterbarkeit der Knoteneigenschaften zu ermöglichen, schlagen wir eine hierarchische Strukturierung des *Namensraums* für Knoteneigenschaften vor wie in Abbildung 1 exemplarisch für das Meta-Attribut *meta.color* und die geografische Position *geo.x* gezeigt. Dadurch wird eine Abbildung von Knoteneigenschaften auf spezielle Implementierungen möglich, deren spezifischen Eigenschaften zur Optimierung verwenden können. Das Modul zur Umsetzung der geografischen Knoteneigenschaften kann beispielsweise die Ausbreitung einer Scope-Erzeugung auf die in Frage kommende Region beschränken. Auf diese Weise lassen sich auch den Abstract Regions entsprechende, auf Nachbarknoten beschränkte Scopes effizient umsetzen.

Bezüglich der *Mächtigkeit von Ausdrücken* über Knoteneigenschaften ist ein Kompromiss nötig. Ein Problem stellen Ausdrücke dar, die sich auf zeitlich oder räumlich nicht lokale Eigenschaften beziehen. Dies trifft vor allem auf aggregierte Werte zu, wie beispielsweise „Temperatur liegt über dem Durchschnittswert aller Knoten“. Abgesehen davon können Ausdrücke, die aus Funktionen und Vergleichsoperatoren über Knoteneigenschaften und Konstanten gebildet sind, lokal ausgewertet werden. Der Komplexität der Ausdrücke sind allerdings durch die beschränkten Ressourcen auf Sensorknoten Schranken gesetzt.

4.2 Implementierung

Die konkrete Umsetzung erfolgt auf Basis von TinyOS. Ziel ist dabei eine flexible Lösung, die die Erweiterung um Szenario-spezifische Knoteneigenschaften und die Instantiierung von Scopes zur Laufzeit erlaubt.

Zur Spezifikation von Scopes verwenden wir über Vergleichsoperatoren, Knoteneigenschaften und Konstanten gebildete Boolesche Ausdrücke wie in Abbildung 1 dargestellt. Um diese Ausdrücke trotz der Ressourcenbeschränkungen in Sensorknoten zur Laufzeit auswerten zu können, werden sie in einen kompakten Bytecode in Postfix-Notation übersetzt. Dieser Bytecode kann mit Hilfe eines Stacks leicht von links nach rechts ausgewertet werden.

Die Instantiierung eines Scopes kann sowohl durch einen Gateway-Knoten als auch durch einen inneren Knoten angestoßen werden. Von diesem Wurzelknoten aus wird die entsprechende Auswahlbedingung im Sensornetz übertragen. Die Menge der dabei zu berücksichtigenden Knoten kann auf die Knoten eines bereits instantiierten Basis-Scopes beschränkt werden. Abbildung 1 zeigt einen geographischen Scope B der vom Wurzelknoten r aus innerhalb des Basis-Scopes A erzeugt wurde. Basis-Scopes können sowohl zur Effizienzsteigerung als auch, in Verbindung mit zusätzlichen Authentisierungsmechanismen, zur Zugriffsbeschränkung verwendet werden.

Als Gruppierungsmechanismus haben wir einen Routing-Baum implementiert, der gleichzeitig mit der Instantiierung eines Scopes zwischen seinem Wurzelknoten und den Mitgliedern des Scopes aufgebaut wird. Wie in Abbildung 1 gezeigt kann der Routing-Baum auch Knoten umfassen, die selbst nicht Mitglied des Scopes sind. Durch die Modularisierung könnte stattdessen beispielsweise auch ein Mesh-Overlay verwendet werden.

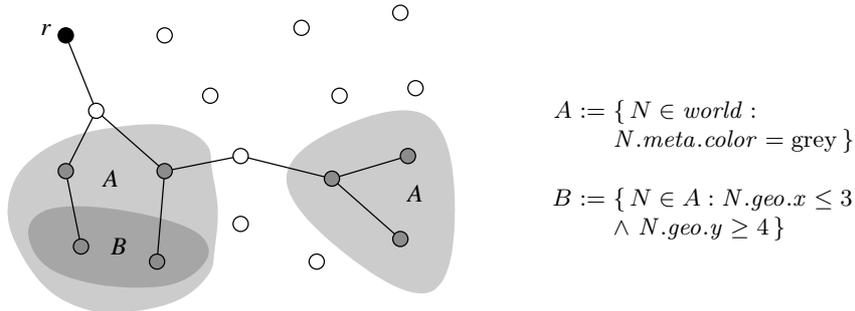


Abbildung 1. r ist Wurzel der Scopes A und B . Scope A ist Basis-Scope von B .

Zur Beschränkung der Lebensdauer eines Scopes verwenden wir ein auf Leases basierendes Verfahren. Während der Lebensdauer eines Scopes muss der Routing-Baum den sich ändernden Bedingungen im Sensornetz angepasst werden. Das gleiche gilt für Auswahlbedingungen sofern diese von dynamischen Eigenschaften abhängen.

5 Ausblick

Wir haben Scopes als allgemeines Konzept zur Strukturierung von Sensornetzen vorgestellt. Scopes decken nicht nur die Auswahl und Gruppierung von Knoten als abstraktes Programmier-Konzept ab, sondern auch Probleme, die bei der Realisierung von Mehrzweck-Sensornetzen zu lösen sind.

Breiten Raum für weitere Entwicklungen bietet die Möglichkeit, verschiedene Dienste und Eigenschaften mit Scopes zu koppeln, wie etwa Zugriffsbeschränkungen oder die Spezifikation der Dienstgüte.

Literatur

1. L. Fiege, M. Mezini, G. Mühl, and A. P. Buchmann. Engineering event-based systems with scopes. In *Proc. of ECOOP'02*, volume 2374 of *LNCS*, pages 309–333, Malaga, Spain, June 2002. Springer-Verlag.
2. K. Römer, C. Frank, P. J. Marrón, and C. Becker. Generic role assignment for wireless sensor networks. In *Proceedings of the 11th ACM SIGOPS European Workshop*, pages 7–12, Leuven, Belgium, September 2004.
3. J. Steffan, L. Fiege, M. Cilia, and A. Buchmann. Scoping in wireless sensor networks: A position paper. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-hoc Computing*, pages 167–171. ACM Press, October 2004.
4. M. Welsh and G. Mainland. Programming sensor networks using abstract regions. In *Proceedings of the First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '04)*, 2004.
5. A. Woo, S. Madden, and R. Govindan. Networking support for query processing in sensor networks. *Commun. ACM special issue: Wireless sensor networks*, 47(6):47–52, 2004.