

Programmierabstraktionen für eine adaptive nachrichtenbasierte Gruppenkommunikation

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von

M.Sc. Matthias Prellwitz, geboren am 22. März 1980 in Berlin
aus Berlin

Rostock, 28. August 2024

Zusammenfassung

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) bezeichnet ein dynamisches Netzwerk verbundener physischer Objekte, die mit Sensoren und Aktuatoren, Software und weiteren Technologien ausgestattet sind. Diese ermöglichen die Erfassung von Daten der Umgebung sowie die Veränderung von Zuständen. In Verbindung mit Software-Anwendungen entstehen ubiquitäre Umgebungen, welche die Automatisierung, Effizienz oder Assistenz verbessern. Die Anwendungsdomänen erstrecken sich von vernetzten alltäglichen Haushaltsgegenständen bis hin zu hochspezialisierten Industrieanlagen.

Die Komplexität derartiger ubiquitärer Umgebungen stellt Anwendungsentwickler vor Herausforderungen, die zum Zeitpunkt der Anwendungsentwicklung nicht antizipiert werden können: Bei der Implementierung wird seitens der Entwickler der Fokus auf feine und konsistente Schnittstellen zu den zu bindenden Objekten gelegt. Dynamische Ensembles aus gekoppelten, miteinander kooperierenden Entitäten weisen jedoch veränderliche Konfigurationen auf, was die Entwicklung von Software-Anwendungen vor Herausforderungen stellt. Die Ausprogrammierung potenzieller Bindungs- und Fehlerbehandlungsroutinen erweist sich als anspruchsvolle Herausforderung. Die Vielzahl an Herstellern resultiert in Geräten mit unterschiedlichen Fähigkeiten sowie Schnittstellen, die über verschiedene Protokolle mit individuellen Kommunikationszyklen kommunizieren.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Unterstützung von Anwendungsentwicklern bei der Umsetzung verteilter Anwendungen. Hierfür werden Programmierabstraktionen vorgestellt, welche die Lücke zwischen Entwurfs- und Laufzeit schließen. Dies ist erforderlich, da die Art und die Anzahl der Geräte, die zur Laufzeit zur Verfügung stehenden, bei der Implementierung unbekannt sein können. Die Programmierabstraktion *Dynamische Mengen* erlaubt die Verwendung einer Menge passender Geräte wie ein einzelnes. Diesbezüglich besteht für Anwendungsentwickler die Möglichkeit, zur Entwurfszeit imperativ gegen eine Schnittstelle zu programmieren und deren Methoden aufzurufen, wobei eine einzelne Instanz repräsentiert wird. Die besagte Schnittstelle wird mit Metadaten versehen, welche Empfehlungen bezüglich der Ausführung, Aggregation sowie Dienstgütestrategien beinhalten. Eine Middleware erstellt daraus Datenstrukturen, verwaltet die selektierten Mengenmitglieder, repliziert die Methodenaufrufe,

behandelt bei der Aggregation auftretende Fehler und berücksichtigt konfigurierte Ausführungsrichtlinien.

Die Schaffung von Transparenz durch einen lokalen Stellvertreter, welcher die Interaktion mit mehreren entfernten Geräten ermöglicht, erlaubt dessen hochfrequenten Aufruf durch die Anwendungslogik. Die Replikation sowie die resultierenden Transportkosten bleiben jedoch verborgen, so dass eine adaptive Kommunikation erforderlich ist, um eine Reduzierung der Netzwerklast zu erreichen. Für die Interaktion über Zustände von Geräten wird zwischen Anfragen von Anwendungen (Pull) und Aktualisierungen von Geräten (Push) unterschieden. Dabei werden sowohl einzelne Adressierungen (Unicast) als auch Gruppenadressierungen (Multicast) berücksichtigt. Da die vollständige Topologie eines Netzwerkes nicht bekannt ist bzw. eine zeitnahe Berechnung der entstehenden Realkosten zu aufwendig wäre, stellt die vorliegende Arbeit verschiedene Heuristiken mit unterschiedlichen Wirkungsweisen vor. Unter Berücksichtigung von Anfrageraten durch Anwendungskomponenten sowie Aktualisierungsraten von Geräteinstanzen erfolgt eine Ermittlung der kostengünstigeren Kommunikationsart unter Zuhilfenahme von Kostenfunktionen. Die Heuristiken wechseln adaptiv zwischen Request/Reply und Publish/Subscribe für einzelne Verbindungen oder eine Gruppe von Empfängern.

Im Rahmen der Interaktion zwischen Geräten und Anwendungen in verteilten Systemen wird eine plattform- und protokollunabhängige Abstraktion zur Bindung vorgestellt, welche Pull- und Push-basierte Interaktionen sowie den adaptiven Wechsel zur Optimierung der Kommunikation ermöglicht. Die Interaktionsmuster werden auf ein nachrichtenbasiertes Adressierungsschema abgebildet, welches auf themenbasierter Publish/Subscribe-Kommunikation basiert. Die Abbildung wird anhand aktueller Protokoll-Implementierungen mit angepassten Nachrichtenstrukturen sowie einer plattformunabhängigen Serialisierung der Nachrichtennutzlast erläutert.