

Algorithmen für verteilte Systeme in unbemannten Luftfahrzeugen

Artsiom Kalaha



BACHELORARBEIT

eingereicht am

Fachhochschul-Bachelorstudiengang

Automotive Computing

in Hagenberg

im Februar 2021

Betreuung:

Mag. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Müller B.Sc.

© Copyright 2021 Artsiom Kaliaha

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz *Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0) veröffentlicht – siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Die vorliegende, gedruckte Arbeit ist mit dem elektronisch übermittelten Textdokument identisch.

Hagenberg, am 1. Februar 2021

Artsiom Kaliaha

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iv
Kurzfassung	vi
Abstract	vii
1 Einleitung	1
2 Analyse	3
3 Entwicklung	4
4 Fazit	5
A Technische Informationen	6
B Ergänzende Inhalte	7
B.1 PDF-Dateien	7
B.2 Mediendaten	7
B.3 Online-Quellen (PDF-Kopien)	7
C Fragebogen	8
D LaTeX-Quellcode	9
Quellenverzeichnis	10
Online-Quellen	10

Kurzfassung

Drohnen ändern den Alltag auf überraschende Weise: sie retten in Katastrophengebieten, sichern die medizinische Versorgung in Konfliktzonen, reduzieren Verkehr und Emissionen und machen riskante Berufe sicherer. Heutzutage werden Drohnen vielseitig eingesetzt. Andere Gebiete, bei denen Drohnen zum Einsatz kommen, sind das Militär (Steuerung von Drohnenschwärmen), der Telekommunikationsbereich (schneller Aufbau von Netzwerken auf Nachfrage) und die Ausbildung (Aufnahme von 360-Grad-Videos).

Es gibt mehrere Forschungsrichtungen, die Funktionsweise einzelner Drohnen und Drohnenschwärmen optimieren. Eine von denen ist Swarming. Swarming ist ein Bereich von Multiagentensystem, der Drohnen ermöglicht, bestimmte Tierarten nachzuahmen. Die Schwarmintelligenz ermöglicht es hunderten, wenn nicht tausenden von Drohnen, zusammenzuarbeiten, um herausfordernde Aufgaben zu erledigen. Heutzutage forscht die gesamte Robotikindustrie auf dem Gebiet der kollaborativen Robotik, bei der Roboter nebeneinander arbeiten und von Menschen trainiert werden. Schon in Naher Zukunft werden wir aber in der Zeit der Cloudrobotik leben, in der Roboter ohne menschlicher Interaktion als ein einziger Organismus agieren und denken werden. Fortschritte in den Bereichen der Künstlicher Intelligenz und der Cloudrobotik treiben die Schwarmtechnologie an und werden dazu beitragen, dass Drohnen nicht nur mit ihren Operatoren, sondern auch miteinander kommunizieren werden. Heutzutage wird jede Drohne von einem oder mehreren Menschen gesteuert. Die Drohnen von morgen werden möglicherweise überhaupt keine Operatoren brauchen. Forscher untersuchen Möglichkeiten, Menschen durch Künstliche Intelligenz und Algorithmen für verteilte Systeme zu ersetzen. Da eingebettete Systeme mit jedem Jahr leistungstärker werden, haben sie genug Kapazitäten, um Sensordaten ohne Cloudverbindung zu bearbeiten, Rechenoperationen gleichmäßig untereinander aufzuteilen und Drohnen mit speziellen Funktionen im Schwarm redundant abzusichern.

Alle diesen Funktionen brauchen klassische Algorithmen für verteilte Systeme, die schon seit Jahren bei Cloudlösungen zum Einsatz kommen. Sie beruhen auf den Algorithmen aus den 80ern und 90ern, die immer noch in Produktivsystemen verwendet werden und als Inspiration für neue und optimalere Algorithmen dienen. Der Fokus dieser Bachelorarbeit liegt auf der Untersuchung verfügbarer Algorithmen für verteilte Systeme und auf der Recherche nach einem optimalen Concurrency Modell für robuste und fehlertolerante eingebettete Systeme.

Abstract

Drones change everyday life in surprising ways: they save in disaster areas, provide medicine in conflict zones, reduce traffic flow and emissions, and make risky jobs safer. Today, drones are used in many ways. Other areas where drones are used are the army (control of swarms of drones), the telecommunications sector (on demand network provisioning) and training (360-degree videos).

There are several research areas that focus on optimizing individual drones operation and swarms of drones control. One of these research topics is swarming. Swarming is a subfield of multi-agent systems that allows drones to mimic behavior of certain animal species. Swarm intelligence allows hundreds, if not thousands, of drones to work together to complete challenging tasks. Today the entire robotics industry is doing research in the field of collaborative robotics, which enables robots to work side by side with humans and to be trained by humans. In the near future, however, we will be living in the age of cloud robotics, in which robots will act and think as a single organism without human interaction. Advances in artificial intelligence and cloud robotics are driving swarm technology and will help drones communicate not only with their operators, but also with each other. Nowadays, each drone is controlled by one or more people. Tomorrow drones may not need operators at all. Researchers are investigating possibilities of replacing humans with artificial intelligence and algorithms for distributed systems. As embedded systems become more powerful each year, they get more and more capacity to process sensor data without cloud connection. Innovative approaches to building swarm systems suggest splitting computation evenly across all drones and redundantly securing drones which fulfill special functions in a swarm or carry unique hardware.

All of these functions require classic algorithms for distributed systems that were used in cloud solutions for years. They are based on the algorithms from the 80s and 90s, which are still used in production systems and serve as inspiration for more optimal algorithms. The goal of this bachelor thesis is to investigate available algorithms for distributed systems and find an optimal concurrency model for robust and fault-tolerant embedded drone systems.

Kapitel 1

Einleitung

Wir leben in der Zeit Künstlicher Intelligenz, Big Data und intelligenter Robotersysteme. Heutzutage ist die Vielfalt der Robotersysteme sehr beeindruckend: Roboter finden Einsatz in Form autonomer Autos, intelligenter Produktionstechnik und auch *Drohnen*. Vor 5 Jahren waren Drohnen noch manuell gesteuert, und erlaubten keine anspruchsvollen Rechenoperationen direkt auf der Hardware. Zukünftig sollen Drohnen leistungsfähiger sein und noch autonom funktionieren und das nicht nur einzeln sondern auch in Schwärmen. Der Fokus dieser Arbeit liegt im Gebiet der Drohnenschwärme, genauer gesagt in der Betrachtung dieser als *verteiltes System*. Dadurch, dass Drohnen miteinander kommunizieren, können sie in einem Schwarm voll autonom und ohne Kollisionen fliegen. Die Kommunikation im Schwarm liefert in diesem Fall zusätzliche Informationen für die Funktion des autonomen Fliegens. Die Anwendung von Algorithmen für verteilte Systeme macht diese Bachelorarbeit auch dadurch interessant, dass diese Algorithmen mehr Anwendungsfälle für Interaktionen innerhalb eines Schwarmes und auch zwischen einem Schwarm und der Cloud bieten. Ein weiterer möglicher Anwendungsfall ist die Entlastung von Operatoren, die diese Drohnen normalerweise steuern. Die Entwicklung von Drohnen mit einem hohen Grad an Autonomie bietet den Operatoren im Laufe einer Mission bzw. eines Auftrages mehr Freiheit, andere nützliche Aufgaben zu erfüllen (Kamera ausrichten, Objekt beobachten, 3D Mapping des Geländes steuern, usw).

Fortschritte in Kommunikationstechnologien (vor allem 5G), Künstlicher Intelligenz und eingebetteter Hardware haben die zweite Welle von *Drohnentechnologie* ausgelöst. Manche Anwendungsfälle, die früher nicht denkbar waren, werden derzeit in Forschungsinstituten und Universitäten (in Europa vor allem EPFL ¹ und ETH Zürich) erforscht. Innovative Startups versuchen, all diesen Anwendungsfälle auf den Markt zu bringen. Die Drohnenindustrie bietet bahnbrechende Anwendungsfälle und dadurch auch neue Herausforderungen.

Das Problem, das diese Arbeit löst befasst sich mit einer solchen Herausforderung, und zwar *der Synchronisation zwischen mehreren Knoten in einem Cluster von Drohnen*. Wenn Drohnen eine abstrakte Kommunikationstechnologie verwenden, muss ein Algo-

¹Die École polytechnique fédérale de Lausanne ist eine technisch-naturwissenschaftliche Universität in Lausanne, Schweiz.

rithmus gewählt werden, der Daten von Drohnen in einem Schwarm zuverlässig synchronisiert. Um eine passende Lösung dafür zu finden, wurden bestimmte Algorithmen verglichen. Zwei Algorithmen, die sich bei der Betrachtung verteilter Systeme und der Synchronisation von Knoten besonders auszeichnen, sind *Paxos* und *Raft*. Das Problem der Synchronisation zwischen den Knoten eines Systems wird in der Informatik auch „*Problematik der Replikation des Zustandsautomaten*“ genannt. Langjährige Erfahrungen der Cloudprovider, die diese Algorithmen für mehrere Bereiche ihrer Infrastruktur einsetzen (vor allem Speicherdienste und *MapReduce*² Clusters), haben die Nutzbarkeit dieser Algorithmen bewiesen. Zwar werden beide Algorithmen in zahlreichen Produkktivsystemen benötigt, die Meinungen über die jeweiligen Stärken und Schwächen der Algorithmen sind jedoch noch gespalten.

In einem engen Zusammenhang mit verteilten Systemen stehen *Concurrency Modelle*. Ergänzend zu den unabhängigen Fehlern der Teilkomponenten und dem Fehlen der Global Clock ist die Concurrency eine der wichtigsten Eigenschaften der verteilten Systeme. In dieser Bachelorarbeit werden die Eigenschaften mehrerer Concurrency Modelle verglichen, um ein dafür am besten geeignetes Modell für die Entwicklung verteilter Systeme zu finden.

Überblick über das Dokument: im 2. Kapitel 2 wird das Thema der Drohnen und der Interaktion von Drohnen in einem Schwarm betrachtet: was sind die Vor- und Nachteile bei der Verwendung eines Schwarms, welche Schwierigkeiten bringt die Steuerung eines Schwarms mit sich, welche theoretischen Frameworks gibt es für die Steuerung verteilter Agenten. Außerdem wird das Thema der verteilten Systeme behandelt: theoretische Grundlagen werden erläutert und Algorithmen für verteilte Systeme verglichen. Anschließend werden Concurrency Modelle für die Implementierung verteilter und ausfallsicherer Systeme untersucht. Das letzte Kapitel der Arbeit 3 befasst sich mit der Umsetzung eines der besprochenen Algorithmen mit einem der ausgewählten Concurrency Modelle. In diesem Kapitel wird der ausgewählte Algorithmus im Detail analysiert und erklärt. Welche Entscheidungen wurden bei der Umsetzung getroffen und weshalb. Zudem zeigt dieses Kapitel, welche Vorteile die ausgewählten Werkzeuge bieten.

²MapReduce ist ein Programmiermodell für nebenläufige Berechnungen über große Datenmengen auf Computerclustern.

Kapitel 2

Analyse

Kapitel 3

Entwicklung

Kapitel 4

Fazit

Anhang A

Technische Informationen

Anhang B

Ergänzende Inhalte

Auflistung der ergänzenden Materialien zu dieser Arbeit, die zur digitalen Archivierung an der Hochschule eingereicht wurden (als ZIP-Datei).

B.1 PDF-Dateien

Pfad: /

thesis.pdf Finale Master-/Bachelorarbeit (Gesamtdokument)

B.2 Mediendaten

Pfad: /media

*.ai, *.pdf Adobe Illustrator-Dateien
*.jpg, *.png Rasterbilder
*.mp3 Audio-Dateien
*.mp4 Video-Dateien

B.3 Online-Quellen (PDF-Kopien)

Pfad: /online-sources

Reliquienschrein-Wikipedia.pdf

Anhang C

Fragebogen

Anhang D

LaTeX-Quellcode

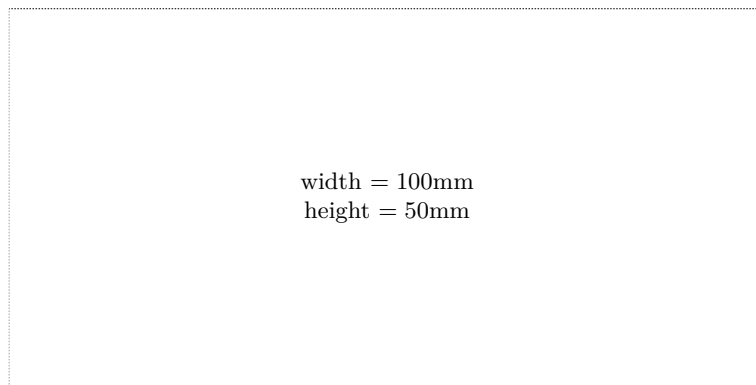
Quellenverzeichnis

Online-Quellen

- [1] *Reliquienschrein*. Sep. 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Reliquienschrein> (besucht am 28.02.2019).

Messbox zur Druckkontrolle

— Druckgröße kontrollieren! —



— Diese Seite nach dem Druck entfernen! —