



Fakultät II – Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Department für Informatik

Ein datenstrombasiertes Framework zur Objektverfolgung am Beispiel von Fahrerassistenzsystemen

Erweiterte Zusammenfassung

Dissertation zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften

vorgelegt von

Dipl.-Inform. André Bolles

Gutachter:

Prof. Dr. Dr. h. c. H.-Jürgen Appelrath

Prof. Dr. Klaus Meyer-Wegener

Jun.-Prof. Dr. Daniela Nicklas

Tag der Disputation: 8. Juli 2011

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziele der Arbeit	1
1.2	Problemstellung	3
1.3	Forschungsmethodik	4
1.4	Verwandte Arbeiten und Abgrenzung	4
1.5	Aufbau der Arbeit	7
2	Verwandte Basistechnologien	9
2.1	Fahrerassistenzsysteme	9
2.2	Sensorfusion und Objektverfolgung	10
2.3	Datenstrommanagement	18
2.4	Zusammenfassung	23
3	Objektverfolgungsframework StreamDrive	25
3.1	Messwerte in Datenströmen	25
3.2	Dynamikmodelle in Datenströmen	35
3.3	Datenrepräsentation	51
3.4	Zyklische Anfragen	61
3.5	Objektverfolgung in einem DSMS	79
3.6	Zusammenfassung	89
4	Architektur und Umsetzung von StreamDrive in Odysseus	91
4.1	Architekturentscheidungen zur Realisierung von StreamDrive	91
4.2	Umsetzung von StreamDrive in Odysseus	94
4.3	Zusammenfassung	108
5	Evaluation von StreamDrive	109
5.1	Evaluationsumgebung	109
5.2	Evaluation einzelner Konzepte	112
5.3	Fallstudie: Ein einfacher, adaptiver Tempomat	123
5.4	Fix- und Variationspunkte	131
5.5	Zusammenfassung	134
6	Zusammenfassung und Ausblick	135
6.1	Zusammenfassung	135
6.2	Ausblick	138

A Anhänge	143
A.1 Normalverteilung	143
A.2 Anhang - Kalman-Filter	146
A.3 Entwicklung eines Operators in Odysseus/StreamDrive	149
Glossar	153
Abkürzungen	163
Symbole	165
Abbildungen	167
Literatur	169
Index	179

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird beschrieben, wie ein Framework zur Objektverfolgung basierend auf einem Datenstrommanagementsystem (DSMS) entwickelt werden kann. Das Ziel dieser Arbeit ist die Beantwortung der Frage:

Wie kann ein Datenstrommanagementsystem als Basis einer anpassbaren und erweiterbaren Architektur von Fahrerassistenzsystemen eingesetzt werden?

Als Motivation hinter dieser Fragestellung steht die Problematik, dass die Entwicklung proprietärer Systeme als Basis von Fahrerassistenzsystemen (FAS) zu sehr hohen Wartungskosten bei Änderungen der Systeme führt, da diese in der Regel Änderungen am Systemcode notwendig machen. Dagegen bieten DSMS mit ihren an Datenbankmanagementsysteme (DBMS) angelehnten Anfrageverarbeitungsmechanismen flexible Möglichkeiten zur Anpassung der Informationsaufbereitung und der Informationsbereitstellung, die für unterschiedliche FAS genutzt werden können. DSMS sind jedoch nicht für die Objektverfolgung in Fahrzeugen ausgelegt, weshalb in dieser Arbeit Konzepte entwickelt werden, die DSMS entsprechend erweitern.

Verwandte Basistechnologien

In Kapitel 2 werden zunächst der Stand der Technik und die verwandten Basistechnologien Objektverfolgung und Datenstrommanagementsysteme vorgestellt, um eine Grundlage für die folgenden Abschnitte der Arbeit zu liefern.

Messwerte in Datenströmen

In Abschnitt 3.1 werden Konzepte zum Umgang mit Messwerten in Datenströmen entwickelt. Hierbei wird insbesondere auf die Repräsentation und Verarbeitung von Ungenauigkeiten eingegangen. Diese werden in dieser Arbeit in Form einer Kovarianzmatrix dargestellt, da Ungenauigkeiten von Sensormesswerten in der Regel durch Normalverteilungen dargestellt werden. Ein entsprechendes Datenstrommodell, welches diese Ungenauigkeiten repräsentieren kann, wird in Abschnitt 3.1 formal beschrieben, ebenso auch relationale Operatoren, die ebenfalls den Umgang mit Kovarianzmatrizen ermöglichen. Diese Definitionen liefern eine eindeutige Semantik für den Umgang mit Sensormesswerten in Datenströmen.

Dynamikmodelle in Datenströmen

Aufbauend auf den Konzepten zur Verarbeitung von Messwerten in Datenströmen wird in Abschnitt 3.2 der Umgang mit Dynamikmodellen behandelt. Dies ist notwendig, da die erfassten Verkehrsteilnehmer typischerweise dyna-

mische Eigenschaften besitzen, die sich über die Zeit verändern. Hierzu zählt insbesondere die Position, da sich Verkehrsteilnehmer in der Regel bewegen. In Abschnitt 3.2 wird dargestellt, wie ein solches dynamisches Verhalten abgebildet werden kann. Dazu werden Prädiktionsfunktionen genutzt, die sich in Form von Gleichungen ausdrücken lassen müssen. Damit lassen sich dann verschiedene Dynamikmodelle wie eine gleichförmige Bewegung oder auch eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ausdrücken. Um solche Dynamikmodelle in einen DSMS unter korrekter Einhaltung der Semantik nutzen zu können, wird ein bitemporales Datenstrommodell entwickelt, das eine Unterscheidung zwischen der Stromzeit und der Prädiktionszeit vornimmt. Die Stromzeit beschreibt dabei die Reihenfolge der Elemente im Datenstrom und die Prädiktionszeit das dynamische Verhalten der detektierten Objekte. Die relationalen Operatoren werden an dieses bitemporale Datenstrommodell adaptiert. Zusätzlich wird definiert, dass unterschiedliche Prädiktionsfunktionen den Datenstromelementen zugeordnet werden können. Wie die Zuordnung konkret aussieht, kann über Prädikate definiert werden, die auf den Datenstromelementen ausgewertet werden. Eine intelligente Anfrageausführung, die im Preprocessing der Anfrage die darin enthaltenen Anfrageprädikate anhand der Prädiktionsfunktionen neu definiert, erlaubt eine effiziente Ausführung bitemporaler Datenstromanfragen.

Datenrepräsentation

Typischerweise liefern die im Fahrzeug eingesetzten Sensoren mit jedem Scan eine Reihe detektierter Objekte und auch die Verfahren zur Objektverfolgung basieren häufig nicht auf einzelnen Objektdetektionen, sondern arbeiten auf ganzen Objektkonstellationen. Um dieses Verhalten direkt auf Datenströme abbilden zu können, reicht das flache, relationale Datenmodell nicht aus. Daher wird in Abschnitt 3.3 das bitemporale Datenstrommodell so erweitert, dass auch verschachtelte Tupel mit mehrwertigen Attributen darin repräsentiert werden können. Es wird des Weiteren aufgezeigt, dass eine darüber hinausgehende Erweiterung des Datenmodells – bspw. um die objektrelationalen Konzepte benutzerdefinierter Typen und Methoden und Objektreferenzen – nicht sinnvoll ist, da dies zu schwer lösbaren Problemen in der Anfrageverarbeitung führt.

Zyklische Anfragen

Bei der Objektverfolgung handelt es sich um einen zyklischen Prozess, der sich so nicht direkt in ein DSMS abbilden lässt, da DSMS in der Regel auf azyklischen Anfrageplänen arbeiten. Daher wird in Abschnitt 3.4 ein sogenannter Broker-Operator eingeführt, der auch zyklische Anfragen zulässt. Dabei ist jedoch eine Art Transaktionskontrolle durchzuführen, um die richtige Reihenfolge bei der Verarbeitung von Messwerten einzuhalten. In der Objektverfolgung muss die Aktualisierung des Kontextmodells durch eine neue Objektdetektion erst vollständig abgeschlossen sein, bevor eine zeitlich nachfolgende Objektdetektion

verarbeitet werden kann. Hierzu wird der Broker so implementiert, dass anhand der Zeitstempel der einzelnen Objektdetektionen entschieden wird, in welcher Reihenfolge der Messwerte das Kontextmodell aktualisiert werden kann. Damit wird quasi das aus DBMS bekannte Zwei-Phasen-Sperrprotokoll umgesetzt.

Objektverfolgung

In Abschnitt 3.5 werden die Operatoren der Objektverfolgung Prädiktion, Assoziation und Filterung formal definiert. Dies ermöglicht wiederum eine eindeutige Semantik, die insbesondere für den Einsatz in FAS von entscheidender Bedeutung ist. Mit diesen Operatoren wird es bspw. möglich, mehrere Verfahren der Objektverfolgung parallel zu nutzen oder aber auch bspw. denselben Prädiktionsschritt auf unterschiedlichen Sensoren durchzuführen, falls dies für die jeweilige Anwendung von Vorteil ist.

Architektur

Kapitel 4 bringt im Anschluss an die Definition der neu entwickelten Konzepte, diese in einen architektonischen und softwareorientierten Gesamtzusammenhang. Hierbei wird insbesondere die Interaktion zwischen StreamDrive und der Sensordatenvorverarbeitung bzw. der eigentlichen Assistenzfunktion dargestellt. Auch wird in diesem Kapitel die Umsetzung der Konzepte im verfügbaren Framework Odysseus vorgestellt.

Evaluation

Kapitel 5 enthält eine Evaluation einzelner Konzepte und eine Fallstudie. In den Einzelevaluationen wird insbesondere für die Verarbeitung von Messwerten in Datenströmen gezeigt, dass eine direkte Berechnung von Wahrscheinlichkeiten in Anfrageprädikaten aufgrund der resultierenden Performanzprobleme nicht sinnvoll ist. Für die Verarbeitung von Dynamikmodellen wird gezeigt, dass die intelligente Vorverarbeitung von Anfragen zu einer sehr hohen Performanz führt. Auch wird das Verhalten des Brokers analytisch untersucht und die Ergebnisse durch eine Einzelevaluation bestätigt. In einer Fallstudie wird abschließend ein prototypischer, adaptiver Tempomat (ACC) umgesetzt. Es kann gezeigt werden, dass trotz nicht-optimierter Algorithmen zur Objektverfolgung eine ausreichend hohe Performanz erzielt und durch die Anfragepläne eine flexible Wartbarkeit erreicht wird. Damit kann die eingangs gestellte Forschungsfrage mit den in dieser Arbeit entwickelten Konzepten beantwortet werden.

Ausblick

Abschließend stellt Kapitel 6 mögliche Erweiterungen zu dieser Arbeit vor, die genutzt werden können, um die hier entwickelten Konzepte für die Entwicklung neuerartiger Assistenzsysteme in Serienfahrzeugen zu verwenden.

Abstract

This work describes how to develop a framework for object tracking based on a datastream management system (DSMS). It gives an answer to the question:

How can a datastream management system be used as a basis for a flexible and extendable architecture of driver assistances systems?

The motivation beyond this question is the problem that the development of proprietary driver assistance systems leads to high costs for changes in these systems. DSMS provide a flexible query processing engine that can be used for sensor data processing. However, they do not provide mechanisms for object tracking. Therefore, in this work new concepts are developed to extend DSMS with object tracking capabilities.

Related Work

First, chapter 2 describes related work. Especially main concepts of object tracking and data stream management systems are explained.

Measurement Values in Datastreams

In Section 3.1 of this work, concepts for the processing of measurement values in datastreams are developed. Especially, the processing of covariance matrices is described in this section, since uncertainties in sensor measurements are usually defined normal distributed. A new datamodel for processing these measurements is developed and the semantics is formally described.

Prediction Functions in Datastreams

Based on the concepts for processing measurement values, in Section 3.2 concepts for the processing of prediction functions are developed. The key concept is a bitemporal datamodel and a preprocessing step that redefines query predicates before query processing starts. With this concept a high performance in prediction function processing can be reached.

Data Representation

Usually sensors in a car not only detect single objects but sets of objects. Thus, to process these object sets a datamodel is needed that can represent multi-value attributes. Therefore, in Section 3.3 the bitemporal model is extended in the way that also multi-value attributes and complex attributes are allowed. This extension is based on the non-first-normal-form data model known from databases.

Cyclic Queries

Object tracking is a cyclic process that cannot be directly integrated into a DSMS, since these systems usually use acyclic query plans. Thus, in Section 3.4 a new broker-operator is developed that can handle cyclic queries. For this, a transaction control mechanism is implemented that ensures the correct processing order for new sensor measurements. This transaction control mechanism is based on the two-phase-locking-protocoll known from databases.

Object Tracking

In Section 3.5 object tracking operators are formally defined. Prediction, association and filtering are separated into different operators. With these operators it is possible to achieve high flexibility in object tracking query plans.

Architecture

Chapter 4 shows the architectural overview of the newly defined concepts. In this chapter especially the interfaces between sensor preprocessing, DSMS and application processing are defined.

Evaluation

Chapter 5 shows the evaluation of this work. This is two-fold. On the one hand an evaluation of single concepts is done. Here, it is shown that for example calculating probabilities over measurements values is too expensive for high performance processing. Furthermore, the win of performance of the preprocessing step of the bitemporal datamodel is shwon. Cyclic queries are investigated analytically and experimentally. A case study of a prototypical adaptive cruise control system shows that the developed framework works in a real environment.

Outlook

At the end of this work, Chapter 6 gives an outlook to future work, that has to be done in order to use the developed concepts for new DAS in series-production vehicles.