

Beispiele für Fusionssysteme im Bereich Automotive

Nico Klein

Abstract: Im Bereich Automotive existieren verschiedene Fahrerassistenzsysteme. Diese werden jeweils mit Daten von einem oder mehreren Sensoren versorgt. Falls ein einzelner Sensor nicht genug Informationen für ein bestimmtes Ziel liefern kann, so werden die Daten mehrerer Sensoren fusioniert um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. Eine solche Fusion wird innerhalb des jeweiligen Systems durchgeführt [WHW09]. Dieses Dokument wird solche Fusionssysteme beschreiben und die Bedeutung, welche diesen zukommt, erläutern.

1 Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, zu erläutern, welche verschiedenen Bereiche beachtet werden müssen, um ein Fusionssystem, im speziellen auf den Bereich Automotive abgezielt, erstellen zu können. Dazu werden zunächst allgemeine Grundlagen der Sensordatenfusion in Kapitel 2 erläutert. Zunächst wird dabei definiert, was unter dem Begriff Sensordatenfusion zu verstehen ist. Danach werden die unterschiedlichen Arten der Sensordatenfusion erklärt. Darauf folgend wird auf die unterschiedlichen Ebenen der Fusion eingegangen und schließlich beschrieben, wie eine Architektur zu einem solchen Fusionssystem aufgebaut sein kann und welche unterschiedlichen Architekturmuster in diesem Bereich eingesetzt werden können. Die Funktionsweise, die einer solchen Architektur zugrunde liegt, wird in den Kapiteln 3 und 4 näher erläutert. Um einen Überblick zu bekommen, wo die Sensordatenfusion praktischen Einsatz findet, werden in Kapitel 5 aus den verschiedensten Bereichen Beispiele beschrieben. In Kapitel 6 wird abschließend ein Ausblick gegeben, wie sich der Nutzen der Sensordatenfusion voraussichtlich entwickeln wird.

2 Grundlagen der Sensordatenfusion

Im Folgenden werden die Grundlagen der Sensordatenfusion erklärt, um ein Verständnis für die technischen Details einer solchen Fusion zu bekommen. Dieses Verständnis ist notwendig, um die verschiedenen Vorgehensweisen, die bei einer Sensordatenfusion eingesetzt werden, nachvollziehen zu können. Die dadurch erlangten Informationen werden anhand der darauf folgenden Praxisbeispiele näher erläutert.

2.1 Definition Sensordatenfusion

Eine Definition für den Prozess einer Sensordatenfusion lautet:

„Data fusion is the process of combining data or information to estimate or predict entity states.“ [SBW98]

Dies bedeutet also, dass Daten oder Informationen kombiniert werden, um Zustände einer Entität abschätzen oder prognostizieren zu können. Eine Entität ist dabei ein abstraktes Objekt, zu welchem Informationen vorhanden sind. Im Bereich Automotive würde eine Entität bspw. ein vorausfahrendes Fahrzeug sein. Das Ziel eines solchen Fusionsprozesses ist es, die Stärken verschiedener Sensoren zusammenzuführen bzw. den Einzugsbereich durch den multiplen Einsatz gleichartiger Sensoren zu erweitern [WHW09]. Auf die einzelnen Arten der Fusionsprozesse wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

2.2 Arten der Sensordatenfusion

Eine Sensordatenfusion kann auf mehrere Arten durchgeführt werden. Die Faktoren, welche die jeweilige Art beeinflussen, sind die Typen der Sensoren an sich und das Ziel, welches man durch die Fusion erreichen will. Im Allgemeinen sollen durch die Fusion die Stärken mehrerer Einzelsensoren kombiniert oder deren Schwächen reduziert werden [WHW09]. Es existieren drei Arten der Sensordatenfusion, welche nun separat erläutert werden.

2.2.1 Komplementäre Fusion

Die komplementäre Fusion kann unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden. Auf der einen Seite gibt es die räumlich komplementäre Fusion, siehe Abbildung 1. Diese dient dazu, den Erfassungsbereich durch den Einsatz von multiplen gleichartigen Sensoren zu vergrößern [MS05]. Sensoren können jedoch auch von ihrem Dateninhalt komplementär sein. Beispielsweise sind ein Laserscanner und ein Radarsensor inhaltlich komplementär, da sie unterschiedliche Daten liefern. Daher dient eine komplementäre Fusion entweder dazu den Sichtbereich zu vergrößern oder die Genauigkeit des beobachteten Phänomens zu erhöhen und dessen Beschreibung vervollständigen zu können [Bec02].

2.2.2 Konkurrierende Fusion

Bei der konkurrierenden Fusion werden die Daten der Sensoren fusioniert, um die Genauigkeit des Ergebnisses zu erhöhen. Dabei decken mehrere dieser gleichartigen Sensoren denselben Bereich ab, siehe Abbildung 2. Sobald die Daten fusioniert worden sind, sind lediglich noch die Werte übrig, welche von allen Sensoren in diesem Bereich gemessen wurden. Diese Variante nennt man redundant, wobei die Ergebnisse der einzelnen Sensoren im Wesentlichen gleich sind. Jedoch können die Ergebnisse auch konträr werden,

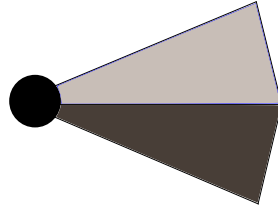


Abbildung 1: Räumliche, komplementäre Fusion.

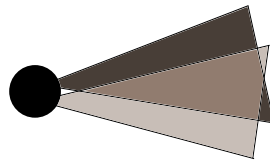


Abbildung 2: Konkurrierende Fusion.

was bedeutet, dass die Sensoren sich widersprechen. Dadurch werden spezielle Entscheidungsprozesse notwendig um die Daten interpretieren zu können [MS05].

2.2.3 Kooperative Fusion

Bei der kooperativen Fusion handelt es sich um die Fusionierung der Daten verschiedenartiger Sensoren. Diese Fusion dient dazu, die Stärken der verschiedenen Sensoren zu verbinden um einen hohen Informationsgehalt zu bekommen, siehe Abbildung 3. Beispielsweise können die Daten eines visuellen Sensors, wie einer Kamera, mit den Daten eines Lasersensors fusioniert werden. Dadurch können die Tiefeninformationen des Lasersensors mit den visuellen Daten der Kamera verbunden werden, was eine Objekterkennung möglich macht. Diese wird in einem späteren Abschnitt näher erläutert [MS05].

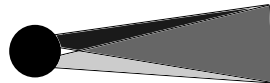


Abbildung 3: Kooperative Fusion.

2.3 Ebenen der Sensordatenfusion

Die Sensordatenfusion wird in drei Ebenen unterteilt. Das Low-Level (die sensornahe Fusion oder auch Rohdaten-Ebene), das Mid-Level (die Objekt-Fusion oder auch Merkmals-Ebene) und das High-Level (die Informations-Fusion oder auch Entscheidungs-Ebene). Die Unterscheidung bezieht sich dabei auf die Auflösung der Daten, die in die Fusion eingehen und den jeweiligen Grad der Vorverarbeitung dieser Daten. Jede dieser drei Ebenen wird in den folgenden drei Unterkapiteln erklärt [WHW09].

2.3.1 Sensornahe Fusion

Bei dieser Fusion sind die Daten minimal vorverarbeitet und liegen in der Auflösung des jeweiligen Sensors vor. Der Vorteil dieser Ebene ist, dass die verfügbaren Informationen, die ein Sensor liefert, vollständig vorliegen. Der Hauptnachteil ist jedoch, dass dadurch ein hohes Datenaufkommen vorhanden ist [WHW09]. Es handelt sich bei einer Fusion dieser Ebene um die direkte Fusion der elektrischen Ausgangssignale der Sensoren [Bec02].

2.3.2 Objekt-Fusion

Bei einer Fusion auf diesem Level werden zunächst die gewünschten Merkmale extrahiert. Die Menge an Daten, welche dann fusioniert werden muss, wird dadurch stark reduziert. Die Fusion erfolgt dann auf einer geringeren Datenmenge, als wenn direkt auf den Daten, welche die Sensoren liefern, fusioniert werden würde. Der Vorteil ist dabei, dass die Kommunikationsbandbreite, aufgrund der verringerten Datenmenge, reduziert wird. Der Nachteil, den diese Fusion jedoch mit sich bringt, ist der Verlust von Informationen, da nicht alle gelieferten Daten berücksichtigt werden [WHW09].

2.3.3 Informations-Fusion

Fusionen auf dem High-Level bekommen schon stark vorverarbeitete Daten geliefert. Diese Daten stellen Objekte dar anhand derer eine eventuelle Gefahr errechnet werden kann [WHW09].

2.4 Architektur

Die Architektur eines Fusionssystems für Sensordaten strukturiert den Entwicklungsprozess. Personen, die an der Entwicklung des Systems beteiligt sind, wird durch die Architektur das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten des Systems dargelegt [WHW09].

Anhand des Beispiels eines Fahrerassistenzsystems werden nun Hauptkomponenten, sowie mögliche Architekturmuster erläutert. Der Vorgang der bei einer Datenfusion erfolgt lässt sich in verschiedene Schritte aufteilen. Zunächst werden durch Sensoren Signale von

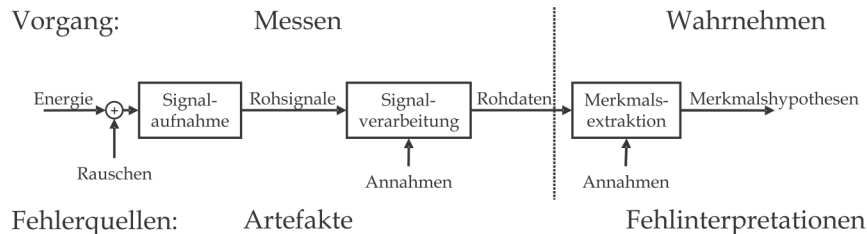


Abbildung 4: Datenverarbeitung in einem Fusionssystem [Dar07].

der Umwelt des Fahrzeugs aufgenommen. Diese Rohsignale sind zum Teil korrekte Messwerte, jedoch auch Rauschen, welches die Menge der Werte verfälschen kann. Die gesammelten Werte werden dann weiter verarbeitet, wobei die fehlerhaften Messwerte herausgefiltert werden. Durch diesen Vorgang entstehen Rohdaten, auf welchen eine Merkmalsextraktion durchgeführt werden kann. Auch bei diesem Schritt werden die Rohdaten noch einmal gefiltert und lediglich die korrekten Werte übernommen.

Aufgrund dieser drei Schritte kann eine Merkmals-hypothese erstellt werden welche bspw. ein vorausfahrendes Auto beschreiben kann. Sowohl die Signalverarbeitung, als auch die Merkmalsextraktion können mit schon im System vorhandenen Informationen abgeglichen werden, um die jeweiligen Daten interpretieren zu können.

Beim gesamten Vorgang, siehe Abbildung 4, können Fehler auftreten, welche in den ersten beiden Schritten als Artefakte und im letzten Schritt als Fehlinterpretation beschrieben werden können. Solche Fehler entstehen bspw. durch Spannung, Strom, elektromagnetische Strahlung, Straßenmarkierungen oder Fahrzeugheckansichten.

Bei der Entdeckung von signifikanten Merkmalen, besonders im sicherheitskritischen Bereich, können die einzelnen Sensoren verstärkt werden. Geht man dabei von einem Fahrzeug aus, welchem sich das eigene Fahrzeug schnell nähert, ist es von Bedeutung, dass die Sensoren Daten in kürzerer Zeit liefern, als sie dies tun müssen, wenn ein Fahrzeug sich von dem eigenen Fahrzeug wegbewegt. Um einen solchen Effekt zu erreichen, können Verstärkungsfaktoren in der Hardware eingesetzt werden wie bspw. die Verstärkung des Empfangssignals eines Laserscanners [Dar07].

2.4.1 Architekturmuster

Im Folgenden werden drei allgemeine Architekturmuster erläutert, welche die Grundlage für die Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems bilden.

Dezentral

Die dezentrale (oder auch autonome) Architektur beinhaltet die sensornahe Fusion. Die Objekt-Diskriminierung und die Track-Schätzung erfolgen individuell direkt in jedem einzelnen Sensormodul. Die einzelnen Ergebnisse werden in einem zentralen Baustein fusioniert und gegebenenfalls zu den Sensoren zurückgeführt. Aus diesem Grund kann jeder

dezentrale Baustein die Rolle eines zentralen Bausteins übernehmen, wodurch Redundanz erzielt wird. Die dezentrale Architektur ist im Hinblick auf die Objekt-Diskriminierung optimal, insofern die Sensoren orthogonal zueinander sind. Falls die Zeitpunkte der Messungen der verschiedenen Sensoren unterschiedlich sind, so werden nur näherungsweise optimale Genauigkeiten bei der Track-Schätzung erreicht [WHW09].

Zentral

Bei der zentralen Architektur werden die Daten nur minimal vorverarbeitet. Dies gilt sowohl für die Rohdaten- als auch für die Merkmals-Ebene. Nach der Vorverarbeitung werden die Ergebnisse in einem zentralen Baustein zusammen- und ggf. zu den Sensoren zurückgeführt. Im dem Fall, dass die Sensoren nicht orthogonal zueinander sind, ist die zentrale der dezentralen Architektur überlegen. Ansonsten sind die Ergebnisse identisch. Im Hinblick auf die Track-Schätzung ist diese Architektur, ebenso wie die dezentrale Architektur, optimal, jedoch ohne die Einschränkungen, die bei der dezentralen Architektur vorliegen. Die Nachteile einer zentralen Architektur sind das erhöhte Datenvolumen zwischen den einzelnen Bestandteilen des Systems und die Einschränkungen im Hinblick auf die Flexibilität der Architektur, da bei Erweiterungen der interne Algorithmus des zentralen Bausteins eventuell geändert werden müsste. Zusätzlich fällt ein hohes Datenvolumen an den Schnittstellen zwischen den Sensorbausteinen und dem Fusionsbaustein an [WHW09].

Hybrid

Die hybride Architektur vereinigt die dezentrale und die zentrale Architektur. Hier ist es für einen zentralen Baustein möglich, dass nicht nur minimal vorverarbeitete, sondern auch schon von den Sensoren weiter vorverarbeitete Daten angenommen werden können. Des Weiteren können diese wiederum einen Eingang für einen dezentralen Baustein darstellen. Die Ergebnisse des dezentralen können in dem Fusionsalgorithmus des zentralen Bausteins berücksichtigt werden [WHW09].

3 Schätzverfahren

Beim Schätzverfahren handelt es sich um die Trennung von Störungen und korrekten Signalen. Rudolf Emil Kalman beschäftigte sich mit diesem Bereich. Er entwickelte den Kalman-Filter, welcher wie folgt funktioniert: Es handelt sich hierbei um einen rekursiven Algorithmus mit einem Zustandsvektor, bei dem zunächst ein Anfangswert ermittelt wird. Die folgenden beiden Schritte werden dann rekursiv ausgeführt, wodurch der Algorithmus sich auf zeitkontinuierliche Prozesse anwenden lässt. Bevor ein neuer Messwert vorhanden ist, wird eine Vorhersage für den Zustandsvektor erstellt. Nachdem ein neuer Messwert eingetroffen ist, wird der korrigierte Schätzwert ermittelt. Dabei wird der nichtvorhergesagte Anteil, in Bezug auf den erwarteten Messwert, gewichtet. Die Varianz, welche von der Standardabweichung abhängt, muss dabei minimal sein, um von einem korrekten Messwert ausgehen zu können. Sollte dies nicht der Fall sein, wird der jeweilige Messwert als Störung deklariert und geht nicht mit in weitere Berechnungen ein. Der Kalman-Filter bildet die Grundlage für verschiedene Erweiterungen und Varianten von

Filter-Algorithmen. Natürlich ist der Kalman-Filter, neben beispielsweise dem Informationsfilter oder den adaptiven Schätzalgorithmen, nur einer von vielen Algorithmen, die in diesem Bereich eingesetzt werden [Bec02].

4 Verfahren der Datenfusion

Aufgrund der soeben beschriebenen Verfahren der Schätzwertberechnung werden Verfahren entwickelt, um aus den Daten mehrerer Sensoren einen möglichst guten Schätzwert berechnen zu können. Bei einem solchen Fusionsverfahren ist es zusätzlich von Bedeutung, die Schätzunsicherheit so gut wie möglich zu beschreiben. Des Weiteren muss das Verfahren nebst den eigentlichen Werten auch das Wegfallen, bzw. das Hinzukommen, einer Datenquelle verarbeiten können.

Die einfachste Möglichkeit, die Daten mehrerer Sensoren zu fusionieren, ist es, das arithmetische Mittel aller Messwerte zu bilden. Diese Fusion ist auch, wie in 2.3 beschrieben, als Low-Level-Fusion bekannt. Sensoren besitzen häufig eine eigene Zustandsabschätzung. Wenn dieser Fall eintritt, handelt es sich um die, in 2.3 erläuterte, Mid-Level-Fusion, welche modellbasiert ist und vorverarbeitete Daten auswertet [Bec02].

5 Praxisbeispiele

Um die Funktionsweise der Sensorfusion besser nachvollziehen zu können, werden im Folgenden einige Beispiele aufgezeigt, in welchen Bereichen der realen Welt solche Fusionen eingesetzt werden. Dabei wird besonders auf den Bereich der Fahrerassistenzsysteme eingegangen, da dieser den für diese Arbeit wichtigsten Bereich darstellt.

5.1 Projekt: Proreta

Das Ziel des Projekts Proreta war ein Algorithmus, welcher auf Basis von Informationen aus dem Umfeld eines Fahrzeugs eine Unfallvermeidung durchführen sollte. Der Algorithmus zielte speziell auf Situationen im ausserstädtischen Verkehr ab. Dabei handelte es sich bspw. um Situationen wie das Notausweichen oder das Notbremsen. Beim Notausweichen handelt es sich um eine Situation, bei der ein stehendes Objekt die Fahrspur blockiert, auf der sich das eigene Fahrzeug befindet. Sollte der Fahrer bis zu dem letztmöglichen Moment nicht auf das Hindernis reagieren, sorgt das Fahrerassistenzsystem dafür, dass das Fahrzeug um das Hindernis herumgeleitet wird. Bei dem Szenario Notbremsen schert ein Fahrzeug auf die Fahrspur des eigenen Fahrzeugs. Hier würde das System, ebenfalls zum spät möglichsten Zeitpunkt und ohne eine Reaktion des Fahrers, eine Bremsung durchführen, damit das eigene Fahrzeug noch vor einem Zusammenstoß mit dem einsicherenden Fahrzeug zum stehen kommt. Je genauer die Position des Hinder-

nisses in den beiden Szenarien bekannt ist, desto genauer kann der Zeitpunkt, zu dem das System in die Fahrzeugführung eingreifen würde, berechnet werden [Dar07].

5.2 Militärische Systeme

Der militärische Bereich bot das erste Anwendungsgebiet für die Fusion von Daten, welche durch objekterkennende Sensoren geliefert wurden. Diese Fusion wurde hier genutzt, um Luftziele und Fahrzeuge besser erkennen, identifizieren und verfolgen zu können. Zusätzlich konnte sie zur taktischen Situationsanalyse und bei der Entscheidungsunterstützung genutzt werden [Bec02].

5.3 Geowissenschaften

Im Bereich der Geowissenschaften, wo häufig mit Satelliten- und Luftbildern gearbeitet wird, kann die Fusion dazu genutzt werden, eine höhere Auflösung im Gegensatz zu Einzelsensoren zu erreichen. Des Weiteren kann eine verbesserte Bildinterpretation erzielt und so Merkmale besser erkannt werden. Auch die Erhöhung der Bilddimension spielt hier eine Rolle, so ist es möglich durch die Fusion mehrerer Sensoren ein dreidimensionales Bild zu Erstellen [Bec02].

5.4 Medizin

Die Einsatzzwecke in der Medizin beziehen sich auf die Unterstützung bei Diagnosen. Auch in diesem Bereich werden Sensordaten fusioniert um eine dreidimensionale Darstellung des menschlichen Körpers zu erreichen. Es existieren dadurch Methodiken, bestimmte Symptome ohne einen Eingriff frühzeitig erkennen zu können [Bec02].

5.5 Robotik

Bei der Roboternavigation gibt es im Allgemeinen drei Problembereiche, die durch die Fusion von Sensoren gelöst werden können. Zunächst muss der Roboter die Möglichkeit besitzen, den eigenen Standort zu lokalisieren. Des Weiteren muss er das Ziel finden können. Das dritte Problem stellt der Weg dar, welchen er gehen muss, um sein Ziel zu erreichen. Dies ist den Fusionssystemen im Bereich Automotive sehr ähnlich. Jedoch ist der Bereich, in dem sich Roboter in der Regel bewegen, nicht mit dem Bereich des Verkehrs zu vergleichen, da es im Bereich Verkehr sicherheitskritische Situationen gibt, die Menschen gefährden können [Bec02].

5.6 Automatisierungstechnik

Dieser Bereich stellt für die Industrie einen interessanten Ansatz dar, um die Automatisierung von Abläufen verbessern zu können. Ein gutes Beispiel ist die Erkennung von teilverdeckten Objekten auf einem Fließband, welche durch Berührungssensoren in Verbindung mit Videosensoren erkannt werden können [Bec02].

6 Ausblick

Anhand der Informationen, welche durch dieses Dokument erworben werden konnten, wurde deutlich, dass die Sensordatenfusion in der heutigen Zeit eine große, wissenschaftliche Rolle spielt, mit deren Hilfe der Alltag vereinfacht werden kann. Des Weiteren, besonders im Bereich Automotive, wird die Fusion dazu eingesetzt, sicherheitskritische Situationen entschärfen zu können, in denen der Mensch alleine keine Möglichkeit mehr hat eingreifen zu können. Durch die Vielzahl an Einsatzgebieten kann zu diesem Zeitpunkt davon ausgegangen werden, dass die Sensordatenfusion auch weiterhin ein Forschungsgebiet bildet, in welches Zeit und Arbeitskraft investiert werden wird um eine erhöhte Sicherheit und Komfortabilität gewährleisten zu können. Zusätzlich ist zu erwarten, dass diesem Forschungsgebiet weitere Forschungsgelder zukommen werden, da sowohl im militärischen, als auch in privaten Bereichen der Nutzen dieser Technik deutlich zum Ausdruck kommt. Zwar ist die Technik noch verbesserungsfähig, kann jedoch schon in vielen Bereichen mit hoher Stabilität genutzt werden.

Literatur

- [Bec02] Jan-Carsten Becker. *Fusion der Daten der objekterkennenden Sensoren eines autonomen Straßenfahrzeugs*. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2002.
- [Dar07] Michael Darms. *Eine Basis-Systemarchitektur zur Sensordatenfusion von Umfeldsensoren für Fahrerassistenzsysteme*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2007.
- [MS05] Markus Maurer und Christoph Stiller, Hrsg. *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*. Springer, Berlin, 2005.
- [NAT98] NATO/IRIS, Hrsg. *3rd NATO/IRIS Conference*, Quebec City, Canada, 1998.
- [SBW98] A. Steinberg, C. Bowman und F. White. Revisions to the JDL Data Fusion Model. In NATO/IRIS [NAT98], Seiten 65–85.
- [WHW09] Hermann Winner, Stephan Hakuli und Gabriele Wolf. *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2009.