

Kurzfassung der Dissertation

Entwurf eines dynamischen Systems zur Sensorfusion

von Carsten Winkel, Institut für Neuroinformatik, Ruhr-Universität Bochum

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Sensorfusion mittels nichtlinearer dynamischer Systeme. Dabei liegt das Grundprinzip in der einheitlichen Beschreibung aller Informationsbeiträge als stabile Fixpunkte eines dynamischen Systems mit einer Zustandsvariablen, welche die momentane Schätzung der zu messenden Größe repräsentiert. Als zu fusionierende Information können Sensordaten wie auch Expertenwissen dienen, die innerhalb der Dynamik gekoppelt werden. Eine solche Darstellung erlaubt erstens die Mittelung sich ergänzender Daten, zweitens das Treffen von Entscheidungen zwischen gegensätzlichen Informationen und drittens die Elimination von Störungen der Daten. Die Effizienz des entwickelten Verfahrens zeigt sich sowohl anhand umfangreicher Simulationen als auch anhand real gemessener Strahlungsdaten eines mehrkanaligen Mikrowellenradiometers.

Insbesondere wenn eine genaue direkte Messung einer interessierenden physikalischen Größe nicht möglich ist, werden Multisensorsysteme eingesetzt, die viele, sich ergänzende und teilweise redundante Information liefern. Die Sensordaten müssen fusioniert werden, um eine gute Schätzung der zu ermittelnden Größe zu erhalten. Alle hier betrachteten Prozesse verhalten sich dynamisch, weshalb zur Sensorfusion in dieser Arbeit ebenfalls ein dynamisches System entwickelt wird. Darin spezifiziert jede Information einen lokalen Attraktor als Schätzung der zu bestimmenden Zustandsgröße. Zwei Parameter charakterisieren einen Attraktor: die Attraktorstärke bestimmt die Gewichtung der Information, also seine Bedeutung, und der gaußförmige Einflussbereich beschränkt den Wirkungsbereich eines Informationsbeitrages bei der Schätzung der Zustandsgröße. Diese Parameter können aufgrund von Vorwissen individuell auf jedes Problem angepasst werden. Damit ist eine Verknüpfung qualitativ verschiedenartiger Sensordaten mit abstraktem Wissen möglich. Auch Mehrdeutigkeiten bei der Interpretation von Sensordaten können auf diese Weise berücksichtigt werden. Die Summe aller Beiträge bildet als Gesamtsystem eine Differentialgleichung erster Ordnung, die auf einer vorgegebenen Zeitskala iteriert wird. Numerisch wird sie durch das Euler-Verfahren gelöst.

Diese Art der Sensorfusion besitzt auch ohne die Einbindung zusätzlichen Wissens signifikante Vorteile gegenüber anderen Verfahren. Das dynamische System bestimmt autonom, d. h. nur in Abhängigkeit vom Systemzustand und der Lage der Attraktoren, ob es gegebene Informationsbeiträge mittelt oder einen einzelnen Beitrag auswählt, um den neuen Systemzustand zu bilden. Damit entscheidet es selbstständig und nur auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Information. Im Gegensatz zu Fusionsystemen, die z. B. auf neuronalen Netzen basieren, sind keine Trainingsdatensätze erforderlich. Es wird gezeigt, dass dieses Fusionsprinzip die Verminderung des den Daten überlagerten Rauschens sowie die Eliminierung von Ausreißern ermöglicht. Auf Grund der flexiblen Systemarchitektur ist es jederzeit möglich, weitere Daten oder sonstige Informationen in das System zu integrieren.

Ein zusätzlicher Bestandteil der Arbeit ist der Entwurf eines dynamischen Systems zur Rekalibrierung der Sensordaten. Dies ist immer dann sinnvoll, wenn die Messdaten systematische Fehler aufweisen, wie zum Beispiel konstante Offsets oder langsames Driften. Die fortlaufende Analyse des Datenstromes garantiert die Überwachung der Sensorgüte, so dass die Sensordaten bei Erreichen einer vorgegebenen Qualitätsschranke rekalibriert werden können. Dieses Teilsystem ist mit der Dynamik zur Sensorfusion so gekoppelt, dass das Gesamtsystem jederzeit stabil ist: Hierfür wird ein Hysterese-Verhalten entworfen, das zwischen beiden Dynamiken umschalten kann.

Schließlich wird die Eignung dieses Verfahrens zur Sensorfusion anhand zahlreicher Simulationen evaluiert. Als Anwendungsbeispiele dienen erstens die Schätzung des wahren Temperaturverlaufes bei simulierten Temperaturmessreihen und zweitens die Schätzung einer Öldickenverteilung aus simulierten Antennenmessungen. Vor allem die verschiedenen, teils vom Sensortyp abhängigen Störeinflüsse sowie die unterschiedlichen Auflösungen der Sensoren erschweren eine Schätzung der gesuchten Größe. Die Dynamik ist trotzdem in der Lage, diese Störungen deutlich zu reduzieren. Die zusätzliche Anwendung des Verfahrens auf reale Helligkeitsmessungen eines Experimentes zur Öldickenschätzung mittels dreier Mikrowellenradiometer zeigt ebenfalls eine Verminderung der Störanteile und bezüglich eines integralen Fehlermaßes eine höhere Güte. Die Konvergenz des dynamischen Systems ist für große Einstellbereiche der Parameter nicht gefährdet und kann bei günstiger Initialisierung positiv beeinflusst werden. Die Architektur demonstriert damit ein hohes Maß an Robustheit und ermöglicht die Disambiguierung mehrdeutiger Information.

Das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren ist nicht nur im Kontext umweltrelevanter Fusionsaufgaben zu sehen. Vielmehr stellt es eine Lösungsmöglichkeit für allgemeine Problemstellungen aller Bereiche der Sensorfusion dar. Dieses Fusionsverfahren ist vor allem dann einsetzbar, wenn viele Daten verschiedener Sensoren gekoppelt werden müssen, eine physikalische Modellierung zu aufwändig erscheint oder nicht genügend Datensätze vorhanden sind, um ein überwachtetes Lernverfahren aufzubauen.