

Objektcharakterisierung im heterogenen Sensorverbund

Jürgen Ziegler

VG 62 (Führung)
IABG
Einsteinstr. 20
85521 Ottobrunn
jziegler@iabg.de

Abstract: Im Zuge militärischer Aufgaben ist es erforderlich, alle Objekte, die für die eigene Auftragsdurchführung relevant werden könnten, so zu charakterisieren, dass sie im Sinne des militärischen Auftrages angemessen behandelt werden können. Die für eine solche Charakterisierung relevanten Objekteigenschaften (Set möglicher Ergebnisse) hängen vom Typ des Objekts, dem Umfeld und der militärischen Aufgabe ab. Dieser Beitrag zeigt ein Verfahren, das es erlaubt, Informationen unterschiedlicher Qualität aus heterogenen und verteilten Quellen¹ (Sensoren, Beobachtungen usw.) korrekt zu interpretieren, konsistent zu fusionieren und eine optimale Entscheidungsempfehlung für den oder die Nutzer hinsichtlich des benötigten Sets möglicher Endergebnisse abzuleiten. Das Verfahren beruht auf einem Bayes'schen Ansatz und setzt diesen konsequent in ein Gesamtkonzept um. Die aus der Nutzung des Verfahrens resultierenden Vorteile werden dargestellt. Anhand eines Beispiels wird das Verfahren veranschaulicht.

1 Problemstellung und Lösungsansatz

1.1 Problemstellung

Ein Nutzer muss ein Objekt identifizieren (mittels Objekteigenschaften charakterisieren). Hierbei sollen die Informationen von mehreren Quellen genutzt werden, die zur Identifizierung relevante Beiträge liefern können. Im Allgemeinen sollen zur Objektcharakterisierung sowohl eigene Quellen des Nutzers als auch „remote“-Quellen in identischer Weise genutzt werden.

Folgende Randbedingungen müssen bei der Lösung berücksichtigt werden:

- Die Quellen liefern mit Unsicherheiten behaftete Ergebnisse.
- Es sind unterschiedliche Arten von Informationsquellen zu berücksichtigen.

¹ Eine „Quelle“ besteht aus einem Sensor (auch „Auge“) und einem zugeordneten Auswerteverfahren

- Aus verschiedenen Gründen (z.B. Beschränkungen bei der Datenübertragung) ist es nicht sinnvoll, Sensorrohdaten weiterzugeben.
- Die für den Nutzer relevanten Objekteigenschaften hängen von seiner Aufgabe und seinen möglichen Handlungsoptionen ab.
- Es soll eine mathematisch korrekte optimale Nutzung aller verfügbaren Quelleninformationen zum Objekt, auch von remote-Quellen, realisiert werden.
- Zwei Nutzer, die sich mit dem gleichen Objekt befassen, müssen konsistente (bei gleicher Aufgabe identische) Ergebnisse erzeugen.

1.2 Lösungsansatz

Es wird ein Gesamtansatz zur Lösung des Problems vorgestellt, das den Prozess von der Erstellung von austauschbaren Quelleninformationen bis hin zum Ableiten der Objektcharakterisierungen abdeckt. Der Ansatz beruht auf der Bayes'schen Wahrscheinlichkeitstheorie. Grundidee ist es, die technischen Eigenschaften von Quellen **objektiv** zu beschreiben sowie **unabhängig davon** die Nutzeranforderungen an die Identifizierung zu definieren. Die Abbildung der Quelleninformationen auf die operationellen Fragestellungen wird dann mit einem „Interpretationsschritt“ geleistet. Das Verfahren ist so konstruiert, dass im Prinzip jede (bekannte) Informationsquelle integriert werden kann. Durch die eindeutige Festlegung der Daten zur Beschreibung von Informationsquellen wird die fehlerfreie Nutzbarkeit von remote-Informationen gesichert. Der Lösungsansatz wurde im NATO-Rahmen [NATO01] entwickelt und von der IABG wesentlich mitgestaltet und weiter ausgebaut [Stro/Schnei00] [Stro05].

2 Beschreibung des Verfahrens

Die folgende Graphik stellt die Schritte des Verfahrens und die im Verfahren berücksichtigten Daten dar. Die einzelnen Schritte werden dann im Einzelnen erklärt.

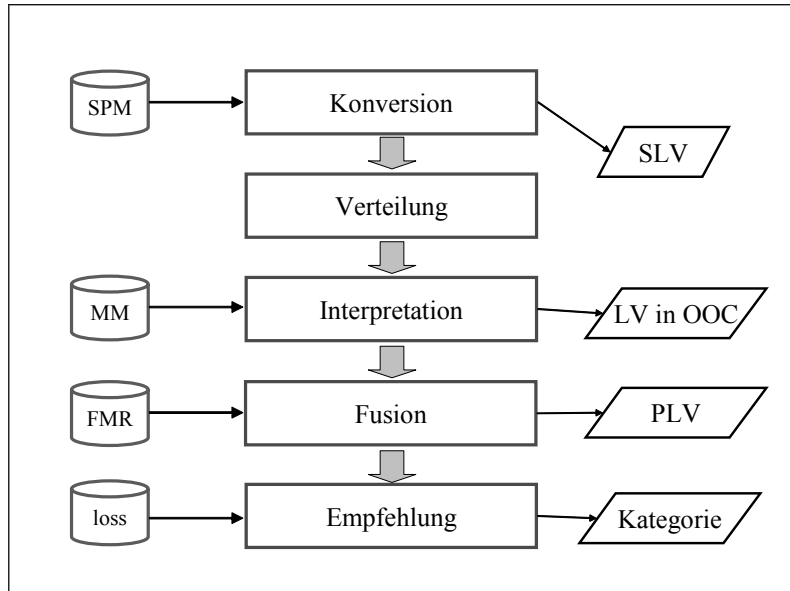


Abbildung 1: Verfahrensablauf und Daten

2.1 Beschreibung der Informationsquellen - Verfahrensschritt Konversion

Die technische Leistungsfähigkeit der Informationsquellen wird mit einer so genannten „Source Probability Matrix“ SPM beschrieben. Diese hat folgendes Aussehen:

	T1	...	Tn
D1	$P(D1 T1)$...	$P(D1 Tn)$
...
Dm	$P(Dm T1)$...	$P(Dm Tn)$

$T1...Tn$ sind die Eigenschaften der Objekte, die bei einer Informationsquelle zu unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten bei den Ergebnissen führen können. Die resultierende Partition der Objekte wird SDOC (Source Discrimination Object Class) genannt.

$D1...Dm$ sind die möglichen Ergebnisse der Quelle. Die Wahrscheinlichkeiten in der SPM sind die relativen Häufigkeiten (bedingte Wahrscheinlichkeiten), wie oft ergibt sich das Ergebnis D_i unter der Voraussetzung, dass die Eigenschaft T_j vorliegt. Liegt eine konkrete Messung D_i vor, wird aus der SPM der durch die entsprechende Zeile definierte Vektor (Source Likelihoodvektor SLV) ausgewählt. Beispiel für eine Quellenbeschreibung ist ein Radarsensor, der mit geeigneten Auswerteverfahren Rad von Kettenfahrzeugen unterscheiden kann. Die Wahrscheinlichkeit, wie gut dies geht, hänge von dem Material der Kette ab (z.B. Kunststoff, Metall, Metall mit Kunststoffbelag).

Dann gibt es die möglichen Deklarationen (Rad, Kette) und die SDOC besteht aus den Elementen (Rad, Kette Kunststoff, Kette Metall mit Kunststoffbelag, Metall).

Durch die exakte technische und mathematische Bedeutung der Werte ergibt sich die Möglichkeit, das Format einer derartigen Matrix für jeden Quellentyp festzulegen und damit einen Austausch von Quelleninformationen in einem Netzwerk bzw. Verbund von Quellen fehlerfrei durchzuführen.

2.2 Beschreibung der Interpretation von Informationen, Verfahrensschritt Mapping und Fusion

Die Ergebnisse der Quellen werden in Eigenschaften der Objekte übersetzt, die hinsichtlich der Identifizierung relevant sind. Hierfür wird die so genannte Output Object Class (OOC) verwendet. Sie teilt die Objekte so in (disjunkte) Gruppen ein, dass genau die Objekteigenschaften, die zur Identifizierung beitragen, im Verfahren berücksichtigt werden. Ein Beispiel für eine klassische OOC aus dem militärischen Bereich ist die so genannte EBIOC, die eine Unterteilung nach Freund, Feind, Neutral und Militärisch / Zivil kombiniert. Für die Übersetzung - Mapping genannt - werden Daten auf SDOC x OOC (Mappingmatrix) benötigt, die beschreiben, wie sich die unterscheidbaren Objekteigenschaften innerhalb der OOC verteilen. Beispielsweise werden Kettenfahrzeuge tendenziell eher militärischer Natur sein.

Nach Durchführung des Interpretationsschritts liegen die Informationen aller Quellen in einer einheitlichen Form vor. Nun können alle Sensorinformationen durch einfache Multiplikation der resultierenden „Likelihoodvektoren in OOC“ zu einem Posterior Likelihoodvektor PLV fusioniert werden. Liegen A Priori-Informationen über die Verteilung der Objekte bzgl. der OOC vor (FMR), werden diese in diesem Schritt mit berücksichtigt.

2.3 Beschreibung der Anforderungen der Nutzer, Verfahrensschritt Bewertung

Die Nutzer definieren die gewünschten Endergebnisse der Identifizierung. Üblich sind Unterteilungen der Objekte in Kategorien so, dass die weitere Behandlung der Objekte direkt aus den Prozessergebnissen ableitbar ist. Eine klassische militärische Unterteilung ist etwa eine Kategorisierung nach STANAG 1241 (FRIEND, Assumed FRIEND, UNKNOWN, NEUTRAL, SUSPECT, HOSTILE). Die bereits beschriebene OOC wird so gewählt, dass in jeder konkreten Situation unter der Annahme eines eindeutigen Fusionsergebnisses (ein Wert = 1) eine eindeutige Auswahl der Kategorie möglich ist.

Die Auswahl der Kategorie im konkreten Fall wird mit Hilfe einer Bewertung durchgeführt, die die Größe einer Fehlentscheidung mit den in der OOC tatsächlich angenommenen Wahrscheinlichkeiten gewichtet und die Kategorie mit dem minimalen Risiko auswählt:

Ist K die Menge der Kategorien, so lässt sich auf $OOC \times K$ eine Matrix $\text{loss}(B,k)$ ($B \in OOC, k \in K$) definieren, deren Werte die Größe der Fehlentscheidung repräsentieren, die gegeben ist, wenn das Objekt der Gruppe B angehört und die Kategorie k gewählt wird. Es wird dann die Kategorie mit dem geringsten Risiko ausgewählt.

$$\min \text{Risk} = \min \{ \text{Risk}(a) \mid k \in K \}, \text{ mit } \text{Risk}(k) = \sum_{B \in OOC} \text{loss}(B,k) \cdot p(B)$$

2.4 Mathematische Voraussetzungen

Das Verfahren in der beschriebenen Form basiert auf einigen Voraussetzungen, die sich aus der verwendeten Wahrscheinlichkeitstheorie ergeben und deren Nichterfüllung ggf. in geeigneter Weise berücksichtigt werden muss. Beispielsweise muss die Interpretation der Objekteigenschaften im Hinblick auf die OOC für verschiedene Quellen unabhängig sein. Diese Eigenschaft ist in praktischen Anwendungen teilweise nicht erfüllt, in diesem Fall muss aus den beteiligten Quellen eine „combined source“ gebildet werden und für diese eine gemeinsame Interpretation von Objekteigenschaften erfolgen.

3 Wesentliche Eigenschaften des Verfahrens

Das Verfahren erlaubt die konsistente, mathematisch exakte und verlässliche Verknüpfung von Informationen aus unterschiedlichsten Quellen zum Ziele einer Objektcharakterisierung. Es nutzt die verfügbaren Informationen maximal aus. Das Verfahren lässt sich mittels Daten an unterschiedliche Anwendungsfälle anpassen, ohne dass Softwareänderungen erforderlich sind. Die „Daten zur Adaption“ bestimmen das Format der OOC und die Objektkategorien, die „Daten zur Konfiguration“ bestimmen das Ergebnis des Verfahrensablaufs. Die Konfiguration technischer und operationeller Daten kann separat erfolgen; Quelldaten werden einmal erfasst, die anderen Daten können immer wieder an neue Einsatzbedingungen angepasst werden.

Das Verfahren benötigt extrem wenig Rechenzeit, da die Intelligenz in den Daten und der Mathematik steckt. Es wurde für eine militärische Anwendung entwickelt, es lässt sich jedoch auf alle Anwendungen übertragen, die Aufgabenstellungen gemäß 1.1 genügen sollen.

4 Literaturverzeichnis

- [NATO01] STANAG 4162: Technical Characteristics of the NIS Identification Data Combining Process (Version 1.0), 2001
- [Stro/Schnei00] Comprehensive Approach to Improve Identification Capabilities, Dr. Christoph Stroscher, Frank Schneider, held on RTO Meeting “New Information Processing Techniques for Military Systems RTO-MP-049 AC/323(IST-017)TP/8, 2000
- [Stro05] Identifizierung im Verbund Friend, Hostile,..., Renegade? DWT-Forum ELV – Erweiterte Luftverteidigung, 2005