

SF2-Systeme für Semantische Radar- Zielerkennung

Erklärbare Echtzeit-Radarklassifikation durch
kontextuelles Systemverständnis



nur ~400

Radar-Sweeps
Zuverlässige Ergebnisse
trotz weniger Daten



76

Radarzielklassen
Unterschiedene
Flugobjekttypen



t≈0

Nahezu null Latenz
durch 1 % spärliche
Fingerabdrücke



98%+

Klassifikationsgenauigkeit
über fast alle Klassen hinweg

DIE HERAUSFORDERUNG – Radardaten sind stöbehaftet & schwer zu interpretieren

Radarsysteme erzeugen enorme Mengen komplexer Signaldaten, die sich in Echtzeit nur schwer zuverlässig klassifizieren lassen. Konventionelle statistische Lernverfahren stoßen dabei häufig an ihre Grenzen:

- **Verrauschte Radarreflexionen** → Umgebungsstörungen und Signalverzerrungen erschweren eine zuverlässige Zielerkennung.
- **Überlappende Feature Spaces** → Radarziele zeigen oft ähnliche Signalcharakteristika, die klassische Klassifikatoren nur schwer voneinander trennen können.
- **Hohe Rechenanforderungen** → Traditionelle Radar-KI-Ansätze benötigen oft erhebliche Rechenleistung sowie cloudbasierte Infrastruktur für Echtzeitanalysen..

Selbst mit aufwändigem Feature Engineering lassen sich Radarzielklassen mit klassischen algebraischen Klassifikationsverfahren häufig nicht ausreichend voneinander trennen.

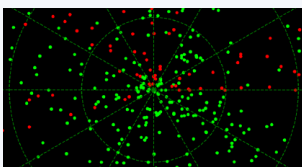
Die Kernfrage lautet:
Lassen sich Radarsignale
anhand ihrer kontextuellen
Bedeutung in Echtzeit
klassifizieren – transparent,
zuverlässig und auf leistungs-
schwacher Hardware?



DIE SF2 LÖSUNG – Komplexe Radarsignale semantisch interpretierbar machen

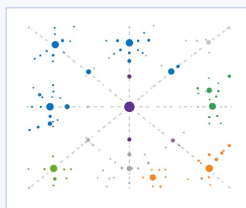
SF2 fusioniert radarabgeleitete Merkmale zu semantischen Fingerabdrücken, die kontextuelle Beziehungen zwischen Radarsignalen erhalten und interpretierbar machen.

Radar-Signatur-Extraktion

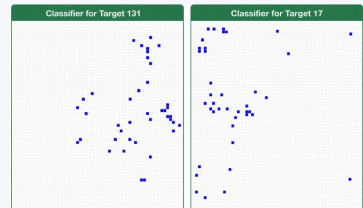


Radar-Sweep-Visualisierung:
Rot = fliegende Objekte | Grün = Umweltreflexionen

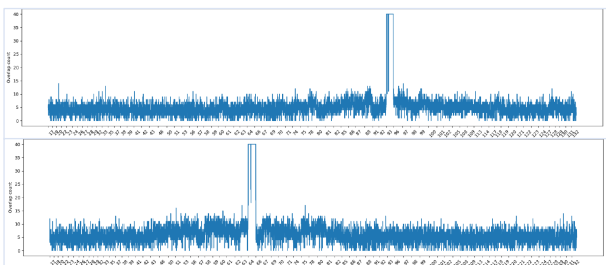
SF2 Sensor Fusion



Radar-Klassifikations-Fingerprints



DAS ERGEBNIS – Trennscharfe semantische Radarklassifikation



Überlappungsanalyse als Zeitreihendiagramme für die Klassifikatoren 93 und 64

Jede Grafik zeigt einen klaren Überlappungs-Peak bei der jeweils korrekten Radarzielklasse.

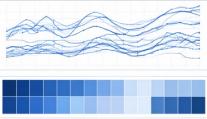
Validierte Ergebnisse

- ✓ **Nahezu perfekte Klassifikation** – F1-Werte von über 0,98 für nahezu alle Radarzielklassen.
- ✓ **Semantische Fingerabdrücke erzeugen klar separierbare Radarzielrepräsentationen** – selbst in stöbehafteten und sich überlappenden Signalumgebungen.
- ✓ **Effiziente Echtzeitverarbeitung durch kompakte, sparse Fingerabdrücke** – nur 1 % aktive Bits pro Klassifikator ermöglichen Edge-fähige Verarbeitung.

WIE SF2 FUNKTIONIERT

1 Daten-Normalisierung

Rohradar-Sweeps werden gereinigt und normalisierte (Magnituden/Phasenmerkmale), bevor Signaturen für das Semantic Mapping extrahiert werden.



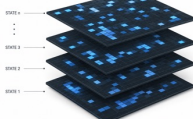
2 Semantisches Mapping (Dictionary)

SF2 erstellt einen semantischen Präsentationsraum ("Retina"), der ähnliche Signale und Beziehungen über Radarmerkmale hinweg gruppiert.



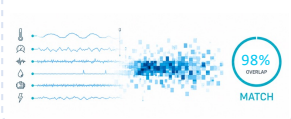
3 Fingerprint Aggregation (Classifier)

Radarmerkmalvektoren werden in semantische Status-Fingerabdrücke umgewandelt. Diese werden aggregiert, um Zielklassifikator-Fingerabdrücke zu erzeugen.



4 Echtzeit-Klassifikation (Comparison)

Die Überschneidung neuer eingehender Fingerabdrücke wird kontinuierlich mit den 76 Radarzielklassifikatoren aus der Library überprüft.



SF2 wandelt Radar-Sweep-Signaturen in semantische Fingerabdrücke um, bei denen ähnliche Ziele konsistente semantische Ähnlichkeiten erzeugen, während verschiedene Zielklassen klar trennbar bleiben.

Warum semantische Merkmalsrepräsentation statistische KI übertrifft

SF2 (Deterministisch)

- ✓ Präzise zustandsbasierte Analyse
- ✓ Ermöglicht einsatzspezifische Radarmodelle
- ✓ Erkennt schleichende Veränderungen in Echtzeit
- ✓ Kein gelabelter Trainingsdatensatz erforderlich
- ✓ Erklärbar und reproduzierbar (keine Black Box)
- ✓ 100% Datenhoheit (vollständig lokal)
- ✓ 100% edge-fähig – läuft auf beliebiger Hardware

Modellzentrierte KI (Probabilistisch)

- ✗ Liefert unsichere Approximationen
- ✗ Beruht oft auf generalisierten Modellen
- ✗ Erkennt Fehler erst nach Schwellwertüberschreitung
- ✗ Benötigt große Mengen gelabelter Daten
- ✗ Black-Box-Verhalten (schwer nachvollziehbar)
- ✗ Meist cloudabhängig (Daten & Sicherheitsrisiko)
- ✗ Meist nicht edge-fähig

MESSBARER BUSINESS IMPACT



Schnellere Lagewahrnehmung

Echtzeit-Radarinterpretation für schnellere operative Reaktion



Niedrigere Infrastrukturkosten

Reduzierter Rechen- und Speicherbedarf



Edge-Ready

Geeignet für embedded Systeme & den Einsatz im Radar



Reduzierte False-Positives

Unnötige Warnungen und manuelle Verifizierung reduziert

Ermöglicht Bedrohungs- und Anomalieerkennung in:

- Luftraumüberwachung
- Maritime Überwachung
- Drohnenerkennung
- Autonome Navigation
- Verteidigungssysteme

FAZIT

SF2 zeigt, dass semantische Zielrepräsentationen eine leistungsfähige Alternative zu klassischen statistischen Modellen bieten. Semantische Fingerabdrücke ermöglichen eine präzise, erklärbare und hoch effiziente Radarklassifikation für Echtzeit-Anwendungen. Damit schafft diese Fallstudie die Grundlage für Radarintelligenzsysteme der nächsten Generation, die Erklärbarkeit, minimale Latenz und operative Zuverlässigkeit gleichzeitig vereinen.

Weitere Informationen unter www.SF2systems.com

ZUKUNFTSPOTENZIAL – Übertragbar auf alle sensorbasierten Systeme

Industrielle
Fertigung

Chemie &
Prozessindustrie

Pharmaindustrie

Industrieanlagen

Automotive
Systeme

Energie-
infrastruktur

Versorgungs-
infrastruktur

Smart Buildings

Digitale
Infrastruktur

Mobilität &
Transport

SF²
SYSTEMS