

Luftraumüberwachung

Algorithmen für das Tracking von Zivilflugzeugen
(Surveillance Data Processing System)



Projektziel

Die Luftraumüberwachung ist auf ein ständig aktualisiertes Luftlagebild angewiesen, das wichtige Informationen wie Flugzeugtyp, Flugnummer, Position und Geschwindigkeit für eine effektive Entscheidungsfindung liefert. Um dies zu erreichen, kombiniert ein Surveillance Data Processing System (SDPS) Daten von mehreren Radarstationen, um Spuren für jedes Flugzeug zu erzeugen. Ziel dieses Kundenprojekts war die Entwicklung eines hochpräzisen und zuverlässigen Algorithmus für ein SDPS, der in der Lage ist, verschiedene Daten und Informationen zu verarbeiten, um ein präzises Luftlagebild zu erstellen. Der daraus resultierende Algorithmus wurde als Softwaremodul nahtlos in ein bestehendes SDPS integriert und erfüllte strenge Zuverlässigkeits- und Qualitätsstandards.

Die größte Herausforderung bei der Datenverarbeitung bestand darin, eine breite Palette von Radartechnologien zu berücksichtigen, darunter Primärradar, Mark X- und Mark XII-Sekundärradarstandards, Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) und Wide Area Multilateration (WAM). Jede Radartechnologie weist unterschiedliche Messmodelle, Interferenzeigenschaften, Fehlermuster und Messraten auf. Die Echtzeitverarbeitung und -zusammenführung von Daten aus diesen verschiedenen Radarquellen war für die Erstellung eines umfassenden und genauen Luftlagebildes unerlässlich. Die Softwareimplementierung des Algorithmus musste ein Gleichgewicht zwischen **Effizienz** und geringer **Latenz** herstellen, um eine effektive Berechnung der Flugspuren zu ermöglichen. Eine weitere große Herausforderung bestand darin, unter allen Umständen, einschließlich erheblicher Störungen, eine **hohe Präzision** und **Zuverlässigkeit** zu gewährleisten.

Um diese Herausforderungen zu meistern, mussten die Algorithmen fehlerhafte Messungen, wie z. B. Reflexionen, Radarinterferenzen und falsche Radareinstellungen, selbstständig erkennen und ausgleichen. Auf diese Weise konnten diese Algorithmen zuverlässig eine qualitativ hochwertige Darstellung der Luftlage liefern, einschließlich aller sich bewegenden Objekte.



Primär- und Sekundärradar:

Ein Primärradar nutzt ausschließlich und direkt das Radarprinzip, d.h. es analysiert die unmittelbaren (passiven) Echos der zuvor gesendeten Impulse und leitet daraus die Entfernung zum Objekt ab.

Das Sekundärradar hingegen arbeitet mit aktiven, kooperativen Objekten und leitet zusätzliche Informationen aus einem Datensignal ab. In der Praxis wird häufig eine Kombination aus Primär- und Sekundärradar eingesetzt.

Vorgehen & Lösungsweg

Wir entwickelten und optimierten Algorithmen für die Datenzuordnung und die Aktualisierung von Tracks, die über den Stand der Forschung und Technologie hinausgehen.

Zunächst konzentrierten wir uns auf die Entwicklung eines Algorithmus, der die Herausforderungen der Datenzuordnung bewältigt. Dieser Algorithmus ordnet Radarmessungen auch bei Störungen effizient den entsprechenden Flugzeugen zu. Außerdem arbeiteten wir an einem Algorithmus für die Aktualisierung der Flugbahn in einer 3D-Umgebung. Dieser Algorithmus berechnet optimal die Position und die Geschwindigkeit der Flugzeuge, während er gleichzeitig andere von den Flugzeugen übermittelte Variablen, wie Mode C und Mode S, aktualisiert und verarbeitet.

Um die Effektivität des Algorithmus zu gewährleisten, haben wir eine Rapid-Prototyping-Umgebung für die Entwicklung, Bewertung und Optimierung eingesetzt. Die Implementierung folgte dem V-Modell und hielt sich an Qualitätsstandards (EUROCAE ED153) und spezifische Codierungsregeln in C++. Die Tests wurden durchgängig durchgeführt, einschließlich umfassender Unit-Tests, teilautomatisierte Tests mit realen Daten und eines Simulationstools für Tests mit simulierten Daten.



Ergebnisse & Vorteile

Interne Darstellung in einem globalen Koordinatensystem für die weltweite Verfolgung

Erkennung von Flugmanövern, wie Steig- und Sinkflug oder Wendemanöver

Automatische Erkennung und Kompensation von Ausreißern, Störungen und Reflektionen

Redundantes System zur sofortigen Übernahme der Datenverarbeitung im Falle von Ausfällen

Überwachung aller Radarstationen zur automatischen Abschaltung von fehlerhaften Systemen

Sehr genaue und zuverlässige Positionsbestimmung des Flugzeugs

