

Automatische Erkennung von Objekten in 3D Millimeterwellen Bilddaten für den QPS Sicherheitsscanner

Athanasios KARAMALIS¹, Christian EVERS¹
¹ Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, München

Kurzfassung

Die Quick Personnel Security Scanner R&S[®]QPS100 und R&S[®]QPS200 erweitern das Produktportofolie von Rohde & Schwarz und bieten innovative Sicherheitslösungen für Sicherheitskontrollen an Flughäfen und kritischer Infrastruktur an. Die innovative Mikrowellen Bildgebung liefert hochauflösende dreidimensionale komplexe (Amplitude und Phase) Bilddaten. Die Privatsphäre wird gewahrt, indem keine Bilddaten angezeigt oder abgespeichert werden, sondern nur intern im Sicherheitsscanner selber mit automatischen Bildverarbeitungsalgorithmen analysiert werden. Potentielle Objekte an Personen werden auf einen abstrakten Avatar dem Benutzer angezeigt. Die automatische Erkennung von Objekten erfolgt in den 3D Millimeterwellen Bilddaten, mit Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Bei diesen Verfahren wird eine Vielzahl an Bildmerkmalen, wie z.B. Intensität, Rauheit, Textur und Mehrfachreflexionen, aus den Bilddaten extrahiert. Merkmale die aus un- und auffälligen Bildregionen extrahiert werden, unterscheiden sich und werden dazu verwendet um zwischen harmlosen und auffälligen Bildregionen zu klassifizieren. Die Kombination der unterschiedlichen Merkmale ist entscheidend, um robust zwischen den un- und auffälligen Bildregionen zu unterscheiden. Für diesen Zweck wurden bei Rohde & Schwarz Bilddaten mit und ohne Objekte generiert, um daraus Merkmale zu extrahieren und diese in maschinell gelernten Klassifikatoren/Modellen miteinander zu kombinieren. Mehrere tausende Mehrmale werden miteinander korreliert und durch mehrere unabhängige Klassifikatoren ausgewertet, bevor eine Bildregion als auffällig klassifiziert wird. Diese Vorgehensweise ermöglicht es Anomalien und Objekte aufzuspüren, die in den einfachen 2D Amplitudenprojektion schwer zu erkennen sind. Die Kombination von hochauflösenden dreidimensionalen komplexen Bilddaten, mit Verfahren des maschinellen Lernens, eröffnet neue Applikationsfelder für die Bildgebung der Sicherheitsscanner, im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung. Die Vielzahl und Vielfältigkeit der extrahierbaren Merkmale zusammen mit Klassifikatoren die tausende dieser Merkmale effizient kombinieren, bieten die Möglichkeit an komplexe Muster und Anomalien in Materialien aufzuspüren.

Automatische Erkennung von Objekten in 3D Millimeterwellen Bilddaten für den QPS Sicherheitsscanner

Athanasios Karamalis, Christian Evers



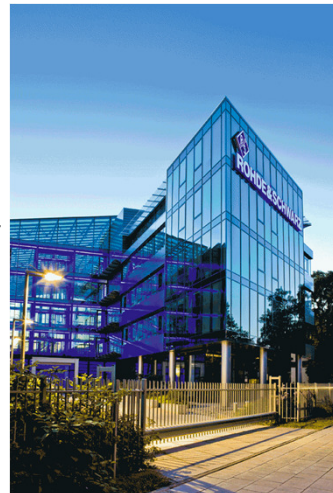
Einführung

Rohde & Schwarz, der Experte in

- Messtechnik,
- Fernseh- und Hörfunktechnik,
- Sichere Kommunikation und
- Funküberwachungs- und Ortungstechnik

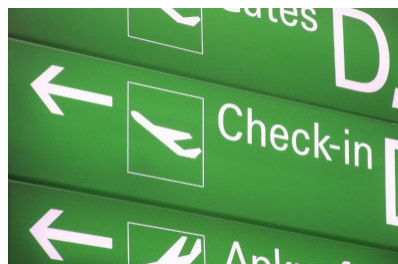
expandiert mit dem Quick Personnel Security Scanner R&S®QPS100 und R&S®QPS200 den Geschäftsbereich Sicherheitslösungen für Flughafensicherheit.

Die langjährige Erfahrung und Kenntnisse im Bereich der Mikrowellentechnik, ermöglichen die Einführung von Sicherheitslösungen auf dem letzten Stand der Technik.



Motivation/Applikation: Sicherheitskontrolle

- Steigende Anforderungen an effizienten Sicherheitskontrollen für Flughäfen und kritische Infrastruktur
- Geeignete Integration in existierende Sicherheitskonzepte
- Privatsphäre wahren mittels automatischer Bildverarbeitung
- Kosteneffiziente Lösungen schaffen



 **ROHDE & SCHWARZ**

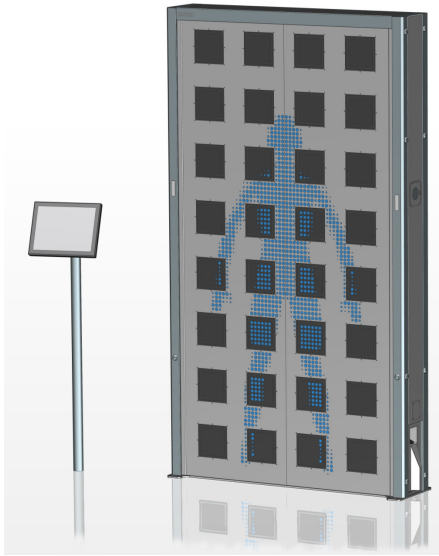
R&S®QPS Technischer Überblick

- ▮ Apertur **2m x 1m**
- ▮ Frequenzbereich **70 bis 80 GHz**
- ▮ Spitzenleistung **~1mW**
- ▮ Lateral-Auflösung **< 2 mm**
- ▮ Tiefen-Auflösung **< 6 mm**
- ▮ **3D Bildgebung** (Amplitude und Phase)
- ▮ Bilddynamik **> 30 dB**
- ▮ Messzeit **16 ms**
- ▮ Integrierte **Rekonstruktion**
- ▮ **Automatische Bildverarbeitung**
- ▮ **Optimiert für Flughäfen**

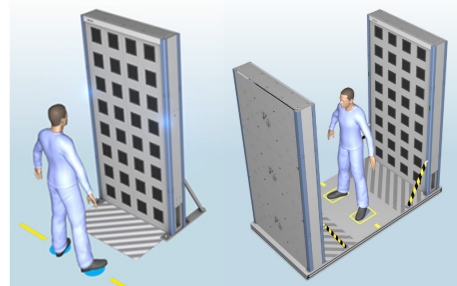


 **ROHDE & SCHWARZ**

Mechanisches Design



Modulare Architektur



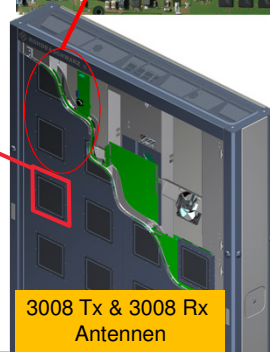
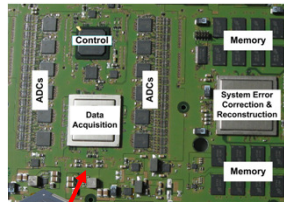
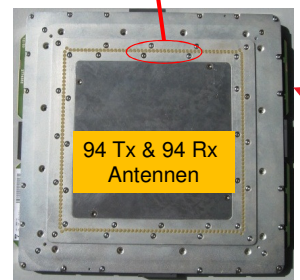
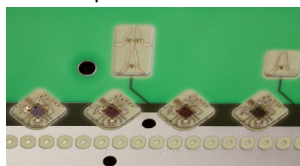
R&S®QPS100

R&S®QPS200

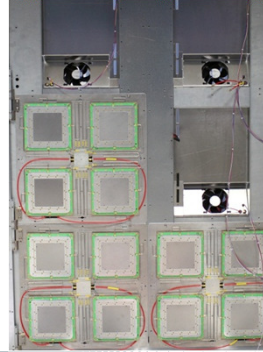
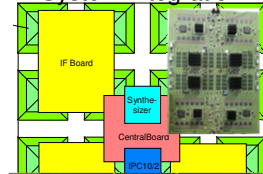


Front- und Backend

Chips & Antennen



System Integration



Übersicht Backend

Erstellung der 3D Bilddaten
(Verarbeitung durch automatische Bildverarbeitung)

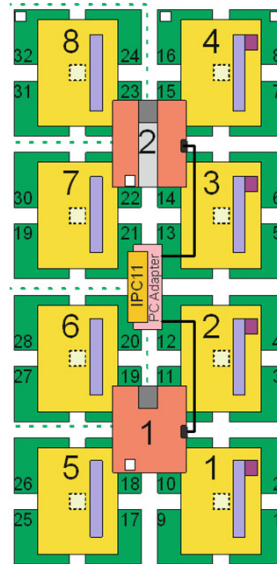
- 32 x Clusters (grün)
- Je 94 Tx und 94 Rx Antennen (70 bis 80 GHz)
plus zwei Referenzkanäle
 - Erzeugung IF Signalen (25 MHz)

- 8 x IF Boards (gelb)
- AD Umwandlung von 4 x 96 IF Signalen
 - Kontrolle Datenerfassung
 - Teil-Bild-Rekonstruktion
 - Übertragung Teil-Bilddaten an Central Board mit 12 x 8.5 GBit/s

- 2 x Central Boards (rot)
- Pufferung von den 8.5 G-Bit-Interface
 - Zusammenführung der Teil-Bild-Rekonstruktionen
 - PCIe Interface zum Industrie PC

- Synthesizer (grau)
- DDS Frequenzsynthese für Cluster

Integrierter PC & PC Adapter (Braun und Pink)



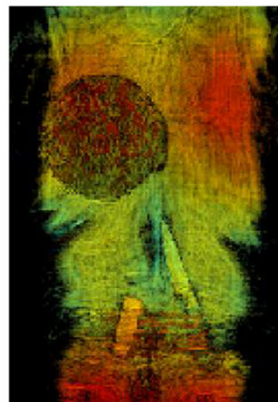
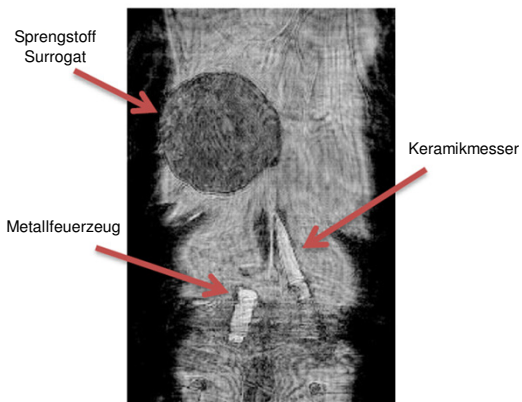
 **ROHDE & SCHWARZ**

Bildqualität

Beispiel Reflektivität

Metall: 100 %	Keramik: ~70%
Haut: ~60 %	Explosiv: 20% - 30%

Überlagerung Intensität und
Tiefenabstand



 **ROHDE & SCHWARZ**

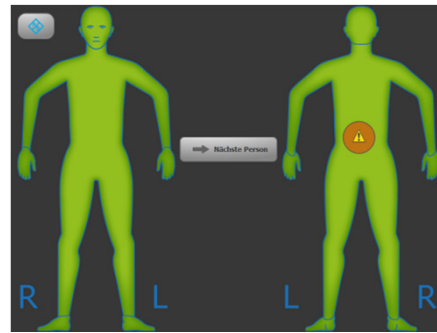
Automatische Bildverarbeitung/Detektionssoftware

- Automatische Detektion von Bedrohungen/Objekten/Anomalien in 3D komplexen Millimeterwellen Bilddaten
- Privatsphäre schützen; Bilddaten werden nicht angezeigt oder abgespeichert



Interne Bilddaten

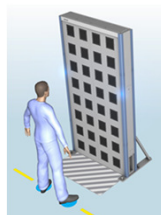
Automatische
Bildanalyse



QPS100 & QPS200 Operator Bildschirm



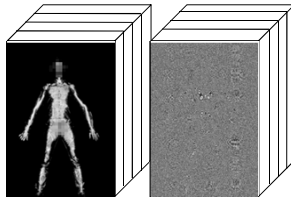
Übersicht Workflow Detektionssoftware



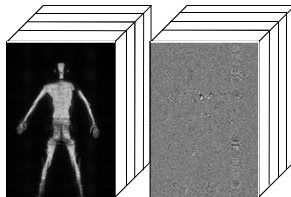
R&S®QPS100



R&S®QPS200



Vorderansicht: 3D Amplituden
und 3D Phasen Volumen



Rückansicht: 3D Amplituden
und 3D Phasen Volumen

Detektion-SW

Vorverarbeitung

Positur-Validierung

Bildanalyse

Avatar
Visualisierung



Hohe Sicherheitsanforderungen

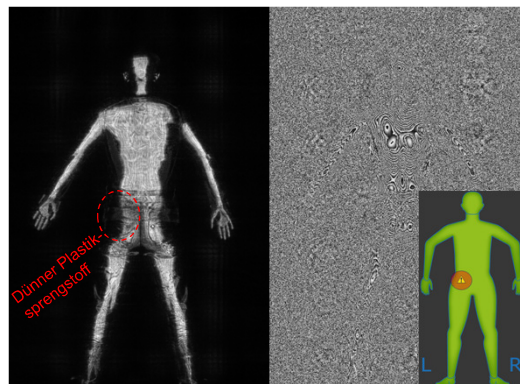
- Detektion von:
 - Waffen
(Metall, Keramik, Plastik, ...)
 - Explosivstoffen
(Plastik, Granulat, Flüssigkeit, ...)
 - Anomalien
(unbekannte Objekte, ...)



 **ROHDE & SCHWARZ**

Hohe Sicherheitsanforderungen

- Detektion von:
 - Waffen
(Metall, Keramik, Plastik, ...)
 - Explosivstoffen
(Plastik, Granulat, Flüssigkeit, ...)
 - Anomalien
(unbekannte Objekte, ...)
- Automatische Bildanalyse
 - Amplitude
 - Phase



2D Amplitudenbild

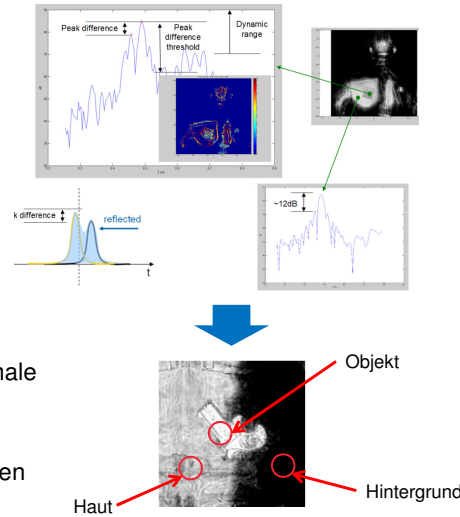
2D Phasenbild

Objekt ist bedingt sichtbar in 2D Amplitudenprojektion, wird jedoch in den 3D Bilddaten (Amplitude und Phase) gefunden

 **ROHDE & SCHWARZ**

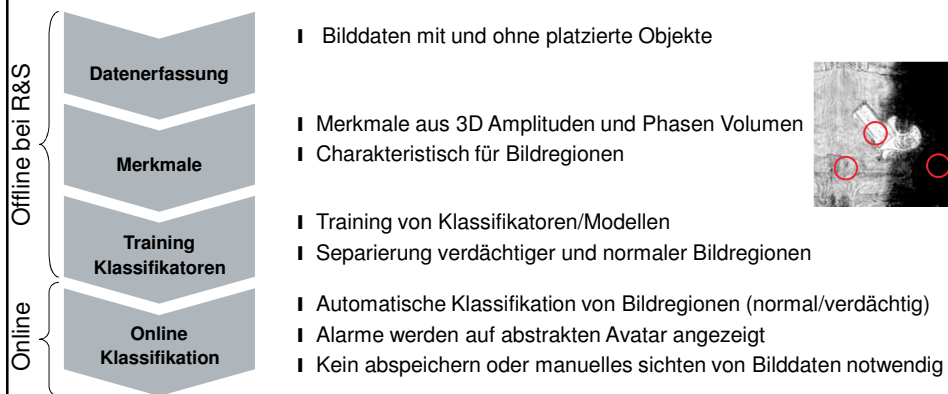
Merkmalsextraktion aus 3D Bilddaten

- ┃ Tausende von einzelnen Merkmalen werden ausgewertet
 - ┃ Mehrfachreflexionen
 - ┃ Rauheit
 - ┃ Helligkeit
 - ┃ Linienstrukturen
 - ┃ Texturen
 - ┃ Symmetrie
 - ┃ Tiefenvariationen
 - ┃ Phasengradient
 - ┃ ...
 - ┃ Spezielle Bildverarbeitungsmerkmale
 - ┃ ...



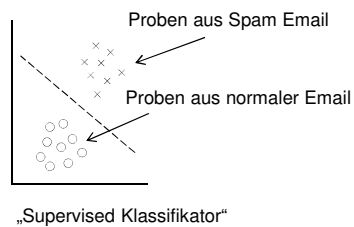
Merkmale charakteristisch für Bildregionen

Überblick maschinelles Lernen – Unterscheidung zwischen verdächtigen und normalen Bildregionen



Überblick Supervised Learning

- Extraktion von Merkmalen aus positiven und negativen Daten
- „Supervised Learning“ um zwischen Merkmalen aus positiven und negativen Daten zu unterscheiden

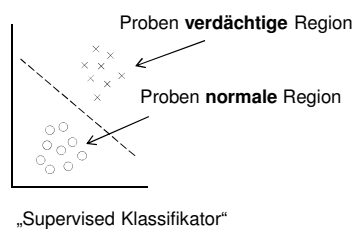


■ **Beispiel:** Email Spam Filter

- Merkmale: Wörter, spezielle Zeichen, etc.
 - Positive Proben: Emails als Spam markiert
 - Negative Proben: Emails als normal markiert
-
- Lerne Separierung der Klassen im hoch-dimensionalen Merkmalsraum

Überblick Supervised Learning

- Extraktion von Merkmalen aus **Bilddaten mit und ohne Objekte**
- „Supervised Learning“ um zwischen Merkmalen aus **Bildregionen mit und ohne Objekte zu unterscheiden**



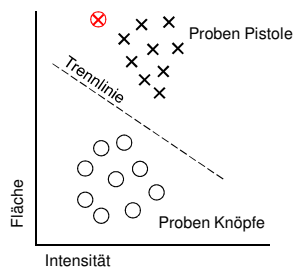
■ **Automatische Erkennung von Objekten**

- Merkmale: Tausende aus 3D Bilddaten
 - Positive Proben: Verdächtiges Objekt
 - Negative Proben: Personen und Hintergrund
-
- Lerne Separierung zwischen **normalen und verdächtigen Regionen**

Einfaches Beispiel Objekterkennung

- Materialien reflektieren und absorbieren Mikrowellen unterschiedlich
 - Beispiel: Metallische Objekte reflektieren stärker als Haut
- 2-dimensionaler Merkmalsvektor [Intensität, Fläche]

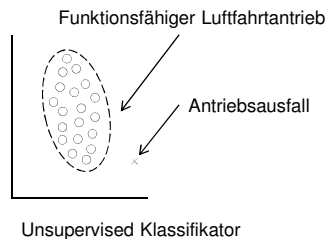
Probe aus Region mit gefährlichen Objekt



- Klassifikation zwischen metallischen Knöpfen und Pistolen
- Berechnung der optimalen Trennlinie, bzw. trainieren des Klassifikators
- Modell wird verwendet um neue Proben als normal oder verdächtig zu klassifizieren

Überblick Unsupervised Learning

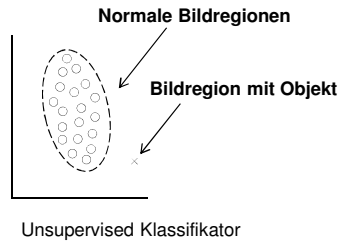
- Extraktion von Merkmalen aus negativen Daten
- „Unsupervised Learning“ um Modell der negativen Daten zu erstellen



- **Beispiel:** Überwachung Luftfahrtantriebe
- Merkmale: Temperatur, Umdrehungen, etc.
- Positive Proben: keine (nur für Tests)
- Negative Proben: Daten aus normalen Betrieb
- Lerne statistisches Modell der normalen Klasse um Abweichungen zu klassifizieren

Überblick Unsupervised Learning

- Extraktion von Merkmalen aus **Bilddaten ohne Objekte**
- „Unsupervised Learning“ um Modell **der normalen Bildregionen** zu erstellen

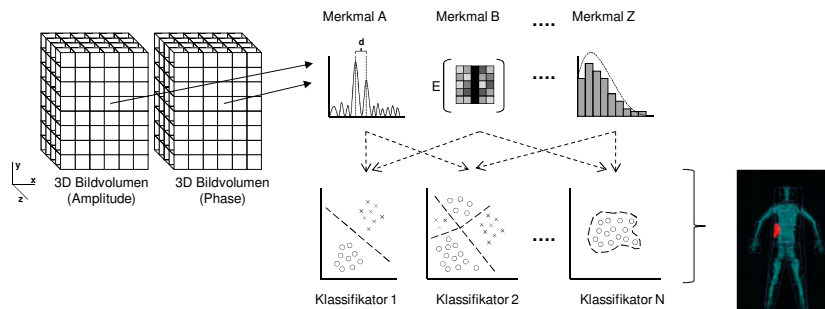


■ Automatische Erkennung von Objekten

- Merkmale: Tausende aus 3D Volumen
 - Positive Proben: keine (nur für Tests)
 - Negative Proben: Personen und Hintergrund
- Lerne statistisches Modell von **Personen ohne Objekte** um **Anomalien aufzuspüren**

Überblick maschinelles Lernen QPS100 & QPS200

- Tausende von Merkmalen beschreiben un-/auffällige Regionen
- Mehrere Klassifikatoren werden unabhängig trainiert
- Auswertung einzelner Klassifikatoren für finale Entscheidung (normale oder verdächtige Region)



Zusammenfassung

- R&S®QPS System liefert hochauflösende 3D (Amplitude/Phase) Bilddaten
 - Hohe Anzahl an charakteristischen Bildmerkmalen kann extrahiert werden
- Automatische Bildanalyse mit Verfahren des maschinellen Lernens
 - Verdächtige Regionen werden durch unterschiedliche Merkmale klassifiziert
 - Objekte bedingt sichtbar in 2D Projektion werden in 3D Bilddaten detektiert
 - R&S®QPS 100 und R&S®QPS 200 sind ECAC Standard I und Standard II zertifiziert
- Zukünftige Applikationen für zerstörungsfreie Prüfung
 - Hohe Anzahl an vielseitigen Bildmerkmalen kann extrahiert werden
 - Maschinelles Lernen um nach:
 - Bekannten/ähnlichen Mustern zu suchen
 - Anomalien/Abweichungen zu erkennen

ECAC: European Civil Aviation Conference



Weiterführende Literatur

- Szeliski, Richard. *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Science & Business Media, 2010.
- Bishop, Christopher M. *Pattern recognition and machine learning*. Vol. 4. No. 4. New York: springer, 2006.
- Hastie, Trevor, et al. *The elements of statistical learning*. Vol. 2. No. 1. New York: springer, 2009.
- S. S. Ahmed, *Electronic Microwave Imaging with Planar Multistatic Arrays*. Logos Verlag Berlin, 2014.
- Ahmed, Sherif Sayed, et al. "Advanced microwave imaging." *Microwave Magazine, IEEE* 13.6 (2012): 26-43.
- Gumbmann, Frank, et al. "3D Millimeterwellen-Abbildung von dielektrischen Probekörpern und numerische Rekonstruktion der Materialeigenschaften." *DGZfP-Jahrestagung Mai* (2007).

