

## Untersuchungen von Merkmalen von Kontakten zur Zielverfolgung von Kleinzielen

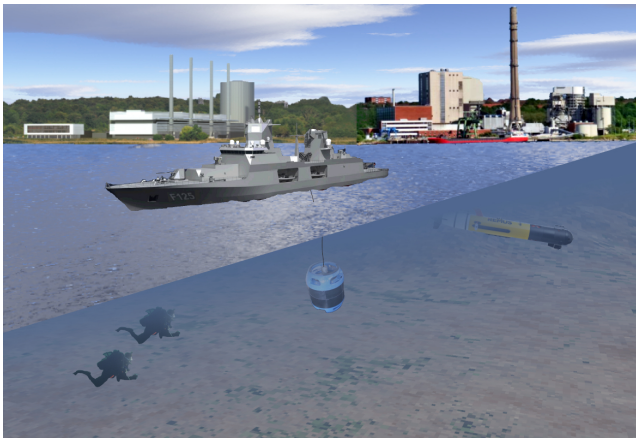
Dietmar Stiller

WTD 71, Zentrum für Wasser-, Körper-, Luftschall

Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, Deutschland, Email: dietmarstiller@bundeswehr.org

### Einleitung

Der Schutz von Schiffen oder Hafeneinrichtungen gegen Angriffe aus dem Unterwasserbereich erfordert eine dauerhafte Überwachung des Schutzbereichs mit einem oder mehreren Ortungssensoren. Um eine möglichst hohe Ortungsreichweite zu erreichen, sind für den Unterwasserbereich akustische Sensoren das Mittel der Wahl. Insbesondere bei Zielen mit schwachen Signaturen (wie z.B. Taucher oder militärische AUVs) ist die Verwendung von aktiven akustischen Verfahren notwendig. Im Bereich der Taucherdetektion werden dazu im Wesentlichen hochfrequente aktive Sonare mit großem horizontalen Öffnungswinkel eingesetzt, um einen möglichst großen Schutzbereich überwachen zu können. Zur Verringerung von Falschalarmen kommt eine automatische Zielspurgenerierung zum Einsatz. In In Abbildung 1 ist ein solches Szenario beispielhaft dargestellt.



**Abbildung 1:** Überwachungsbereich mit Sonar und Tauchern bzw. einem AUV als Angreifer.

### Sensoren

Bei der technischen Auslegung des Sonars sind Sensorgröße, Ausbreitungsverluste und Radialauflösung konkurrierende Designmerkmale. Bislang werden im Wesentlichen SIMO (also Single Input Multiple Output) Sensoren verwendet, bei denen der gesamte Überwachungsbereich mit dem gleichen Sendesignal beleuchtet wird. Ein solches Sonar mit dem Namen Cerberus ist in Abbildung 2 dargestellt.

Da die Bedrohung im Hafen und auf Reede permanent besteht, ist eine durchgehende Überwachung erforderlich. Durch viele Berandungen, Infrastruktur und Bodeneigenschaften treten bei der aktiven Ortung im Hafen sehr



**Abbildung 2:** Überwachungssonar Cerberus Mod2.

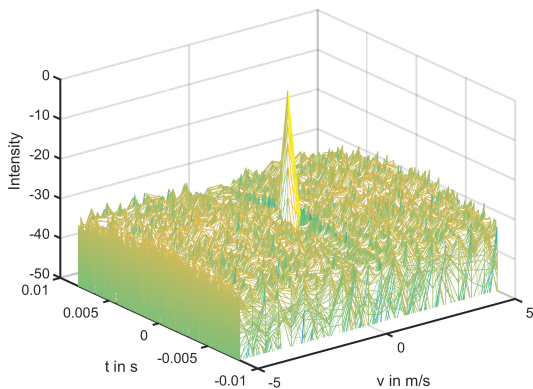
viele Falschalarme auf. Zudem ist die Reichweite stark von den variablen Umgebungsbedingungen abhängig und entzieht sich damit teilweise der Beeinflussung durch das Systemdesign [1]. An das Gesamtsystem werden sehr hohe Anforderungen bezüglich einer möglichst geringen Falschalarmrate gestellt, weil eine weitgehend automatisierte Überwachung angestrebt wird.

Eine Erweiterung der Ortungssensoren hin zu MIMO (Multiple Input Multiple Output) Sensoren beinhaltet die Möglichkeit, unterschiedliche einander möglichst nicht beeinflussende (orthogonale) Sendesignale auszusenden. Dabei können die Ortungsleistung durch einen Richtwirkungsgewinn auf der Sendeseite gesteigert und unterschiedliche Rückstreuungseigenschaften im Überwachungsbereich berücksichtigt werden. Die Eigenschaften der unterschiedlichen Sendesignale werden durch die breitbandige Kreuz-Mehrdeutigkeitsfunktion (Ambiguity-Funktion) beschrieben.

Bei SIMO Sonaren kann die Untersuchung von Sendesignalen und deren Eigenschaften zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Ortung mit einer breitbandigen Mehrdeutigkeitsfunktion ebenfalls in Anwendung auf einen Einzelsensor vorgenommen werden. Hierbei werden das einzelne Sendesignal betrachtet und Signale gesucht, die gleichzeitig die Ortung eines Objektes hinsichtlich Ort und Geschwindigkeit ermöglichen.

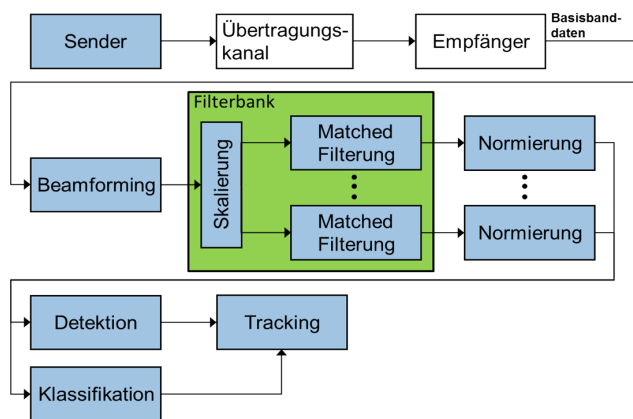
Die aufwendigere breitbandige Mehrdeutigkeitsfunktion ist dann zu verwenden, wenn das Verhältnis von Ausbreitungs- zu Objektgeschwindigkeit nicht groß gegenüber dem Zeit- Bandbreitenprodukt ist [2]. Dies ist im Bereich der Unterwasserortung der Fall. Idealerweise erzeugt ein Sendesignal keine Mehrdeutigkeiten im Zeit- und Frequenzbereich, so dass eine eindeutige Verzögerung (also Radialentfernung) und eine eindeuti-

ge Dopplerverschiebung (also Radialgeschwindigkeit) gemessen werden kann. Bei klassischen Sendesignalen der Sonar-Ortung, wie CW-Bursts (Continuous Wave) oder Chirps (Frequenzmodulierte Pulse), ist im Grunde entweder die Geschwindigkeit oder der Ort messbar [3]. Die Verwendung von codierten Signalen, bei denen die Information in der Zeit-Frequenzebene verteilt wird und bei denen eine nadelförmige Mehrdeutigkeitsfunktion realisiert werden kann (s. Abb. 3), ist mittlerweile durch die Verfügbarkeit breitbandigerer akustischer Wandler und einer erheblich gesteigerten Rechenleistung der Signalverarbeitungshardware möglich.



**Abbildung 3:** Ambiguity-Funktion ( $W_{WB}$ ) einer PN-Sequenz ( $N=10$ ).

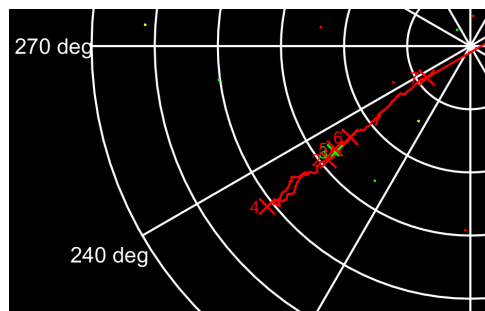
Codierte Sendesignale wie z.B. ein Pseudo-Noise-Puls (PN-Puls) lassen sich im Hinblick auf die Ortung nur mit Hilfe einer Dopplerfilterbank auswerten, die den Rechenaufwand um die Anzahl der Dopplerkanäle vervielfacht. Die entsprechende Signalverarbeitungskette ist in Abb. 4 dargestellt.



**Abbildung 4:** Blockschaltbild der Signalverarbeitungskette mit Dopplerfilterbank.

Der Nutzen solcher Sendesignale liegt in der gleichzeitigen Messung von Ort und Geschwindigkeit, was in Verbindung mit der Zielspur-Generierung (Tracking) zu einer Verringerung falscher Zielspuren führen kann. Die im Verlauf einer Annäherung an das Sonar erzeugten Zielspuren aus Kontakten eines codierten Sendesignals sind in Abb. 5 gezeigt.

Der vorgestellte Ansatz zum Sendesignal-Design ermöglicht neben der gleichzeitigen Messung von Ort und Geschwindigkeit ebenso den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Sonare durch die Verwendung unterschiedlicher Codes. Auch unter der Ver-



**Abbildung 5:** Zielspur eines mit codierten Signalen detektierten Ziels.

wendung fortschrittlicher Tracking-Algorithmen [4] werden im Dauerbetrieb Falschtracks extrahiert. Die Verwendung von Zieleigenschaften innerhalb des Tracking-Verfahrens kann zur Verringerung der Anzahl an Falschtracks genutzt werden [5]. Darüber hinaus bietet die Verwendung dopplersensitiver Pulse durch die Nutzung der Geschwindigkeitsinformation ebenfalls eine Verringerung der Falschalarmrate. Im hier vorgestellten Experiment sind die Pulse auch zur Erstdetektion verwendet worden. Ein Wechselbetrieb mit klassischen HFM-Pulsen ist ebenfalls möglich und bietet auch eine Verringerung der Falschalarmrate [6].

### Zusammenfassung und Ausblick

Eine Erstdetektion von Tauchern ist auch mit codierten Sendesignalen möglich. In Verbindung mit einem Zielverfolgungsalgorithmus gelingt auch die Generierung von Zielspuren. Die Betrachtung zusätzlicher Pulstypen ist Gegenstand der weiteren Untersuchungen.

### Literatur

- [1] Urick, J.: Principles of Underwater Sound, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [2] van Trees, H.: Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part III, Wiley-Interscience, New York, 2001.
- [3] Levanon, N.: Radar Signals, Wiley-Interscience, New Jersey, 2004.
- [4] Challa S., Morelande M., Musicki D. Evans R.: Fundamentals of Object Tracking, Cambridge University Press, Cambridge, 2011.
- [5] van Keuk, G., Multihypothesis Tracking using Incoherent Signal-Strength Information, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 32, No. 3, 1996.
- [6] Colin, M., Beerens, S.: False-Alarm Reduction for Low-Frequency Active Sonar With BPSK Pulses: Experimental Results, IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, vol. 36, No. 1, 2011.