

Untersuchungen zu geschwindigkeitssensitiven Sendesignalen zur Detektion von Tauchern

Dietmar Stiller

WTD 71, Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik,
Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, Deutschland, Email: dietmarstiller@bundeswehr.org

Einleitung

Schiffe und Einrichtungen in Häfen können durch Angreifer aus dem Unterwasserbereich bedroht werden. Mögliche Angreifer sind Taucher mit und ohne Schwimmhilfe oder auch autonome Unterwasserfahrzeuge (AUVs). Zwei gemeinsame Eigenschaften dieser Zieltypen sind die geringe Zielgeschwindigkeit und das geringe Zielmaß. Diese Eigenschaften erschweren die Detektion neben den sich örtlich und zeitlich verändernden Ausbreitungsbedingungen, die wesentlich durch die vertikal inhomogene Schallgeschwindigkeit c im Wasser beeinflusst werden. Neben dem Einsatz von hochentwickelten Zielverfolgungsalgorithmen, die eine starke Reduzierung der Falschalarme ermöglichen, ist für die Reduktion der verbleibenden Falschalarme auf Trackebene eine Berücksichtigung der Eigenschaften der Ziele notwendig. Dazu bietet sich zuerst die Betrachtung von Zieleigenschaften auf Kontaktebene an. Hierfür wurde die Nutzung von Eigenschaften der Mehrdeutigkeitsfunktion von geschwindigkeitssensitiven Sendesignalen untersucht.

Als Sensor für die hier betrachteten Detektionsversuche wurde ein aktives hochfrequentes Sonar in einer Hafenumgebung verwendet. Zwar werden zur Detektion unter Wasser auch passive akustische Verfahren eingesetzt, allerdings werden bei Tauchern mit einem geschlossenem Atemgerät nur sehr geringe Reichweiten erreicht.

Da die Bedrohung im Hafen und auf Reede permanent besteht, ist eine durchgehende Überwachung erforderlich. Durch die extremen Flachwasserbedingungen im Hafen treten bei der aktiven Ortung sehr 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. Auch unter der Verwendung fortschrittlicher Tracking-Algorithmen [2] bleibt die resultierende Anzahl an Falschtracks recht hoch. Die Verwendung von Zieleigenschaften innerhalb des Tracking-Verfahrens zur Verringerung der Anzahl an Falschtracks kann zur Verringerung der Anzahl an Falschtracks herangezogen werden [3].

Signalverarbeitung

Um bei hoher Bandbreite ausreichend Sendeenergie abstrahlen zu können, werden häufig Pulse mit guten Autokorrelationseigenschaften verwendet, insbesondere

Sweeps. Bei diesen Pulsen wird die Frequenz während der Pulsdauer verändert. Daraus resultiert empfangsseitig mit der Matched Filterung eine hohe Auflösung für die Radialentfernung, die notwendig ist, um Ziele mit sehr kleinem Zielmaß detektieren zu können. Eine hohe Radialauflösung ist ebenfalls notwendig, um die Extraktion von Merkmalen zur Klassifikation zu ermöglichen. Zur Richtungsmessung und zur Verringerung des Einflusses von Umgebungsrauschen ist ebenfalls eine hohe azimutale Auflösung erforderlich. Diese wird durch die Verwendung von vielen Antennenelementen mit einer entsprechenden Richtungsbildung erzeugt. Die Signalverarbeitungskette ist in Abbildung 1 dargestellt.

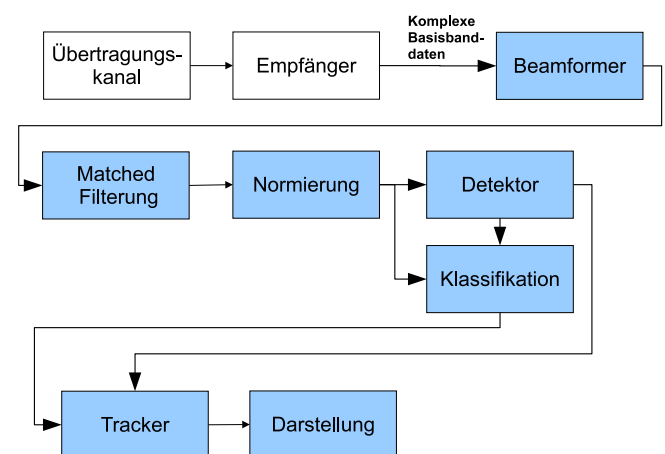


Abbildung 1: Blockschaltbild der Signalverarbeitungskette.

Die Normierung der Empfangssignale ist zur Verringerung der hohen Dynamik über die unterschiedlichen Entfernungsbereiche notwendig. Als Detektor dient eine Schwellwertentscheidung. Es werden nun allerdings nicht nur die Ortsdaten des potentiellen Ziels $y_i(r, \phi)$ verwendet, die eine Teilmenge aller Messwerte zu einem Zeitpunkt Y^k sind, sondern die Zieldaten werden um Radialgeschwindigkeit, Signalstärke des Echos und Ausdehnung des Echos in Entfernungsrichtung erweitert. Die Messungen von Orts- und Zielinformation dienen als Eingangsparameter für das Tracking [2, 3], mit dem eine Zielspur auf Basis aller bis dahin vorliegenden Messwerte Y^k geschätzt wird.

Sendesignale

Das wichtigste Kriterium für das Sendesignal $s(t)$ sind gute Autokorrelationseigenschaften. Ist darüber hinaus auch die Messung der Geschwindigkeit des Ziels gewünscht, müssen gute Eigenschaften im Dopplerbe-

reich hinzukommen. Für die Analyse solcher Signaleigenschaften wird häufig die Mehrdeutigkeitsfunktion oder Ambiguity-Funktion verwendet, die ein Maß für die Autokorrelation über die Verschiebung im Zeitbereich (τ) und im Frequenzbereich (ω) ist. Nach [4] ist sie definiert als:

$$W(\tau, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int s^*(t - \frac{1}{2}\tau) s(t + \frac{1}{2}\tau) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

Für den Sonar-Bereich ist häufig die in Gl. 1 enthaltene Näherung $BT \ll \frac{c}{2v_r}$ nicht zutreffend, so dass die Breitband Ambiguity-Funktion herangezogen werden muss [5]. Dabei ist B die Bandbreite des verwendeten Signals, T die Sendesignaldauer, c die Ausbreitungsgeschwindigkeit und v_r die radiale Zielgeschwindigkeit. Bei der Breitband Ambiguity-Funktion wird der Doppler-Effekt durch eine Skalierung berücksichtigt:

$$W_{WB}(\tau, \alpha) = \frac{1}{2\pi} \int s(t) s^*(\alpha(t + \tau)) dt \quad (2)$$

Dabei wird der Skalierungsfaktor $\alpha = \frac{1}{1 \pm \frac{2v_r}{c}}$ durch die Ziel- und die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt. In Abbildung 2 ist die Ambiguity-Funktion (W_{WB}) eines LFM dargestellt.

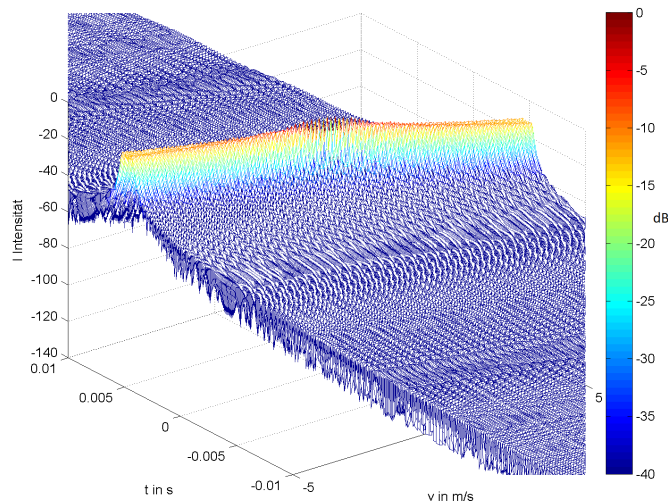


Abbildung 2: Ambiguity-Funktion (W_{WB}) eines LFM.

Aus Gleichung 2 ergibt sich als Schnitt durch die Ambiguity-Funktion für alle Zielgeschwindigkeiten für einen LFM der in Abbildung 3 dargestellte Verlauf des Korrelationsmaximums.

LFM Signale sind nicht explizit als dopplereempfindliche Signale ausgelegt, aber der Effekt ist deutlich vorhanden, wie in Abbildung 3 dargestellt. Die Nutzbarkeit der Dopplerabhängigkeit des LFM in Messungen wird im nächsten Abschnitt beschrieben. Neben LFMs existieren auch andere dopplereempfindliche Sendesignale, die einerseits der Bedingung guter Autokorrelationseigenschaften genügen und andererseits auch eine Geschwindigkeitsschätzung ermöglichen. Bei diesen Signalen ist die

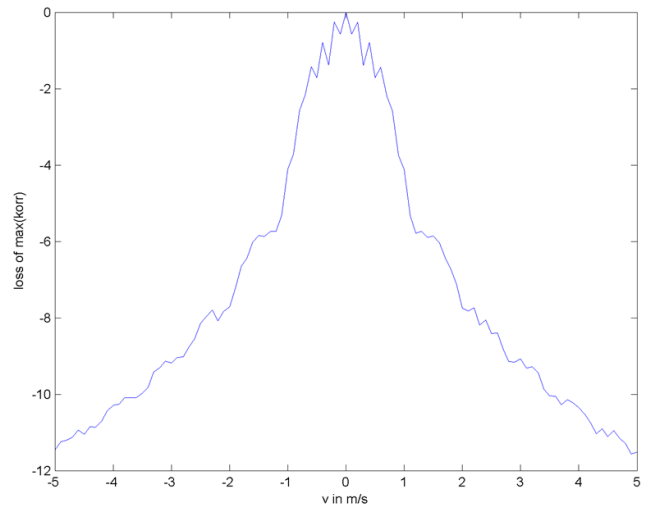


Abbildung 3: Schnitt durch die Ambiguity-Funktion (W_{WB}) eines LFM für alle Zielgeschwindigkeiten. Bei den Einbrüchen der Intensität handelt es sich nicht um Artefakte, sondern um die Auswirkung der endlichen Sendesignaldauer [5].

Dopplereempfindlichkeit ein wichtiges Kriterium des Signaldesigns [6]. In diesem Beitrag ist die Untersuchung auf die Betrachtung von LFMs beschränkt.

Messungen

Zur Ortung von Tauchern werden die Sendesignale ausgesendet und die Rückstreuungen entsprechend des Blockschaltbildes aus Abbildung 1 ausgewertet. Der Übertragungskanal gleicht einem frequenzselektiven Mehrwegekanal. In jeder Pulsperiode wird für gesamte Empfangszeit T die Ambiguity-Funktion berechnet. Dabei lässt sich die maximale Entfernung R über die Beziehung $R = c \frac{T}{2}$ bestimmen.

Die Analyse der Rückstreuungen mit der Ambiguity-Funktion ist dabei nach Betrachtung der Gleichung 2 äquivalent zur Analyse mit einer Filterbank von Matched-Filtern, bei denen der Doppler-Effekt durch Skalierung berücksichtigt wird. Aus der Verwendung der Dopplerfilterbank ergibt sich als Basis für die Ermittlung von Zieleigenschaften nicht nur die Entfernungs- und Richtungsebene, sondern auch die Entfernungs- und Radialgeschwindigkeitsebene.

Eine einzelne Rückstreuung im idealen, freien Ozean hätte die gleiche Struktur wie die Ambiguity-Funktion aus Abbildung 2. Der Pegel wäre dabei im wesentlichen durch den zweifachen Ausbreitungsverlust verringert. Da der reale Kanal in jedem Fall ein Mehrwegekanal ist, wird für reale Rückstreuungen wegen der größeren Übersichtlichkeit die Draufsicht auf die Ambiguity-Funktion als Darstellung verwendet. Nach der Matched-Filterung wird noch eine Normierung durchgeführt (vergl. Abbildung 1), so dass der dargestellte Pegel ein Echeolevel oberhalb des Hintergrundes beschreibt. Ein Beispiel für eine solche Ziel-Ambiguity-Funktion über Entfernung r und Radialgeschwindigkeit

v_r für eine Richtung ist in Abbildung 4 dargestellt. Dabei ist die Rückstreustärke in dB farblich codiert.

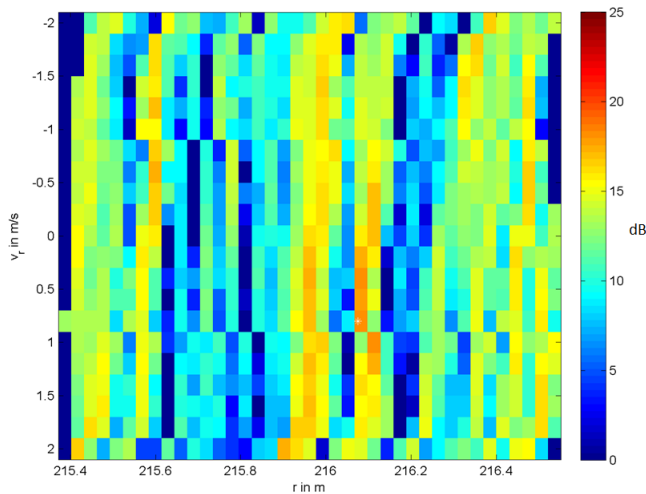


Abbildung 4: Draufsicht auf die Ambiguity-Funktion einer Rückstreuung eines Ziels mit einem LFM Sendesignal.

Die Zeit wird über die Ausbreitungsgeschwindigkeit in eine Entfernung umgerechnet, da die Zielentfernung eine der zu schätzenden Messgrößen ist. Aus dieser Region of Interest (ROI), die um den aus dem Detektor stammenden Kontakt gebildet wird, werden die Kenngrößen ermittelt, die als Information in die Klassifikation für das Tracking einfließen [7]. Die direkte Messung der Geschwindigkeit gelingt bei einem LFM nicht immer, die Extraktion von Kenngrößen wie Kontaktausdehnung der ROI gelingt aber recht stabil und lässt sich im Tracking nutzen.

Zusammenfassung und Ausblick

Zieleigenschaften, die mit der Ambiguity-Funktion berechnet werden, können für die Zielspur-Generierung genutzt werden. Über die direkte Messung der Geschwindigkeit hinaus sind auch Kontaktausdehnung und Signalstärke nutzbar, die in der Entfernungs- und Radialgeschwindigkeitsebene berechnet werden. Das Ziel weiterer Untersuchungen sind die Eigenschaften anderer Sendesignale, ebenso wie die Analyse weiterer geeigneter Merkmale zur Klassifizierung.

Literatur

- [1] Urick, J.: Principles of Underwater Sound, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [2] Blackman, S., Popoli, R.: Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House, Boston, 1999.
- [3] van Keuk, G., Multihypothesis Tracking using Incoherent Signal-Strength Information, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 32, No. 3, 1996.
- [4] Cohen, L.: Time-Frequency-Analysis, Prentice Hall, New Jersey, 1995.

- [5] van Trees, H.: Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part III, Wiley-Interscience, New York, 2001.
- [6] Levanon, N.: Radar Signals, Wiley-Interscience, New Jersey, 2004.
- [7] Stiller, D.: Verbesserung der Detektion von Tauchern durch die Nutzung von Zieleigenschaften, DAGA, 2014.