

Aktive Sonardetektion mit einem selbstausrichtenden Array

Dennis Küter und Ulrich Heute

Digitale Signalverarbeitung und Systemtheorie,

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland, Email: deku@tf.uni-kiel.de, uh@tf.uni-kiel.de

Einleitung

Derzeit werden ca. 90% des internationalen Handels über Seeschiffe abgewickelt. Somit stellen diese ein lohnendes Ziel für Piraten dar. Aber auch terroristische Angriffe, beispielsweise auf Kreuzfahrtschiffen, werden zunehmend zu einer Gefahr für Passagiere und Crew [1].

PITAS (Piraterie- und Terror-Abwehr für Seeschiffe) ist ein Gemeinschaftsprojekt des „Maritimen Clusters Kiel“ vertreten durch die Projektpartner Raytheon-Anschütz (mit der Projektleitung), L-3 Communications ELAC Nautik GmbH, Thales Defence and Security Systems, WISKA CCTV sowie der Technische Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Das Projekt hat zum Ziel, ein System zu entwickeln, welches Gefahrensituationen frühzeitig erkennt und meldet sowie mögliche Abwehrmaßnahmen empfiehlt und einleitet.

Für dieses Projekt wurde eine Bundesförderung für einen Zeitraum von 36 Monaten ab dem 01. Juli 2010 bewilligt [2].

Teil dieses Projektes ist ein Arbeitspaket, in dem ein neuartiges Sonarsystem geplant ist, welches auf einem van-Atta-Array basiert. Bei dieser Technik wird, analog zur Radartechnik, eine Kopplung zwischen dem Ziel und dem Sonarsystem aufgebaut.

Das van-Atta-Array

Das van-Atta-Array ist eine Anordnung von Sender- und Empfängerpaaren, welche die Eigenschaft haben die meiste Energie einer einfallenden Welle fokussiert in die gleiche Richtung zurück zu senden, aus der sie kam.

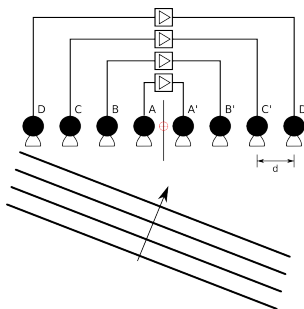


Abbildung 1: Prinzipdarstellung des van-Atta Array.

Im einfachsten Fall hat man, wie in Abbildung 1 dargestellt, ein einfaches eindimensionales Array, welches mittig einen Symmetriepunkt besitzt. Um diesen sind die einzelnen Sender- und Empfängerpaare ($[A, A']$; $[B, B']$; ...) angeordnet.

Für die Funktion ist es wichtig, dass alle Sender-

Empfängerpaare mit der gleichen Zeitverzögerung die empfangenen Signale wieder aussenden. Ebenso gelten die bekannten Randbedingungen für Arrays. So muss für den Abstand d von Sender und Empfänger die Bedingung (1) gelten (für mehrere Frequenzen gilt $\lambda = \lambda_{min}$).

$$d \leq \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Der Abstand d sollte jedoch so gewählt werden, dass die Fokussierung des Arrays maximiert wird. Auch die Anzahl der Elemente hat hier einen großen Einfluss. Fällt nun eine ebene Welle aus dem Fernfeld auf dieses Array, so wird sie an dem jeweiligem Empfänger empfangen, symmetrisch zum Mittelpunkt gespiegelt und nach dem Huygens'schen Prinzip [4] rekonstruiert. Diese Spiegelung um den Mittelpunkt führt dazu, dass die Welle in die gleiche Richtung, aus der sie kam, zurückgesendet wird. Eine detaillierte Funktionsbeschreibung kann in [3] gefunden werden.

Das van-Atta-Array zeichnet sich durch die im Prinzip einfache Anordnung und die daraus resultierende einfache Kopplung der Sender und Empfänger aus. Aber auch andere Anordnungen mit einer omnidirektionalen Abdeckung [3] oder komplexeren Anordnungen aus dem Bereich der Akustik sind denkbar. Hier kann eine aufwendigere Kopplung der Empfänger an die Sender notwendig werden.

Funktionsweise des van-Atta-Array-basierten Sonarsystems

Von dem Array wird ungerichtet ein Signal ausgesandt, welches, wie in Abbildung 2 zu sehen, z.B. von einem Taucher reflektiert wird. Das reflektierte Signal wird von dem Array empfangen, verstärkt und auf das kontinuierlich gesendete Signal aufaddiert.

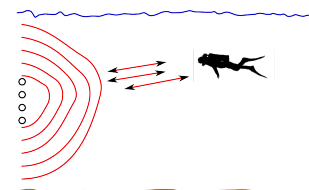


Abbildung 2: Funktionsprinzip des Sonarsystems. Eine Kopplung zwischen Array und Taucher entsteht. Das Sendesignal überlagert sich mit dem reflektierten Signal

Hierdurch erhält man eine zusätzlich gerichtete Komponente in dem Sendesignal, welche einerseits die Kopplung

an das Ziel verstärkt, andererseits als Richtungsinformation ausgewertet werden kann.

Um eine Entfernungsinformation gewinnen zu können, ist eine Maskierung des Sendesignals vonnöten. Mittels Kreuzkorrelation lässt sich so über die Laufzeit eine Entfernung zum jeweiligen Ziel ermitteln.

Realisierung des Arbeitspaketes

Im ersten Schritt findet eine Verifizierung des van-Atta-Prinzips im Wasser statt. Hierfür werden einfache Ultraschallsender aus dem Kfz-Bereich zum Bau des Arrays verwendet. Ein Aufbau zum Testen dieser Sender und Empfänger ist in Abbildung 3 und 4 zu sehen. Beide werden zum Schutz vor Wasser mit einem Vergussmittel umhüllt.

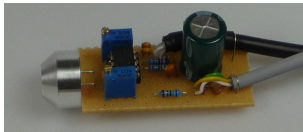


Abbildung 3: Ultraschallsender unvergossen.

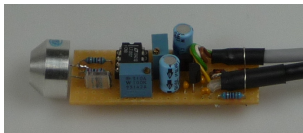


Abbildung 4: Ultraschallempfänger unvergossen.

Geplant ist zunächst ein eindimensionales Array, bestehend aus 24 Sender- und Empfängereinheiten, welche in horizontaler Richtung eine Fokussierung des reflektierten Signals bewirken.

Die Arbeitsfrequenz der Ultraschallsensoren liegt in Luft bei 40kHz und sinkt im Wasser auf ca. 39kHz. Neben diesem Frequenzversatz bilden sich weitere resonante Frequenzen aus, auf denen der Ultraschallsender arbeiten kann.

Technische Problemstellungen

Bei diesem System ist aufgrund des Volumennachhalls [5] mit einer direkten Kopplung zwischen Sender und Empfänger zu rechnen. Die Folge ist ein Aufschwingen des Systems bis zur maximalen Aussteuerung des Verstärkers. Als Lösung hierfür wird eine räumliche Trennung des Sende- und Empfangsarrays in Kombination mit gerichteten Sendern angestrebt. Ist der Abstand zwischen Sende- und Empfangsarray klein im Verhältnis zur Entfernung zum Taucher, so ist der aus der räumlichen Trennung resultierende Fehler, in der Richtungsrichtung der Arrays zueinander, vernachlässigbar.

Des Weiteren wird eine Lösung angestrebt, in der das über den Volumennachhall rückgekoppelte Sendesignal im Empfang, vor der Verstärkung und dem Einmischen in das Sendesignal, herausgefiltert wird. Bewegt sich ein Ziel auf das Array zu, so erfährt das gesendete Signal

eine Dopplerverschiebung [4]. Um das Störsignal von dem Nutzsignal zu trennen, werden alle Frequenzen herausgefiltert, welche nicht aufgrund einer solchen Dopplerverschiebung zu potenziellen bewegten Zielen passen können. Die Sendefrequenz wird vollständig herausgefiltert. In diesem Fall werden auch Reflexionen von stationären Objekten, wie beispielsweise von anderen Schiffen, ausgeblendet. Zum Senden muss das über die Dopplerverschiebung gewonnene frequenzverschobene Signal in der Sendefrequenz angepasst werden, um eine Rückkopplung, welche in diesem Fall nicht herausgefiltert würde, zu vermeiden. Der aus dem Frequenzshift entstehende Winkelfehler in der Ausrichtung des Arrays muss ebenfalls korrigiert werden.

Ähnlich dem Volumennachhall verhält es sich mit Reflexionen an der Wasseroberfläche, dem Boden und beispielsweise Hafenwänden.

Ein weiteres Problem stellt die Mehrwegeausbreitung dar. Die Detektion eines Ziels über mehrere Wege führt zu einer mehrfachen Darstellung. Derlei Probleme werden in den ersten Ansätzen vernachlässigt.

Im Vortrag wird auf diese in dem van-Atta-Prinzip begründeten Probleme in der Umsetzung unter Wasser eingegangen.

Den Projektpartnern gilt der Dank für hilfreiche Diskussionen sowie für die technische Hilfe in der Umsetzung.

Literatur

- [1] ICC Commercial Crime Services (CCS), URL: <http://www.icc-ccs.org>
- [2] PITAS Homepage, URL: <http://www.maritimes-cluster.de/projektarbeit/aktuelle-projekte/pitas-piraterie-und-terrorabwehr-auf-seeschiffen>
- [3] D. E. N. Davies, M.Sc., Ph.D., Graduate: Some properties of Van Atta arrays and the use of 2-way amplification in the delay paths. PROCEEDINGS I.E.E., Vol. 110, No 3, MARCH 1963
- [4] Christian Gerthsen, Dieter Meschede: Gerthsen Physik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Berlin 2002
- [5] Heinz G. Urban: Handbuch der Wasserschalltechnik, STN ATLAS Elektronik GmbH, Bremen, November 2000