



(10) **DE 10 2013 107 402 B3** 2014.11.20

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 107 402.2**
(22) Anmeldetag: **12.07.2013**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **20.11.2014**

(51) Int Cl.: **G01S 13/90** (2006.01)
G01S 13/88 (2006.01)
G01S 13/06 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE**

(74) Vertreter:
**Rösler Rasch & Partner Patent- und
Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft, 81241
München, DE**

(72) Erfinder:
**Suchandt, Steffen, 81373 München, DE; Runge,
Hartmut, 81377 München, DE**

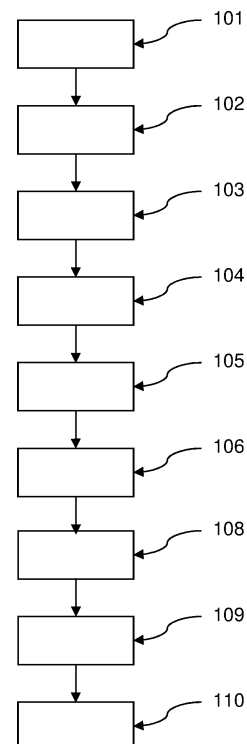
(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 6 952 178 B2
US 2004 / 0 032 361 A1

**RUNGE, H., SUCHANDT, St.: GMTI-TDX Ground
Moving Target Indication mit TanDEM-X. DLR-
Forschungsbericht. GMTI-TDX A0.1, 42 S.**

(54) Bezeichnung: **Schiffsdetektion in Interferometrie-Radardaten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind. Das vorgeschlagene Verfahren umfassend folgende Schritte: Bereitstellen (101) der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$; Segmentieren (104) der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur 2D-Datenbereiche B_n der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die jeweils ein zusammenhängendes Streifenmuster, sogenanntes Fringe-Pattern, wiedergeben, mit $n = 1, 2, \dots$; Ermitteln (106) einer Kontur für jeden der 2D-Datenbereiche B_n ; Ermitteln (108) eines Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin für jeden der 2D-Datenbereiche B_n die Position eines Wasserfahrzeugs auf Basis des Schwerpunktes ermittelt wird; Ermitteln (109) einer geometrischen Ausrichtung des in den Daten jedes 2D-Datenbereichs B_i abgebildeten Streifenmusters relativ zu einer Bildachse der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$; und für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von der ermittelten Ausrichtung des Streifenmusters, und der ermittelten Form der Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n Ermitteln (110) der Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge (Schiffe /Boote) aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind.

[0002] Zur Überwachung des Schiffsverkehrs wird heute von den Küstenwachen mehrerer Länder auf Daten von Radar-Satelliten, wie beispielsweise dem deutschen TerraSAR-X, zurückgegriffen. Dabei steht die Abkürzung „SAR“ für engl. „Synthetic Aperture Radar“. Diese Radar-Satelliten sind in der Lage, unabhängig von Tageszeit und Wetterbedingungen Bildaufnahmen großer Gebiete der Erdoberfläche zu machen. Es sind weiterhin automatische Datenauswertesysteme, sog. "SAR Ship Detection Prozessoren" bekannt, die es ermöglichen, in den erfassten Radar-Daten Schiffe zu erkennen und deren Koordinaten, Größe sowie Fahrtrichtung und Fahrtgeschwindigkeit zu ermitteln.

[0003] Kleine Schiffe (Boote) lassen sich mit heute bekannten Verfahren in den Radar-Bildern oft nicht erkennen, da sie sich zu wenig vom Hintergrundsignal, das durch die Rückstreuung der Mikrowellen von der aufgerauten Meeresoberfläche hervorgerufen wird, unterscheiden. Eine besondere Art dieser kleinen Boote sind so genannte "Speed Boats", die oft auch für illegale Zwecke eingesetzt werden. Sie sind sehr klein, häufig aus Kunststoff gefertigt und erreichen durch die Ausstattung mit starken Motoren oft hohe Fahrtgeschwindigkeiten von 50 bis 90 km/h. Infolge dessen sind sie in Radar-Bildern von Satelliten bislang gar nicht oder nur schwer zu detektieren.

[0004] Im einfachsten Fall wird heute ein Wasserfahrzeug in einem SAR Amplituden-Bild gefunden, indem die hohe Rückstreuung des Objektes als helle Struktur im SAR Amplituden-Bild detektiert wird. Weist es jedoch aufgrund seiner Größe und seines Aufbaus nur eine kleine Radar-Signatur auf, wie diese für die vorstehend genannten Boote der Fall ist, die in der Regel aufgrund der Bewegung der Boote zudem auch defokussiert ist, so ist es in den Amplituden-Bildern mit den bekannten Auswerteverfahren nur schwer oder gar nicht detektierbar. Hinzu kommt, dass die Wasseroberfläche eine starke Radar-Rückstreuung erzeugen kann und sich deshalb kleine Boote im Radarbild nicht genügend vom Hintergrund abheben.

[0005] Andere bekannte Verfahren zielen darauf ab, im Amplitudenbild der Radar-Daten die Signatur der sog. Kelvin-Wake, einer v-förmigen sich hinter einem Schiff auf der Wasseroberfläche ausbildenden Wellenstruktur oder die Kiellinie direkt hinter einem

Schiff zu detektieren. Bei den letztgenannten Verfahren muss also nicht mehr unbedingt das Schiff selbst erkannt werden, sondern die Wellenstruktur, die es auf der Wasseroberfläche hinterlässt und im Radarbild sichtbar wird.

[0006] Des Weiteren werden zur Schiffsdetektion SAR-Mehrkanalverfahren angewandt, die auf der sog. Along-Track Interferometrie (ATI) basieren. Dabei nimmt das Radar-Interferometer in sehr kurzem zeitlichen Abstand (bspw. 1.0 ms) zwei separate SAR-Bilder desselben Gebietes auf. Die Differenzphase der Aufnahmen ist annähernd proportional zu den Geschwindigkeiten der abgebildeten fahrenden Schiffe. Damit eignet sich die Differenzphase grundsätzlich sowohl zur Detektion bewegter (fahrender) Schiffe, als auch zur Geschwindigkeitsmessung der Schiffe. Die Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens hängt ebenfalls von der Stärke der Signatur der betrachteten Wasserfahrzeuge in den Radarbildern ab und ist insbesondere für kleinere Boote stark limitiert.

[0007] Aus der US 6,952,178 B2 ist ein Verfahren bekannt, mit dem in SAR-Daten Punktziele detektiert werden können, und dann analysiert wird, wie sich die detektierten Punktziele in einer Sequenz von Multi-Look Bildern bewegen. Weiterhin sind im Stand der Technik zur vorliegenden Thematik folgende Artikel und Dokumente bekannt:

- US 2004/0 032 361 A1,
- Stephan Bruschi, et al. "Ship Surveillance With TerraSAR-X", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49, 2011, No.3, S. 1092–1103, ISSN 0196-2892,,
- Yu, Xiangzhen et al. "Simulation of Along-Track Interferometric Synthetic Aperture Radar Images of Kelvin Wakes", ASPAR 26.10.–30.10.2009, S. 391–392, ISBN 978-1-4244-2732-1,
- Shemer, L. et al. "Simulation of ship wakes image by an along-track interferometric SAR", Int. J. Remote Sensing, vol. 17, 1996, No 18, pp 3577–3597, ISSN 0143-1161.

[0008] Die Signatur von Booten bzw. kleinen Schiffen hebt sich in SAR-Bildern oft nicht signifikant genug vom Hintergrund ab, um detektierbar zu sein, sowohl im einzelnen SAR-Bild als auch in Mehrkanalaufnahmen nach dem ATI-Prinzip. Ebenso sind die durch die Boots-bewegung hervorgerufenen typischen Störungen der Wasseroberfläche in Gestalt bestimmter Wellenformationen und sog. Ship Wakes im SAR-Bild oft nicht deutlich genug ausgeprägt, um sie für die Erkennung zu verwenden. Dies trifft ebenso auf interferometrische SAR-Daten bislang verwendeter ATI-fähiger Satelliten zu.

[0009] Die Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, die eine zuverlässigere Erkennung von fahrenden Wasserfahrzeugen

gen, insbesondere kleinen Schiffen bzw. kleinen Booten, in Radar-Interferometrie-Daten ermöglichen.

[0010] Die Erfindung ergibt sich aus den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche. Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, sowie der Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren dargestellt sind.

[0011] Ein verfahrensgemäßer Aspekt der Aufgabe ist mit einem Verfahren zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, insbesondere aus Interferometrie-Radardaten, die nach dem ATI-Verfahren ermittelt wurden, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind, gelöst. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst folgende Schritte.

[0012] In einem ersten Schritt erfolgt ein Bereitstellen der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$. Die Radardaten werden vorteilhaft von einem Radar-Interferometer an Bord eines oder mehrerer Luftfahrzeuge oder Satelliten erfasst. Die 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen für jedes Datenpixel (Pixel) x, y zumindest einen Amplitudenwert und einen Wert einer Differenzphase. Die Anzahl und Anordnung der Pixel des 2D-Datenfeldes ergibt sich typischerweise durch das zur Aufnahme der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ verwendete Interferometer oder durch einen nachgeschalteten SAR-Interferometrie-Prozess. Die senkrecht zueinander orientierten Bildachsen der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ sind bevorzugt identisch mit der Flugrichtung des Radar-Interferometers bzw. einer dazu senkrecht orientieren Blickrichtung (Aufnahmerichtung) des Radar-Interferometers.

[0013] In einem zweiten Schritt erfolgt ein Segmentieren der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur diejenigen 2D-Datenbereiche B_n der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die jeweils ein zusammenhängendes Streifenmuster, sogenanntes „Fringe-Pattern“, wiedergeben, mit $n = 1, 2, \dots$. Das Segmentieren zur Erzeugung der 2D-Datenbereiche B_n kann mittels verschiedener Verfahren, bspw. wie nachstehend beschrieben, erfolgen.

[0014] Das sogenannte „Fringe-Pattern“ ergibt sich vorliegend durch die Interferogramm-Bildung. Die vorliegend betrachteten „Fringe-Pattern“ eines 2D-Datenbereiche B_n zeigen Streifenmuster mit typischerweise annähernd parallel verlaufenden Strei-

fen, so dass unter Richtung/Ausrichtung der „Fringe-Pattern“ vorliegend insbesondere die Richtung der parallel verlaufenden Streifen relativ zu einer Vorzugsrichtung bedeutet. Vorliegend ist die Vorzugsrichtung bevorzugt eine Bildachse der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$. Nach diesem zweiten Schritt liegen somit segmentierte 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ vor, die eine Untermenge der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ sind und die u.a. eine besonders hohe Phasen-Kohärenz aufweisen.

[0015] Da die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ teilweise Datenpixel (x, y) enthalten können, die nur aufgrund von Fehlern, bspw. von Messfehlern, dem zweiten 2D-Datenbereich B_n zugeordnet wurden, werden in einer Weiterbildung nach dem zweiten Schritt bevorzugt ein oder mehrere morphologischer Bilddatenfilter (bspw. Clustering, Schrumpfen und Wachsen, Erosion und Dilatation, etc.) angewandt, um diese Datenfehler zu beseitigen oder zumindest weitestgehend zu reduzieren.

[0016] In einer Weiterbildung des Verfahrens werden nach dem zweiten Schritt (und bevorzugt vor dem nachstehend beschriebenen dritten Schritt) all jene 2D-Datenbereiche B_n ausgeschieden, deren Bereichsgröße kleiner als ein vorgegebener Grenzwert $G2$ ist. Die Bereichsgröße kann bspw. in Form der Gesamtzahl der Pixel angegeben werden, die der jeweilige 2D-Datenbereich B_n umfasst.

[0017] In einem dritten Schritt erfolgt ein Ermitteln einer Kontur (und damit der Form) für jeden der 2D-Datenbereiche B_n . Entsprechende Konturermittlungsalgorithmen sind im Stand der Technik hinreichend bekannt.

[0018] In einem vierten Schritt erfolgt ein Ermitteln eines Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin für jeden der 2D-Datenbereiche B_n die Position eines Wasserfahrzeugs auf Basis des Schwerpunktes ermittelt wird. Der Schwerpunkt eines 2D-Datenbereichs B_n lässt sich bspw. leicht auf Basis der geometrischen Anordnung der zum 2D-Datenbereich B_n gehörenden Bildpixel (x, y) ermitteln.

[0019] Im einfachsten Fall wird als Position des Wasserfahrzeugs im jeweiligen 2D-Datenbereich B_n der ermittelte Schwerpunkt angenommen. Dies kann nach Erfahrungen der Erfinder jedoch zu Positionsungenauigkeiten führen, so dass die derart ermittelte Position korrigiert werden muss, um eine verbesserte Positionsgenauigkeit zu erreichen.

[0020] Vorteilhaft erfolgt aufgrund der ermittelten Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n eine Korrektur der zuerst als Schwerpunkt bestimmten Position eines Wasserfahrzeugs mit einer ersten Genauigkeit hin zu einer Position mit verbesserter Genauigkeit durch Verschieben der zuerst bestimmten

Position entlang der in den nachfolgenden Schritten bestimmten Fahrtrichtung des Wasserfahrzeugs auf das nächstliegende Kontursegment des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n .

[0021] In einem fünften Schritt erfolgt ein Ermitteln einer geometrischen Ausrichtung des in den Daten jedes 2D-Datenbereichs B_n abgebildeten Streifenmusters, bevorzugt relativ zu einer Bildachse der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$. In einem sechsten Schritt erfolgt für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von der ermittelten Ausrichtung des Streifenmusters und der ermittelten Form der Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n ein Ermitteln der Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs.

[0022] Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht insbesondere das Ermitteln der Position und der Fahrtrichtung von kleinen Schiffen bzw. kleinen Booten auf Basis von 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, ohne dass diese Schiffe bzw. Boote selbst eine Signatur in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ erzeugen.

[0023] Eine Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Segmentierung im zweiten Schritt mittels eines Mustererkennungsalgorithmus erfolgt, der die Streifenmuster in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ erkennt.

[0024] Eine dazu alternative Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Segmentierung im zweiten Schritt folgende Schritte umfasst.

[0025] In einem Schritt erfolgt ein Ermitteln von Leistungsspektren L_i für jeden einer Anzahl $N1$ erster 2D-Datenbereiche $B1_i$ in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, mit $i = 1, \dots, N1$. In einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens ist die Anzahl $N1$ der ersten 2D-Datenbereiche $B1_i$ gleich einer Gesamtpixelanzahl der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, so dass für jedes Pixel (x_i, y_i) der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ ein lokales Leistungsspektrum $L_i = L(x_i, y_i)$ ermittelt wird. In einer Ausgestaltung des Verfahrens umfassen die ersten 2D-Datenbereiche $B1_i = B1(x_i, y_i)$ 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ mit einer vorgegebenen Nachbarschaftsbeziehung zu dem Pixel (x_i, y_i) . So kann ein einem Pixel (x_i, y_i) zugeordneter 2D-Datenbereich $B1_i = B1(x_i, y_i)$ bspw. die direkten Nachbarpixel, und/oder die übernächsten Nachbarpixel etc. umfassen. Weiterhin können über vorgegebenen Nachbarschaftsbeziehungen auch alle 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ dem 2D-Datenbereich $B1_i = B1(x_i, y_i)$ zugeordnet werden, die eine vom Bezugspixel (x_i, y_i) abhängige Relation erfüllen, bspw. deren „Entfernung“ vom Bezugspixel kleiner als eine vorgegebener Grenzwert ist.

[0026] In einem weiteren Schritt erfolgt ein Ermitteln einer Maximal-Amplitude A_{max_i} je ermitteltem Leis-

tungsspektrum L_i . Damit liegt für jeden 2D-Datenbereich $B1_i = B1(x_i, y_i)$ ein ermitteltes Leistungsspektrum vor. Hierzu sind Verfahren zur Ermittlung eines Leistungsspektrums aus Interferogrammdaten dem Fachmann bekannt, so dass sich weitere Ausführungen hierzu erübrigen.

[0027] In einem weiteren Schritt erfolgt das Segmentieren der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur diejenigen 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die ersten 2D-Datenbereichen $B1_k$ zugeordnet sind, für die die ermittelten Maximal-Amplituden A_{max_k} der Leistungsspektren L_i jeweils größer als ein vorgegebener Schwellwert $G1$ sind, mit $k = 1, \dots, N2$. Für $N2$ gilt: $N2 \leq N1$, wobei $N2$ typischerweise erheblich kleiner als $N1$ ist.

[0028] In einem weiteren Schritt erfolgt in den segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ ein Ermitteln zusammenhängender 2D-Datenbereiche B_n mit $n = 1, 2, 3, \dots$. Unter dem Begriff „zusammenhängender Datenbereich“ wird dabei vorliegend ein Datenbereich mit jeweils aneinandergrenzenden Datenpixeln (x, y) , oder anders ausgedrückt, ein Datenbereich verstanden, bei dem es nicht möglich ist, ihn in zwei disjunkte, nichtleere, offene Teildatenmengen aufzuteilen. Nach diesem Schritt wird das Verfahren mit dem vorbeschriebenen dritten Schritt fortgesetzt.

[0029] In einer vorteilhaften Weiterbildung wird die in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ ermittelte Position des Wasserfahrzeugs in ein absolutes Ortskoordinatensystem (bspw. Erdkoordinaten, GPS-Koordinaten etc.) transformiert und zusammen mit der Fahrtrichtung des Wasserfahrzeugs ausgegeben.

[0030] Eine Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass das Ermitteln der Maximal-Amplituden A_{max_i} eine Median-Filterung der Leistungsspektren L_i zur Erzeugung gefilterter lokaler Leistungsspektren L_i' umfasst. Weiterhin bevorzugt werden die Maximal-Amplituden A_{max_i} jeweils für ein Differenzspektrum von lokalem Leistungsspektrum L_i und gefiltertem lokalem Leistungsspektrum L_i' ermittelt.

[0031] Eine Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass der Schwellwert $G1$ abhängig von den ermittelten Maximal-Amplituden A_{max_i} adaptiv bestimmt wird und/oder der Schwellwert $G1$ als Summe von Mittelwert und Standardabweichung aller Maximal-Amplituden A_{max_i} ermittelt wird. Beides führt zu einer Verbesserung der Datenqualität der segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$.

[0032] Eine Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Interferometrie-Radardaten mit einem Radar-Interferometer aufgenommen

werden, wobei eine Zeitdifferenz von zwei aufeinanderfolgender Radar-Aufnahmen bei Verwendung eines im X-Band arbeitenden Radar-Interferometers im Bereich von 0,01s bis 0,2s, insbesondere von 0,02s bis 0,05s oder von 0,04 s bis 0,1s liegt.

[0033] Eine Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Interferometrie-Radardaten mittels eines oder mehrerer Radarsatelliten, insbesondere einer Kombination aus den Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, oder mittels eines Luftfahrzeug-getragenen Radar-Interferometers aufgenommen werden. Dabei kommt bevorzugt ein sogenanntes „Along-Track Interferometric Synthetic Aperture Radar“ zum Einsatz.

[0034] Das vorgeschlagene Verfahren ist geeignet, die durch die Wasseroberflächen-Anregung des Bootes in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ erzeugten typischen Streifenmuster (Fringe-Pattern) zu detektieren und so das Wasserfahrzeug an hand seiner Beeinflussung der Wasseroberfläche zu erfassen. Es sei betont, dass es sich bei dem detektierten „Fringe-Pattern“ um ein größeres, zusammenhängendes Gebiet handelt und nicht um die hinter Schiffen entstehende, oft auch in den Radar-Bildern zu sehende, V-förmige sog. Kelvin-Wake.

[0035] Ein Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass auch kleinere Schiffe bzw. Boote detektiert werden können, die selbst nicht unbedingt im SAR Bild erkennbar sind.

[0036] Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass mit der Detektion der durch die Anregung der Wasseroberfläche durch das Boot erzeugten Phasen-Muster automatisch die Originalposition des bewegten Objekts bestimmt werden kann. Wegen der Schiffsbewegung und der daraus resultierenden Verschiebung des empfangenen Doppler-Spektrums erfolgt die Abbildung der eigentlichen Schiffssignatur im Radarbild und in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ bis zu mehrere km entfernt vom Originalort des Schiffes. Durch diesen sog. „Train Off The Track“ Effekt können Verfahren, die die Schiffe in den Radar-Bildern detektieren, nicht ohne Weiteres die genaue tatsächliche Position des Schiffes angeben.

[0037] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sich zudem aus Orientierung und Form des charakteristischen „Fringe-Pattern“ in den 2D-Datenbereichen B_n die Fahrtrichtung des Schiffes ableiten lässt. Mit existierenden Methoden ist dies nur möglich, wenn entweder der Schiffsrumpf groß genug ist, um seine Orientierung zu bestimmen und die Radar-Signatur stark genug ist, um mittels Signalanalyse die Geschwindigkeitskomponenten zu schätzen oder wenn im Radarbild die Kelvin Wake sichtbar ist. Mehrere bzw. sogar alle diese drei Bedingungen sind in vielen Fällen jedoch nicht erfüllt.

[0038] Es wird vermutet, dass die Phasen-Muster (Fringe-Pattern) durch Anregung der Wasseroberfläche durch das fahrende Boot hervorgerufen werden. Dies ist gestützt auf die Beobachtungen, dass sie im Interferogramm erstens am Originalort des Objekts, d.h. versetzt von der sichtbaren Bootssignatur und zweitens größtenteils hinter der das Bootsheck tangierenden und quer zur Fahrtrichtung verlaufende (gedachte) Linien auftreten. In diesem Bereich ist das Hervorrufen der Phasenmuster durch die Bootssignatur selbst ausgeschlossen, da diese versetzt und vor dieser Linie zu finden ist. Die Auslenkung der Wasseroberfläche durch die angeregten Wellen ist in weiter vom Boot entfernten Bereichen zwar sehr klein und somit im einzelnen SAR-Bild nicht sichtbar, die Bewegung aber durch die extrem hohe Empfindlichkeit des Interferometers nachweisbar.

[0039] Vorteilhaft werden für das Verfahren Radar-Daten eines SAR Along-Track-Interferometers mit sehr großer Baseline und damit sehr hoher Empfindlichkeit für Bewegungen der Wasser-Oberfläche genutzt. Ein solcher möglicher Sensor ist die Formation aus dem deutschen TerraSAR-X und dem TanDEM-X Satelliten. Hier umkreist der zweite Satellit den ersten in einer helixförmigen Bahn, wodurch sich sowohl eine Across-Track als auch eine Along-Track Baseline ergibt. Die erstere ermöglicht eine Messempfindlichkeit auf Topographie, letztere eine Messempfindlichkeit auf Bewegungen am Boden und damit deren Detektion und Messung. Im vorliegenden Fall wird die Detektion gelöst durch:

[0040] Die Verwendung eines SAR-Interferometers mit sehr langer Along-Track Baseline und der daraus resultierenden extrem hohen Empfindlichkeit auf Bewegungen in Radar-Blickrichtung. Dadurch können Bewegungen der Wasseroberfläche, wie von Wellen hervorgerufen, gemessen werden. Die durch die Bewegung eines Wasserfahrzeugs verursachte Dynamik der Wasseroberfläche in einem größeren Bereich unmittelbar rückwärtig und seitlich zur Fahrtrichtung wird im ATI-Phasenbild (= 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$) anhand eines charakteristischen Streifenmusters (Fringe-Pattern) sichtbar. Durch die starke Anregung der Wasseroberfläche entsteht hier gleichzeitig ein Bereich höherer Kohärenz, während die übrige Wasseroberfläche infolge des relativ großen zeitlichen Abstandes der zwei Einzelaufnahmen und der Anregung durch den Wind im Radar-Interferogramm meist dekorreliert ist.

[0041] Das vorgeschlagene Verfahren nutzt die interferometrischen Radardaten $INT1(x, y)$ zur Detektion von Wasserfahrzeugen in Radar-Interferometriedaten an hand von durch die Anregung der Wasseroberfläche durch das Boot induzierten Phasen-Mustern bspw. in Along-Track Interferometrie (ATI) Radar Daten. Als Messvorrichtung wird eine Kombination aus einem hoch empfindlichen SAR Along-Track In-

terferometer und einem speziell zugeschnittenen Signalanalyse-Algorithmus angewandt.

[0042] Die Antennen des Interferometers müssen in Flugrichtung soweit separiert sein, dass die Zeitdifferenz zwischen den Aufnahmen in der Größenordnung von etwa 0,01s bis 0,1s liegt. Das ist z. B. bei zwei Satelliten gegeben, die im Abstand von ca. 300 m bis 800 m mit einer Geschwindigkeit von 7.600 m/s hintereinander herfliegen. Im Fall eines Flugzeuggetragenen SAR, das sich z. B. mit 100 m/s fortbewegt, muss die Separierung 4 m bis 10m betragen. Bei zu kleinem Abstand zwischen den Antennen verliert das Interferometer so an Empfindlichkeit, dass die Anregung der Wasseroberfläche nicht mehr stark genug abgebildet wird, um sie zu detektieren.

[0043] Des weiteren muss die Bildauflösung der Radardaten hoch genug sein, damit die zur Boots-Detektion benutzten Fringe-Pattern ausreichend abgetastet sind. Die typische Wiederholrate der Linien eines solchen „Fringe-Pattern“ liegt bei 1,75 pro 100 m Bildbereich, was eine Bildauflösung von besser 30 m erfordert. Alternativ lässt sich der Bereich auf dem Wasser auch mit Systemen mit kurzer ATI Baseline detektieren, wenn die Kohärenz zwischen den Kanälen ausgewertet wird. Äquivalent zu den Phasenmustern im 2D-Interferogramm ist hier hinter dem Wasserfahrzeug ein Bereich von erhöhter Kohärenz sichtbar.

[0044] Die Aufgabe der Erfindung ist weiterhin gelöst durch ein Computersystem, mit einer Datenverarbeitungsvorrichtung, wobei die Datenverarbeitungsvorrichtung derart ausgestaltet ist, dass ein Verfahren, wie vorstehend beschrieben, auf der Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt wird.

[0045] Zudem wird die Aufgabe der Erfindung gelöst durch ein digitales Speichermedium mit elektronisch aus lesbaren Steuersignalen, wobei die Steuersignale so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, dass ein Verfahren, wie vorstehend beschrieben, ausgeführt wird.

[0046] Ferner wird die Aufgabe der Erfindung gelöst durch ein Computer-Programm-Produkt mit auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode zur Durchführung des Verfahrens, wie vorstehend beschrieben, wenn der Programmcode auf einer Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt wird.

[0047] Schließlich betrifft die Erfindung ein Computer-Programm mit Programmcodes zur Durchführung des Verfahrens, wie vorstehend beschrieben, wenn das Programm auf einer Datenverarbeitungsvorrichtung abläuft. Dazu kann die Datenverarbeitungsvorrichtung als ein beliebiges aus dem Stand der Technik bekanntes Computersystem ausgestaltet sein.

[0048] Ein vorrichtungsgemäßer Aspekt der Aufgabe wird von einer Vorrichtung zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind, gelöst.

[0049] Die vorgeschlagene Vorrichtung umfasst gemäß einer Ausführungsform ein Mittel zum Bereitstellen der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$; ein Mittel zum Segmentieren der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur 2D-Datenbereiche B_n der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die jeweils ein zusammenhängendes Streifenmuster, sogenanntes Fringe-Pattern, wiedergeben, mit $n = 1, 2, \dots$; ein Mittel zum Ermitteln einer Kontur für jeden der 2D-Datenbereiche B_n ; ein Mittel zum Ermitteln eines geometrischen Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin für jeden der 2D-Datenbereiche B_n die Position eines Wasserfahrzeugs auf Basis des Schwerpunktes ermittelt wird; ein Mittel zum Ermitteln einer geometrischen Ausrichtung des in den Daten jedes 2D-Datenbereichs B_n abgebildeten Streifenmusters; und ein Mittel zum Ermitteln der Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von der ermittelten Ausrichtung des Streifenmusters und der ermittelten Form der Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n .

[0050] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der – gegebenenfalls unter Bezug auf die Zeichnung – zumindest ein Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben ist. Gleiche, ähnliche und/oder funktionsgleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0051] Es zeigen:

[0052] Fig. 1 einen schematischen Ablauf des vorgeschlagenen Verfahrens gemäß einer Ausführungsform,

[0053] Fig. 2 einen schematischen Aufbau einer vorgeschlagenen Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform,

[0054] Fig. 3 ein Amplitudenbild der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$

[0055] Fig. 4 ein Phasenbild der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$

[0056] Fig. 5 ein Phasenbild mit Fringe-Pattern von durch die Boote angeregten Regionen der Wasseroberfläche,

[0057] Fig. 6 ein Bild mit signifikanten relativen Peak-Höhen im lokalen Leistungsspektrum L_i .

[0058] Fig. 7 eine Überlagerung aus einem maskiertem Phasenbild und GPS-Positionen zweier zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme in betreffendem Gebiet fahrender Speed-Boote,

[0059] Fig. 8 eine zugehörige Segmentierungsmaske (nach morphologischer Filterung und Größenfilterung),

[0060] Fig. 9 eine Kontur der Fringe-Pattern, wobei hier automatisch bestimmt wurde, ob sich das jeweilige Fringe-Pattern mit einem sich vom Radar-Sensor weg bewegendem Boot (weiß) oder mit einem sich darauf zu bewegendem Boot (schwarz) assoziiert ist, und

[0061] Fig. 10 ein Fringe-Pattern eines 2D-Datenbereiches B_n mit Schwerpunkt (Punkt 1) und ermittelter Schiffsposition (Punkt 2).

[0062] Fig. 1 zeigt einen schematischen Ablauf des vorgeschlagenen Verfahrens zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind, in einer Ausführungsform.

[0063] Die Aufnahme der interferometrischen Radardaten erfolgt mit einer SAR Sensor-Formation mit großer effektiver Along-Track Baseline von typisch 150 bis 400m für den Satellitenfall, z. B. mit der Tandem-X Radar-Satelliten Formation. Die erfassten Radar-Daten werden anschließend mittels eines SAR-Interferometrie-Prozessors verarbeitet. Dieser übernimmt die üblichen, zur Berechnung von Interferogrammdaten aus SAR-Mehrkanaldaten erforderlichen Schritte, u.a. die Bildfokussierung, Co-Registrierung und letztlich, die Interferogrammbildung, d.h. die Ermittlung der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$.

[0064] Für das vorgeschlagene Verfahren erfolgt in einem Schritt **101** ein Bereitstellen der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$. In einem Schritt **102** erfolgt ein Ermitteln von Leistungsspektren L_i für jeden einer Anzahl $N1$ erster 2D-Datenbereiche $B1_i$ in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, mit $i = 1, \dots, N1$. Die Ermittlung der lokalen Leistungsspektren L_i erfolgt vorliegend mittels Nutzung eines gleitenden Analysefensters. Die Größe des Fensters wird empirisch bestimmt.

[0065] In einem Schritt **103** erfolgt ein Ermitteln einer Maximal-Amplitude A_{max_i} je ermitteltem Leistungsspektrum L_i . Das Auffinden des sich am stärksten vom übrigen (Rausch-)Spektrum unterscheidenden, d.h. signifikantesten Peaks (Maximal-Amplitude A_{max_i}) indiziert das lokale Vorhandensein einer einzelnen Fringe-Frequenz (anstelle breitbandigem Rauschen) wie sie mit dem Fringe-Pattern einer durch ein Boot angeregten Wasseroberfläche assoziiert ist. Zum Auffinden der Maximal-Amplitude A_{max_i} wird die Differenz aus einer mittels Median-Filterung geglätteten Version des Spektrums und dessen Original, d.h. eine relative Peak-Höhe verwandt. Die ermittelte Maximal-Amplitude A_{max_i} des lokalen Spektrums kann in einer Bildkarte von gleicher Größe wie die als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ vermerkt werden. Aufgrund starken Rauschens kann die Bildkarte der relativen Peak-Höhen vor der weiteren Verarbeitung mit einem Box-Filter empirisch bestimmter Größe geglättet werden.

[0066] In einem Schritt **104** erfolgt ein Segmentieren der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ bzw. der Bildkarte (siehe zuvor) zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur diejenigen 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ bzw. Bildkartendaten umfassen, die ersten 2D-Datenbereichen $B1_k$ zugeordnet sind, für die die ermittelten Maximal-Amplituden A_{max_i} der Leistungsspektren L_i jeweils größer als ein vorgegebener Schwellwert $G1$ sind, mit $k = 1, \dots, N2$. Die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ umfassen somit diejenigen Daten der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, die Fringe-Pattern, d.h. eine hohe Phasenkohärenz aufweisen. Der Schwellwert $G1$ wird vorteilhaft als Summe robuster Schätzungen von Mittelwert und (empirisch skaliertes) Standardabweichung der Amplituden aller ermittelten Leistungsspektren L_i bestimmt.

[0067] In einem Schritt **105** erfolgt ein Ermitteln zusammenhängender 2D-Datenbereiche B_n mit $n = 1, 2, 3, \dots$ in den segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$. Zur Verbesserung der Datenqualität werden anschließend morphologische bspw. Erosions-/Dilations-Bildbearbeitungsfilter auf die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ zum Erhalt konsistenter detektierter Bereiche angewandt. Weiterhin werden vorteilhaft kleinere (bspw. Datenbereiche mit einer Gesamtpixelzahl die kleiner als ein vorgegebener Schwellwert ist), mit „Falschalarmen“ assoziierte Bereiche der segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ ausgeblendet.

[0068] In einem Schritt **106** erfolgt ein Ermitteln einer Kontur für jeden der 2D-Datenbereiche B_n . Damit ist die geometrische Form der jeweiligen der zweiten 2D-Datenbereiche B_n explizit bekannt.

[0069] In einem Schritt **108** erfolgt ein Ermitteln eines geometrischen Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin die Position eines Wasserfahrzeugs in den 2D-Datenbereichen B_n auf Basis des jeweils ermittelten Schwerpunktes bestimmt wird. Beispielsweise erfolgt die Bestimmung der Position eines Wasserfahrzeugs zunächst durch Ermittlung des Schwerpunktes eines 2D-Datenbereiches B_n mit einer anschließenden Korrektur der Schwerpunktsposition durch Verschieben der Schwerpunktsposition entlang der anschließend bestimmten Fahrtrichtung auf das nächstliegende Kontursegment des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n .

[0070] In einem Schritt **109** erfolgt ein Ermitteln einer geometrischen Ausrichtung eines in Daten jedes 2D-Datenbereichs B_n abgebildeten Streifenmusters, sogenanntes „Fringe-Pattern“, (d.h. konkret die Ausrichtung der Streifen, wobei näherungsweise deren Parallelität unterstellt wird) relativ zu einer Bildachse der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$.

[0071] In einem Schritt **110** erfolgt für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von deren jeweils ermittelten Ausrichtung des Streifenmusters, und der Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n ein Ermitteln der Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs relativ zum Koordinatensystem der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$.

[0072] Das Ermitteln der Fahrtrichtung erfolgt durch Analyse der detektierten Konturform und der Orientierung der darin liegenden „Fringe-Pattern“. Dabei wird zugrunde gelegt, dass sich die Form der 2D-Datenbereiche B_n in einer Richtung orthogonal zur tatsächlichen Fahrtrichtung des Wasserfahrzeugs entgegen der Fahrtrichtung verjüngt. Dies gibt Aufschluss darüber, ob das Wasserfahrzeug auf den Radarsensor zu oder davon weg fährt. Weiterhin wird zugrunde gelegt, dass die Ausrichtung der „Fringe-Pattern“ der 2D-Datenbereiche B_n mit der Fahrtrichtung des Wasserfahrzeugs korreliert ist und daher eine Ermittlung eines Fahrtrichtungswinkels zulässt. Zur Schätzung der absoluten Fahrtrichtung wird diese Information mit der zuvor ermittelten Information zur Fahrtrichtung im letzten Unterpunkt genannten kombiniert.

[0073] **Fig. 2** zeigt einen schematischen Aufbau einer vorgeschlagenen Vorrichtung zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind, gemäß einer Ausführungsform. Die Vorrichtung umfasst ein Mittel **201** zum Bereitstellen der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, ein Mittel **202** zum Ermitteln von Leistungsspektren L_i für jeden einer Anzahl $N1$ erster 2D-Datenbereiche $B1_i$ in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, mit $i = 1, \dots, N1$, ein Mittel **203** zum Ermitteln einer Maximal-Amplitude A_{max_i} je ermitteltem Leistungsspektrum L_i , ein Mittel **204** zum Segmentieren der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur diejenigen 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die ersten 2D-Datenbereichen $B1_k$ zugeordnet sind, für die die ermittelten Maximal-Amplituden A_{max_i} der Leistungsspektren L_i jeweils größer als ein vorgegebener Schwellwert $G1$ sind, mit $k = 1, \dots, N2$, ein Mittel **205** zum Ermitteln zusammenhängender 2D-Datenbereiche B_n mit $n = 1, 2, 3$, in den segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, ein Mittel **206** zum Ermitteln einer Kontur für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , ein Mittel **208** zum Ermitteln eines geometrischen Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin für jeden der 2D-Datenbereiche B_n die Position eines Wasserfahrzeugs auf Basis des Schwerpunktes ermittelt wird; ein Mittel **209** zum Ermitteln einer Ausrichtung von in Daten jedes 2D-Datenbereichs B_n abgebildeten Streifenmusters, sogenanntes „Fringe-Pattern“, und ein Mittel **210**, mit dem für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von deren Ausrichtung des Streifenmusters und der Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n die Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs ermittelt wird.

[0074] Das Bezugszeichen **211** kennzeichnet den Radar-Sensor, mit dem die Interferometrie-Radardaten erfasst werden. Die erfassten Interferometrie-Radardaten werden von einem Interferometrie-Prozessor **212** vorprozessiert. Der Interferometrie-Prozessor **212** ist mit dem ersten Mittel **201** verbunden. Das Bezugszeichen **213** kennzeichnet einen Schiffsdetektionsprozessor, der die Mittel **201** bis **210** umfasst.

[0075] Ein Messbeispiel der von einem Radar-Sensor **211** ermittelten und mit dem Interferometrie Prozessor **212** zu 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ verarbeiteten Daten ist in **Fig. 3** bis **Fig. 10** gezeigt.

[0076] **Fig. 3** zeigt ein Amplitudenbild der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ und **Fig. 4** zeigt ein Phasenbild der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ jeweils eines Szenenausschnitts mit 1000×1200 Pixel der Ozeanoberfläche mit den Mustern, die durch zwei Speed-Boote hervorgerufen wurden. In **Fig. 4** sind zusätzlich für die angegebenen Bereiche A und B gültige Leistungsspektren dargestellt.

[0077] In einem Experiment hierzu wurden zwei Speed-Boote, die sich mit 58 km/h bzw. 42 km/h in annähernd diagonaler Richtung vom Sensor, der TanDEM-X Satelliten-Formation, weg bewegt aufgenommen. Aus den Aufnahmen des ersten und zweiten Empfangskanals wurden 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ gebildet, die in **Fig. 4** ausschnittsweise für den Bereich der Bootspositionen

gezeigt sind. Hierin fallen im Wesentlichen zwei Bildbereiche mit regelmäßigem Phasenmuster auf. Die Positionen entsprechen den zwei größeren helleren Bereichen (jeweils mit einer weißen Ellipse markiert) im Amplitudenbild (**Fig. 3**). Diese, der Anregung der Wasseroberfläche durch das Boot zuzuschreibenden Phasen-Muster werden durch das vorgeschlagene Verfahren zunächst erkannt und weiter analysiert.

[0078] Das Erkennen der Phasen-Muster (Fringe Patterns) beruht in diesem Beispiel auf der lokalen Schätzung des Leistungsspektrums L_i in einer begrenzten Umgebung eines jeden Pixels der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ und dem Auffinden von mit den Fringe-Pattern (zweite 2D-Datenbereiche $B_{2,n}$) assoziierten signifikanten spektralen Peaks (A_{max_i}), wie in **Fig. 4** gezeigt. Der Beispiel-Bereich A (in **Fig. 4** durch ein weißes Rechteck markiert) beinhaltet eine von bewegten Objekten unbeeinflusste Wasseroberfläche und zeigt daher kein Fringe-Pattern und demzufolge auch keinen sich signifikant vom lokalen Interferogrammspektrum unterscheidenden Peak (A_{max_i}). Der Beispielbereich B in **Fig. 4** (durch ein weißes Rechteck markiert) beinhaltet die von einem fahrenden Speed-Boot beeinflusste Wasseroberfläche und zeigt ein Fringe-Pattern (zweiter 2D-Datenbereiche $B_{2,n}$) und daher auch einen signifikanten Peak (A_{max_i}) im lokalen Interferogrammspektrum.

[0079] Für die beiden Bereiche A und B wurde jeweils ein zugeordnetes Leistungsspektrum berechnet und in **Fig. 4** als Graph dargestellt. Das Spektrum von Phasenmuster B, das mit der Anregung der Wasseroberfläche durch eines der Boote assoziiert ist, zeigt einen deutlichen Peak. Der beispielhafte Bereich A, der nicht von diesen Wellen beeinflusst ist, zeigt keinen derart ausgeprägten Peak. Die Blickrichtung des Radar-Sensors ist in den Figuren von links nach rechts, die Flugrichtung von unten nach oben.

[0080] Die **Fig. 5** bis **Fig. 10** zeigen zur Veranschaulichung der Funktionsweise des vorgeschlagenen Verfahrens einige Zwischenergebnisse basierend auf den Ausgangsdaten von **Fig. 3** bzw. **Fig. 4**.

[0081] **Fig. 5** zeigt ein Bild der Interferogrammphase mit Fringe-Pattern von durch fahrende Boote angeregten Regionen der Wasseroberfläche. **Fig. 6** zeigt das zugehörige Bild mit signifikantesten relativen Peak-Höhen im lokalen Leistungsspektrum. **Fig. 8** zeigt eine zugehörige Segmentierungsmaske (nach morphologischer Filterung und Größenfilterung). **Fig. 7** zeigt eine Überlagerung aus maskiertem Phasenbild und GPS-Positionen zweier zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme in betreffendem Gebiet fahrender Speed-Boote.

[0082] In **Fig. 6** sind die Fringe-Pattern, welche im Phasen-Bild (**Fig. 5**) zu sehen sind, deutlich von

den übrigen Bereichen zu unterscheiden. Durch Anwendung eines Schwellwertes $G1$ und den erwähnten Bildbearbeitungsoperatoren auf diese Bildkarte werden die Fringe-Pattern (zweiter 2D-Datenbereiche $B_{2,n}$) vorliegend als Regionen in einer Binärmaske (vgl. **Fig. 8**) kodiert. In dem maskierten Phasenbild (**Fig. 7**) sind Informationen über zwei in diesem Bereich befindliche Speedboote abgebildet. Die weißen Pfeile geben dabei die mittels GPS gemessenen tatsächlichen Positionen und tatsächlichen Fahrrichtungen der Boote zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme an. Die weißen Rechtecke zeigen die Positionen, an die die Boots-Signaturen infolge der Dopplerverschiebung und der SAR-Prozessierung versetzt werden. Sie sind sowohl im SAR-Bild als auch im Interferogramm gar nicht oder nur sehr schwer sichtbar.

[0083] Die Orientierung der Fringes, d.h. der Streifenmuster, in den zweiten 2D-Datenbereichen $B_{2,n}$ korreliert mit der Fahrtrichtung der Boote und eignet sich daher zur Bestimmung derselben. Allerdings ist diese Information nicht hinreichend, da sich damit nur die anguläre Orientierung bestimmen lässt, jedoch nicht, ob sich ein Boot (entlang dieser Orientierung) vor oder zurück bewegt. Im vorgeschlagenen Verfahren wird dazu die Form (Kontur) der Fringe-Pattern, bzw. der mit ihnen assoziierten markierten Regionen in der Detektionsmaske genutzt. Die Ausdehnung der Fringe-Pattern in der (Radar-Sensor-) Flugrichtungs-Dimension verkleinert sich tendenziell entgegengesetzt zur Fahrtrichtung des Bootes. Die Richtung, in der diese Verjüngung verläuft, wird im Verfahren durch eine Analyse der räumlichen Verteilung aller Punkte eines zweiten 2D-Datenbereiches $B_{2,n}$ bestimmt. Das Ergebnis ist die Information, ob sich das Boot vom Radar-Sensor weg oder auf ihn zu bewegt hat

[0084] Für die Beispielszene ist dies in **Fig. 9** dargestellt. Es zeigt die Kontur der Fringe-Pattern, wobei hier über den vorbeschriebenen Algorithmus automatisch bestimmt wurde, ob sich das jeweilige Fringe-Pattern mit einem sich vom Radar-Sensor weg bewegenden Boot (weiß) oder mit einem sich darauf zu bewegendem Boot (schwarz) assoziiert ist.

[0085] Zum Vergleich sei nochmals auf **Fig. 7** verwiesen, in dem die maskierten Interferogramm-Phasen mit den GPS-Positionen der zwei Speed-Boote zum Aufnahmezeitpunkt dargestellt sind. Die mit den zwei Booten (Dreiecke) assoziierten detektierten Patterns in **Fig. 7** sind in **Fig. 9** mit der Farbe Weiß gekennzeichnet, indizieren also eine Fahrtrichtung nach rechts.

[0086] **Fig. 10** zeigt ein Fringe-Pattern eines 2D-Datenbereiches B_n mit einem ermittelten Schwerpunkt des 2D-Datenbereichs B_n (Punkt 1) und der daraus ermittelten Schiffsposition (Punkt 2) durch Verschieben der Schwerpunktsposition entlang der bestimm-

ten Fahrtrichtung auf das nächstliegende Kontursegment des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n .

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind, umfassend folgende Schritte:

Bereitstellen (**101**) der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$;

Segmentieren (**104**) der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur diejenigen 2D-Datenbereiche B_n der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die jeweils ein zusammenhängendes Streifenmuster, sogenanntes Fringe-Pattern, wiedergeben, mit $n = 1, 2, \dots$;

Ermitteln (**106**) einer Kontur für jeden der 2D-Datenbereiche B_n ;

Ermitteln (**108**) eines Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin für jeden der 2D-Datenbereiche B_n die Position eines Wasserfahrzeugs auf Basis des Schwerpunktes ermittelt wird;

Ermitteln (**109**) einer geometrischen Ausrichtung des in den Daten jedes 2D-Datenbereichs B_n abgebildeten Streifenmusters; und

für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von der ermittelten Ausrichtung des Streifenmusters und der ermittelten Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n Ermitteln (**110**) der Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Segmentierung in Schritt 1.2. mittels eines Mustererkennungsalgorithmus erfolgt, der die Streifenmuster in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ erkennt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Segmentierung in Schritt 1.2. folgende Schritte umfasst: Ermitteln (**102**) von Leistungsspektren L_i für jeden einer Anzahl $N1$ erster 2D-Datenbereiche $B1_i$ in den 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$, mit $i = 1, \dots, N1$, Ermitteln (**103**) einer Maximal-Amplitude A_{max_i} je ermitteltem Leistungsspektrum L_i ,

Segmentieren (**104a**) der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ nur diejenigen 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die ersten 2D-Datenbereichen $B1_k$ zugeordnet sind, für die die ermittelten Maximal-Amplituden A_{max_i} der Leistungsspektren L_i jeweils größer als ein vorgegebener Schwellwert $G1$ sind, mit $k = 1, \dots, N2$, und

in den segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$ Ermitteln (**105**) zusammenhängender 2D-Datenbereiche B_n mit $n = 1, 2, 3, \dots$;

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Anzahl $N1$ der ersten 2D-Datenbereiche $B1_i$ gleich einer Gesamtpixelanzahl der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ ist, so dass für jedes Pixel (x_i, y_i) der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ ein lokales Leistungsspektrum $L_i = L(x_i, y_i)$ ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die ersten 2D-Datenbereiche $B1_i = B1(x_i, y_i)$ nur 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die eine vorgegebene Nachbarschaftsbeziehung zu dem jeweiligen Bezugspixel (x_i, y_i) umfassen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem das Ermitteln der Maximal-Amplituden A_{max_i} eine Median-Filterung der Leistungsspektren L_i zur Erzeugung gefilterter lokaler Leistungsspektren L_i' umfasst, und die Maximal-Amplituden A_{max_i} jeweils für ein Differenzspektrum von lokalem Leistungsspektrum L_i und gefiltertem lokalem Leistungsspektrum L_i' ermittelt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem der Schwellwert $G1$ abhängig von den ermittelten Maximal-Amplituden A_{max_i} adaptiv bestimmt wird, oder bei dem der Schwellwert $G1$ als Summe von Mittelwert und Standardabweichung aller Maximal-Amplituden A_{max_i} bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei dem nach Schritt 1.2. all jene 2D-Datenbereiche B_n ausgeschieden werden, deren Bereichsgröße kleiner als ein vorgegebener Grenzwert $G2$ ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Interferometrie-Radardaten mittels eines oder mehrerer Radarsatelliten, insbesondere einer Kombination aus den Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, oder mittels eines Luftfahrzeuggetragenen Radar-Interferometers aufgenommen werden.

10. Vorrichtung zur Ermittlung je einer Position und einer Fahrtrichtung für ein oder mehrere im Wasser fahrende Wasserfahrzeuge aus Interferometrie-Radardaten, in denen die Wasserfahrzeuge und die Wasserfahrzeuge umgebende Wasseroberflächen abgebildet sind, und zum Ausführen eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, umfassend:

ein Mittel (**201**) zum Bereitstellen der Radardaten als 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$;

ein Mittel (**204**) zum Segmentieren der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ zur Ermittlung von segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$, wobei die segmentierten 2D-Interferogrammdaten $INT2(x, y)$

nur 2D-Datenbereiche B_n der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$ umfassen, die jeweils ein zusammenhängendes Streifenmuster, sogenanntes Fringe-Pattern, wiedergeben, mit $n = 1, 2, \dots$;

ein Mittel **(206)** zum Ermitteln einer Kontur für jeden der 2D-Datenbereiche B_n ;

ein Mittel **(208)** zum Ermitteln eines Schwerpunktes für jeden der 2D-Datenbereiche B_n , wobei weiterhin für jeden der 2D-Datenbereiche B_n die Position eines Wasserfahrzeugs auf Basis des Schwerpunktes ermittelt wird;

ein Mittel **(209)** zum Ermitteln einer geometrischen Ausrichtung des in den Daten jedes 2D-Datenbereichs B_n abgebildeten Streifenmusters relativ zu einer Bildachse der 2D-Interferogrammdaten $INT1(x, y)$; und

ein Mittel **(210)** zum Ermitteln der Fahrtrichtung des jeweiligen Wasserfahrzeugs für jeden der 2D-Datenbereiche B_n abhängig von der ermittelten Ausrichtung des Streifenmusters und der ermittelten Form der Kontur des jeweiligen 2D-Datenbereichs B_n .

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

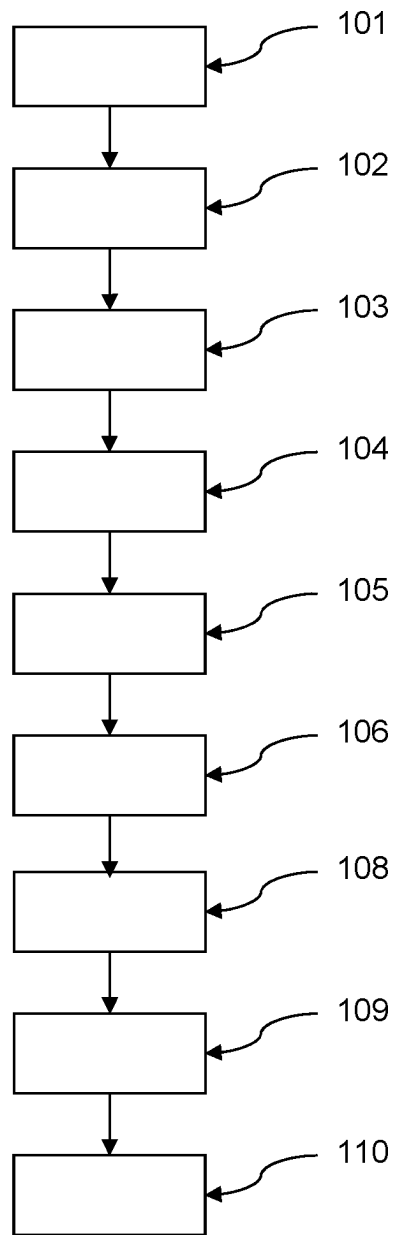


Fig. 1

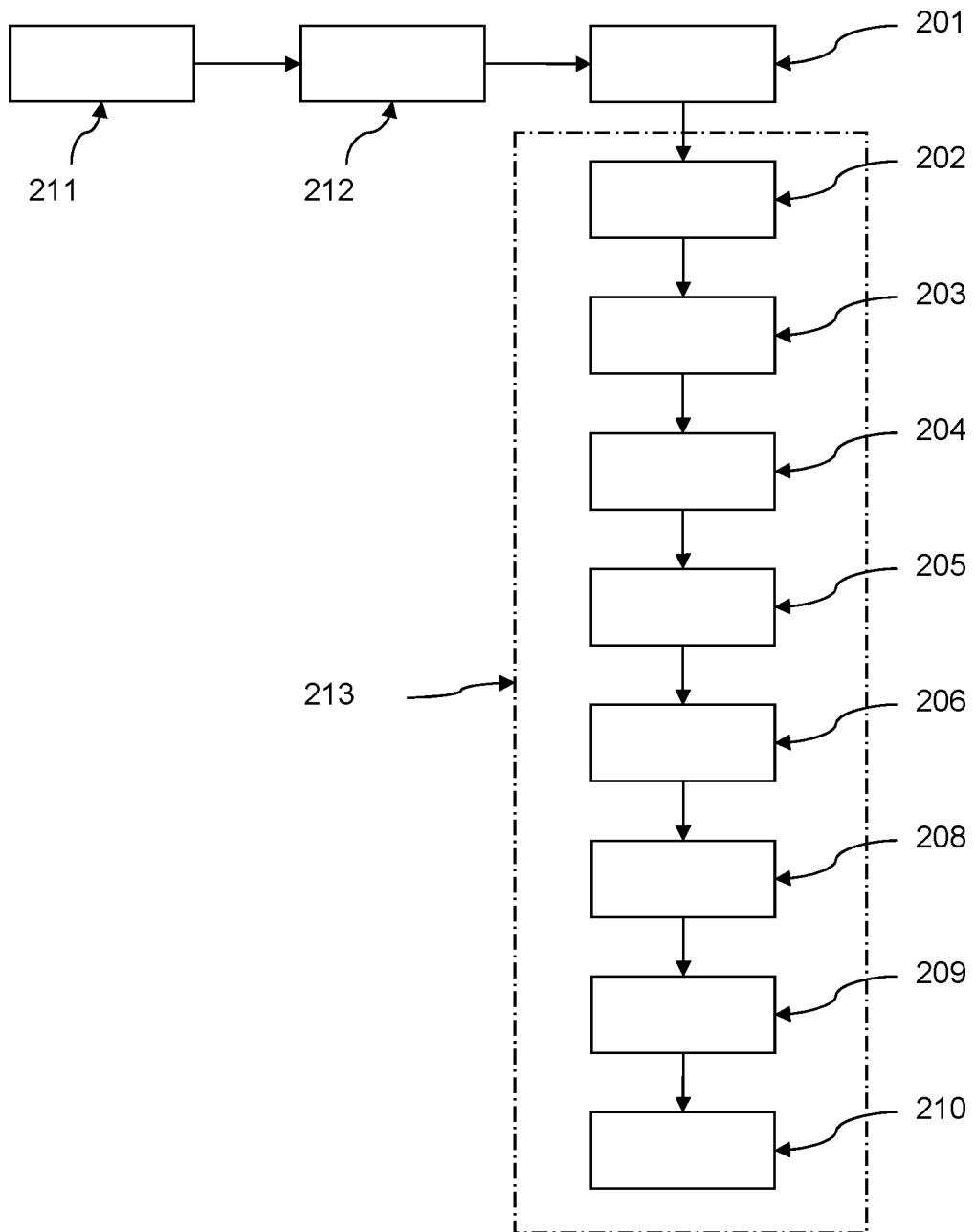


Fig. 2

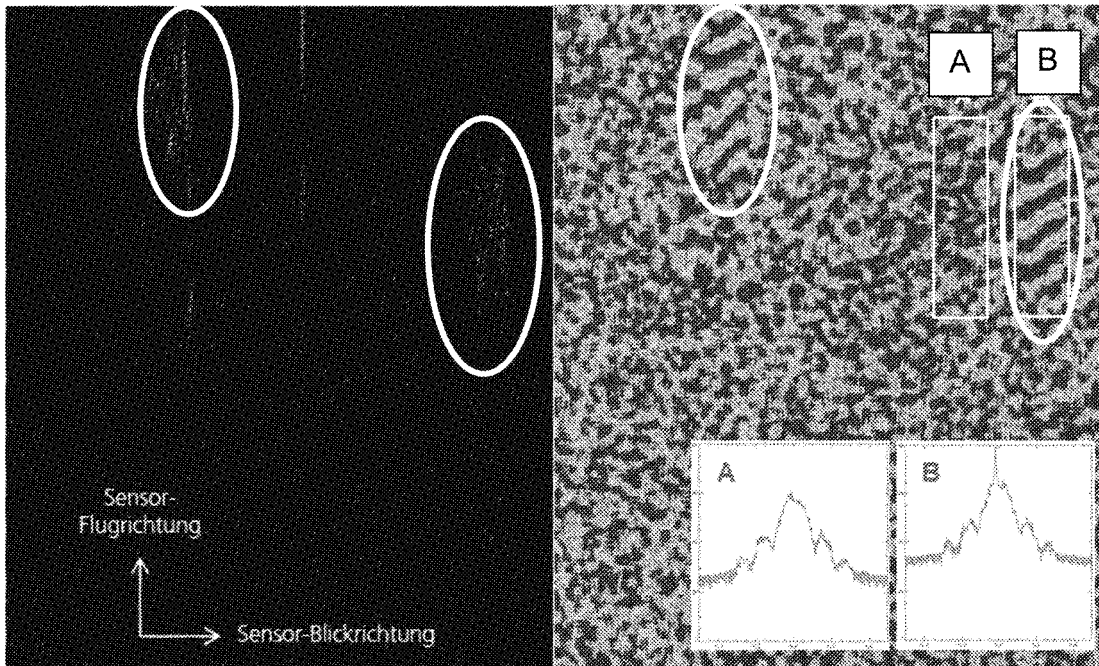


FIG. 3

Fig. 4

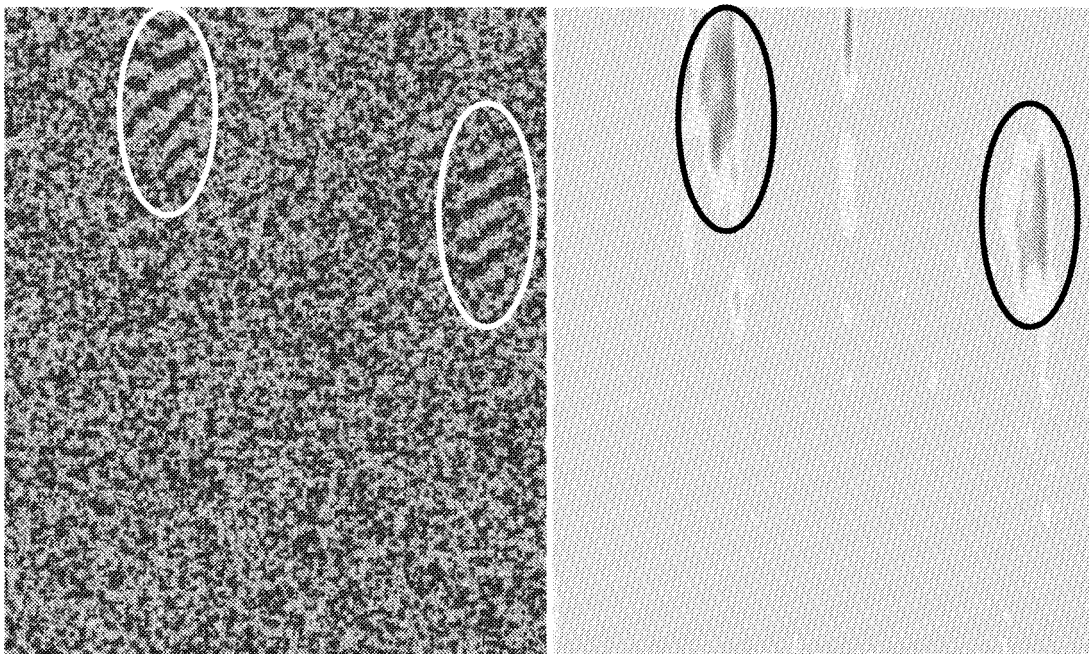


Fig. 5

Fig. 6

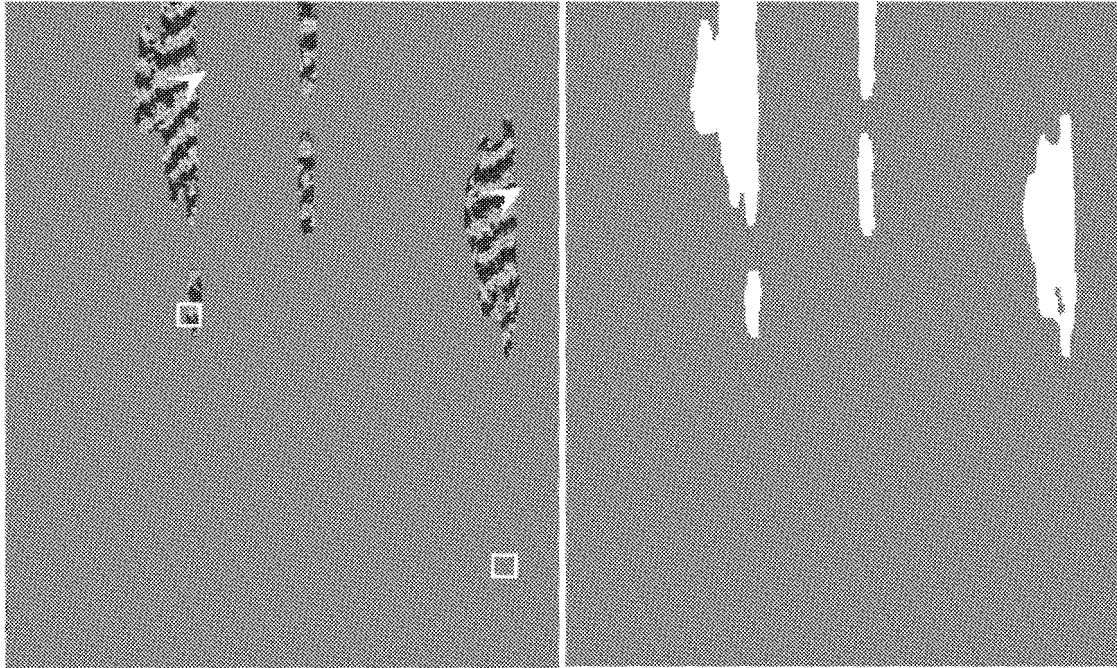


Fig. 7

Fig. 8

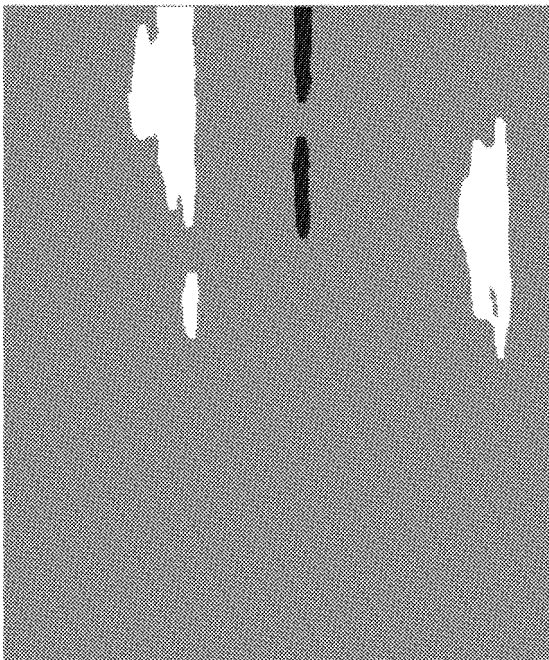


Fig. 9

① Position 1. Genauigkeit (Schwerpunkt)

② Position mit verbesserter Gen.

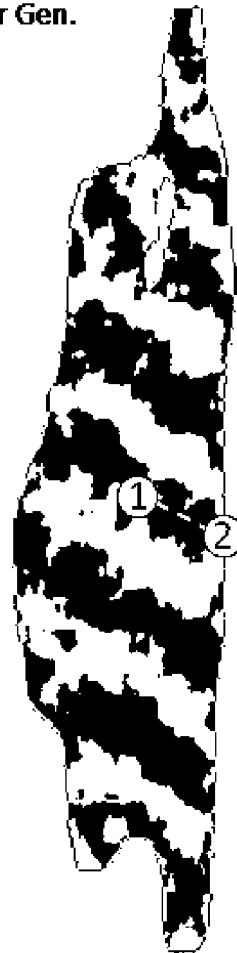


Fig. 10