



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 38 158 T2** 2009.02.26

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 127 281 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 38 158.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/20163**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 948 939.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/014907**

(86) PCT-Anmeldetag: **25.07.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **01.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.08.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **27.02.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.02.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01S 13/90** (2006.01)

G06T 11/00 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
384078 **26.08.1999** **US**

(73) Patentinhaber:
Raytheon Co., El Segundo, Calif., US

(74) Vertreter:
Witte, Weller & Partner, 70173 Stuttgart

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
PHAM, Quoc H., Playa Del Rey, CA 90293, US;
EZEKIEL, Albert, Los Angeles, CA 90066, US

(54) Bezeichnung: **ZIELERFASSUNGSVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR SCHÄTZUNG DES AZIMUTS VON RADARZIELEN MITTELS RADON TRANSFORMATION**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verwendung in Abbildungssystemen mit den Schritten Erfassen einer binären Zielbildteilfläche bzw. eines Zielbildabschnittes („image chip“), die bzw. der einen Block von Pixeln eines Bildbereichs beinhaltet, und Verarbeiten der Pixel der binären Zielteilfläche unter Verwendung einer zweidimensionalen Radon-Transformation, um daraus Zielmerkmale zu extrahieren.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein automatisiertes Zielerkennungssystem zur Verwendung mit einem Radarsystem mit synthetischer Apparatur, um automatisch Zielorte zu erfassen und Zielarten zu klassifizieren, mit einem Erfassungsabschnitt bzw. einer Erfassungsstufe, der bzw. die einen Aufmerksamkeitsfokusalgorithmus zum Identifizieren möglicher Zielorte in einem vollständigen Szenenbild beinhaltet, einem Unterscheidungsabschnitt bzw. einer Unterscheidungsstufe, der bzw. die eine Radon-Transformations-basierte Merkmalsextraktionsmethode beinhaltet, die Bereiche verarbeitet, die mittels des Aufmerksamkeitsfokusalgorithmus lokalisiert worden sind und die diese als Ziele oder Störungen unterscheidet, und einem Klassifikationsabschnitt bzw. einer Klassifikationsstufe.

[0003] Ein derartiges Verfahren und ein derartiges System sind aus dem Artikel „Efficient end to end feature based system for SAR ATR“, Algorithms For Synthetic Aperture Radar Imagery V, Orlando, FL, USA, 14.–17. April 1998, Vol. 3370, Seiten 519–529, XP000956141 Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1998, Eng, USA, ISSN: 0377-786X bekannt.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen Abbildungssysteme und insbesondere ein Radon-Transformations-basiertes Verfahren zur Zieleitenschätzung bzw. zur Zielazimutschätzung zur Verwendung in Abbildungssystemen und ein Zielerfassungssystem, das das Verfahren verwendet.

[0005] Radarsysteme nach dem Stand der Technik und Signalverarbeitungsverfahren, die davon verwendet werden, positionieren eine zielangepasste rechtwinklige Maske bzw. Schablone auf ein Bild und verschieben und drehen dann die Schablone bis die Energie innerhalb der Schablone maximal ist. Z. B. arbeitet ein Näherungsverfahren, das am Massachusetts Institute of Technology Lincoln Laboratory (MIT/LL) entwickelt wurde, auf eine derartige Weise. Dies wurde offenbart in einem Aufsatz von L. Novak et al. mit dem Titel „Performance of a high-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system“, Lincoln Laboratory Journal, Band 6, Nr. 1, Seiten 11–24, Spring 1993.

[0006] Wie bei dem MIT/LL Unterscheidungsglied verwendet die Army Research Laboratory (ARL) Fehlalarmverminderungsplattform bzw. -stufe ebenso einen binären Korrelationsalgorithmus. Der Algorithmus verwendet zwei Reihen von Masken. Dies wurde offenbart in einem Aufsatz von G. Stolovy et al. mit dem Titel „An overview of the ARL end to end software based synthetic aperture radar automatic target recognition workstation“, der vorgestellt wurde bei dem „Sensors and Electron Devices Symposium“, U.S. Army Research Laboratory, Januar 1997. Bei dieser Technik entspricht eine helle Maske den hellen Bereichen in dem Ziel und eine umgebende Maske entspricht dunklen Bereichen oder Störungen, die das Ziel umgeben. Jede Schablone weist einen zugeordneten Versatz („Offset“) und Schwellenwertparameter auf. Die Form der Schablone verändert sich erheblich mit dem Zielscheitelkreis bzw. Zielazimut. Vierzig Schablonen werden verwendet, um einen vollständigen 360° Scheitelkreis bzw. Azimut zu umspannen bzw. überdecken.

[0007] Es treten Probleme bei diesen zwei Verfahren auf. Ein Hauptproblem ist es, dass diese Schätzungen rechentechnisch aufwendig sind. Für M Ziele erfordern diese M unterschiedliche Schablonen. Die M Schablonen werden umgesetzt bzw. verschoben und gedreht, um das gesamte Bild über vollständige 360° abzudecken. Ein anderes Problem ist es, dass sich die Schätzleistung verschlechtert, wenn die Zielgröße nicht bereitgestellt wird.

[0008] Der eingangs genannte Artikel („Efficient end to end feature based system for SAR ATR“) zeigt ein automatisches Zielerkennungssystem (ATR). Das ATR-System gemäß diesem Artikel verwendet eine sequentielle Dreischrittnäherung bzw. Dreistufennäherung mit einem Erfassungsschritt bzw. einer Erfassungsstufe, einem Unterscheidungsschritt bzw. einer Unterscheidungsstufe und einem Klassifikationsschritt bzw. einer Klassifikationsstufe. Die offenbarten Unterscheidungs- und Klassifikationsverfahren beziehen Extrahieren von rotations- und translationsinvarianten Merkmalen von einer Radon-Transformation des Zielbildabschnittes ein. Die Merkmale werden einer Vektorquantisierung oder einem neuronalen Netzwerkklassifizierer eingespeist. Diesem Artikel entsprechend schließt der Bedarf nach effizienten Abläufen bzw. Verfahren Näherungen wie z. B. Schablonenanpassung aus, die als übermäßig komplex und rechentechnisch beschwerlich bezeichnet werden.

[0009] Im Hinblick auf den oben genannten Stand der Technik ist es die Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren für Zielseitenschätzung bereitzustellen zur Verwendung in Abbildungssystemen wie z. B. Radar mit synthetischer Apertur, vorausschauenden Infrarot- und Laserradarsystemen und dergleichen und ein verbessertes automatisches Zielerkennungssystem bereitzustellen, das das verbesserte Verfahren verwendet.

[0010] Diese Aufgabe wird gelöst durch das eingangs genannte Verfahren, wobei dieses Verfahren verwendet wird bei Zielsichtwinkelschätzung mit den Schritten des Schätzens der Länge, Breite und Diagonalen des Ziels unter Verwendung der extrahierten Zielmerkmale und des Schätzens des Seitensichtwinkels oder der Größe des Ziels unter Verwendung der Länge, Breite und Diagonalen des Ziels.

[0011] Diese Aufgabe wird ferner gelöst durch das eingangs genannte System, wobei der Klassifikationsabschnitt bzw. die Klassifikationsstufe ein schablonenbasierter Klassifikationsabschnitt ist, und zwar zum Identifizieren von Zielen als vorbestimmte Arten bzw. Typen, und einen Radon-Transformation-basierten Zielseitenschätzer beinhaltet.

[0012] Um die obige und andere Aufgaben zu lösen, stellt die vorliegende Erfindung, wie durch die Ansprüche definiert ist, ferner ein Radon-Transformation-basiertes Verfahren für Zielseitenschätzung bereit. Die vorliegende Erfindung verwendet eine Radon-Transformations-basierte Technik zur Zielseitenschätzung und zur Zielformvermessung. Eine Radon-Transformation wird auf eine binäre ($N \times N$ Pixel) Zielbildteilfläche angewandt, um Zielmerkmale zu extrahieren, die dann verwendet werden, um Längen-, Breiten- und Diagonalen-Merkmale des Ziels zu messen. Parallel werden diese Merkmale verwendet, um den Seitensichtwinkel oder die Größe des Ziels zu schätzen. Das Radon-Transformations-basierte Verfahren ist effektiv bei der Unterscheidung von Zielen gegenüber Störungen. Darüber hinaus ist das Verfahren auch sehr zeiteffizient und sehr flexibel bei seinen Abläufen, weil die Merkmale jede Zieldrehung oder Verschiebung automatisch berücksichtigen können. Die vorliegende Erfindung sieht ebenso ein Zielerfassungssystem vor, das ein Radon-Transformations-basiertes Verfahren zur Zielseitenschätzung verwendet.

[0013] Die verschiedenen Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung können leichter verstanden werden mit Bezug auf die folgende detaillierte Beschreibung in Verbindung mit der angefügten Zeichnung, wobei gleiche Bezugsziffern gleiche strukturelle Elemente bezeichnen, wobei:

[0014] [Fig. 1](#) ein beispielhaftes SAR automatisches Zielerkennungssystem zeigt, in dem die vorliegende Erfindung verwendet werden kann;

[0015] [Fig. 2](#) ein Blockdiagramm ist, das ein Radon-Transformations-basiertes Merkmalextraktionsverfahren gemäß den Grundgedanken der vorliegenden Erfindung zur Verwendung bei der Zielseitenschätzung zeigt;

[0016] [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) Beispiele von Ziellängen und -Breitenschätzung zeigen; und

[0017] [Fig. 4](#) ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit der Zielseitenschätzung zeigt;

[0018] [Fig. 5](#) ein detailliertes Blockdiagramm des Radon-Transformations-basierten Zielunterscheidungsverfahrens der vorliegenden Erfindung zeigt; und

[0019] [Fig. 6](#) eine Beschreibung einer Zielseitenschätzung auf hoher Ebene zeigt.

[0020] Bezugnehmend auf die Figuren, zeigt [Fig. 1](#) ein beispielhaftes Radar mit synthetischer Apertur(SAR) automatisches Zielerkennungssystem (ATR) **10**, in dem die vorliegende Erfindung verwendet werden kann. Das SAR automatische Zielerkennungssystem **10** und insbesondere ein Zielunterscheidungsverfahren **50**, das darin bzw. davon ausgeführt wird, basiert auf Merkmalen, die von einer Radon-Transformation extrahiert werden. Das Problem automatischer Zielerkennung ist das Problem automatischer Zielpositionserfassung und Zieltypklassifizierung innerhalb einer kurzen Zeitspanne ohne direktes Eingreifen einer Bedienungsperson.

[0021] Das SAR automatische Zielerkennungssystem **10** weist drei grundsätzliche Abschnitte bzw. Stufen auf, die einen Erfassungsabschnitt **20**, einen Unterscheidungsabschnitt **30** und einen schablonenbasierten Klassifizierungsabschnitt **40** beinhaltet. Der Erfassungsabschnitt **20** beinhaltet einen Aufmerksamkeitsfokusalgorithmus (FOA) **21**, der ausgelegt ist, um mögliche Zielpositionen in einem vollständigen Szenenbild in einer schnellen und effizienten Weise hervorzuheben. Der Unterscheidungsabschnitt **30** wird realisiert unter Ver-

wendung des vorliegenden Radon-Transformation-basierten Unterscheidungs- oder Merkmalsextraktionsverfahrens **50**. Das Radon-Transformation-basierte Merkmalsextraktionsverfahren **50** nimmt Bereiche, die durch den FOA-Algorithmus **21** aufgefunden bzw. geortet wurden und unterscheidet diese als Ziele oder Störungen.

[0022] Der Unterscheidungsabschnitt **30** beinhaltet Gebietsaufteilung **31**, Merkmalsextraktion **32** und statistische Unterscheidungskenngrößen **33** („discrimination statistic generation“). Der letzte und am meisten Rechenleistung erfordernde der Abschnitte bzw. Stufen ist der schablonenbasierte Zielklassifikationsabschnitt **60**. Der schablonenbasierte Zielklassifikationsabschnitt **40** identifiziert Ziele als vorbestimmte Arten bzw. Typen. Der Klassifikationsabschnitt **40** beinhaltet Zielseitensichtvorhersage bzw. -prognose **41**, Referenzbibliothekmodellierung **42** und einen Klassifizierer für das mittlere Fehlerquadrat (MSE) **43**.

[0023] Details des Aufmerksamkeitsfokusalgorithmus **21** für die Zielerfassung und Ortung sind in einem Aufsatz von Quoc H. Pham. et al. mit dem Titel „A reduced false alarm rate CFAR-based prescreener for SAR ATR“, vorgestellt bei dem „Sensors and Electron Devices Symposium“, Army Research Laboratory, Januar 1997, beschrieben. Der FOA-Algorithmus **21** weist Komponenten in drei Ebenen auf. Die erste Ebene ist drei Merkmale aus einem Graustufenbild zu extrahieren. Diese Merkmale werden dann durch einen logischen UND-Operator kombiniert, um ein binäres Bild zu erzeugen. Das erste Merkmal ist dazu ausgelegt, um in dem Bild Bereiche zu beseitigen, die am unwahrscheinlichsten Ziele enthalten, wie z. B. dunkle Bereiche. Das zweite Merkmal wird verwendet, um Bereiche hervorzuheben, die verglichen mit den umgebenden Bereichen eine größere Helligkeit aufweisen.

[0024] Das dritte Merkmal spielt eine Schlüsselrolle, da es das wichtigste Kennzeichen von SAR-Zielen darstellt, welches die hohe Dichte von hellen Reflektionen ist. Die zweite Komponente ist ein Rangordnungsfilter („rank Order filter“), um isolierte helle Reflektionen, typischerweise statistisches Rauschen, zu entfernen. Die letzte Komponente ist ein Zielgrößenunterscheidungsglied, um Störungen größer oder kleiner als das erwartete Ziel zu verwerfen.

[0025] Das Radon-Transformation-basierte Merkmalsextraktionsverfahren **50** wird verwendet, um Länge und Breite des Ziels zu schätzen, um das Objekt als Ziel oder Störung zu unterscheiden. Der Klassifikationsschritt **40** führt eine Graustufenkorrelation an Teilbildabschnitten voller Auflösung durch. Musteranpassungsbezüge werden erstellt durch Mittelung von fünf aufeinanderfolgenden Spotlight-Mode-Bildern der Ziele, die aufgenommen werden bei Azimutstufen bzw. -schritten von einem Grad. Morphologieberechnung („morphology Operation“) und Merkmalsbündelung werden verwendet, um korrekte Bildaufteilungen zu erzeugen. Die Zielansicht wird geschätzt, um die „pose hypothesis search space“ zu reduzieren.

[0026] Das automatische Zielerkennungssystem **10** wurde erprobt unter Verwendung einer öffentlichen MSTAR Zieldatenbank. Diese Erprobung wird im Folgenden erörtert. Das System **10** erzeugt hohe Unterscheidungs- und Klassifikationswahrscheinlichkeiten mit einer relativ niedrigen Fehlalarmrate.

[0027] [Fig. 2](#) ist ein Blockdiagramm, das Details eines Radon-Transformation-basierten Merkmalsextraktionsverfahrens **50** zeigt gemäß dem Grundgedanken der vorliegenden Erfindung zur Verwendung bei der Zielseitenschätzung, wie z. B. in dem System **10**, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Das Radon-Transformation-basierte Verfahren **50** beinhaltet eine Folge von Schritten bzw. Stufen, die schrittweise Anwendungen der Radon-Transformation-basierten Merkmalsextraktion, Längen/Breitenschätzung und Zielseitensichtvorhersage einbezieht.

[0028] Genauer gesagt umfasst das Radon-Transformation-basierte Verfahren **50** das Erfassen **51** von einer binären Zielbildteilfläche, die ein Block von $N \times N$ Pixeln einer Zielbildfläche ist, die z. B. von einem Radarsystem mit synthetischer Apertur abgetastet wird. Die $N \times N$ Pixel der binären Zielbildteilfläche werden dann verarbeitet **52** durch eine zweidimensionale Radon-Transformation, um Zielmerkmale daraus zu extrahieren.

[0029] Die Länge, Breite und Diagonale des Ziels werden dann geschätzt **53**. Die Schätzung **53** gibt die Länge und Breite **54** des Ziels aus. Parallel werden die Länge, Breite und Diagonale des Ziels verwendet, um den Seitensichtwinkel oder die Größe des Ziels abzuschätzen **55** oder vorauszusagen **55**. Die Schätzung **55** gibt den Sichtwinkel bzw. Azimut **56** des Ziels aus.

[0030] Die Längen- und Breitenschätzung **53** wird wie folgt ausgeführt. Um die Ziellänge und -breite zu messen, wird die Radon-Transformation **52** angewandt auf die binäre Bildteilfläche, die nur die Zielregion unter 180 unterschiedlichen Projektionswinkeln θ beinhaltet. Die zweidimensionale Radon-Transformation eines Bildes, $f(n, m)$, wird berechnet nach

$$Rf(\rho, \theta) = \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M f(n, m) \delta(\rho - n \cos \theta - m \sin \theta), \quad (1)$$

wobei θ ein Bereich von 0 bis 180 Grad und ρ einen Bereich von 0 bis

$$\sqrt{(N^2 + M^2)}$$

Pixeln aufweist. N und M entsprechen der Größe der Zieleteilfläche.

[0031] Die Zielbreite und Diagonale werden geschätzt **53** mittels Durchsuchen welche Projektionswinkel maximale und minimale Höhen aufweisen. Die Höhe jeder Projektion wird extrahiert durch Auffinden des Maximums von $Rf(\rho, \theta)$ für jeden Projektionswinkel θ . Die Schätzungen werden beschrieben durch

$$W = \min_{\theta} (\max_{\rho} (Rf(\rho, \theta))) \text{ und } D = \max_{\theta} (\max_{\rho} (Rf(\rho, \theta))), \quad (2)$$

wobei W die Zielbreite und D die Zieldiagonale ist. Angenommen Ziele können durch ein Rechteck modelliert werden, dann kann seine Länge L berechnet werden als

$$L = \sqrt{(D^2 - W^2)}. \quad (3)$$

[0032] Die Zielseitensichtvorhersage **55** oder -schätzung **55** wird ausgeführt wie folgt. Bevor jedoch die Zielseitensichtwinkelschätzung **55** beschrieben wird, werden kurz Bemerkungen bezüglich des Verhältnisses zwischen der Ziellängen/-breitenmerkmale und dem Zielseitensichtwinkel dargestellt. [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) zeigen Beispiele von Ziellängen- und -breitenschätzung. [Fig. 4](#) zeigt ein Beispiel der Leistungsfähigkeit der Zielseitensichtwinkelschätzung.

[0033] Wie in den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) gezeigt, haben Ziele mit einem Seitenwinkel bzw. Azimutwinkel von 330–30 Grad und 150–210 Grad oft eine kleine Länge und große Breite. Der Unterschied zwischen der Länge und der Breite bei diesen Winkeln ist weniger als sechs Pixel. Auf der anderen Seite weisen Ziele mit anderen Seitensichtwinkeln üblicherweise eine lange Länge und kurze Breite auf. Aus diesem Grund kann der Zielseitensichtwinkel et auf der Regel beruhen:

$$\theta_{\tau} = \begin{cases} 179 & \text{if } |L - W| < 6 \\ \theta_p & \text{sonst,} \end{cases}$$

wobei θ_p der vorhergesagte Seitensichtwinkel ist und L und W die Ziellänge und -breite sind.

[0034] Der vorhergesagte Seitensichtwinkel wird wie folgt berechnet. Zuerst wird eine Suche nach zwei, elf projizierten Winkeln durchgeführt, θ_1 (1:11) und θ_2 (1:11), dessen Höhen nahe der Ziellänge und -diagonale sind. Ein projizierter Winkel entspricht der Ziellänge und der andere projizierte Winkel entspricht der Zieldiagonalen. In einigen Fällen, in denen das Ziel eine rechteckige Form hat, ist es nicht notwendig, den Datensatz θ_2 (1:11) zu durchsuchen. Die zwei, elf Seitensichtwinkel werden dann in aufsteigender Reihenfolge sortiert, um einen neuen Satz von zwei, elf Winkeln $\hat{\theta}_1$ (1:11) und $\hat{\theta}_2$ (1:11) zu erzeugen. Der neue Satz von Winkeln wird dann verwendet, um die Zielseitensichtwinkel θ_L und θ_D vorherzusagen mit Bezug auf die Ziellänge und -diagonale. Die zwei Winkel θ_L und θ_D werden abgeschätzt durch Auffinden bzw. Orten von Hauptwinkeln, die in den Datensätzen $\hat{\theta}_1$ (1:11) und $\hat{\theta}_2$ (1:11) am häufigsten auftreten. Mathematisch werden diese ausgedrückt durch

$$\theta_L = \theta \underset{\in}{\exists} \hat{\theta}_1 (\max (Rf(\rho, \hat{\theta}_1(1 : 11))) - L) \text{ and } \theta_D = \theta \underset{\in}{\exists} \hat{\theta}_2 (\max (Rf(\rho, \hat{\theta}_2(1 : 11))) - D),$$

wobei \exists die Majoritätsschätzung („majority estimation“) bezeichnet.

[0035] Einige vorhergesagte Winkel weisen einen Fehler von 30 bis 40 Grad auf. Um dieses Problem zu korrigieren, wird eine binäre rechteckige Schablonenkorrelationsanpassung auf die binäre Zielbildfläche angewandt mit einer Schablonengröße von LxW Pixeln. Die Schablone erstreckt sich von θ_L bis θ_D in Schritten von 5 Grad, um nach der besten Übereinstimmung zu suchen. Der Winkel, der den kleinsten mittleren quadratischen Fehler ausgibt, ist der Zielsichtwinkel. Die binäre Korrelationsanpassung ist definiert als

$$\theta_p = \theta \in (\theta_L, \theta_D) \min_{n,m} \sum_{n,m} (f(n, m) - r_\theta(n, m)),$$

wobei $r_\theta(n, m)$ die Referenzschablone bei θ ist. Die Zielseitensichtwinkelvorhersage arbeitet gut nach einer binären Korrelationsanpassung. Da das Radon-Transformations-basierte Zielseitensichtwinkelschätzverfahren **50** keine Zielrichtung liefert, besteht eine 180 Grad Winkeldoppeldeutigkeit. Der vorhergesagte Winkel ist innerhalb von ± 20 Grad des wahren Sichtwinkels des Ziels wie es in [Fig. 4](#) gezeigt ist. Die resultierende Leistungsfähigkeit wird verbessert, wenn das Ziel eine rechteckige Form aufweist.

[0036] Zusätzliche Details der Radon-Transformations-basierten Zielunterscheidung unter Verwendung der Radon-Transformation-basierten Unterscheidung und des Schablonen basierten Zielklassifikationsalgorithmus **50** werden nun beschrieben. Automatische Zielerkennungsentwicklungen des Radars mit synthetischer Apertur durch die Rechtsnachfolger der vorliegenden Erfindung wurden auf das Identifizieren von Muster mit vorgespeicherten Zielsignaturen konzentriert. Die gemessenen Kennzeichen beinhalten Größe, Form, die räumliche Verteilung von reflektierter Leistung und Dimensionalität. Zuvor existierte kein Verfahren um Unterscheidungsmerkmale zu entwickeln, um diese Kennzeichen in jeder möglichen Form auszuwerten. Der vorliegende Unterscheidungsalgorithmus **50** oder das Verfahren **50** für SAR-Ziele basiert auf der Verwendung der Radon-Transformation. Der Unterscheidungsalgorithmus **50** wertet eine Zielstruktur und Forminformation wie z. B. Länge, Breite und Standardabweichungsmerkmale aus, um ein Ziel von Störungen zu unterscheiden. Ein detailliertes Blockdiagramm des Radon-Transformation-basierten Zielunterscheidungsverfahrens **50** ist in [Fig. 5](#) gezeigt.

[0037] Bezugnehmend auf [Fig. 5](#) wird nun Gebietsaufteilung diskutiert. Die Ausgabe des FOA-Abschnittes **20** beinhaltet kleine Bereiche bzw. Gebiete (Zielteilflächen), die aus einem vollständigen Szenenbild extrahiert werden. Die Zielteilflächen werden aufgeteilt **31** ([Fig. 2](#)) in eine von drei Klassen: Hintergrund, Zielschatten und Zielgebiet. Die Aufteilung **31** wird durchgeführt unter Verwendung von zwei parametrischer Konstantenfehlarmerfassung (CFAR) **61** gefolgt von Morphologieberechnungen **62** und einer Merkmalsbündelungstechnik **63**. Die zwei parametrische CFAR-Erfassungsregel ist definiert durch

$$f(n, m) = 1 \text{ wenn } (x(n, m - \mu_c/\sigma_c) \geq Th_1; 2 \text{ wenn } (x(n, m - u_c/\sigma_c) \leq Th_2; 0 \text{ sonst,}$$

wobei $x(n, m)$ die Amplitude eines Testpixels ist. μ_c und σ_c sind die geschätzten mittleren und Standardabweichungen der Pixel, die innerhalb eines CFAR-Fensters enthalten sind. Th_1 und Th_2 sind CFAR-Konstanten. 0 stellt Hintergrund dar, 1 bezeichnet ein Ziel und 2 symbolisiert einen Schatten. Die Morphologieoperation **62** verbindet zerstückelte Zielpixel, während Rauschen und unwesentliche Merkmale herausgefiltert werden. Die Morphologieoperation **62** beinhaltet eine Kaskade von Schritten bzw. Stufen, die aufeinanderfolgende Anwendungen von Dilatation, Erosion und Ordnungsfaltung mit einem (3×3) Strukturelement einschließen. Die Dilatation eines zweidimensionalen Bildes $f(n, m)$ wird geschrieben als

$$f_d B(n, m) = \max_{i, j \in B} \{f(i + n, j + m)\}$$

wobei f_d ein Eingabesatz in dem Bildbereich D ist, B ein Satz von binären Strukturelementen ist und der Index „d“ den Delatationsoperator bezeichnet. Der Erosionsoperator ist ein dualer Operator des Dilatationsoperators. Er ist definiert als

$$f_e B(n, m) = \min_{i, j \in B} \{f(i + n, j + m)\}$$

wobei f_e den Erosionsoperator bezeichnet. Der Ordnungsfalter ist ein Stamm („parent“) der Dilatation und Erosionsoperatoren und wird ausgedrückt als

$$\text{Rank}(f, B, K)(n, m) = 1 \text{ wenn } \sum \{f(i + n, j + m)\} \geq K, \text{ und } 0 \text{ sonst,}$$

wobei K ein Ordnungsfolgenparameter und $i, j \in B$ ist. Der Ordnungsfalter wird ein Erosionsoperator, wenn K gleich 1 ist.

[0038] Nachdem Falschpixel unterdrückt wurden und zerstückelte Pixel gefüllt wurden, bleibt eine große Menge von Pixeln, die nicht zu dem Ziel oder Schattenbereichen gehören, übrig. Ziellängen und -breitenschätzer arbeiten nicht gut, wenn diese Bereiche vorhanden sind. Ein Problem, das sich auf die Frage bezieht, wie diese Bereiche verworfen werden, ohne das Ziel und seine Schattenmerkmale zu zerstören, muss gelöst wer-

den. Um dieses Problem zu lösen, wird Merkmalsbündelung **63** verwendet, um Gruppen des binären Bildes durch Gruppengröße zu klassifizieren. Wenn das Pixel bei (n, m) als Ziel bezeichnet ist oder als sein Schatten, werden vier seiner Nachbapixel bei $(n - 1, m - 1)$, $(n, m - 1)$, $(n + 1, m - 1)$ und $(n - 1, m + 1)$ untersucht, um zu bestimmen, ob diese entweder zu dem Ziel, dem Schatten oder der Störung gehören. Der Pixelmarkierungsoperation folgt, dass die Zielteilfläche in Mehrfachgruppen gebündelt wird **63**. Diese Gruppen, die eine große Anzahl von Bündeln aufweist, sind diejenigen, die zu dem Ziel oder den Schattenbereichen gehören.

[0039] Die Radon-Transformation **52** wird angewandt auf eine binäre Bildteilfläche in der Weise, wie oben beschrieben, unter Verwendung der oben angegebenen Gleichung für die zweidimensionale Radon-Transformation des Bildes $f(n, m)$. Die Höhe jeder Projektion wird extrahiert **53** oder geschätzt **53** durch Auffinden des Maximums von $Rf(\rho, \theta)$ für jeden Projektionswinkel θ in der Weise wie oben beschrieben. Die Zielbreite und -diagonale werden dann durch Suchen, für welche Projektionswinkel sie maximale und minimale Höhen aufweisen, geschätzt unter Verwendung der Schätzungen, die oben beschrieben sind.

[0040] Der strukturelle Merkmalsextrahierer **66** („textural feature extractor“) wird nun erörtert. Es gibt typischerweise verschiedene sehr helle Reflektionen innerhalb des Zielkörpers. Diese hellen Reflektionen erzeugen große Streuungswerte in relativ kleinen Gebieten des Bildes. Im Gegensatz dazu sind Störungen üblicherweise ziemlich einheitlich über kleinere lokale Gebiete verteilt. Daher ist ein Standardabweichungsmerkmal ein guter Kandidat, um Ziele von Störungen zu unterscheiden. Die Zielstandardabweichung wird berechnet mit

$$\text{std}(f) = \sqrt{\left(\frac{S_2 - S_1^2/N}{N} \right)}$$

wobei

$$S_1 = \sum_N \sum_M (10 * \log f(n, m)) \text{ und } S_2 = \sum_N \sum_M (10 * \log f(n, m))^2.$$

[0041] Die statistische Unterscheidungskenngröße **68** („discrimination statistic“) wird nun erörtert. Der letzte Schritt in der Unterscheidungsstufe **40** dient dazu, die Merkmale der ausgewählten Teilmenge zu einer Unterscheidungsstatistik zu kombinieren. In diesem Schritt wird eine Entscheidung getroffen, ob das Objekt als Ziel oder Störung markiert werden soll. Eine Vektorquantisierungsnaheung (VQ) („vector quantization approach“) wird verwendet, um dieses Problem zu lösen. Die Vektorquantisierungsnaheung ist aus dem Stand der Technik bekannt als eine Datenkomprimierungstechnik. Jedoch können die Grundsätze und Vorteile der Vektorquantisierung effektiv auf das Unterscheidungs- und Klassifizierungsproblem angewandt werden. Das Vektorquantisierungsverfahren verwendet Übungsdaten, um Anfangsentscheidungsflächen im Merkmalsraum zu ermitteln, die in einer Bibliothek bzw. Codierungsliste („codebook“) spezifiziert sind. Um die Bibliothek zu entwerfen und einzurichten, werden Übungsdaten gebündelt für eine vorhandene Bibliothek gemäß einer vordefinierten Grenze. Die Regel ist

$$Y^{i+1}(n) = X_k(n)$$

wobei

$$k = \max_{j \in X} \min_{i \in Y} \sum_n \frac{|X_j(n) - Y_i(n)|}{Y_i(n)}$$

und $Y^0(n) = X_0(n)$. X sind die Eingabeübungsdaten, Y sind die Codevektoren und L ist die Anzahl von Codevektoren. Diese Regel wird angewandt in einem verallgemeinerten Lloydentwurfssystem (LBG), um Bibliotheken zu erzeugen. Der LBG-Algorithmus ist in einem Verweis A. Gersho und R. Gray, mit dem Titel „Vector Quantization and Signal Compression“, Boston, Kluwer Academic Publishers, 1992 erläutert.

[0042] Die Größe der Bibliothek wird optimiert durch Erhöhen der Anzahl von Codevektoren bis jedes Bündel nahezu homogen ist. Hier wird die Vektorquantisierung verwendet, um Ziele von Störungen zu unterscheiden. Daher ist nur eine Bibliothek für alle Ziele vorhanden. Die Bibliothek weist eine Länge von ungefähr 100–200 auf. Diese Anzahl ist nur davon abhängig, wie homogen die Zielsignaturen sind. Es wurde eine Bibliothek für Störungen entworfen, da Störungssignaturen sich deutlich unterscheiden.

[0043] Während der Erprobungsphase der vorliegenden Erfindung sucht der Vektorquantisierer nach den wahrscheinlichsten Merkmalsvektoren über alle möglichen Merkmalsvektormodelle entsprechend eines größten Wahrscheinlichkeitskriteriums. Die Unterscheidung zwischen Ziel und Störung hängt davon ab, ob der mittlere quadratische Fehler geringer oder größer ist als ein gegebener Schwellenwert. Der Schwellenwert ist angepasst, um eine minimale Wahrscheinlichkeit zu garantieren, die wahren Ziele zu ermitteln.

[0044] Der schablonenbasierte Zielklassifizierungsalgorithmus, der in dem System **10** der [Fig. 1](#) verwendet wird, wird nun erörtert. Der Erfolg der Klassifikationsstufe **50** hängt ab von der Auswahl von Merkmalen, die die beste Unterscheidungsleistung zwischen Zielen und Störungen für unterschiedliche Arten von Zielen bereitstellt. Sogar die besten Klassifizierer können nicht effektiv arbeiten, sofern mangelhafte Merkmale gegeben sind. Zusätzlich muss der Klassifizierer effektiv arbeiten, wodurch Näherungen ausgeschlossen sind, wie z. B. Schablonenanpassung an jeden Sichtwinkel von einem Grad, was sehr komplex und rechentechnisch beschwerlich sein kann. Bei der vorliegenden Erfindung folgt die Klassifikation einer schablonenbasierten Annäherung mit der Zielseitensichtschätzung, um die Geschwindigkeit der MSE-Klassifikationssuche zu erhöhen.

[0045] Der Zielseitensichtschätzer oder Vorhersager **55** wird nun erörtert. Die Orientierung des Ziels kann auf viele unterschiedliche Arten geschätzt werden. Die MIT/LL-Näherung, die in dem Grundlagenabschnitt erwähnt wurde, platziert eine zielangepasste rechtwinklige Schablone auf das Bild und verschiebt und rotiert die Schablone bis die Energie innerhalb der Schablone maximiert ist. Dies wurde in dem L. Novak et al. Aufsatz erörtert, der in dem Grundlagenabschnitt erwähnt ist. Wie bei dem MIT/LL-Unterscheidungsglied ist die ARL-Fehlalarmminderungsstufe ebenso ein binärer Korrelationsalgorithmus. Der Algorithmus verwendet zwei Reihen von Masken. Dies wurde in dem Stolovy, et al. Aufsatz erörtert, der in dem Grundlagenabschnitt erwähnt ist.

[0046] Die helle Maske entspricht den Helligkeitsgebieten des Ziels und die umgebende Maske entspricht den dunklen Gebieten oder Störungen, die das Ziel umgeben. Jede Schablone weist zugeordnete Offset- und Schwellenwertparameter auf. Die Form der Schablonen ändert sich beträchtlich mit dem Zielscheitelkreis bzw. -azimut. Vierzig Schablonen werden verwendet, um den vollen 360°-Bereich des Scheitelkreises zu überspannen. Bei der vorliegenden Erfindung werden die Ziellängen und die Diagonaleigenschaften extrahiert durch die Radon-Transformation, um den Zielseitensichtwinkel zu schätzen. Eine Beschreibung der Zielseitensichtwinkelschätzung auf hoher Ebene ist in [Fig. 6](#) gezeigt.

[0047] Schablonenerzeugung wird nun erörtert. Ein mittlerer quadratischer Fehler (MSE) Musteranpassungsklassifizierer **43** („mean squared error pattern matching classifier“) ([Fig. 1](#)) wird verwendet, um Fehlalarme („cultural false alarms“) abzuweisen, die durch künstliche Störungen verursacht werden und um die übrigen Zielerfassungen durch Fahrzeugtypen zu klassifizieren. Die Musteranpassungsreferenzen, die von den Klassifizierern verwendet werden, wurden entworfen durch Mittelung von fünf aufeinanderfolgenden Spotlight-Mode Bildern („spot light mode images“) eines Ziels, die aufgenommen wurden mit Stufen des Scheitelkreises von einem Grad, wodurch sich geglättete Referenzen für jedes der Ziele ergeben **72**. Die Schablone ist aufgeteilt in drei Bereiche, die das Ziel, den Schatten und die Störung repräsentieren.

[0048] Um die Referenzschablone für den MSE-Klassifizierer **43** zu entwerfen, werden die dB-Pixelwerte von bloßen Zielübungsbildern in die Gebietsaufteilung („region segmentation“) eingegeben, um nur die Zielpixel und die Zielschattenpixel zu extrahieren. Alle Pixel, die nicht unter der Zielmaske oder dem Zielschattengebiet liegen, werden verwendet, um ein durchschnittliches dB-Störungsniveau $\hat{\mu}_c$ zu berechnen. Das Zielbild, $h(n, m)$, wird dann normiert durch

$$g(n, m) = h(n, m) - \hat{\mu}_c.$$

[0049] Mit diesem normierten Schema wurde die Durchschnittsstörung entfernt, aber die Energie des Referenzziels relativ zu dem Störungshintergrund wird beibehalten.

[0050] Bezugsschablonen sind auf zwei Ebenen entworfen. Die erste Stufe repräsentiert den Zieltyp, während die zweite Stufe an den Zielseitensichtwinkel berichtet. Die Bezugsbibliothek **42** beinhaltet für drei unterschiedliche Ziele 216 Referenzschablonen.

[0051] Der MSE-Klassifizierer **43** wird nun erörtert. Wenn ein Bereich von Interesse (ROI) an den MSE-Klassifizierer **43** übergeben wird, werden die Zielpixel und seine Schattenpixel extrahiert. Das mittlere Störungsniveau wird berechnet und der ROI wird dann normiert, wie bei der Schablonenerzeugung. Zur selben Zeit wird der Winkel von der Zielseitensichtvorhersage abgefragt. Die Information wird dann an die Referenzbibliothek

42 übergeben, um die Schablonen innerhalb des Scheitelkreises ± 20 Grad abzurufen. Als Nächstes wird der mittlere quadratische Fehler berechnet für alle Referenzschablonen. Für eine gegebene Referenzschablone $r_{ij}(n, m)$ wird der Fehler e_{ij} berechnet für das geprüfte Bild $x(n, m)$ durch

$$e_{ij} = \frac{\sum_n \sum_m |r_{ij}(n, m) - x(n, m)|}{N}$$

wobei N die Anzahl der Pixel in dem Referenzschablonenfenster ist und i und j jeweils Zieltyp und Zielseitenwinkel entsprechen. Zuletzt wird das Minimum des Fehlers e gemessen

$$e = \min_i (e_{ij}) .$$

[0052] Das Ziel wird klassifiziert als Objekt i , sofern e zu i gehört.

[0053] Die Ergebnisse der Leistungsfähigkeit werden nun erörtert. Eine öffentliche Version der MSTAR-Ziel-datenbank wurde bei der Entwicklung des Systems **10** verwendet. Diese Datenbank besteht aus sieben verschiedenen Zielobjekten: drei T-72's (sn-132, sn-812, und sn-s7), drei BMP-2's (sn-9563, sn-9566, und sn-c21) und eine BTR-70 (sn-c71). Zielscheitelkreisstellungswinkel für vollständige 360 Grad sind in ein oder zwei Grad Schritten enthalten. Zwei Gruppen von Teilflächen zum Üben und Erproben bestehen für die jeweiligen Ziel-seitensichtstellungswinkel („target azimuth pose angle“). Die Übungsteilflächen werden aufgenommen mit einem Senkungswinkel von 17 Grad, während die Teilflächen zum Erproben bei 15 Grad aufgenommen sind.

[0054] Die Leistungsfähigkeit des Systems **10** wurde erprobt in zwei unterschiedlichen Experimenten. Im ersten Experiment werden alle Ziele mit unterschiedlichen Seriennummern in dem Übungsdatensatz verwendet um Zielreferenzschablonen zu erzeugen. Es wurde herausgefunden, dass der MSE-Klassifizierer **43** fähig ist, 99% richtige Klassifikation bzw. Klassifizierung für den Übungssatz und 96% korrekte Klassifikation für den Erprobungssatz zu erreichen, wie in Tabelle 1 gezeigt ist.

Tabelle 1

richtig/klassifiziert als	BMP-2	T-72	BTR-70
BMP-2	96,2%	1,6%	2,2%
T-72	1,3%	96,6%	1,1%
BTR-70	2,8%	1,6%	95,8%

[0055] Im zweiten Experiment werden Ziele mit zwei unterschiedlichen Seriennummern verwendet, um zu üben bzw. zu trainieren und zu erproben. Für den Fall, dass die Zielreferenzschablone auf sn-132, sn-9563 und sn-c71 trainiert wurde, während auf sn-812, sn-9566 und sn-c71 erprobt wurde, bleibt die Klassifikationsleistungsfähigkeit identisch. 95% korrekte Klassifikation wurde erreicht, wie es in Tabelle 2 gezeigt ist.

Tabelle 2

richtig/klassifiziert als	BMP-2	T-72	BTR-70
BMP-2	97,0%	1,2%	1,8%
T-72	6,6%	92,2%	1,2%
BTR-70	2,6%	1,8%	95,8%

[0056] Jedoch verschlechtert sich die Klassifikationsleistungsfähigkeit leicht für den Fall, dass Referenzschablonen auf sn-132, sn-9563 und sn-c71, während die Erprobung auf sn-s7, sn-c21 und sn-c71 durchgeführt wurde. Es wurden nur 92,4% korrekte Klassifikation erreicht, wie es in Tabelle 3 gezeigt ist.

Tabelle 3

richtig/klassifiziert als	BMP-2	T-72	BTR-70
BMP-2	96,2%	2,6%	1,2%
T-72	9,8%	86,1%	4,1%
BTR-70	3,6%	1,6%	94,8%

[0057] Jedoch verschlechtert sich die Leistungsfähigkeit leicht für den Fall, dass Referenzschablonen auf sn-132, sn-9563 und sn-c71 durchgeführt wurden, während die Erprobung auf sn-s7, sn-c21 und sn-c71 durchgeführt wurde. Nur 92,4% korrekte Klassifikation wurde erreicht, wie es in Tabelle 3 gezeigt ist.

[0058] Es gibt bestimmte Vorteile, die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellt werden. Die Winkelmessung kann schneller bestimmt werden unter Verwendung der Radon-Transformation, weil die Zielmerkmale drehungs- und verschiebungsinvariante Eigenschaften beinhalten. Die Radon-Transformation erfordert keine erneute Übung mit einem neuen Ziel, um Länge und Breite zu bestimmen. Es liegen weniger Speicherdaten vor, da keine Referenzschablonendatenbank erforderlich ist und weil das vorliegende Verfahren keine schablonenbasierte Näherung ist. Die Ziellängen und -breitenmerkmale ermöglichen die Unterscheidung zwischen Zielen und Störungen. Zielseitensichtwinkelschätzung wird verwendet, um zu beschleunigen und um zu ermöglichen, mittlere quadratische Fehlermusteranpassung zu erlangen. Im Betrieb reduziert dies die Zeit, die für die Sammelfahrzeuge erforderlich ist, in dem Zielgebiet zu verbringen und steigert dadurch die Überlebensfähigkeit. Zusätzlich erlaubt die Radon-Transformation schnelleres effizienteres Verarbeiten von Ziel/Störungsbildern, die eine breitere Gebietsabdeckung in einer vorgegebenen Zeit ermöglicht.

[0059] Es gibt zwei anfängliche Verwendungen, die für die vorliegende Erfindung vorstellbar sind. Die erste Verwendung sind Taktische- und Erkundungsplattformen in Echtzeit, die SAR-automatische Zielerkennungssysteme einschließen. Die zweite Verwendung bezieht sich z. B. auf automatische Gepäckuntersuchung an zivilen Flughäfen. Demnach kann die vorliegende Erfindung für multispektrale Verarbeitung („processing multi-spectral“), FLIR (vorausschauende Infrarot)Systeme und LADAR (Laserradar)Bildarten verwendet werden.

[0060] Demnach wurden ein System und ein Verfahren zur Berechnung des Grades von Verschiebungsoffset zwischen entsprechenden Blöcken, die von Bildern extrahiert wurden, die durch unterschiedliche Sensoren gewonnen wurden, so dass die Bilder räumlich registriert werden, offenbart. Es versteht sich, dass die oben beschriebenen Ausführungsformen lediglich erläuternd für einige von vielen spezifischen Ausführungsformen, die Anwendungen des Grundgedankens der vorliegenden Erfindung darstellen. Zweifellos können zahlreiche und andere Anordnungen ohne weiteres von Fachleuten entwickelt werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen, der durch die angefügten Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verwendung in Abbildungssystemen, mit den Schritten:
Erfassen (**51**) einer binären Zielbildteilfläche, die einen Block von Pixeln eines Bildbereichs beinhaltet;
Verarbeiten (**52**) der Pixel der binären Zielteilfläche unter Verwendung einer zweidimensionalen Radon-Transformation, um daraus Zielmerkmale zu extrahieren;
dadurch gekennzeichnet, dass
das Verfahren bei einer Zielsichtwinkelschätzung verwendet wird und beinhaltet:
Schätzen (**53**) der Länge, Breite und Diagonalen des Ziels unter Verwendung der extrahierten Zielmerkmale;
und
Schätzen (**55**) eines Seitensichtwinkels (Θ_p) des Ziels unter Verwendung der Länge, Breite und Diagonalen des Ziels.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die binäre Zielbildteilfläche eine Bildteilfläche beinhaltet, die von einem Zielbildbereich abgeleitet wird, der mittels eines Radarsystems mit synthetischer Apertur gemappt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die binäre Zielbildteilfläche eine Bildteilfläche beinhaltet, die von einem vorausschauenden Infrarotsystem abgeleitet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die binäre Zielbildteilfläche eine Bildteilfläche

che beinhaltet, die von einem Laserradarsystem abgeleitet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Merkmale, die von der Radon-Transformation (**52**) extrahiert werden, verarbeitet werden, um die Art des Ziels zu klassifizieren.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Merkmale, die von der Radon-Transformation (**52**) extrahiert werden, verarbeitet werden, um nach einem Zielindex zu suchen.

7. Automatisiertes Zielerkennungssystem (**10**) zur Verwendung mit einem Radarsystem mit synthetischer Apertur, um automatisch Zielorte zu erfassen und Zielarten zu klassifizieren, mit:
 einem Erfassungsabschnitt (**20**), der einen Aufmerksamkeitsfokusalgorithmus (**21**) zum Identifizieren möglicher Zielorte in einem vollständigen Szenenbild beinhaltet;
 einem Unterscheidungsabschnitt (**30**), der eine Radon-Transformations-basierte Merkmalsextraktionsmethode (**50**) beinhaltet, die Bereiche verarbeitet, die mittels des Aufmerksamkeitsfokusalgorithmus (**21**) lokalisiert worden sind und die diese als Ziele oder Störungen unterscheidet; und
 einem Klassifikationsabschnitt,
 dadurch gekennzeichnet, dass der Klassifikationsabschnitt ein Schablonen-basierter Klassifikationsabschnitt (**40**) ist, und zwar zum Identifizieren von Zielen als vorbestimmte Arten, und einen Radon-Transformation-basierten Zielseitenschätzer (**55**) beinhaltet.

8. System nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Unterscheidungsabschnitt (**30**) eine Gebietsaufteilung (**31**), eine Merkmalsextraktion (**32**) und eine Erzeugung von statistischen Unterscheidungskenngrößen (**33**) beinhaltet.

9. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Gebietsaufteilung (**31**) durchgeführt wird unter Verwendung einer zweiparametrischen Konstant-Fehlalarmratenerfassung (**61**) gefolgt von Morphologieberechnungen (**62**) und einer Merkmalsbündelung (**63**).

10. System nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Konstant-Fehlalarmratenerfassung (**61**) ausgeführt wird unter Verwendung einer zweiparametrischen Konstant-Fehlalarmratenerfassungsregel, die definiert ist als

$$f(n, m) = 1, \text{ wenn } x(n, m - \mu_c/\sigma_c) \leq Th_1; 2, \text{ wenn } x(n, m - \mu_c/\sigma_c) \leq Th_2;$$

anderenfalls 0, wobei $x(n, m)$ die Amplitude eines Prüfpixels ist, μ_c und σ_c die geschätzte mittlere und die Standardabweichung der Pixel sind, die innerhalb eines Konstant-Fehlalarmratenfensters enthalten sind, Th_1 und Th_2 Konstant-Fehlalarmratenkonstanten sind, 0 Hintergrund darstellt, 1 ein Ziel anzeigt und 2 einen Schatten symbolisiert.

11. System nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Morphologieberechnung (**62**) eine Kaskade von Abschnitten beinhaltet, die eine aufeinanderfolgende Anwendung von Dilatationen, Erosionen und Ordnungsfaltungen einschließen.

12. System nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Klassifikationsabschnitt (**40**) eine Zielseitenvorhersage (**41**), eine Referenzbibliotheksmodellierung (**42**) und einen Klassifizierer (**43**) unter Verwendung eines mittleren quadratischen Fehlers beinhaltet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

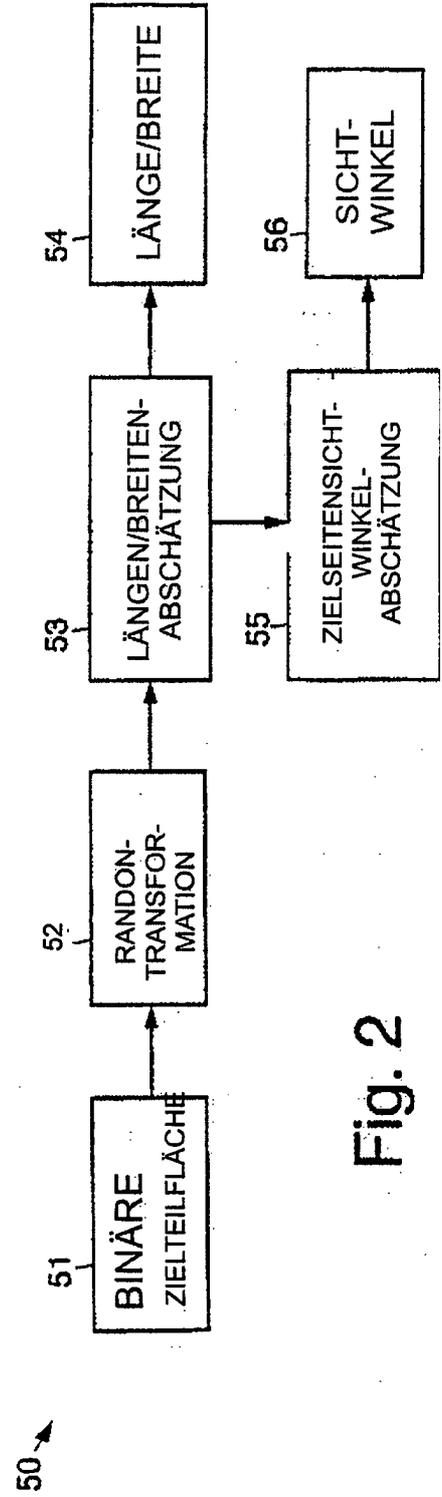
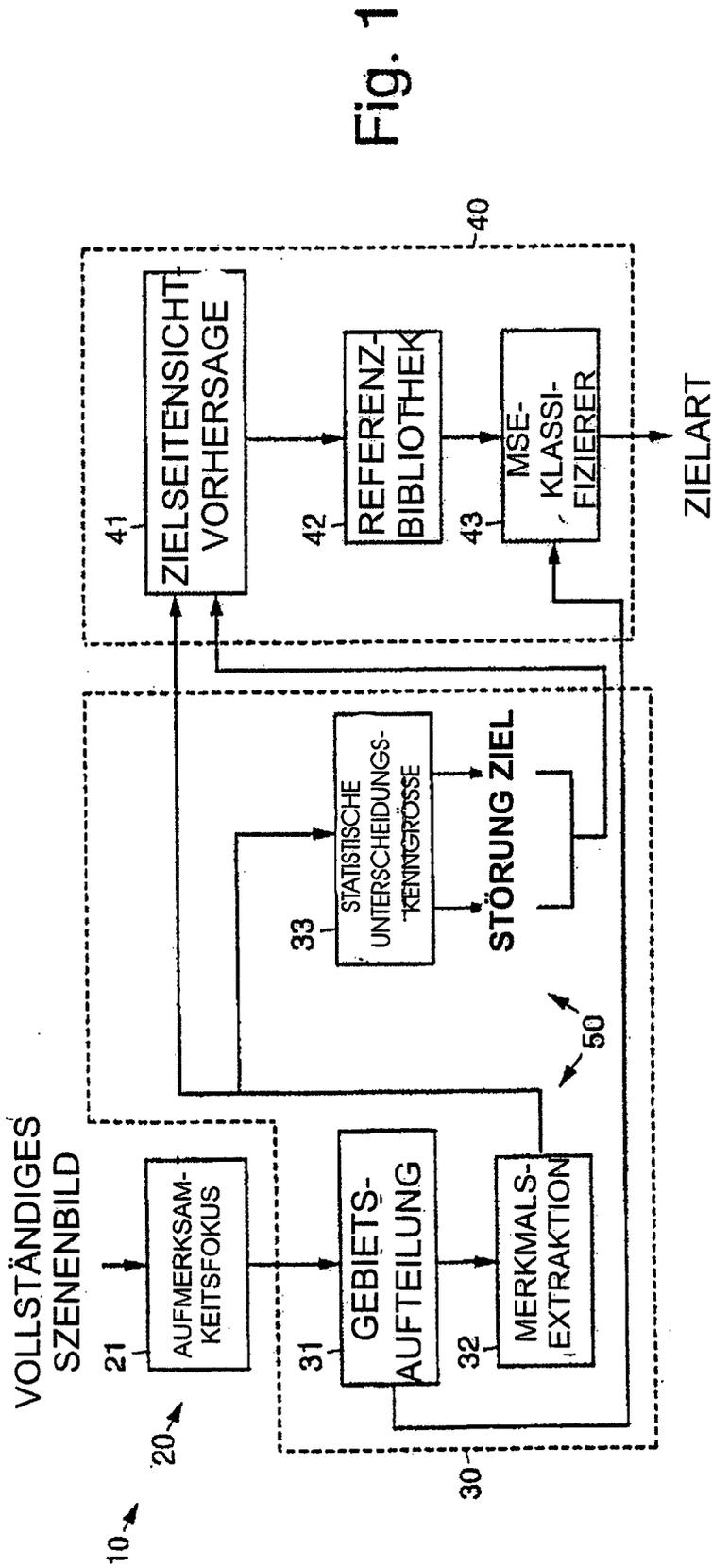


Fig. 3a

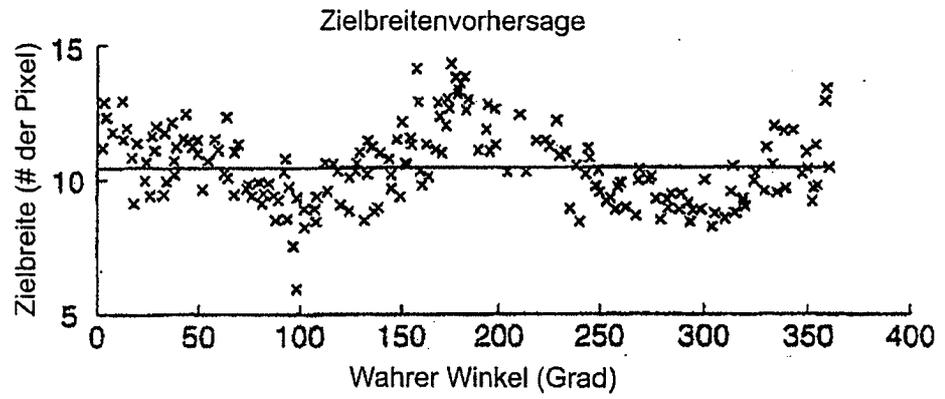


Fig. 3b

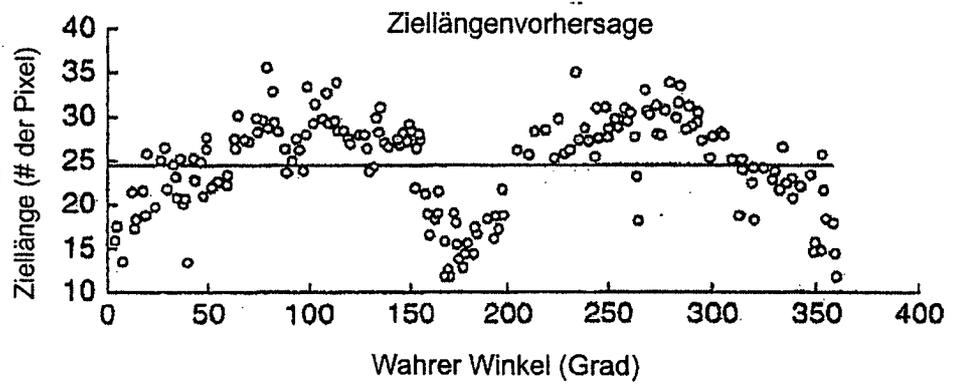
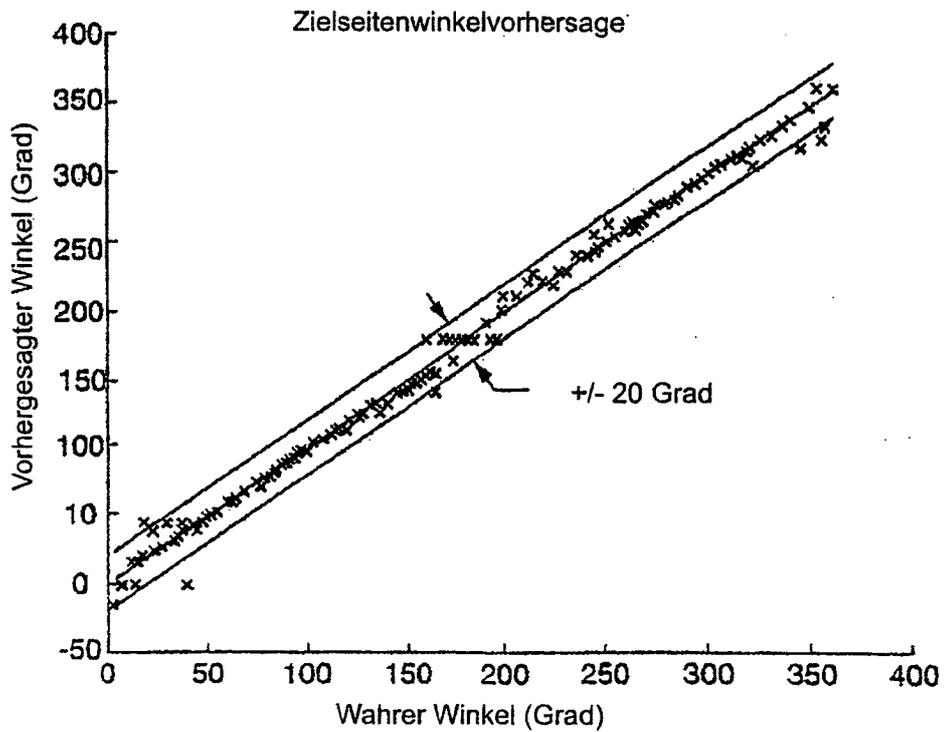


Fig. 4



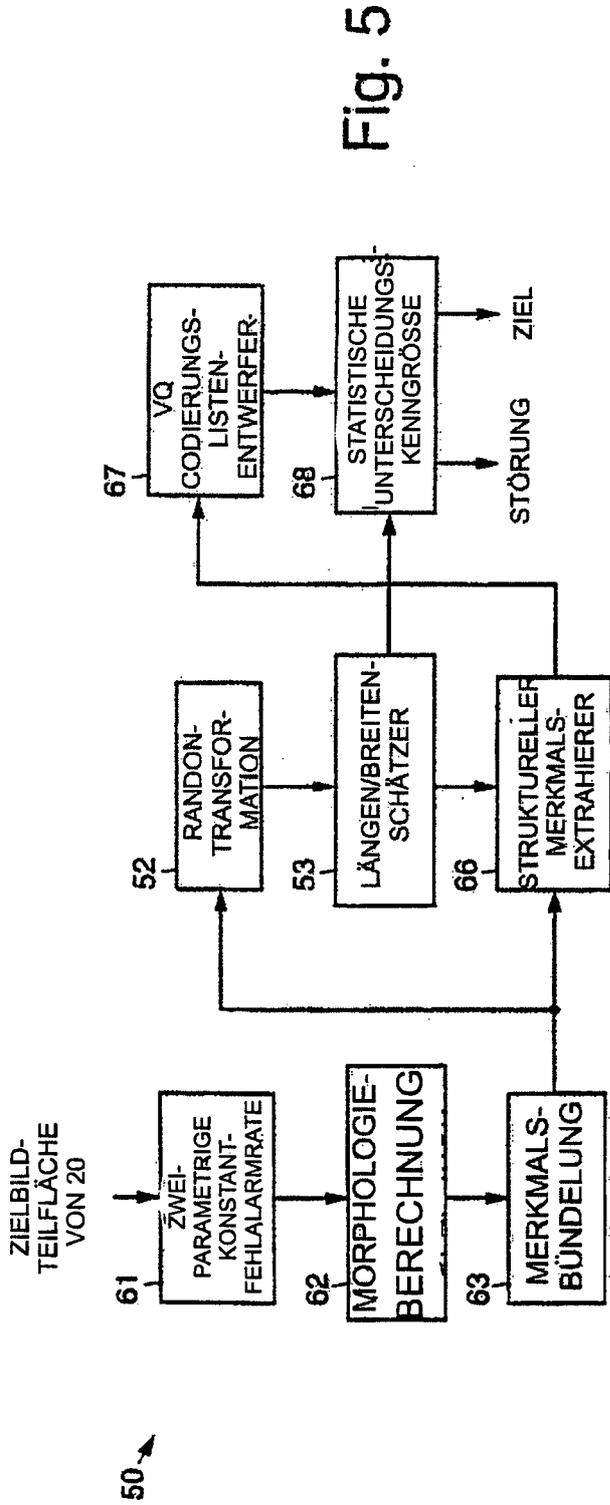


Fig. 5

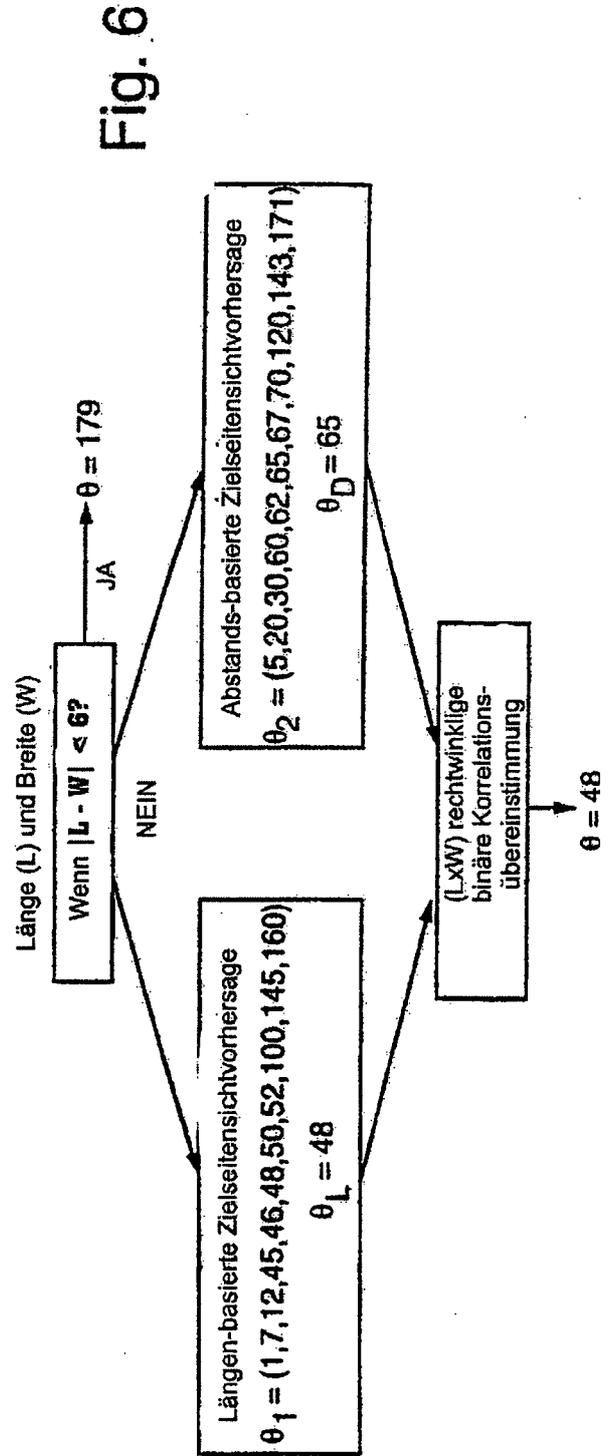


Fig. 6