



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Übersetzung der
europäischen Patentschrift**

97 EP 0 925 517 B 1

10 DE 697 08 890 T 2

51 Int. Cl. 7:
G 01 S 13/89
G 06 T 11/00
A 61 B 5/05

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 697 08 890.1
- 86 PCT-Aktenzeichen: PCT/US97/15723
- 96 Europäisches Aktenzeichen: 97 939 832.8
- 87 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 98/11453
- 86 PCT-Anmeldetag: 5. 9. 1997
- 87 Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: 19. 3. 1998
- 97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 30. 6. 1999
- 97 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 5. 12. 2001
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 29. 8. 2002

DE 697 08 890 T 2

<p>30 Unionspriorität: 714026 11. 09. 1996 US</p> <p>73 Patentinhaber: Battelle Memorial Institute, Richland, Wash., US</p> <p>74 Vertreter: Müller-Boré & Partner, Patentanwälte, European Patent Attorneys, 81671 München</p> <p>84 Benannte Vertragsstaaten: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE</p>	<p>72 Erfinder: SHEEN, M., David, Richland, US; McMAKIN, L., Douglas, Richland, US; HALL, E., Thomas, Kennewick, US; SEVERTSEN, H., Ronal, Richland, US</p>
--	---

54 ECHTZEIT-, BREITBAND-, ZYLINDRISCHES, HOLOGRAPHISCHES ÜBERWACHUNGSSYSTEM

DE 697 08 890 T 2

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.

Amtl. Aktenzeichen: 97 939 832.8-1248 / 697 08 890.1-08

Anmelder: Battelle Memorial Institute Pacific Northwest Division

"Echtzeit-, Breitband-, Zylindrisches, Holographisches Überwachungssystem"

Unser Zeichen: EU 3463 - ro / bt

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung, die für die Kontrolle auf verborgene Gegenstände nützlich sind.

- 5 Genauer bezieht sich die vorliegende Erfindung auf das Bilden eines zylindrischen Bildes mit Millimeterwellensignalen, die durch eine holographische Anordnung bzw. ein holographisches Feld gesendet und empfangen und unter Verwendung einer schnellen Fourier-Transformationsanalyse rekonstruiert werden. Das Verfahren und die Vorrichtung sind insbesondere für eine Personenkontrolle in
- 10 Massenbeförderungszentren nützlich.

HINTERGRUND

- Der Bedarf an einem neuen und vielseitigeren Personenkontrollsystem in
- 15 Massenbeförderungszentren hat in den letzten Jahren zugenommen. Eine ausführliche Beschreibung herkömmlicher und holographischer Verfahren findet sich in dem US-Patent 5 455 590.

- Die holographische lineare Anordnung von in Folge geschalteten Millimeterwellen-Sendeempfängern, die schnell über eine große Öffnung
- 20 abtasten, um das Ziel aktiv zu beleuchten, wie in dem US-Patent 5 455 590 beschrieben, verwendet eine einzige Frequenz, die kohärent ist, was bedeutet, dass die Phase des zurückgegebenen Signals sowie die Amplitude aufgezeichnet werden. Die in dem US-Patent 5 557 283 beschriebene holographische lineare Anordnung verbessert die Bildqualität durch Verwendung eines Breitbandsystems.

- 25 Das US-Patent 5 170 170 von Soumekh zeigt ein zweidimensionales Rekonstruktionsverfahren. In seinem Buch mit dem Titel FOURIER ARRAY IMAGING, Engwood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1994, leitete Soumekh ein

Rekonstruktionsverfahren für eine kreisrunde Öffnung ab, das ein zweidimensionales Bild ergibt.

Den vorherigen Systemen fehlt jedoch die Fähigkeit, eine Einzelperson schnell von allen Seiten abzutasten, ohne die Einzelperson zu belästigen. Um eine Person gründlich auf verborgene Gegenstände zu kontrollieren, ist es insbesondere notwendig, die Person von vielen Blickwinkeln aus abzubilden. Mit einer planaren Öffnung muss sich eine Person an einer Anzahl von vorbestimmten Positionen aufstellen, während Bilder erfasst werden. Um eine ausreichende Anzahl an Bildern zu erhalten (8-128), kann die Gesamtzeit für die Erfassung der Bilder bis zu mehrere Minuten dauern, was für Anwendungen mit hohen Durchgangsraten, einschließlich Flughäfen, inakzeptabel ist.

Daher besteht ein Bedarf an einem Verfahren sowie einer Vorrichtung für dreidimensionale holographische Abbildungen, die eine hohe Auflösung bei schnellem Abtasten und einer schnellen Bildrekonstruktion bieten können.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Die vorliegende hierin offenbarte Erfindung schließt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erreichen einer holographischen annähernden Echtzeitabbildung von verborgenen Gegenständen ein. Eine vertikale lineare Antennenanordnung bzw. ein Antennenfeld wird über einen kreisförmigen Pfad betätigt, um ein zylindrisches Abtasten von 360° eines bedeckten Ziels, wie z.B. einer bekleideten Person, zu erreichen. Die Daten liegen in Form einer nicht fokussierten oder auseinandergelassenen Millimeterwellenbeleuchtung vor, die in der Lage ist, eine Bedeckung, wie z.B. Kleidung, zu durchdringen. Die Millimeterwellenbeleuchtung muss mathematisch in erkennbare Bilder fokussiert oder rekonstruiert werden. Ein völlig neuer Rekonstruktionsalgorithmus ist nötig, um die über einen Abschnitt der zylindrischen 360°-Öffnung erfassten Breitbanddaten anzunehmen und ein vollständig fokussiertes dreidimensionales Bild zu bilden. Untergruppen der 360°-Daten können verwendet werden, um Bilder des Ziels aus jeder zylindrischen Blickposition oder jedem Blickwinkel zu bilden. Eine vollständige Kontrolle des Ziels wird in mehreren Sekunden durch ein einziges Abtasten der vertikalen linearen Antennenanordnung um den Umfang des Zylinders durchgeführt. Eine Computer erzeugte Animation ermöglicht eine aufeinanderfolgende Sicht von

Bildern, die um den Blickwinkel inkrementiert wird. Wenn die Inkremente klein genug sind, wird das Bild eines sich langsam drehenden Gegenstands erscheinen. Das Bedienpersonal ist dann in der Lage, das Ziel optisch vollständig auf verborgene Gegenstände zu kontrollieren.

5 Die vorliegende Erfindung ist eine Erweiterung des holographischen Abbildungssystems von einem planaren Abbildungsvorgang, bei dem nur eine einzige Seite eingesehen wird, auf einen zylindrischen Abbildungsvorgang, bei dem viele Seiten eingesehen werden. Durch die Erfindung werden Bilder von vielen Seiten anstelle von Bildern von einer Seite, z.B. eine Vorderansicht,
10 gebildet. Breitbanddaten werden über eine zweidimensionale zylindrische Öffnung erfasst. Durch die Verwendung einer zylindrischen Öffnung ist man nicht mehr auf einen einzigen Blickwinkel beschränkt, wie bei einem planaren Öffnungssystem. In dieser Beschreibung bezieht sich der Begriff Breitband auf das integrierte Senden und Empfangen von mindestens zwei Frequenzen im Gegensatz zu
15 einem separaten Senden und Empfangen von mindestens zwei Frequenzen.

Die Breitbandparameter (Whiteband or Broadband) sind im Hinblick auf die Anzahl der Frequenzen und den Bereich der Frequenzen in dem US-Patent 5 557 283 beschrieben. Des Weiteren beschreibt das US-Patent 5 557 283 die Antennenanordnung und den bistatischen gleichphasigen
20 Überlagerungssendeempfänger bzw. Heterodyn-In-Phasen-Sendeempfänger, der für das zylindrische Abbilden bevorzugt wird, sowie alternative Sendempfänger, die für das zylindrische Abbilden nützlich sind. In dieser Patentanmeldung werden der zylindrische Abtaster und die Rekonstruktionsalgorithmen beschrieben.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine
25 Vorrichtung zur zylindrischen Breitband-Millimeterwellenabbildung zu schaffen.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, dass das Verfahren und die Vorrichtung eine erweiterte Tiefenschärfe aufweisen und Ansichten oder Bilder von vielen Blickwinkeln oder vielen Seiten vorsehen, um eine annähernde Echtzeit-Abbildung durchzuführen, die für eine
30 Personenkontrolle notwendig ist.

Der Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist im abschließenden Teil dieser Beschreibung besonders hervorgehoben und eindeutig beansprucht. Der Aufbau und das Verfahren des Betriebs sowie dessen weiteren Vorteile und Aufgaben werden jedoch am besten mit Bezug auf die folgende Beschreibung in

Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen, in denen sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche Elemente beziehen, verstanden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

5

FIG. 1 ist ein Blockdiagramm eines zylindrischen holographischen Breitbandsystems.

FIG. 2 ist ein begriffliches Diagramm eines zylindrischen holographischen Breitbandsystems.

10

FIG. 3 ist ein Prinzip eines bevorzugten bistatischen bzw. mit je einer örtlich getrennten Sende- bzw. Empfangsantenne versehenen gleichphasigen Überlagerungssendeempfängers bzw. eines bistatischen Heterodyn-Inphasen-Sendeempfängers.

15

FIG. 3a ist ein Prinzip eines bevorzugten bistatischen, phasenverschobenen Überlagerungsempfängers bzw. eines bistatischen Heterodyn-Quadratur- bzw. Außerphasen-Sendeempfängers.

FIG. 4 ist ein Koordinaten-Definitionsdiagramm.

FIG. 5 ist ein Diagramm, das die Auflösung quantitativ bestimmt.

20

FIG. 6 ist eine mit einem planaren Abtaster erhaltene Vorderseitenabbildung einer Schaufensterpuppe.

FIG. 7 ist eine mit einem zylindrischen Abtaster erhaltene Vorderseitenabbildung einer Schaufensterpuppe.

25

FIG. 8 ist eine mit einem planaren Abtaster erhaltene Rückseitenabbildung einer Schaufensterpuppe.

FIG. 9 ist eine mit einem zylindrischen Abtaster erhaltene Rückseitenabbildung einer Schaufensterpuppe.

FIG. 10 ist eine mit einer optischen Kamera erhaltene Vorderseitenabbildung einer Person.

30

FIG. 11 ist eine mit einem zylindrischen Abtaster erhaltene Vorderseitenabbildung einer Person.

FIG. 12 ist eine Reihe von Abbildungen, die die Computeranimation veranschaulichen.

GENAUE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Die folgende Beschreibung beginnt mit einer Beschreibung eines zylindrischen, holographischen Breitband-Abbildungssystems, gefolgt von einer Ableitung eines zylindrischen Breitband-Rekonstruktionsalgorithmus. Anschließend werden Arbeitsbeispiele gegeben.

ZYLINDRISCHES, HOLOGRAPHISCHES BREITBANDSYSTEM

Das zylindrische, holographische Breitbandsystem (FIG. 1) besteht aus einer Antennenanordnung bzw. einem Antennenfeld 10, einem Sendeempfänger bzw. Transceiver bzw. einem Empfänger 12, einem Abtaster bzw. Scanner 13, einem Analog-Digital-Umsetzer 14, einem Computer 16 und einer Anzeige 18. Ein Systemdiagramm (FIG. 2) zeigt eine Person 40 auf einer Plattform 41 innerhalb eines Abtastrahmens 42. Die Antennenanordnung 10 wird um die Person 40 gedreht, um das Bild (die Bilder) zu erhalten.

Die abzutastende Person 40 wird angewiesen, relativ ruhig auf der Plattform 41 des Abtastrahmens 42 zu stehen, während sich die vertikale lineare Antennenanordnung 10 zylindrisch um die Person 40 dreht. Die Millimeterwellenbeleuchtung bzw. -strahlung von der Antennenanordnung 10 dringt durch die Kleidung und wird von verborgenen Gegenständen reflektiert. Die reflektierten Millimeterwellensignale werden von dem Abbildungssystem aufgezeichnet und fokussiert oder unter Verwendung eines Computers 16 in erkennbare Bilder des Subjekts unter Aufdeckung verborgener Gegenstände rekonstruiert.

ZYLINDRISCHER ABTASTER

Die Funktion des zylindrischen Abtasters 43 besteht einfach darin, dass er die vertikale Antennenanordnung(en) 10 um das abgetastete Ziel dreht. Wenn eine Person das Ziel ist, erfordert dies einen Abtaster mit einer Höhe von etwa 2 Metern. Der Radius des Abtasters sollte im Bereich von 0,75 – 1,25 Metern liegen. Der Radius muss so groß sein, dass eine Person das System leicht betreten und verlassen kann, und er sollte so klein wie möglich sein, um den für den Abtaster

erforderlichen Platzbedarf auf dem Boden zu minimieren.

LINEARE(S) ANTENNENANORDNUNG BZW. FELD BZW. ARRAY

5 Die Antennenanordnung bzw. das Antennenfeld 10 erstreckt sich über die vertikale Länge der Öffnung, und zwar typischerweise etwa 2 Meter für Personenkontrollen. Die Millimeterwellenquelle wird auf jedes Antennenelement in der Anordnung geschaltet. Die Anordnung kann so konfiguriert sein, dass sie von dem gleichen Antennenelement sendet und empfängt, in einer bevorzugten
10 Konfiguration werden jedoch getrennte Sende- und Empfangsanordnungen verwendet. Eine Logikschaltung bringt die Sende- und Empfangsantennen in eine logische Reihenfolge, um von einer Antenne zu senden und das reflektierte Breitbandsignal von jeder der zwei benachbarten Antennen in der Empfangsreihe zu empfangen. Dadurch wird in der Mitte zwischen jeder Sende- und
15 Empfangsantenne ein virtueller Abtastpunkt platziert. Die Sende- und die Empfangsreihe sind vorzugsweise um den halben Antennenabstand versetzt, so dass der effektive Abtastabstand die Hälfte des Abstands der Einzelreihen-Antennen beträgt. Dieses Einordnungsschema kann nicht für das letzte Antennenelement verwendet werden, so dass die effektive Anzahl der Abtast-
20 punkte um eins reduziert wird. Die für die Anordnungen nötige Abtastdichte wird durch die Millimeterwellen-Mittenfrequenz und durch das Nyquist-Abtastkriterium bestimmt. Im Allgemeinen ist ein Abtasten in der Größenordnung von einer halben Wellenlänge optimal, wobei zwei Drittel Wellenlängen annehmbare Ergebnisse bringen. Für eine 2 Meter hohe vertikale Anordnung, die mit 27 – 33
25 GHz arbeitet, würde dies bedeuten, dass 300 – 400 Antennenelemente notwendig sind.

Für ein Breitbandsystem kann die Antennenanordnung 10 ein einzelnes Sende-/Empfangsantennenelement sein, das über eine zweidimensionale Öffnung bewegt wird. Es wird bevorzugt, dass die Antenne 10 eine Anordnung
30 von Antennenelementen ist, die mindestens eine einzelne Reihe einer Vielzahl von Antennenelementen ist. Alternativ können Antennenelemente derart angeordnet sein, dass eine Reihe ein Satz von Sendeantennenelementen und eine zweite Reihe ein Satz von Empfangsantennenelementen ist. Separate Sende- und Empfangsantennenelemente werden für ein Breitbandsystem be-

vorzugt, um die Notwendigkeit eines Mehrfrequenzzirkulators zu vermeiden.

SENDEEMPFÄNGER-SCHALTUNGEN

- 5 Eine Millimeterwellenschaltung ist in dem zylindrischen, holographischen Breitbandabbildungssystem erforderlich, um ein Hochgeschwindigkeitsabtasten der zylindrischen Öffnung vorzusehen. Unter einer elektronischen Hochgeschwindigkeitssteuerung müssen eine einzelne Sendeantenne und eine einzelne Empfangsantenne einzeln an den Sendeempfänger angeschlossen
- 10 werden. Es ist möglich, eine Anordnung unter Verwendung von im Handel erhältlichen, einpoliger Doppelschalter (SPDT) - Pindioden-Millimeterwellen Wellenleiterschalter (engl.: single pole double throw (SPDT) pin-diode millimeter-wave waveguide switches) aufzubauen, diese Anordnung wäre jedoch sehr sperrig und es wäre schwierig, die Ausgaben so anzuordnen, dass man den
- 15 gewünschten Abstand hat. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, ist ein kundenspezifischer Schalterbaustein bzw. -modul, wie zum Beispiel ein in 5 557 283 beschriebener einpoliger 8-Kanal- bzw. 8-fach Umschalter (SP8T) wünschenswert. Intern verwendet der SP8T-Schalterbaustein bzw. -Schaltmodul
- 20 eine aus drei Schichten von SPDT-Schaltelementen für insgesamt 7 SPDT-Elemente bestehende binäre Baumstruktur. Jedes SPDT-Element enthält eine Verbindung einer gedruckten Schaltung mit Duroid-Fin-Leitung, die parallel geschaltete PIN-Dioden bzw. "SHUNT PIN-DIODEN verwendet, um das Millimeterwellensignal zum gewünschten Ausgabewellenleiter zu lenken. Die PIN-Dioden werden durch eine in einem Gehäuse auf einem geteilten Baustein (nicht
- 25 gezeigt) angebrachte elektronische Treiberschaltung gesteuert. Eines dieser SP8T-Bausteine kann an 8 andere SP8T-Bausteine angeschlossen werden, um eine Schalterunteranordnung mit 64 Elementen zu bilden. Einige dieser Schalterunteranordnungen können dann an die vertikale lineare Antennenanordnung 10 mit der erforderlichen Anzahl an Antennenelementen
- 30 angeschlossen werden.

ANTENNENELEMENTE

Der Antennenelemententyp ist beliebig, einschließlich, aber nicht darauf begrenzt, Schlitzleitungsantenne, Patch-Antenne, Längsstrahler bzw. "Endfive", Wellenleiterantenne, Dipolantenne oder irgendeine Kombination von diesen. Ein bevorzugtes Antennenelement ist ein Polyrodantennenelement, wie in 5 557 283

5 beschrieben.

SENDEEMPFÄNGER

Für das zylindrische System wird ein bistatischer

10 Überlagerungssendeempfänger bzw. Heterodynsendeempfänger nur mit gleichphasiger Ausgabe (FIG. 3) bevorzugt. Bei diesem Sendeempfänger wird das HF-VCO-Breitbandsignal direkt durch die Sendeantenne 50 gesendet. Das empfangene Signal wird von dem Empfänger 51 empfangen, in einem Mischer 52 gemischt und verstärkt (Verstärker 53), um das empfangene Signal auf die

15 Zwischenfrequenz (ZF bzw. IF) herunterzusetzen. Die Frequenz des LO-VCO-Oszillators 54 wird von dem RF bzw. HF-VCO-Oszillator 55 um die IF bzw. ZF-Frequenz versetzt. Um die Kohärenz zu bewahren, wird durch Mischen des RF bzw. HF-VCO- und des LO-VCO-Signals mit einem zweiten Mischer 56 ein IF bzw. ZF-REF-Signal erhalten. Dieses gemischte Signal wird in dem Verstärker 57

20 verstärkt und gefiltert, um Mischprodukte höherer Frequenz zu entfernen. Das Mischen der ZF- und ZF-REF-Signale in dem Endmischer 58 und das Verstärken in dem Endverstärker 59 ergibt das Inphasensignal (I). Alternative

25 Sendeempfänger können verwendet werden, und zwar einschließlich der in 5 557 283 beschriebenen, jedoch nicht auf diese beschränkt. Stärker bevorzugt sind ein bistatischer heterodyn Inphasen- und Quadratur- bzw.

Außerphasensendeempfänger (FIG. 3a), da der nur gleichphasige Sendeempfänger vom gesamten abgetasteten Volumen Daten benötigt, während bei der Verwendung des gleichphasigen und des phasenverschobenen Sendeempfängers bzw. Quadratursendeempfängers die Ausgangs- oder die

30 Referenzposition in die Mitte des abgetasteten Bereichs verschoben werden kann, wodurch das Digitalisieren der Daten in einem reduzierten, das Ziel umgebenden Volumen ermöglicht werden kann.

A/D-UMSETZER

Die Breitbanddaten werden vertikal entlang der Anordnung und winklig über die 360°-Öffnung abgetastet und durch einen Analog-Digital-Umsetzer (A/D) zum anschließenden Speichern im Computer digitalisiert.

COMPUTER UND ANZEIGE

Nach der Digitalisierung wird der unten besprochene Rekonstruktionsalgorithmus an ein Segment der 360°-Daten angelegt, um ein dreidimensionales Bild des Ziels aus einem einzigen Blickwinkel zu rekonstruieren. Das dreidimensionale Bild wird dann auf ein vollständig fokussiertes, zweidimensionales Bild des Ziels zur Anzeige auf dem Computer reduziert. Eine Anzahl dieser Blickwinkel kann dann in eine einzige Computeranimation integriert werden, die eine ruhige Drehung des Bildes des kontrollierten Ziels zeigt.

WEITERE ELEMENTE

Die VCO-Treiberkarte, Schnittstellenkarte zwischen ANORDNUNG und CPU, der Analog-Digital-Umsetzer (A/D) und andere detaillierte Elemente sind in der 5 557 283 ausgeführt.

25 ABLEITUNG DES BILDREKONSTRUKTIONSLGORITHMUS

Die Messkonfiguration ist in FIG. 4 gezeigt, wo die mit Strichindex versehenen Koordinaten die Sendeempfängerposition 1 und die Koordinaten ohne Strichindex einen einzelnen Zielpunkt 2 in dem Ziel oder dem Bildraum 3 darstellen. Wenn das Ziel 3 durch eine Reflektivitätsfunktion $f(x,y,z)$ gekennzeichnet ist, wird die bei der Sendeempfängerposition 1 gemessene Antwort die Überlagerung der Reflektionsvermögensfunktion bzw. Reflektivitätsfunktion mal die Umlaufphase zum Ziel 4 sein. Die Umlaufphase ist

$$2k\sqrt{(R\cos\theta - x)^2 + (R\sin\theta - y)^2 + (z - z')^2} \quad (1)$$

Die an der Sendeempfängerposition (1) gemessene Antwort lautet

$$s(\theta, \omega, z) = \iiint f(x, y, z) e^{j2k\sqrt{(R\cos\theta-x)^2 + (R\sin\theta-y)^2 + (z-z')^2}} dx dy dz \quad (2)$$

wobei $k = \omega/c$ die Wellenzahl ist und die entfernungsbedingte Schwingungsabnahme nicht berücksichtigt wird, da sie eine geringe Auswirkung auf das Fokussieren des Bildes hat. Nötigenfalls kann die entfernungsbedingte Schwingungsabnahme in den Ursprungsdaten durch Anlegen einer numerischen Verstärkung an die Daten von dem Sendeempfänger ausgeglichen werden. Die numerische Verstärkung steigt mit der Entfernung.

Alternativ könnten die Daten in der Laufzeit erfasst werden, wie es bei akustischen Daten üblich ist. In diesem Fall werden die Daten in Gleichung 2 durch Transformieren der erfassten Daten durch Fourier-Transformation erhalten, welche die in der Laufzeit rückgemeldeten Daten sind.

Der Exponentialterm in Gleichung 2 stellt eine Kugelwelle dar, die in ebene Wellenkomponenten zerlegt wird.

$$e^{j2k\sqrt{(R\cos\theta-x)^2 + (R\sin\theta-y)^2 + (z-z')^2}} = \iint e^{j2k_x \cos\phi (R\cos\theta-x) + j2k_y \sin\phi (R\sin\theta-y) + jk_z \cdot (z-z')} d\phi dk_z \quad (3)$$

Diese Zerlegung zeigt an, dass die Kugelwelle in ebene Wellenkomponenten gleicher Amplituden und Phasen zerlegt werden kann, die von dem Zielpunkt bei (x, y, z) ausstrahlen. Der Winkel jeder ebenen Wellenkomponente in der x-y-Ebene ist ϕ und weist Grenzen von $\pm \pi/2$ auf. Zum Ausbreiten von ebenen Wellen werden die Grenzen der z-Komponente der Wellenzahl $k_z \in [-2k, 2k]$ sein. Die Dispersionsbeziehung für die ebenen Wellenkomponenten ist

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = (2k)^2 \quad (4)$$

oder man definiert k_r als die Wellenzahlkomponente in der x-y-Ebene.

$$k_z = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} = \sqrt{4k^2 - k_r^2} \quad (5)$$

Bei Verwendung der Zerlegung der ebenen Wellen (5) in (2) können die gemessenen Daten ausgedrückt werden als

$$s(\theta, \omega, z) = \iint e^{j2k_r R \cos(\theta-\phi)} \left\{ \iiint f(x, y, z) e^{-j2(k_x \cos\phi)x - j2(k_y \sin\phi)y - jk_z z} dx dy dz \right\} e^{jk_r z} d\phi dk_z \quad (6)$$

Der Term in { } stellt eine dreidimensionale Fourier-Transformation des Reflektionsvermögens des Ziels dar, das auf einem nicht gleichmäßigen Raster abgetastet wurde. Das Definieren eines dreidimensionalen Fourier-Transformationspaars als

$$f(x, y, z) \rightarrow F(2k_x \cos \phi, 2k_x \sin \phi, k_z) \quad (7)$$

ergibt

$$s(\theta, \omega, z) = \iint e^{j2k_x R \cos(\theta - \phi)} F(2k_x \cos \phi, 2k_x \sin \phi, k_z) e^{jk_z \cdot z} d\phi dk_z \quad (8)$$

Die Integrale über k_z ist eine Fourier-Rücktransformation, so dass sich, wenn man die Fourier-Transformation in Bezug auf z auf beiden Seiten nimmt und den Unterschied zwischen z und z' weglässt, folgendes ergibt:

$$S(\theta, \omega, k_z) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} e^{j2k_x R \cos(\theta - \phi)} F(2k_x \cos \phi, 2k_x \sin \phi, k_z) d\phi \quad (9)$$

Das Definieren von

$$F_p(\phi, 2k_x, k_z) \equiv F(2k_x \cos \phi, 2k_x \sin \phi, k_z) \quad (10)$$

$$g(\theta, k_x) \equiv e^{j2k_x R \cos \theta} \quad (11)$$

ergibt

$$S(\theta, \omega, k_z) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} g(\theta - \phi, k_x) F_p(\phi, 2k_x, k_z) d\phi \quad (12)$$

was eine Faltung im θ -Bereich darstellt

$$S(\theta, \omega, k_z) = g(\theta - \phi, k_x) * F_p(\phi, 2k_x, k_z) \quad (13)$$

Nimmt man die Fourier-Transformation in Bezug auf θ und zeigt den Fourier-Bereich für θ durch ξ an, wird die Faltung eine Multiplikation

$$S(\xi, \omega, k_z) = \bar{F}_p(\xi, 2k_x, k_z) G(\xi, k_x) \quad (14)$$

oder

$$\bar{F}_p(\xi, 2k_x, k_z) = \frac{S(\xi, \omega, k_z)}{G(\xi, k_x)} \quad (15)$$

Das Anzeigen der Fourier-Transformation oder ihrer Rücktransformation unter Verwendung eines Skripts \mathcal{F} ergibt

$$F(2k_r \cos\theta, 2k_r \sin\theta, k_z) = \mathcal{F}_{(\xi)}^{-1} \left[\frac{S(\xi, \omega, k_z)}{G(\xi, k_r)} \right] \quad (16)$$

Der Term im Nenner von (16) kann numerisch berechnet werden, indem die Fourier-Transformation unter Verwendung der FFT an einer winklig abgetasteten Version von (11) durchgeführt wird, oder er kann analytisch für $\xi \ll 2k_r R$ unter Verwendung einer Definition der Hankelschen Funktion 1. Art der Ordnung ξ und deren asymptotische Form bestimmt werden

$$G(\xi, 2k_r) = H_{\xi}(2k_r R) e^{jn\xi/2} = e^{j\sqrt{4k_r^2 R^2 - \xi^2}} \quad (17)$$

Dies ergibt die einfachste Form der Umkehrung im Ortsfrequenzbereich,

$$F(2k_r \cos\theta, 2k_r \sin\theta, k_z) = \mathcal{F}_{(\xi)}^{-1} \left[S(\xi, \omega, k_z) e^{-j\sqrt{4k_r^2 R^2 - \xi^2}} \right] \quad (18)$$

wobei $2k_r \cos\theta = k_x$ und $2k_r \sin\theta = k_y$.

Die Daten werden im Ortsfrequenzbereich ungleichmäßig abgetastet und müssen daher auf ein gleichmäßiges Raster (k_x, k_y, k_z) interpoliert werden, bevor die endgültige dreidimensionale Fourier-Rücktransformation, die das rekonstruierte Bild in rechteckigen Koordinaten ergibt, berechnet wird

$$F(x, y, z) = \mathcal{F}_{(k_x, k_y, k_z)}^{-1} \left[\mathcal{F}_{(\xi)}^{-1} \left[S(\xi, \omega, k_z) e^{-j\sqrt{4k_r^2 R^2 - \xi^2}} \right] \right] \quad (19)$$

Die obige Diskussion zeigt, wie die erfassten Daten umgekehrt werden können, um die Reflektionsvermögensfunktion oder das Bild des Ziels zu erhalten. Die Schritte, die durchgeführt werden müssen, um dieses Bild zu rekonstruieren, sind unten zusammengefasst.

Bildrekonstruktionsalgorithmus

Die Schritte, die erforderlich sind, um die Rekonstruktionstechnik auf einem Computer zu implementieren, sind unten ausgeführt. Die Daten werden in (θ, ω, z) diskretisiert und das Bild wird in (x, y, z) diskretisiert. Fourier-Transformationen werden typischerweise

unter Verwendung des diskreten schnellen Fourier-Transformationsalgorithmus durchgeführt.

Rekonstruktionsalgorithmus

1. Abgetastete Daten, $s(\theta, \omega, z)$ von dem Sendeempfänger über eine zylindrische Öffnung erfassen. Wenn die abgetasteten Daten mit nur der einen oder der anderen der realen Komponente (I) oder der imaginären Komponente (Q) verfügbar sind, kann die verbleibende Komponente von den abgetasteten Daten unter Verwendung der Hilbert-Transformation, wie sie in D. Slater NEAR FIELD ANTENNA MEASUREMENTS, Artech House, Boston, MA, 1991 besprochen wird, abgeleitet werden.

2. Durchführen der 2-D FFT dieser Daten in Bezug auf θ und z , um $S(\xi, \omega, k_z)$ zu erhalten.

3. Multiplizieren mit einem Phasenfaktor und Durchführen der 1-D-Rück-FFT, um

$$\mathcal{F}_{(\xi)}^{-1} \left[S(\xi, \omega, k_z) e^{-j\sqrt{4k_z^2 R^2 - \xi^2}} \right] \quad (20)$$

zu erhalten.

4. Interpolieren dieser Daten auf ein gleichmäßig abgetastetes (k_x, k_y, k_z) Raster von den gleichmäßig abgetasteten (θ, ω, k_z) -Daten.

$$F(k_x, k_y, k_z) = \mathcal{F}_{(\xi)}^{-1} \left[S(\xi, \omega, k_z) e^{-j\sqrt{4k_z^2 R^2 - \xi^2}} \right] \quad \begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}(k_y / k_x) \\ \omega &= \frac{c}{2} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \end{aligned} \quad (21)$$

5. Durchführen der 3-D-Umkehr-FFT. $k_z = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$

$$f(x, y, z) = \mathcal{F}_{(k_x, k_y, k_z)}^{-1} \left[F(k_x, k_y, k_z) \right] \quad (22)$$

6. Berechnen der Größe der Bilddaten.

7. Ausgeben/Anzeigen des Bildes (der Bilder).

Diese Bildrekonstruktionstechnik beruht auf der Bildung des Bildes im Ortsfrequenzbereich. Die in dem Bild erhaltene Auflösung kann durch Untersuchen des Ausmaßes oder der Breite des abgetasteten Bereichs im Ortsfrequenzbereich bestimmt werden. Für die zylindrische Bildrekonstruktion ist der abgetastete Bereich in der Ortsfrequenz eine polare Region, die in FIG. 5 gezeigt ist. Das Annähern der polaren Region als rechteckig ergibt ein horizontales Kreuzentfernungsaufklärungsvermögen von

$$\delta_x = \frac{\lambda_c}{4 \sin(\theta_{arc}/2)} \quad (23)$$

wobei λ_c die Wellenlänge bei der Mittenfrequenz ist.

Die vertikale Auflösung wird durch θ_b , die kleinere der gesamten Antennenstrahlbreite oder den durch die Öffnung in z-Richtung begrenzten Winkel bestimmt. Die Breite des abgetasteten Bereichs in der Ortsfrequenz in z-Richtung ist in etwa $4k_c \sin(\theta_b/2)$. Dadurch ergibt sich ein vertikales Kreuzentfernungsaufklärungsvermögen von

$$\delta_z = \frac{\lambda_c}{4 \sin(\theta_b/2)} \quad (24)$$

Die Ortsfrequenzbreite in k_y -Richtung ist $2(k_2 - k_1)$, wobei k_1 und k_2 die Wellenzahl bei den niederen und hohen Frequenzen des Systems sind. Diese Breite ergibt ein Entfernungsaufklärungsvermögen von etwa

$$\delta_y = \frac{2\pi}{2(k_2 - k_1)} = \frac{c}{2B} \quad (25)$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit und B die temporäre Frequenzbandbreite des Systems sind.

MASCHINENBEFEHLE BZW. COMPUTERINSTRUKTIONEN

Die Schritte des Rekonstruktionsalgorithmus stehen in dem digitalen Computer als

5 (i) ein erster Befehlsvorrat bzw. –satz zum Empfangen von Daten aus dem A/D-Umsetzer,

(ii) ein zweiter Befehlsvorrat bzw. –satz zum Berechnen einer zweidimensionalen Fourier-Transformation der empfangenen Daten für jede Frequenz,

10 (iii) ein dritter Befehlsvorrat bzw. –satz zum Multiplizieren der zweidimensionalen Fourier-Transformation mit einem Phasenfaktor und zum Berechnen einer eindimensionalen inversen Fourier-Transformation,

(iv) ein vierter Befehlsvorrat bzw. –satz zum Interpolieren der eindimensionalen inversen Fourier-Transformation auf ein gleichmäßig abgetastetes Raster und zum Bilden eines interpolierten Produkts,

15 (v) ein fünfter Befehlsvorrat bzw. –satz zum Berechnen einer dreidimensionalen inversen Transformation des interpolierten Produkts und zum Erhalten eines komplexen, zylindrischen, dreidimensionalen Bildes,

20 (vi) ein sechster Befehlsvorrat bzw. –satz zum Berechnen einer Größe des komplexen, zylindrischen, dreidimensionalen Bildes und zum Erhalten eines zylindrischen, dreidimensionalen Bildes, und

(vii) ein siebter Befehlsvorrat bzw. –satz zum Anzeigen des zylindrischen dreidimensionalen Bildes.

25 ABBILDEN

Das Rekonstruieren einer großen Anzahl von Bildern, 8-128, vorzugsweise 32-128 Bilder, erlaubt glatte Übergänge zwischen Abbildungen, wodurch die Ergebnisse für eine Computeranimation mit einer Rate von etwa 4 bis 32 Bildern pro Sekunde geeignet sind. Es wird des Weiteren bevorzugt, dass die Bilder von überlappenden Bogensegmenten von Daten erhalten werden, um glatte Übergänge zu verbessern. Durch Betrachten einer vollständigen Animation wird das Subjekt von allen Winkeln betrachtet, ohne dass eine Überprüfung von einzelnen Standbildern durch den Kontrolleur nötig ist.

30

Die eigentliche Datenverarbeitung der oben beschriebenen sieben Schritte erzeugt ein einzelnes Bild von einem einzelnen Blickwinkel oder Bogensegment der 360°-Daten. Das Überlappen von Bogensegmenten ermöglicht das Blicken um Ecken, in Vertiefungen oder andere topographische Abweichungen des Ziels.

5 Zum Beispiel kann zum Abbilden einer bekleideten Person eine Abbildungssequenz 90°-Bogensegmente verwenden, die sich in 10°-Inkrementen überlappen, oder 0-90°, 10-100°, ..., 350-80°, um 36 Bilder mit auf 10°-Inkrementen zentrierte Beleuchtungen zu bilden. Jede Bild- oder Bogensegmentrekonstruktion ist rechnerisch intensiv. Daher wird eine Hochgeschwindigkeits-Bildrekonstruktion

10 vorzugsweise mit parallelen Hochgeschwindigkeits-Computerprozessoren erreicht. Um die Schwierigkeiten eines geteilten Zugriffs auf die Daten, die von einer Vielzahl von parallelen Computerprozessoren überlappt sind, zu überwinden, wird bevorzugt, dass jede Bogensegmentrekonstruktion durch ein einzelnes Prozessormodul ausgeführt wird. Jedes Prozessormodul empfängt seine

15 Bogensegmentdaten von einem digitalen Multiplexer. Die Verwendung des Multiplexers ermöglicht die Darstellung von Daten, die in einer Überlappung zu einigen der Prozessormodulen gleichzeitig identisch sind, was eine hocheffiziente Videobildrekonstruktion ermöglicht. Obwohl dies effizient und schnell ist, weil jedes Prozessormodul unabhängig arbeitet, ist für die Redundanz der

20 Datenspeicherung mehr Computerspeicher erforderlich. Die Verwendung des Multiplexers ermöglicht des Weiteren eine annähernde Echtzeitrekonstruktion der Bilddaten. Die Rekonstruktion des ersten Bogensegments kann beginnen, sobald die Daten des ersten Bogensegments erhalten wurden. Es ist nicht nötig, zu warten, bis die Abtastung eine vollständige 360°-Drehung vollendet hat.

25

BEISPIEL 1

Es wurde ein Versuch durchgeführt, um das mit einem holographischen Breitbandsystem mit planarer Öffnung erhaltene Bild mit einem mit einem zylindrischen, holographischen Breitbandsystem gemäß der vorliegenden

30 Erfindung erhaltenen Bild zu vergleichen.

Der Rekonstruktionsalgorithmus wurde auf einer SUN-Arbeitsstation in der C-Programmiersprache vollständig realisiert. Ein erstes System nutzte einen Millimeterwellen-Sendeempfänger mit einem Kanal, der in Verbindung mit einer Drehplattform auf einem x-y-Abtaster befestigt war. Die Drehplattform wurde

verwendet, um das abzubildende Subjekt um kleine winklige Inkremente zwischen vertikalen Abtastungen zu drehen. Obwohl dies zweckmäßig war, benötigte der x-y-Abtaster in Verbindung mit der Drehplattform für Versuchsabbildungen bis zu 20 Minuten, um 360°-Daten zu erfassen.

5 Das Abbildungsziel war ein Schaufensterpuppenkörper mit einem verborgenen Gegenstand. Die Figuren 6 bis 9 zeigen die erhebliche Verbesserung der Bildqualität, die durch Verwendung einer zylindrischen Öffnung anstelle einer planaren Öffnung erreicht wurde. Die Bilder sowohl von dem planaren als auch von dem zylindrischen System wurden bei einer Frequenz von 90 bis 100 GHz
10 aufgenommen. Die Bilder der planaren Öffnung in Figuren 6 und 8 zeigten mehr Schatten, da die planare Öffnungsbreite von 40 cm und -tiefe von 60 cm nur einem winkligen abgetasteten Bereich von 37° entspricht, während die zylindrische Öffnung weniger Schatten zeigte, da sie 120°-Daten von 360°-Daten verwendete, Figuren 7 und 9.

15

BEISPIEL 2

Es wurde ein Versuch durchgeführt, um das System mit einer Person mit einem verborgenen Gegenstand vorzuführen. In diesem Beispiel wurde eine lineare Anordnung mit 128 Elementen mit 27-33 GHz in einer vertikalen Position
20 in Kombination mit einer Drehplattform verwendet. Dieses System erfasste 360° der Daten in weniger als einigen Sekunden, nämlich ungefähr 2,5 Sekunden.

FIG. 10 zeigt eine Photographie eines Mannes mit einem verborgenen Gegenstand und FIG. 11 zeigt das zylindrische Bild, das den Gegenstand, eine
25 Glock-17-Handwaffe, zeigt.

BEISPIEL 3

Es wurde ein Versuch durchgeführt, um die Rekonstruktion von aufeinanderfolgenden sich überlappenden Daten vorzuführen. FIG. 12 zeigt eine
30 Schaufensterpuppe, die eine kleine Handwaffe an ihrem Rücken befestigt hat, die mit einem Baumwoll-T-Shirt bedeckt ist, und zwar abgebildet über eine 360°-Öffnung. Acht von 64 Blickwinkeln sind in FIG. 12 gezeigt. Die Computeranimation der 64 Blickwinkel ergab eine ruhige Animation der Bilder bei Bildfrequenzen von 4-32 Bildern pro Sekunde. Durch Beobachten der vollständigen Animation wird

das Ziel von allen Winkeln betrachtet, ohne dass eine separate Überprüfung einer Vielzahl von Standbildern notwendig wäre. Die Animation bewahrt des Weiteren die dreidimensionale Natur des Ziels, wobei verborgene Gegenstände vom Ziel getrennt in mehreren Bildern der Animation erscheinen.

5

ABCHLUSS

Obwohl die Formen der Erfindung, die hier offenbart werden, derzeit bevorzugte Ausführungsformen darstellen, sind viele andere Formen möglich. Es ist hier nicht beabsichtigt, alle möglichen äquivalenten Formen oder Modifikationen der Erfindung zu erwähnen. Es sollte verstanden werden, dass die hier verwendeten Ausdrücke nur beschreibend und nicht begrenzend sind und dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Rahmen der Erfindung abzuweichen.

15

Amtl. Aktenzeichen: 97 939 832.8-1248 / 697 08 890.1-08
Anmelder: Battelle Memorial Institute Pacific Northwest Division
"Echtzeit-, Breitband-, Zylindrisches, Holographisches Überwachungssystem"
Unser Zeichen: EU 3463 - ro / bt

Ansprüche

1. Holographische Vorrichtung zur annähernden Echtzeitabbildung eines Ziels, welche Vorrichtung eine Millimeterwellenstrahlung mit einer Vielzahl von Frequenzen von etwa 1 bis etwa 110 GHz verwendet, umfassend

5 (a) eine holographische Anordnung bzw. Feld (10) mit einer Vielzahl von Antenneneinheiten, die etwa 0,25 bis etwa 3 Wellenlängen beabstandet sind, wobei jede Einheit eine Millimeterwellenstrahlung sendet und/oder empfängt und wobei die Anordnung von dem Ziel beabstandet ist;

10 (b) einen holographischen Breitband-Sendeempfänger (12) zum Betreiben der Antenneneinheiten und zum Versorgen jeder Einheit mit einer Millimeterwellenstrahlungsquelle und zum anschließenden Empfangen einer Hochfrequenz-Millimeterwellenstrahlungsreflexion von dem Ziel und gesammelt durch die Einheit, und zum anschließenden Vornehmen einer Ausgabe;

(c) einen Analog-Digital-Umsetzer (14) zum Umsetzen der Ausgabe in ein entsprechendes digitales Signal; und

15 (d) einen Computer (16) zum Anwenden eines dreidimensionalen Rekonstruktionsalgorithmus auf das entsprechende digitale Signal, wobei eine unbegrenzte Tiefenschärfe erhalten bleibt, wobei die Verbesserung folgende Merkmale aufweist:

der Computer (16) ist ein digitaler Computer mit

20 (i) einem ersten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Empfangen von Daten von dem Analog-Digital-Umsetzer (14),

(ii) einem zweiten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Berechnen einer zweidimensionalen Fourier-Transformation der empfangenen Daten für jede Frequenz,

25 (iii) einem dritten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Multiplizieren der zweidimensionalen Fourier-Transformation mit einem Phasenfaktor und zum Berechnen einer eindimensionalen inversen Fourier-Transformation, gekennzeichnet durch:

(iv) einen vierten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Interpolieren der eindimensionalen inversen Fourier-Transformation auf ein gleichmäßig abgetastetes Raster und zum Bilden eines interpolierten Produkts,

5 (v) einen fünften Befehlsvorrat bzw. -satz zum Berechnen einer dreidimensionalen inversen Transformation des interpolierten Produkts und zum Erhalten eines komplexen, zylindrischen, dreidimensionalen Bildes,

(vi) einen sechsten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Berechnen einer Größe des komplexen, zylindrischen, dreidimensionalen Bildes und zum Erhalten eines zylindrischen, dreidimensionalen Bildes, und

10 (vii) einen siebten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Anzeigen des zylindrischen dreidimensionalen Bildes.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Antenneneinheiten (10) bistatisch sind.

15

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Ausgabe eine gleichphasige Ausgabe ist.

20

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der erste Befehlsvorrat des Weiteren aufweist:
einen untergeordneten Befehlsvorrat bzw. -satz zum Ableiten komplexer Daten (Q) von gleichphasigen Daten (I).

25

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Anordnung (10) aufweist:
eine lineare Anordnung, die während dem Senden und Empfangen der Hochfrequenz-Millimeterwellenstrahlung durch eine mechanische Einrichtung bewegt wird, wodurch ein gleichzeitiges Abtasten der Quelle und der Reflexion der Millimeterwellenstrahlung vorgesehen wird.

30

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Sendeempfänger (12) ein bistatischer Heterodyn-In-Phasen-Ausgangssendeempfänger ist.

7. Verfahren zur holographischen Überwachung eines Ziels, das folgende Schritte aufweist:

(a) Abtasten einer zylindrischen Öffnung mit einer holographischen Anordnung (10) mit einer Vielzahl von Antenneneinheiten, die etwa 0,25 bis etwa 3 Wellenlängen beabstandet sind, wobei jede Einheit eine Millimeterwellenstrahlung sendet oder empfängt, und wobei die Anordnung von dem Ziel beabstandet ist;

(b) Betreiben einzelner Antennenelemente mit einem holographischen Breitband-Sendeempfangersystem (12) und Versorgen jeder Einheit mit einer Breitband-Millimeterwellenstrahlungsquelle und anschließendes Empfangen einer Breitband-Millimeterwellenstrahlungsreflexion von dem Ziel und gesammelt durch die Einheit(en), und anschließendes Vornehmen einer Ausgabe,

(c) Umsetzen der Ausgabe in ein entsprechendes digitales Signal in einem Analog-Digital-Umsetzer (14); und

(d) Anwenden eines dreidimensionalen Rekonstruktionsalgorithmus auf das digitale Signal, wobei eine geringe Blendenzahl bzw. f-Zahl erhalten bleibt, durch folgende Schritte:

(i) Empfangen von Daten vom Analog-Digital-Umsetzer,

(ii) Berechnen einer zweidimensionalen Fourier-Transformation der empfangenen Daten für jede Frequenz,

(iii) Multiplizieren der zweidimensionalen Fourier-Transformation mit einem Phasenfaktor und Durchführen einer eindimensionalen inversen Fourier-Transformation und Bilden einer Inversion, gekennzeichnet durch

(iv) Interpolieren der Inversion auf ein gleichmäßig abgetastetes Raster und Bilden eines interpolierten Produkts,

(v) Berechnen einer dreidimensionalen inversen Transformation des interpolierten Produkts und Erhalten eines komplexen, dreidimensionalen Bildes,

(vi) Berechnen einer Größe des komplexen, dreidimensionalen Bildes und Erhalten eines zylindrischen, dreidimensionalen Bildes, und

(vii) Anzeigen des dreidimensionalen Bildes.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Anwenden des dreidimensionalen Rekonstruktionsalgorithmus das Anwenden einer Transformation zum Ableiten eines

imaginären digitalen Signals zum Rekonstruieren eines holographischen Bildes umfasst.

5 9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Empfangen der Daten des Weiteren aufweist:

Ableiten komplexer Daten (Q) von gleichphasigen Daten (I).

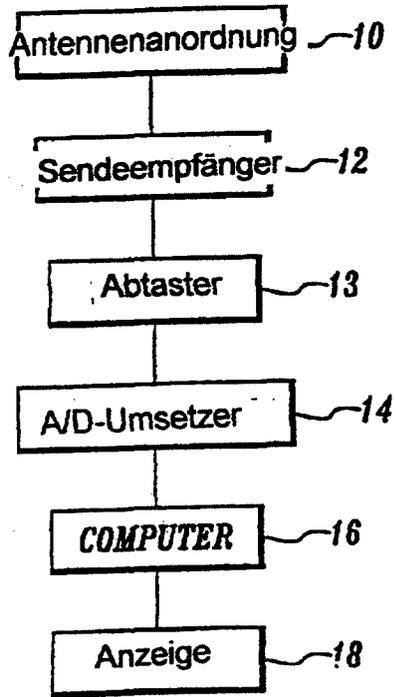
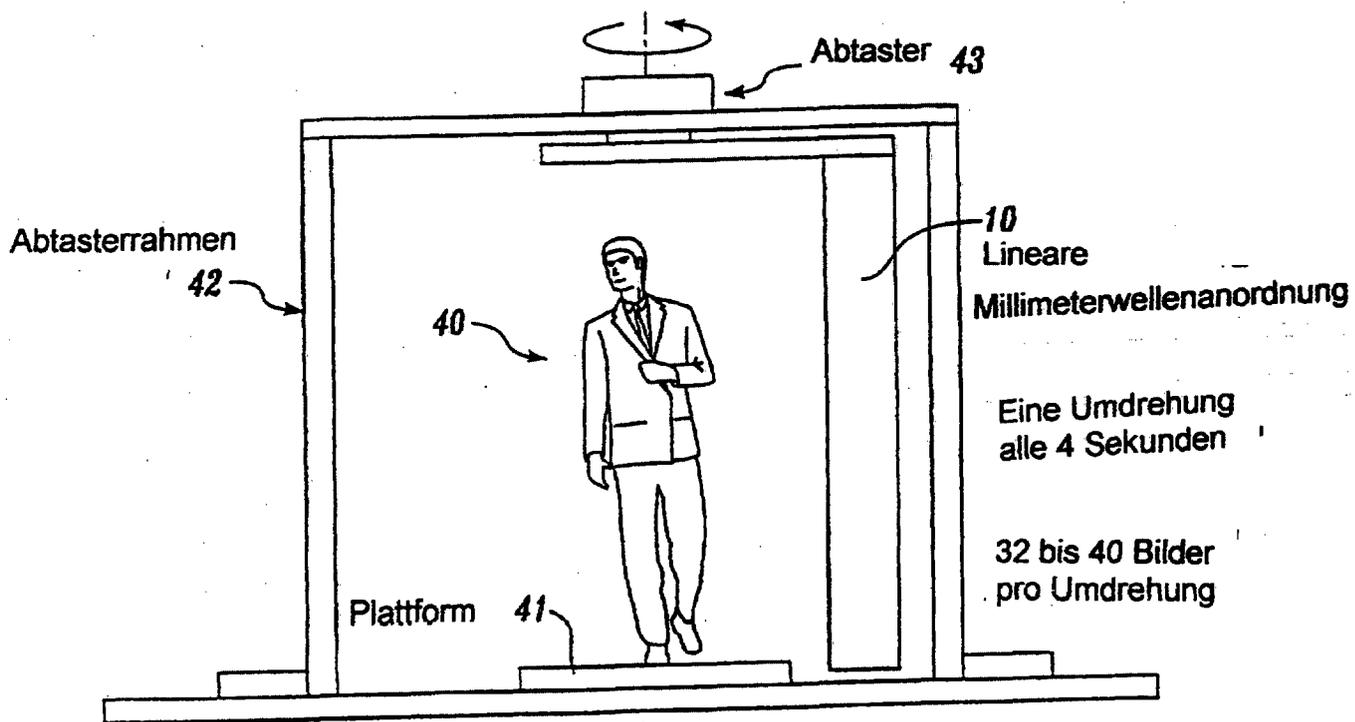


Fig. 1



Anordnung dreht sich um Passagier.

Fig. 2

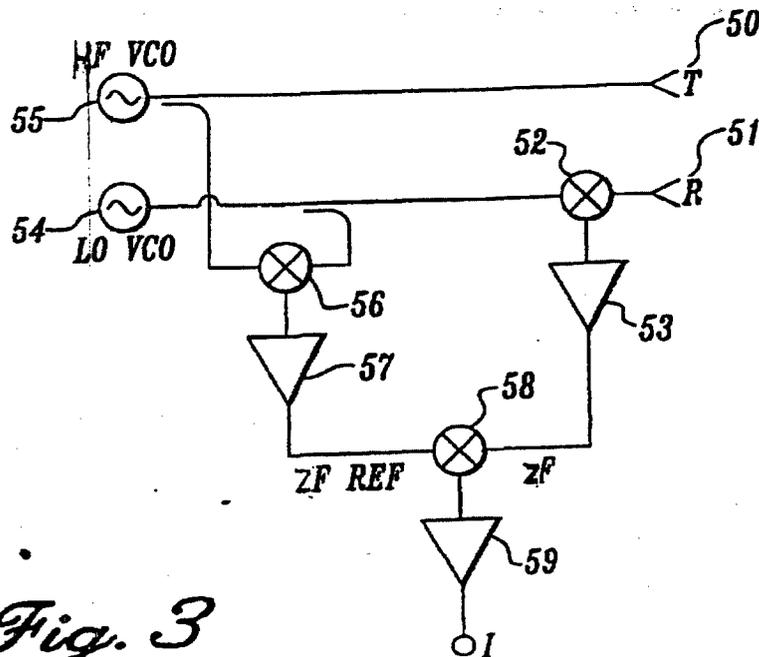


Fig. 3

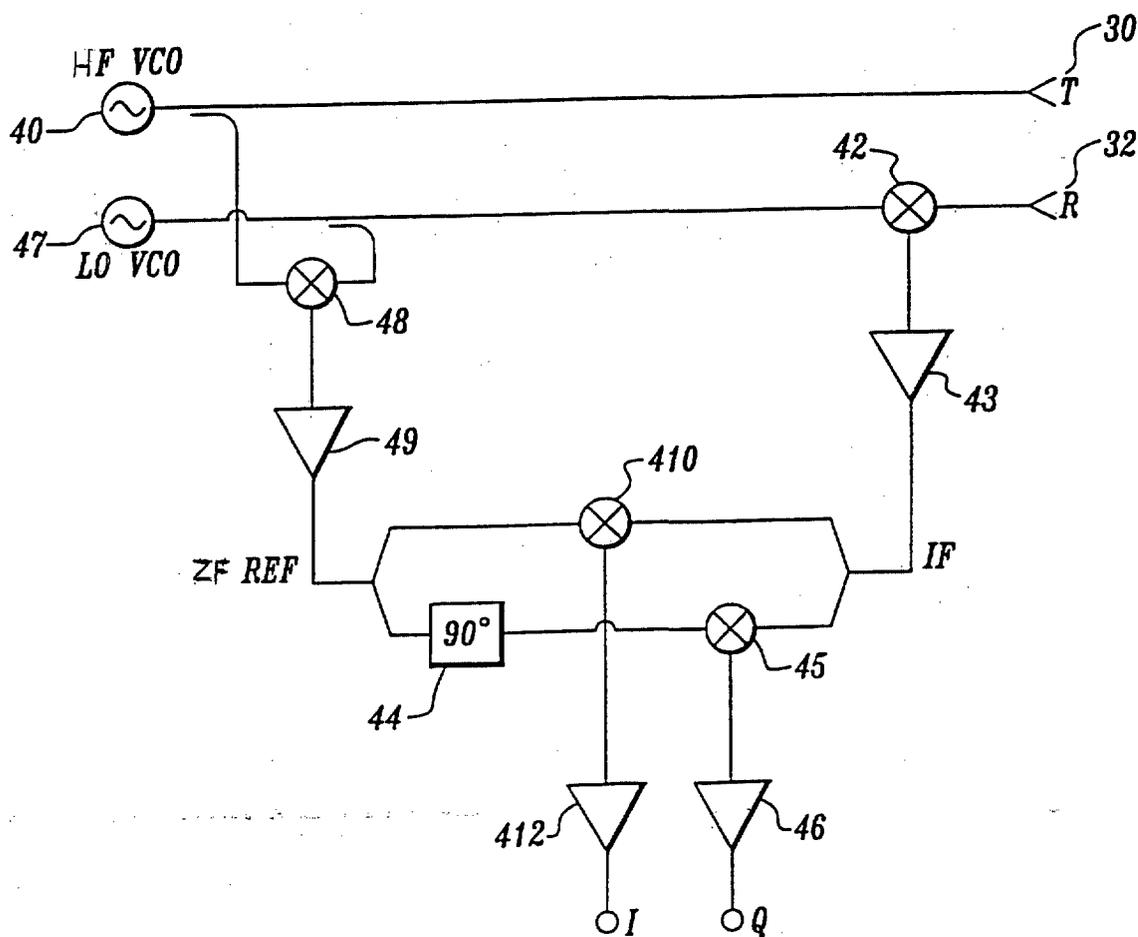


Fig. 3A

Fig. 4

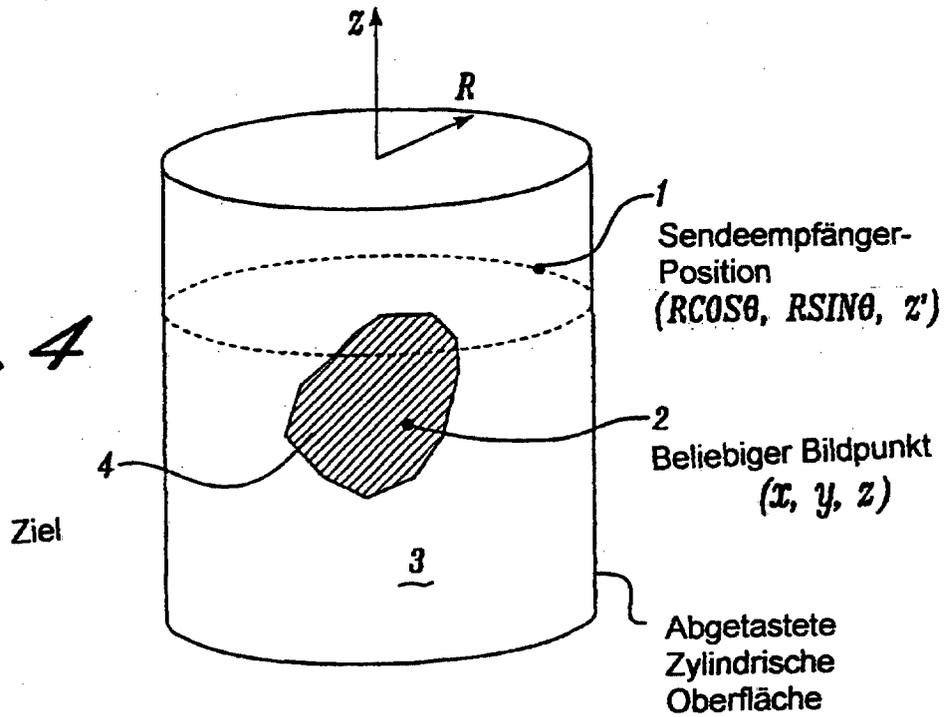
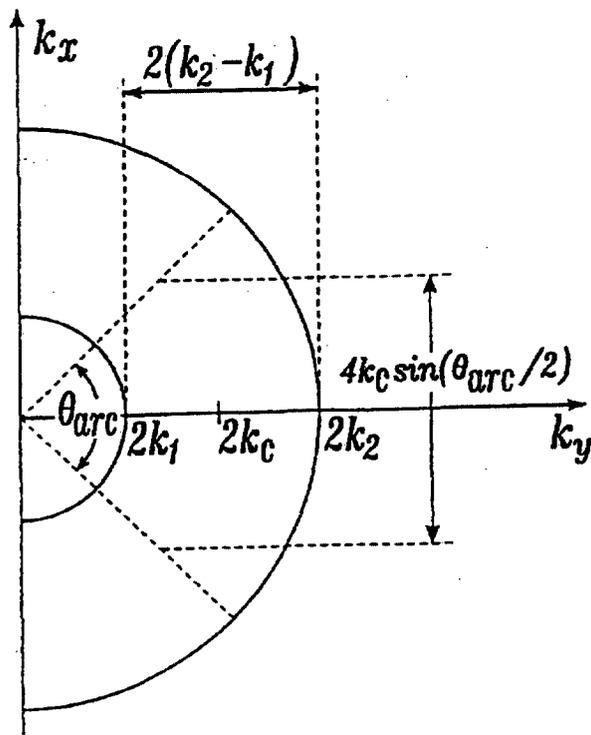


Fig. 5



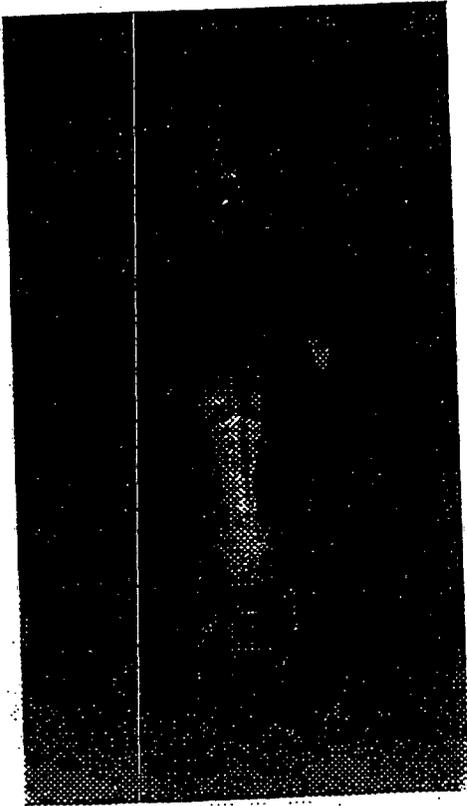


Fig. 6

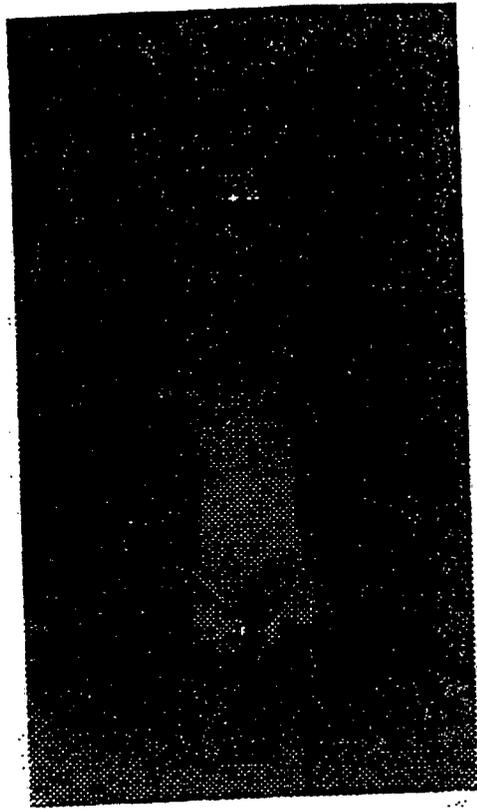


Fig. 7

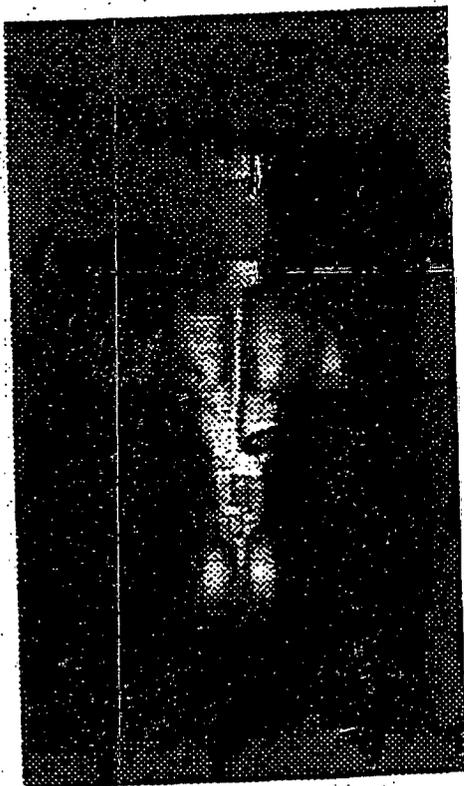


Fig. 8

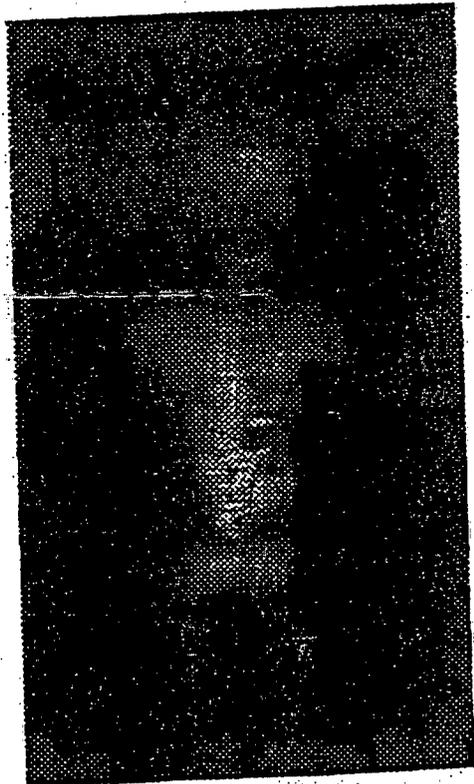


Fig. 9



Fig. 10

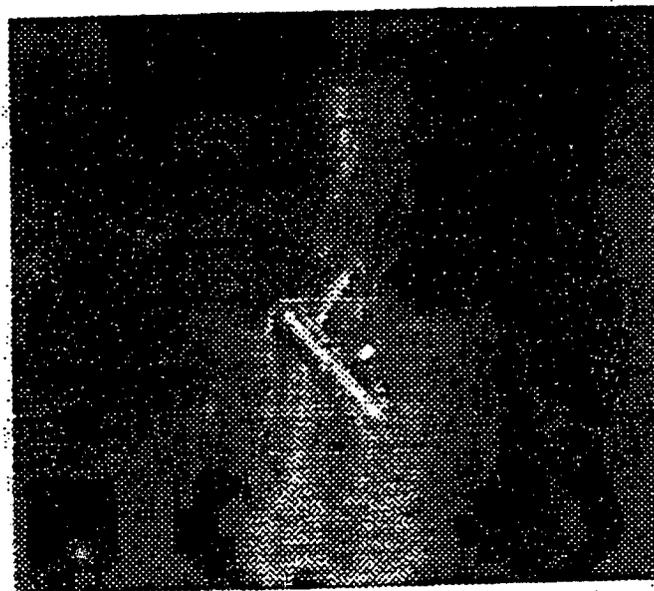


Fig. 11

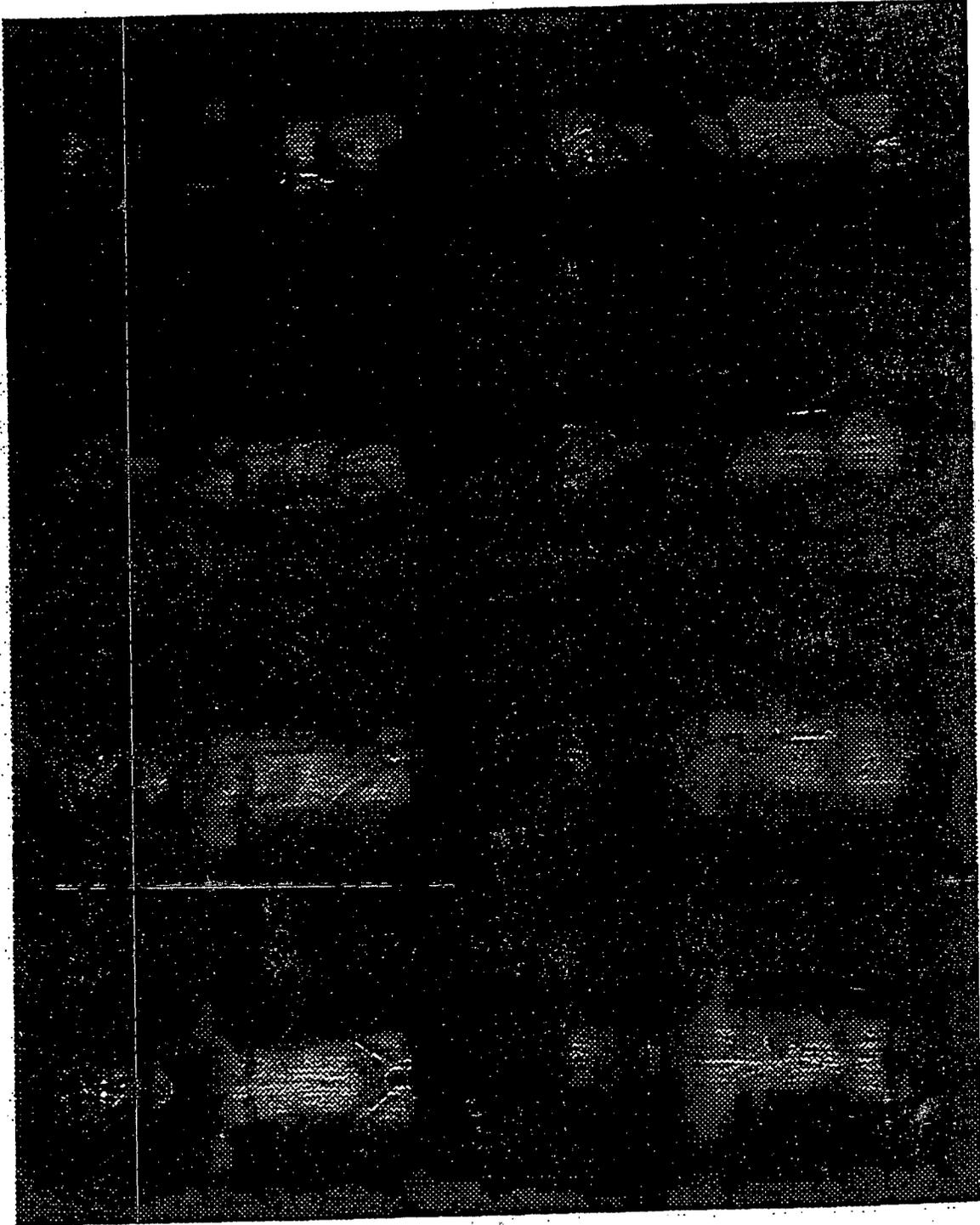


Fig. 12