



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 10 108 T2 2005.06.30**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 226 625 B1**

(51) Int Cl.7: **H01Q 3/26**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 10 108.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/41150**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 982 639.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/028037**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.10.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **19.04.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.07.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **21.04.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.06.2005**

(30) Unionspriorität:  
**415699 11.10.1999 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:  
**Ditrans IP, Inc., Menlo Park, Calif., US**

(72) Erfinder:  
**MASENTE, K., Wesley, Irvine, US;  
DELL-IMAGINE, A., Robert, Orange, US**

(74) Vertreter:  
**Weickmann & Weickmann, 81679 München**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM ADAPTIEREN EINER ANTENNENKEULE AN LAUFENDE BETRIEBSBEDINGUNGEN, ANORDNUNG ZUR BILDUNG EINER ADAPTIERTEN ANTENNENKEULE UND ADAPTIVES ANTENNENSYSTEM**

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

## Hintergrund der Erfindung Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Funkkommunikationen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung adaptive Antennensysteme.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** Mit dem Aufkommen und der Verbreitung von digitalen Kommunikationssystemen besteht ein immer rascher wachsender Bedarf an Systemen mit hoher Kapazität und hoher Leistung. Dieser Bedarf hat ein starkes Interesse an der Entwicklung von effizienten Antennensystemen für die Verwendung an einer Basisstation hervorgerufen. Effiziente Antennensysteme können die Kapazität und die Leistung von bestehenden digitalen Kommunikationssystemen ohne Modifikation von standardisierten Funkverbindungsprotokollen erhöhen.

**[0003]** [Fig. 1](#) zeigt eine typische Basisstation **10** und ihren entsprechenden Versorgungsbereich. Der Versorgungsbereich der Basisstation **10** entspricht der geographischen Region, über welche die Basisstation **10** in der Lage ist, eine Ferneinheit zu bedienen. Zum Beispiel ist innerhalb des Versorgungsbereichs der Basisstation **10** eine Reihe von Ferneinheiten **12A–12N** gezeigt. Die Basisstation **10** ist insofern in Sektoren unterteilt, als sie drei verschiedene Versorgungsbereiche **14A**, **14B** und **14C** in einer für moderne Basisstationen typischen Art zur Verfügung stellt. Allgemein umfasst eine Basisstation drei oder mehr Sektoren, die den Versorgungsbereich in Sektionen von 120° oder kleiner teilen, um ein Azimutfeld von 360° zu schaffen. Die Verwendung von Sektoren verbessert die Gesamtleistung und die Kapazität der Basisstation.

**[0004]** Jeder Sektor **14A–14C** hat ein separates Antennensystem. Die Verwendung von separaten Antennensystemen verringert die Interferenz zwischen Ferneinheiten, die sich in verschiedenen Sektor-Versorgungsbereichen befinden. Zum Beispiel befindet sich die Ferneinheit **12C** innerhalb des Versorgungsbereichs **14B** und sorgt damit für eine sehr geringe Interferenz mit der Ferneinheit **12N**, die sich in dem Versorgungsbereich **14C** befindet. Im Gegensatz dazu liegen die Ferneinheiten **12A** und **12B** jeweils in dem Versorgungsbereich **14A**, weshalb sich ihre Signale an der Basisstation **10** bis zu einem gewissen Grad gegenseitig stören.

**[0005]** Um die Interferenz zu reduzieren, die durch Ferneinheiten hervorgerufen wird, die in einem gemeinsamen Versorgungsbereich arbeiten, wurde eine Vielfalt von Mehrfachzugriffs-Schemen entwickelt. Zum Beispiel können zur Reduzierung der Interferenz in einem Sektor der Code Division Multiple Access (CDMA), Time Division Multiple Access (TDMA), Frequency Division Multiple Access (FDMA) oder das Frequency Hopping verwendet werden. Bei jedem dieser Systemtypen reduziert die Verwendung von Mehrfachstrahl-Antennensystemen zur weiteren Sektorisierung des Basisstation-Versorgungsbereichs eine Co-Channel-Interferenz noch weiter und erhöht die Kapazität des Systems.

**[0006]** Zum Beispiel kann zur weiteren Reduzierung der Interferenz zwischen Ferneinheiten innerhalb eines Sektors ein Antennen-Array verwendet werden, um einen typischen Versorgungsbereich eines Basisstation-Sektors von 120° in kleinere Segmente zu teilen, die "Beams" (Strahlen) genannt werden.

**[0007]** Die [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) sind graphische Darstellungen eines typischen Versorgungsbereich-Diagramms eines schmalen Strahls in einem Polar- bzw. Rechteckformat. Wie in den [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) gezeigt ist, sind zusätzlich zu einem schmalen Hauptstrahl **20A** auch mehrere Nebenkeulen **20B–20E** vorhanden. Allgemein ist die Amplitude der Nebenkeulen **20B–20E** geringer als die der Hauptkeule **20A**. In der in den [Fig. 2A](#), [Fig. 2B](#) dargestellten Ausführungsform zum Beispiel liegt jede Nebenkeule **20B–20E** wenigstens 30 Dezibel (dB) unter der Hauptkeule **20A**.

**[0008]** Die [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) zeigen eine Draufsicht und eine Seitenansicht eines Antennen-Array, das in der Lage ist, das in den [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) dargestellten Versorgungsbereich-Diagramm zu bilden. Jedes der drei Antennen-Arrays **24A–24C** besteht aus acht Array-Elementen **26A–26H**. Zusammen sorgen die drei Antennen-Arrays **24A–24C** für einen Versorgungsbereich von vollen 360°. In [Fig. 3B](#) haben die acht Array-Elemente **26A–26H** einen nominalen Abstand von einer halben Wellenlänge. [Fig. 3C](#) ist ein Blockdiagramm, das eine mit dem Antennen-Array **24A** gekoppelte zusätzliche Schaltung zeigt, wodurch ein Strahlformer gebildet wird, der das in den [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) dargestellte Versorgungsbereich-Diagramm bilden kann. Der Ausgang eines jeden Array-Elements **26A–26H** ist jeweils mit einem Gewichtsblock **28A–28H** gekoppelt. Die Gewichtsblöcke **28A–28H** sorgen für ein Schwächerwerden der Amplitude und für eine Phasenverschiebung, wodurch die ankommenden Signale durch einen komplexen Satz von Gewichten  $\{W_m, m = 1 \dots 8\}$  effektiv multip-

liziert werden. (Komplexe Funktion und Zahlen sind durch die gesamte Beschreibung hindurch durch unterstrichenen Text angegeben.) Die Ausgänge der Gewichtungsblöcke **28A–28h** werden in einer Summierschaltung **30** summiert. Eine Gewichtung des Ausganges eines jeden Array-Elements **26A–26H** durch die Gewichtungsblöcke **28A–28H** steuert/regelt den Gewinn an dem Peak des Strahls, die Breite des Strahls und den relativen Gewinn der Nebenkeulen.

**[0009]** Jedes Array-Element **26A–26H** in dem Antennenarray **24A** hat Idealerweise einen Gewinn mit identischem Diagramm und identischer Form über das Gesichtsfeld des Arrays. Dieses Muster, das der Elementfaktor genannt wird, variiert typischerweise als die Funktion des Winkels von der Senkrechten zur Arrayfläche. In typischen Systemen umfasst das Antennenarray 8 oder 16 Array-Elemente (d.h.  $m = 8$  oder  $m = 16$ ) und zugehörige Gewichtungsblöcke. Die in [Fig. 3C](#) gezeigten Gewichtungsblöcke reichen aus, um einen schmalen Strahl wie jenen zu bilden, der in [Fig. 2A](#) gezeigt ist. Um zusätzliche Strahlen zu bilden, müssen zusätzliche Gewichtungsblöcke und Summierschaltungen verwendet werden.

**[0010]** Wenn sich unter erneuter Bezugnahme auf das Beispiel von [Fig. 2A](#) eine Ferneinheit **22A** in der Hauptkeule **20A** und eine Ferneinheit **22B** in der Nebenkeule **20** befindet, empfängt die Basisstation die Signalenergie, die durch beide Ferneinheiten **22A** und **22B** übertragen wird. Obwohl das Signal von der Ferneinheit **22B** durch den Gewinn der Nebenkeule relativ zu dem Hauptstrahl reduziert wird; kann das Signal von der Ferneinheit **22B** immer noch eine bedeutende Interferenz mit dem Signal von der Ferneinheit **22A** verursachen.

**[0011]** Im Stand der Technik wurden adaptive Antennentechniken angewandt, um das Diagramm eines Versorgungsbereichs zu ändern, wenn das Signal der Ferneinheit in einer Nebenkeule sich mit den Signalen in dem Hauptstrahl stört. Diese adaptiven Antennentechniken erfassen die Präsenz eines Störsignals und modifizieren das durch den Strahlformer der Antenne erzeugte Versorgungsbereich-Diagramm, um die Störsignale in den Nebenkeulen weiter zu unterdrücken. In der in [Fig. 2A](#) gezeigten Situation wäre es zum Beispiel vorteilhaft, die Größe der Nebenkeule **20E** zu verringern oder eine Null in dieser zu placieren, so dass die Effekte des Signals von der Ferneinheit **22B** auf das Signal von der Ferneinheit **22A** reduziert werden können. Der Stand der Technik hat viele von diesen "adaptiven Antennenarray"-Designs vorgeschlagen, um diesen Zweck zu erreichen, doch ihre Komplexität macht ihre Implementierung teuer und schränkt ihre Verwendung bei standardmäßigen terrestrischen Funkssystemen ein.

**[0012]** In dem Fall, der in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, kann eine Null in der Nebenkeule **20E** placiert werden, um die Effekte des Signals von der Ferneinheit **22B** auf das System zu verringern. Jedoch bewirkt das Placieren einer Null in einer Nebenkeule eine entsprechende Zunahme des Nebenkeulen-Gewinns an einer anderen Stelle als jener, die in [Fig. 2C](#) dargestellt ist. In [Fig. 2C](#) wurden Nullen bei etwa  $-60$ ,  $-40$ ,  $20$ ,  $38$  und  $60$  Grad von der Ziellinie placiert. Es ist anzumerken, dass die Nebenkeule, deren Peak bei etwa  $28$  Grad von der Ziellinie liegt, einen maximalen Gewinn von größer als  $-20$  dB hinsichtlich des Gewinns der Hauptkeule hat. In der Tat ist es möglich, dass der Gewinn einer Nebenkeule den Gewinn der Hauptkeule übersteigt, wenn bestimmte Gewichtsparameter gewählt werden.

**[0013]** [Fig. 4](#) ist ein Blockdiagramm, das ein adaptives Null-Steeringssystem (Nullsteuersystem) zeigt, das im Stand der Technik auch als kohärentes Nebenkeulenausblendungs-Antennensystem bekannt ist. Das System weist ein Antennen-Array **40** auf, das ähnlich wie das in [Fig. 3C](#) gezeigte System arbeitet. Zum Beispiel kann das Antennenarray **40** derart konfiguriert sein, dass es einen standardmäßigen schmalen Strahl produziert, so wie das in [Fig. 2B](#) gezeigte Antennendiagramm. Das Antennendiagramm enthält die Nebenkeulen **20B–20C** wie gezeigt. Außerdem umfasst das Antennensystem in [Fig. 4](#) zwei Hilfsantennen **42A** und **42B**. Die Antennen **42A** und **42B** sind jeweils mit komplexen Gewichtungsblöcken **44A** und **44B** gekoppelt. Die Werte  $D_1$  und  $D_2$  in den Elementen **44A** bzw. **44B** sind zusammengesetzte Gewichte, die so eingestellt sein können, dass sie Hilfsantennendiagramm bilden. Zum Beispiel repräsentiert ein Antennendiagramm **82** in [Fig. 5](#) ein Antennendiagramm für die Hilfsantennen **42A** und **42B**. Das Antennendiagramm **82** bildet einen Strahl, der den Nebenkeulenbereich einschließt, entsprechend dem in [Fig. 2B](#) gezeigten Antennendiagramm, und hat eine Null in der Richtung des Hauptstrahls. Eine breitere Null in der Richtung des Hauptstrahls kann mit Verwendung von zusätzlichen Hilfsantennen wie solchen entwickelt werden, wie sie in [Fig. 5](#) als ein Antennendiagramm **84** dargestellt sind, das durch die Verwendung von vier Hilfselementen gebildet wird.

**[0014]** Der Ausgang der zusammengesetzten Gewichte **44A** und **44B** ist mit einer Summierschaltung **46** gekoppelt, die einen zusammengesetzten Ausgang erzeugt. Der zusammengesetzte Ausgang wird in einen komplexen Gewichtungsblock **48** eingegeben, der ein zusammengesetztes Gewicht  $\beta$  anwendet. Der gemischte Ausgang des zusammengesetzten Gewichtungsblocks **48** ist mit einer Summierschaltung **50** gekoppelt, die den Aus-

gang des Antennenarrays **40** mit dem Ausgang des komplexen Gewichtsblocks **48** summiert.

**[0015]** Wenn ein Signal durch eine Nebenkeule des Antennendiagramms empfangen wird, wird dasselbe Signal auch durch die Hilfsantennen **42A** und **42B** empfangen. Jedoch sind die Phase und Amplitude des durch das Antennenarray **40** und die Hilfsantennen **42A** und **42B** empfangenen Signals am Eingang zur Summierschaltung **50** verschieden. Wenn die Amplitude und Phase richtig eingestellt sind, kann die durch das Hilfsarray empfangene Signalenergie kohärent von der Signalenergie subtrahiert werden, die durch die Nebenkeule des Hauptstrahls empfangen wird. Um das komplexe Gewicht  $\beta_1$  einzustellen, wird der Ausgang der Summierschaltung **50** mit dem Ausgang der Summierschaltung **46** unter Verwendung einer kohärenten (phasen-sensitiven) Detektion durch eine Kreuz-Korrelationsschaltung **52** gekorreliert. Wenn ein Signal an dem Ausgang sowohl der Summierschaltung **50** als auch der Summierschaltung **46** präsent ist, wird dieses durch die Kreuz-Korrelationsschaltung **52** erfasst. Durch Integrieren des Ausgangs der Kreuz-Korrelationsschaltung **52** wird ein Fehlersignal erzeugt, das zur Einstellung des Werts des zusammengesetzten Gewichts  $\beta$  verwendet werden kann, um die durch die Nebenkeulen an dem Ausgang der Summierschaltung **50** empfangene Energie gemäß hinlänglich bekannter Methoden zu reduzieren, wie zum Beispiel Widrow's Algorithmus der kleinsten mittleren Quadrate (LMS = engl. least mean squared algorithm), der in B. Widrow, et. al., Adaptive Antenna Systems, Proceedings of IEEE, Vol. 55, No. 12, 12. Dezember 1987, pp. 2143–2159 beschrieben ist. Als Ergebnis wird eine Null in der Richtung des unerwünschten Signals in dem kombinierten Diagramm der Haupt- und Hilfsantennenkeulen gebildet.

**[0016]** Das U.S.-Patent Nr. 5,952,965 beschreibt ein adaptives Nulling-System (Störerausblendungssystem) mit einem Array von Strahlungselementen und einem Primärstrahlformungsnetz, das mit den Strahlungselementen gekoppelt ist, um über ein Primärstrahlendiagramm ein Primärsummensignal und ein Primärdifferenzsignal zu produzieren. Das Primärstrahlformungsnetz hat zusätzliche Ports, die Signale liefern, die bei der Erzeugung von Primärsignalen nicht verwendet werden. Das System hat auch ein Hilfsstrahlformungsnetz, um Hilfssignale zu produzieren, die über eine Anzahl von Hilfsstrahlen empfangen werden. Eine Steuer-/Regeleinheit liefert die Summen- und Differenz-Steuer-/Regelsignale. Eine erste Gewichtungseinheit reagiert auf die Summen-Steuer-/Regelsignale und die Hilfssignale, um gewichtete Hilfssignale zu liefern, und eine erste Signal-Kombinierschaltung ist angeordnet, um die gewichteten Hilfssignale aus der ersten Gewichtungseinheit mit dem Primärsummensignal zu kombinieren, um das adaptierte Summensignal zu liefern, wie es in der Steuer-/Regeleinheit verwendet wird. Eine zweite Gewichtungseinheit reagiert auf die Differenz-Steuer-/Regelsignale und die Hilfssignale, um gewichtete Hilfssignale zu liefern, und eine zweite Signal-Kombinierschaltung ist angeordnet, um die gewichteten Hilfssignale aus der zweiten Gewichtungseinheit mit dem primären empfangenen Signal zu kombinieren, um das adaptierte Differenzsignal zu liefern, wie es in der Steuer-/Regeleinheit verwendet wird.

**[0017]** Da der Adaptionalgorithmus wie vorstehend erwähnt den Gewinn der Nebenkeulen einstellt, um eine Null in die Richtung eines oder mehrerer Störsignale zu steuern, kann sich der Gewinn der anderen Nebenkeulen erhöhen. Wenn man zulässt, dass sich der Gewinn dieser Nebenkeulen erhöht, kann dies zu zwei unerwünschten Resultaten führen. Erstens wird die gesamte Interferenz durch eine zusätzliche Interferenz und ein Geräusch, die/das durch die unerwünscht hohen Nebenkeulen empfangen wird, erhöht. Zweitens vergrößert sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass eine neue Störsignalquelle in den unerwünscht hohen Nebenkeulen auftritt und eine Interferenz verursacht, bis der Adaptionalgorithmus reagieren kann, um sie zu sperren.

**[0018]** Deshalb besteht in der Technik ein Bedarf für ein adaptives Antennenarray mit hoher Leistung, das aber dennoch weniger komplex und mehr modular als bestehende Systeme ist. Außerdem besteht in der Technik ein Bedarf für ein Verfahren zum Beibehalten eines annehmbaren Nebenkeulenpegels bei gleichzeitiger Adaption, um hohe Störpegel in der Nebenkeulenregion zu unterdrücken.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0019]** Ein Antennenstrahl wird an laufende Betriebsbedingungen angepasst durch Bestimmen eines maximalen Gewinnwerts eines Nebenkeulenbereichs des adaptiven Antennendiagramms und auch durch Bestimmen eines entsprechenden Winkels, unter welchem der maximale Gewinnwert erreicht wird. Dann wird ein Min-Max-Vektor des adaptiven Antennendiagramms unter dem entsprechenden Winkel bestimmt. Ein Folgewert eines ersten Teilgewichtungswerts wird dann nach Maßgabe eines aktuellen Werts des ersten Gewichtungswerts, einer ersten vorgegebenen Stufengröße, einer ersten vorgegebenen Abklingkonstante und des Min-Max-Vektors bestimmt. Der erste Teilgewichtungswert wird verwendet, um das adaptive Diagramm des Antennenstrahls zu bestimmen. Der Folgewert des ersten Teilgewichtungswerts wird bestimmt, so dass er bestrebt ist, den maximalen Gewinnwert in dem Nebenkeulenbereich zu begrenzen. Zum Beispiel kann der erste

Teilgewichtungswert dazu tendieren, einen relativ einheitlichen Gewinn in dem Nebenkeulenbereich beizubehalten.

**[0020]** Zudem wird ein Nullsteuervektor eines Adaptionfehlers auf der Grundlage eines Satzes von Kreuzkorrelations-Messproben, die die laufenden Betriebsbedingungen widerspiegeln, bestimmt. Ein Folgewert eines zweiten Teilgewichtungswerts wird nach Maßgabe eines aktuellen Werts des zweiten Teilgewichtungswerts, einer zweiten vorgegebenen Stufengröße, einer zweiten vorgegebenen Abklingkonstante und des Nullsteuervektors bestimmt. Der zweite Teilgewichtungswert wird auch verwendet, um das adaptive Diagramm des Antennenstrahls zu bestimmen. Der Folgewert des zweiten Teilgewichtungswerts wird bestimmt, so dass er bestrebt ist, eine Nullstelle in die Richtung eines Störsignals zu steuern, das durch den Nebenkeulenbereich empfangen wird.

**[0021]** Auf der Grundlage des Folgewerts des ersten Teilgewichtungswerts und des Folgewerts des zweiten Teilgewichtungswerts wird ein Strahlformungs-Gewicht aktualisiert. Das Strahlformungs-Gewicht wird von dem Antennenarray benutzt, um den Antennenstrahl zu bilden. Auf diese Weise wird der Antennenstrahl an laufende Betriebsbedingungen angepasst, ohne Anpassung an ein Diagramm mit exzessiv hohen Nebenkeulenbereichen.

**[0022]** Der maximale Gewinnwert des adaptiven Antennendiagramms kann in einem offenen Regelkreis berechnet werden. Zum Beispiel kann das adaptive Antennendiagramm bestimmt werden gemäß:

$$\underline{E}_k(\theta_k, \Phi_k) = \sum_{m=1}^M \underline{W}_{k,m}(i) e^{j[m(\frac{2\pi}{\lambda}) \cdot d(\sin \theta_k - \sin \Phi_k)]}$$

wobei:

$\underline{E}_k(\theta_k, \Phi_k)$  einen Gewinnwert des adaptiven Antennendiagramms unter einem Evaluationswinkel  $\theta_k$  repräsentiert;

$d$  der Abstand zwischen Antennenelementen eines den Antennenstrahl erzeugenden Antennenarrays in Meter ist;

$\lambda$  die Wellenlänge eines Empfangssignals in Meter ist;

$\Phi_k$  der Mittelpunktswinkel eines Hauptstrahls des adaptiven Antennendiagramms relativ zur Ziellinie ist; und

$\theta_k$  der Evaluationswinkel ist, unter welchem der Gewinnwert evaluiert wird.

**[0023]** Der Min-Max-Vektor kann bestimmt werden gemäß:

$$\underline{\Gamma}_m(i-1, \theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k) = \underline{E}_k(\theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k) | e^{j[m(\frac{2\pi}{\lambda}) \cdot d(\sin \theta_{k-\text{Max}} - \sin \Phi_k)]}$$

wobei:

$\underline{\Gamma}_m(i-1, \theta_{k-\text{Max}})$  der Min-Max-Vektor ist;

$\theta_{k-\text{Max}}$  etwa der entsprechende Winkel ist; und

$\underline{E}_k(\theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k)$  der maximale Gewinnwert des adaptiven Antennendiagramms unter dem entsprechenden Winkel  $\theta_{k-\text{Max}}$  ist.

**[0024]** Unter Verwendung dieser Werte kann der Folgewert des ersten Teilgewichtungswerts bestimmt werden gemäß:

$$\underline{A}_{k,m}(i) = \rho_A \cdot \underline{A}_{k,m}(i-1) - v_A \cdot \underline{\Gamma}_{k,m}(i-1, \theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k) / |\underline{\Gamma}_{k,m}(i-1, \theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k)|$$

wobei:

$\underline{A}_{k,m}(i)$  der Folgewert des ersten Teilgewichtungsfaktors ist;

$\underline{A}_{k,m}(i-1)$  der aktuelle Wert des ersten Teilgewichtungsfaktors ist;

$\rho_A$  die erste vorgegebene Abklingkonstante ist; und

$v_A$  die erste vorgegebene Sprunggröße ist.

**[0025]** Der Nullsteuervektor des Adaptionfehlers kann bestimmt werden durch das Messen eines durch den Antennenstrahl empfangenen aktuellen Energie-Niveaus und das mathematische Anwenden einer Übertragungscharakteristik eines Phantom-Hilfsstrahls. Zum Beispiel kann der Nullsteuervektor bestimmt werden gemäß:

$$\underline{\Delta}_{k,q}(i) = \sum_{m=q}^{P+q} \underline{D}_{k,m} \underline{C}_{k,m}(i)$$

wobei:

$\underline{\Delta}_{k,q}(i)$  der Nullsteuervektor des Adaptionfehlers für einen  $q^{\text{ten}}$  Phantom-Hilfsstrahl für den Antennenstrahl (k) ist;

$\underline{C}_{k,m}(i)$  ein Kreuzkorrelations-Messprobensatz von Signalenergie ist, die von jedem Array-Element m eines mit der Energie in einem kompensierten Ausgang des Antennenstrahls kreuzkorrelierten Antennenarray empfangen wird;

$\underline{D}_{k,p}(i)$  ein zusammengesetztes Gewicht ist, das einen Beitrag eines p-ten Array-Elements zu dem  $q^{\text{ten}}$  Phantom-Hilfsstrahl für den Antennenstrahl bestimmt;

Q eine Gesamtzahl von Phantom-Hilfsstrahlen ist; und

P eine Gesamtzahl von Array-Elementen ist, die verwendet werden, um jeden Phantom-Hilfsstrahl q zu erzeugen.

**[0026]** Das soeben beschriebene Adaptionsverfahren kann bei einer Vielfalt von Antennenkonfigurationen verwendet werden. Zum Beispiel ist eine vorteilhafte Antennenkonfiguration, die bei dem Verfahren verwendet werden kann, eine, bei der ein modularer Satz von Modulen kaskadenartig verknüpft werden kann. Ein solches adaptives Antennensystem umfasst eine Vielzahl von Arrayelement-Modulen, deren jedes ein Antennenelement hat. Das Antennenelement bildet eine Komponente eines Antennenarray. Ein Eingang eines programmierbaren Verzögerungselements ist mit einem Ausgang des Antennenelements gekoppelt. Das programmierbare Verzögerungselement ist derart konfiguriert, dass es einen verzögerten Ausgang erzeugt.

**[0027]** Jedes Arrayelement-Modul hat auch eine Gewichtungsschaltung. Ein Antennenproben-Eingang der Gewichtungsschaltung ist mit dem verzögerten Ausgang des programmierbaren Verzögerungselements gekoppelt. Die Gewichtungsschaltung hat auch einen Signalgemisch-Eingang und einen Signalgemisch-Ausgang. Die Gewichtungsschaltung ist mit einer vorhergehenden Gewichtungsschaltung in einem vorhergehenden Arrayelement-Modul kaskadenartig gekoppelt, so dass der Signalgemisch-Ausgang aus der vorhergehenden Gewichtungsschaltung mit dem Signalgemisch-Eingang der Gewichtungsschaltung gekoppelt ist. Die Gewichtungsschaltung ist derart konfiguriert, dass sie ein zusammengesetztes Gewicht auf Proben anwendet, die von dem Antennenproben-Eingang empfangen werden, um gewichtete Antennenproben zu erzeugen. Auch ist die Gewichtungsschaltung derart konfiguriert, dass sie die gewichteten Antennenproben mit Proben addiert, die von dem Signalgemisch-Eingang empfangen werden, und dass sie ein resultierendes Signal an dem Signalgemisch-Ausgang zur Verfügung stellt.

**[0028]** Das Arrayelement-Modul hat auch ein zweites Verzögerungselement, von welchem ein Eingang mit dem Ausgang des Antennenelements gekoppelt ist und das einen verzögerten Ausgang hat. Schließlich weist das Arrayelement-Modul eine Kreuzkorrelations-Messschaltung auf. Die Kreuzkorrelations-Messschaltung hat einen mit dem verzögerten Ausgang des zweiten Verzögerungselements gekoppelten Antennenproben-Eingang. Die Kreuzkorrelations-Messschaltung hat auch einen adaptiven Fehler-Eingang und einen Kreuzkorrelations-Messausgang. Die Kreuzkorrelations-Messschaltung ist derart konfiguriert, dass sie von dem Antennenproben-Eingang empfangene Proben mit von dem adaptiven Fehler-Eingang empfangenen Proben kreuzkorreliert, um an dem Kreuzkorrelations-Messausgang Kreuzkorrelations-Messproben zur Verfügung zu stellen. Die Vielzahl von Arrayelement-Modulen wird durch eine Adaptionsteuerung/einen Adaptionregler gesteuert/geregelt. Die Adaptionsteuerung/der Adaptionregler hat einen Steuerungs/Regler-Eingang, der mit dem Kreuzkorrelations-Messausgang der Kreuzkorrelations-Messschaltung in jedem der Vielzahl von Arrayelement-Modulen gekoppelt ist. Die Adaptionsteuerung/der Adaptionregler hat auch einen Gewichtungsausgang. Die Adaptionsteuerung/der Adaptionregler ist konfiguriert für das Bestimmen des zusammengesetzten Gewichts, um für die Gewichtungsschaltung in jedem der Vielzahl von Arrayelement-Modulen zu sorgen. Die Adaptionsteuerung/der Adaptionregler bestimmt die zusammengesetzten Gewichte auf Grundlage der Kreuzkorrelationsproben an dem Steuerungs/Regler-Eingang.

**[0029]** In einer Ausführungsform hat die Kreuzkorrelations-Messschaltung ferner einen verzögerten adaptiven Fehler-Ausgang, der für die Bereitstellung einer verzögerten Version der von dem adaptiven Fehler-Eingang empfangenen Proben konfiguriert ist. Die Kreuzkorrelations-Messschaltung ist mit einer vorhergehenden Kreuzkorrelations-Messschaltung in dem vorhergehenden Arrayelement-Modul kaskadenartig gekoppelt, so dass der verzögerte adaptive Fehler-Ausgang aus der vorhergehenden Kreuzkorrelations-Messschaltung mit dem adaptiven Fehler-Eingang der Kreuzkorrelations-Messschaltung gekoppelt ist. Der Signalgemisch-Ausgang der letzten Gewichtungsschaltung in einem letzten der Vielzahl von Arrayelement-Modulen kann mit dem adaptiven Fehler-Eingang einer ersten Kreuzkorrelations-Messschaltung in einem ersten der Vielzahl von Ar-

rayelement-Modulen gekoppelt sein, zum Beispiel über einen Kanalfilter.

**[0030]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst jedes der Vielzahl von Arrayelement-Modulen eine Vielzahl der Gewichtungsschaltungen und eine Vielzahl der Kreuzkorrelations-Messschaltungen, wobei jedes Paar davon einem von K Antennenstrahlen entspricht. In einer noch weiteren Ausführungsform ist die Adaptionssteuerung/der Adaptionsregler konfiguriert zum Bestimmen des zusammengesetzten Gewichts unter Verwendung eines Min-Max-Adaptionsalgorithmus, der bestrebt ist, einen maximalen Gewinnwert in einem Nebenkeulenbereich des Antennenstrahls zu begrenzen, und eines Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus, der bestrebt ist, eine Null in die Richtung eines durch den Nebenkeulenbereich empfangenen Störsignals zu steuern.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0031]** Die Merkmale, Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Detailbeschreibung im Zusammenhang mit den Zeichnungen, in denen durchwegs die gleichen Bezugsziffern zur entsprechenden Kennzeichnung verwendet werden. In den Zeichnungen zeigt:

**[0032]** [Fig. 1](#) ein repräsentatives Diagramm zur Darstellung einer Basisstation mit drei Sektoren und ihres idealen entsprechenden Versorgungsbereichs;

**[0033]** [Fig. 2A–Fig. 2C](#) ein repräsentatives Diagramm zur Darstellung des Versorgungsbereich-Diagramms für einen typischen schmalen Strahl;

**[0034]** [Fig. 3A–Fig. 3C](#) eine Reihe von Diagrammen zur Darstellung eines Strahlformers;

**[0035]** [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm zur Darstellung eines Kohärentausblendungs-Antennensystems unter Verwendung von Hilfsantennen;

**[0036]** [Fig. 5](#) ein repräsentatives Schaubild zur Darstellung von zwei Versorgungsbereich-Diagrammen von Hilfsantennen;

**[0037]** [Fig. 6A–Fig. 6C](#) Blockdiagramme zur Darstellung eines Kohärentausblendungs-Antennensystems unter Verwendung von Phantom-Hilfsstrahlen;

**[0038]** [Fig. 7](#) ein Blockdiagramm zur Darstellung eines Arrayelement-Moduls, das in einen adaptiven Antennenempfänger gemäß der Erfindung integriert ist;

**[0039]** [Fig. 8](#) ein Blockdiagramm zur Darstellung der Arrayelemente und von Mehrfachstrahl-Modulen, die in ein adaptives Empfängersystem integriert sind;

**[0040]** [Fig. 9](#) ein Blockdiagramm zur Darstellung einer Gewichtungsschaltung in einem Arrayelement-Modul im Detail;

**[0041]** [Fig. 10](#) ein Blockdiagramm zur Darstellung einer Kreuzkorrelations-Messschaltung in dem Arrayelement-Modul im Detail;

**[0042]** [Fig. 11](#) einen Graph zur Darstellung des Gewinns eines Versorgungsbereichs mit acht Strahlen ( $k = \beta$ ) und 120 Grad;

**[0043]** [Fig. 12](#) einen Graph zur Darstellung des einzigen nicht adaptierten Beam Pattern anhand gestrichelter Linien und eines erfindungsgemäß adaptierten Beam Pattern anhand durchgezogener Linien;

**[0044]** [Fig. 13](#) ein Flussdiagramm zur Darstellung der Funktionsweise gemäß der Erfindung.

#### Detailbeschreibung der Erfindung

**[0045]** Ein adaptives Antennensystem gemäß einer Ausführungsform der Erfindung bildet adaptiv die Strahlungsdiagramme für ein Mehrstrahlen-Array und behält gleichzeitig einen spezifizierten minimalen Gewinn für jeden Hauptstrahl bei, behält ein etwa einheitliches Nebenkeulen-Niveau bei und unterdrückt adaptiv Signale mit einem hohen Pegel in dem Nebenkeulenbereich eines jeden Strahls. In einer Ausführungsform der Erfindung wird für die Implementierung des adaptiven Antennensystems eine Reihe von Arrayelement-Modulen



verwendet, deren jedes Empfangsfunktionen ausübt und eine Schnittstelle mit benachbarten Arrayelement-Modulen bildet, um adaptierbare schmale Strahlen zu bilden. Einige der Ausführungsformen der Erfindung eliminieren die Verwendung von jeglichen Hilfselementen, wodurch die Kosten für die Implementierung gesenkt werden.

[0046] [Fig. 6A](#) ist ein Blockdiagramm einer Ausführungsform eines adaptiven Antennensystems der Erfindung, welches keine Verwendung von separaten Hilfsantennenstrahlern erfordert. In [Fig. 6A](#) ist ein Satz von Arrayelementen **100A–100M** mit einem Satz von Gewichtsblöcken **102A–102M** gekoppelt, die zusammengesetzte Gewichte  $A_1$ – $A_M$  anwenden, um auf ähnliche Weise wie oben mit Bezug auf [Fig. 3C](#) beschrieben eine einzigen Schmalband-Strahl an dem Ausgang der Summierschaltung **104** zu entwickeln.

[0047] Die Arrayelemente **100A–100B** sind auch mit einem Satz von Gewichtsblöcken **106A** und **106B** gekoppelt, die einen ersten "Phantom"-Hilfsstrahl an dem Ausgang einer Summierschaltung **108** bilden. Da dieser Hilfsantennenstrahl unter Verwendung derselben Arrayelemente **100A–100B** wie der Hauptstrahl gebildet wird, werden keine physisch getrennten Hilfsantennen benötigt. Aus diesem Grund werden die auf diese Weise implementierten Hilfsantennenstrahlen als "Phantom"-Hilfsstrahlen bezeichnet. In einer ähnlichen Weise wie die Gewichtsblöcke **102A–102M** die Form/Gestalt und Richtung des Schmalband-Hauptstrahls bestimmen, wenden die Gewichtsblöcke **106A** und **106B** zusammengesetzte Gewichte  $D_1$  und  $D_2$  an, um einen Phantom-Hilfsstrahl mit einer Null in der Richtung des Schmalband-Hauptstrahls zu entwickeln.

[0048] Die Arrayelemente **100B–100C** sind auch mit einem Satz von Gewichtsblöcken **110A** und **110B** gekoppelt, die einen zweiten "Phantom"-Hilfsstrahl an dem Ausgang einer Summierschaltung **112** bilden. Die Gewichtsblöcke **110A** und **110B** wenden zusammengesetzte Gewichte  $D_1$  und  $D_2$  an, um einen zweiten Phantom-Hilfsstrahl mit einer Null in die Richtung der Schmalband-Hauptstrahls zu entwickeln.  $D_1$  und  $D_2$  sind für jeden der Phantom-Hilfsstrahlen in den dargestellten Ausführungsformen gleich. Falls gewünscht, können sie jedoch verschieden sein, damit Phantom-Hilfsstrahlen mit unterschiedlichen Diagrammen vorliegen.

[0049] Der Ausgang der Summierschaltung **108** wird in einen zusammengesetzten Gewichtsblock **114** eingegeben, der ein zusammengesetztes Gewicht  $\beta_1$  anwendet. Der Ausgang der Summierschaltung **112** wird in einen zusammengesetzten Gewichtsblock **118** eingegeben, der ein zusammengesetztes Gewicht  $\beta_2$  anwendet. Der Ausgang der zusammengesetzten Gewichtsblöcke **114** und **118** ist mit einer Summierschaltung **122** gekoppelt, die den Ausgang der Summierschaltung **104** mit dem Ausgang der zusammengesetzten Gewichtsblöcke **114** und **118** summiert, um einen Sammelausgang **124** zu bilden.

[0050] Wenn durch eine Nebenkeule des Hauptstrahls ein Signal empfangen wird, wird dasselbe Signal auch durch den ersten und den zweiten Phantom-Hilfsstrahl empfangen. Jedoch sind Phase und Amplitude des durch den Hauptstrahl und die Phantom-Hilfsstrahlen empfangenen Signals an dem Eingang zur Summierschaltung **122** verschieden. Wenn Amplitude und Phase richtig eingestellt sind, kann die durch die Phantom-Hilfsstrahlen empfangene Signalenergie kohärent von der durch die Nebenkeule des Hauptstrahls empfangenen Signalenergie subtrahiert werden. Die Gewichtsblöcke **114** und **118** werden verwendet, um die Phase und Amplitude der durch die Phantom-Hilfsstrahlen empfangenen Signalenergie richtig einzustellen.

[0051] Zur Einstellung der zusammengesetzten Gewichte  $\beta_1$  und  $\beta_2$ , die durch die Gewichtsblöcke **114** und **118** angewendet werden, wird der Ausgang **124** der Summierschaltung **122** mit den Ausgängen der Summierschaltungen **108** und **112** multipliziert und das Produkt in Kreuzkorrelations-Messblöcke **116** und **120** integriert (akkumuliert), um jeweils zusammengesetzte Kreuzkorrelations-Messausgänge  $\mu_1$  und  $\mu_2$  zu erzeugen. Wenn ein Signal sowohl an dem Ausgang der Summierschaltung **122** als auch der Summierschaltung **108** und der Summierschaltung **112** oder an beiden vorhanden ist, liegt ein Kreuzkorrelations-Messwert, der nicht Null ist, in einem oder in beiden der zusammengesetzten Kreuzkorrelations-Ausgänge  $\mu_1$  und  $\mu_2$  vor.

[0052] Ein Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126** nutzt die zusammengesetzten Kreuzkorrelations-Messausgänge  $\mu_1$  und  $\mu_2$ , um Korrekturen zu erzeugen, die zur Einstellung des Werts der zusammengesetzten Gewichte  $\beta_1$  und  $\beta_2$  verwendet werden können, um die durch die Nebenkeulen am Ausgang der Summierschaltung **124** empfangene Energie zu reduzieren (d.h. eine Null in die Richtung von Störsignalen zu steuern). Gleichzeitig wird der Wert der zusammengesetzten Gewichte  $A_1$ – $A_M$  auf Grundlage einer Berechnung in einem offenen Regelkreis eingestellt, um einheitliche Nebenkeulenpegel beizubehalten. Zum Beispiel implementiert der Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126** in einer Ausführungsform den Min-Max-Adaptionsalgorithmus und den Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus, die nachstehend im Detail beschrieben werden, um aktualisierte Werte für die zusammengesetzten Gewichte  $\beta_1$  und  $\beta_2$  und  $A_1$ – $A_M$  zu bestimmen.



[0053] [Fig. 6A](#) zeigt eine spezielle Ausführungsform der Erfindung, umfassend zwei Phantom-Hilfsstrahlen ( $Q = 2$ ), wobei jeder Phantom-Hilfsstrahl mit zwei Array-Elementen ( $P = 2$ ) gekoppelt ist. Allgemein kann eine größere oder kleiner Anzahl von Phantomstrahlen gebildet werden, jedoch kann die Anzahl von Phantom-Hilfsstrahlen,  $Q$ ,  $(M - P + 1)$  nicht übersteigen, wobei  $P$  die Anzahl der zum Formen eines einzelnen Phantom-Hilfsstrahls verwendeten Array-Elemente ist und  $M$  die (Gesamtzahl von Array-Elementen ist).

[0054] [Fig. 6B](#) ist ein Blockdiagramm eines Antennensystems, das für die gleichen Funktionen wie das Antennensystem von [Fig. 6A](#) sorgt. Jedoch wurde das System umkonfiguriert, um als ein Satz von Arrayelement-Modulen **130A–130M** implementiert zu werden. Um das Konzept der Metamorphose zwischen der in [Fig. 6A](#) dargestellten Konfiguration und der in [Fig. 6B](#) dargestellten Konfiguration zu verstehen, sei angenommen, dass der Ausgang **124** von [Fig. 6A](#) logisch als die Summe von Bestandteilen ausgedrückt wird, wobei jeder Bestandteil durch ein anderes der Array-Elemente **100A–100M** empfangen wird.

[0055] Der erste Term in einem solchen logischen Ausdruck würde die Signalenergien angeben, die durch das Array-Element **100A** empfangen werden. Die durch das Array-Element **100A** empfangene Signalenergie wird durch das Gewichtselement **102A** und auch durch die Gewichtselemente **106A** und **114** hindurchgeschickt. Innerhalb des Arrayelement-Moduls **130A** produzieren die Elemente **102A**, **106A** und **114** sowie eine Summierschaltung **132A** ein Signal **136A** entsprechend diesem ersten Bestandteil des Ausgangs **124**.

[0056] Ähnlich würde der zweite Term in einem solchen logischen Ausdruck die Signalenergien angeben, die durch das Array-Element **100B** empfangen werden. Die durch das Array-Element **100B** empfangene Signalenergie wird durch das Gewichtselement **102B** sowie durch die Gewichtselemente **106B**, **114**, **110A** und **118** geschickt. Innerhalb des Arrayelement-Moduls **130B** produzieren die Elemente **102B**, **106B**, **114**, **110A** und **118** sowie eine Summierschaltung **132B** ein Signal **136B** entsprechend der Summe des ersten und des zweiten Bestandteils der Ausgangs **124**.

[0057] In ähnlicher Weise produziert jedes der nachfolgenden Arrayelement-Module einen weiteren Bestandteil. Auf diese Weise ist der Ausgang **124** der Summierschaltung **132M** in dem Arrayelement-Modul **130M** derselbe Ausgang **124** von [Fig. 6](#).

[0058] Die zusammengesetzten Kreuzkorrelationsausgänge  $\mu_1$  und  $\mu_2$ , die in [Fig. 6A](#) bestimmt werden, werden in [Fig. 6B](#) nicht direkt gemessen, um die Berechnungen zu reduzieren, die in den Arrayelement-Modulen **130A–130M** notwendig sind. In [Fig. 6B](#) ist der Kreuzkorrelations-Messblock **136A** direkt mit dem Array-Element **100A** gekoppelt anstatt mit der Summe des Ausgangs des das zusammengesetzte Gewicht  $\underline{D}_1$  anwendenden Gewichtsblocks und des das zusammengesetzte Gewicht  $\underline{D}_2$  anwendenden Gewichtsblocks. Wie in [Fig. 6A](#) ist der Kreuzkorrelations-Messblock **138A** auch mit dem kompensierten Ausgang **124** gekoppelt. Der Kreuzkorrelations-Messblock **138A** erfasst Signale, die sowohl an dem Ausgang des Array-Elements **100A** als auch an dem kompensierten Ausgang **124** vorhanden sind. Dadurch enthalten die Kreuzkorrelations-Messproben  $\underline{C}_1$ ,  $\underline{C}_M$  der Kreuzkorrelations-Messblöcke **138A–138M** sowohl Signale in den Nebenkeulen als auch in dem Hauptstrahl.

[0059] Um zu bestimmen, welche Signalenergie durch die Nebenkeule empfangen wurde, bildet der Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126'** mathematisch das Phantom-Array nach der Kreuzkorrelationsmessung. Diese mathematische Phantom-Array hat eine Null in der Richtung des Hauptstrahls, um so den Beitrag der Signalenergie von dem Hauptstrahl zur Kreuzkorrelationsmessung zu reduzieren. Zum Beispiel wird in [Fig. 6B](#) in dem Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126'** der komplexe Kreuzkorrelationsausgang  $\underline{\mu}_1$  durch Summieren des Produkts aus  $\underline{C}_1$  und  $\underline{D}_1$  mit dem Produkt aus  $\underline{C}_2$  und  $\underline{D}_2$  bestimmt. Durch Übertragen der Rechenfunktion auf den Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126'** wird die Anzahl der in den Arrayelement-Modulen **130A–130M** durchgeführten Hochgeschwindigkeits-Kreuzkorrelationsmessungen reduziert, und die Notwendigkeit einer Multiplikation des Ausgangs jedes Array-Elements mit den Phantom-Hilfsstrahlengewichten für jede Probe wird eliminiert. Stattdessen können die notwendigen Berechnungen als Teil des Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus mit der wesentlich niedrigeren Adaptions-Aktualisierungsgeschwindigkeit stattfinden. Der Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126'** bestimmt die zusammengesetzten Gewichte, die in den Arrayelement-Modulen **130A–130M** beispielsweise gemäß dem Min-Max-Adaptionsalgorithmus und dem Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus wie nachstehend beschrieben angewendet werden.

[0060] Die in den [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigten Blockdiagramme erzeugen den Ausgang **124**, der einem schmalen Hauptstrahl entspricht. Allgemein wird eine Reihe von schmalen Hauptstrahlen gebildet, um einen zusammengesetzten Versorgungsbereich zu bilden, der wesentlich breiter ist als ein einzelner schmaler Strahl. [Fig. 6C](#) wurde erweitert, um die Erzeugung von  $K$  dieser parallelen Strahlen darzustellen. In [Fig. 6C](#) sind die

mit einem tiefgestelltem  $k$  versehenen Elemente  $K$  Male repliziert, um die  $K$  Ausgänge entsprechend den  $K$  Mehrfachstrahlen zu entwickeln. Es ist zu beachten, dass bei dem  $k^{\text{ten}}$  Strahl der Satz von Phantom-Hilfsgewichtsblöcken  $\{D_{k,p}, p = 1 \dots P\}$  für jeden der  $Q$  Phantom-Hilfsstrahlen jeweils ganz der gleiche ist, jedoch auch verschieden sein könnte, falls Phantom-Hilfsstrahlen mit unterschiedlichen Diagrammen gewünscht werden, wie vorstehend erwähnt.

**[0061]** Bei tatsächlichen Implementierungen sind die Gewichtsblöcke nicht direkt mit den Array-Elementen gekoppelt. Stattdessen wird ein intervenierender Empfänger verwendet, um das Hochfrequenz-Analogsignal in eine Reihe von komplexen (phasengleichen und mit  $90^\circ$  phasenverschobenen) digitalen Basisband- und Zwischenfrequenz-Proben umzuwandeln. Daher sind in [Fig. 6C](#) Empfangsmodule **144A–144N** in jedem der Arrayelement-Module **130A'–130N'** enthalten. Die Array-Elemente **100** und die Arrayelement-Module **144** müssen nicht für jeden der  $k$  Strahlen repliziert werden und werden von jedem Schmalband-Hauptstrahl  $k$  verwendet.

**[0062]** Außerdem zeigt [Fig. 6C](#) die fortgesetzte Metamorphose der Gewichts- und Kreuzkorrelationsmessungen, die die Berechnung weiter vereinfachen. Speziell bei dem  $k^{\text{ten}}$  Strahl eines jeden Arrayelement-Moduls wendet ein gemischter Gewichtsblock **139** ein gemischtes zusammengesetztes Gewicht  $W_{k,m}$  an. Der Wert des gemischten zusammengesetzten Gewichts  $W_{k,m}$  wird basierend auf den Werten der zusammengesetzten Gewichte  $A_{k,1} \dots A_{k,M}$  sowie der zusammengesetzten Phantom-Hilfsgewichte  $D_{k,1} \dots D_{k,P}$  und  $\beta_{k,1} \dots \beta_{k,Q}$  bestimmt. Dadurch wurden im Vergleich zu dem Arrayelement-Modul **130A** in dem Arrayelement-Modul **130A'** die Elemente **102A**, **106B** und **114** mit dem einzigen Gewichtsblock **139A** ersetzt. Verglichen mit dem Arrayelement-Modul **130B** wurden in dem Arrayelement-Modul **130B'** die Elemente **102B**, **106B**, **114**, **134**, **110A** und **118** mit dem Gewichtsblock **139B** ersetzt.

**[0063]** Die Konfiguration von [Fig. 6C](#) hat verschiedene Vorteile gegenüber der Konfiguration von [Fig. 6A](#). Es ist vorteilhaft, das Signal an dem Eingang zu den Gewichtsblöcken zu digitalisieren, wie das durch die Empfänger **144A–144M** in [Fig. 6C](#) durchgeführt wird, um die Größe und die Kosten zu reduzieren und um die Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Arrayelement-Module **130A'–130M'** zu erhöhen. Die Verwendung eines einzigen gemischten zusammengesetzten Gewichts  $W_{k,m}$  durch den Strahlungsformungsgewicht-Berechnungsblock **126** reduziert die Anzahl von komplexen Vielfachen auf eines pro Arrayelement-Modul für jeden der  $k^{\text{ten}}$  Strahlen. Ein weiterer Kostenvorteil ergibt sich dadurch, dass sich die Architektur für die Verwendung von wiederholten Modulen eignet. Basierend auf dieser Feststellung verringert die Konfiguration von [Fig. 6C](#) die Komplexität der Elemente entsprechend einem einzigen adaptiven Strahl  $k$ . Insbesondere die Anzahl von Kreuzkorrelationsmessungen, die durch geführt werden, wird so reduziert, dass sie gleich der Anzahl von Antennenarrayelement-Modulen  $M$  ist.

**[0064]** [Fig. 7](#) ist ein detailliertes Blockdiagramm einer Ausführungsform der Erfindung und zeigt die Verzögerungen, die durch die Arrayelement-Module **140A–140M** und deren Verbindung miteinander eingeführt werden. Die modulare und gemeinsame Architektur eines jeden der Arrayelement-Module **140** ermöglicht deren kaskadenartige Verknüpfung miteinander, so dass sie in einer Vielfalt von Arbeitsumgebungen verwendet werden können, wobei eine unterschiedliche Anzahl von Array-Elementen  $M$ , parallelen Hauptstrahlen ( $K$ ) und Phantom-Hilfsstrahlen ( $Q$ ) verwendet wird. Die in [Fig. 7](#) im Detail gezeigten Arrayelement-Module **140B** und **140C** sind repräsentativ für jedes der Module **140A–140M**.

**[0065]** Das Array-Element **100B** in dem Arrayelement-Modul **140B** ist mit dem Empfänger **144** gekoppelt, der die Abwärtskonvertierung und Digitalisierung des empfangenen Signals zu einem Basisband-Signal implementiert. Zum Beispiel wird die Konvertierung in einer Ausführungsform bewerkstelligt durch die Verwendung von translierenden Delta-Sigma-Modulatoren und Dezimierungsfilterung. In einer weiteren Ausführungsform ist der Empfänger **144** durch die Verwendung von Standard-Gegentaktmischern und anderen kontinuierlichen Zeitelementen implementiert, und das resultierende Analogsignal wird in einem Analog/Digital-Wandler digitalisiert. In einer noch weiteren Ausführungsform arbeitet der Empfänger **144** mit einem Zweistufen-Konvertierungsverfahren unter Verwendung einer oder mehrerer Zwischenfrequenzen (IF). In jedem Fall erzeugt der direkter Wandler **144** in der bevorzugten Ausführungsform digitale Basisband-Empfangsproben entsprechend einem phasengleichen Pfad und einem mit  $90^\circ$  phasenverschobenen Pfad. Die digitale Beschaffenheit der von dem Empfänger **144** ausgegebenen Empfangsproben erlaubt eine Replizierung der digitalen Proben ohne Einfluss auf die Qualität oder den Geräuschgehalt des Signals.

**[0066]** Zur Unterstützung der Implementierung der kaskadenartig verknüpften Summierungsfunktion ist der Ausgang des Empfängers **144** mit einem programmierbaren Verzögerungselement **146** gekoppelt. Die Arrayelement-Module **140A–140M** führen einen sequenziellen Summierungsprozess durch, welcher den gemisch-

ten Ausgang **124** am Ausgang des Arrayelement-Moduls **140M** erzeugt. Aufgrund der sequenziellen Natur des Summierungsprozesses (häufig "Gänseblumenketten"-Verbindung genannt) kann der in einem beliebigen Arrayelement-Modul, **140m**, durchgeführte Summierungsprozess nur abgeschlossen werden, wenn das vorhergehende Arrayelement-Modul, **140m-1**, seinen Summierungsprozess abgeschlossen hat. Dadurch führt das Verzögerungselement **146** eine Verzögerung ein, zur zeitlichen Übereinstimmung der durch das Arrayelement-Modul **140B** empfangenen Empfangsproben mit dem durch das Arrayelement-Modul **140A** produzierten Summierungsausgang. Dadurch führt das Verzögerungselement **146** eine Verzögerung von  $(m-1)\Delta$  ein, wobei  $\Delta$  die mit der Durchführung des Gewichtungsprozesses in einem Arrayelement-Modul verbundene Verzögerung ist.

**[0067]** Der Ausgang des Verzögerungselements **146** ist mit  $K$  parallelen Gewichtungsschaltungen **148A–148K** gekoppelt, die die gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,m}$  anwenden. Für jeden beliebigen Strahl  $k$ , der mit dem Empfänger verbunden ist, wird eine separate Gewichtungsschaltung **148k** verwendet. Die durch die Gewichtungsschaltungen **148A–148K** ausgeführten Funktionen werden nachstehend unter Bezugnahme auf [Fig. 9](#) ausführlicher beschrieben. Allgemein multipliziert die Gewichtungsschaltung **148A** die verzögerten digitalen Proben mit der adaptierten zusammengesetzten Gewichtsfunktion. Zudem summiert die Gewichtungsschaltung **148A** den Ausgang der Gewichtungsschaltung des vorhergehenden Arrayelement-Moduls mit den Ergebnissen des Gewichtungsprozesses, um einen gemischten Ausgang zu erzeugen, der mit dem nächsten Arrayelement-Modul gekoppelt wird. Um eine Überladung von [Fig. 7](#) zu vermeiden, sind die kaskadenartigen Verbindungen nur für die Gewichtungsschaltung **148A** für den ersten Strahl des Arrayelement-Moduls **140A–140M**, d.h. den Strahl  $k = 1$ , dargestellt.

**[0068]** Der Ausgang der Gewichtungsschaltung **148A** des letzten Arrayelement-Moduls **140M** ist das gemischte Ausgangssignal **124**,  $\underline{\Sigma}_{1,M}(n)$ . Das gemischte Ausgangssignal **124** wird in ein Kanalfilterelement **166** eingegeben. Das Kanalfilterelement **166** wird verwendet, um außerhalb des interessierenden Kanals liegende Signale zu filtern, und es dient zur Reduzierung des Niveaus von Signalenergie, die außerhalb der Signal-Bandbreite empfangen wird. Zum Beispiel wird in einem typischen CDMA-System ein Breitband-Kanal verwendet, beispielsweise eine 1,25 MHz Signal-Bandbreite. Eine anschließende Kanalbearbeitung erfolgt zum Abweisen einer außerhalb der Signal-Bandbreite liegenden Interferenz. Daher ist es nicht notwendig, die adaptive Antennen zu verwenden, um die Pegelinterferenz zu reduzieren, die außerhalb der Signal-Bandbreite empfangen wird. Dadurch ist das Adaptionsefehlersignal  $\underline{\epsilon}_{k,0}(n)$  die komplexe Konjugierte einer bandbegrenzten Version des gemischten Ausgangssignals  $\underline{\Sigma}_{k,M}(n)$ . Daher wird in dem ersten Arrayelement-Modul ( $m = 1$ ) das zusammengesetzte Adaptionsefehlersignal  $\underline{\epsilon}_{k,0}(n)$  als der Eingang in die Kreuzkorrelations-Messschaltung **154** verwendet.

**[0069]** Erneut beziehend auf die Elemente in dem Arrayelement-Modul **140B** ist der Ausgang des Verzögerungselements **146** auch mit einem Verzögerungselement **152** gekoppelt. In einer Ausführungsform sind die Verzögerungselemente **146** und **152** parallel oder mit einer Struktur implementiert. Das Verzögerungselement **152** führt eine Verzögerung ein, um die durch das Arrayelement-Modul **140B** empfangenen Empfangsproben zeitlich mit dem zusammengesetzten Adaptionsefehlersignal  $\underline{\epsilon}_{k,0}(n)$  übereinzustimmen, das von dem Arrayelement-Modul **140A** erzeugt wird. Dadurch fügt das Verzögerungselement **152** eine Verzögerung von  $M\Delta + \psi$  ein, wobei  $M\Delta$  die mit der Ausführung des Gewichtungsprozesses verbundene Gesamtverzögerung und  $\psi$  die mit dem Kanalfilterelement **166** verbundene Verzögerung ist.

**[0070]** Der Ausgang des Verzögerungselements **152** ist mit einer Reihe von Kreuzkorrelations-Messschaltungen **154A–154K** gekoppelt. Jede der Kreuzkorrelations-Messschaltungen **154A–154K** ist einem der  $K$  Antennenstrahlen zugeteilt. Allgemein führen die Kreuzkorrelations-Messschaltungen eine ähnliche Funktion wie die Kreuzkorrelatoren **138A'–138M'** von [Fig. 6C](#) aus. Die spezielle Funktionsweise der Kreuzkorrelations-Messschaltungen **154A–154K** ist nachstehend unter Bezugnahme auf [Fig. 10](#) ausführlicher beschrieben.

**[0071]** Zur Vereinfachung des Diagramms sind verschiedene Verbindungen, die das Blockdiagramm von [Fig. 7](#) steuern/regeln darin nicht gezeigt. Zum Beispiel empfängt jedes der Arrayelement-Module **140A–140M** eine analoge oder digitale Frequenzreferenz, die in dem Abwärtskonvertierungsprozess sowie für die Erzeugung eines Takts verwendet werden kann, um so digitale Proben zu erzeugen. Zudem empfängt jedes Arrayelement-Modul **140A–140M** Steuer-/Regelinformationen, wie sie zur Einstellung der Verzögerung der Verzögerungselemente **146** und **152** verwendet werden. Außerdem sind die Gewichtungsschaltungen **148A–148K** mit einem Steuer-/Regelsignal gekoppelt, welches die gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,m}$  periodisch aktualisiert. Auch der Ausgang der Kreuzkorrelations-Messschaltungen **154A–154K** für das  $m^{\text{te}}$  Arrayelement-Modul und den  $k^{\text{ten}}$  Strahl ist eine Kreuzkorrelations-Messprobe  $\underline{C}_{k,m}(i)$ .

**[0072]** [Fig. 8](#) ist ein Blockdiagramm, das die in ein adaptives Empfängersystem integrierten Arrayelement-Module zeigt. Wie oben in [Fig. 7](#) dargestellt ist, sind die Arrayelement-Module **140A–140M** kaskadenartig in Reihe geschaltet. Obwohl jedes der Arrayelement-Module **140A–140M** für jeden von  $K$  Antennenstrahlen Eingänge empfängt und Ausgänge erzeugt, sind in [Fig. 8](#) der Eingang und Ausgang nur für den ersten Antennenstrahl  $k$  gezeigt, um eine Überladung des Diagramms zu vermeiden.

**[0073]** Zusätzlich zu diesen Elementen zeigt [Fig. 8](#) auch ein Schnittstellen- und Steuer/Regel-Modul **160**, das unter anderen Aufgaben eine Funktion ähnlich dem Strahlformungsgewicht-Berechnungsblock **126**, **126'** und **126''** der [Fig. 6A](#), [Fig. 6B](#) bzw. [Fig. 6C](#) ausführt. Das Schnittstellen- und Steuer/Regel-Modul **160** umfasst einen Empfangsfrequenz-Synthesizer und eine Taktverteilungsschaltung **162**, die Referenzsignale für die Verwendung durch verschiedene Komponenten des adaptiven Empfängersystems erzeugt. Das Schnittstellen- und Steuer/Regel-Modul **160** umfasst auch das Kanalfilterelement **166**. Das Kanalfilterelement **166** ist mit dem gemischten Ausgang **124** des letzten Arrayelement-Moduls **140M** gekoppelt,  $\Sigma_M(n)$ . Das Kanalfilterelement **166** sorgt für eine Bandpass- oder Basisbandfilterung des Ausgangs **124**, der dann sowohl als Adaptionsefehlersignal für die Kreuzkorrelationsmessungen des  $k^{\text{ten}}$  Strahls als auch als Ausgang des  $k^{\text{ten}}$  Strahls verwendet wird.

**[0074]** Das Schnittstellen- und Steuer/Regel-Modul **160** umfasst auch einen Digitalprozessor **164**. Basierend auf Kalibrierungsdaten für die Array-Elemente und die empfangenen Kreuzkorrelations-Messproben  $\underline{C}_{k,1}(i) \cdot \underline{C}_{k,M}(i)$  erzeugt der Digitalprozessor **164** die gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,1}(i) \cdot \underline{W}_{k,M}(i)$ . In einer Ausführungsform führt der Digitalprozessor einen Min-Max-Adaptionsalgorithmus sowie einen Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus durch, wie das nachstehend ausführlicher erläutert wird.

**[0075]** [Fig. 9](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Gewichtungsschaltung **148k** in dem Arrayelement-Modul **140m** im Detail zeigt. Die Gewichtungsschaltung **148k** empfängt die Komponenten  $X_{m,I}(n)$  und  $X_{m,Q}(n)$  der zusammengesetzten Empfangsproben, die jeweils mit Multipliziereinheiten **170A** und **170C** gekoppelt werden. Die Multipliziereinheiten **170A** und **170C** multiplizieren die einlaufenden Proben mit dem zusammengesetzten Gewicht für den I Kanal,  $W_{k,m,I}(i)$ . Außerdem sind die Komponenten  $X_{m,I}(n)$  und  $X_{m,Q}(n)$  der zusammengesetzten Empfangsproben jeweils mit Multipliziereinheiten **170D** und **170B** gekoppelt. Die Multipliziereinheiten **170B** und **170D** multiplizieren die einlaufenden Proben mit dem zusammengesetzten Gewicht für den Q Kanal,  $W_{k,m,Q}(i)$ . Zusammen führen die Multipliziereinheiten **170A–170D** die komplexe Multiplikation der zusammengesetzten Empfangsproben  $\underline{X}_m(n)$  mit dem gemischten zusammengesetzten Gewicht  $\underline{W}_{k,m}(i)$  durch.

**[0076]** Der Ausgang der Multipliziereinheiten **170A** und **170B** ist mit der Summierschaltung **174A** gekoppelt. Die Summierschaltung **174A** summiert auch diese Eingänge mit dem Ausgang der früheren Gewichtungsschaltung in der Gänseblümchenkette,  $\underline{\Sigma}_{k,m-1,I}(n)$ , um den phasengleichen Ausgang der aktuellen Gewichtungsschaltung,  $\underline{\Sigma}_{k,m,I}(n)$ , zu erzeugen.

**[0077]** Der Ausgang der Multipliziereinheiten **170C** und **170D** ist mit der Summierschaltung **174B** gekoppelt. Die Summierschaltung **174B** summiert auch diese Eingänge mit dem Ausgang der früheren Gewichtungsschaltung in der Gänseblümchenkette,  $\underline{\Sigma}_{k,m-1,Q}(n)$ , um den mit  $90^\circ$  phasenverschobenen Ausgang der aktuellen Gewichtungsschaltung,  $\underline{\Sigma}_{k,m,Q}(n)$ , zu erzeugen.

**[0078]** [Fig. 10](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Kreuzkorrelations-Messschaltung **154k** in dem Arrayelement-Modul **140m** im Detail zeigt. Das komplexe adaptive Fehlersignal  $\underline{\epsilon}_{k,m}(n)$  ist durch die Reihe von Kreuzkorrelations-Messschaltungen **154k** in jedem der  $M$  Arrayelement-Module **140m** kaskadenartig verknüpft. Da die Effekte der Phantom-Antennenelementgewichte  $\underline{D}_{k,1}$  und  $\underline{D}_{k,2}$  durch den Digitalprozessor auferlegt werden, ist das zusammengesetzte adaptive Fehlersignal,  $\underline{\epsilon}_{k,0}(n)$ , das in das erste Arrayelement-Modul **140A** eingegeben wird, in diesem Fall der durch das Kanalfilterelement gefilterte Ausgang **124**,  $\underline{\Sigma}_{k,M}(n)$ , des letzten Arrayelement-Moduls **140M**. Jede Kreuzkorrelations-Messschaltung **154k** verzögert das Fehlersignal um  $\Delta$ , so dass das Fehlersignal an aufeinanderfolgenden Kreuzkorrelations-Messschaltungen **154k** ankommt, die zeitlich mit den durch das entsprechende Arrayelement-Modul **154m** empfangenen digitalen Antennenproben übereinstimmen. Die Verzögerungsblöcke **184A** und **184B** sind wirksam, um für diese Verzögerung zu sorgen.

**[0079]** Die zusammengesetzten Empfangsproben,  $\underline{X}_m(n)$ , werden in einer komplexen Multiplikationsschaltung **180**, die auf ähnliche Weise wie die in [Fig. 9](#) gezeigte komplexe Multiplikationsschaltung arbeitet, mit dem zusammengesetzten Adaptionsefehlersignal,  $\underline{\epsilon}_{k,m}(n)$ , multipliziert. Die durch die komplexe Multiplikationsschaltung **180** ausgegebenen phasengleichen Probenaugänge werden in einem Akkumulator **182A** summiert, der phasengleiche Kreuzkorrelations-Messproben,  $C_{k,m,I}(i)$ , erzeugt. Die von der komplexen Multiplikationsschaltung **180** ausgegebenen, mit  $90^\circ$  phasenverschobenen Proben werden in einem Akkumulator **182B** summiert,



der die mit  $90^\circ$  phasenverschobenen Kreuzkorrelations-Messproben,  $C_{k,m,q}(i)$ , ausgibt.

**[0080]** Unter Verwendung der vorstehend entwickelten Blockdiagramme und Aufzeichnungen können das Verfahren und die Funktionsweise der Strahlformung gemäß dem Min-Max-Adaptionsalgorithmus und dem Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus mathematisch beschrieben werden. Wie oben angegeben, ist das in die  $k^{\text{te}}$  Gewichtungsschaltung innerhalb des  $m^{\text{ten}}$  Mehrfachstrahl-Empfangsmoduls eingegebene Signal eine hoch auflösende, digitalisierte zusammengesetzte Empfangsprobe  $\underline{X}_m(n)$ , wobei, wie vorstehend erwähnt, die Unterstreichung angibt, dass das Signal zusammengesetzt ist (d.h. phasengleiche und mit  $90^\circ$  phasenverschobene Komponenten hat). Wie in [Fig. 9](#) gezeigt ist, wird in der Gewichtungsschaltung **148k** das gemischte zusammengesetzte Gewicht  $\underline{W}_{k,m}(i)$  mit den zusammengesetzten Empfangsproben  $\underline{X}_m(n)$  multipliziert. Der resultierende Ausgang für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl an jedem Arrayelement-Modul ergibt sich dann durch die Gleichung 1.

$$\underline{\Sigma}_{k,m}(n) = \underline{W}_{k,m}(i)\underline{X}_m(n) + \underline{\Sigma}_{k,m-1}(n) \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei:

$\underline{\Sigma}_{k,m}(n)$  der Ausgang der  $m^{\text{ten}}$  Gewichtungsschaltung für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl bei einer Abtastzeit  $n$  ist;

$\underline{\Sigma}_{k,m-1}(n)$  der Ausgang der vorhergehenden  $(m-1)^{\text{ten}}$  Gewichtungsschaltung für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl bei einer Abtastzeit  $n$  ist;

$\underline{W}_{k,m}(i)$  das gemischte zusammengesetzte Gewicht für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl und das  $m^{\text{te}}$  Arrayelement-Modul bei einer Iteration  $i$  ist;

$\underline{X}_m(n)$  die zusammengesetzte Empfangsprobe des  $m^{\text{ten}}$  Arrayelement-Moduls bei einer Abtastzeit  $n$  ist;  $n$  der Probenindex ist.

**[0081]** Basierend auf Gleichung 1 wird das resultierende Ausgangssignal der letzten Gewichtungsschaltung in dem letzten Arrayelement-Modul  $M$  für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl in Gleichung 2 angegeben.

$$\underline{\Sigma}_{k,M}(n) = \underline{W}_{k,M}(i)\underline{X}_M(n) + \underline{\Sigma}_{k,M-1}(n) = \sum_{m=1}^M \underline{W}_{k,m}(i)\underline{X}_m(n) \quad \text{Gleichung 2}$$

#### ADAPTIVE STRAHLFORMUNG

**[0082]** In einer Ausführungsform werden die gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,m}(i)$  sowohl durch den Min-Max-Adaptionsalgorithmus als auch den Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus bestimmt. Der Zweck des Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus ist das Steuern einer Null in die Richtung von Störsignalen, die durch die Nebenkeulen empfangen werden, ohne dass dabei der Hauptstrahl wesentlich betroffen ist. Durch ein interaktives Bewegen der Nullstellen des adaptiven Antennendiagramms in die Richtung der gemessenen Störsignale, wie nachstehend erwähnt, ist der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus bestrebt, eine Null in die Richtung eines Störsignals zu steuern, die gemäß den aktuellen Betriebsbedingungen durch den Nebenkeulenbereich empfangen werden. Der Zweck des Min-Max-Adaptionsalgorithmus ist die Begrenzung des Maximalwerts des Gewinns der Nebenkeulen, wie zum Beispiel die Beibehaltung eines relativ einheitlichen Gewinns der Nebenkeulen oder das Halten der Nebenkeulen unter einem vorgegebenen Maximum. Im allgemeinen bewirkt eine Abnahme des Gewinns einer Nebenkeule (wie diese zum Beispiel durch den Einschub einer Null in der Nebenkeule bewirkt wird) eine Zunahme des Gewinns einer anderen der Nebenkeulen. Durch Reduzieren des Gewinns der Nebenkeule mit dem höchsten Gewinn ist der Min-Max-Adaptionsalgorithmus bestrebt, die Nebenkeulen auf einem relativ einheitlichen Gewinn zu halten.

**[0083]** [Fig. 11](#) ist ein Graph, der das Gewinn diagramm eines achtstrahligen ( $k = 8$ ) Arrays zeigt, das entworfen wurde, um für eine Versorgung eines Azimut-Sektors von 120 Grad zu sorgen. Jeder Strahl ist so gestaltet, dass er einen Subsektor von etwa 15 Grad mit einem zweidimensionalen Beam Pattern ähnlich wie das in den [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) gezeigte abdeckt. Es zeigt sich, dass der maximale nichtadaptierte Gewinn der Nebenkeulen der acht Hauptstrahlen mehr als 30 dB unter dem maximalen Gewinn der Hauptstrahlen liegt.

**[0084]** [Fig. 12](#) ist ein Graph, der ein einziges nichtadaptiertes Beam Pattern anhand der gestrichelten Linie **186** und ein adaptiertes Beam Pattern anhand der durchgezogenen Linie **188** zeigt. Es ist zu bemerken, dass das nichtadaptierte Beam Pattern ein regelmäßiges Nebenkeulendiagramm hat. In [Fig. 12](#) wird ein Mobilstation-Signal **190** bei etwa  $-42$  Grad von der Ziellinie empfangen, ein Mobilstation-Signal **192** wird bei etwa  $-52$  Grad von der Ziellinie empfangen und Mobilstation-Signale **194** und **196** werden bei etwa 44 bzw. 78 Grad von der Ziellinie empfangen.

**[0085]** Die durchgezogene Linie in [Fig. 12](#) repräsentiert das adaptierte Beam Pattern. Es ist zu bemerken,

dass die Hauptkeule bis zu einem gewissen Grad betroffen war, jedoch nicht wesentlich. Wie vorstehend erwähnt, wirkt die von den Mobilstationen, die im Versorgungsbereich der Nebenkeulen arbeiten, empfangene Energie als Interferenz gegenüber den Mobilstationen, die im Versorgungsbereich der Hauptkeule arbeiten. Deshalb ist es vorteilhaft, eine Antennen-Null in die Richtung der Mobilstationen zu steuern, die ein Störsignal erzeugen, um den durch diese Signale erzeugten Störpegel zu reduzieren. In [Fig. 12](#) ist zu bemerken, dass Nullstellen durch den Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus bei geschätzten  $-40$ ,  $46$  und  $76$  Grad gesteuert wurden. Auf diese Weise wird der adaptive Gewinn des Strahls bei einem Winkel, unter dem das Mobilstation-Signal **190** empfangen wird, von einem nichtadaptierten Wert von etwa  $-36$  dB auf einen adaptierten Gewinn von weniger als  $-60$  dB reduziert. Ebenso wird der adaptive Gewinn des Strahls bei einem Winkel, unter welchem das Mobilstation-Signal **194** empfangen wird, von einem nichtadaptierten Wert von etwa  $-40$  dB auf einen adaptierten Gewinn von etwa  $-45$  dB reduziert. Ähnlich wird der adaptive Gewinn des Strahls bei einem Winkel, unter welchem das Mobilstation-Signal **196** empfangen wird, von einem nichtadaptierten Wert von etwa  $-45$  dB auf einen adaptierten Gewinn von weniger als  $-50$  dB reduziert.

**[0086]** Vergleichend die adaptierten und nichtadaptierten Strahlen ist zu bemerken, dass der maximale Absolutwert der Nebenkeulen nicht wesentlich angestiegen ist.

**[0087]** Zum Beispiel beträgt der maximale Absolutwert der nichtadaptierten Nebenkeulen etwa  $-34$  dB bei etwa  $\pm 61$  Grad von der Ziellinie, und der maximale Absolutwert der adaptierten Nebenkeulen beträgt etwa  $-33$  dB bei etwa  $+35$  Grad von der Ziellinie. Der Min-Max-Adaptionsalgorithmus wirkt dahingehend, dass er diese relativ konstanten Nebenkeulenpegel durch den gesamten Adaptionsprozess hindurch beibehält. Dadurch wird einiges an Genauigkeit beim Placieren der Nullstellen mit dem Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus dem Prozess für die Beibehaltung von relativ gleichmäßigen Nebenkeulen durch den Min-Max-Adaptionsalgorithmus geopfert.

**[0088]** Wenn zum Beispiel eine weitere Null an der Stelle des Mobilstation-Signals **192** zu placieren wäre, wäre der Gewinn der resultierenden Nebenkeule wesentlich höher als  $-35$  dB. Ebenso würde der Gewinn der ersten Nebenkeule weiter ansteigen, wenn die Null bei  $47$  Grad näher zu dem Mobilstation-Signal **194** (und daher näher zur Hauptkeule) gerückt werden würde. Ohne die Anwendung des Min-Max-Adaptionsalgorithmus könnten die Nebenkeulengewinne so ansteigen, dass sie fast so hoch sind wie die Hauptkeule oder sogar höher. In einer solchen Situation entsteht ein Problem, wenn sich ein Signal einer neuen Mobilstation (oder ein neues Mehrwegsignal von einer der bestehenden Mobilstationen) in dem hohen Gewinnbereich der Nebenkeule entwickelt. Die durch die Nebenkeule mit hohem Gewinn empfangene Störung kann dem Systembetrieb sehr schaden, bis der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus reagieren kann, um das neue Signal zu kompensieren. Deshalb ist es vorteilhaft, den maximalen Gewinn in den Nebenkeulen zu begrenzen, um diese hohen Störpegel zu verhindern.

**[0089]** In einer Ausführungsform wird der Gewinn der Nebenkeule auf ein absolutes Niveau begrenzt. In anderen Ausführungsformen kann der Gewinn der Nebenkeulen hinsichtlich der Hauptkeule oder einer anderen Referenz oder in Bezug aufeinander begrenzt werden (d.h. die Nebenkeulen werden auf einem einheitlichen Niveau gehalten).

**[0090]** Obwohl die relative Amplitude der Mobilstation-Signale in [Fig. 12](#) nicht dargestellt ist, ist die durch die Mobilstation-Signale verursachte Störung in der Realität sowohl eine Funktion des Antennengewinns als auch der Amplitude des Mobilstation-Signals. Mit Bezug auf das in [Fig. 12](#) entwickelte Adaptionsdiagramm kann das Mobilstation-Signal **192** im Vergleich zu den anderen eine relativ geringe Signalleistung aufweisen und erfordert daher im Vergleich zu dem Mobilstation-Signal **190** keine Verringerung des Antennengewinns.

**[0091]** Gleichung 3 stellt das mathematische Verhältnis zwischen dem Ausgang des Min-Max-Adaptionsalgorithmus, dem Ausgang des Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus und dem gemischten Übertragungsgewicht für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl dar.

$$\underline{W}_{k,m}(i) = \underline{A}_{k,m}(i) - \underline{B}_{k,m}(i)$$

Gleichung 3

wobei:

$\underline{A}_{k,m}(i)$  das zusammengesetzte Gewicht ist, wie durch den Min-Max-Adaptionsalgorithmus für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl des  $m^{\text{ten}}$  Moduls bestimmt;

$\underline{B}_{k,m}(i)$  das zusammengesetzte Gewicht ist, wie durch den Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl des  $m^{\text{ten}}$  Moduls bestimmt; und

$i$  der Adaptionsindex ist, der typisch mit einer niedrigeren Rate läuft als der Probenindex  $n$ .

**[0092]** Erneut beziehend auf [Fig. 6C](#) ist zum Beispiel der Wert des gemischten zusammengesetzten Gewichts  $\underline{W}_{k,1}$  gleich  $\underline{A}_{k,1} + \underline{D}_{k,1}$ ,  $\underline{\beta}_{k,1}$ , und der Wert des gemischten zusammengesetzten Gewichts  $\underline{W}_{k,2}$  ist gleich  $\underline{A}_{k,2} + \underline{D}_{k,2}$ ,  $\underline{\beta}_{k,1} + \underline{D}_{k,1}$ ,  $\underline{\beta}_{k,2}$ . Wenn man daher Gleichung 3 mit diesen Gleichungen vergleicht, stellt man fest, das  $\underline{B}_{k,m}$  eine Funktion der zusammengesetzten Phantom-Hilfsgewichte  $\underline{D}_{k,1}$ ,  $\underline{D}_{k,P}$  und  $\underline{\beta}_{k,1}$ ,  $\underline{\beta}_{k,0}$  ist.

**[0093]** Die Werte von  $\underline{A}_{k,m}(i)$  und  $\underline{B}_{k,m}(i)$  werden jeweils durch den Digitalprozessor **164** unter Anwendung des Min-Max-Adaptionsalgorithmus und des Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus bestimmt. Diese Werte werden dann in die Gleichung 3 eingesetzt, um die Werte der gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,m}(i)$  zu bestimmen, die den Arrayelement-Modulen **140A–140M** zugeführt werden. Obwohl die Algorithmen hier unter Bezugnahme auf das in den [Fig. 6C](#) bis [Fig. 10](#) gezeigte System beschrieben sind, sind die Algorithmen gleichermaßen auf andere Systeme anwendbar, wie zum Beispiel auf jene, die in den [Fig. 4](#), [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigt sind, sowie auf andere.

MIN-MAX-ADAPTIONSALGORITHMUS

**[0094]** Der Min-Max-Adaptionsalgorithmus ist ein Algorithmus mit offener Schleife, das heißt, dass die gewünschten Werte auf der Grundlage von Kalibrierungsdaten berechnet werden, dass aber keine Messung der Wirkungen der Werte durchgeführt wird. Um den maximalen Gewinn der Nebenkeulen zu begrenzen, bestimmt der Min-Max-Adaptionsalgorithmus zuerst den Winkel der Nebenkeule mit dem höchsten Gewinn,  $\theta_{k-Max}$ . Der Min-Max-Adaptionsalgorithmus evaluiert dann den Vektor von dieser Nebenkeule,  $\underline{\Gamma}_{k,m}(i, \theta_{k-Max})$  und modifiziert inkrementell den Wert des zusammengesetzten Gewichts  $\underline{A}_{k,m}(i)$ , um den Gewinn der Nebenkeule mit dem größten Gewinn zu reduzieren.

**[0095]** Das theoretische Diagramm für den  $k^{ten}$  Strahl eines M-Element-Arrays ist nachstehend durch Gleichung 4 angegeben.

$$\underline{E}_k(\theta_k, \Phi_k) = \sum_{m=1}^M \underline{W}_{k,m}(i) e^{j[m(\frac{\lambda}{d})d(\sin \theta_k - \sin \Phi_k)]} \quad \text{Gleichung 4}$$

wobei:

- $\underline{E}_k(\theta_k, \Phi_k)$  das theoretische Diagramm für den  $k^{ten}$  Strahl ist;
- $d$  der Abstand zwischen Elementen des Antennenarray in Meter ist;
- $\lambda$  die Wellenlänge des Empfangssignals in Meter ist;
- $\Phi_k$  der Winkel des  $k^{ten}$  Hauptstrahls der Azimut-Ziellinie ist; und
- $\theta_k$  der Evaluationswinkel ist, über welchen das theoretische Diagramm bestimmt wird.

**[0096]** Der Winkelbereich der Nebenkeulen des  $k^{ten}$  Strahls ist definiert als der gesamte Versorgungsbereich des  $k^{ten}$  Strahls minus des Hauptstrahlbereichs zwischen den Nullen, die den Hauptstrahl einschnüren. Der Winkelbereich der Nebenkeulen wird numerisch über  $\theta_k$  recherchiert, um die Winkelstelle des Nebenkeulenpeak mit der größten Größe  $\theta_{k-Max}$  zu finden. Der Vektor bei  $\theta_{k-Max}$  wird durch Gleichung 5 angegeben.

$$\underline{\Gamma}_{k,m}(i, \theta_{k-Max}, \Phi_k) = |\underline{E}_k(\theta_{k-Max}, \Phi_k)| e^{j[m(\frac{\lambda}{d})d(\sin \theta_{k-Max} - \sin \Phi_k)]} \quad \text{Gleichung 5}$$

wobei:

- $\underline{\Gamma}_{k,m}(i, \theta_{k-Max})$  der Vektor bei  $\theta_{k-Max}$  ist;
- $\theta_{k-Max}$  etwa der Winkel des Peaks der Nebenkeule mit größten Gewinn für den  $k^{ten}$  Strahl ist; und
- $\underline{E}_k(\theta_{k-Max}, \Phi_k)$  der Gewinn des  $k^{ten}$  Diagramms bei  $\theta_{k-Max}$ , d.h. etwa der Spitzengewinn der Nebenkeule mit der größten Größe ist.

**[0097]** Der Wert des durch Gleichung 5 angegebenen Vektors wird zur Bestimmung der  $i^{ten}$  Iteration der zusammengesetzten Gewichte,  $\underline{A}_{k,m}(i)$ , unter Verwendung eines Einheitsvektors in der Richtung des Vektors verwendet, um die inkrementelle Änderung gemäß Gleichung 6 zu definieren.

$$\underline{A}_{k,m}(i) = \rho_A \cdot \underline{A}_{k,m}(i-1) - v_A \cdot \underline{\Gamma}_{k,m}(i-1, \theta_{k-Max}, \Phi_k) / |\underline{\Gamma}_{k,m}(i-1, \theta_{k-Max}, \Phi_k)| \quad \text{Gleichung 6}$$

wobei:

- $\rho_A$  die Abklingkonstante des Min-Max-Adaptionsalgorithmus ist; und
- $v_A$  die Sprunggröße des Min-Max-Adaptionsalgorithmus ist.

**[0098]** Der letzte Term von Gleichung 6 (d.h. der Absolutwert des Vektors  $\theta_{k-Max}$  wie durch Gleichung 5 gegeben)



ben) normalisiert den Ergebniswert des zusammengesetzten Gewichts  $\underline{A}_{k,m}(i)$ , wie durch den Min-Max-Adaptionsalgorithmus bestimmt. Ein nicht normalisierter Wert des zusammengesetzten Gewichts kann in einer alternativen Ausführungsform verwendet werden. Die Ergebniswerte aus Gleichung 6 können in Gleichung 3 verwendet werden, um den nächsten iterativen Wert des gemischten zusammengesetzten Gewichts  $\underline{W}_{k,m}(i)$  zu bestimmen, der an die Arrayelement-Module übergeben wird.

**[0099]** Um eine gewünschte Leistung des Min-Max-Adaptionsalgorithmus mit offener Schleife zu erzielen oder zu erhöhen, ist es wichtig, dass die räumliche (geographische) und zeitliche (Frequenzbereich) Übertragungsfunktion der zu erstellenden Array-Elemente entweder durch Design, Kalibrierung oder eine Kombination von beidem bestimmt wird. Die dreidimensionalen kartesischen Koordinaten (x,y,z) der Mitte eines jeden Array-Elements und die Ausrichtung seiner Achse relativ zu dem Array sowie der Gewinn eines jeden Elements versus Azimut- und Elevationswinkel, gemessen von der Normalen, sollten bestimmt werden. Eine komplexe Gewinnkorrektur für jedes Array-Element kann durch eine Kalibrierung unter Verwendung einer externen Referenzquelle gemäß hinreichend bekannten Methoden bestimmt werden. Die komplexe Gewinnkorrektur kann in die Gewichtungsterme eingegliedert werden. Die vorstehend beschriebene Ausführungsform nimmt an, dass die komplexe Gewinnkorrektur, falls notwendig, in den Initialwert der zusammengesetzten Gewichte eingegliedert wurde. Es sollte beachtet werden, dass diese Korrekturen normalerweise nicht ausreichend genau sind, um für eine Unterdrückung hoher Störpegel zu sorgen, die die Anwendung eines parallelen Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus mit geschlossenem Regelkreis erfordert.

### NULLSTEUER-ADAPTIONSALGORITHMUS

**[0100]** Der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus wird verwendet, um Signale in den Nebenkeulen durch das Kombinieren eines Satzes von realen oder Phantomhilfsstrahl-Ausgängen mit dem Ausgang des Hauptstrahls zu unterdrücken. Wie in den [Fig. 6A–Fig. 6C](#) gezeigt ist, werden anstelle der Verwendung von separaten Hilfsantennen in einer Ausführungsform die Phantom-Hilfsstrahlen unter Verwendung der zusammengesetzten Gewichte  $\underline{D}_{k,1}$  und  $\underline{D}_{k,2}$  synthetisiert. Im allgemeinen kann eine beliebige Anzahl von zusammengesetzten Gewichten ( $\underline{D}_{k,p}$ ,  $p = 1 \dots P$ ,  $P < M$ ), die mit einer entsprechenden Anzahl von Arrayelementen gekoppelt sind, zum Bilden von Q unabhängigen Phantom-Hilfsstrahlen verwendet werden, wobei  $Q < [M-P + 1]$  ist. Ferner sind in dem in den [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) dargestellten Beispiel die zusammengesetzten Gewichte  $\underline{D}_1$  und  $\underline{D}_2$  für nur einen Strahl k gezeigt. Um die Vorstellung so zu erweitern, dass sie ein volles System umfasst, sind die komplexen Gewichte  $\underline{D}_1$  und  $\underline{D}_2$  für k,  $\underline{D}_{k,1}$  und  $\underline{D}_{k,2}$  unterstrichen, um ihre Anwendbarkeit auf den bestimmten  $k^{\text{ten}}$  Strahl anzuzeigen, wie in [Fig. 6C](#) gezeigt.

**[0101]** Der einfachste solche Phantom-Hilfsstrahl in dem illustrierten Beispiel mit zwei Elementen, wie in [Fig. 4](#) gezeigt, verwendet zwei benachbarte Elemente mit Gewichtsblock mit einer Null in der Richtung  $\Phi_k$ . Durch die Verwendung von zusätzlichen Elementen können breitere Nullen gebildet werden. Zum Beispiel ist das Antennendiagramm **84** mit einer breiten Null in [Fig. 5](#) gezeigt, welches gebildet wird durch die Verwendung von 4 Array-Elementen ( $P = 4$ ) für jeden Phantom-Hilfsstrahl.

**[0102]** Der Ausgang der Phantom-Hilfsstrahlen entsprechend dem  $k^{\text{ten}}$  Strahl ist mathematisch in Gleichung 7 angegeben.

$$\underline{Z}_{k,q}(n) = \underline{D}_{k,1}X_q(n) + \dots \underline{D}_{k,P}X_{p+n-1}(n), \quad q = 1 \dots Q < [M-P + 1] \quad \text{Gleichung 7}$$

wobei:

$\underline{Z}_{k,q}(n)$  der zusammengesetzte Ausgang der  $q^{\text{ten}}$  Phantom-Hilfsstrahlen für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl ist;

$\underline{D}_{k,p}$  das zusammengesetzte Gewicht ist, welches den Beitrag des  $p^{\text{ten}}$  Array-Elements zu dem Phantom-Antennendiagramm für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl bestimmt;

P die Gesamtzahl von Array-Elementen ist, die zur Bildung eines Phantom-Hilfsstrahls verwendet werden; und

Q die Gesamtzahl von Phantom-Hilfsstrahlen ist.

**[0103]** Von dem durch die zusammengesetzten Gewichte  $\underline{D}_{k,p}$  bestimmten Phantom-Antennendiagramm unterdrückt der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus Signale in der Nebenkeule des  $k^{\text{ten}}$  Strahls durch Einstellen des Werts des zusammengesetzten Gewichts  $\underline{\beta}_{k,q}(i)$ , wie das ohne weiteres mit Bezug auf die [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) zu erkennen ist. Der eingestellte Wert wird dann von dem Ausgang des  $k^{\text{ten}}$  Strahls subtrahiert, wie ebenfalls ohne weiteres mit Bezug auf die [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) zu sehen ist. Dadurch wird der resultierende Ausgang für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl in Gleichung 8 angegeben.

$$\underline{\Sigma}_{k,M}(n) = \sum_{m=1}^M \underline{A}_{k,m}(i) \underline{X}_m(n) - \sum_{q=1}^Q \underline{Z}_{k,q}(n) \underline{\beta}_{k,q}(i) \quad \text{Gleichung 8}$$

[0104] Das gemischte Ausgangssignal,  $\underline{\Sigma}_{k,M}(n)$ , wird gefiltert und seine komplexe Konjugierte wird zur Bildung des zusammengesetzten Adaptionfehlers  $\underline{\epsilon}_k(n)$  herangezogen.

[0105] Der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus bestimmt die zusammengesetzten Gewichte  $\underline{\beta}_{k,q}(i)$ , die die gesamte Energie minimieren (d.h. die die Quadratgröße des zusammengesetzten Adaptionfehlersignals  $\underline{\epsilon}_k(n)$  minimieren), unter Anwendung einer Methode mit einem Zufallsvektor ähnlich wie dem in dem Min-Max-Adaptionsalgorithmus verwendeten. Der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus verwendet den Vektor  $\underline{\Delta}_{k,q}(i)$ , der das zusammengesetzte Adaptionfehlersignal  $\underline{\epsilon}_k(n)$  mit den Ausgängen der Phantom-Hilfsstrahlen gemäß Gleichung 9 korreliert.

$$\underline{\Delta}_{k,q}(i) = \sum_{n=L \cdot (i-1)+1}^{L \cdot i} \underline{Z}_{k,q}(n) \underline{\epsilon}_k(n) = \sum_{m=q}^{P+q} \underline{D}_{k,m} \underline{C}_{k,m}(i) \quad \text{for } q = 1 \text{ to } Q \quad \text{Gleichung 9}$$

wobei:

$\underline{\Delta}_{k,q}(i)$ , der Vektor des zusammengesetzten Adaptionfehlersignals  $\underline{\epsilon}_k(n)$  für den  $q^{\text{ten}}$  Phantom-Hilfsstrahl ist;  
 $\underline{C}_{k,m}(i)$  die Kreuzkorrelations-Messproben für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl des  $m^{\text{ten}}$  Arrayelement-Moduls sind;  
 $\underline{\epsilon}_k(n)$  das zusammengesetzte Adaptionfehlersignal für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl ist; und  
 L die Anzahl von Proben ist, die bei der Kreuzkorrelations-Messung verwendet werden.

[0106] Wie oben erwähnt, wird der Effekt der Phantom-Antennenelementgewichte  $\underline{D}_{k,m}(i)$  hier mathematisch angewandt, um die Effekte der von dem Hauptstrahl empfangenen Signalenergie zu reduzieren. In Gleichung 9 können die Kreuzkorrelations-Messproben  $\underline{C}_{k,m}(i)$  mathematisch gemäß Gleichung 10 ausgedrückt werden.

$$\underline{C}_{k,m}(i) = \sum_{n=L \cdot (i-1)+1}^{L \cdot i} \underline{X}_m(n) \underline{\epsilon}_k(n) \quad \text{Gleichung 10}$$

[0107] Indem der durch Gleichung 9 definierte Vektor verwendet wird, wird der K-Dimensionsübertragungs-Gewichtsvektor wie durch den Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus für das  $m^{\text{te}}$  Modul bestimmt durch Gleichung 11 angegeben.

$$\underline{\beta}_{k,q}(i) = \rho_{\beta} \cdot \underline{\beta}_{k,q}(i-1) + v_{\beta} \cdot \underline{\Delta}_{k,q}(i-1) / |\underline{\Delta}_{k,q}(i-1)| \quad \text{Gleichung 11}$$

wobei:

$\rho_{\beta}$  die Abklingkonstante der iterativen Gleichung des Phantom-Hilfsantennengewichts ist; und  
 $v_{\beta}$  die Iterations-Sprunggröße für eine Phantom-Hilfsantennengewichtskorrektur ist.

[0108] Ein ungenormter Wert des Vektors kann bei alternativen Implementierungen von Gleichung 11 verwendet werden.

[0109] Wie vorstehend erwähnt, ist es anstelle einer direkten Anwendung der adaptiven Gewichte  $\underline{\beta}_{k,q}$  auf die Ausgänge der Phantom-Hilfsstrahlen möglich, den Umfang der notwendigen Berechnungen zu reduzieren, indem die Gleichungen in einen neuen Satz von adaptiven Gewichten  $\underline{\beta}_{k,q}$  transformiert werden, die direkt an den zusammengesetzten Empfangsproben  $\underline{X}(n)$  wirksam sind, wie in den [Fig. 6C](#) und [Fig. 7](#) gezeigt. Dies geschieht für die bevorzugte Ausführungsform, wobei die maximale Anzahl von Phantom-Hilfsstrahlen,  $Q = [M - P + 1]$ , für M Elemente verwendet wird. Für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl wird der summierte Ausgang des gewichteten Phantom-Hilfsstrahls durch Gleichung 12 angegeben.

$$\begin{aligned} \sum_{q=1}^Q \underline{\beta}_{k,q}(i) \underline{Z}_{k,q}(n) &= \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^{M-Q+1} \underline{\beta}_{k,q}(i) \underline{D}_{k,p} \underline{X}_{q+p-1}(n) \\ &= \sum_{m=1}^M \underline{X}_m(n) \underline{B}_{k,m}(i) \end{aligned} \quad \text{Gleichung 12}$$

[0110] Der zweite Ausdruck der obenstehenden Gleichung 12 wird als das zusammengesetzte Gewicht  $\underline{B}_{k,m}(i)$

und die zusammengesetzte Empfangsprobe  $\underline{X}_m(n)$  zum Ausdruck gebracht, durch Gruppieren von Termen, die jedem Arrayelement-Modul zugeordnet sind. Der Wert von  $\underline{B}_{k,q}$  wird durch Gleichung 13 definiert.

$$\begin{aligned}\underline{B}_{k,m}(i) &= \sum_{p=1}^m \underline{D}_{k,p} \underline{\beta}_{k,m-p+1}(i), & \text{for } 1 \leq m \leq M-Q+1 \\ &= \sum_{p=1}^{m-Q+1} \underline{D}_{k,p} \underline{\beta}_{k,m-p+1}(i), & \text{for } M-Q+2 \leq m \leq Q-1 \\ &= \sum_{p=m-Q+1}^{M-Q+1} \underline{D}_{k,p} \underline{\beta}_{k,m-p+1}(i), & \text{for } Q \leq m \leq M\end{aligned} \quad \text{Gleichung 13}$$

**[0111]** Der Ergebniswert der gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_m(i)$ , die von dem  $m^{\text{ten}}$  Arrayelement-Modul zu verwenden sind, werden durch Einsetzen der Werte von Gleichung 13 in Gleichung 3 bestimmt. Die gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,m}(i)$  spiegeln die Adaptionseffekte sowohl des Min-Max-Adaptionsalgorithmus als auch des Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus wider.

**[0112]** [Fig. 13](#) ist ein Flussdiagramm, das den Funktionsablauf gemäß einer Ausführungsform des Adaptionsverfahrens darstellt. In Block **210** wird das theoretische Diagramm für den  $k^{\text{ten}}$  Strahl des  $M^{\text{ten}}$  Array-Elements wie bspw. nach Gleichung 4 bestimmt, unter Verwendung des Initialwerts bei Iteration  $i = 0$  der zusammengesetzten Gewichte  $\underline{A}_{k,m}(0)$ . Der Initialwert der zusammengesetzten Gewichte, wie durch den Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus bestimmt,  $\underline{B}_{k,m}(0)$ , ist 0, weshalb der Wert von  $\underline{W}_{k,m}(0) = \underline{A}_{k,m}(0)$  ist. Der Wert des theoretischen Diagramms wird bei  $N_{\text{sample}}$  verschiedenen Werten des Evaluationswinkels,  $\theta_k$ , bestimmt.

**[0113]** In Block **212** wird ein Satz von Winkeln bestimmt, über welche die Nebenkeulen des Diagramms evaluiert werden. In einer Ausführungsform wird Block **212** vor Block **210** abgearbeitet, und der Wert von Gleichung 4 wird nur für solche Evaluationswinkel bestimmt, die in den Nebenkeulenbereich,  $\theta_{k\text{-sidelobe}}$ , fallen.

**[0114]** In Block **214** wird das aktualisierte theoretische Diagramm wie bspw. nach Gleichung 4 gemäß dem aktuellen Wert des gemischten zusammengesetzten Gewichts,  $\underline{W}_{k,m}(n)$ , berechnet. Es ist anzumerken, dass diese Werte für  $i = 0$  bereits in Block **210** bestimmt wurden, weshalb dieser Block während des ersten Durchgangs durch den anhand der Flusspfeile in [Fig. 13](#) angegebenen Ablauf nicht ausgeführt werden muss.

**[0115]** In Block **216** werden der maximale Gewinnwert der Nebenkeule des theoretischen Diagramms und sein entsprechender Winkel gewählt. In einer Ausführungsform ist Block **216** als einfache Suche der oben bestimmten theoretischen Werte implementiert. In Block **218** wird der Vektor bei einem gewählten maximalen Gewinnwert wie bspw. nach Gleichung 5 bestimmt. In Block **220** wird der K-Dimensionsübertragungs-Gewichtsvektor  $\underline{A}_m(i)$  wie bspw. nach Gleichung 6 bestimmt, wozu die Werte  $\rho_A$  und  $v_A$  verwendet werden.

**[0116]** Der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus beginnt in Block **230**, wo die Kreuzkorrelations-Messproben,  $\underline{C}_{k,m}(i)$  des  $k^{\text{ten}}$  Strahls für den aktuellen Wert von  $i$  empfangen werden. In Block **232** wird der Vektor des Adaptionsfehlers  $\underline{\Delta}_{k,q}(i)$  wie bspw. nach Gleichung 9 unter Verwendung der zusammengesetzten Gewichte  $\underline{D}_{k,m}$  und der Kreuzkorrelations-Messproben  $\underline{C}_{k,m}(i)$  für jeden der Phantom-Hilfsstrahlen  $Q$  bestimmt. In Block **234** werden die zusammengesetzten Gewichte  $\underline{\beta}_{k,q}(i)$  wie bspw. nach Gleichung 11 für jeden der  $Q$  Phantom-Hilfsstrahlen unter Verwendung des berechneten Vektors und der Werte  $\rho_B$  und  $v_B$  bestimmt. In Block **236** werden die Aktualisierungs-Phantomhilfsgewichte für jedes Elementmodul basierend auf den berechneten zusammengesetzten Gewichten  $\underline{\beta}_{k,q}(i)$  und den zusammengesetzten Gewichten  $\underline{D}_{k,m}$  wie bspw. nach Gleichung 13 bestimmt.

**[0117]** In Block **238** werden die gemischten zusammengesetzten Gewichte  $\underline{W}_{k,m}(i+1)$  gemäß Gleichung 3 basierend auf der Bestimmung von Block **220** des Min-Max-Adaptionsalgorithmus und von Block **236** des Nullsteuer-Adaptionsmechanismus aktualisiert. Der Ablauf führt zurück zu Block **214** des Min-Max-Adaptionsalgorithmus, wo das aktualisierte Diagramm basierend auf den neuen gemischten zusammengesetzten Gewichten  $\underline{W}_{k,m}(i+1)$  berechnet wird, und zurück zu den Blöcken **230** und **232** des Nullsteuer-Adaptionsmechanismus, wo ein neuer Vektor basierend auf einem Folgesatz von Kreuzkorrelations-Messproben  $\underline{C}_{k,m}(i)$  bestimmt wird.

**[0118]** Der Min-Max-Adaptionsalgorithmus und der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus arbeiten parallel. Die Funktionsblöcke der beiden Algorithmen können gleichzeitig ausgeführt werden, miteinander verzahnt werden, oder beides kann kombiniert werden. Die relativen Werte von  $v_B$  und  $v_A$  können so gewählt werden, dass sie den einen oder den anderen Algorithmus favorisieren. Beispielsweise durch Vergrößern des Werts  $v_B$  ge-

genüber dem Wert  $v_A$  reduziert das resultierende Diagramm den Pegel der Nebenkeulenstörung zu Lasten eines erhöhten Pegels des maximalen Nebenkeulenpegels. Alternativ dazu kann der maximale Nebenkeulenpegel zu Lasten einer Zunahme des Störpegels verringert werden. In einer Ausführungsform werden der Min-Max-Adaptionsalgorithmus und der Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus durch Hardware- und Software-Module ausgeführt, die durch Blöcke von [Fig. 13](#) repräsentiert sind. In einer anderen Ausführungsform repräsentieren die Blöcke von [Fig. 13](#) Gruppen von Mikroprozessor-Instruktionen. In einer noch anderen Ausführungsform repräsentieren die Blöcke einen Abschnitt einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung, die speziell für die Ausführung der Funktionsblöcke entwickelt wurde.

**[0119]** Wenngleich die Erfindung vorstehend mit Bezug auf eine bestimmte Arbeitsumgebung beschrieben wurde, sind die Lehren der Erfindung allgemein auf viele Umgebungen anwendbar. Zum Beispiel kann die Verwendung von Mehrfachstrahl-Arrays mit adaptiver Nulling- und Nebenkeulen-Steuerung/Regelung eingesetzt werden, um entweder die Co-Channel-Interferenz in einem CDMA-Protokoll zu reduzieren oder um die Abhängigkeit von der zur Vermeidung einer Co-Channel-Interferenz mit TDMA- oder FDMA-Protokollen notwendigen Verwendung von Zeit oder Frequenz zu minimieren.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Adaptieren eines Richtantennenstrahls an laufende Betriebsbedingungen, umfassend:
  - das Bestimmen eines maximalen Gewinnwerts eines Nebenkeulenbereichs eines adaptiven Antennendiagramms und eines entsprechenden Winkels, unter welchem der maximale Gewinnwert erreicht wird;
  - das Bestimmen eines Min-Max-Vektors des adaptiven Antennendiagramms unter dem entsprechenden Winkel;
  - das Bestimmen eines Folgewerts eines ersten Teilgewichtungswerts nach Maßgabe eines aktuellen Werts des ersten Gewichtungswerts, einer ersten vorgegebenen Sprunggröße, einer ersten vorgegebenen Abklingkonstante und des Min-Max-Vektors, wobei der Folgewert des ersten Teilgewichtungswerts bestrebt ist, den maximalen Gewinnwert in dem Nebenkeulenbereich zu begrenzen;
  - das Bestimmen eines Null-Steuervektors eines Adaptionsfehlers auf der Grundlage eines Satzes von Kreuzkorrelations-Messproben, die die laufenden Betriebsbedingungen widerspiegeln;
  - das Bestimmen eines Folgewerts eines zweiten Teilgewichtungswerts nach Maßgabe eines aktuellen Werts des zweiten Teilgewichtungswerts, einer zweiten vorgegebenen Sprunggröße, einer zweiten vorgegebenen Abklingkonstante und des Null-Steuervektors, wobei der Folgewert des zweiten Teilgewichtungswerts bestrebt ist, eine Nullstelle in die Richtung eines Störsignals zu steuern, das durch den Nebenkeulenbereich empfangen wird; und
  - das Aktualisieren eines Strahlformungs-Gewichts auf der Grundlage des Folgewerts des ersten Teilgewichtungswerts und des Folgewerts des zweiten Teilgewichtungswerts.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Folgewert des ersten Teilgewichtungswerts dazu neigen kann, einen relativ einheitlichen Gewinn in dem Nebenkeulenbereich beizubehalten.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen des maximalen Gewinnwerts des adaptiven Antennendiagramms, das Berechnen des adaptiven Antennendiagramms in einem offenen Regelkreis umfasst.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Berechnung des adaptiven Antennendiagramms in einem offenen Regelkreis durchgeführt wird gemäß:

$$\underline{E}_k(\theta_k, \Phi_k) = \sum_{m=1}^M \underline{W}_{k,m} (i) e^{j[m(\frac{2\pi}{\lambda}) \cdot d(\sin \theta_k - \sin \Phi_k)]}$$

wobei:

$\underline{E}_k(\theta_k, \Phi_k)$  einen Gewinnwert des adaptiven Antennendiagramms unter einem Evaluationswinkel  $\theta_k$  repräsentiert;

$d$  der Abstand zwischen Antennenelementen eines die Antennenkeule erzeugenden Antennenarrays in Meter ist;

$\lambda$  die Wellenlänge eines Empfangssignals in Meter ist;

$\Phi_k$  der Mittelpunktswinkel eines Hauptstrahls des adaptiven Antennendiagramms relativ zur Ziellinie ist; und

$\theta_k$  der Evaluationswinkel ist, unter welchem der Gewinnwert evaluiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Bestimmung des Min-Max-Vektors durchgeführt wird gemäß:

$$\Gamma_m(i-1, \theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k) = |\underline{E}_k(\theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k)| e^{j[m \cdot (\frac{\pi}{2}) \cdot d(\sin \theta_{k-\text{Max}} - \sin \Phi_k)]}$$

wobei:

$\Gamma_m(i-1, \theta_{k-\text{Max}})$  der Min-Max-Vektor ist;

$\theta_{k-\text{Max}}$  etwa der entsprechende Winkel ist; und

$\underline{E}_k(\theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k)$  der maximale Gewinnwert des adaptiven Antennendiagramms unter dem entsprechenden Winkel  $\theta_{k-\text{Max}}$  ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Bestimmung des Folgewerts des ersten Teilgewichtungswerts durchgeführt wird gemäß:

$$\underline{A}_{k,m}(i) = \rho_A \cdot \underline{A}_{k,m}(i-1) - v_A \cdot \Gamma_{k,m}(i-1, \theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k) / |\Gamma_{k,m}(i-1, \theta_{k-\text{Max}}, \Phi_k)|$$

wobei:

$\underline{A}_{k,m}(i)$  der Folgewert des ersten Teilgewichtungsfaktors ist;

$\underline{A}_{k,m}(i-1)$  der aktuelle Wert des ersten Teilgewichtungsfaktors ist;

$\rho_A$  die erste vorgegebene Abklingkonstante ist; und

$v_A$  die erste vorgegebene Sprunggröße ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen des Null-Steuervektors des Adaptionfehlers das Messen eines durch die Antennenkeule empfangenen aktuellen Energie-Niveaus und das mathematische Anwenden einer Übertragungscharakteristik eines Phantom-Hilfsstrahls umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen des Null-Steuervektors des Adaptionfehlers durchgeführt wird gemäß:

$$\underline{\Delta}_{k,q}(i) = \sum_{m=q}^{P+q} \underline{D}_{k,m} \underline{C}_{k,m}(i) \text{ for } q = 1 \text{ to } Q$$

wobei:

$\underline{\Delta}_{k,q}(i)$  der Null-Steuervektor des Adaptionfehlers für einen q-ten Phantom-Hilfsstrahl für die Antennenkeule (k) ist;

$\underline{C}_{k,m}(i)$  ein Kreuzkorrelations-Messprobensatz von Signalenergie ist, die von jedem Array-Element m eines mit der Energie in einem kompensierten Ausgang der Antennenkeule gekreuzkorrelierten Antennenarray empfangen wird;

$\underline{D}_{k,p}(i)$  ein zusammengesetztes Gewicht ist, das einen Beitrag eines p-ten Array-Elements zu dem q-ten Phantom-Hilfsstrahl für die Antennenkeule bestimmt;

Q eine Gesamtzahl der Phantom-Hilfsstrahlen ist; und

P eine Gesamtzahl von Array-Elementen ist, die verwendet werden, um jeden der Phantom-Hilfsstrahlen q zu erzeugen.

9. Vorrichtung, die einen sich an laufende Betriebsbedingungen anpassenden Richtantennenstrahl erzeugt, umfassend:

– Mittel zum Bestimmen eines maximalen Gewinnwerts eines Nebenkeulenbereichs eines adaptiven Antennendiagramms und eines entsprechenden Winkels, unter welchem der maximale Gewinnwert erreicht wird;

– Mittel zum Bestimmen eines Min-Max-Vektors des adaptiven Antennendiagramms unter dem entsprechenden Winkel;

– Mittel zum Bestimmen eines Folgewerts eines ersten Teilgewichtungswerts nach Maßgabe eines aktuellen Werts des ersten Gewichtungswerts, einer ersten vorgegebenen Sprunggröße, einer ersten vorgegebenen Abklingkonstante und des Min-Max-Vektors, wobei der Folgewert des ersten Teilgewichtungswerts dazu neigt, den maximalen Gewinnwert in dem Nebenkeulenbereich zu begrenzen;

– Mittel zum Bestimmen eines Null-Steuervektors eines Adaptionfehlers basierend auf einem Satz von Kreuzkorrelationsproben, die die laufenden Betriebsbedingungen widerspiegeln;

– Mittel zum Bestimmen eines Folgewerts eines zweiten Teilgewichtungswerts nach Maßgabe eines aktuellen Werts des zweiten Teilgewichtungswerts, einer zweiten vorgegebenen Sprunggröße, einer zweiten vorgegebenen Abklingkonstante und des Null-Steuervektors, wobei der Folgewert des zweiten Teilgewichtungswerts dazu neigt, eine Nullstelle in die Richtung eines durch den Nebenkeulenbereich empfangenen Störsignals zu steuern; und

– Mittel zum Aktualisieren eines Strahlformungs-Gewichts auf der Grundlage des Folgewerts des ersten Teilgewichtungswerts und des Folgewerts des zweiten Teilgewichtungswerts.

10. Adaptives Antennensystem, umfassend:

eine Vielzahl von Arrayelement-Modulen (**24A**) mit jeweils

- einem Antennenelement (**26A**), das einen Ausgang hat,
- einem programmierbaren Verzögerungselement (**146**), von welchem ein Eingang mit dem Ausgang des Antennenelements gekoppelt ist und welches so konfiguriert ist, dass es einen verzögerten Ausgang erzeugt,
- einer Gewichtungsschaltung (**148A**), die einen mit dem verzögerten Ausgang des programmierbaren Verzögerungselements (**146**) gekoppelten Antennenproben-Eingang und einen Signalgemisch-Eingang und einen Signalgemisch-Ausgang hat, wobei die Gewichtungsschaltung (**148A**) mit einer vorhergehenden Gewichtungsschaltung in einem vorhergehenden Arrayelement-Modul kaskadenartig gekoppelt ist, so dass der Signalgemisch-Ausgang aus der vorhergehenden Gewichtungsschaltung mit dem Signalgemisch-Eingang der Gewichtungsschaltung (**148A**) gekoppelt ist, und wobei die Gewichtungsschaltung (**148A**) derart konfiguriert ist, dass sie ein zusammengesetztes Gewicht auf Proben anwendet, die von dem Antennenproben-Eingang empfangen werden, um gewichtete Antennenproben zu erzeugen, dass sie die gewichteten Antennenproben mit Proben addiert, die von dem Signalgemisch-Eingang empfangen werden, und dass sie ein resultierendes Signal an dem Signalgemisch-Ausgang zur Verfügung stellt,
- einem zweiten Verzögerungselement (**152**), von welchem ein Eingang mit dem Ausgang des Antennenelements (**26A**) gekoppelt ist und welches einen verzögerten Ausgang hat,
- einer Kreuzkorrelations-Messschaltung (**154A**) mit einem Antennenproben-Eingang, der mit dem verzögerten Ausgang des zweiten Verzögerungselements (**152**) gekoppelt ist, und mit einem adaptiven Fehler-Eingang und einem Kreuzkorrelations-Messausgang, wobei die Kreuzkorrelations-Messschaltung (**154A**) derart konfiguriert ist, dass sie von dem Antennenproben-Eingang empfangene Proben mit von dem adaptiven Fehler-Eingang empfangenen Proben kreuzkorreliert, um an dem Kreuzkorrelations-Messausgang Kreuzkorrelations-Messproben zur Verfügung zu stellen;
- und eine Adaptionsteuerung/einen Adaptionsregler (**164**) mit einem Steuerungs/Regler-Eingang, der mit dem Kreuzkorrelations-Messausgang der Kreuzkorrelations-Messschaltung (**154A**) in jedem der Vielzahl von Arrayelement-Modulen gekoppelt ist, und mit einem Gewichtungsausgang, wobei die Adaptionsteuerung/der Adaptionsregler für das Bestimmen des zusammengesetzten Gewichts konfiguriert ist, um die Gewichtungsschaltung (**148A**) in jedem der Vielzahl von Arrayelement-Modulen (**24A**) auf Grundlage der Kreuzkorrelationsproben an dem Steuerungs/Regler-Eingang vorzusehen und um das zusammengesetzte Gewicht an dem Gewichtungsausgang zur Verfügung zu stellen, wobei die Adaptionsteuerung/der Adaptionsregler (**164**) konfiguriert ist für das Bestimmen des zusammengesetzten Gewichts unter Anwendung eines Min-Max-Adaptionsalgorithmus, der dazu neigt, einen maximalen Gewinnwert in einem Nebenkeulenbereich der Antennenkeule zu begrenzen, und eines Nullsteuer-Adaptionsalgorithmus, der dazu neigt, eine Nullstelle in die Richtung eines durch den Nebenkeulenbereich empfangenen Störsignals zu steuern.

11. Adaptives Antennensystem nach Anspruch 10, wobei die Kreuzkorrelations-Messschaltung (**154A**) ferner einen verzögerten adaptiven Fehler-Ausgang hat, der für die Bereitstellung einer verzögerten Version der von dem adaptiven Fehler-Eingang empfangenen Proben konfiguriert ist, wobei die Kreuzkorrelations-Messschaltung (**154A**) mit einer vorhergehenden Kreuzkorrelations-Messschaltung in dem vorhergehenden Arrayelement-Modul kaskadenartig gekoppelt ist, derart, dass der verzögerte adaptive Fehler-Ausgang aus der vorhergehenden Kreuzkorrelations-Messschaltung mit dem adaptiven Fehler-Eingang der Kreuzkorrelations-Messschaltung (**154A**) gekoppelt ist.

12. Adaptives Antennensystem nach Anspruch 1, wobei der Signalgemisch-Ausgang einer letzten Gewichtungsschaltung in einem letzten der Vielzahl von Arrayelement-Modulen (**24A**) mit dem adaptiven Fehler-Eingang einer ersten Kreuzkorrelationsschaltung in einem ersten der Vielzahl von Arrayelement-Modulen (**24A**) gekoppelt ist.

13. Adaptives Antennensystem nach Anspruch 10, wobei jedes der Vielzahl von Arrayelement-Modulen (**24A**) eine Vielzahl der Gewichtungsschaltungen (**148A**) und eine Vielzahl der Kreuzkorrelations-Messschaltungen (**154A**) umfasst, wovon jedes Paar einer von K Antennenkeulen entspricht.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

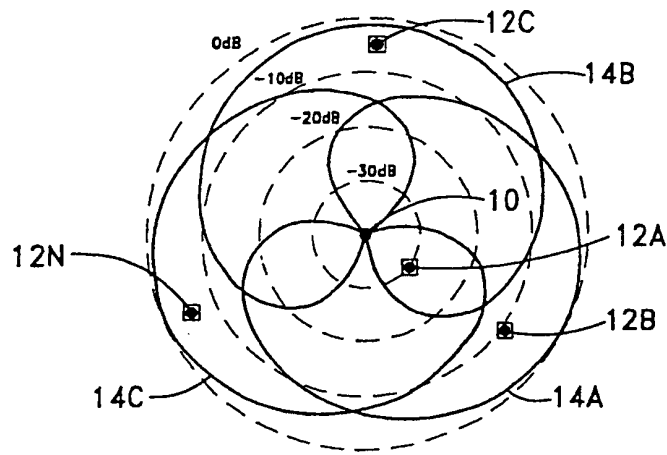


FIG. 1

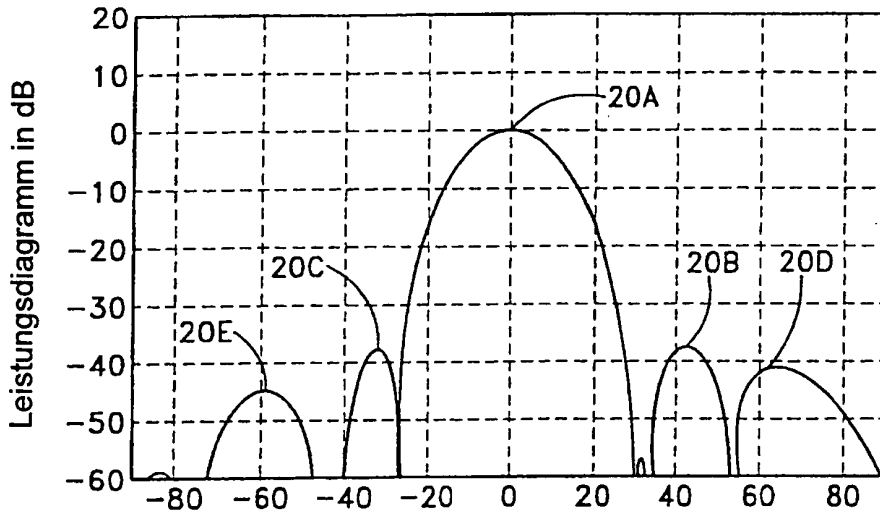


FIG. 2B

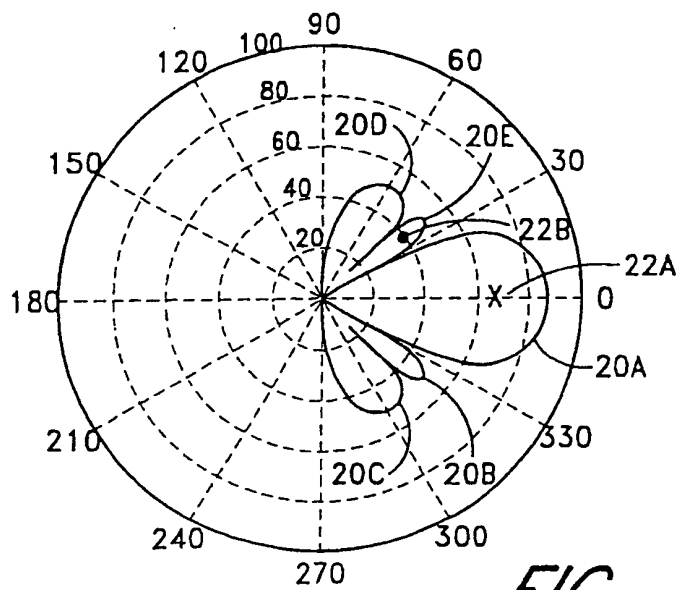
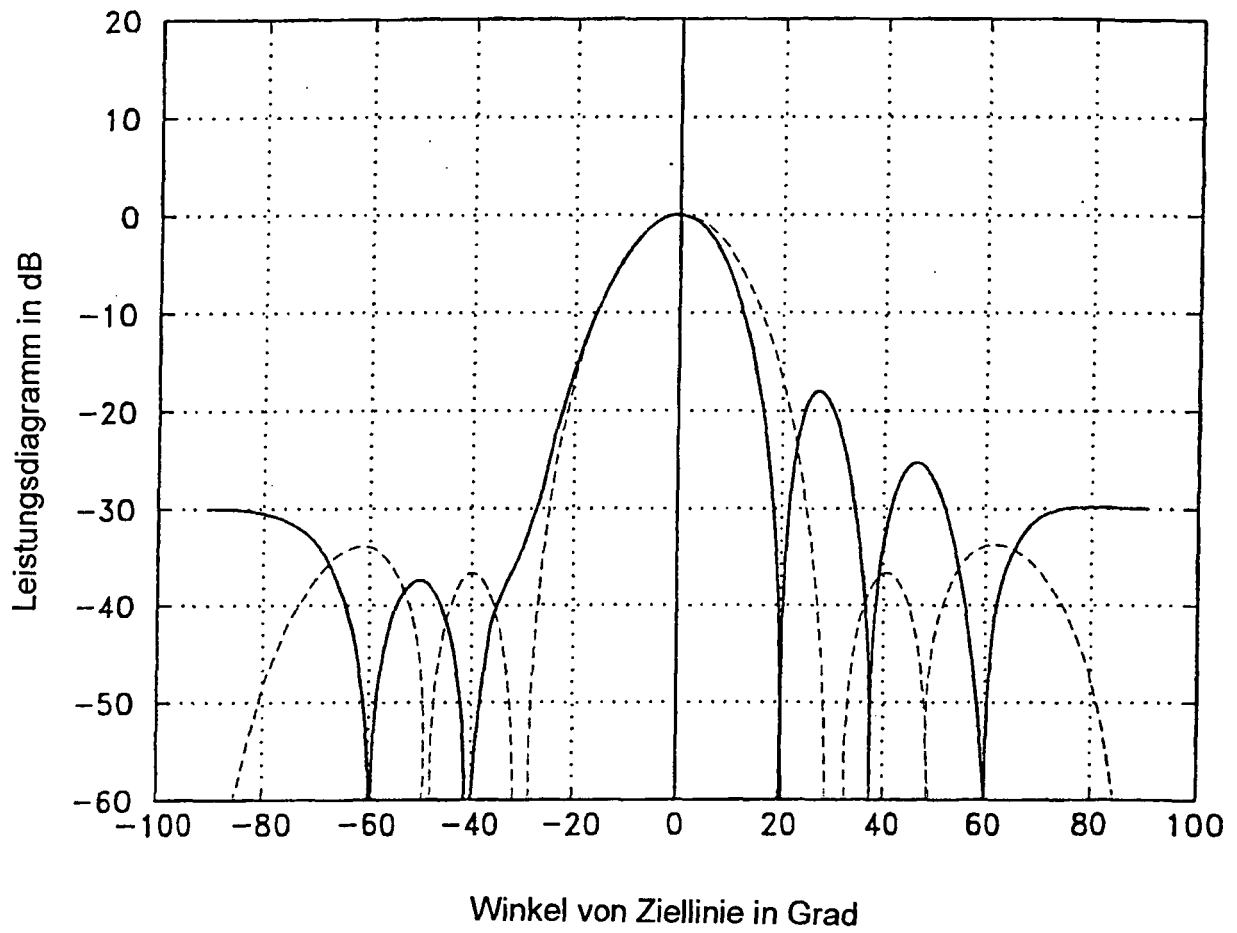
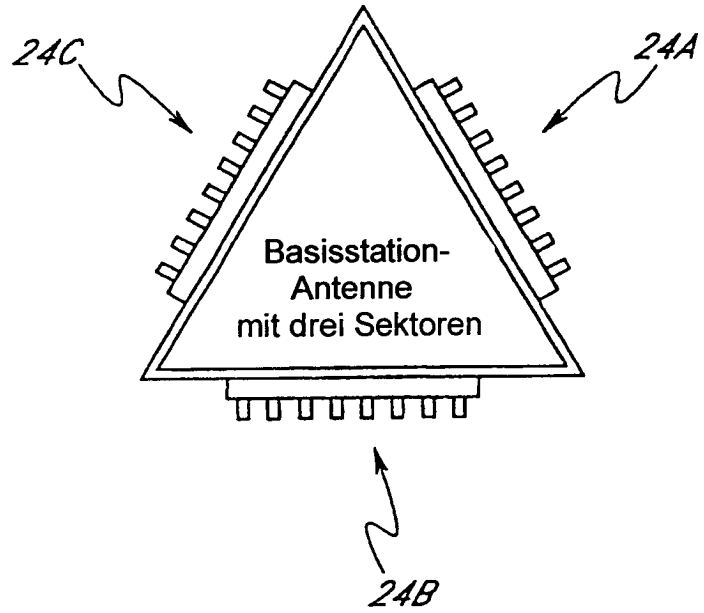


FIG. 2A

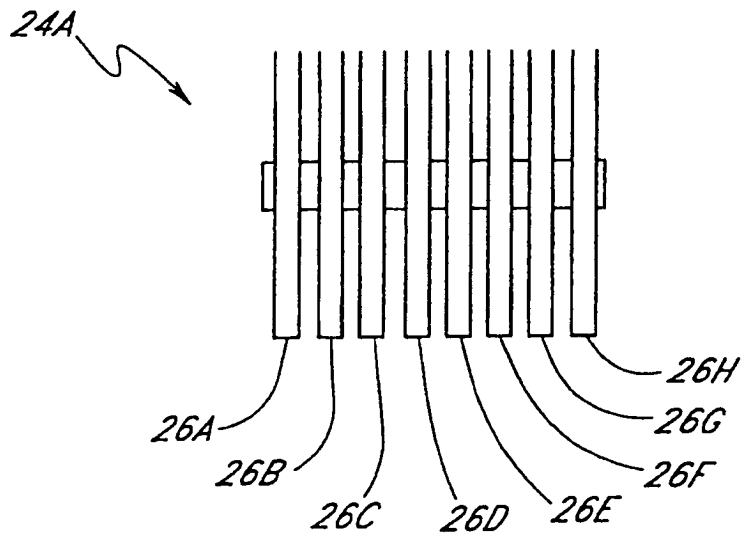




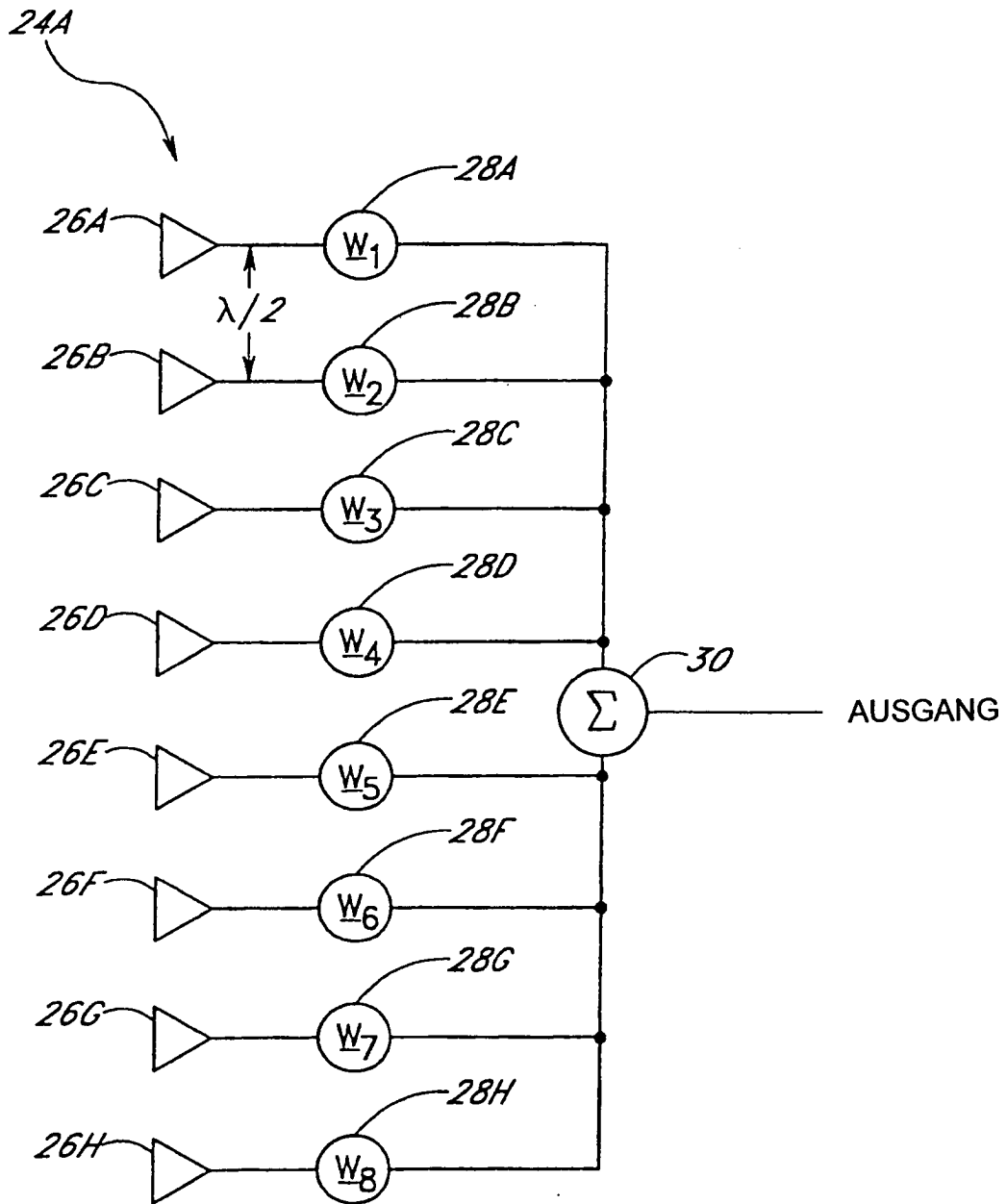
*FIG. 2C*



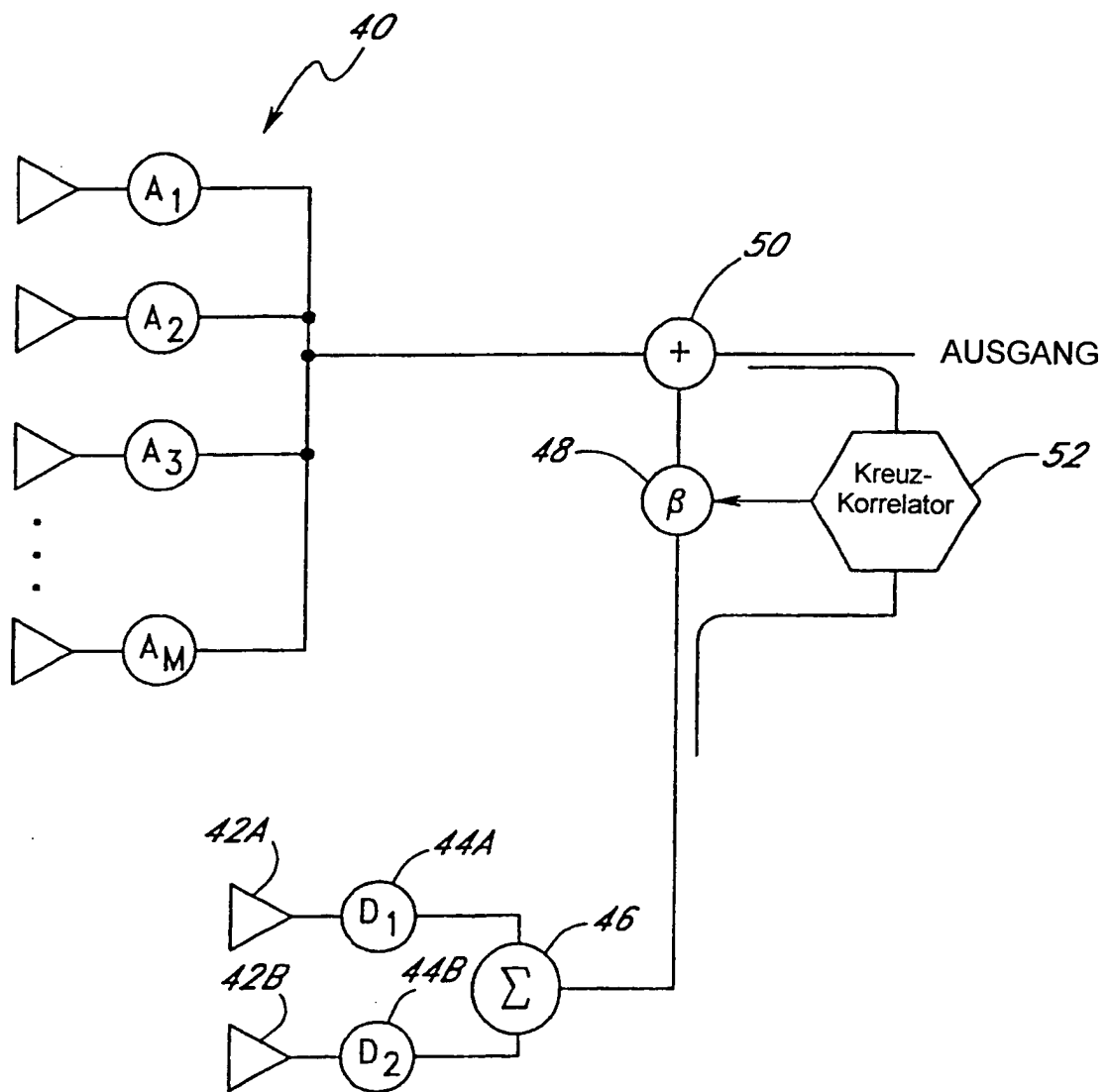
**FIG. 3A**



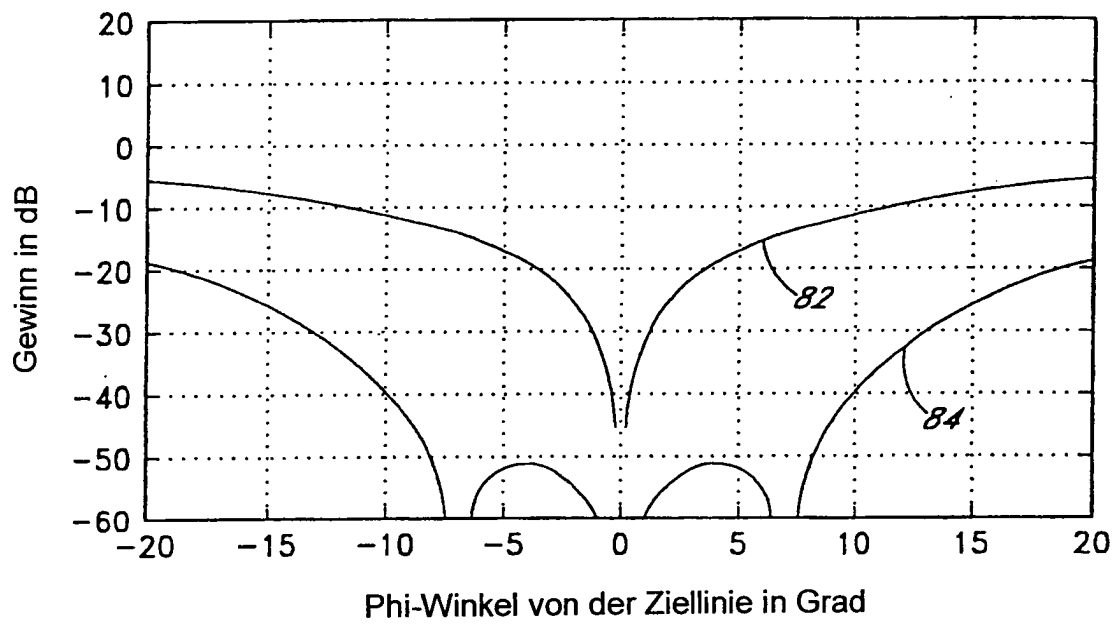
**FIG. 3B**



**FIG.3C**



**FIG. 4**



*FIG. 5*

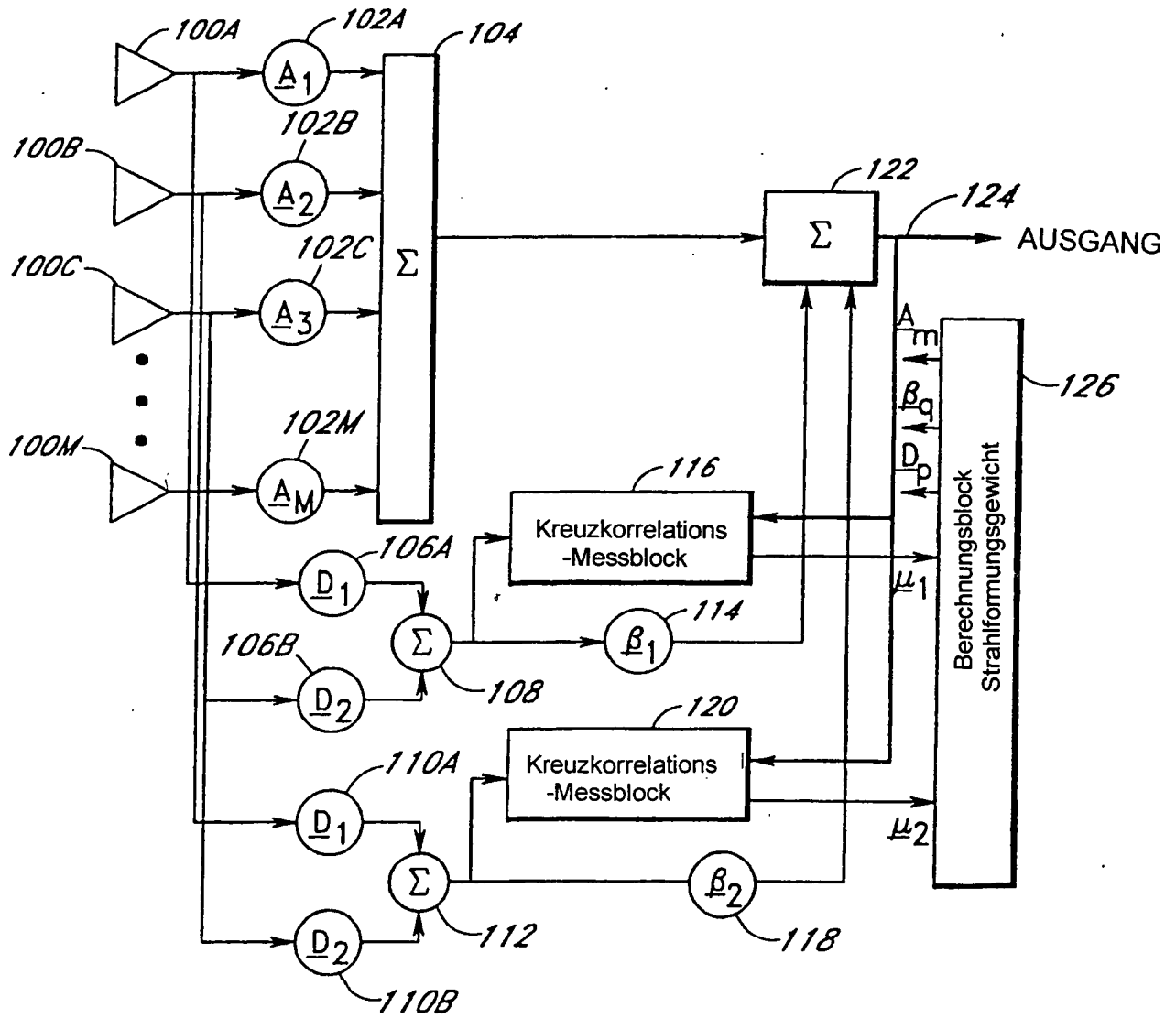


FIG. 6A

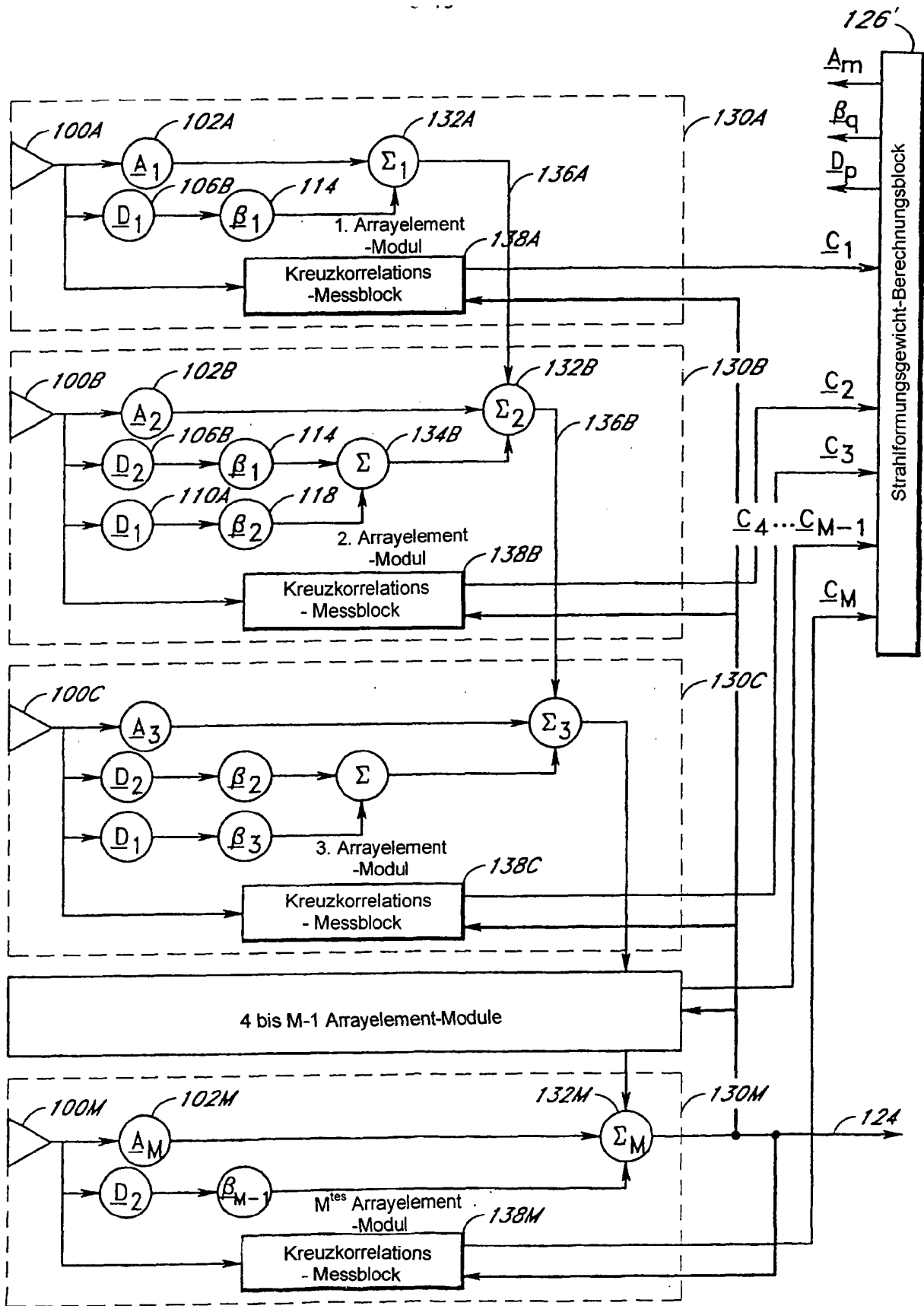


FIG. 6B



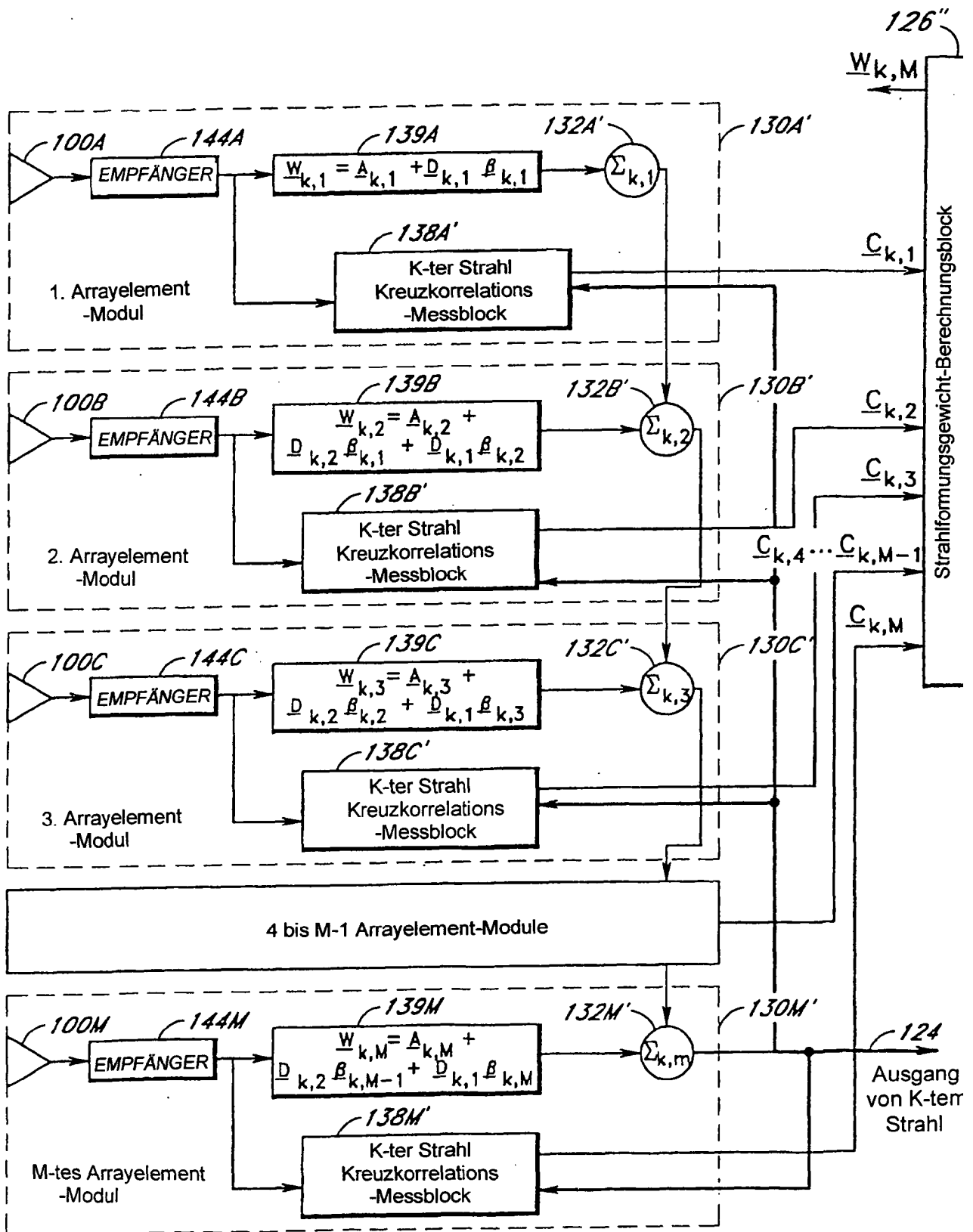


FIG. 6C

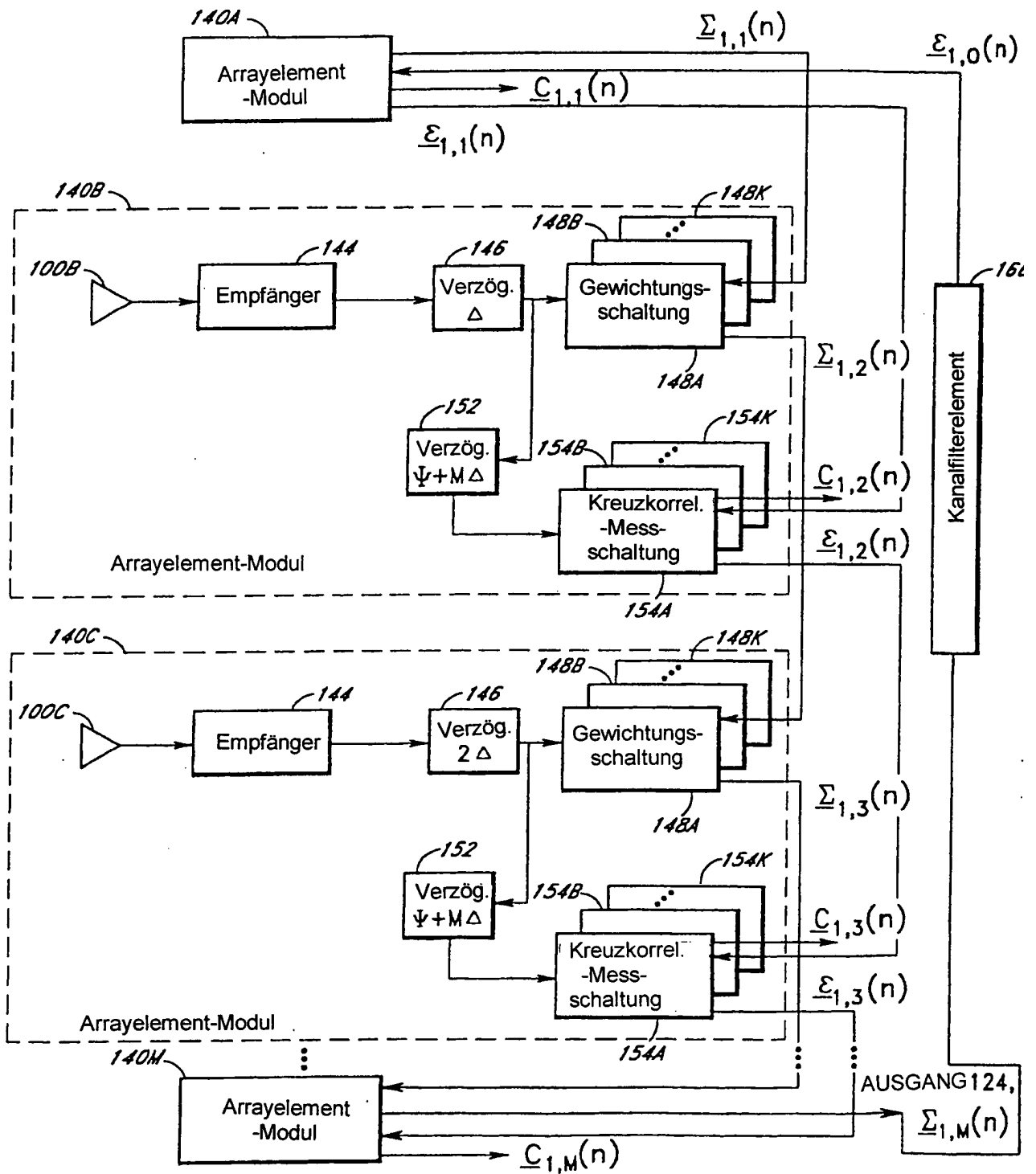


FIG. 7

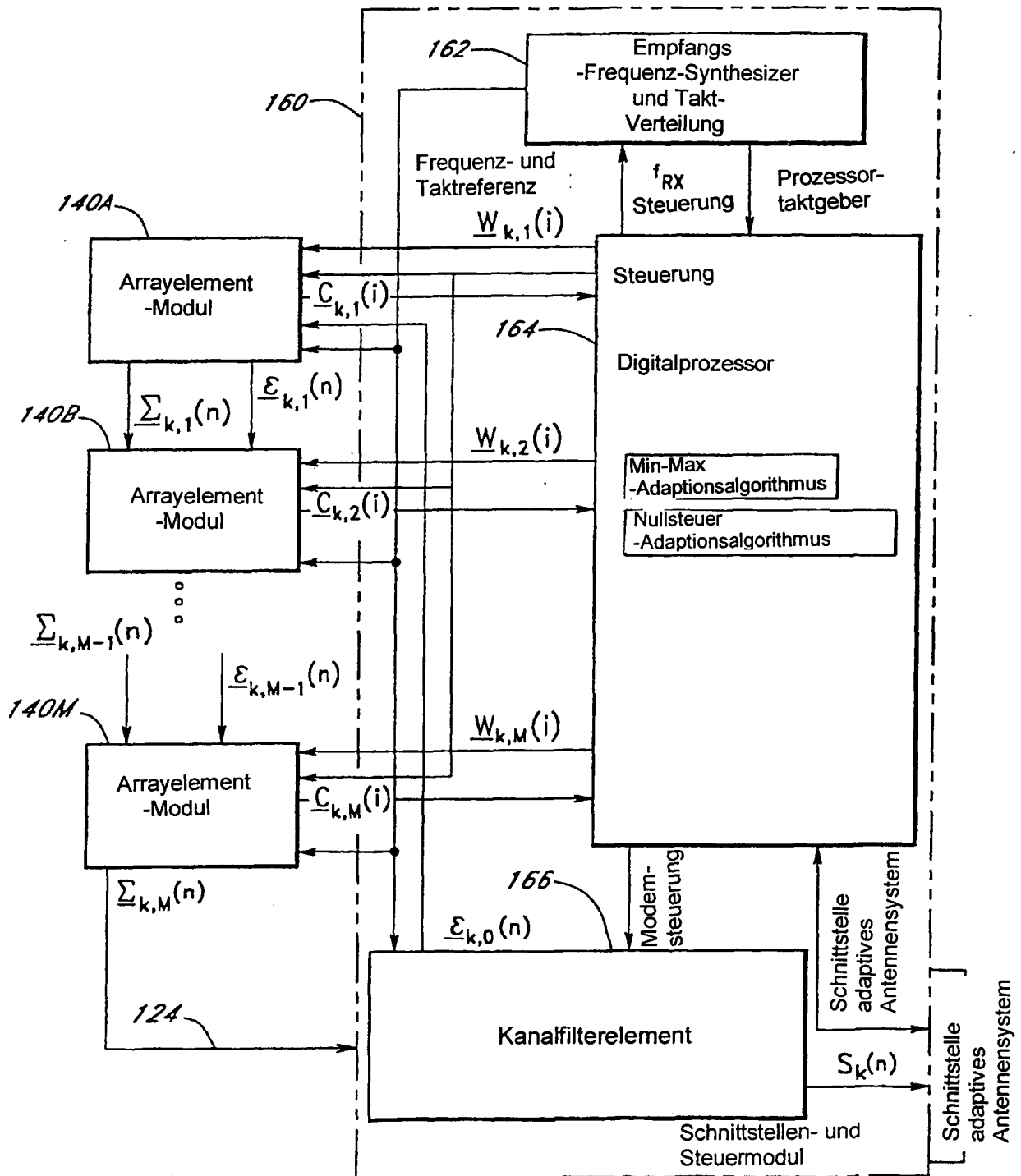


FIG. 8

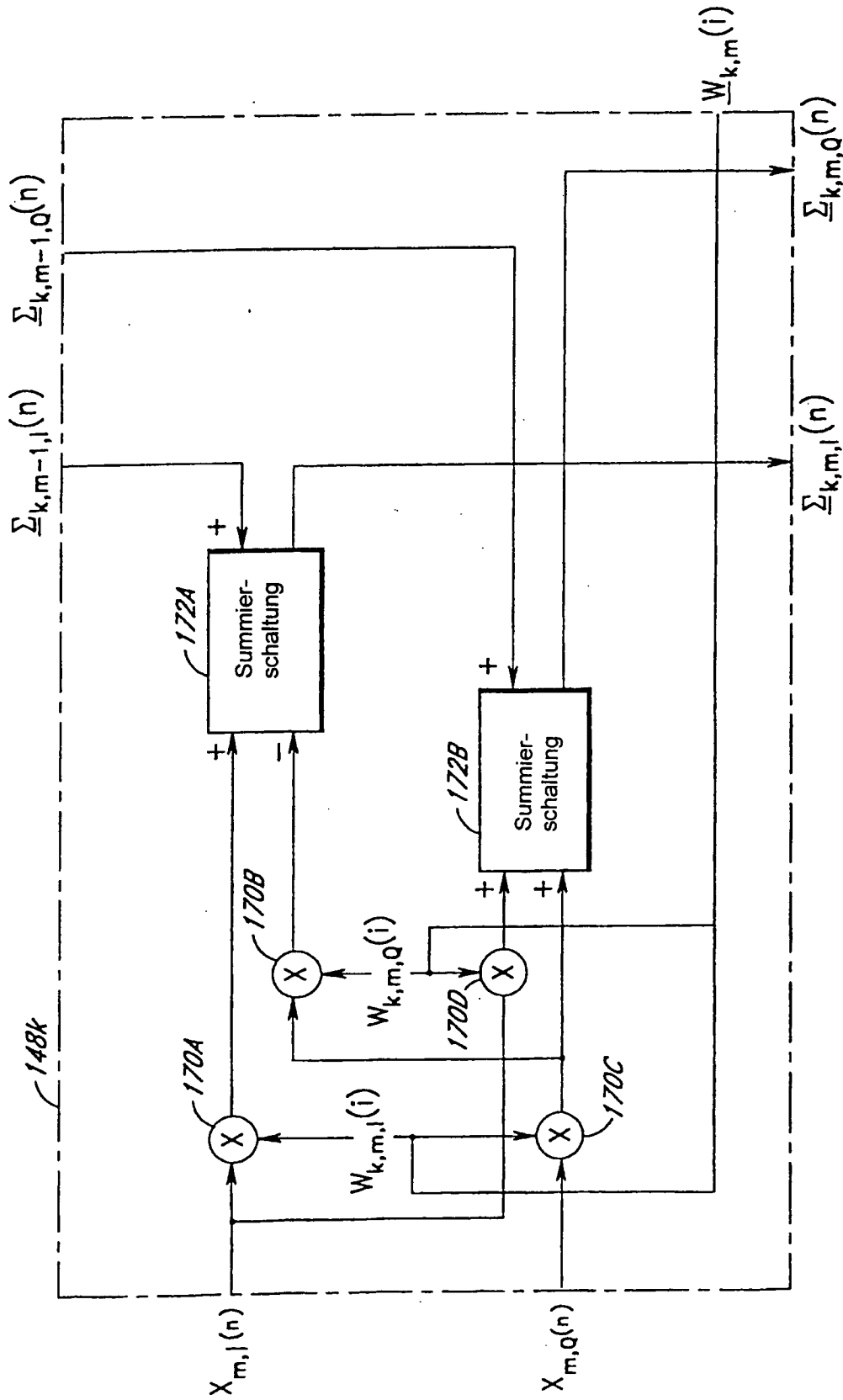


FIG. 9

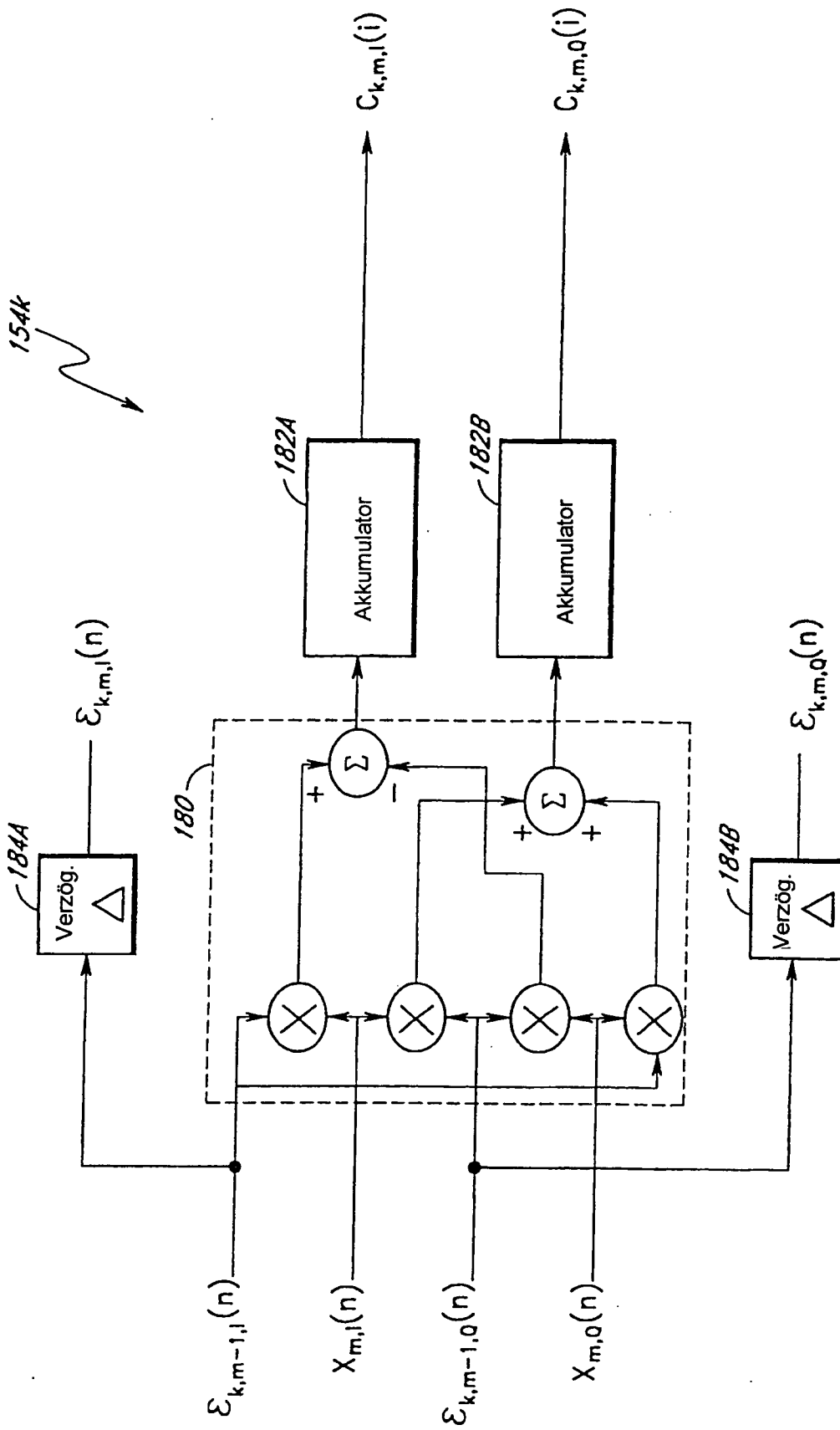
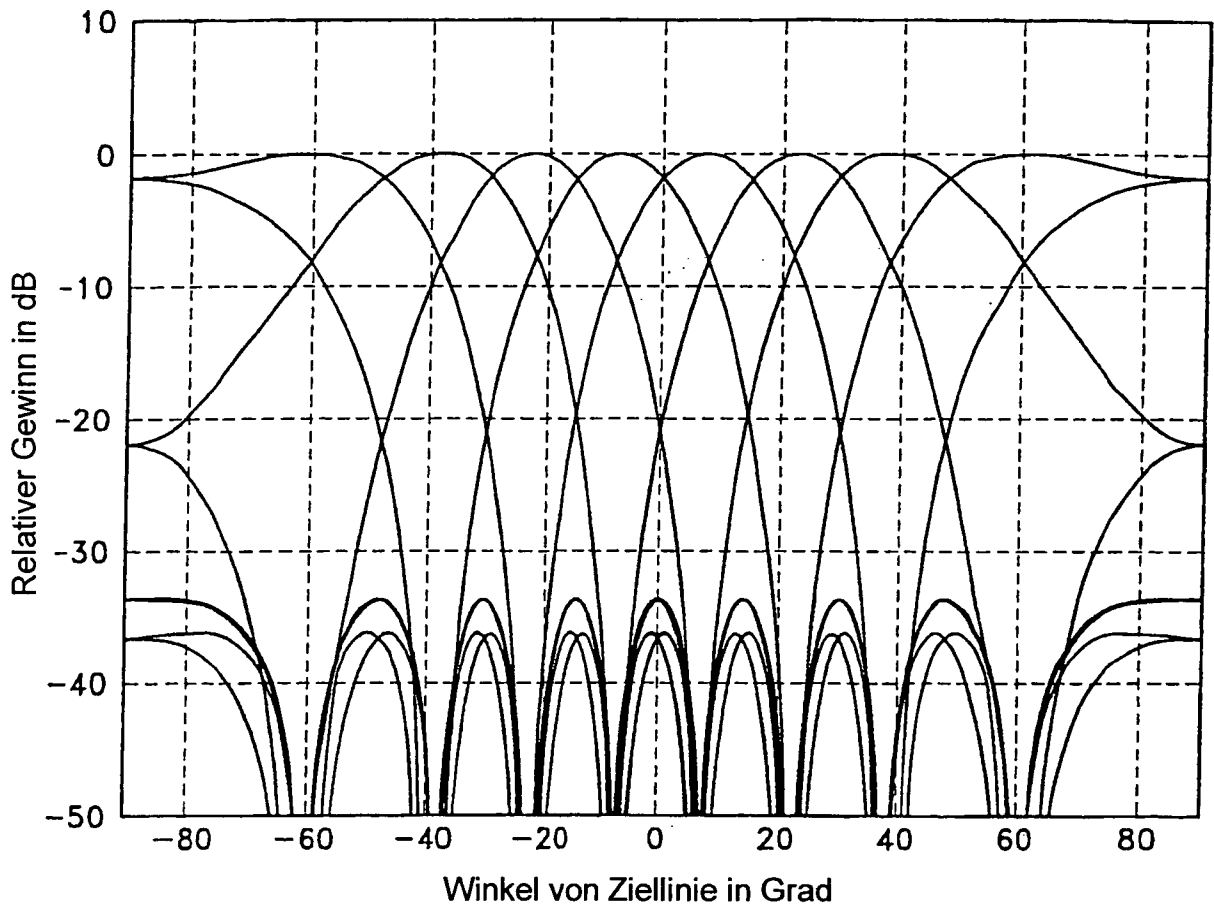
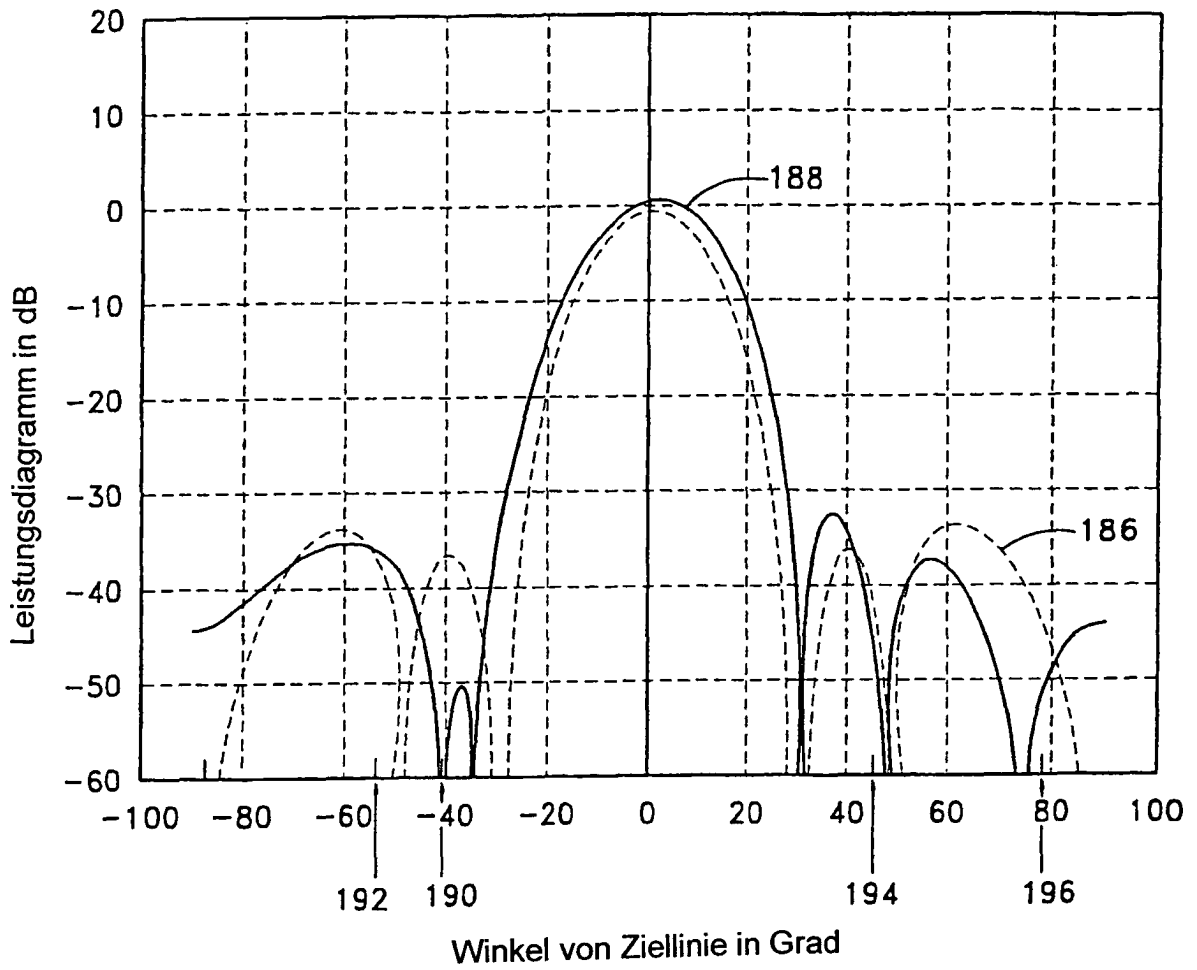


FIG. 10



*FIG. 11*



*FIG. 12*



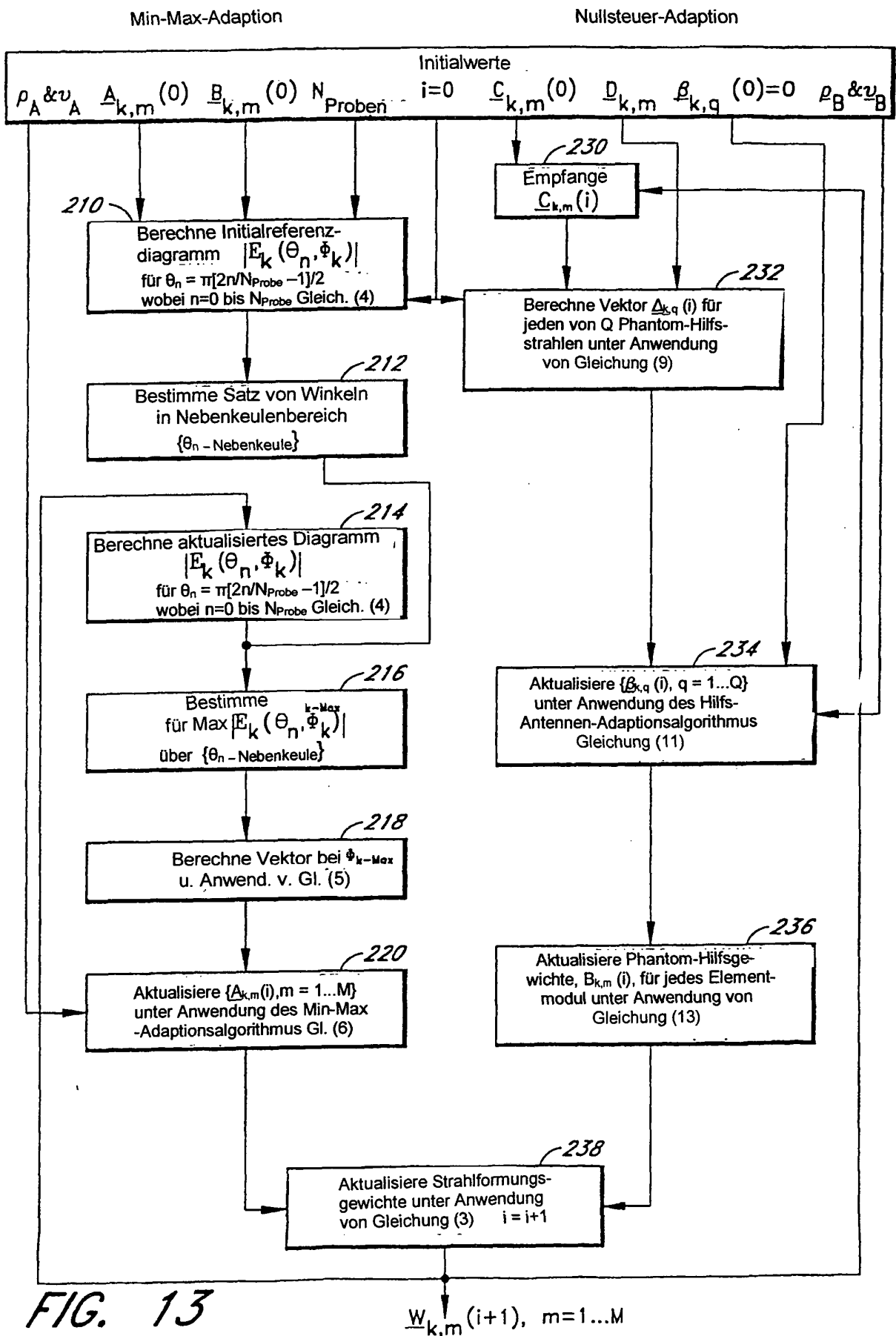


FIG. 13