



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 100 239.7**

(22) Anmeldetag: **08.01.2021**

(43) Offenlegungstag: **07.10.2021**

(51) Int Cl.: **H04B 7/0456 (2017.01)**

(30) Unionspriorität:

63/005,850 **06.04.2020** **US**
16/983,813 **03.08.2020** **US**

(71) Anmelder:

**SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD., Suwon-si,
Gyeonggi-do, KR**

(74) Vertreter:

**KUHLEN & WACKER Patent- und
Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,
DE**

(72) Erfinder:

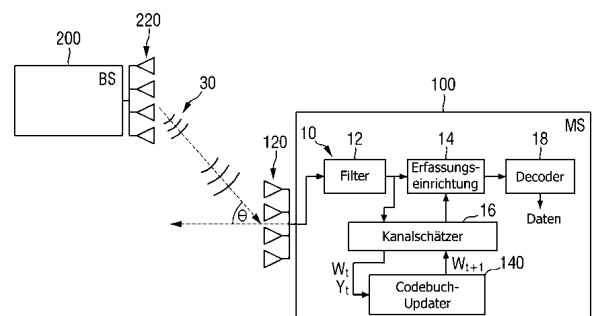
**Cheng, Hongbing, San Diego, CA, US; Tang,
Yanru, San Diego, CA, US; Song, Kee-Bong, San
Diego, CA, US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Systeme und Verfahren zur Aktualisierung von Strahlformungs-Codebüchern für eine Einstrahlwinkel-Schätzung unter Verwendung von komprimierter Erfassung bei drahtloser Kommunikation**

(57) Zusammenfassung: Eine drahtlose Kommunikationsvorrichtung umfasst: eine Verarbeitungsschaltung, die eingerichtet ist: von einem Antennen-Array ein erstes gerichtetes elektromagnetisches Signal, das Strahlenschwenkungs-Referenzsymbole einer vorherigen Strahlenschwenkungs-Zeitspanne umfasst, während einer vorherigen Zeitspanne zu empfangen; einen geschätzten kombinierten Kanal zu berechnen; einen dominanten Einstrahlwinkel (AoA) des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem geschätzten, kombinierten Kanal und einem vorherigen Strahlformungs-Codebuchs zu schätzen, das zwei oder mehr Strahlformungs-Vektoren umfasst, die unterschiedlichen AoAs entsprechen; ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch basierend auf dem geschätzten dominanten AoA und einem oder mehreren verbleibenden AoAs zu erstellen, die von dem geschätzten dominanten AoA beabstandet sind; ein zweites gerichtetes elektromagnetisches Signal, das Datensymbole umfasst, an dem Antennen-Array während einer aktuellen Zeitspanne zu empfangen; einen Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch zu bestimmen; und die Datensymbole in dem zweiten gerichteten elektromagnetischen Signal basierend auf dem bestimmten Strahlformungs-Vektor zu erfassen.



BeschreibungQUERVERWEIS AUF
ÄHNLICHE ANMELDUNG(EN)

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität und den Vorzug der provisorischen US-Patentanmeldung Nr. 63/005,850, eingereicht beim US-Patent- und Markenamt am 6. April 2020, deren Offenbarung vollinhaltlich durch Verweis hierin aufgenommen wird.

GEBIET

[0002] Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen Systeme und Verfahren zur Aktualisierung von Strahlformungs-Codebüchern für eine Einstrahlwinkel-Schätzung unter Verwendung von komprimierter Erfassung bei drahtloser Kommunikation.

HINTERGRUND

[0003] Bei drahtlosen Kommunikationssystemen mit Beamforming bzw. Strahlformung können Sender die Senderichtung von elektromagnetischen Wellen steuern oder lenken und können diese elektromagnetischen Wellen in relativ schmale Strahlen umformen oder bilden. Diese Strahlen können unter Verwendung von Antennen-Arrays gebildet werden, wo unterschiedlichen Antennen des Array zeitversetzte oder phasenverschobene Versionen eines Signals zugeführt werden, und Kombinationen aus konstruktiver Interferenz und destruktiver Interferenz verursachen, dass das Signal in bestimmte Richtungen konzentriert wird. Strahlformung bzw. Beamforming ermöglicht eine räumliche Diversität bei den elektromagnetischen Wellen (z. B. im Gegensatz zu einer im Wesentlichen ungerichteten Übertragung) und erlaubt es auch, den Strahl zu lenken, während sich die relative Richtung zu dem Empfänger im Laufe der Zeit ändert. Zum Beispiel erlaubt es Strahlformung, mehr Kommunikationskanäle gleichzeitig zu betreiben - zum Beispiel können Empfänger, die sich in unterschiedlichen Richtungen von dem Sender befinden, unterschiedliche Signale von dem gleichen Transceiver auf der gleichen Trägerfrequenz oder überlappenden Frequenzbändern empfangen. Strahlformung kann besonders bei Millimeterwellen-Kommunikation (mmWave) und bei sehr großen Multiple-Input-Multiple-Output(MIMO)-Systemen anwendbar sein.

[0004] Bei Hybrid-Strahlformungssystemen kann in regelmäßigen Zeitabständen Beam Sweeping bzw. Strahlschwenkung durchgeführt werden, um dem schlechten Linkbudget (Leistungsübertragungsbilanz) entgegenzuwirken, indem die beste Übertragungsrichtung oder -vektor zwischen dem Sender und dem Empfänger bestimmt wird, wobei der

beste Übertragungsvektor aus einem Beamforming- bzw. Strahlformungs-Codebuch oder Beam-Codebuch ausgewählt wird. Ein Strahlformungs-Codebuch umfasst Gewichtungen zur Decodierung von empfangenen gerichteten elektromagnetischen Signalen (z. B. drahtlosen Signalen oder Funksignalen), wobei unterschiedliche Gewichtungen unterschiedlichen möglichen Strahlformungs-Vektoren entsprechen (z. B. elektromagnetischen Signalen, die von unterschiedlichen Richtungen empfangen werden).

[0005] Ein Hybrid-Strahlformungs-System decodiert ein gerichtetes elektromagnetisches Signal, das an dem Antennen-Array empfangen wird, indem das empfangene Signal mit den Gewichtungen des Strahlformungs-Codebuchs kombiniert wird und eine dominante Richtung ausgewählt wird (z. B. eine Kombination aus Gewichtungen und dem Signal, welches die höchste Leistung oder Signal-Rausch-Verhältnis aufweist). Die Leistung von Strahlformungs-Drahtlosübertragungssystemen hängt von der Qualität des Strahlformungs-Codebuchs ab, beispielsweise wie genau die Richtungen des Codebuchs (mindestens eine der Richtungen) mit der tatsächlichen Richtung übereinstimmen, aus der das elektromagnetische Signal bei dem Empfänger-Antennen-Array ankommt.

KURZFASSUNG

[0006] Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen Systeme und Verfahren zum Aktualisieren eines Beamforming- bzw. Strahlformungs-Codebuchs entsprechend Änderungen bei Übertragungsbedingungen unter Verwendung von komprimierten Erfassungstechniken und basierend auf den vergangenen Einstrahlwinkelrichtungen bezüglich eines gegebenen Senders.

[0007] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung umfasst ein Verfahren zum Aktualisieren eines Strahlformungs-Codebuchs: Empfangen, an einem Antennen-Array einer drahtlosen Kommunikationsvorrichtung während einer vorherigen Zeitspanne, eines ersten gerichteten elektromagnetischen Signals, das Strahlschwenkungs-Referenzsymbole einer vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne umfasst; Berechnen, durch eine Verarbeitungsschaltung der drahtlosen Kommunikationsvorrichtung, eines geschätzten kombinierten Kanals basierend auf dem empfangenen ersten gerichteten elektromagnetischen Signal; Schätzen, durch die Verarbeitungsschaltung, eines dominanten Einstrahlwinkels (AoA) des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem geschätzten, kombinierten Kanal und einem vorherigen Strahlformungs-Codebuch, das zwei oder mehr Strahlformungs-Vektoren umfasst, die unterschiedlichen Einstrahlwinkeln entsprechen; und Berechnen, durch die Verarbeitungsschaltung, eines oder mehrerer ver-

bleibender Einstrahlwinkel, die von dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel beabstandet sind; Erstellen, durch die Verarbeitungsschaltung, eines aktualisierten Strahlformungs-Codebuchs basierend auf dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel und dem einen oder den mehreren verbleibenden Einstrahlwinkeln; Empfangen eines zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals, das Datensymbole umfasst, an dem Antennen-Array während einer aktuellen Zeitspanne; Bestimmen eines Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch; und Erfassen, durch die Verarbeitungsschaltung, der Datensymbole in dem zweiten gerichteten elektromagnetischen Signal basierend auf dem bestimmten Strahlformungs-Vektor.

[0008] Das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch kann aus zwei Strahlformungs-Vektoren bestehen, wobei das Schätzen des dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ein Berechnen von Folgendem umfasst:

$$\tilde{x}_1 = \angle \left(\hat{h}_2 \hat{h}_1^H \right)$$

wobei

$$W_1^H Y = \begin{bmatrix} \hat{h}_1 \\ \hat{h}_2 \end{bmatrix}$$

und

$$W_1 = W(1:2, 1:2) \in \mathbb{C}^{2 \times 2}$$

wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und \hat{h}_1 und \hat{h}_2 geschätzte analoge Kanäle sind, die zwei Antennenelementen des Antennen-Arrays entsprechen, wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem Strahlformungs-Vektor bestehen, wobei das Antennen-Array eine gerade Anzahl Antennenelemente aufweist, und wobei der verbleibende Einstrahlwinkel \tilde{x}_2 entsprechend $\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 + \pi$ berechnet wird, und wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_t entsprechend Folgendem berechnet wird:

$$W_t = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_1)^H \\ a(\tilde{x}_1 + \pi)^H \end{bmatrix}$$

[0009] Das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch kann drei oder mehr Strahlformungs-Vektoren umfassen.

[0010] Das Schätzen des dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals kann ein Berechnen von Folgendem umfassen:

$$\tilde{x}_1 = \operatorname{argmax}_{x \in \mathcal{N}(b^*)} \frac{\varphi(x)^H Y Y^H \varphi(x)}{\|\varphi(x)\|^2},$$

$$\varphi(\tilde{x}_i) = W a(\tilde{x}_i) \in \mathbb{C}^M,$$

$$a(\tilde{x}_i) = \left[e^{j0\tilde{x}_i}, \dots, e^{j(N_R-1)\tilde{x}_i} \right]^T \in \mathbb{C}^{N_R}$$

wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und $\mathcal{N}(b^*)$ ein Satz Winkel in einer Umgebung um einen ausgewählten Suchwinkel b^* ist.

[0011] Der ausgewählte Suchwinkel b^* kann entsprechend Folgendem ausgewählt werden:

$$b^* = \operatorname{argmax}_m \underline{y}_m \underline{y}_m^H,$$

wobei

$$Y = \begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \vdots \\ \underline{y}_M \end{bmatrix}$$

[0012] Der ausgewählte Suchwinkel b^* kann entsprechend einem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel eines dritten gerichteten elektromagnetischen Signals ausgewählt werden, das in einer vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne empfangen wurde.

[0013] Der Satz Winkel in der Umgebung $\mathcal{N}(b^*)$ um den ausgewählten Suchwinkel b^* kann berechnet werden durch:

$$\mathcal{N}(b^*) = \{x : x = b^* + \Delta l, l = -N, \dots, 0, \dots, N\}$$

wobei N eine Anzahl Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ bis $2N + 1$ steuert und wobei Δ eine Winkelauflösung der Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ ist.

[0014] Eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array kann ein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch sein und der eine oder die mehreren Einstrahlwinkel \tilde{x}_i können entsprechend Folgendem berechnet werden:

$$\tilde{x}_i = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{M}(i - 1), i = 2, \dots, M$$

wobei \tilde{x}_1 der geschätzte dominante Einstrahlwinkel des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ist.

[0015] Eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array kann kein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch sein, wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem beschränkten Satz an Winkeln $I(\tilde{x}_1)$ ausgewählt werden, wobei

$$I(\tilde{x}_1) = \left\{ x : x = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{N_R}n, n = 0, \dots, N_R - 1 \right\}.$$

[0016] Das Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals kann umfassen, den Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang aus dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch auszuwählen, ohne eine Kanalschätzung durchzuführen.

[0017] Das Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals kann umfassen, den Strahlformungs-Vektor basierend auf einer Kanalschätzung des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals und basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch explizit zu berechnen.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist eine drahtlose Kommunikationsvorrichtung eingerichtet, ein Strahlformungs-Codebuch zu aktualisieren, wobei die drahtlose Kommunikationsvorrichtung umfasst: ein Antennen-Array; eine Verarbeitungsschaltung, die eingerichtet ist, Signale von dem Antennen-Array zu empfangen und eingerichtet ist: an dem Antennen-Array während einer vorherigen Zeitspanne ein erstes gerichtetes elektromagnetisches Signal zu empfangen, das Strahlschwenkungs-Referenzsymbole einer vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne umfasst; einen geschätzten kombinierten Kanal basierend auf dem empfangenen ersten gerichteten elektromagnetischen Signal zu berechnen; einen dominanten Einstrahlwinkel (AoA) des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem geschätzten, kombinierten Kanal und einem vorherigen Strahlformungs-Codebuchs zu schätzen, das zwei oder mehr Strahlformungs-Vektoren umfasst, die unterschiedlichen Einstrahlwinkeln entsprechen; einen oder mehrere verbleibende Einstrahlwinkel zu berechnen, die von dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel beabstandet sind; ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch basierend auf dem geschätzten dominan-

ten Einstrahlwinkel und dem einen oder den mehreren verbleibenden Einstrahlwinkeln zu erstellen; ein zweites gerichtetes elektromagnetisches Signal, das Datensymbole umfasst, an dem Antennen-Array während einer aktuellen Zeitspanne zu empfangen; einen Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch zu bestimmen; die Datensymbole in dem zweiten gerichteten elektromagnetischen Signal basierend auf dem bestimmten Strahlformungs-Vektor durch die Verarbeitungsschaltung zu erfassen.

[0019] Das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch kann aus zwei Strahlformungs-Vektoren bestehen, wobei die Verarbeitungsschaltung eingerichtet ist, den dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals zu schätzen, indem Folgendes berechnet wird:

$$\tilde{x}_1 = \angle \left(\hat{h}_2 \hat{h}_1^H \right)$$

wobei

$$W_1^H Y = \begin{bmatrix} \hat{h}_1 \\ \hat{h}_2 \end{bmatrix}$$

und

$$W_1 = W(1:2, 1:2) \in \mathcal{C}^{2 \times 2}$$

wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und \hat{h}_1 und \hat{h}_2 geschätzte analoge Kanäle sind, die zwei Antennenelementen des Antennen-Arrays entsprechen, wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem Strahlformungs-Vektor bestehen, wobei das Antennen-Array eine gerade Anzahl Antennenelemente aufweist, und wobei der verbleibende Einstrahlwinkel \tilde{x}_2 entsprechend $\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 + \pi$ berechnet wird, und wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_t entsprechend Folgendem berechnet wird:

$$W_t = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_1)^H \\ a(\tilde{x}_1 + \pi)^H \end{bmatrix}.$$

[0020] Das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch kann drei oder mehr Strahlformungs-Vektoren umfassen.

[0021] Die Verarbeitungsschaltung kann eingerichtet sein, den dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichtete-

ten elektromagnetischen Signals zu schätzen, indem Folgendes berechnet wird:

$$\tilde{x}_1 = \operatorname{argmax}_{x \in \mathcal{N}(b^*)} \frac{\varphi(x)^H Y Y^H \varphi(x)}{\|\varphi(x)\|^2},$$

$$\varphi(\tilde{x}_i) = W a(\tilde{x}_i) \in \mathbb{C}^M,$$

$$a(\tilde{x}_i) = \left[e^{j0\tilde{x}_i}, \dots, e^{j(N_R-1)\tilde{x}_i} \right]^T \in \mathbb{C}^{N_R}$$

wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und $\mathcal{N}(b^*)$ ein Satz Winkel in einer Umgebung um einen ausgewählten Suchwinkel b^* ist.

[0022] Die Verarbeitungsschaltung kann eingerichtet sein, den ausgewählten Suchwinkel b^* entsprechend Folgendem zu berechnen:

$$b^* = \operatorname{argmax}_m \underline{y}_m \underline{y}_m^H,$$

wobei

$$Y = \begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \vdots \\ \underline{y}_M \end{bmatrix}.$$

[0023] Die Verarbeitungsschaltung kann eingerichtet sein, den ausgewählten Suchwinkel b^* entsprechend einem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel eines dritten gerichteten elektromagnetischen Signals auszuwählen, das in einer vorherigen Strahl-schwenkungs-Zeitspanne empfangen wurde.

[0024] Die Verarbeitungsschaltung kann eingerichtet sein, den Satz an Winkeln in der Umgebung $\mathcal{N}(b^*)$ um den ausgewählten Suchwinkel b^* herum durch Folgendes zu berechnen:

$$\mathcal{N}(b^*) = \{x : x = b^* + \Delta l, l = -N, \dots, 0, \dots, N\}$$

wobei N eine Anzahl Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ bis $2N + 1$ steuert und wobei Δ eine Winkelauflösung der Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ ist.

[0025] Eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array kann ein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch sein und der

eine oder die mehreren Einstrahlwinkel \tilde{x}_i können entsprechend Folgendem berechnet werden:

$$\tilde{x}_i = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{M}(i - 1), i = 2, \dots, M$$

wobei \tilde{x}_1 der geschätzte dominante Einstrahlwinkel des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ist.

[0026] Eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array kann kein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch sein, wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem beschränkten Satz an Winkeln $l(\tilde{x}_1)$ ausgewählt werden, wobei

$$l(\tilde{x}_1) = \left\{ x : x = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{N_R} n, n = 0, \dots, N_R - 1 \right\}.$$

[0027] Die Verarbeitungsschaltung kann eingerichtet sein, den Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals zu bestimmen, indem sie den Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang aus dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch auswählt, ohne eine Kanalschätzung durchzuführen.

[0028] Das Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals kann umfassen, den Strahlformungs-Vektor basierend auf einer Kanalschätzung des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals und basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch explizit zu berechnen.

Figurenliste

[0029] Die beigefügten Zeichnungen, zusammen mit der Spezifikation, stellen beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar und dienen zusammen mit der Beschreibung dazu, die Grundsätze der vorliegenden Erfindung zu erläutern.

Fig. 1 ist ein Blockschaltbild eines drahtlosen Kommunikationssystems mit Strahlformung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 2A, Fig. 2B und **Fig. 2C** sind schematische Darstellungen der Bestimmung eines Einstrahlwinkels eines elektromagnetischen Signals.

Fig. 3 ist ein Blockschaltbild eines Strahlformungs-Codebuch-Updaters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 4 ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren 400 zur Aktualisierung eines Strahlformungs-

Codebuchs für eine nächste Strahlschwenkung entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung darstellt.

Fig. 5 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Berechnen eines dominanten Einstrahlwinkels (AoA) entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 6 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Aktualisieren eines Codebuchs und Empfangen eines Signals gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0030] In der nachfolgenden detaillierten Beschreibung sind nur bestimmte beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zum Zwecke der Darstellung gezeigt und beschrieben. Für einen Fachmann wird es ersichtlich sein, dass die Erfindung auf unterschiedliche Art und Weise verkörpert werden kann und nicht als auf die vorliegend dargelegten Ausführungsformen beschränkt ausgelegt werden sollte.

[0031] In einem Hybridsystem für drahtlose Kommunikation mit Strahlformung führt eine Mobilstation (MS) (auch als Nutzervorrichtung (UE) bezeichnet) oder eine Basisstation (BS) in regelmäßigen Zeitabständen eine Strahlschwenkung bzw. Beam Sweeping durch, um schlechtem Linkbudget entgegenzuwirken, um eine Leistung zu verbessern (z. B. Signal-Rausch-Verhältnis). Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden im Kontext einer Strahlschwenkung bei einer UE beschrieben, welche als Empfänger (Rx) betrachtet wird. Allerdings sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht darauf beschränkt und können auch für die Basisstation gelten. Wenn Strahlschwenkungsmaßnahmen durchgeführt werden, wählt die UE unterschiedliche Strahlformungs-Vektoren aus einem Strahlformungs-Codebuch W aus, wobei die Strahlformungs-Vektoren verwendet werden, um Signale von unterschiedlichen Antennen zu kombinieren (z. B. unterschiedlichen Antennenelementen eines Antennen-Array), die an der UE befestigt sind. Basierend auf den Strahlschwenkungsmessungen bestimmt die UE einen Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang. Ansätze zur Bestimmung eines Strahlformungs-Vektors umfassen: Auswählen eines Strahlformungs-Vektors zum Datenempfang aus einem vordefinierten Strahlformungs-Codebuch ohne Durchführen einer Kanalschätzung; und Berechnen eines Strahlformungs-Vektors zum Datenempfang explizit basierend auf einer Kanalschätzung. In diesen beiden Ansätzen ist die Qualität des Strahlformungs-Codebuchs W ein wichtiger Faktor bei der Qualität des bestimmten Strahlformungs-Vektors. Dementsprechend betreffen Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenba-

rung Systeme und Verfahren zum Aktualisieren des Strahlformungs-Codebuchs W basierend auf Strahlschwenkungs-Maßnahmen zur Verbesserung einer Systemleistung.

[0032] **Fig. 1** ist ein Blockschaltbild eines drahtlosen Kommunikationssystems mit Strahlformung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung. In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform steht eine Mobilstation (MS) oder eine Nutzervorrichtung (UE) **100** in Kommunikation mit einer Basisstation (BS) **200**, wobei die Basisstation **200** ein gerichtetes Signal **30** (z. B. ein gerichtetes elektromagnetisches Signal) an die Mobilstation **100** überträgt. Die Mobilstation **100** umfasst ein Antennen-Array **120**, das mehrere Antennenelemente umfasst. Ebenso umfasst die Basisstation **200** ein Antennen-Array **220**, das ebenfalls mehrere Elemente umfasst. In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform sind das Antennen-Array **120** der Mobilstation **100** und das Antennen-Array **220** der Basisstation **200** lineare Arrays, aber Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind nicht darauf beschränkt und können auch für Antennen-Arrays anderer Formen, wie beispielsweise planare Arrays gelten. Die Basisstation **200** kann die Richtung lenken, in die das Antennen-Array **220** das gerichtete Signal **30** abgibt, indem sie eine Phasenverschiebung oder eine Zeitverzögerung zwischen Zuführen des Signals an die unterschiedlichen Elemente des Antennen-Arrays steuert. Ebenso kann die Mobilstation **100** die Richtung lenken, aus der sein Antennen-Array **120** Signale empfängt.

[0033] In der in **Fig. 1** gezeigten Anordnung kommt das gerichtete Signal **30** bei der Mobilstation **100** bezüglich des Antennen-Arrays **120** in einem Winkel θ an. Zum Zwecke der Erläuterung wird angenommen, dass eine Richtung rechtwinklig zu dem Antennen-Array bei einem Winkel von null (0) liegt und das Antennen-Array **120** fähig ist, Signale über 360° (oder Bogenmaß 2π) zu empfangen, wodurch der Winkel α beispielsweise von -180° bis $+180^\circ$ oder, als Bogenmaß, $(-\pi, \pi)$, reichen kann. Ebenso kann der Einstrahlwinkel θ als innerhalb des Bereichs von 0° bis 360° oder Bogenmaß 0 bis Bogenmaß 2π ausgedrückt werden.

[0034] Wie in **Fig. 1** gezeigt, umfasst eine Mobilstation **100** einen Funk-Transceiver **10**, der verschiedene Komponenten zur Wiederherstellung von codierten Daten in dem empfangenen gerichteten Signal **30** umfasst. (Der Funk-Transceiver **10** kann auch Komponenten zur Übertragung von Funksignalen umfassen. Während sich die vorliegende Erläuterung auf die Empfangsseite des Funk-Transceivers **10** konzentriert, sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht auf Funk-Transceiver beschränkt. Aspekte der Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung können zum Beispiel angewandt werden, um ein Strahlformungs-Codebuch zu aktualisie-

ren, wenn eine Strahlschwenkung bei einer Basisstation durchgeführt wird, die eingerichtet ist, Daten zu übertragen.) Das empfangene gerichtete Signal **30** kann einem Empfangsfilter **12** zugeführt werden (z. B. einem Bandpassfilter) und das gefilterte Signal kann einer Erfassungseinrichtung **14** und einem Kanalschätzer **16** zugeführt werden. Der Kanalschätzer **16** kann eine Channel State Information (CSI) erzeugen, die verwendet wird, um die Erfassungseinrichtung **14** sowie andere Komponenten des Funk-Transceivers **10** zu steuern, um sich an sich verändernde Bedingungen in der Umgebung anzupassen. Diese sich verändernden Bedingungen in der Umgebung können einen Einstrahlwinkel (AoA) θ des empfangenen gerichteten Signals **30** an dem Antennen-Array **120** der Mobilstation **100** umfassen. Einige der Parameter, die von dem Kanalschätzer **16** an die Erfassungseinrichtung **14** bereitgestellt werden, umfassen Parameter basierend auf dem aktuellen geschätzten Einstrahlwinkel (AoA) des empfangenen gerichteten Signals **30**. Der Kanalschätzer **16** kann diese Parameter basierend auf einem Strahlformungs-Codebuch W bereitstellen bzw. zuführen. Gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung kommuniziert der Kanalschätzer **16** mit oder umfasst einen Strahlformungs-Codebuch-Updater **140**, der eingerichtet ist, das Strahlformungs-Codebuch W zwischen Strahlschwenkungs-Zeitspannen zu aktualisieren, wie im Nachfolgenden detaillierter erläutert.

[0035] Die Ausgabe des Kanalschätzers **16** wird einer Erfassungseinrichtung **14** bereitgestellt, welche die Channel State Information verwendet, um eine Symbolerfassung durchzuführen. Der Decoder **18** kann eingerichtet sein, die erfassten Symbole von der Erfassungseinrichtung **14** zu empfangen und die erfassten Symbole zu Daten zu decodieren, wie beispielsweise einen digitalen Bitstream, der zugeführt wird, um durch Anwendungen in dem Funk-Transceiver **10** verbraucht zu werden, wie beispielsweise Sprachanrufen, Datenpakete und dergleichen. In verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung können die Komponenten des Funk-Transceivers **10**, wie beispielsweise der Filter **12**, die Erfassungseinrichtung **14**, der Kanalschätzer **16**, der Codebuch-Updater **140** und der Decoder **18** in einer oder mehreren Verarbeitungsschaltungen implementiert werden (z. B. einem Funk-Basisband-Prozessor (BP oder BPP), einer zentralen Verarbeitungseinheit (CPU), einem Mikrocontroller, einem digitalen Signalprozessor (DSP), einem Field Programmable Gate Array (FPGA) oder einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC)) eines Digitalfunks, wobei verschiedene Abschnitte verschiedener Blöcke in der gleichen Schaltung implementiert sein können (z. B. auf dem gleichen Die oder einem gleichen Package) oder in unterschiedlichen Schaltungen (z. B. auf verschiedenen Dies oder in verschiedenen Packages, die über einen Kommunikationsbus verbunden sind).

[0036] Wie oben erwähnt, kann in einem Hybrid-Strahlformungs-System ein Funkempfänger oder ein Funk-Transceiver ein Antennen-Array umfassen (z. B. Antennen-Array **120**), das lenkbar ist, um ein gerichtetes Signal aus einer beliebigen Richtung über einen Bereich von möglichen Lenkwinkeln zu empfangen. In einigen Fällen wird das Antennen-Array unter Verwendung von, zum Beispiel, Phasenverschiebungen oder Zeitverzögerungen, zwischen Antennenelementen (oder Empfangsantennen des Antennen-Arrays) elektronisch gelenkt. Die bestimmten Parameter, die einer gegebenen Richtung entsprechen, können als Strahlformungs-Vektor w wiedergegeben werden. Ein Strahlformungs-Codebuch W kann zwei oder mehr unterschiedliche Strahlformungs-Vektoren w umfassen. Zum Beispiel kann ein Codebuch W , das M unterschiedliche Strahlformungs-Vektoren aufweist, bezeichnet werden als:

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_M \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{M \times N_R} \quad (1)$$

wobei N_R die Anzahl Antennenelemente (oder Empfangsantennen) pro Funkfrequenz(RF)-Kette bezeichnet und annimmt, dass $N_R > M$.

[0037] Fig. 2A, Fig. 2B und Fig. 2C sind schematische Darstellungen der Bestimmung eines Einstrahlwinkels eines Signals. In der in Fig. 2A, Fig. 2B und Fig. 2C gezeigten Ausführungsform sind die Antennenelemente des Antennen-Arrays **120** als lineares Array angeordnet und die Antennenelemente sind in einem Abstand d einheitlich beabstandet. Wie in Fig. 2A gezeigt, kommt das gerichtete Signal **30** in einem Winkel θ an, der bezüglich einer Richtung rechtwinklig zu dem Antennen-Array **120** gemessen wird. Wie oben erwähnt, wird angenommen, dass das Antennen-Array **120** fähig ist, Signale zu empfangen, die in Winkeln von $-\pi$ bis π empfangen werden. Fig. 2A stellt eine Anordnung da, bei der das Codebuch W zwei Strahlformungs-Vektoren aufweist ($M = 2$). Der Bereich $-\pi$ bis π ist in einen ersten Sektor **201** unterteilt, der Einstrahlwinkeln in dem Bereich $(-\pi, 0)$ entspricht, und einen zweiten Sektor **202**, der Einstrahlwinkeln in dem Bereich $(0, \pi)$ entspricht. Der erste Sektor **201** entspricht einem ersten Strahlformungs-Vektor **211** entlang Winkel $\pi/2$ und der zweite Sektor **202** entspricht einem zweiten Strahlformungs-Vektor **212** entlang Winkel $\pi/2$.

[0038] Ein tatsächlicher Kanal H bei K unterschiedlichen Unterträgern kann bezeichnet werden als:

$$H = [h_1, \dots, h_k] \in \mathbb{C}^{N_R \times K} \quad (2)$$

[0039] Ein kombiniertes Signal Z kann modelliert werden als:

$$Z = W(HP + V) \quad (3)$$

wobei $P = \text{diag}(p_1, \dots, p_K)$ Strahlschwenkungs-Referenzsymbole in dem übertragenen gerichteten Signal **30** während einer aktuellen (t.) Strahlschwenkungs-Zeitspanne bezeichnet und $V \in \mathbb{C}^{N_R \times K}$ ein Kanalrauschen bezeichnet.

[0040] Basierend auf diesem Modell des kombinierten Signals Z schätzt der Kanalschätzer **16** einen kombinierten Kanal $H_C = WH$ für eine t. Strahlschwenkungs-Zeitspanne, wobei $Y_t \in \mathbb{C}^{M \times K}$ als eine Schätzung von H_C während der t. Strahlschwenkungs-Zeitspanne bezeichnet wird, und wobei Y_t als Folgendes modelliert wird:

$$Y_t = H_C + N_t \text{ wobei } H_C = W_t H_t, \quad (4)$$

wobei $W_t \in \mathbb{C}^{M \times N_R}$ das aktuelle Strahlformungs-Codebuch für die t. Strahlschwenkungs-Zeitspanne ist, $H_t \in \mathbb{C}^{N_R \times K}$ der unbekannte Kanal ist und N_t einen Schätzfehler des kombinierten Kanals während der t. Strahlschwenkungs-Zeitspanne wiedergibt und wie folgt bezeichnet wird:

$$N_t = \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_M \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{M \times K} \quad (5)$$

[0041] Nachdem die Strahlschwenkung durchgeführt wurde, kann der beste Strahlformungs-Vektor aus den gescannten Strahlformungs-Vektoren \underline{w} ausgewählt werden, um eine analoge Strahlformungs-Verstärkung zu verbessern (z. B. die Fähigkeit der Erfassungseinrichtung **14** zu verbessern, um Symbole in dem empfangenen gerichteten Signal **30** zu erfassen). In dem in **Fig. 2A** gezeigten Beispiel kann der Kanalschätzer aus dem ersten Strahlformungs-Vektor **211** und dem zweiten Strahlformungs-Vektor **212** auswählen. Da der Einstrahlwinkel θ des gerichteten Signals **30** in dem zweiten Sektor **202** ist und der zweite Strahlformungs-Vektor **212** näher an dem tatsächlichen Einstrahlwinkel θ des gerichteten Signals **30** ist, kann der Kanalschätzer den zweiten Strahlformungs-Vektor **212** als besten Strahlformungs-Vektor auswählen. Alternativ kann, in Anbetracht der Maßnahmen, die durch den Strahlschwenkungsprozess erhalten wurden, ein analoger Kanal derart geschätzt werden, dass der Strahlformungs-Vektor w zum Datenempfang (z. B. während einer Datenempfangszeitspanne oder einer Datenübertragungszeitspanne zwischen Strahlschwenkungs-Zeitspannen) abgeleitet werden kann, um eine Systemleistung weiter zu verbessern. In beiden Fällen ist die Wahl eines

Strahlformungs-Codebuchs W ein beträchtlicher Faktor bei der Leistung des Funkempfangssystems.

[0042] **Fig. 2B** gibt ein weiteres Beispiel, in dem das Codebuch W drei Strahlformungs-Vektoren ($M = 3$) umfasst. Genauer gesagt kann ein erster Sektor **221** Einstrahlwinkeln von $-\pi$ bis $-\pi/3$ entsprechen und einem ersten Strahlformungs-Vektor **231** in einem Winkel $-2\pi/3$ entsprechen, ein zweiter Sektor **222** kann Einstrahlwinkeln von $-\pi/3$ bis $+\pi/3$ entsprechen und einem zweiten Strahlformungs-Vektor **232** in einem Winkel 0 (oder Peilrichtung) entsprechen, und ein dritter Sektor **223** kann Einstrahlwinkeln von $+\pi/3$ bis $+\pi$ entsprechen und einem dritten Strahlformungs-Vektor **233** in einem Winkel $+2\pi/3$ entsprechen.

[0043] In der in **Fig. 2B** gezeigten Anordnung kann der Kanalschätzer **16** bestimmen, dass der zweite Strahlformungs-Vektor **232** der beste Strahlformungs-Vektor ist und die Parameter des dritten Strahlformungs-Vektors **233** der Erfassungseinrichtung **14** zur Verwendung bei der Decodierung des empfangenen gerichteten Signals **30** zuführen. Wie in **Fig. 2B** gezeigt, ist der zweite Strahlformungs-Vektor **232** allerdings nicht perfekt bezüglich des Einstrahlwinkels θ des empfangenen gerichteten Signals **30** ausgerichtet und eine Leistung des Funk-Transceivers **10** bei der Decodierung des Signals würde verbessert werden, wenn der ausgewählte Strahlformungs-Vektor genauer mit dem Einstrahlwinkel θ des empfangenen Signals **30** übereinstimmen würde.

[0044] Entsprechend betreffen Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung eine Verbesserung einer Hybrid-Strahlformungs-Verstärkung, indem ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} für eine nächste ($t + 1$) Strahlschwenkungs-Zeitspanne basierend auf dem kombinierten Kanal $Y_t \in \mathbb{C}^{M \times K}$ und basierend auf dem

Strahlformungs-Codebuch $W_t \in \mathbb{C}^{M \times N_R}$ für die aktuelle (t) Strahlschwenkungs-Zeitspanne berechnet wird. (Dies kann genauso als Aktualisierung eines vorherigen Strahlformungs-Codebuchs W_{t-1} während einer vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne $t - 1$ bezeichnet werden, um ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch zu berechnen (oder ein aktuelles Strahlformungs-Codebuch) W_t für die aktuelle Zeitspanne t.)

[0045] **Fig. 2C** stellt eine Situation dar, in der das Strahlformungs-Codebuch aktualisiert ist. Wie in **Fig. 2C** gezeigt, unterscheiden sich nach der Aktualisierung des Strahlformungs-Codebuchs die Richtungen der aktualisierten Strahlformungs-Vektoren **231'**, **232'** und **233'** von den Richtungen der Strahlformungs-Vektoren **231**, **232** und **233**, die in **Fig. 2B** gezeigt sind. Genauer gesagt, ist die Richtung des aktualisierten ersten Strahlformungs-Vektors **231'** bezüglich des Einstrahlwinkels θ des gerichteten Si-

gnals **30** ausgerichtet und die Endpunkte des entsprechenden dritten Sektors **221'** sind ebenfalls aktualisiert. Der aktualisierte zweite und dritte Strahlformungs-Vektor **232'** und **233'** werden ebenfalls aktualisiert, sodass sie in neue Richtungen zeigen. Systeme und Verfahren zum Berechnen eines aktualisierten Strahlformungs-Codebuchs entsprechend Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden nachfolgend detaillierter beschrieben.

[0046] Fig. 3 ist ein Blockschaltbild eines Strahlformungs-Codebuch-Updaters **140** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung. Wie in Fig. 3 gezeigt, umfasst der Codebuch-Updater **140** in einer Ausführungsform einen Schätzer **142** für einen dominanten Einstrahlwinkel (AoA), einen Rechner **144** für einen verbleibenden Einstrahlwinkel (AoA) und einen Codebuch-Konstruktor **146**. Fig. 4 ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren **400** zur Aktualisierung eines Strahlformungs-Codebuchs entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung darstellt.

[0047] Bezug nehmend auf Fig. 3 und Fig. 4 führt der Kanalschätzer **16** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung einen geschätzten kombinierten Kanal Y_t dem Codebuch-Updater **140** zu. Der Codebuch-Updater **140** kann auch das Strahlformungs-Codebuch W_t für die aktuelle Strahl-schwenkungs-Zeitspanne t als Eingabe empfangen oder der Codebuch-Updater **140** kann das Strahlformungs-Codebuch W_t bereits in einem Speicher abgespeichert aufweisen (z. B. von den vorherigen Berechnungen oder basierend auf einer Initialisierung des Codebuch-Updaters **140**).

[0048] Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen einen Ansatz basierend auf komprimierter Erfassung (CS oder Compressed bzw. Compressive Sensing) für ein Codebuch-Update unter der Annahme, dass der Kanal in der Winkelbereich dünnbesetzt ist. Wie oben erwähnt, kann mit θ als Einstrahlwinkel (AoA) des gerichteten Signals **30** und d als Antennenbeabstandung oder Antennenabstand der Antennenelemente eines einheitlichen linearen Arrays der Antennenantwortvektor wie folgt geschrieben werden:

$$a(\theta) = \left[e^{j0\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta}, \dots, e^{j(N_R-1)\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta} \right]^T \in \mathcal{C}^{N_R} \quad (6)$$

wobei λ eine Wellenlänge bezeichnet, T eine Transpositionsoperation angibt und ohne Beschränkung der Allgemeinheit angenommen wird, dass $d = \lambda/2$ und $x = \pi \cos \theta$. Bezeichnet wird $X = \{\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_N\}$ als Satz an quantisierten Werten für Einstrahlwinkel (AoAs), wobei:

$$\bar{x}_n = \pi \left(-1 + \frac{2}{N}(n-1) \right), n = 1, \dots, N \quad (7)$$

[0049] In einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung kann das anfängliche Strahlformungs-Codebuch (z. B. wenn das System zuerst gestartet wird, bevor irgendwelche Aktualisierungen an dem Strahlformungs-Codebuch durchgeführt werden) ein Codebuch mit einer einheitlichen diskreten Fourier-Transformation (DFT) sein. In einigen Ausführungsformen ist das anfängliche Strahlformungs-Codebuch ein Partial-Identity-Codebuch. In einigen Ausführungsformen ist das anfängliche Strahlformungs-Codebuch das im Nachfolgenden gegebene:

$$W = [U_M \ 0] \quad (8)$$

für eine beliebige unitäre Matrix U_M . Wenn U_M eine DFT-Matrix voller Größe ist, kann der Codebuch-Updater **140** M Winkel aus U_M extrahieren, um den dominanten AoA zu schätzen, wie nachfolgend genauer beschrieben.

[0050] In Vorgang **410** schätzt der Schätzer **142** des dominanten AoA des Codebuch-Updaters **140** den dominanten AoA \bar{x}_1 basierend auf dem gegebenen geschätzten kombinierten Kanal Y und dem aktuellen Strahlformungs-Codebuch W_t .

[0051] Nach dem Schätzen des dominanten AoA \bar{x}_1 berechnet der Rechner **144** des verbleibenden AoA des Codebuch-Updaters **140** in Vorgang **450** die verbleibenden $(M - 1)$ AoAs ($\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_M$) für das aktualisierte Codebuch und in Vorgang **490** erstellt der Codebuch-Konstruktor **146** des Codebuch-Updaters **140** das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} basierend auf dem berechneten dominanten AoA \bar{x}_1 und den verbleibenden $(M - 1)$ AoAs ($\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_M$).

[0052] Die Einzelheiten zum Berechnen des dominanten AoA \bar{x}_1 durch den Schätzer **142** des dominanten AoA in Vorgang **410** und der verbleibenden $M - 1$ AoAs ($\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_M$) durch den Rechner **144** des verbleibenden AoA in Vorgang **450** wird nachfolgend bezüglich zwei unterschiedlichen Bedingungen genauer beschrieben: ein Fall, in dem das Strahlformungs-Codebuch W genau zwei Strahlformungs-Vektoren umfasst $M = 2$ (z. B. wie in Fig. 2A dargestellt); und ein Fall, in dem das Strahlformungs-Codebuch W mehr als zwei Strahlformungs-Vektoren umfasst, $M > 2$ (genauso drei oder mehr Strahlformungs-Vektoren, $M \geq 3$, z. B. der Fall von $M = 3$, wie in Fig. 2B und Fig. 2C dargestellt).

[0053] Falls in Fällen, in denen das Strahlformungs-Codebuch W genau zwei Strahlformungs-Vektoren ($M = 2$) umfasst und die Anzahl Antennenelemente N_R in dem Empfangs-Antennen-Array **120** gerade ist,

das Strahlformungs-Codebuch W für einige Konstanten C_i wie folgt geschrieben werden kann:

$$W = [W_1 \ \dots \ W_J] \in \mathbb{C}^{2 \times N_R}, \quad (9)$$

$$W_i = C_i W_1 \in \mathbb{C}^{2 \times 2} \text{ für } i = 1, \dots, J = N_R / 2 \quad (10)$$

so schätzt der Schätzer **142** des dominanten AoA den dominanten AoA \tilde{x}_1 in Vorgang **410** entsprechend der nachfolgend angegebenen Lösung in geschlossener Form.

$$\tilde{x}_1 = \angle \left(\hat{h}_2 \hat{h}_1^H \right) \quad (11)$$

$$W_1^H Y = \begin{bmatrix} \hat{h}_1 \\ \hat{h}_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$W_1 = W(1:2, 1:2) \in \mathbb{C}^{2 \times 2} \quad (13)$$

wobei \hat{h}_{1t} und \hat{h}_{2t} die geschätzten analogen Kanäle sind, die den ersten zwei Antennenelementen entsprechen (z. B. zwei Antennenelemente des Antennen-Arrays).

[0054] In dieser Ausführungsform wird der einzig andere AoA \tilde{x}_2 (da $M = 2$ und folglich $M - 1 = 1$) durch den Rechner **144** des verbleibenden AoA in Vorgang **450** als in die entgegengesetzte Richtung von dem dominanten AoA zeigend gemäß Folgendem berechnet: $\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 + \pi$.

[0055] Entsprechend bildet der Codebuch-Konstruktor **146** in Vorgang **490** das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} als

$$W_{t+1} = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_1)^H \\ a(\tilde{x}_1 + \pi)^H \end{bmatrix} \quad (14)$$

[0056] Das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} ist ein Codebuch mit einer einheitlichen diskreten Fourier-Transformation (DFT). Falls N_R gerade ist, so erfüllt W_{t+1} die Bedingungen von obigen Gleichungen (9) und (10). In dem Fall, in dem $M = 2$, kann daher während jeder Strahlschwenkungs-Zeitspanne die Lösung in geschlossener Form gemäß Gleichungen (11), (12) und (13) verwendet werden, um den dominanten AoA \tilde{x}_1 und die verbleibenden AoAs (den anderen AoA \tilde{x}_2) des aktualisierten Strahlformungs-Codebuchs abzuleiten.

[0057] In Fällen, in denen das Strahlformungs-Codebuch mehr als zwei Strahlformungs-Vektoren umfasst ($M > 2$), betreffen Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung ein Reduzieren der Komplexität einer Suche nach dem dominanten AoA in Vorgang **410** durch den Schätzer **142** des dominanten AoA, indem nur in einem bestimmten Satz an Winkeln gesucht wird. **Fig. 5** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Berechnen eines dominanten Einstrahlwinkels (AoA) entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

[0058] Angenommen, jeder Strahlformungs-Vektor w in dem Strahlformungs-Codebuch W ist ein Vektor einer diskreten Fourier-Transformation (DFT), so kann entsprechend Winkeln b_1, \dots, b_M das Strahlformungs-Codebuch W wie folgt ausgedrückt werden:

$$W = \begin{bmatrix} a(b_1)^H \\ \vdots \\ a(b_M)^H \end{bmatrix} \quad (15)$$

[0059] Mit anderen Worten, der Schätzer dominanter AoA wählt einen dominanten AoA b^* aus den Winkeln b_1, \dots, b_M des aktuellen Strahlformungs-Codebuchs W_t aus, indem der Winkel ausgewählt wird, der die größte empfangene Signalleistung aufweist, z. B. der den folgenden Ausdruck maximiert:

$$b^* = \underset{m}{\operatorname{argmax}} \ y_m y_m^H, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} \quad (16)$$

[0060] Ausgedrückt als Formel wird der dominante AoA \tilde{x}_1 des Kanals entsprechend dem Folgenden geschätzt:

$$\tilde{x}_1 = \underset{x \in \mathcal{N}(b^*)}{\operatorname{argmax}} \ \frac{\varphi(x)^H Y Y^H \varphi(x)}{\|\varphi(x)\|^2} \quad (17)$$

wobei H eine konjugierte Transposition angibt und wobei $\mathcal{N}(b^*)$ ein Satz Winkel in einer Umgebung um einen ausgewählten Suchwinkel b^* ist.

[0061] In einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung bezieht sich $\mathcal{N}(b^*)$ auf N quantisierte Werte, die einheitlich zwischen $-\pi$ bis π abgetastet werden (z. B. dem ganzen Bereich an möglichen Werten). Dieser Ansatz kann vorteilhaft sein, wenn es kein vorher vorhandenes Wissen über den wahrscheinlichen Einstrahlwinkel des empfangenen gerichteten Signals **30** gibt.

[0062] Anstelle in N quantisierten Werten zu suchen, die einheitlich zwischen $-\pi$ bis π abgetastet wurden, betreffen in einigen Ausführungsformen Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung den Schätzer **142** des dominanten AoA, der den dominanten AoA \tilde{x}_1 aus einer Umgebung an potentiellen Winkeln berechnet, die um einen Suchwinkel b^* herum abgetastet wurden, ausgewählt aus b_1, \dots, b_M , der die größte Empfangssignalleistung ergibt. Gemäß einigen Ausführungsformen wählt der Schätzer **142** des dominanten AoA in Vorgang **412** einen Suchwinkel b^* aus b_1, \dots, b_M aus. In einigen Ausführungsformen wird n_1 entsprechend Folgendem berechnet:

$$b^* = \underset{m}{\operatorname{argmax}} \underline{y}_m \underline{y}_m^H, \quad (18)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \vdots \\ \underline{y}_M \end{bmatrix} \quad (19)$$

[0063] Wenn ein ausgewählter Suchwinkel b^* , gegeben ist, berechnet der Schätzer **142** des dominanten AoA gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung in Vorgang **414** dann einen Satz an möglichen Suchwinkeln $\mathcal{N}(b^*)$ in der Umgebung des ausgewählten Suchwinkels b^* gegeben durch:

$$\mathcal{N}(b^*) = \left\{ x : x = b_{n_1} + \frac{\pi}{8} l, l = -4, \dots, 0, \dots, 4 \right\} \quad (20)$$

[0064] In dem obigen Ausdruck werden neun mögliche Suchwinkel mit der Winkelauflösung von $\pi/8$ berechnet. Allerdings sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht darauf beschränkt und können andere Zahlen als Abtastpunkte umfassen, wie beispielsweise 17 Punkte, die mit einer Winkelauflösung von $\pi/16$ abgetastet wurden, oder 13 Punkte, die mit einer Winkelauflösung von $\pi/12$ abgetastet wurden.

[0065] Allgemeiner können für eine Schätzung des dominanten AoA mit $M > 2$, bei gegebenem Winkel b^* unterschiedliche Wahlmöglichkeiten möglicher Suchwinkel

$$\mathcal{N}(b^*)$$

in einer Nachbarschaft berechnet werden, wenn der dominante AoA \tilde{x}_1 geschätzt wird. Insbesondere kann der Schätzer **142** des dominanten AoA entsprechend der Komplexität, die angesichts der Hardware-Beschränkungen des Codebuch-Updateers **140** tragbar sind, sowie der statistischen Sicherheit eines ausge-

wählten Winkels b^* , den Satz an möglichen Suchwinkeln $\mathcal{N}(b^*)$ dynamisch anpassen:

$$\mathcal{N}(b^*) = \{x : x = b^* + \Delta l, l = -N, \dots, 0, \dots, N\} \quad (21)$$

indem geeignete Werte für eine Winkelauflösung Δ und eine Anzahl Winkel in dem Satz **2N + 1** ausgewählt werden. Falls zum Beispiel die Komplexität kein Problem ist (z. B. weil der Codebuch-Updateer eine ausreichende Verarbeitungskapazität aufweist, um eine Berechnung innerhalb des zugewiesenen Zeitfensters durchzuführen, z. B. vor der nächsten $(t + 1)$ Strahlschwenkungs-Zeitspanne) kann der Schätzer **142** des dominanten AoA einen hohen Wert aus N und einen niedrigen Wert aus Δ verwenden. Falls die Sicherheit des ausgewählten Winkels b^* hoch ist (z. B. eine hohe Sicherheit, dass der ausgewählte Winkel b_{n_1} in der Nähe des tatsächlichen Einstrahlwinkels ist), kann man, in Anbetracht des Komplexitätsniveaus, einen niedrigen Wert aus Δ auswählen, um eine feinere Winkelauflösung aufzuweisen (z. B. ergibt sich wahrscheinlich ein geschätzter dominanter AoA, der näher an dem tatsächlichen AoA des empfangenen gerichteten Signals **30** liegt).

[0066] In Vorgang **416** identifiziert der Schätzer **142** des dominanten AoA dann den dominanten AoA \tilde{x}_1 aus den Winkeln in der Umgebung $\mathcal{N}(b^*)$ eines ausgewählten Suchwinkels b^* gemäß:

$$\tilde{x}_1 = \underset{x \in \mathcal{N}(b^*)}{\operatorname{argmax}} \frac{\varphi(x)^H Y Y^H \varphi(x)}{\|\varphi(x)\|^2} \quad (22)$$

[0067] Mit anderen Worten, der Schätzer **142** des dominanten AoA berechnet eine Korrelation bei einer Abtastung von Punkten $\mathcal{N}(b^*)$ (z. B. 9 Punkten in dem obigen Ausdruck) um einen ausgewählten Suchwinkel b^* herum und wählt den Winkel aus, der die maximale Korrelation als geschätzter dominanter AoA \tilde{x}_1 aufweist. In einigen Ausführungsformen, wo jede Zeile in dem Strahlformungs-Codebuch W kein DFT-Vektor ist, wird die Korrelation bei einigen wenigen AoAs berechnet und b^* wird basierend auf der höchsten Korrelation AoA aus diesen wenigen AoAs berechnet.

[0068] Ferner wird in einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung, falls sich der dominante AoA \tilde{x}_1 des tatsächlichen Kanals langsam zwischen zwei Strahlschwenkungs-Zeitspannen ändert (z. B. weil die Mobilstation relativ still oder ruhig steht), der ausgewählte Suchwinkel t in der b^* . Strahlschwenkungs-Zeitspanne gleich oder fast der geschätzte dominante AoA $\tilde{x}_{1(t-1)}$ aus der vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne sein $(t - 1)$. In einigen

Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung wird dementsprechend für $t > 1$, anstelle b_t^* zu berechnen, der dominante AoA $\tilde{x}_{1(t-1)}$ von der vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne in Vorgang **412** als ausgewählter Suchwinkel b_t^* verwendet, in dessen Nachbarschaft der dominante AoA während der aktuellen Strahlschwenkungs-Zeitspanne gesucht wird. Allerdings kann der Schätzer **142** des dominanten AoA für die erste Strahlschwenkungs-Zeitspanne ($t = 1$) den ausgewählten Suchwinkel b_1^* berechnen, da keine Informationen bezüglich des kanaldominanten AoA vorhanden sind. (Es ist zu beachten, dass die oben erläuterte Annäherung für jeden beliebigen Wert einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M und Anzahl Empfangsantenne N_R funktioniert.)

[0069] In einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung wird die Schätzung des dominanten AoA \tilde{x}_1 für Zeitspannen nach der Anfangszeitspanne ($t > 1$) weiter vereinfacht. Insbesondere durch die Bezeichnung:

$$Y_t = \begin{bmatrix} \underline{y}_{1t} \\ \underline{y}_{2t} \\ \underline{y}_{3t} \end{bmatrix}, Y_t = \begin{bmatrix} \underline{y}_{1t} \\ \underline{y}_{2t} \end{bmatrix} \quad (23)$$

und

$$W_t = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_{1(t-1)})^H \\ a(\tilde{x}_{1(t-1)+\pi})^H \\ a(\tilde{x}_{3(t-1)})^H \end{bmatrix}, \tilde{W}_t = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_{1(t-1)})^H \\ a(\tilde{x}_{1(t-1)+\pi})^H \end{bmatrix} = [\tilde{W}_{1t} \dots \tilde{W}_{jt}] \quad (24)$$

$$\tilde{W}_{jt} \in \mathbb{C}^{2 \times 2}, j = 1, \dots, \frac{N_R}{2} \quad (25)$$

dann wird in einigen Ausführungsformen der dominante AoA \tilde{x}_{1t} der aktuellen Strahlschwenkungs-Zeitspanne t entsprechend Folgendem berechnet:

$$\tilde{x}_{1t} = \angle \left(\hat{h}_{2t} \hat{h}_{1t}^H \right) \text{ wobei } \tilde{W}_{1t}^H \tilde{Y}_t = \begin{bmatrix} \hat{h}_{1t} \\ \hat{h}_{2t} \end{bmatrix} \quad (26)$$

[0070] Mit anderen Worten, in einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung berücksichtigt der Schätzer **142** des dominanten AoA nur die ersten zwei Strahlschwenkungs-Messungen y_{1t} und y_{2t} bei der Schätzung von \tilde{x}_{1t} . (Wenn allerdings der Kanal unter Verwendung der Erfassungseinrichtung **14** wiederhergestellt wird, werden alle Strahlungsvektoren

in dem aktuellen Strahlformungs-Codebuch W_t berücksichtigt.)

[0071] Wieder Bezug nehmend auf **Fig. 3** und **Fig. 4**, berechnet der Rechner **144** des verbleibenden AoA in Vorgang **450** die verbleibenden ($M - 1$) AoAs (oder Strahlformungs-Vektoren) für das aktualisierte Codebuch W für den Fall, in dem $M > 2$.

[0072] In Ausführungsformen, in denen die Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array **120** eine ganzzahliges Mehrfaches der Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem Strahlformungs-Codebuch W ist, berechnet der Rechner für den verbleibenden AoA die verbleibenden AoAs in Vorgang **450** entsprechend:

$$\tilde{x}_i = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{M}(i - 1), i = 2, \dots, M \quad (27)$$

[0073] In Ausführungsformen, in denen die Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array **120** kein ganzzahliges Mehrfaches der Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem Strahlformungs-Codebuch W ist, berechnet der Rechner für den verbleibenden AoA die verbleibenden AoAs in Vorgang **450** aus einem beschränkten Satz an Winkeln $l(\tilde{x}_1)$, die um die 360° oder 2π -Bereich möglicher AoAs beabstandet sind, wo:

$$l(\tilde{x}_1) = \left\{ x : x = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{N_R} n, n = 0, \dots, N_R - 1 \right\} \quad (28)$$

[0074] Genauer gesagt, werden in einigen Ausführungsformen die verbleibenden AoAs aus $l(\tilde{x}_1)$ durch einen iterativen Prozess berechnet, wie beispielsweise Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit (SOMP).

[0075] In einigen Ausführungsformen, wie beispielsweise wo der Rechner **144** des verbleibenden AoA rechentechnisch eingeschränkt ist (z. B. kann es nicht praktikabel sein, einen iterativen Algorithmus innerhalb des Zeitrahmens und/oder dem Energiehaushalt des Systems zu verwenden), wählt der Rechner **144** des verbleibenden AoA die verbleibenden AoAs aus $l(\tilde{x}_1)$ auf eine Weise aus, die zu einem orthogonal aktualisierten Codebuch W führt; dies wird im Nachfolgenden genauer beschrieben.

[0076] Zum Beispiel in dem Fall, in dem $M = 3$, wird gemäß einer Ausführungsform bei einem gegebenen geschätzten dominanten AoA \tilde{x}_1 die Auswahl der verbleibenden AoAs durchgeführt, indem Folgendes ausgewählt wird:

$$\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 - 2\pi / N_R \quad (29)$$

$$\tilde{x}_3 = \tilde{x}_1 + 2\pi IN_R \quad (30)$$

[0077] In dem Fall, in dem M nicht 3 ist, können die verbleibenden AoAs beliebig aus dem Satz I(\tilde{x}_1) ausgewählt werden, um ein orthogonales Strahlformungs-Codebuch zu bilden.

[0078] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung wird in einem Fall, in dem es eine gerade Anzahl Antennenelemente N_R in dem Empfangsantennen-Array **120** gibt, bei einem gegebenen geschätzten dominanten AoA \tilde{x}_1 die beliebige Auswahl der verbleibenden AoAs durchgeführt, in dem Folgendes ausgewählt wird:

$$\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 + \pi \quad (31)$$

$$\tilde{x}_3 = \tilde{x}_1 + 2\pi IN_R \quad (32)$$

[0079] In dem Fall, in dem M nicht 3 ist, können die verbleibenden AoAs beliebig aus dem Satz I(\tilde{x}_1) ausgewählt werden, um ein orthogonales Strahlformungs-Codebuch zu bilden.

[0080] Wenn die Strahlformungs-Vektoren oder AoAs, die durch den Schätzer **142** des dominanten AoA und den Rechner **144** des verbleibenden AoA geschätzt wurden, wie oben erläutert gegeben sind, erstellt der Codebuch-Konstruktor **146** ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} entsprechend:

$$W_{t+1} = [a(\tilde{x}_1), \dots, a(\tilde{x}_M)]^H \quad (33)$$

[0081] **Fig. 6** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Aktualisieren eines Codebuchs und Empfangen eines Signals gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung. In der in **Fig. 6** gezeigten Ausführungsform werden Vorgänge zum Empfangen eines Strahlschwenkungs-Signals während einer (t - 1). Zeitspanne oder einer vorherigen Zeitspanne, zum Berechnen eines aktualisierten Codebuchs für die nachfolgende Zeitspanne, z. B. der t. Zeitspanne oder der „aktuellen Zeitspanne“ und zum Verwenden des aktualisierten Codebuchs zum Bestimmen eines Strahlformungs-Vektors bei Empfangen eines Datensignals für die aktuelle Zeitspanne (die t. Zeitspanne) durchgeführt.

[0082] Wie in **Fig. 6** gezeigt, empfängt ein Funk-Transceiver (z. B. der Funk-Transceiver **10** der Mobilstation **100**) in Vorgang **601** während einer (t - 1). Zeitspanne ein (t - 1). gerichtetes elektromagnetisches Strahlschwenkungs-Signal an einem Antennen-Array (z. B. Antennen-Array **120**) während einer Strahlschwenkungs-Zeitspanne (z. B. einer (t - 1). Strahlschwenkungs-Zeitspanne der (t - 1). Zeitspanne) und berechnet einen geschätzten kombinierten

Kanal Y_{t-1} (z. B. unter Verwendung des Kanalschätzers **16**) aus dem empfangenen Strahlschwenkungs-Signal. In Vorgang **603** berechnet ein Funk-Transceiver ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch W_t basierend auf dem geschätzten kombinierten Kanal Y_{t-1} und dem Strahlformungs-Codebuch W_{t-1} für die (t - 1). Zeitspanne unter Verwendung der oben beschriebenen Systeme und Verfahren, wie beispielsweise in den in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten Ausführungsformen. Auf ähnliche Art und Weise wie jene bei Vorgang **603** kann das aktualisierte aktuelle Strahlformungs-Codebuch W_t für die aktuelle Zeitspanne t dann in Vorgang **613** verwendet werden, um ein nächstes Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} für die nächste Zeitspanne (t + 1) zu berechnen, wie nachfolgend detaillierter beschrieben.

[0083] Wie in **Fig. 6** gezeigt, kann der Funk-Transceiver in Vorgang **605** während einer (t - 1). Datenempfangszeitspanne einen Strahlformungs-Vektor w_{t-1} für ein gerichtetes elektromagnetisches Datensignal, das an dem gleichen Antennen-Array (z. B. Antennen-Array **120**) empfangen wurde, basierend auf dem Strahlformungs-Codebuch W_{t-1} , das in einer vorherigen Zeitspanne (z. B. der (t - 2). Zeitspanne) berechnet wurde, bestimmen. Ansätze zum Bestimmen eines Strahlformungs-Vektors werden nachfolgend detaillierter bezüglich Vorgang **615** beschrieben. In Vorgang **607** erfasst die Erfassungseinrichtung **14** unter Verwendung des bestimmten Strahlformungs-Vektors (z. B. als Channel-State-Information-Parameter) die Datensymbole in dem empfangenen gerichtetem elektromagnetischen Datensignal und der Decoder **18** kann die Daten in den empfangenen Datensymbolen dekodieren.

[0084] In der in **Fig. 6** gezeigten Ausführungsform werden eine Berechnung eines vorherigen geschätzten kombinierten Kanals **601**, eine Berechnung eines aktualisierten aktuellen Codebuchs **603**, eine Bestimmung eines vorherigen Strahlformungs-Vektors **605** und eine Erfassung vorheriger Datensymbole **607** alle während einer vorherigen Zeitspanne oder (t - 1). Zeitspanne (oder ersten Zeitspanne) durchgeführt. **Fig. 6** zeigt ferner Vorgänge **611**, **613**, **615** und **617**, die während einer aktuellen Zeitspanne oder t. Zeitspanne (oder zweiten Zeitspanne) nach der vorherigen Zeitspanne durchgeführt werden (z. B. unmittelbar nach der (t - 1). Zeitspanne).

[0085] Bezug nehmend auf **Fig. 6** empfängt der Funk-Transceiver in Vorgang **611**, während einer t. Zeitspanne oder aktuellen Zeitspanne, ein t. gerichtetes elektromagnetisches Strahlschwenkungs-Signal an dem Antennen-Array (z. B. dem gleichen Antennen-Array **120**, das während der (t - 1). Zeitspanne verwendet wird) während einer anderen Strahlschwenkungs-Zeitspanne (z. B. einer t. Strahlschwenkungs-Zeitspanne der t. Zeitspanne) und berechnet einen geschätzten kombinierten Kanal Y_t (z.

B. unter Verwendung des Kanalschätzers **16**) für die aktuelle Zeitspanne aus dem empfangenen Strahl-schwenkungs-Signal. In Vorgang **613** berechnet der Funk-Transceiver ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} für eine nächste Zeitspanne (z. B. ($t + 1$). Zeitspanne) basierend auf dem aktuellen geschätzten kombinierten Kanal Y_t und dem aktuellen Strahlformungs-Codebuch W_t für die t . Zeitspanne unter Verwendung der oben beschriebenen Systeme und Verfahren, wie beispielsweise in den in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten Ausführungsformen. In der in **Fig. 6** gezeigten Ausführungsform ist das aktuelle Strahlformungs-Codebuch W_t , das in Vorgang **613** und Vorgang **615** verwendet wird, das Codebuch, das während der vorherigen ($t - 1$). Zeitspanne in Vorgang **603** berechnet wurde.

[0086] In Vorgang **615** kann der Funk-Transceiver während einer t . Datenempfangszeitspanne einen Strahlformungs-Vektor w_t für ein gerichtetes elektromagnetisches Datensignal (oder t . Datensignal), das an dem gleichen Antennen-Array (z. B. Antennen-Array **120**) empfangen wurde, basierend auf dem aktuellen Strahlformungs-Codebuch W_t , das in einer vorherigen Zeitspanne berechnet wurde (z. B. während der vorherigen Zeitspanne oder der ($t - 1$). Zeitspanne berechnet wurde), bestimmen.

[0087] Ansätze zum Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für das empfangene gerichtete elektromagnetische Datensignal umfassen: Auswählen eines Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang aus dem aktuellen Strahlformungs-Codebuch W_t für die aktuelle Zeitspanne t ohne eine Kanalschätzung durchzuführen; und Berechnen eines Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang, der explizit auf einem wiederhergestellten analogen Kanal des gerichteten elektromagnetischen Datensignals basiert, wobei der analoge Kanal basierend auf dem aktuellen Strahlformungs-Codebuch W_t und der Schätzung des aktuellen kombinierten Kanals Y_t für die aktuelle Zeitspanne t wiederhergestellt werden kann. In Ausführungsformen, in denen der Strahlformungs-Vektor explizit basierend auf dem wiederhergestellten analogen Kanal für die aktuelle Zeitspanne t berechnet wird, kann das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_t mit verschiedenen Kanalwiederherstellungstechniken verwendet werden, wie beispielsweise Algorithmen, die auf einer Methode der kleinsten Quadrate und/oder auf komprimierter Erfassung basieren.

[0088] In Vorgang **617** erfasst die Erfassungseinrichtung **14** unter Verwendung des bestimmten Strahlformungs-Vektors für die aktuelle Zeitspanne t (z. B. als Channel-State-Information-Parameter) die Datensymbole in dem empfangenen t . gerichteten elektromagnetischen Datensignal und der Decoder **18** kann die Daten in den empfangenen Datensymbolen dekodieren.

[0089] Indem das Strahlformungs-Codebuch basierend auf Strahlformungs-Signalen aus einer aktuellsten Strahlschwenkungs-Zeitspanne (z. B. der unmittelbar vorherigen Strahlschwenkungs-Zeitspanne) aktualisiert wird, wirken Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung einem schlechten Linkbudget entgegen, indem die Qualität (z. B. Signal-Rausch-Verhältnis) des Empfangs und der Decodierung des empfangenen gerichteten elektromagnetischen Datensignals verbessert wird, entweder durch Auswählen eines Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang aus dem Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} ohne Durchführung einer Kanalschätzung, oder durch Berechnen eines Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang explizit basierend auf einer Kanalschätzung und dem Strahlformungs-Codebuch W_{t+1} .

[0090] Obwohl jede Zeitspanne allgemein sowohl eine Strahlschwenkungs-Zeitspanne als auch eine Datenempfangszeitspanne umfassen wird, sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung zum Zwecke der Klarheit nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel kann in der in **Fig. 6** gezeigten Ausführungsform die vorherige oder ($t - 1$). Zeitspanne eine Strahlschwenkungs-Zeitspanne umfassen, aber sie kann eine Datenempfangszeitspanne ausschließen, und die aktuelle oder t . Zeitspanne kann eine Datenempfangszeitspanne umfassen und kann eine Strahlschwenkungs-Zeitspanne ausschließen. Dementsprechend zeigt **Fig. 6** Vorgänge **605**, **607**, **611** und **613** mit Strichlinien, um zu zeigen, dass sie optional sind. Zudem sind, obwohl **Fig. 6** zeigt, dass das aktualisierte Codebuch für die nächste Zeitspanne berechnet wird, bevor ein Strahlformungs-Vektor für ein Datensignal der aktuellen Zeitspanne bestimmt wird, Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht darauf beschränkt. In einigen Ausführungsformen wird zum Beispiel das aktualisierte Codebuch für die nächste Zeitspanne berechnet, nachdem der Strahlformungs-Vektor für das Datensignal der aktuellen Zeitspanne bestimmt wurde.

[0091] Dementsprechend betreffen Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung Systeme und Verfahren zum Aktualisieren eines Strahlformungs-Codebuchs, um eine analoge Strahlformungs-Verstärkung zu verbessern, indem ein Strahlformungs-Vektor des Strahlformungs-Codebuchs auf einen geschätzten dominanten Einstrahlwinkel eines empfangenen Signals ausgerichtet wird. Einige Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen Systeme und Verfahren zum Berechnen des geschätzten dominanten Einstrahlwinkels. Einige Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen eine Berechnung der verbleibenden Einstrahlwinkel für die verbleibenden Strahlformungs-Vektoren des Codebuchs basierend auf dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel.

[0092] Während Aspekte von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung oben bezüglich linearen Antennen-Arrays beschrieben sind, sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht darauf beschränkt und können für Antennen-Arrays mit anderen Formen adaptiert werden. Zum Beispiel in dem Fall eines planaren Antennen-Arrays können Antennenelemente entlang zwei Dimensionen beabstandet sein. In solchen Ausführungsformen kann das empfangene gerichtete Signal als einen Einstrahlwinkel (AoA) und einen Einstrahlzenitwinkel (ZoA) aufweisend betrachtet werden. Ebenso kann jeder der Strahlformungs-Vektoren des Codebuchs ebenfalls einen AoA und einen ZoA aufweisen. In den in **Fig. 2A**, **Fig. 2B** und **Fig. 2C** gezeigten Ausführungsformen war jeder Strahlformungs-Vektor mit einem Sektor oder einem Bereich an Winkeln assoziiert. Ebenso kann jeder Strahlformungs-Vektor im Falle eines planaren Arrays mit einem Raumwinkel potentieller Kombinationen aus AoA und ZoA assoziiert sein. Die Verfahren zum Berechnen eines geschätzten dominanten AoA und ZoA und eines Codebuchs können angepasst werden, wie es für einen Fachmann ersichtlich wäre, sodass sie für planare Arrays gelten. Zum Beispiel angenommen, ein planares Array weist Antennenelemente auf, die in einem rechtwinkligen Gitter mit N_x Zeilen und N_y Spalten angeordnet sind, und angenommen, die Antennenelemente sind in einem Abstand von einer Hälfte der Wellenlänge des Trägers beabstandet, so kann der Antennenantwortvektor $a(\theta, \phi)$ wie folgt geschrieben werden:

$$a(\theta, \phi) = a_x(\theta, \phi) \otimes a_y(\theta, \phi) \quad (34)$$

wobei \otimes ein Kronecker-Produkt bezeichnet und

$$a_x(\theta, \phi) = \begin{bmatrix} e^{j0\sin(\theta)\cos(\phi)} \\ \vdots \\ e^{j(N_x-1)\sin(\theta)\cos(\phi)} \end{bmatrix}, a_y(\theta, \phi) = \begin{bmatrix} e^{j0\sin(\theta)\sin(\phi)} \\ \vdots \\ e^{j(N_y-1)\sin(\theta)\sin(\phi)} \end{bmatrix} \quad (35)$$

wobei die Berechnung eines aktualisierten Strahlformungs-Codebuchs W auf eine im Wesentlichen ähnliche Art fortschreiten kann wie die oben beschriebene, aber unter Verwendung des Antennenantwortvektors $a(\theta, \phi)$ für ein planares Array anstelle des Antennenantwortvektors $a(\theta)$ für ein lineares Array.

[0093] Der Begriff „Verarbeitungsschaltung“ wird hierin verwendet, um jede beliebige Kombination an Hardware, Firmware und Software, die verwendet wird, um Daten oder Digitalsignale zu verarbeiten, zu bezeichnen. Eine Verarbeitungsschaltungs-Hardware kann zum Beispiel funkbasierte Prozessoren (PBs oder BBPs), anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASICs), zentrale Verarbeitungseinheiten (CPUs) für Universal- oder Spezialanwendun-

gen, digitale Signalprozessoren (DSPs), Grafikprozessoreinheiten (GPUs) und programmierbare Logikbausteine umfassen, wie beispielsweise Field Programmable Gate Arrays (FPGAs). In einer Verarbeitungsschaltung, wie sie vorliegend verwendet wird, wird jede Funktion entweder durch Hardware durchgeführt, die eingerichtet ist, d. h. fest verdrahtet ist, diese Funktion durchzuführen, oder durch allgemeinere Hardware, wie beispielsweise eine CPU, die eingerichtet ist, in einem nicht-transistorischen Speichermedium gespeicherte Anweisungen auszuführen. Eine Verarbeitungsschaltung kann auf einer einzelnen Platine (PCB) hergestellt oder über mehrere miteinander verbundene PCBs verteilt sein. Eine Verarbeitungsschaltung kann andere Verarbeitungsschaltungen umfassen; zum Beispiel kann eine Verarbeitungsschaltung zwei Verarbeitungsschaltungen umfassen, eine FPGA und eine CPU, die auf einer PCB miteinander verbunden sind.

[0094] Es versteht sich, dass obwohl die Begriffe „erste/erster/erstes“, „zweite/zweiter/zweites“, „dritte/dritter/drittes“ etc. vorliegend verwendet werden können, um verschiedene Elemente, Komponenten, Regionen, Schichten und/oder Bereiche zu beschreiben, diese Elemente, Komponenten, Regionen, Schichten und/oder Bereiche nicht durch diese Begriffe beschränkt sein sollen. Diese Begriffe werden ausschließlich verwendet, um ein Element, eine Komponente, eine Region, eine Schicht oder einen Bereich von einem anderen Element, einer anderen Komponente, Region, Schicht oder Bereich zu unterscheiden. Somit könnte ein erstes Element, eine erste Komponente, Region, Schicht oder ein erster Bereich, welche vorliegend erläutert werden, als zweites Element, zweite Komponente, Region, Schicht oder zweiter Bereich bezeichnet werden, ohne von dem Geist und Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0095] Die hierin verwendete Terminologie ist nur zum Zwecke der Beschreibung von bestimmten Ausführungsformen vorgesehen und ist nicht dazu gedacht, die Offenbarung zu beschränken. Wie vorliegend verwendet, werden die Begriffe „im Wesentlichen“, „etwa“ und ähnliche Begriffe als Begriffe der Annäherung und nicht als Begriffe eines Grads verwendet und sollen die Abweichungen, die gemessenen oder berechneten Werten eigen sind, berücksichtigen, die für einen üblichen Fachmann erkennbar wären.

[0096] Wie vorliegend verwendet, sind die Singularformen „einer“, „eines“ und „eine“ dazu gedacht, die Pluralformen ebenfalls zu enthalten, außer der Kontext gibt eindeutig anderes an. Es versteht sich ferner, dass die Begriffe „aufweisen“ und/oder „aufweisend“, wenn sie in dieser Spezifikation verwendet werden, die Anwesenheit der gegebenen Merkmale, ganze Zahlen, Schritte, Vorgänge, Elemente und/

oder Komponenten angeben, aber nicht die Anwesenheit oder Hinzufügung von einem oder mehreren anderen Merkmalen, ganzen Zahlen, Schritten, Vorgängen, Elementen, Komponenten und/oder Gruppen derselben ausschließen. Im Sinne des vorliegenden Textes umfasst der Begriff „und/oder“ jede beliebige und alle Kombinationen eines oder mehrerer der zugehörigen angeführten Aufzählungspunkte. Ausdrücke wie zum Beispiel „mindestens eines von“, wenn sie einer Liste von Elementen voranstehen, modifizieren die gesamte Liste von Elementen und modifizieren nicht die einzelnen Elemente der Liste. Ferner bezieht sich die Verwendung von „kann“ in der Beschreibung von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auf „eine oder mehrere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung“. Auch soll sich der Begriff „beispielhaft“ auf ein Beispiel oder eine Darstellung beziehen. Wie vorliegend verwendet, können die Begriffe „verwenden“, „verwendend“ und „verwendet“ als jeweils synonym zu den Begriffen „nutzt“, „nutzend“ und „genutzt“ erachtet werden.

abdecken soll, die in dem Geist und Umfang der beigefügten Ansprüche sowie deren Entsprechungen umfasst sind.

[0097] Es versteht sich, dass, wenn ein Element oder eine Schicht als „auf“, „verbunden mit“, „gekoppelt mit“ oder „neben“ einem anderen Element oder einer anderen Schicht bezeichnet wird, dieses bzw. diese direkt auf, verbunden mit, gekoppelt mit oder neben dem anderen Element oder der anderen Schicht sein kann, oder es können eines oder mehrere Zwischenelemente oder -schichten vorliegen. Wenn dagegen ein Element oder eine Schicht als „direkt auf“, „direkt verbunden mit“, „direkt gekoppelt mit“ oder „unmittelbar neben“ einem anderen Element oder Schicht bezeichnet wird, keine Zwischenelemente oder -schichten vorhanden sind.

[0098] Jeder hierin angegebene numerische Bereich soll alle Unterbereiche der gleichen numerischen Präzision umfassen, die innerhalb des angegebenen Bereichs subsummiert sind. Zum Beispiel soll ein Bereich von „1,0 bis 10,0“ alle Unterbereiche zwischen (und umfassend) dem angegebenen Mindestwert von 1,0 und dem angegebenen Maximalwert von 10,0 umfassen, das heißt, aufweisend einen Mindestwert größer gleich 1,0 und einen Maximalwert kleiner gleich 10,0, wie beispielsweise 2,4 bis 7,6. Jede maximale numerische Beschränkung, die hierin angegeben ist, soll alle niedrigeren numerischen Beschränkungen umfassen, die darin subsummiert sind, und jede minimale numerische Beschränkung, die in dieser Spezifikation angegeben ist, soll alle höheren numerischen Beschränkungen umfassen, die darin subsummiert sind.

[0099] Obgleich die vorliegende Erfindung in Verbindung mit bestimmten beispielhaften Ausführungsformen beschrieben wurde, versteht es sich, dass die Erfindung nicht auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt ist, sondern, im Gegenteil, verschiedene Modifikationen und äquivalente Anordnungen

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 63005850 [0001]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aktualisieren eines Strahlformungs-Codebuchs, das aufweist:

Empfangen, an einem Antennen-Array einer drahtlosen Kommunikationsvorrichtung während einer vorherigen Zeitspanne, eines ersten gerichteten elektromagnetischen Signals, das Strahlschwenkungs-Referenzsymbole einer vorherigen Strahlschwenkungszeitspanne aufweist;

Berechnen, durch eine Verarbeitungsschaltung der drahtlosen Kommunikationsvorrichtung, eines geschätzten kombinierten Kanals basierend auf dem empfangenen ersten gerichteten elektromagnetischen Signal;

Schätzen, durch die Verarbeitungsschaltung, eines dominanten Einstrahlwinkels (AoA) des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem geschätzten, kombinierten Kanal und einem vorherigen Strahlformungs-Codebuch, das zwei oder mehr Strahlformungs-Vektoren aufweist, die unterschiedlichen Einstrahlwinkeln entsprechen; und

Berechnen, durch die Verarbeitungsschaltung, eines oder mehrerer verbleibender Einstrahlwinkel, die von dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel beabstandet sind;

Erstellen, durch die Verarbeitungsschaltung, eines aktualisierten Strahlformungs-Codebuchs basierend auf dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel und dem einen oder den mehreren verbleibenden Einstrahlwinkeln;

Empfangen eines zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals, das Datensymbole aufweist, an dem Antennen-Array während einer aktuellen Zeitspanne; Bestimmen eines Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuchs; und

Erfassen, durch die Verarbeitungsschaltung, der Datensymbole in dem zweiten gerichteten elektromagnetischen Signal basierend auf dem bestimmten Strahlformungs-Vektor.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch aus zwei Strahlformungs-Vektoren besteht,

wobei das Schätzen des dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ein Berechnen von

$$\tilde{x}_1 = \angle \left(\hat{h}_2 \hat{h}_1^H \right)$$

wobei

$$W_1^H Y = \begin{bmatrix} \hat{h}_1 \\ \hat{h}_2 \end{bmatrix}$$

und

$$W_1 = W(1:2, 1:2) \in \mathcal{C}^{2 \times 2}$$

wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und \hat{h}_1 und \hat{h}_2 geschätzte analoge Kanäle sind, die zwei Antennenelementen des Antennen-Arrays entsprechen, wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem Strahlformungs-Vektor bestehen, wobei das Antennen-Array eine gerade Anzahl Antennenelemente aufweist, und wobei der verbleibende Einstrahlwinkel \tilde{x}_2 entsprechend $\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 + \pi$ berechnet wird, und

wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_t entsprechend

$$W_t = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_1)^H \\ a(\tilde{x}_1 + \pi)^H \end{bmatrix}$$

berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch drei oder mehr Strahlformungs-Vektoren aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Schätzen des dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ein Berechnen aufweist:

$$\tilde{x}_1 = \operatorname{argmax}_{x \in \mathcal{N}(b^*)} \frac{\varphi(x)^H Y Y^H \varphi(x)}{\|\varphi(x)\|^2},$$

$$\varphi(\tilde{x}_i) = W a(\tilde{x}_i) \in \mathcal{C}^M,$$

$$a(\tilde{x}_i) = \left[e^{j0\tilde{x}_i}, \dots, e^{j(N_R-1)\tilde{x}_i} \right]^T \in \mathcal{C}^{N_R}$$

wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und $\mathcal{N}(b^*)$ ein Satz Winkel in einem Bereich um einen ausgewählten Suchwinkel b^* ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der ausgewählte Suchwinkel b^* entsprechend

$$b^* = \operatorname{argmax}_m \underline{y}_m \underline{y}_m^H$$

ausgewählt wird, wobei

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix}.$$

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der ausgewählte Suchwinkel b^* entsprechend einem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel eines dritten gerichteten elektromagnetischen Signals ausgewählt wird, das in einer vorherigen Strahlschwenkungszeitspanne empfangen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Satz an Winkeln in dem Bereich $\mathcal{N}(b^*)$ um den ausgewählten Suchwinkel b^* berechnet wird durch:

$$\mathcal{N}(b^*) = \{x : x = b^* + \Delta l, l = -N, \dots, 0, \dots, N\}$$

wobei N eine Anzahl Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ bis $2N + 1$ steuert und wobei Δ eine Winkelauflösung der Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ ist.

8. Verfahren nach Anspruch 3, wobei eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array ein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch ist und wobei der eine oder die mehreren Einstrahlwinkel \tilde{x}_i entsprechend

$$\tilde{x}_i = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{M}(i - 1), i = 2, \dots, M$$

berechnet werden, wobei \tilde{x}_1 der geschätzte dominante Einstrahlwinkel des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ist.

9. Verfahren nach Anspruch 3, wobei eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array kein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch ist und wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem beschränkten Satz an Winkeln $l(\tilde{x}_1)$ ausgewählt werden, wobei

$$l(\tilde{x}_1) = \left\{ x : x = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{N_R} n, n = 0, \dots, N_R - 1 \right\}.$$

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals aufweist, den Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang aus dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch auszuwählen, ohne eine Kanalschätzung durchzuführen.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals aufweist, den Strahlformungs-Vektor basierend auf einer Kanalschätzung des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals und basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch explizit zu berechnen.

12. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung, die eingerichtet ist, ein Strahlformungs-Codebuch zu aktualisieren, wobei die drahtlose Kommunikationsvorrichtung aufweist:

ein Antennen-Array;

eine Verarbeitungsschaltung, die eingerichtet ist, Signale von dem Antennen-Array zu empfangen und eingerichtet ist:

an dem Antennen-Array während einer vorherigen Zeitspanne ein erstes gerichtetes elektromagnetisches Signal zu empfangen, das Strahlschwenkungs-Referenzsymbole einer vorherigen Strahlschwenkungszeitspanne aufweist;

einen geschätzten kombinierten Kanal basierend auf dem empfangenen ersten gerichteten elektromagnetischen Signal zu berechnen;

einen dominanten Einstrahlwinkel (AoA) des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem geschätzten, kombinierten Kanal und einem vorherigen Strahlformungs-Codebuchs zu schätzen, das zwei oder mehr Strahlformungs-Vektoren aufweist, die unterschiedlichen Einstrahlwinkeln entsprechen;

einen oder mehrere verbleibende Einstrahlwinkel zu berechnen, die von dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel beabstandet sind;

ein aktualisiertes Strahlformungs-Codebuch basierend auf dem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel und dem einen oder den mehreren verbleibenden Einstrahlwinkeln zu erstellen;

an dem Antennen-Array während einer aktuellen Zeitspanne ein zweites gerichtetes elektromagnetisches Signal empfangen, das Datensymbole aufweist;

einen Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch zu bestimmen; und die Datensymbole in dem zweiten gerichteten elektromagnetischen Signal basierend auf dem bestimmten Strahlformungs-Vektor zu erfassen.

13. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 12, wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch aus zwei Strahlformungs-Vektoren besteht, wobei die Verarbeitungsschaltung eingerichtet ist, den dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals zu schätzen, indem

$$\tilde{x}_1 = \angle(\hat{h}_2 \hat{h}_1^H)$$

berechnet wird, wobei

$$W_1^H Y = \begin{bmatrix} \hat{h}_1 \\ \hat{h}_2 \end{bmatrix}$$

und

$$W_1 = W(1:2, 1:2) \in \mathbb{C}^{2 \times 2}$$

berechnet wird, wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und \hat{h}_1 und \hat{h}_2 geschätzte analoge Kanäle sind, die zwei Antennenelementen des Antennen-Arrays entsprechen,

wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem Strahlformungsvektor bestehen, wobei das Antennen-Array eine gerade Anzahl Antennenelemente aufweist, und wobei der verbleibende Einstrahlwinkel \tilde{x}_2 entsprechend $\tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 + \pi$ berechnet wird, und

wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch W_t entsprechend

$$W_t = \begin{bmatrix} a(\tilde{x}_1)^H \\ a(\tilde{x}_1 + \pi)^H \end{bmatrix}$$

berechnet wird.

14. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 12, wobei das aktualisierte Strahlformungs-Codebuch drei oder mehr Strahlformungs-Vektoren aufweist.

15. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Verarbeitungsschaltung eingerichtet ist, den dominanten AoA \tilde{x}_1 des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals zu schätzen, indem

$$\tilde{x}_1 = \underset{x \in \mathcal{N}(b^*)}{\operatorname{argmax}} \frac{\varphi(x)^H Y Y^H \varphi(x)}{\|\varphi(x)\|^2},$$

$$\varphi(\tilde{x}_i) = W a(\tilde{x}_i) \in \mathbb{C}^M,$$

$$a(\tilde{x}_i) = \begin{bmatrix} e^{j0\tilde{x}_i}, \dots, e^{j(N_R-1)\tilde{x}_i} \end{bmatrix}^T \in \mathbb{C}^{N_R}$$

berechnet wird, wobei Y der geschätzte kombinierte Kanal ist und $\mathcal{N}(b^*)$ ein Satz Winkel in einem Bereich um einen ausgewählten Suchwinkel b^* ist.

16. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 15, wobei die Verarbeitungsschaltung ein-

gerichtet ist, den ausgewählten Suchwinkel b^* entsprechend

$$b^* = \underset{m}{\operatorname{argmax}} y_m y_m^H$$

auszuwählen, wobei

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix}.$$

17. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 15, wobei die Verarbeitungsschaltung eingerichtet ist, den ausgewählten Suchwinkel b^* entsprechend einem geschätzten dominanten Einstrahlwinkel eines dritten gerichteten elektromagnetischen Signals auszuwählen, der in einer vorherigen Strahl-schwenkungszeitspanne empfangen wird.

18. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 15, wobei die Verarbeitungsschaltung eingerichtet ist, den Satz an Winkeln in dem Bereich $\mathcal{N}(b^*)$ um den ausgewählten Suchwinkel b^* herum durch

$$\mathcal{N}(b^*) = \{x : x = b^* + \Delta l, l = -N, \dots, 0, \dots, N\}$$

zu berechnen, wobei N eine Anzahl Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ bis $2N + 1$ steuert und wobei Δ eine Winkelauflösung der Winkel in $\mathcal{N}(b^*)$ ist.

19. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 14, wobei eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array ein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungs-Vektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch ist und wobei der eine oder die mehreren Einstrahlwinkel \tilde{x}_1 entsprechend

$$\tilde{x}_i = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{M}(i - 1), i = 2, \dots, M$$

berechnet werden, wobei \tilde{x}_1 der geschätzte dominante Einstrahlwinkel des ersten gerichteten elektromagnetischen Signals ist.

20. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 14, wobei eine Anzahl Antennenelemente N_R in dem Antennen-Array kein ganzzahliges Mehrfaches einer Anzahl Strahlformungsvektoren M in dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch ist und wobei der eine oder die mehreren verbleibenden Einstrahlwinkel aus einem beschränkten Satz an Winkeln $l(\tilde{x}_1)$ ausgewählt werden, wobei

$$I(\tilde{x}_1) = \left\{ x : x = \tilde{x}_1 + \frac{2\pi}{N_R} n, n = 0, \dots, N_R - 1 \right\}.$$

21. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 12, wobei die Verarbeitungsschaltung eingerichtet ist, den Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals zu bestimmen, indem sie den Strahlformungs-Vektor für einen Datenempfang aus dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch auswählt, ohne eine Kanalschätzung durchzuführen.

22. Drahtlose Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 12, wobei das Bestimmen des Strahlformungs-Vektors für einen Datenempfang des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals aufweist, den Strahlformungs-Vektor basierend auf einer Kanalschätzung des zweiten gerichteten elektromagnetischen Signals und basierend auf dem aktualisierten Strahlformungs-Codebuch explizit zu berechnen.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

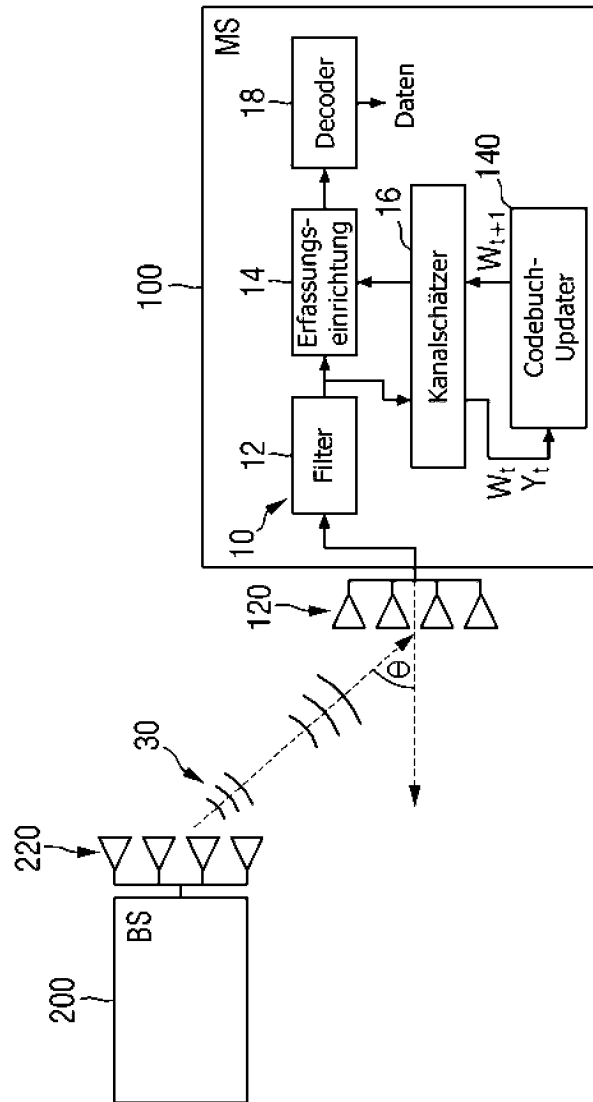


FIG. 2A

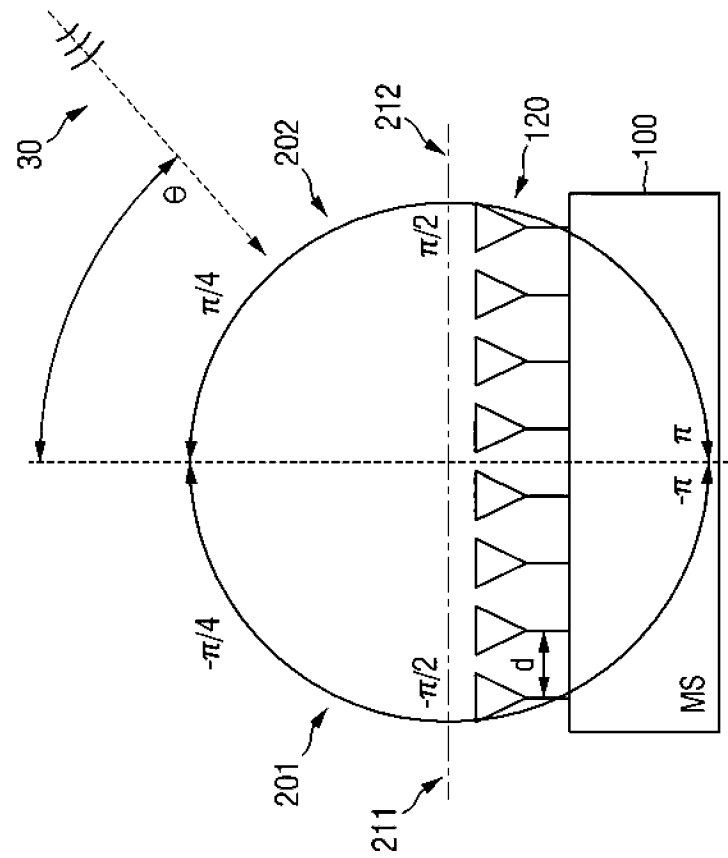


FIG. 2B

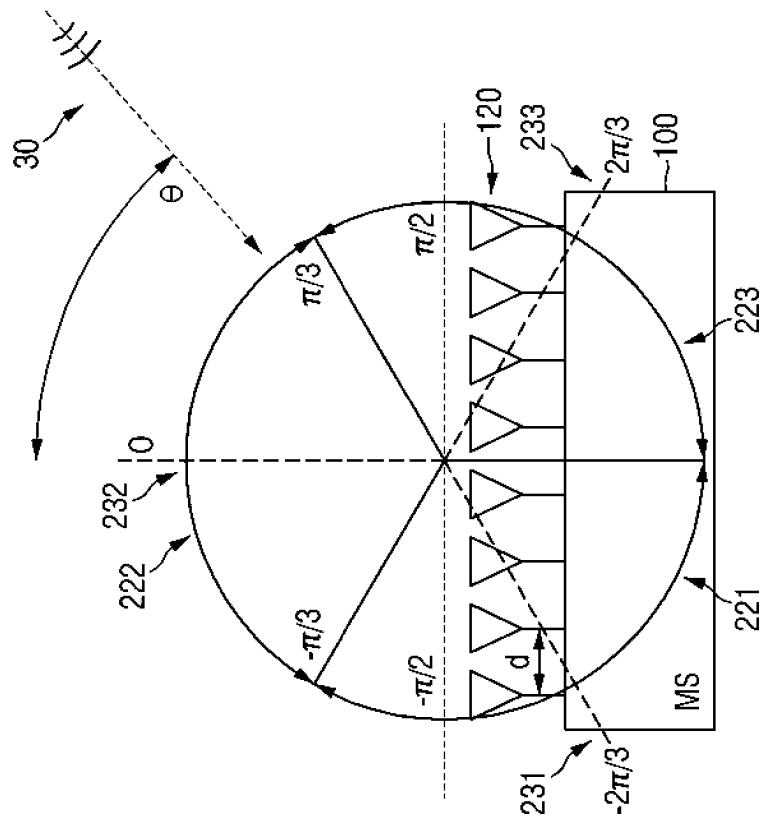


FIG. 2C

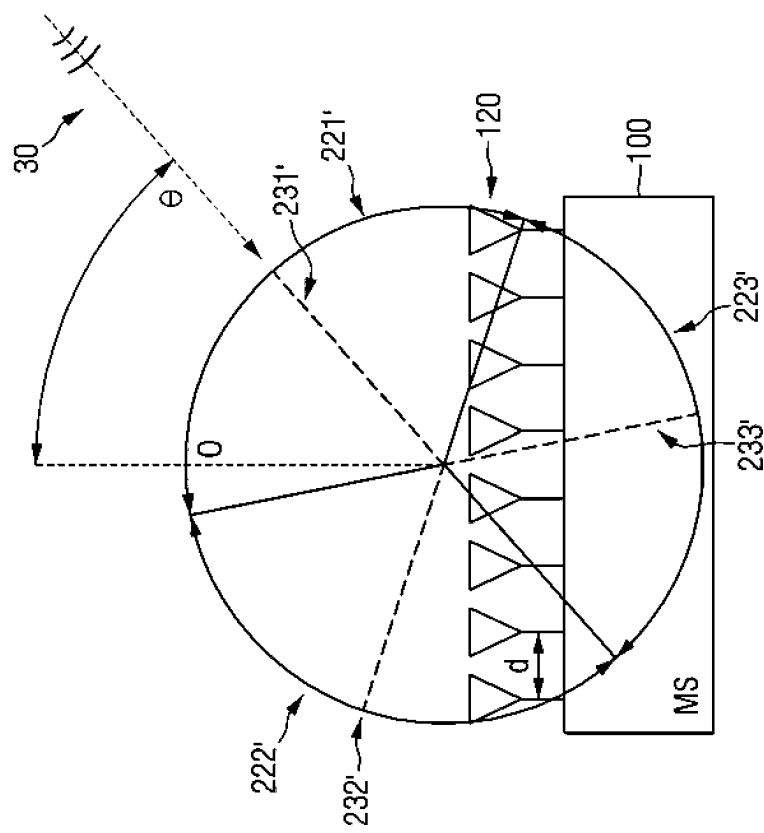


FIG. 3

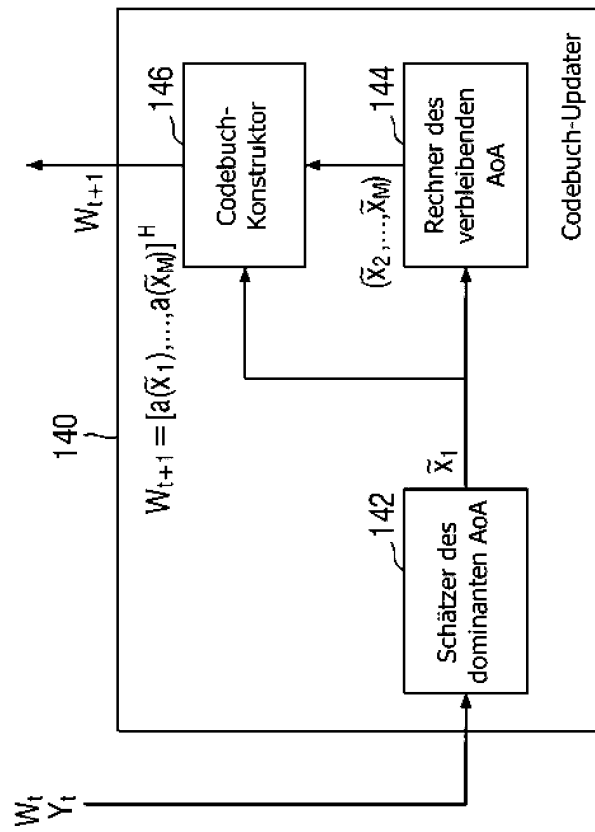


FIG. 4

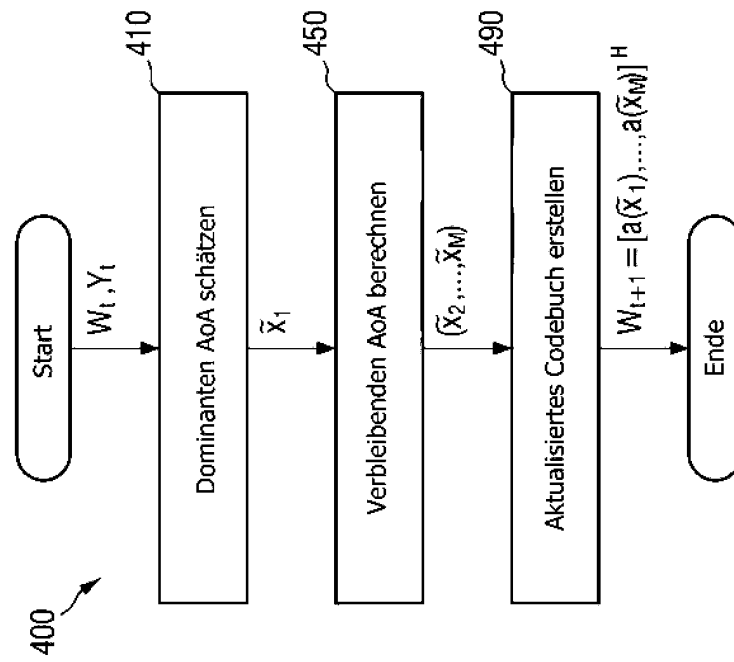


FIG. 5

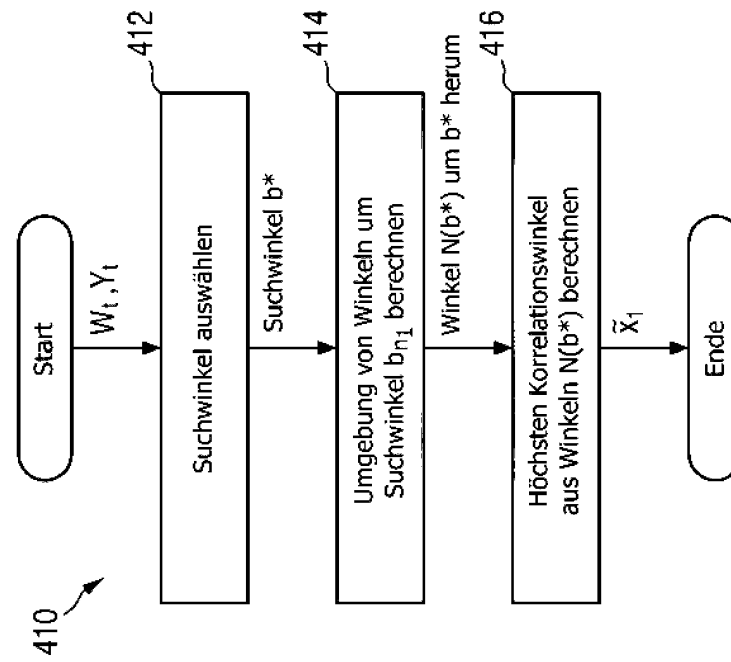


FIG. 6

