



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 16 663 T2** 2008.07.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 468 505 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04B 7/005** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 16 663.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/01949**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 707 488.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/063384**

(86) PCT-Anmeldetag: **22.01.2003**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **31.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.10.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **03.10.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.07.2008**

(30) Unionspriorität:
56275 **23.01.2002** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR**

(73) Patentinhaber:
Qualcomm, Inc., San Diego, Calif., US

(72) Erfinder:
**MEDVEDEV, Irina, Somerville, MA 02114, US;
WALTON, Jay Rod, San Diego, CA 92121, US;
KETCHUM, John W., Harvard, MA 01451, US**

(74) Vertreter:
**WAGNER & GEYER Partnerschaft Patent- und
Rechtsanwälte, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **NEUZUORDNUNG VON ÜBERSCHUSSLEISTUNG FÜR MEHREINGANG-MEHRAUSGANG-SYSTEME (MIMO-SYSTEME) MIT VOLLSTÄNDIGER KANALZUSTANDSINFORMATION (CSI)**

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

Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Datenkommunikation und speziell auf Techniken zum Wiederzuweisen bzw. zum erneuten Zuweisen von überschüssiger Leistung in einem Mehrkanalkommunikationssystem (z. B. einem Mehrfach-Eingangs-, Mehrfach-Ausgangs-(multiple-input, multiple-output, MIMO)-Kommunikationssystem).

Hintergrund

[0002] In einem drahtlosen Kommunikationssystem kann ein HF-moduliertes Signal von einem Sender einen Empfänger über eine Anzahl von Ausbreitungspfaden erreichen. Die Charakteristika von den Ausbreitungspfaden variieren typischerweise über die Zeit aufgrund einer Anzahl von Faktoren, wie z. B. von Schwund bzw. Fading und Mehrpfad- bzw. Mehrwege-Ausbreitung. Um Diversität gegenüber schädlichen Pfadeffekten vorzusehen und um die Performance zu verbessern, können mehrere Sende- und Empfangsantennen genutzt werden. Falls die Ausbreitungspfade zwischen den Sende- und Empfangsantennen linear unabhängig sind (d. h. eine Übertragung auf einem Pfad wird nicht als eine Linear-Kombination von den Übertragungen auf anderen Pfaden gebildet), was im allgemeinen wenigstens bis zu einer gewissen Weise wahr ist, dann nimmt die Wahrscheinlichkeit eines korrekten Empfangs einer Datenübertragung zu, wenn die Anzahl von Antennen zunimmt. Im Allgemeinen nimmt die Diversität zu und die Performance wird verbessert, wenn die Anzahl von Sende- und Empfangsantennen zunimmt.

[0003] Ein Mehrfach-Eingangs-Mehrfach-Ausgangs-(MIMO)Kommunikationssystem setzt mehrere (N_T) Sendeantennen und mehrere (N_R) Empfangsantennen zur Datenübertragung ein. Ein MIMO-Kanal, der durch die N_T -Sende- und die N_R -Empfangsantennen gebildet ist kann in N_S unabhängige Kanäle zerlegt werden, wobei $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$ ist. Jeder von den N_S unabhängigen Kanälen wird auch als ein räumlicher Unter- bzw. Subkanal von dem MIMO-Kanal bezeichnet und entspricht einer Dimension. Das MIMO-System kann eine verbesserte Performance (z. B. erhöhte Übertragungskapazität) vorsehen, falls die zusätzlichen Dimensionen, die durch die mehreren Sende- und Empfangsantennen erzeugt werden, genutzt werden. Z. B. kann ein unabhängiger Datenstrom auf jedem von den N_S räumlichen Subkanälen gesendet werden, um den Systemdurchsatz zu erhöhen. Die räumlichen Subkanäle von einem Breitband-MIMO-System können unterschiedliche Kanalbedingungen (z. B. unterschiedliche Schwund- und Mehrwege-Effekte) erfahren und können unterschiedliche Signal-zu-Rausch-Verhältnisse (signal-to-noise ratios (SNRs)) für einen bestimmten Betrag an Sendeleistung erreichen. Konsequenter Weise können die Datenraten, die durch die räumlichen Subkanäle unterstützt werden, von Subkanal zu Subkanal unterschiedlich sein. Des Weiteren variieren die Kanalbedingungen bzw. -Zustände typischerweise mit der Zeit. Als ein Ergebnis variieren auch die durch die räumlichen Subkanäle unterstützten Datenraten mit der Zeit.

[0004] Eine Schlüsselaufgabe bei einem codierten Kommunikationssystem ist die Auswahl von den geeigneten Datenraten, Codierungs- und Modulationsschemata und von Sendeleistungen, die für die Datenübertragung auf den verfügbaren Übertragungskanälen, basierend auf den Kanalbedingungen zu nutzen sind. Das Ziel von diesem Auswahlprozess sollte es sein, spektrale Effizienz zu maximieren, während Qualitätsziele erfüllt werden, die quantifiziert sein können durch eine bestimmte Zielrahmenfehler-Rate (frame error rate FER) und/oder einige andere Kriterien. In einem typischen Kommunikationssystem kann es eine obere Grenze bezüglich der Datenrate geben, die für irgendeinen Datenstrom genutzt werden kann. Z. B. kann ein Satz von diskreten Datenraten durch das System unterstützt sein und die maximale Datenrate aus diesen diskreten Datenraten kann betrachtet werden als die Sättigungs-Spektral-Effizienz ρ_{sat} , und zwar für jeden bestimmten Datenstrom. In einem derartigen System würde, falls jeder Datenstrom auf einem entsprechenden räumlichen Subkanal gesendet wird, dann das Zuweisen von mehr Sendeleistung als zum Erreichen der Ziel-FER bei der maximalen Datenrate notwendig ist, zu einer ineffizienten Nutzung von der zusätzlichen Sendeleistung führen. Selbst wenn die zusätzliche Sendeleistung zu einer niedrigeren FER führen kann, würde diese Verbesserung der FER nicht als wesentlich betrachtet werden, da die Ziel-FER bereits erreicht worden ist. Die überschüssige bzw. exzessive Sendeleistung kann effizienter genutzt werden, um die spektrale Effizienz auf einigen anderen räumlichen Subkanälen zu erhöhen.

[0005] Es gibt deshalb einen Bedarf in der Technik nach Techniken zum Zuweisen/Wiederzuweisen bzw. erneutem Zuweisen von Sendeleistung zwischen den räumlichen Subkanälen in einem MIMO-System, falls die

Sättigungs-Spektraleffizienz durch wenigstens einen von den Subkanälen erreicht worden ist.

[0006] Aufmerksamkeit wird gelenkt auf die US-A-5 832 387, die beschreibt, dass ein ursprüngliches bzw. originales Datensignal mit einer vorherbestimmten Sendeleistung gesendet wird, das während der Übertragung gestörte Datensignal empfangen wird und das empfangene Signal herausgegeben wird, nachdem es zu dem ursprünglichen Datensignal wieder hergestellt worden ist, dass SNR für jeden Subkanal berechnet wird und eine höhere Leistung einem Subkanal zugewiesen wird, der ein höheres SNR besitzt und eine niedrigere Leistung einem Subkanal zugewiesen wird, der ein niedrigeres SNR besitzt. Falls die Übertragungsleistung von jedem Subkanal eine maximale Grenze überschreitet, wird die maximale Grenze erneut bestimmt als die Sendeleistung von den Subkanälen, deren Übertragungsleistung die maximale Grenze übersteigt. Dann wird die Sendeleistung von einem Subkanal, dessen SNR negativ ist, bestimmt, falls die Sendeleistung von jedem Subkanal die maximale Grenze nicht übersteigt oder der obige Schritt zur erneuten Bestimmung vollendet ist. Danach wird die Sendeleistung von jedem Subkanal auf die bestimmte Leistung gesteuert bzw. geregelt. Als Ergebnis wird die Datenübertragungseffizienz erhöht und die Leistung wird nicht neben dem Subkanal zugewiesen, der einen negativen SNR-Wert besitzt, um dadurch einen Leistungsverlust zu vermeiden.

[0007] Weitere Aufmerksamkeit wird gelenkt auf die EP-A-1 158 716, welche sich auf ein MIMO OFDM-System bezieht, welches eine Vielzahl von Raum-Zeit (space-time)-Codierern beinhaltet zur Codierung entsprechender Datenblöcke mit unabhängigen Raum-Zeit-Codes (space time codes). Die transformierten Datenblocksignale werden durch eine Vielzahl von Sendeantennen gesendet und durch eine Vielzahl von Empfangsantennen empfangen. Die empfangenen Daten werden vorgeweißt bzw. pre-whitened, und zwar vor einer Detektion mit maximaler Wahrscheinlichkeit (maximal likelihood detection). In einem Ausführungsbeispiel kann sukzessive Interferenzauslöschung (interference cancellation) genutzt werden, um die System-Performance zu erhöhen. Eine Kanalparameter-Schätzung kann verbessert werden durch Gewichtung der Kanalimpuls-Antwortschätzungen, basierend auf einer Abweichung vom Mittelwert.

ZUSAMMENFASSUNG

[0008] In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Zuweisen von Sendeleistung an eine Vielzahl von Übertragungs- bzw. Sendekanälen in einem drahtlosen Kommunikationssystem nach Anspruch 1 ein Verfahren zum Zuweisen von Sendeleistung an eine Vielzahl von Übertragungskanälen in einem drahtlosen Kommunikationssystem nach Anspruch 15, ein Speicher, der kommunikationsmäßig gekoppelt ist mit einer digitalen Signalverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 20, ein Controller bzw. eine Steuereinrichtung für eine drahtlose Kommunikationseinrichtung nach Anspruch 21 und ein Controller für eine drahtlose Kommunikationseinrichtung nach Anspruch 25 vorgesehen. Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen offenbart.

[0009] Aspekte der Erfindung sehen Techniken vor zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die Übertragungskanäle in einem Mehrkanalkommunikationssystem, so dass ein höherer Gesamtsystemdurchsatz und/oder andere Vorteile erreicht werden können. Die Übertragungskanäle können den räumlichen Subkanälen von einem MIMO-System, den Frequenz-Subkanälen von einem OFDM-System oder den räumlichen Subkanälen von den Frequenz-Subkanälen in einem MIMO-OFDM-System entsprechen.

[0010] Die gesamte Sendeleistung kann anfangs an die Übertragungskanäle, basierend auf einem bestimmten Leistungszuweisungsschema (z. B. dem Wasserfüllschema bzw. water filling scheme) zugewiesen werden. Die anfängliche Zuweisung kann dazu führen, dass mehr Leistung an einige Übertragungskanäle zugewiesen wird, als notwendig wäre, um das erforderliche Signal-zu-Rausch-Verhältnis (signal-to-noise-ratio, SNR) notwendig wäre (z. B. dem SNR, das notwendig wäre, um die maximal zulässige Datenrate zu erreichen), was dann dazu führen würde, dass diese Übertragungskanäle in dem Sättigungsbereich betrieben werden würden. In derartigen Situationen können die hierin beschriebenen Techniken vorteilhafter Weise die überschüssige bzw. exzessive Sendeleistung von Übertragungskanälen, die in dem Sättigungsbereich betrieben werden, an andere Übertragungskanäle, die unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, wieder zuweisen bzw. erneut zuweisen. Auf diese Art und Weise kann eine höhere spektrale Effizienz für die „schlechteren“ Übertragungskanäle erreicht werden, ohne die Performance von den „besseren“ Übertragungskanälen zu opfern.

[0011] In einem speziellen Ausführungsbeispiel ist ein Verfahren vorgesehen zum Zuweisen von Sendeleistung an eine Anzahl von Übertragungskanälen in einem Mehrkanal-Kommunikationssystem. Anfangs wird ein Satz von einem oder mehreren Übertragungskanälen, räumlichen Subkanälen entsprechend, definiert, dem Sendeleistung zuzuweisen ist. Die gesamte Sendeleistung, die zum Zuweisen an die Übertragungskanäle in

dem Satz verfügbar ist, wird bestimmt und dann an diese Übertragungskanäle zugewiesen, und zwar basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema (z. B. dem Wasserfüll-Schema). Übertragungskanäle, die in dem Sättigungsbereich betrieben werden, und zwar als Ergebnis von den zugewiesenen Sendeleistungen, werden dann identifiziert. Jedem derartigen Übertragungskanal wird ein revidierter Betrag an Sendeleistung zugewiesen (z. B. der minimale Betrag der notwendig ist, um das geforderte SNR zu erreichen). Die gesamte überschüssige Sendeleistung von allen Übertragungskanälen, denen revidierte Sendeleistung erneut zugewiesen worden ist, wird dann bestimmt.

[0012] Die obigen Schritte können ein oder mehrere Male durchgeführt werden. Der Satz an Übertragungskanälen für die erste Iteration beinhaltet alle Übertragungskanäle, denen Sendeleistung zuzuweisen ist und für jede nachfolgende Iteration beinhaltet er nur die Übertragungskanäle, die nicht in dem Sättigungsbereich sind. Auch beinhaltet die gesamte Sendeleistung, die für jede nachfolgende Iteration verfügbar ist, die in der aktuellen Iteration bestimmte gesamte überschüssige Sendeleistung.

[0013] Verschiedene Aspekte und Ausführungsbeispiele von der Erfindung werden unten detaillierter beschrieben. Die Erfindung sieht ferner Verfahren, Prozessoren, Sendeeinheiten, Empfängereinheiten, Basisstationen, Terminals bzw. Endgeräte, Systeme und andere Vorrichtungen und Elemente vor, die verschiedene Aspekte, Ausführungsbeispiele und Merkmale der Erfindung implementieren, wie unten detaillierter beschrieben wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] Die Ziele, Art und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der unten angegebenen Beschreibung klarer werden, wenn man diese zusammen mit den Zeichnungen betrachtet, in denen gleiche Bezugszeichen durchgehend Entsprechendes bezeichnen, und wobei die Figuren Folgendes zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die, bzw. zwischen den, Eigenmoden in einem MIMO-System unter Verwendung erneuter Zuweisung bzw. Wiederzuweisung von Leistung;

[0016] [Fig. 2](#) ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die Übertragungskanäle in einem Mehrkanal-Kommunikationssystem unter Verwendung von Wiederzuweisung von Leistung;

[0017] [Fig. 3](#) ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die Eigenmoden in einem MIMO-System, das einen Satz von diskreten Datenraten bzw. -Geschwindigkeiten unterstützt;

[0018] [Fig. 4A](#) zeigt zwei Darstellungen für die spektrale Effizienz bezogen auf das effektive SNR;

[0019] [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#) zeigen Darstellungen der spektralen Effizienz bezogen auf das effektive SNR für ein Kommunikationssystem, das einen Satz von diskreten Datenraten unterstützt;

[0020] [Fig. 5](#) ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess zum Zuweisen der gesamten verfügbaren Sendeleistung an einen Satz von Eigenmoden, basierend auf dem Wasserfüllschema;

[0021] [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) stellen grafisch die Zuweisung von der gesamten Sendeleistung an die Eigenmoden basierend auf dem Wasserfüllschema dar; und

[0022] [Fig. 7](#) ist ein Blockdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Sendersystem und einem Empfängersystem; und

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0023] Die hierin beschriebenen Techniken zum Zuweisen/Wiederzuweisen bzw. erneutem Zuweisen von Sendeleistung an Übertragungskanäle kann genutzt werden für verschiedene Mehrkanal-Kommunikationssysteme. Derartige Mehrkanal-Kommunikationssysteme beinhalten Mehrfach-Eingangs-Mehrfach-Ausgangs (multiple-input, multiple-output MIMO) Kommunikationssysteme, Kommunikationssysteme mit orthogonalen Frequenz-Vielfach-Multiplex (orthogonal frequency division multiplexing OFDM), MIMO-Systeme, die OFDM nutzen (d. h. MIMO-OFDM-Systeme) und andere. Die Mehrkanal-Kommunikationssysteme können auch Co-

de-Multiplex-Vielfach-Zugriff (code division multiple access CDMA), Zeit-Multiplex-Vielfach-Zugriff (time division multiple access TDMA), Frequenz-Multiplex-Vielfach-Zugriff (frequency division multiple access FDMA) oder einige andere Vielfach-Zugriffstechniken implementieren. Mehrfach-Zugriffs-Kommunikationssysteme können gleichzeitige Kommunikation mit einer Anzahl von Terminals bzw. Endgeräten, (d. h. Nutzern) unterstützen. Der klareren Darstellung wegen werden bestimmte Aspekte und Ausführungsbeispiele von der Erfindung speziell für ein MIMO-System beschrieben, wie z. B. ein drahtloses Mehrantennen-Kommunikationssystem.

[0024] Ein MIMO-System setzt mehrere (N_T)-Sendeantennen und mehrere (N_R)-Empfangsantennen zur Datenübertragung ein. Ein durch die (N_T)-Sendeantennen und (N_R)-Empfangsantennen gebildeter MIMO-Kanal kann in (N_S) unabhängige Kanäle zerlegt werden, wobei $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$ ist. Jeder von den N_S unabhängigen Kanälen wird auch als ein räumlicher Subkanal (oder ein Sende- bzw. Übertragungskanal) von dem MIMO-Kanal bezeichnet. Die Anzahl von räumlichen Subkanälen wird durch die Anzahl von Eigenmoden für den MIMO-Kanal bestimmt, die wiederum abhängig sind von einer Kanalantwort-Matrix H , die die Antwort zwischen den N_T Sende- und den N_R -Empfangsantennen beschreibt.

[0025] Die Elemente von der Kanalantwort-Matrix H bestehen aus unabhängigen Gauss-förmigen Zufallsvariablen, und zwar wie folgt:

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \Lambda & h_{1,N_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \Lambda & h_{2,N_T} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ h_{N_R,1} & h_{N_R,2} & \Lambda & h_{N_R,N_T} \end{bmatrix},$$

Gleichung (1)

wobei $h_{i,j}$ die Kopplung (d. h. die komplexe Verstärkung bzw. der komplexe Gewinn) zwischen der j -ten Sendeantenne und der i -ten Empfangsantenne ist. Das Modell für das MIMO-System kann ausgedrückt werden durch

$$y = Hx + n$$

Gleichung (2)

wobei

y der empfangene Vektor ist, d. h. $\underline{y} = [y_1, y_2 \dots y_{N_R}]^T$, wobei $\{y_i\}$ der Eintrag ist, der auf der i -ten Empfangsantenne empfangen wird und $i \in \{1, \dots, N_R\}$ ist;

x der gesendete Vektor ist, d. h. $\underline{x} = [x_1, x_2 \dots x_{N_T}]^T$, wobei $\{x_j\}$ der Eintrag ist, der von der j -ten Sendeantenne gesendet worden ist und $j \in \{1, \dots, N_T\}$ ist;

H die Kanal-Antwort-Matrix für den MIMO-Kanal ist;

n das additive weiße, Gauss-förmige Rauschen (additive white Gaussian noise (AWGN)) ist, und zwar mit einem Mittelwert-Vektor von 0 und einer Covariance-Matrix von $\Delta_n = \sigma^2 I$, wobei 0 ein Vektor mit Nullen ist, I die Einheitsmatrix mit Einsen entlang der Diagonale und Nullen überall sonst ist und σ^2 die Varianz von dem Rauschen ist; und

$[\cdot]^T$ die Transponierte von $[\cdot]$ ist.

[0026] Der Einfachheit wegen wird angenommen, dass der MIMO-Kanal ein schmalbandiger Kanal mit flachem Schwund bzw. flat-fading ist. In diesem Fall sind die Elemente von der Kanal-Antwort Matrix H Skalare und die Kopplung $h_{i,j}$ zwischen jedem Sende-Empfangs-Antennenpaar kann durch einen einzelnen skalaren Wert repräsentiert werden. Die hierin beschriebenen Leistungszuweisungs/Wiederzuweisungstechniken können jedoch auf einen Frequenz selektiven Kanal angewendet werden, der unterschiedliche Kanalgewinne bei unterschiedlichen Frequenzen besitzt. In einem derartigen Frequenz selektiven Kanal kann die Betriebsbandbreite in eine Anzahl von „gleichen oder ungleichen“ Frequenzbändern dividiert werden, so dass jedes Band als ein Kanal mit flachem Fading betrachtet werden kann. Die Antwort von den individuellen Bändern kann dann bei der Zuweisung/Wiederzuweisung von der gesamten Sendeleistung berücksichtigt werden.

[0027] Aufgrund der Streuung (scattering) in der Ausbreitungs Umgebung stören sich die von den N_T Sendeantennen gesendeten N_T Datenströme an dem Empfänger gegenseitig. Eine Technik zum Eliminieren oder Reduzieren dieser Störung bzw. Interferenz ist es, den MIMO-Kanal zu „diagonalisieren“, derart, dass diese Datenströme effektiv bzw. wirksam auf orthogonalen räumlichen Subkanälen gesendet werden. Eine Technik zum Diagonalisieren des MIMO-Kanals ist es, singuläre Wertzerlegung bzw. –Dekomposition auf der Kanal-Ant-

wort-Matrix H durchzuführen, was wie folgt ausgedrückt werden kann.:

$$H = UDV^H, \quad \text{Gleichung (3)}$$

wobei

U eine $N_R \times N_R$ Einheitsmatrix ist (d. h. $U^H U = I$);

D eine $N_R \times N_T$ -Matrix ist;

V eine $N_R \times N_T$ Einheits-Matrix ist;

„ H “ die komplexe Transponierte von einer Matrix bezeichnet.

[0028] Die Diagonaleinträge von der Matrix D sind die Quadratwurzeln von den Eigen-Werten von $G = H^H H$, bezeichnet durch λ_i und $i \in \{1, \dots, N_S\}$, wobei $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$ die Anzahl von auflösbaren Datenströmen ist. Alle nicht-diagonalen Einträge von D sind Null.

[0029] Die Diagonal-Matrix D enthält somit nicht-negative reelle Werte entlang der Diagonale und Nullen überall sonst, wobei die nicht-negativen reellen Werte $d_i = \sqrt{\lambda_i}$ sind. Die d_i werden als die singulären Werte von der Kanal-Antwort-Matrix H bezeichnet. Die singuläre Wertzerlegung ist eine Matrix-Operation, die in der Technik bekannt ist und in verschiedenen Referenzen beschrieben ist. Eine derartige Referenz ist ein Buch von Gilbert Strang mit dem Titel „Linear Algebra and its Applications“, Zweite Ausgabe, Academic Press, 1980.

[0030] Die singuläre Wertzerlegung bzw. Singulär-Wertzerlegung zerlegt die Kanalantwort-Matrix H in zwei unitäre Matrizen U und V und die Diagonal-Matrix D . Die Matrix D ist beschreibend für die Eigenmoden von dem MIMO-Kanal, welche den räumlichen Subkanälen entsprechen. Die unitären Matrizen U und V beinhalten „Steuerungs“-Vektoren für den Empfänger bzw. Sender, die genutzt werden können zum Diagonalisieren des MIMO-Kanals. Im Speziellen kann zum Diagonalisieren des MIMO-Kanals ein Signal-Vektor s mit der Matrix V vormultipliziert werden und der resultierende Vektor $x = Vs$ wird über den MIMO-Kanal gesendet. An dem Empfänger kann der empfangene Vektor $r = Hx + n$ mit der Matrix U^H multipliziert werden, um einen wiederhergestellten Vektor r zu erlangen, und zwar wie folgt:

$$r = U^H H V s + U^H n = D s + \hat{n}, \quad \text{Gleichung (4)}$$

wobei \hat{n} einfach eine Rotation von n ist, was zu dem additiven weißen Gauss-förmigen Rauschen mit dem gleichen Mittelwert-Vektor und der gleichen Co-varianz-Matrix wie n führt.

[0031] Wie in Gleichung (4) gezeigt ist, führt die Vor-Multiplikation von dem Signal-Vektor s durch die Matrix V und die Vor-Multiplikation von dem empfangenen Vektor y durch Matrix U^H zu einem effektiven diagonalen Kanal D , welcher die Transfer-Funktion zwischen dem Signalvektor s und dem wieder gewonnenen Vektor r ist. Als Ergebnis wird der MIMO-Kanal in N_S unabhängige, sich nicht störende, orthogonale und parallele Kanäle zerlegt. Diese unabhängigen Kanäle werden auch als die räumlichen Subkanäle von dem MIMO-Kanal bezeichnet. Der räumliche Subkanal i oder der Eigenmode i besitzt einen Gewinn bzw. eine Verstärkung, die gleich dem Eigenwert λ_i ist, wobei $i \in I$ und der Satz I wie folgt definiert ist: $I = \{1, \dots, N_S\}$. Die Diagonalisierung von dem MIMO-Kanal um N_S orthogonale räumliche Subkanäle zu erlangen, kann erreicht werden, falls der Sender mit einer Schätzung von der Kanal-Antwort-Matrix H versorgt wird.

[0032] In einem typischen MIMO-System kann eine Spitzensendeleistung von P_{\max} auf jede von den N_T Sendeantennen auferlegt werden. In diesem Fall kann die gesamte bzw. totale Sendeleistung P_{tot} , die an dem Sender für alle N_T Sendeantennen verfügbar ist, wie folgt ausgedrückt werden:

$$P_{\text{tot}} = N_T \cdot P_{\max}. \quad \text{Gleichung (5)}$$

[0033] Die gesamte Sendeleistung P_{tot} kann an die N_S Eigenmoden, die nicht Null sind (d. h. die räumlichen Subkanäle), basierend auf verschiedenen Schemata zugewiesen werden. Falls es das Ziel ist, die Kapazität (d. h. die spektrale Effizienz) zu maximieren, dann kann die gesamte Sendeleistung P_{tot} an die räumlichen Subkanäle durch ein „Wasserfüll“- (water filling)-Schema zugewiesen werden.

[0034] Das Wasserfüll-Schema ist analog zum Eingießen einer festen Menge an Wasser in einen Behälter mit einem unregelmäßigen Boden, wobei jeder Eigenmode einem Punkt auf dem Boden des Behälters entspricht und die Erhebung des Bodens an jedem bestimmten Punkt dem Inversen von dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) entspricht, das mit jedem Eigenmode assoziiert ist. Eine niedrige Erhebung entspricht somit einem hohen SNR und umgekehrt entspricht eine hohe Erhebung einem niedrigen

SNR-Punkt. Die gesamte Sendeleistung P_{tot} wird dann in den Behälter „eingefüllt“, so dass die niedrigeren Punkte in dem Behälter (d. h. die höheren SNRs) zuerst gefüllt werden und die höheren Punkte (d. h. die niedrigeren SNRs) später gefüllt werden. Die Leistungsverteilung ist abhängig von der gesamten Sendeleistung P_{tot} und der Tiefe von dem Behälter über der Bodenoberfläche. Das Wasseroberflächen-Niveau für den Behälter, nachdem alles von der gesamten Sendeleistung eingefüllt worden ist, ist über alle Punkte in dem Behälter konstant. Die Punkte mit Erhebungen oberhalb des Wasseroberflächen-Pegels werden nicht gefüllt (d. h. Eigenmoden mit SNRs unterhalb einer bestimmten Schwelle werden nicht genutzt). Die Wasserfüll-Verteilung ist beschrieben durch Robert G. Gallager, in „Information Theory and Reliable Communication“, John Wiley and Sons, 1968.

[0035] Kapazität ist definiert als die höchste spektrale Effizienz, mit der Information mit einer beliebigen bzw. frei wählbaren niedrigen Fehlerwahrscheinlichkeit kommuniziert werden kann und ist typischer Weise angegeben mit der Einheit von Bits pro Sekunde pro Hertz (bps/Hz). Die Kapazität für einen Gauss-förmigen Kanal mit einem SNR von γ kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$C = \log_2(1 + \gamma). \quad \text{Gleichung (6)}$$

[0036] Für ein MIMO-System mit einer beschränkten bzw. begrenzten gesamten Sendeleistung von P_{tot} kann das Wasserfüll-Schema die gesamte Sendeleistung optimal an die N_s räumlichen Subkanäle zuweisen, so dass die Kapazität erreicht wird. Das Wasserfüll-Schema verteilt die gesamte Sendeleistung P_{tot} über die Eigenmoden, derart, dass der Eigenmode mit der niedrigsten Rausch-Varianz (d. h. dem höchsten SNR) den größten Teil von der gesamten Leistung empfängt. Der Betrag an Leistung, der dem Eigenmode i als Ergebnis des Wasserfüllens zugewiesen wird, wird durch P_i bezeichnet, für $i \in I$, wobei Folgendes gilt:

$$P_{\text{tot}} = \sum_{i \in I} P_i \quad \text{Gleichung (7)}$$

[0037] Basierend auf der zugewiesenen Sendeleistung von P_i für den Eigenmode i , für $i \in I$ kann das effektive SNR für den Eigenmode i , γ_i wie folgt ausgedrückt werden:

$$\gamma_i = \frac{P_i \cdot \lambda_i}{\sigma^2} \quad \text{Gleichung (8)}$$

wobei λ_i der Eigenwert für den Eigenmode i ist und σ^2 die Rausch-Varianz für den MIMO-Kanal ist. Die Kapazität für die N_s räumlichen Subkanäle kann dann wie folgt ausgedrückt werden:

$$C = \sum_{i=1}^{N_s} \log_2(1 + \gamma_i) \quad \text{Gleichung (9)}$$

[0038] Die spektrale Effizienz von jedem Eigenmode kann bestimmt werden, basierend auf einer bestimmten monoton zunehmenden Funktion bezüglich des SNR. Eine Funktion, die für die spektrale Effizienz genutzt werden kann, ist die in Gleichung 6 gezeigte Kapazitätsfunktion. In diesem Fall kann die spektrale Effizienz für den Eigenmode i , ρ_i wie folgt ausgedrückt werden:

$$\rho_i = \log_2(1 + \gamma). \quad \text{Gleichung (10)}$$

[0039] **Fig. 4A** zeigt zwei Darstellungen für spektrale Effizienz in Bezug auf das SNR. Die Darstellung **412** zeigt die spektrale Effizienz, die logarithmisch mit dem SNR zunimmt, wie es basierend auf Gleichung (10) berechnet wird. Die Gleichung (10) nimmt an, dass eine Erhöhung des SNR zu einer zunehmend höheren spektralen Effizienz führt. Bei einem praktischen Kommunikationssystem kann es jedoch eine obere Grenze der spektralen Effizienz geben, die beispielsweise vorgeschrieben sein kann durch die maximale Datenrate, die durch das System auf irgendeinem bestimmten Datenstrom unterstützt wird. Die Darstellung **414** zeigt die spektrale Effizienz logarithmisch zunehmend bei niedrigeren SNRs und in Sättigung gehend bei ρ_{sat} , welches die obere Grenze der spektralen Effizienz ist. Die Sättigung findet statt, wenn eine Erhöhung des SNR nicht länger eine Erhöhung in der spektralen Effizienz erzeugt. Das SNR, bei dem die spektrale Effizienz in Sättigung geht, wird bezeichnet als γ_{sat} (d. h. $\gamma_{\text{sat}} \leftrightarrow \rho_{\text{sat}}$).

[0040] Abhängig von der gesamten Sendeleistung P_{tot} , den Eigenwerten λ_i und der Rausch-Varianz σ^2 kann die Zuweisung von der gesamten Sendeleistung durch das Wasserfüll-Schema dazu führen, dass einige Eigenmoden in dem Sättigungsbereich (d. h. $\gamma_i > \gamma_{\text{sat}}$) betrieben werden und die verbleibenden Eigenmoden unterhalb dieses Bereichs (d. h. $\gamma_i \leq \gamma_{\text{sat}}$) betrieben werden. Ein Eigenmode wird als in dem Sättigungsbereich betrieben erachtet, falls ihm mehr Sendeleistung zugewiesen wird, als notwendig wäre, um das erforderliche SNR zu erreichen, welches γ_{sat} ist, falls es das Ziel ist, die maximal mögliche spektrale Effizienz ρ_{sat} zu erreichen. Obwohl die überschüssige bzw. exzessive Sendeleistung das effektive SNR für den Eigenmode erhöht, welches dann die Rahmenfehlerrate (frame error rate FER) erniedrigen kann, ist diese Art von Verbesserung der Performance typischer Weise nicht wesentlich, da das System bereits bei der Ziel-FER oder bei sehr niedrigen FERs betreibbar ist. In diesem Fall wird die exzessive Sendeleistung, die das effektive SNR über das erforderliche SNR hinaus bringt, nicht effektiv verwendet. Eine verbesserte System-Performance kann erreicht werden durch Verwenden der überschüssigen Sendeleistung, um die Gesamtsystem-Spektral-Effizienz zu erhöhen.

[0041] In ähnlicher Weise kann es in einem leistungsgesteuerten MIMO-System eine obere Grenze geben für das SNR, das an dem Empfänger erlaubt ist (d. h. das oben erwähnte effektive SNR), und zwar für jeden Eigenmode, was auch als γ_{sat} dargestellt sein kann. In diesem Fall, falls die einem bestimmten Eigenmode zugewiesene Sendeleistung zu einem effektiven SNR führt, das größer als γ_{sat} ist, dann kann die exzessive Sendeleistung, die das SNR über γ_{sat} hinaus erhöht, auf jenem Eigenmode nicht genutzt werden, und zwar wegen der auferlegten oberen Grenze des SNR. Diese überschüssige Sendeleistung kann nutzbringender unter den Eigenmoden verteilt werden, die unterhalb von γ_{sat} betrieben werden.

[0042] Ein Aspekt der Erfindung sieht Techniken vor zum Zuweisen/Wiederzuzuweisen der gesamten Sendeleistung an die Eigenmoden, derart, dass höhere Gesamtsystem-Spektral-Effizienz und/oder andere Vorteile erreicht werden können. Die gesamte Sendeleistung kann anfangs an die Eigenmoden, basierend auf einem bestimmten Leistungszuweisungsschema, zugewiesen werden. Die anfängliche Zuweisung kann dazu führen, dass mehr Leistung an einige Eigenmoden zugewiesen wird, als notwendig wäre, um das erforderliche SNR zu erreichen (z. B. das γ_{sat} , das nötig ist, um die Sättigungs-Spektral-Effizienz ρ_{sat} zu unterstützen), was dann dazu führen würde, dass diese Eigenmoden in dem Sättigungsbereich betrieben würden. In derartigen Situationen weisen die hierin beschriebenen Techniken vorteilhafter Weise die überschüssige Sendeleistung von Eigenmoden, die in dem Sättigungsbereich betrieben werden, an andere Eigenmoden, die unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, erneut zu. Auf diese Art und Weise kann eine höhere spektrale Effizienz für die „schlechteren“ Eigenmoden erreicht werden, ohne die Leistungsfähigkeit von den „besseren“ Eigenmoden zu opfern.

[0043] [Fig. 1](#) ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess **100** zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die Eigenmoden in dem MIMO-System. Dieser Prozess weist anfangs die gesamte Sendeleistung P_{tot} an die N_s Eigenmoden, basierend auf einem bestimmten Leistungszuweisungsschema (z. B. dem Wasserfüll-Schema), zu. Falls irgendeinem von den Eigenmoden mehr Sendeleistung zugewiesen wird, als benötigt wird, um das erforderliche SNR zu erreichen (d. h. in dem Sättigungsbereich betrieben wird), dann wird die gesamte überschüssige Leistung für diese Eigenmoden bestimmt und an die anderen Eigenmoden wieder zugewiesen. Da die Wiederzuzuweisung bzw. Neuzuweisung von der gesamten überschüssigen Sendeleistung dazu führen kann, dass einige andere Eigenmoden in dem Sättigungsbereich betrieben werden, kann der Prozess ein oder mehrere Male durchgeführt (oder iteriert) werden, bis entweder (1) keine überschüssige Sendeleistung zur Wiederzuzuweisung bzw. erneuten Zuweisung verfügbar ist oder (2) alle Eigenmoden sich in dem Sättigungsbereich befinden.

[0044] Anfangs wird die Variable n , die genutzt wird zum Bezeichnen der Iterationsnummer auf 1 (d. h. $n = 1$) für die erste Iteration initialisiert, und zwar im Schritt **112**. Der Satz von allen Eigenmoden $I(n)$ der Sendeleistung für diese Iteration zuzuweisen ist, wird dann definiert, und zwar im Schritt **114**. Für die erste Iteration werden alle N_s Eigenmoden bei der Zuweisung der gesamten Sendeleistung berücksichtigt und $I(n) = \{1, \dots, N_s\}$ ist. Und für jede nachfolgende Iteration werden nur die Eigenmoden, die unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, bei der Zuweisung der gesamten verbleibenden Sendeleistung berücksichtigt und der Satz $I(n)$ würde weniger als N_s Eigenmoden beinhalten oder kann sogar ein leerer Satz sein.

[0045] Falls der Satz $I(n)$ leer ist, wie im Schritt **116** bestimmt, anzeigend, dass es keine Eigenmoden gibt, die unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, an die mehr Sendeleistung zugewiesen werden kann, dann endet der Prozess. Andernfalls, falls der Satz $I(n)$ nicht leer ist, dann wird die gesamte Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$ bestimmt, die für die Zuweisung für diese Iteration verfügbar ist, und zwar im Schritt **118**. Für diese erste Iteration kann die gesamte Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$, die für alle N_T Sendeantennen verfügbar ist, wie in Gleichung

(5) gezeigt ist, bestimmt werden. Dies setzt voraus, dass jede Sendeantenne mit der Spitzensendeleistung P_{\max} betrieben wird und für jede nachfolgende Iteration kann die gesamte Sendeleistung $P_{\text{to}}(n)$, die für jene Iteration verfügbar ist, wie unten beschrieben, bestimmt werden.

[0046] Die gesamte verfügbare Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$ wird dann den Eigenmoden in dem Satz $I(n)$, basierend auf dem ausgewählten Leistungszuweisungsschema, zugewiesen, und zwar im Schritt **120**. Verschiedene Schemata können für die Leistungszuweisung genutzt werden, wie beispielsweise das Wasserfüll-Schema, ein uniformes bzw. gleichförmiges Zuweisungsschema, das gleiche Mengen an Sendeleistung an alle Eigenmoden zuweist und möglicherweise andere Schemata. Die Sendeleistung kann auch zugewiesen werden, basierend auf Schemata, die andere Faktoren berücksichtigen können, wie z. B. Fairness, ein oder mehrere System- und/oder Terminal-Metriken u. s. w..

[0047] In einem Ausführungsbeispiel wird das Wasserfüll-Schema genutzt, um die gesamte verfügbare Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$ an die Eigenmoden in dem Satz $I(n)$ zu verteilen. Das Ergebnis von der Wasserfüll-Prozedur ist eine spezielle Sendeleistung $P_i(n)$, die an jeden Eigenmode in dem Satz $I(n)$ zugewiesen wird, für $i \in I(n)$. Die Leistungszuweisung ist abhängig von der gesamten verfügbaren Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$ und den Eigenwerten λ_i für die Eigenmoden in dem Satz $I(n)$. Das effektive SNR von jedem Eigenmode in dem Satz $I(n)$ kann dann wie folgt bestimmt werden:

$$\gamma_i(n) = \frac{P_i(n) \cdot \lambda_i}{\sigma^2}, \quad \text{für} \quad i \in I(n) .$$

Gleichung (11)

[0048] Eine Bestimmung wird dann durchgeführt, ob oder ob nicht irgendeiner von den Eigenmoden in dem Satz $I(n)$ in dem Sättigungsbereich in Anbetracht ihrer zugewiesenen Sendeleistungen betrieben wird, und zwar im Schritt **122**. Dies kann erreicht werden durch Vergleichen des effektiven SNR $\gamma_i(n)$, der für jeden Eigenmode bestimmt wurde, mit dem Sättigungs-SNR γ_{sat} . Jeder Eigenmode in $I(n)$, der $\gamma_i(n)$ größer als γ_{sat} besitzt, wird als in dem Sättigungsbereich betrieben erachtet und in einen temporären Satz J platziert, so dass $\gamma_j(n) > \gamma_{\text{sat}}$ für $j \in J$ ist. Falls keiner von den Eigenmoden in dem Satz $I(n)$ in dem Sättigungsbereich ist, was durch einen leeren Satz J angezeigt wird, dann gibt es keine überschüssige Sendeleistung, die wieder zuzuweisen ist und der Prozess terminiert bzw. endet. Andernfalls, falls der Satz J wenigstens einen Eigenmode beinhaltet, dann wird die überschüssige Sendeleistung für alle Eigenmoden in dem Satz J bestimmt und an andere Eigenmoden, die sich nicht in dem Sättigungsbereich befinden, wieder zugewiesen, falls es überhaupt welche gibt.

[0049] Die nächste Iteration zum Wiederzuzuweisen der exzessiven Sendeleistung beginnt durch Erhöhen der Variablen n um Eins (d. h. $n = n + 1$), und zwar im Schritt **124**. Jedem Eigenmode in dem Sättigungsbereich, der in dem Satz J enthalten ist, wird dann der minimale Betrag an Sendeleistung zugewiesen, der notwendig ist, um das erforderliche SNR (z. B. γ_{sat}) zu erreichen, und zwar im Schritt **126**. Diese Sendeleistung kann wie folgt bestimmt werden:

$$P_j(n) = \frac{\gamma_{\text{sat}} \cdot \sigma^2}{\lambda_j}, \quad \text{für} \quad j \in J .$$

Gleichung (12)

[0050] Die Sendeleistung, die dadurch eingespart wird, dass an jeden Eigenmode in dem Satz J die minimale Leistung zum Erreichen seines erforderlichen SNR zugewiesen wird, wird dann bestimmt, und zwar im Schritt **128**. Die gesamte überschüssige Sendeleistung kann dann wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta P(n) = \sum_{j \in J} (P_j(n-1) - P_j(n)) .$$

Gleichung (13)

[0051] Diese gesamte überschüssige Sendeleistung $\Delta P(n)$ kann jetzt an die Eigenmoden wieder zugewiesen werden, die noch unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden. Der Prozess kehrt dann zurück zum Schritt **114**.

[0052] Für die zweite Iteration wird der Satz an Eigenmoden $I(n)$ definiert, dem Sendeleistung in dieser Iteration zuzuweisen ist, und zwar im Schritt **114**. Der Satz $I(n)$ kann definiert werden durch Entfernen der Eigenmoden in dem Satz J (d. h. die Eigenmoden, die in dem Sättigungsbereich waren) aus dem Satz $I(n-1)$, der für die vorhergehende Iteration definiert war. Der Satz $I(n)$ für die aktuelle Iteration beinhaltet somit nur Eigenmoden, die aktuell sich nicht in Sättigung befinden. Falls der neue Satz $I(n)$ leer ist, wie im Schritt **116** bestimmt,

dann werden alle Eigenmoden in dem Sättigungsbereich betrieben und keine weitere Wiederzuweisung bzw. erneute Zuweisung der Sendeleistung ist notwendig und der Prozess endet. Andernfalls, falls der neue Satz $l(n)$ nicht leer ist, dann kann die gesamte Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$, die für aktuelle Iteration verfügbar ist, wie folgt bestimmt werden:

$$P_{\text{tot}}(n) = \sum_{i \in l(n)} P_i(n) + \Delta P(n) .$$

Gleichung (14)

[0053] Die gesamte Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$, die für die aktuelle Iteration verfügbar ist, wird dann an die Eigenmoden in dem neuen Satz $l(n)$, basierend auf dem ausgewählten Leistungszuweisungsschema zugewiesen, und zwar im Schritt **120**.

[0054] Der in [Fig. 1](#) gezeigte Prozess geht weiter bis entweder (1) alles von der überschüssigen Sendeleistung an die Eigenmoden, die sich nicht in dem Sättigungsbereich befinden (wie im Schritt **122** bestimmt, was für eine Betriebsumgebung mit niedrigem SNR auftreten kann) erneut zugewiesen worden ist oder (2) alle Eigenmoden befinden sich in dem Sättigungsbereich (wie im Schritt **116** bestimmt, was für eine Betriebsumgebung mit hohem SNR auftreten kann).

[0055] In der obigen Beschreibung ist angenommen worden, dass die spektrale Effizienz eine streng zunehmende Funktion des effektiven SNR ist, wie durch Gleichung (10) gezeigt ist. Die hierin beschriebenen Sendeleistungs-Zuweisungs-/Wiederzuweisungstechniken können auch genutzt werden, falls die spektrale Effizienz eine nicht-lineare Funktion von dem effektiven SNR ist. In derartigen Fällen kann die Nicht-Linearität berücksichtigt werden, wenn die verfügbare Sendeleistung an die Eigenmoden zugewiesen/wiederzugewiesen wird.

[0056] Wie oben bemerkt, können die hier beschriebenen Sendeleistungs-Zuweisungs-/Wiederzuweisungstechniken auch zur Leistungssteuerung bzw. -regelung in einem drahtlosen Kommunikationssystem genutzt werden. Jeder Eigenmode kann mit einem bestimmten Einstellwert bzw. Sollwert assoziiert sein, welches das Ziel-SNR ist, das zum Erreichen der gewünschten Performance notwendig ist. Der gleiche oder unterschiedliche Sollwerte können für die N_s Eigenmoden genutzt werden. Die gesamte Sendeleistung kann dann an die Eigenmoden derart zugewiesen werden, dass der Sollwert bzw. die Sollwerte für diese Eigenmoden erreicht werden. Der in [Fig. 1](#) gezeigte Prozess kann dann genutzt werden, um Sendeleistung an die Eigenmoden erneut zuzuweisen, wobei das erforderliche SNR jetzt der Sollwert anstelle von γ_{sat} ist. Die Bestimmung, ob oder ob nicht ein bestimmter Eigenmode in dem Sättigungsbereich betrieben wird, kann somit abhängig sein von dem speziellen Sollwert, der mit jenem Eigenmode assoziiert ist (anstelle von einem gemeinsamen SNR, wie z. B. γ_{sat}).

[0057] Die hierin beschriebenen Sendeleistungszuweisung-/Wiederzuweisungstechniken können auch für andere Mehrkanalkommunikationssysteme, wie z. B. OFDM-Systeme, MIMO-OFDM-Systeme usw. genutzt werden.

[0058] Ein OFDM-System teilt bzw. unterteilt die Systembandbreite wirksam in eine Anzahl von (N_F)-Frequenz-Subkanäle, die auch gemeinsam bezeichnet werden als Frequenzabschnitte oder Sub-Bänder. Jeder Frequenz-Subkanal ist mit einem entsprechenden Sub-Träger bzw. Unter-Träger (oder einem Frequenz-Ton) assoziiert, auf den Daten moduliert werden können. Bei jedem Zeitschlitz, der ein bestimmtes Zeitintervall ist, das von der Bandbreite von einem Frequenz-Subkanal abhängig sein kann, kann ein Modulationssymbol auf jedem von den N_F -Frequenz-Subkanälen gesendet werden. Für das OFDM-System kann jeder Frequenz-Subkanal als ein Übertragungskanal bezeichnet werden und es gibt $N_C = N_F$ Übertragungskanäle für das OFDM-System.

[0059] Die Frequenz-Subkanäle von dem OFDM-System können Frequenz selektives Fading bzw. Frequenz selektiven Schwund erfahren (d. h. unterschiedliche Dämpfungsbeträge für unterschiedliche Frequenz-Subkanäle). Die spezielle Antwort für die Frequenz-Subkanäle ist abhängig von den Charakteristika (z. B. dem Schwund und den Mehrwegeeffekten) von dem Ausbreitungspfad zwischen den Sende- und Empfangsantennen. Konsequenterweise können unterschiedliche effektive SNRs für unterschiedliche Frequenz-Subkanäle für einen bestimmten Betrag an Sendeleistung erreicht werden. In diesem Fall kann die gesamte Sendeleistung an die N_F -Frequenz-Subkanäle auf eine ähnliche Art und Weise, wie jene, die oben für die Eigenmoden beschrieben worden ist, zugewiesen werden.

[0060] Ein MIMO-OFDM-System beinhaltet N_F -Frequenz-Subkanäle für jeden von den N_s Eigenmoden. Jeder Frequenz-Subkanal von jedem Eigenmode kann als ein Übertragungskanal bezeichnet werden und es gibt

$N_C = N_F \cdot N_S$ Übertragungskanäle für das MIMO-OFDM-System. Die Frequenz-Subkanäle von jedem Eigenmode in dem MIMO-OFDM-System können in ähnlicher Weise unterschiedliche Kanalzustände erfahren und können unterschiedliche SNRs für einen bestimmten Betrag an Sendeleistung erreichen. In diesem Fall kann die gesamte Sendeleistung auch an die N_C Übertragungskanäle auf eine ähnliche Art und Weise, wie jene, die oben für die Eigenmoden beschrieben worden ist, zugewiesen werden.

[0061] **Fig. 2** ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess **200** zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an N_C Übertragungskanäle in einem Mehrkanal-Kommunikationssystem. Der Prozess **200** kann für jedes Mehrkanal-Kommunikationssystem genutzt werden, und zwar einschließlich eines MIMO-Systems, eines OFDM-Systems, eines MIMO-OFDM-Systems usw. Der Prozess **200** weist anfangs die gesamte Sendeleistung P_{tot} an die N_C Übertragungskanäle, basierend auf einem bestimmten Leistungszuweisungsschema (z. B. dem Wasserfüllschema) zu. Falls irgendwelchen von den Übertragungskanälen mehr Sendeleistung zugewiesen wird, als zum Erreichen des erforderlichen SNR notwendig ist (d. h. in dem Sättigungsbereich betrieben), dann wird die gesamte überschüssige Sendeleistung für diese Übertragungskanäle bestimmt und an die anderen Übertragungskanäle erneut zugewiesen. Wiederum kann die Sendeleistungszuweisung ein oder mehrere Male durchgeführt (oder iteriert) werden, bis entweder (1) keine überschüssige Sendeleistung zur erneuten Zuweisung verfügbar ist oder (2) alle Übertragungskanäle sich in dem Sättigungsbereich befinden.

[0062] Anfangs wird die zum Bezeichnen der Iterationsnummer genutzte Variable n auf Eins (das heißt $n = 1$) für die erste Iteration initialisiert und zwar im Schritt **212**. Der Satz von allen Übertragungskanälen $I(n)$, dem Sendeleistung für diese Iteration zuzuweisen ist, wird dann definiert, und zwar im Schritt **214**. Für die erste Iteration werden alle N_C -Übertragungskanäle bei der Zuweisung von der gesamten Sendeleistung berücksichtigt und $I(n) = \{1, \dots, N_C\}$, wobei $N_C = N_S$ für ein MIMO-System, $N_C = N_F$ für ein OFDM-System und $N_C = N_F \cdot N_S$ für ein MIMO-OFDM-System ist. Und für jede nachfolgende Iteration werden nur Übertragungskanäle, die unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, bei der Zuweisung von der gesamten verbleibenden Sendeleistung berücksichtigt. Der Satz $I(n)$ würde dann weniger als N_C -Übertragungskanäle beinhalten oder könnte sogar ein leerer Satz sein.

[0063] Falls der Satz $I(n)$ leer ist, wie im Schritt **216** bestimmt, anzeigend, dass es keine Übertragungskanäle gibt, die unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, denen mehr Sendeleistung erneut zugewiesen werden kann, dann endet der Prozess. Andernfalls wird die gesamte Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$, die zur Zuweisung für diese Iteration verfügbar ist, bestimmt, und zwar im Schritt **218**. Die gesamte verfügbare Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$ wird dann an die Übertragungskanäle in dem Satz $I(n)$ basierend auf dem ausgewählten Leistungszuweisungsschema zugewiesen, und zwar im Schritt **220**.

[0064] Eine Bestimmung wird dann durchgeführt, ob oder ob nicht irgendwelche von den Übertragungskanälen in dem Satz $I(n)$ in dem Sättigungsbereich betrieben werden unter Berücksichtigung ihrer zugewiesenen Sendeleistungen, und zwar im Schritt **222**. Dies kann erreicht werden durch Vergleichen des effektiven SNR $\gamma_i(n)$, das für jeden Übertragungskanal in dem Satz $I(n)$ bestimmt ist mit dem Sollwert, der auf jenen Übertragungskanal anwendbar ist. Abhängig von der Systemauslegung kann ein Sollwert genutzt werden für (1) alle Übertragungskanäle, (2) jede Sendeantenne oder jeden Frequenzsubkanal, (3) jeden Übertragungskanal oder (4) jede Gruppe von Übertragungskanälen. Jeder Übertragungskanal, der ein effektives SNR besitzt, das größer als der anzuwendende Sollwert ist, wird als in dem Sättigungsbereich betrieben erachtet und in den Satz J platziert. Falls keine Übertragungskanäle sich in dem Sättigungsbereich befinden, wie durch einen leeren Satz J angezeigt ist, dann gibt es keine überschüssige Sendeleistung erneut zuzuweisen und der Prozess endet. Andernfalls, falls der Satz J wenigstens einen Übertragungskanal beinhaltet, dann wird die überschüssige Sendeleistung von allen Übertragungskanälen in dem Satz J bestimmt und an andere Übertragungskanäle erneut zugewiesen, falls es welche gibt, die aktuell nicht in dem Sättigungsbereich betrieben werden.

[0065] Die nächste Iteration zum erneuten Zuweisen der überschüssigen Sendeleistung beginnt durch Erhöhen der Variable n um Eins (das heißt $n = n + 1$), und zwar im Schritt **224**. Jedem Übertragungskanal in dem Sättigungsbereich wird dann der minimale Betrag an Sendeleistung zugewiesen, der erforderlich ist zum Erreichen des anzuwendenden Sollwerts, und zwar im Schritt **226**. Die Sendeleistung, die eingespart wird durch Zuweisen der minimalen Leistung an jeden Übertragungskanal in dem Satz J , um seinen Sollwert zu erreichen, wird dann bestimmt, und zwar im Schritt **228**. Die gesamte überschüssige Sendeleistung kann jetzt an die Übertragungskanäle, die noch unterhalb des Sättigungsbereichs betrieben werden, erneut zugewiesen werden. Der Prozess kehrt dann zurück zum Schritt **214**.

[0066] Für die zweite Iteration wird der Satz von Übertragungskanälen $I(n)$, an den Sendeleistung in dieser

Iteration zuzuweisen ist, so definiert, dass er nur Übertragungskanäle beinhaltet, die sich aktuell nicht in der Sättigung befinden und zwar im Schritt **214**. Falls der neue Satz $l(n)$ leer ist, wie im Schritt **216** bestimmt, dann werden alle Übertragungskanäle in dem Sättigungsbereich betrieben und keine weitere erneute Zuweisung von Sendeleistung ist erforderlich und der Prozess endet. Andernfalls, falls der neue Satz $l(n)$ nicht leer ist, dann wird die gesamte Sendeleistung $P_{\text{tot}}(n)$, die für die aktuelle Iteration verfügbar ist, bestimmt, und zwar im Schritt **218** und dann an die Übertragungskanäle in dem neuen Satz $l(n)$ basierend auf dem gewählten Leistungszuweisungsschema im Schritt **220** zugewiesen.

[0067] Der in [Fig. 2](#) gezeigte Prozess geht weiter bis entweder (1) alles von der überschüssigen Sendeleistung an die Übertragungskanäle, die sich nicht in dem Sättigungsbereich befinden, erneut zugewiesen worden ist (wie im Schritt **222** bestimmt, oder (2) sich alle Übertragungskanäle in dem Sättigungsbereich befinden (wie im Schritt **216** bestimmt).

[0068] Für ein MIMO-OFDM-System können alle Übertragungskanäle (das heißt sowohl für die räumliche Dimension als auch die Frequenzdimension) für die Leistungszuweisung in jeder Iteration berücksichtigt werden. Alternativ kann die Leistungszuweisung derart durchgeführt werden, dass die Übertragungskanäle für nur eine Dimension zu irgendeiner bestimmten Zeit berücksichtigt werden. Zum Beispiel kann die Leistungszuweisung durchgeführt werden auf einer sendeantennenweisen Basis, wobei die gesamte Sendeleistung P_{max} für jede Sendeantenne den Frequenzsubkanälen von jener Sendeantenne zugewiesen wird.

[0069] Die hierin beschriebenen Techniken können auch genutzt werden zum Zuweisen/Wiederzuzuweisen bzw. erneuten Zuweisen der Sendeleistung an Gruppen von Übertragungskanälen. Jede Gruppe kann jedwede Anzahl von Übertragungskanälen beinhalten und kann mit einem entsprechenden Sollwert assoziiert sein. Jede Gruppe kann beispielsweise die Übertragungskanäle beinhalten, die für einen unabhängigen Datenstrom zu nutzen sind, die mit einer bestimmten Datenrate bzw. –geschwindigkeit und einem bestimmten Codierungs- und Modulationsschema assoziiert sein können. Für ein Vielfachzugriffskommunikationssystem kann jede Gruppe mit den Übertragungskanälen assoziiert sein, die an einen unterschiedlichen Empfänger zuzuweisen sind.

[0070] In der obigen Beschreibung für das MIMO-System wird eine Singulärwertzerlegung zum Diagonalisieren des MIMO-Kanals genutzt. In anderen Ausführungsbeispielen kann der Empfänger eine Anzeige von der Qualität von jedem Übertragungskanal, der zur Datenübertragung genutzt werden kann, vorsehen. Die durch den Empfänger berichtete Information kann in der Form eines geschätzten SNR, einer unterstützten Datenrate usw. sein. Der Sender kann dann die Sendeleistung an die Übertragungskanäle basierend auf der berichteten Information zuweisen, um eine bessere Verwendung der verfügbaren Sendeleistung zu erreichen. Zum Beispiel, falls das geschätzte SNR für einen bestimmten Übertragungskanal höher als zum Erreichen einer gewünschten Datenrate ist oder falls die Datenrate, die als durch einen bestimmten Übertragungskanal unterstützt berichtet worden ist, größer ist als die maximale Datenrate des Systems, dann kann weniger Sendeleistung für den Übertragungskanal zugewiesen werden. Der spezielle Betrag an Sendeleistung, der zuzuweisen ist, kann basierend auf der berichteten Information (zum Beispiel dem geschätzten SNR oder der unterstützten Datenrate) bestimmt werden.

[0071] Ein spezielles numerisches Beispiel ist unten beschrieben, um die Techniken zum Zuweisen/Wiederzuzuweisen der gesamten Sendeleistung zwischen Eigenmoden darzustellen. Für dieses Beispiel wird die Spitzensendeleistung für jede Sendeantenne normalisiert, so dass $P_{\text{max}} = 1$ ist, und die Varianz von dem Rauschen wird so gesetzt, dass das SNR bei jedem Empfänger, unter Annahme keiner weiteren Kanalverschlechterung, $\gamma_{\text{rx}} = 15$ dB ist. Dies führt dann zu einer Rauschvarianz $\sigma^2 = 10^{-15/10} = 0,0316$. Die folgenden Parameter werden auch angenommen:

$$N_S = N_T = N_R = 4$$

$$\lambda_1 = 2,4, \lambda_2 = 1,0, \lambda_3 = 0,4 \text{ und } \lambda_4 = 0,2, \text{ und}$$

$$\gamma_{\text{sat}} \big|_{\text{dB}} = 15 \text{ dB} \rightarrow \gamma_{\text{sat}} = 31.62$$

[0072] Bei der Initialisierung (das heißt, $n = 1$ in [Fig. 1](#)) wird der Satz an Eigenmoden, in denen Sendeleistung zuzuweisen ist, als $l(1) = \{1, 2, 3, 4\}$ definiert (Schritt **114**) und die gesamte Sendeleistung ist $P_{\text{tot}}(n) = 4 \cdot 1 = 4$ (Schritt **118**). Für die erste Iteration führt die Wasserfüll-Leistungszuweisung (Schritt **120**) zu den folgenden Leistungen, die an die Eigenmoden im Satz $l(1)$ zugewiesen werden:

$P_1(1) = 1,06$, $P_2(1) = 1,04$, $P_3(1) = 0,99$, und $P_4(1) = 0,91$.

[0073] Die effektiven SNRs für die Eigenmoden im Satz I(1) werden unter Verwendung von Gleichung (11) zur Berechnung wie folgt bestimmt:

$\gamma_1(1) = 80,25$, $\gamma_2(1) = 32,85$, $\gamma_3(1) = 12,54$ und $\gamma_4(1) = 5,77$.

[0074] Da $\gamma_{\text{sat}} = 31,62$ ist, kann beobachtet werden, dass die Eigenmoden 1 und 2 in dem Sättigungsbereich betrieben werden. Somit wird der Satz von Eigenmoden in dem Sättigungsbereich definiert als $J = \{1, 2\}$.

[0075] Da der Satz J nicht leer ist (Schritt 122), wird die erneute Zuweisung der Sendeleistung durchgeführt. Dies wird erreicht durch Erhöhen von zunächst des Index n auf $n = 2$ (Schritt 124). Den Eigenmoden in dem Sättigungsbereich wird dann der minimale Betrag an Sendeleistung zum Erreichen zum λ_{sat} zugewiesen. Die neue Sendeleistungszuweisung für die Eigenmoden 1 und 2 in dem Satz J kann unter Verwendung von Gleichung (12) (Schritt 126) wie folgt bestimmt werden:

$$P_1(2) = \frac{31,62 \times 0,0316}{2,4} = 0,42 \quad \text{und} \quad P_2(2) = \frac{31,62 \times 0,0316}{1,0} = 1,00$$

[0076] Die gesamte überschüssige Sendeleistung für die Eigenmoden 1 und 2 wird dann unter Verwendung von Gleichung (13) (Schritt 128) wie folgt bestimmt:

$$\Delta P = (1,06 - 0,42) + (1,04 - 1,00) = 0,68$$

[0077] Für die zweite Iteration ($n = 2$) wird der Satz von Eigenmoden I(2), denen Sendeleistung zuzuweisen ist, erneut definiert (Schritt 114), so dass er nur jene beinhaltet, die aktuell nicht in dem Sättigungsbereich sind, was $I(2) = \{3, 4\}$ ist. Die gesamte Sendeleistung, die für diese Iteration verfügbar ist, wird dann unter Verwendung von Gleichung (14) (Schritt 118) wie folgt bestimmt:

$$P_{\text{tot}}(2) = 0,99 + 0,91 + 0,68 = 2,58$$

[0078] Die gesamt verfügbare Sendeleistung $P_{\text{tot}}(2)$ wird dann an die Eigenmoden in dem Satz I(2) zugewiesen. Für die zweite Iteration führt die Wasserfüll-Leistungszuweisung (Schritt 120) zu den folgenden Leistungen, die an die Eigenmoden im Satz I(2) zugewiesen werden:

$$P_3(2) = 1,33 \text{ und } P_4(2) = 1,25$$

[0079] Die effektiven SNRs für die Eigenmoden 3 und 4 werden dann wie folgt bestimmt als:

$$\gamma_3(2) = 16,84 \text{ und } \gamma_4(2) = 7,92$$

[0080] Da $\lambda_{\text{sat}} = 31,62$ ist, kann beobachtet werden, dass keine von den Eigenmoden in dem Sättigungsbereich betrieben werden, und der Sendeleistungszuweisungsprozess endet. Die schlussendliche Sendeleistungszuweisung für die Eigenmoden 1 bis 4 ist wie folgt:

$$P_1 = 0,42, P_2 = 1,00, P_3 = 1,33, \text{ und } P_4 = 1,25,$$

und die effektiven SNRs sind:

$$\gamma_1 = 31,62, \gamma_2 = 31,62, \gamma_3 = 16,84, \text{ und } \gamma_4 = 7,92.$$

[0081] Nachdem die gesamte Sendeleistung an die Eigenmoden zugewiesen worden ist, kann die spektrale Effizienz für jeden Eigenmode $I(1) = \{1, 2, 3, 4\}$ unter Verwendung von Gleichung (10) bestimmt werden. Die gesamte spektrale Effizienz ρ_{tot} kann dann erlangt werden durch Summieren der spektralen Effizienz, die durch jeden von den Eigenmoden erreicht wird.

[0082] Es kann gezeigt werden, dass ein Gewinn von 2 bis 5 dB bei dazwischen liegenden bzw. mittleren SNRs erreicht werden kann durch erneutes Zuweisen der überschüssigen Sendeleistung von Eigenmoden in dem Sättigungsbereich an andere Eigenmoden, die sich nicht in dem Sättigungsbereich befinden. Bei niedri-

gen SNRs erreichen die Eigenmoden den Sättigungsbereich nicht und es gibt wenig oder keine Sendeleistung zum erneuten Zuweisen. Und bei hohen SNRs können die meisten oder alle von den Eigenmoden in dem Sättigungsbereich betrieben werden und die Sendeleistungswiederzuweisung kann genutzt werden, um die Menge an Interferenz zu reduzieren, was die Performance von benachbarten Zellen verbessern kann.

Leistungszuweisung/Wiederzuweisung für diskrete Datenraten

[0083] In der obigen Beschreibung ist angenommen worden, dass die spektrale Effizienz ρ eine kontinuierliche Funktion von dem effektiven SNR, γ , wie in Gleichung (10) gezeigt ist. Ferner erlaubt es das oben beschriebene System, dass die spektrale Effizienz irgendein reeller Wert ist, der den Sättigungspunkt ρ_{sat} nicht übersteigt. Ein typisches Kommunikationssystem kann jedoch nur einen Satz von diskreten Datenraten für jeden räumlichen Subkanal unterstützen und die Datenratensätze können für die Subkanäle identisch sein oder auch nicht.

[0084] **Fig. 4B** zeigt eine Darstellung der spektralen Effizienz im Vergleich zum effektiven SNR für einen bestimmten Eigenmode in einem Kommunikationssystem, das einen Satz von diskreten Datenraten für jeden Eigenmode unterstützt. Jeder Satz von Datenraten kann in einen Satz von diskreten spektralen Wirkungsgraden konvertiert werden und ist ferner assoziiert mit einem Satz von diskreten effektiven SNRs, die nötig sind, zum Erreichen einer Zielrahmenfehlerrate (FER) für eine Datenübertragung auf dem räumlichen Subkanal.

[0085] In **Fig. 4B** sind die diskreten spektralen Wirkungsgrade auf der vertikalen Achse mit $\rho_i(d)$ bezeichnet und treten bei den korrespondierenden SNRs von $\gamma_i(d)$, wobei i ($i \in I$) den Eigenmode i bezeichnet und d ($1 \leq d \leq D_1$) genutzt wird, um die D_i diskreten Datenraten durchnummerieren, die mit dem Eigenmode i assoziiert sind. Die höchste spektrale Effizienz für den Eigenmode i tritt bei $d = D_i$ auf und entspricht der Sättigungsspektraleffizienz, die bei dem Sättigungs-SNR, $\gamma_{\text{sat}}(i) = \gamma_i(D_i)$, auftritt. Die spektrale Effizienzfunktion für dieses System ist durch die Darstellung **422** (die dicke durchgezogene Linie) gezeigt. Die diskreten Betriebspunkte bei $(\gamma_i(d), \rho_i(d))$, die dem minimalen SNR entsprechen, das notwendig ist zum Erreichen einer bestimmten spektralen Effizienz, sind durch die durchgezogenen Kreise (**424**) gezeigt. Wie von der spektralen Effizienzfunktion in **Fig. 4B** zu sehen ist, kann eine Erhöhung des SNR eine Verbesserung der spektralen Effizienz nicht bieten. Deshalb würde das Zuweisen von mehr Sendeleistung als notwendig, um die Zielfehlerrate bei der Betriebsspektraleffizienz zu erreichen, zu einer ineffizienten Nutzung von der zusätzlichen Sendeleistung führen.

[0086] Die oben beschriebenen Techniken zur Zuweisung/Wiederzuweisung überschüssiger Leistung können für Systeme mit diskreten Datenraten und Sollwerten genutzt werden.

[0087] **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess **300** zum Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die Eigenmoden in einem MIMO-System, das einen Satz von diskreten Datenraten unterstützt. Anfangs wird die gesamte Sendeleistung P_{tot} an die N_s Eigenmoden basierend auf einem bestimmten Leistungszuweisungsschema (zum Beispiel dem Wasserfüllschema) zugewiesen, und zwar im Schritt **312**. Am Ende von der anfänglichen Sendeleistungszuweisung wird jedem Eigenmode Sendeleistung von P_i zugewiesen für $i \in I$, wobei die an einen bestimmten Eigenmode zugewiesene Leistung Null sein kann. Falls das effektive SNR von einem Eigenmode nicht auf einen von den diskreten Betriebspunkten fällt, dann wird einige Sendeleistung, die an diesen Eigenmode zugewiesen wird, ineffizient genutzt und Leistungssteuerung bzw. -regelung kann eingesetzt werden.

[0088] Die Eigenmoden, deren effektive SNRs nicht auf den Satz von diskreten Betriebspunkten fallen, werden in einen Satz K platziert, und zwar im Schritt **314**. Falls der Satz K leer ist, wie im Schritt **316** bestimmt, dann endet der Prozess. Andernfalls wird jedem Eigenmode in dem Satz K der minimale Betrag an Sendeleistung zugewiesen, der notwendig ist, um den aktuellen spektralen Effizienzbeitrag für jenen Eigenmode zu erfüllen und zwar im Schritt **318**. Dies wird erreicht durch Zurückhalten (oder Reduzieren) der an jeden Eigenmode in K zugewiesenen Sendeleistung, so dass der Eigenmode jetzt an dem diskreten Betriebspunkt betrieben wird.

[0089] **Fig. 4B** zeigt auch ein Beispielsystem, wobei die anfänglichen Betriebspunkte von den drei Eigenmoden, durch gestrichelte Linien **426a** bis **426c** gezeigt, nicht auf den diskreten Betriebspunkten liegen. Die Sendeleistung für jeden von diesen Eigenmoden wird um einen zurückgesetzten Betrag bzw. backed-off-Betrag, BO_k , für $k \in K$ reduziert, so dass der Eigenmode bei einer niedrigeren Sendeleistung betrieben wird, ohne einen Verlust in der spektralen Effizienz bzw. des spektralen Wirkungsgrads zu erleiden. Die Sendeleistung \hat{P}_k , die erforderlich ist, um an dem diskreten Betriebspunkt d für den Eigenmode k betrieben zu werden, kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$\hat{P}_k = \frac{\gamma_k(d) \cdot \sigma^2}{\lambda_k} ,$$

Gleichung (15)

wobei die Variable k für $k \in K \subset I$ sich auf jeden Eigenmode in dem Satz K bezieht und $\gamma_k(d)$ der diskrete Betriebspunkt ist, der der aktuellen spektralen Effizienz $\rho_k(d)$ entspricht, und zwar bei dem Eigenmode k .

[0090] Die überschüssige Sendeleistung, die durch Verringern der den Eigenmoden in dem Satz K zugewiesenen Sendeleistung erlangt wird, wird dann im Schritt **320** wie folgt bestimmt:

$$\Delta \hat{P} = \sum_{k \in K} (P_k - \hat{P}_k) ,$$

Gleichung (16)

wobei P_k sich bezieht auf die dem Eigenmode k im Schritt **312** zugewiesene anfängliche Sendeleistung. Weil die überschüssige Leistung nur erneut zugewiesen werden kann an die Eigenmoden, die unterhalb ihrer entsprechenden Sättigungsbereiche betrieben werden, werden jene Eigenmoden von dem kompletten Satz von Eigenmoden I , deren neue (oder unveränderte) effektive SNRs unterhalb ihrer Sättigungspunkte $\gamma_{\text{sat}}(i)$ sind durch den Index j bezeichnet und in einen Satz J platziert, und zwar im Schritt **322**. Falls der Satz J leer ist, wie im Schritt **324** bestimmt, dann endet der Prozess. Der Satz J beinhaltet somit alle Eigenmoden in dem Satz I , die unterhalb ihres entsprechenden Sättigungs-(nicht Betriebs-)Punkts betrieben werden, sobald die neuen Leistungen auf die Eigenmoden in dem Satz K angewendet worden sind.

[0091] Andernfalls wird die überschüssige Sendeleistung ΔP , bestimmt im Schritt **320**, zwischen den Eigenmoden im Satz J in verschiedenen Kombinationen neu zugewiesen (zum Beispiel in allen möglichen Kombinationen) und zwar im Schritt **326**. Dies kann durchgeführt werden basierend auf der Kenntnis von der spektralen Effizienz als eine Funktion von dem effektiven SNR für jeden Eigenmode (zum Beispiel wie durch die Darstellung **422** in **Fig. 4B** gezeigt ist). Um die Evaluierung im Schritt **326** zu ermöglichen, kann eine Tabelle von inkrementellen SNRs, $\Delta \gamma_j(d)$ und die entsprechenden Gewinne bei der spektralen Effizienz $\Delta \rho_j(d)$ für jeden Betriebspunkt d von jedem Eigenmode j in dem Satz J bestimmt werden.

[0092] Das inkrementelle SNR $\Delta \gamma_j(d)$ ist wie folgt definiert:

$$\Delta \gamma_j(d) = \gamma_j(d + 1) - \gamma_j , \quad (d)\text{Gleichung (17)}$$

und ist der minimale Betrag an SNR, der notwendig ist, um den Eigenmode j von der spektralen Effizienz bei dem aktuellen Betriebspunkt d hoch zu dem Betriebspunkt von der nächst höheren spektralen Effizienz $d + 1$ zu bewegen. Der entsprechende Gewinn der spektralen Effizienz $\Delta \rho_j(d)$ ist wie folgt gegeben:

$$\Delta \rho_j(d) = \rho_j(d + 1) - \rho_j(d) , \quad \text{Gleichung (18)}$$

und wird erlangt durch Erhöhen des SNR von $\gamma_j(d)$ auf $\gamma_j(d + 1)$.

[0093] **Fig. 4B** stellt sowohl das inkrementelle SNR als auch den resultierenden Gewinn in der spektralen Effizienz für die gegebene Spektreffizienzfunktion dar. Das inkrementelle SNR, $\Delta \gamma_j(d)$ kann auf eine inkrementelle Sendeleistung $\Delta P_j(d)$ wie folgt übersetzt werden:

$$\Delta P_j(d) = \frac{\Delta \gamma_j(d) \cdot \sigma^2}{\lambda_j} .$$

Gleichung (19)

[0094] $\Delta P_j(d)$ ist die inkrementelle Leistung, die erforderlich ist, um die nächst höhere spektrale Effizienz auf dem Eigenmode j von dem aktuellen Betriebspunkt d zu erreichen.

[0095] Die erneute Zuweisung von der überschüssigen Sendeleistung kann durchgeführt werden, so dass der höchstmögliche Gewinn in der spektralen Effizienz erreicht wird. Dies kann erreicht werden durch Durchführen einer extensiven Suche (oder Evaluierung) von allen möglichen erneuten Zuweisungen von der überschüssigen Sendeleistung ΔP an alle Eigenmoden in dem Satz J unter Verwendung der inkrementellen Sendeleistung und des entsprechenden Gewinns in der spektralen Effizienz, entsprechend erlangt von den Gleichungen (19)

und (18), und zwar im Schritt **328**. Schlussendlich wird die überschüssige Sendeleistung entsprechend der erneuten Zuweisung verteilt, die zu dem höchsten Gewinn in der spektralen Effizienz führt, und zwar im Schritt **330**. Der Prozess endet dann.

[0096] Verschiedene andere Schemata können auch genutzt werden, um die exzessive Sendeleistung an die Eigenmoden in dem Satz J erneut zuzuweisen. In einem Schema wird die überschüssige Sendeleistung jeweils an einen Eigenmode zugewiesen, und zwar mit dem besten Eigenmode beginnend. Zum Beispiel kann einige überschüssige Sendeleistung an den höchsten Eigenmode in dem Satz J erneut zugewiesen werden (zum Beispiel gerade genug Leistung, um diesen Eigenmode auf das nächst höhere Spektraleffizienzniveau zu bewegen). Einige verbleibende überschüssige Sendeleistung kann dann an den nächst höchsten Eigenmode in dem Satz J erneut zugewiesen werden und der Prozess kann auf diese Art und Weise weitergehen bis alle überschüssige Sendeleistung erneut zugewiesen worden ist. In einem anderen Schema werden alle erneuten Zuweisungen der Leistung, die einen Sprung auf die nächst höhere spektrale Effizienz für jeden Eigenmode in dem Satz J erreichen würden, anfangs bestimmt und die erneute Zuweisung, die den höchsten spektralen Effizienzgewinn erreicht (oder den kleinsten Betrag an inkrementeller Sendeleistung nutzt, falls die Gewinne in der spektralen Effizienz über all die Eigenmoden die gleichen sind), wird ausgewählt. Andere Schemata können auch genutzt werden und liegen innerhalb des Umfangs der Erfindung.

[0097] Ein spezielles numerisches Beispiel ist unten beschrieben, um die Techniken zum Zuweisen/Wiederzuzuweisen der gesamten Sendeleistung an die Eigenmoden für ein System darzustellen, das einen Satz von diskreten Datenraten bzw -geschwindigkeiten unterstützt. Für dieses Beispiel wird die Spitzensendeleistung für jede Sendeantenne normalisiert, so dass $P_{\max} = 1$ ist und die Varianz von dem Rauschen wird so eingestellt, dass das SNR an jedem Empfänger, keine weitere Kanalverschlechterung angenommen, $\gamma_{rx} = 10$ dB ist. Dies führt dann zu einer Rausch-Varianz von $\sigma^2 = 10^{-10/10} = 0,10$. Die folgenden Parameter werden auch angenommen:

$$N_S = N_T = N_R = 3, \text{ und}$$

$$\lambda_1 = 1,7, \lambda_2 = 0,9, \text{ und } \lambda_3 = 0,4.$$

[0098] **Fig. 4C** zeigt die spektrale Effizienz in Bezug auf das effektive SNR für das obige Beispielsystem. Vom gleichen Satz von diskreten Datenraten wird angenommen, dass er auf alle Eigenmoden anzuwenden ist und er wird assoziiert mit der durch Darstellung **432** gezeigte Spektral-Effizienz-Funktion. Das Sättigungs-SNR für jeden Eigenmode ist somit $\gamma_{sat}(i)_{dB} = 12dB, \forall i \in I$.

[0099] Die an dem Sender verfügbare gesamte Sendeleistung ist $P_{tot} = 3 \cdot 1 = 3$. Die Wasserfüll-Leistungszuweisung (Schritt **312**) führt zu den folgenden Leistungen, die an die drei Eigenmoden zugewiesen werden:

$$P_1(1) = 1,08, P_2(1) = 1,03, \text{ und } P_3(1) = 0,89.$$

[0100] Die effektiven SNRs für die Eigenmoden, berechnet unter Verwendung von Gleichung (11), werden wie folgt bestimmt:

$$\gamma_1(1) = 18,38, \gamma_2(1) = 9,26, \text{ und } \gamma_3(1) = 3,56.$$

[0101] Die Stellen von den effektiven SNRs von den drei Eigenmoden auf der Spektral-Effizienz-Funktion werden durch die Rauten **438a** bis **438c** in **Fig. 4C** gezeigt. Es ist zu sehen, dass alle drei Eigenmoden nicht auf den diskreten Betriebspunkten liegen, die durch die durchgezogenen Kreise **434** gezeigt sind. Somit wird der Satz K bestimmt als $K = \{1, 2, 3\}$ (Schritt **314**). Da der Satz K nicht leer ist, wird die minimale Sendeleistung für jeden Eigenmode bestimmt, die noch zu dem aktuellen Spektral-Effizienzwert von jenem Eigenmode führt (Schritt **318**). Für dieses Beispiel werden die Sendeleistungen von den Eigenmoden zurückgesetzt (backed off), so dass die effektiven SNRs 12 dB, 9 dB und 3 dB, entsprechend für den ersten, den zweiten und den dritten Eigenmode, sind.

[0102] Unter Verwendung von Gleichung (15) werden die neuen Sendeleistungen für die drei Eigenmoden, wie folgt bestimmt:

$$\hat{P}_1 = \frac{10^{(12/10)} \times 0.1}{1.7} = 0.93, \quad \hat{P}_2 = \frac{10^{(9/10)} \times 0.1}{0.9} = 0.88, \quad \text{und} \quad \hat{P}_3 = \frac{10^{(3/10)} \times 0.1}{0.4} = 0.50 .$$

[0103] Die neuen Sendeleistungs-Zuweisungen schieben die Betriebspunkte von den drei Eigenmoden zu den diskreten Betriebspunkten. Als nächstes wird die überschüssige Sendeleistung durch Gleichung (16) wie folgt bestimmt:

$$\Delta \hat{P} = (1.08 - 0.93) + (1.03 - 0.88) + (0.89 - 0.50) = 0.69.$$

[0104] Da der erste Eigenmode bereits bei seinem Sättigungspunkt ist, wird an diesen Eigenmode keine weitere Sendeleistung erneut zugewiesen. Die überschüssige Sendeleistung kann an die Eigenmoden zwei und drei erneut zugewiesen werden und der Satz J ist gleich zu $J = \{2, 3\}$.

[0105] Tabelle 1 listet das inkrementelle SNR, $\Delta\gamma_j(d)$ für jeden Betriebspunkt d und jeden Eigenmode, für $j \in J$ auf. Weil die diskreten Datenraten für alle Eigenmoden in diesem Beispiel die gleichen sind, wird der Index j fallengelassen und das inkrementelle SNR wird ausgedrückt als $\Delta\gamma(d)$. Die inkrementelle Sendeleistung $\Delta P_j(d)$ auf dem Eigenmode j ist eine Funktion von dem Eigenwert auf dem Eigenmode j, λ_j . Die Leistungen $\Delta P_j(d)$ werden für jeden Eigenmode für $j \in J$ und für jeden Betriebspunkt d gezeigt, und zwar, wie unter Verwendung der Gleichung (19) berechnet. Schlussendlich listet die letzte Spalte den inkrementellen Gewinn in der spektralen Effizienz $\Delta\rho_j(d)$ auf, welcher konstant bei 0,5 bps/Hz für alle Betriebspunkte verbleibt, wie in [Fig. 4C](#) gezeigt ist.

Tabelle 1

d	$\Delta\gamma(d)$ (dB)	$\Delta P_2(d)$	$\Delta P_3(d)$	$\Delta\rho(d)$
1	3	0.22	0.50	0.5
2	2	0.18	0.40	0.5
3	1.5	0.16	0.35	0.5
4	2.5	0.20	0.44	0.5
5	3	0.22	0.5	0.5
6	inf	inf	inf	0

[0106] Der nächste Schritt ist es dann, alle möglichen erneuten Zuweisungen von der überschüssigen Sendeleistung $\Delta P = 0,69$ zu bestimmen. Weil die zweiten und dritten Eigenmoden bei $d = 5$ bzw. $d = 2$ betrieben werden, gibt es nur eine gültige Zuweisung der überschüssigen Leistung, welche die erneute Zuweisung von $\Delta P_2(d) = 0,22$ mehr Sendeleistung an den zweiten Eigenmode und $\Delta P_3(d) = 0,40$ mehr Sendeleistung an den dritten Eigenmode ist. Diese erneute Zuweisung von Leistung wird zu einer Erhöhung von 1 bps/Hz in der spektralen Effizienz führen und der Betrag an ungenutzter Sendeleistung ist

$$\Delta \hat{P} = 0,69 - 0,22 - 0,40 = 0,7.$$

[0107] Wie oben bemerkt, können die hierin beschriebenen Techniken zum Zuweisen/Wiederzueisen von Sendeleistung an Übertragungskanäle für verschiedene Mehrkanal-Kommunikationssysteme genutzt werden, und zwar einschließlich von MIMO-Systemen, OFDM-Systemen, MIMO-OFDM-Systemen usw. Diese Techniken können vorteilhafter genutzt werden für Systeme, die eine Sättigungs-Spektral-Effizienz ρ_{sat} besitzen (wie in [Fig. 4A](#) dargestellt) und für Systeme, die einen oder mehrere Sätze an diskreten Datenraten für die Übertragungskanäle unterstützen (wie in [Fig. 4B](#) dargestellt ist). Der in [Fig. 3](#) gezeigte Prozess kann modifiziert werden zum Zuweisen/Wiederzueisen von Sendeleistung an Übertragungskanäle (anstelle von Eigenmoden).

Leistungs-Zuweisung/Wiederzuweisung für eine spezifizierte spektrale Effizienz

[0108] Die oben beschriebenen Techniken können genutzt werden zum Zuweisen/Wiederzueisen der gesamten Sendeleistung, um die spektrale Effizienz zu maximieren (z. B. zum Erreichen des höchstmöglichen Gesamtdurchsatzes oder aggregierter Datenrate für die Übertragungskanäle). Für einige Kommunikationssysteme kann die aggregierte Datenrate begrenzt oder spezifiziert sein. Für diese Systeme können die oben beschriebenen Techniken modifiziert und genutzt werden zum Zuweisen des minimalen Betrags an Sendeleistung, die die spezifizierte aggregierte Datenrate erreicht.

[0109] Die Zuweisung der minimalen Sendeleistung, die eine bestimmte spektrale Effizienz erreicht, kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden, die abhängig sein können von der Auslegung und den Fähigkeiten

von dem Kommunikationssystem. Verschiedene mögliche Schemata sind unten vorgesehen.

[0110] Für ein System, das einen Satz von diskreten Datenraten unterstützt, kann die minimale Sendeleistungs-Zuweisung für eine spezifizierte spektrale Effizienz wie folgt erreicht werden.

1. Zuweisen der gesamten Sendeleistung an die Übertragungskanäle, z. B. basierend auf dem Wasserfüll-Schema.
2. Bestimmen einer neuen Sendeleistung für jeden Übertragungskanal unter Verwendung der oben erwähnten Techniken, derart, dass sein Betriebspunkt auf einen diskreten Betriebspunkt fällt, der die gleiche spektrale Effizienz erreicht.
3. Bestimmen der aggregierten spektralen Effizienz, die mit der neuen Sendeleistungs-Zuweisung erreicht wird. Falls diese spektrale Effizienz höher ist, als die spezifizierte spektrale Effizienz, dann weiter zu Schritt 4.
4. Andernfalls ist die Sendeleistungs-Zuweisung beendet.
4. Bestimmen der „überschüssigen“ bzw. „exzessiven“ spektralen Effizienz als die Differenz zwischen der erreichbaren spektralen Effizienz (mit der neuen Sendeleistungs-Zuweisung) und der spezifizierten spektralen Effizienz. Die spektrale Effizienz von dem System wird dann um diese bestimmte Differenz verringert.
5. Bilden einer Tabelle von inkrementeller Sendeleistung-/inkrementeller spektraler Effizienz für jeden Übertragungskanal, wobei ein Beispiel dafür Tabelle 1 ist.
6. Suche über verschiedene mögliche Reduktionen in der Sendeleistung, die eine spektrale Effizienz-Reduktion erreichen werden, die weniger ist als oder gleich ist zu der exzessiven spektralen Effizienz, die in Schritt 4 bestimmt wurde.
7. Vom Schritt 6, Auswählen der Sendeleistungs-Reduktion, die den Betrag an gesparter Sendeleistung maximiert.

[0111] Für ein System, das mehrere kontinuierliche variable Datenraten unterstützt (z. B. diskrete Datenraten mit feineren Inkrementen) kann eine iterative Suche durchgeführt werden, um die minimale Sendeleistungs-Zuweisung für eine spezifizierte spektrale Effizienz zu bestimmen. Im Speziellen, nachdem die gesamte Sendeleistung anfangs zugewiesen worden ist (z. B. basierend auf dem Wasserfüll-Schema) kann die überschüssige spektrale Effizienz, wie oben beschrieben, bestimmt werden. Falls die überschüssige spektrale Effizienz eine bestimmte Schwelle übersteigt (z. B. einen bestimmten Prozentsatz über der spezifizierten spektralen Effizienz), dann kann eine neue Sendeleistungs-Zuweisung bestimmt werden, die die exzessive spektrale Effizienz reduziert. Dies kann erreicht werden durch Zurücknehmen (backing off) der gesamten Sendeleistung (z. B. um einen Prozentsatz, der basierend auf dem Prozentsatz von der überschüssigen spektralen Effizienz geschätzt werden kann) und Zuweisen der zurückgenommenen Sendeleistung an die Übertragungskanäle (z. B. wiederum basierend auf dem Wasserfüll-Schema). Falls die spektrale Effizienz, die mit der zurückgenommenen Sendeleistung weniger ist als die spezifizierte spektrale Effizienz, dann kann die Zurücknahme reduziert werden und die neue zurückgenommene Sendeleistung wird wiederum an die Übertragungskanäle zugewiesen. Dieser Prozess kann so oft wie notwendig iteriert werden bis die mit einer bestimmten zurückgenommenen Sendeleistung erreichte spektrale Effizienz innerhalb der akzeptablen Schwelle ist.

[0112] Andere Schemata zum Bestimmen der minimalen Sendeleistungs-Zuweisung für eine spezifizierte spektrale Effizienz können auch implementiert werden und dies liegt innerhalb des Umfangs der Erfindung.

Wasserfüll- bzw. Water-Filling-Leistungs-Zuweisung

[0113] Wenn eine vollständige CSI an dem Sender verfügbar ist, kann der MIMO-Kanal in N_s orthogonale Kanäle diagonalisiert werden unter Verwendung einer Singulärwertzerlegung, wie oben beschrieben. Diese Technik führt zu N_s nicht interferierenden räumlichen Subkanälen, als Eigenmoden bezeichnet, wobei die Leistung auf dem Eigenmode i gleich dem Eigenwert ist, der mit jenem Eigenmode assoziiert ist, und zwar λ_i , für $i \in I = \{1, 2, \dots, N_s\}$. Die Performance auf jedem räumlichen Subkanal ist begrenzt durch das additive weiße Gauss-förmige Rauschen (additive white Gaussian noise (AWGN)) mit der Varianz σ^2 .

[0114] [Fig. 5](#) ist ein Flussdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Prozess 500 zum Zuweisen der gesamten verfügbaren Sendeleistung an einen Satz von Eigenmoden. Der Prozess **500** ist eine spezielle Implementierung von dem Waterfilling-Schema bzw. Wasserfüll-Schema und kann genutzt werden für die Schritte **120**, **220** und **312**, entsprechend in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#). Das Wasserfüll-Schema bestimmt die Sendeleistung, P_i für $i \in I$, die an die Eigenmoden in dem Satz I zuzuweisen ist, angesichts der gesamten Sendeleistung P_{tot} , die an dem Sender verfügbar ist, den Eigenwerten λ_i und der Rausch-Varianz σ^2 .

[0115] Anfangs wird die Variable n , die zum Bezeichnen der Iterationsnummer genutzt wird, auf Eins gesetzt (d. h. $n = 1$), und zwar im Schritt **512**. Für die erste Iteration wird der Satz $I(n)$ so definiert, dass er alle Eigen-

moden beinhaltet (d. h. $1 \leq i \leq N_s$), und zwar im Schritt **514**. Die Kardinalität bzw. Mächtigkeit (oder Länge) vom Satz $l(n)$, $L_l(n) = |l(n)|$, für die aktuelle Iteration wird dann im Schritt **516** bestimmt, wobei dies $L_l(n) = N_s$ für die erste Iteration ist.

[0116] Die totale bzw. gesamte „effektive“ Leistung P_{TOTAL} , die zwischen bzw. über die Eigenmoden im Satz $l(n)$ zu verteilen ist, wird als nächstes bestimmt, und zwar im Schritt **518**. Die gesamte effektive Leistung ist definiert, so dass sie gleich der gesamten Sendeleistung P_{tot} ist, die an dem Sender verfügbar ist, plus die Summe von den inversen SNRs auf jedem Eigenmode, und zwar wie folgt:

$$P_{TOTAL} = P_{tot} + \sum_{i \in l} \frac{\sigma^2}{\lambda_i} .$$

Gleichung (20)

[0117] [Fig. 6A](#) stellt grafisch die gesamte effektive Leistung für ein Beispielsystem mit drei Eigenmoden dar. Jeder Eigenmode besitzt ein inverses SNR, das gleich ist zu σ^2/λ_i (eine normalisierte Sendeleistung von 1,0 angenommen) für $i = \{1, 2, 3\}$. Der Gesamtbetrag an Sendeleistung, die an dem Sender verfügbar ist, ist $P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$ und wird repräsentiert durch das schattierte Gebiet in [Fig. 6A](#). Die gesamte effektive Leistung wird durch das Gebiet in den schattierten und ungeschattierten Bereichen in [Fig. 6A](#) repräsentiert.

[0118] Die gesamte Sendeleistung wird dann den Eigenmode im Satz $l(n)$ zugewiesen. Der Index i , der für die Eigenmoden genutzt wird, wird auf Eins initialisiert (d. h. $i = 1$), und zwar im Schritt **520**. Der Betrag an Sendeleistung, der dem Eigenmode i zuzuweisen ist, wird dann im Schritt **522** bestimmt, und zwar basierend auf dem Folgenden:

$$P_i = \frac{P_{TOTAL}}{L_l(n)} - \frac{\sigma^2}{\lambda_i} .$$

Gleichung (21)

[0119] Obwohl der Boden von dem Wasserpegel eine unregelmäßige Oberfläche besitzt, bleibt für das Wasserfüllen der Wasserpegel oben über den Behälter hinweg konstant. In ähnlicher Weise und wie in [Fig. 6A](#) gezeigt, ist, nachdem die gesamte Sendeleistung P_{tot} über die Eigenmoden verteilt worden ist, der finale bzw. endgültige Leistungspegel über alle Eigenmoden hinweg konstant. Dieser finale Leistungspegel wird bestimmt durch Dividieren von P_{TOTAL} durch die Anzahl von Eigenmoden in dem Satz $l(n)$, $L_l(n)$. Der Betrag an Leistung, der dem Eigenmode i zugewiesen ist, wird dann bestimmt durch Subtrahieren des inversen SNR von jenem Eigenmode, σ^2/λ_i , von dem finalen Leistungspegel $P_{TOTAL}/L_l(n)$, wie durch die Gleichung (21) angegeben und in [Fig. 6A](#) gezeigt ist. Jedem Eigenmode in dem Satz $l(n)$ wird die Sendeleistung P_i zugewiesen, und zwar durch Schritt **522**. Die Schritte **524** und **526** sind Teil von einer Schleife zum Zuweisen von Sendeleistung an jeden Eigenmode in dem Satz $l(n)$.

[0120] [Fig. 6B](#) zeigt eine Situation, in der die Leistungszuweisung durch das Wasserfüll-Schema zu einem Eigenmode führt, der negative Leistung empfängt, was der Fall ist, wenn $(P_{TOTAL}/L_l(n)) < (\sigma^2/\lambda_i)$ ist. An dem Ende von der Leistungszuweisung, falls es Eigenmoden gibt, die negative Leistungen empfangen haben, wie im Schritt **528** bestimmt, dann geht der Prozess weiter durch Entfernen aller Eigenmoden mit negativen Leistungen (d. h. $P_i < 0$) von dem Satz $l(n)$, und zwar im Schritt **530** und beim Schritt **532** durch Inkrementieren von n um Eins (d. h. $n = n + 1$). Deshalb wird bei jeder nachfolgenden Iteration die gesamte Sendeleistung zwischen bzw. unter den verbleibenden Eigenmoden in dem Satz $l(n)$ aufgeteilt. Die Prozedur geht weiter bis allen Eigenmoden in dem Satz $l(n)$ positive Leistung zugewiesen worden ist, wie im Schritt **528** bestimmt. Den Eigenmoden, die nicht im Satz $l(n)$ sind, wird null Leistung zugewiesen.

[0121] Der Klarheit wegen ist das Wasserfüll-Schema speziell für Eigenmoden beschrieben worden. Im Allgemeinen kann das Wasserfüll-Schema für jede Art von Übertragungskanälen durchgeführt werden (z. B. räumlichen Subkanälen, Frequenz-Subkanälen oder Frequenz-Subkanälen von räumlichen Subkanälen, abhängig von dem System, das implementiert wird). Der in [Fig. 5](#) gezeigte Prozess kann somit modifiziert werden, um Sendeleistung an Übertragungskanäle (anstelle von Eigenmoden) zuzuweisen.

[0122] Ein spezieller Algorithmus zum Durchführen des grundlegenden Wasserfüll-Prozesses für ein MIMO-OFDM-System ist beschrieben in der U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/978,337, Veröffentlichungsnummer US 2003/0072379, mit dem Titel „Method and Apparatus for Determining Power Allocation in a MIMO Communication System“, eingereicht am 15. Oktober 2001, an den Rechteinhaber der vorliegenden Erfindung übertragen.

[0123] [Fig. 7](#) ist ein Blockdiagramm von einem Ausführungsbeispiel von einem Sendersystem **710** und einem Empfängersystem **750**, die geeignet sind zum Implementieren verschiedener Aspekte und Ausführungsbeispiele der Erfindung.

[0124] Bei dem Sendersystem **710** werden Verkehrsdaten von einer Datenquelle **712** an einen Send-(TX)-Datenprozessor **714** geliefert, welcher die Verkehrsdaten formatiert, codiert und interleaved bzw. verschachtelt, und zwar basierend auf einem oder mehreren Codierungsschemata zum Versehen von codierten Daten. Die codierten Verkehrsdaten können mit Pilotdaten gemultiplext werden unter Verwendung von z. B. Zeitmultiplex (time division multiplex (TDM)) oder Code-Multiplex (code division multiplex CDM) in allen oder einem Subsatz bzw. Teilsatz von den Übertragungskanälen, die zur Datenübertragung zu nutzen sind. Die Pilotdaten sind typischerweise ein bekanntes Datenmuster, das auf eine bekannte Art und Weise verarbeitet wird, falls es überhaupt vorhanden ist. Die gemultiplexten Pilotdaten und codierten Verkehrsdaten werden dann moduliert (d. h. Symbol-abgebildet), basierend auf einem oder mehreren Modulationsschemata (z. B. BPSK, QSPK, M-PSK oder M-QAM), um Modulationssymbole vorzusehen. Die Datenrate, Codierung, Interleaving bzw. Verschachtelung und Modulation für jeden Übertragungskanal oder jede Gruppe von Übertragungskanälen kann durch verschiedene Steuerungen bestimmt werden, die durch einen Controller bzw. eine Steuereinrichtung **730** vorgesehen sind.

[0125] Die Modulationssymbole werden dann an einen TX MIMO-Prozessor **720** geliefert und weiter verarbeitet. In einem speziellen Ausführungsbeispiel beinhaltet die Verarbeitung durch den TX-MIMO-Prozessor **720** Folgendes: (1) Zerlegen einer Schätzung von der Kanalantwort-Matrix H , um die unitäre Matrix V und die Diagonalmatrix D zu erlangen, (2) vor Multiplizieren der Modulationssymbole (d. h. des Signal-Vektors s) mit der unitären Matrix V und (3) Demultiplexen der vorkonditionierten Symbole, (d. h. dem Sende-Vektor x) in N_T Symbolströme. In einem anderen Ausführungsbeispiel beinhaltet die Verarbeitung durch den TX MIMO-Prozessor **720** einfach das Demultiplexen der Modulationssymbole in N_T Symbolströme, (d. h. keine Vorkonditionierung von den Symbolen mit der Matrix V). Der TX MIMO-Prozessor **720** kann ferner jedes Symbol durch ein geeignetes Gewicht skalieren, das basierend auf dem Betrag an Sendeleistung bestimmt ist, der dem für jenes Symbol verwendeten Übertragungskanal zugewiesen ist. Die N_T gewichteten Symbolströme werden dann an Sender (TMTR) **722a** bis **722t** geliefert.

[0126] Jeder Sender **722** empfängt und verarbeitet einen entsprechenden Symbolstrom. Für ein OFDM-System transformiert jeder Sender die Symbole (z. B. unter Verwendung der IFFT), um OFDM-Symbole zu bilden und kann ferner einen zyklischen Präfix an jedes OFDM-Symbol anhängen, um ein entsprechendes Übertragungssymbol bzw. Sendesymbol zu bilden. Jeder Sender konvertiert auch den Symbolstrom in ein oder mehrere analoge Signale und konditioniert ferner (d. h. verstärkt, filtert und quadratur-moduliert) die analogen Signale zum Erzeugen eines modulierten Signals, das geeignet ist zur Übertragung über den MIMO-Kanal. N_T modulierte Signale von den Sendern **722a** bis **722t** werden dann entsprechend von N_T Antennen **724a** bis **724t** gesendet.

[0127] An dem Empfängersystem **750** werden die gesendeten modulierten Signale durch N_R Antennen **752a** bis **752r** empfangen und das empfangene Signal von jeder Antenne **752** ist für einen entsprechenden Empfänger (RCVR) **754** vorgesehen. Jeder Empfänger **754** konditioniert (z. B. filtert, verstärkt und herabkonvertiert) das empfangene Signal und digitalisiert das konditionierte Signal, um einen entsprechenden Strom von Tastungen bzw. Abtastwerten vorzusehen. Jeder Taststrom kann ferner verarbeitet werden (z. B. mit dem wieder gewonnenen Pilot demoduliert werden), um einen entsprechenden Strom an empfangenen Symbolen zu erlangen (als y bezeichnet). Ein RX MIMO-Prozessor **760** empfängt und verarbeitet dann die N_R empfangenen Symbolströme, um N_T wieder gewonnene Symbolströme vorzusehen. In einem speziellen Ausführungsbeispiel kann die Verarbeitung durch den RX MIMO-Prozessor **760** Folgendes beinhalten: (1) Zerlegen der geschätzten Kanal-Antwort-Matrix zum Erlangen der unitären Matrix U , (2) Vormultiplizieren der empfangenen Symbole (d. h. den Vektor y) mit der unitären Matrix U^H zum Vorsehen der wieder gewonnenen Symbole (d. h. den Vektor r) und (3) Entzerren der wieder gewonnenen Symbole um entzerrte Symbole zu erlangen.

[0128] Ein Empfangs-(RX)-Datenprozessor **762** demoduliert, deinterleaved bzw. entschachtelt und decodiert die entzerrten Symbole, um die gesendeten Verkehrsdaten wieder zu gewinnen. Die Verarbeitung durch den RX MIMO-Prozessor **760** und den RX Datenprozessor **762** ist komplementär zu jener, die entsprechend durch den TX MIMO-Prozessor **720** und den TX Datenprozessor **714** am Sendersystem **710** durchgeführt worden ist.

[0129] Der RX MIMO-Prozessor **760** kann ferner eine Schätzung von der Kanal-Antwort-Matrix H für den MI-

MO-Kanal, die SNRs für die Übertragungskanäle usw. ableiten und diese Größen an einen Controller bzw. eine Steuereinrichtung **770** liefern. Der RX Datenprozessor **762** kann auch den Status von jedem empfangenen Rahmen oder Paket, eine oder mehrere andere Performance-Metriken, die eine Anzeige von den decodierten Ergebnissen liefern, und möglicherweise andere Information vorsehen. Der Controller **770** sammelt eine Kanalzustandsinformation (channel state information CSI), die alle oder einige von der Information aufweisen, die von dem RX MIMO-Prozessor **760** und dem RX Datenprozessor **762** empfangen worden ist. Die CSI wird dann durch einen TX Datenprozessor **778** verarbeitet, durch einen Modulator **780** moduliert, durch Sender **754a** bis **754r** konditioniert und zurück zum Sendersystem **710** gesendet.

[0130] An dem Sendersystem **710** werden die modulierten Signale von dem Empfängersystem **750** durch Antennen **724** empfangen, durch Empfänger **722** konditioniert, durch einen Demodulator **740** demoduliert und durch einen RX Datenprozessor **742** verarbeitet, um die durch das Empfängersystem berichtete CSI wieder zu gewinnen. Die CSI wird dann an einen Controller **730** geliefert und genutzt zum Erzeugen von verschiedenen Steuerungen für den TX Datenprozessor **714** und den TX MIMO-Prozessor **720**.

[0131] Die Controller **730** und **770** leiten bzw. weisen den Betrieb, und zwar an den Sender- bzw. Empfänger-Systemen. Speicher **732** und **772** sehen Speicher vor für Programmcodes und Daten, die entsprechend durch die Controller **730** und **770** genutzt werden.

[0132] Zum Implementieren der oben beschriebenen Techniken zur Sendeleistungs-Zuweisung/Wiederzuweisung empfängt der Controller **730** die CSI von dem Empfängersystem **750**, die die Kanal-Antwort-Matrix oder einige andere Information beinhalten kann, die beschreibend ist für die Charakteristika von dem MIMO-Kanal. Der Controller **730** weist dann die gesamte Sendeleistung an die Übertragungskanäle derart zu, dass überschüssige Sendeleistung von Übertragungskanälen, die in dem Sättigungsbereich betrieben werden, an andere Übertragungskanäle, die nicht in dem Sättigungsbereich sind, wieder zugewiesen bzw. erneut zugewiesen wird, und zwar wie oben beschrieben ist. Die Sendeleistung P_i , die an jeden Übertragungskanal zugewiesen ist, kann dann die Datenrate und das Codierungs- und Modulationsschema, das für jenen Übertragungskanal zu nutzen ist, bestimmen.

[0133] Verschiedene MIMO- und OFDM-Verarbeitungstechniken sowohl für die Sender- als auch Empfängersysteme sind im Detail in den folgenden Patentanmeldungen beschrieben, von denen alle an den Rechteinhaber der vorliegenden Erfindung übertragen worden sind:

- U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/993,087, Veröffentlichungsnummer US 2003/0125040 mit dem Titel „Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System“, eingereicht am 6. November 2001;
- U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/854,235, Veröffentlichungsnummer US 2003/0035491 mit dem Titel „Method and Apparatus for Processing Data in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System Utilizing Channel State Information“, eingereicht am 11. Mai 2001;
- U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummern 09/816,481, Veröffentlichungsnummer US 2002/0191703 und 09/956,449 Veröffentlichungsnummer US 2003/0003880, die beide den Titel tragen „Method and Apparatus for Utilizing Channel State Information in a Wireless Communication System“ entsprechend eingereicht am 23. März 2001 und am 18. September 2001; und
- U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 10/017,308, Veröffentlichungsnummer US 2003/0108117 mit dem Titel „Time-Domain Transmit and Receive Processing with Channel Eigenmode Decomposition for MIMO Systems“, eingereicht am 7. Dezember 2001.

[0134] Die hierin beschriebenen Sendeleistungs-Zuweisungs-/Wiederzuweisungstechniken können durch verschiedene Mittel implementiert werden. Z. B. können diese Techniken implementiert werden in Hardware, Software oder einer Kombination daraus. Für eine Hardware-Implementierung können die zum Zuweisen/Wiederzuweisen von Sendeleistung an Übertragungskanäle genutzten Elemente implementiert werden innerhalb einer oder mehrerer Anwendungs-spezifischer integrierter Schaltungen (application specific integrated circuits (ASICs)), digitale Signalprozessoren (digital signal processors, (DSPs)), digitale Signalverarbeitungseinrichtungen (digital signal processing devices (DSPDs)), programmierbare logische Einrichtungen (programmable logic devices (PLDs)), feldprogrammierbare Gatter-Arrays (FPGAs), Prozessoren, Controller, Micro-Controller, Mikroprozessoren, andere elektronische Einheiten, die ausgelegt sind zum Durchführen der hierin beschriebenen Funktionen oder einer Kombination davon.

[0135] Für eine Software-Implementierung kann die Sendeleistungs-Zuweisung/Wiederzuweisung mit Modulen implementiert werden (z. B. Prozeduren, Funktionen usw.), die die hierin beschriebenen Funktionen durchführen. Die Software-Codes können in einer Speichereinheit (z. B. Speicher **732** in [Fig. 7](#)) gespeichert werden

und durch einen Prozessor (z. B. Controller **730**) ausgeführt werden. Die Speichereinheit kann innerhalb des Prozessors oder außerhalb des Prozessors implementiert werden, wobei sie in letzterem Fall kommunikationsmäßig mit dem Prozessor über verschiedene Mittel gekoppelt sein kann, wie es in der Technik bekannt ist.

[0136] Überschriften sind hierin nur zu Bezugnahme beinhaltet und um beim Lokalisieren bestimmter Abschnitte zu helfen. Diese Überschriften sind nicht gedacht, um den Umfang der darunter beschriebenen Konzepte zu beschränken und diese Konzepte können in anderen Abschnitten über die gesamte Spezifikation hinweg anwendbar sein.

[0137] Die vorhergehende Beschreibung der offenbarten Ausführungsbeispiele ist vorgesehen, um es einem Fachmann zu ermöglichen, die vorliegende Erfindung nachzuvollziehen oder zu nutzen. Verschiedene Modifikationen an diesen Ausführungsbeispielen werden Fachleuten unmittelbar klar sein und die hierin definierten generischen Prinzipien können auf andere Ausführungsbeispiele angewendet werden, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen. Somit ist nicht gedacht, dass die vorliegende Erfindung auf die hierin gezeigten Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern sie soll im weitesten Umfang gewürdigt werden, der konsistent mit den angehängten Ansprüchen ist.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Zuweisen von Sendeleistung an eine Vielzahl von Übertragungs- bzw. Sendekanälen in einem drahtlosen Kommunikationssystem, wobei das Verfahren Folgendes aufweist:

Definieren (**214**) eines Satzes von einem oder mehreren Übertragungskanälen korrespondierend zu räumlichen Subkanälen denen Sendeleistung zuzuweisen ist;

Bestimmen (**218**) einer Gesamtsendeleistung, die verfügbar ist zum Zuweisen an die Übertragungskanäle in dem Satz;

Zuweisen (**220**) der Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema;

Identifizieren (**222**) von Übertragungskanälen mit einer Leistung in einem Sättigungsbereich und zwar resultierend von der zugewiesenen Sendeleistung;

erneutes Zuweisen (**226**) eines revidierten Betrags von Sendeleistung an jeden Übertragungskanal in dem Sättigungsbereich;

Bestimmen (**228**) einer gesamten überschüssigen bzw. exzessiven Sendeleistung oberhalb der Sättigungsschwelle für alle Übertragungskanäle, denen ein revidierter Betrag von Sendeleistung erneut zugewiesen worden ist; und

Durchführen des Definierens, Bestimmens, Zuweisens, Identifizierens und erneuten Zuweisens für eine oder mehrere Iterationen, wobei der Satz von Übertragungskanälen für eine erste Iteration die Vielzahl von Übertragungskanälen beinhaltet und für jede nachfolgende Iteration Übertragungskanäle, die nicht in dem Sättigungsbereich sind beinhaltet, und wobei die für jede nachfolgende Iteration verfügbare Gesamtsendeleistung, die in einer aktuellen Iteration bestimmte gesamte exzessive Sendeleistung beinhaltet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die für jede Iteration verfügbare Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz zugewiesen wird, und zwar basierend auf einem Water-Filling- bzw. Wasserfüllungszuweisungsschema.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Übertragungskanal als in dem Sättigungsbereich befindlich erachtet wird, falls ihm mehr Sendeleistung zugewiesen wird, als zum Erreichen einer bestimmten maximalen Datenrate erforderlich ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der revidierte Betrag an Sendeleistung der jedem Übertragungskanal in dem Sättigungsbereich zugewiesen ist ein zum Erreichen der maximalen Datenrate notwendiger minimaler Betrag ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Übertragungskanal als sei er in dem Sättigungsbereich befindlich erachtet wird, falls ihm mehr Sendeleistung zugewiesen ist, als zum Erreichen eines bestimmten Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (signal-to-noise ratio, SNR) erforderlich ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei ein einzelnes SNR für alle Übertragungskanäle in dem Satz genutzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei jeder Übertragungskanal mit einem entsprechenden Schwellen-SNR

assoziiert ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Identifizieren Folgendes beinhaltet:
Bestimmen eines effektiven Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (signal-to-noise ratio, SNR) für jeden Übertragungskanal in dem Satz basierend teilweise auf der dem Übertragungskanal zugewiesenen Sendeleistung, Vergleichen des effektiven SNR für jeden Übertragungskanal in dem Satz mit einem Schwellen-SNR, das für den Übertragungskanal anwendbar ist, und
Erklären eines Übertragungskanals als in dem Sättigungsbereich befindlich, falls sein effektives SNR größer als das anwendbare Schwellen-SNR ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Schwellen-SNR einem SNR entspricht, das zum Erreichen einer bestimmten maximalen Datenrate erforderlich ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das drahtlose Kommunikationssystem ein Mehrfach-Eingangs-Mehrfach-Ausgangs-(multiple-input multiple-output, MIMO)-Kommunikationssystem ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Vielzahl von Übertragungskanälen einer Vielzahl von Eigen-Moden für einen MIMO-Kanal des MIMO-Kommunikationssystems entspricht.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das drahtlose Kommunikationssystem ein orthogonales Frequenz-Multiplex-(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)-Kommunikationssystem ist.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das drahtlose Kommunikationssystem ein Mehrfach-Eingangs-Mehrfach-Ausgangs-(multiple-input multiple Output, MIMO)-Kommunikationssystem das orthogonale Frequenz-Multiplex (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) nutzt.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die räumlichen Sub-Kanäle Datenströmen entsprechen.

15. Ein Verfahren zum Zuweisen von Sendeleistung an eine Vielzahl von Übertragungskanälen in einem drahtlosen Kommunikationssystem, wobei das Verfahren Folgendes aufweist:
Identifizieren eines Satzes von Übertragungskanälen korrespondierend zu räumlichen Sub-Kanälen, denen Sendeleistung zuzuweisen ist;
Bestimmen einer Gesamtsendeleistung, die zum Zuweisen an die Übertragungskanäle verfügbar ist;
Zuweisen der Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema;
Bestimmen einer exzessiven bzw. überschüssigen spektralen Effizienz basierend teilweise auf der den Übertragungskanälen zugewiesenen Sendeleistung; und
erneutes Zuweisen von einem oder mehreren Übertragungskanälen mit reduzierten Beträgen an Sendeleistung zum Reduzieren der überschüssigen spektralen Effizienz.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Verfahren ferner aufweist: Reduzieren der jedem Übertragungskanal zugewiesenen Sendeleistung zum Erreichen eines bevorzugten Betriebspunktes.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Verfahren ferner aufweist:
Bestimmen von inkrementellen Änderungen der spektralen Effizienz für eine Vielzahl von Sendeleistungsreduktionen für die Übertragungskanäle; und
Auswählen einer größten Sendeleistungsreduktion die assoziiert ist mit einer inkrementellen spektralen Effizienzänderung, die weniger ist als oder gleich ist wie die überschüssige spektrale Effizienz.

18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Verfahren ferner aufweist: Bestimmen einer zurückgesetzten bzw. backed-off Sendeleistung; und Zuweisen der zurückgesetzten Sendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Verfahren ferner aufweist: Durchführen des Bestimmens der zurückgesetzten Sendeleistung und des Zuweisens der zurückgesetzten Sendeleistung ein oder mehrere Male bis die überschüssige spektrale Effizienz innerhalb einer bestimmten Schwelle ist.

20. Ein Speicher (**732**) der kommunikationsmäßig gekoppelt ist mit einer digitalen Signalverarbeitungseinrichtung (digital signal processing device, DSPD) (**730**), die geeignet ist zum Interpretieren von digitaler Information zum:

Definieren eines Satzes mit einem oder mehreren Übertragungskanälen, die räumlichen Subkanälen entsprechen, denen Sendeleistung Zuzuweisen ist;
 Bestimmen einer Gesamtsendeleistung, die verfügbar ist zum Zuweisen an die Übertragungskanäle in dem Satz;
 Zuweisen der Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema;
 Identifizieren von Übertragungskanälen mit einer Leistung in einem Sättigungsbereich resultierend von der zugewiesenen Sendeleistung;
 erneutes Zuweisen jedes Übertragungskanals in dem Sättigungsbereich mit einem revidierten Betrag an Sendeleistung;
 Bestimmen einer gesamten überschüssigen bzw. exzessiven Sendeleistung oberhalb der Sättigungsschwelle für alle Übertragungskanäle denen revidierte Beträge an Sendeleistung zugewiesen worden sind; und
 Durchführen des Definierens, Bestimmens, Zuweisens, Identifizierens und erneuten Zuweisens für eine oder mehrere Iterationen wobei der Satz von Übertragungskanälen für eine erste Iteration eine Vielzahl von Übertragungskanäle in einem drahtlosen Kommunikationssystem beinhaltet und für jede nachfolgende Iteration Übertragungskanäle beinhaltet, die nicht in dem Sättigungsbereich sind, und wobei die Gesamtsendeleistung, die für jede nachfolgende Iteration verfügbar ist, die in einer aktuellen Iteration bestimmte gesamte exzessive Sendeleistung beinhaltet.

21. Ein Controller (**730**) für eine drahtlose Kommunikationseinrichtung, wobei der Controller Folgendes aufweist:

Mittel zum Definieren eines Satzes von einem oder mehreren Sende- bzw. Übertragungskanälen korrespondierend zu räumlichen Subkanälen, denen Sendeleistung zuzuweisen ist;
 Mittel zum Bestimmen einer Gesamtsendeleistung, die zum Zuweisen an die Übertragungskanäle in dem Satz verfügbar ist;
 Mittel zum Zuweisen der Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema;
 Mittel zum Identifizieren von Übertragungskanälen mit einer Leistung in einem Sättigungsbereich und zwar resultierend von der zugewiesenen Sendeleistung;
 Mittel zum erneuten Zuweisen jedes Übertragungskanals in dem Sättigungsbereich mit einem revidierten Betrag an Sendeleistung;
 Mittel zum Bestimmen einer gesamten überschüssigen bzw. exzessive Sendeleistung oberhalb der Sättigungsschwelle für alle Übertragungskanäle denen revidierte Beträge an Sendeleistung erneut zugewiesen worden sind; und
 Mittel zum Durchführen des Definierens, Bestimmens, Zuweisens, Identifizierens und erneuten Zuweisens für eine oder mehrere Iterationen, wobei der Satz an Übertragungskanälen für eine erste Iteration die Vielzahl an Übertragungskanälen beinhaltet und für jede nachfolgende Iteration Übertragungskanäle beinhaltet, die nicht in dem Sättigungsbereich sind, und wobei die Gesamtsendeleistung die für jede nachfolgende Iteration verfügbar ist, die in einer aktuellen Iteration bestimmte gesamte exzessive Sendeleistung beinhaltet.

22. Controller nach Anspruch 21, wobei der Controller ferner aufweist:

Mittel zum Bestimmen eines effektiven Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (signal-to-noise ratio, SNR) für jeden Übertragungskanal in dem Satz basierend zum Teil auf der dem Übertragungskanal zugewiesenen Sendeleistung;
 Mittel zum Vergleichen des effektiven SNR für jeden Übertragungskanal in dem Satz mit einem Schwellen-SNR das auf den Übertragungskanal anwendbar ist; und
 Mittel zum Erklären eines Übertragungskanals als befindlich in dem Sättigungsbereich, falls sein effektives SNR größer als das anwendbare Schwellen-SNR ist.

23. Eine Basisstation, die den Controller nach Anspruch 21 aufweist.

24. Controller nach Anspruch 21, wobei die Mittel zum Durchführen des Definierens, Bestimmens, Zuweisens, Identifizierens und erneuten Zuweisens für eine oder mehrere Iterationen Folgendes aufweisen:

Mittel zum Identifizieren eines ersten Satzes von Übertragungskanälen denen Sendeleistung zuzuweisen ist;
 Mittel zum Bestimmen einer Gesamtsendeleistung, die zum Zuweisen an die Übertragungskanäle in dem ersten Satz verfügbar ist;
 Mittel zum Zuweisen der Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem ersten Satz basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema;
 Mittel zum Identifizieren eines zweiten Satzes von einem oder mehreren Übertragungskanälen denen exzessive bzw. überschüssige Sendeleistung oberhalb der Sättigungsschwelle zugewiesen ist;

Mittel zum Zuweisen eines revidierten Betrags an Sendeleistung an jeden Übertragungskanal in dem zweiten Satz zum Erreichen des bevorzugten Betriebspunktes;
Bestimmen einer gesamten überschüssigen bzw. exzessiven Leistung für alle Übertragungskanäle in dem zweiten Satz;
Mittel zum Identifizieren eines dritten Satzes von einem oder mehreren Übertragungskanälen, die geeignet sind höhere bevorzugte Betriebspunkte zu unterstützen; und
Mittel zum erneuten Zuweisen der gesamten überschüssigen Leistung an den einen oder die mehreren Übertragungskanäle in dem dritten Satz.

25. Ein Controller (**730**) für eine drahtlose Kommunikationseinrichtung, wobei der Controller Folgendes aufweist:

Mittel zum Identifizieren eines Satzes von Übertragungskanälen, korrespondierend zu räumlichen Sub-Kanälen denen Sendeleistung zuzuweisen ist.

Mittel zum Bestimmen einer Gesamtsendeleistung die zum Zuweisen an die Übertragungskanäle verfügbar ist;
Mittel zum Zuweisen der Gesamtsendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz basierend auf einem bestimmten Zuweisungsschema;

Mittel zum Bestimmen einer exzessiven bzw. überschüssigen spektralen Effizienz basierend teilweise auf teilweise der den Übertragungskanälen zugewiesenen Sendeleistung; und

Mittel zum erneuten Zuweisen eines oder mehrere Übertragungskanäle mit reduzierten Beträgen an Sendeleistung zum Reduzieren der überschüssigen spektralen Effizienz.

26. Controller nach Anspruch 25, der ferner Mittel aufweist zum Reduzieren der jedem Übertragungskanal zugewiesenen Sendeleistung zum Erreichen eines bevorzugten Betriebspunktes.

27. Controller nach Anspruch 25, der ferner Mittel aufweist zum Bestimmen inkrementeller Änderungen der spektralen Effizienz für eine Vielzahl von Sendeleistungsreduktionen für die Übertragungskanäle und der Mittel aufweist zum Auswählen einer größten Sendeleistungsreduktion, die mit einer inkrementellen spektralen Effizienz-Änderung assoziiert ist, die weniger ist als oder gleich ist der überschüssigen spektralen Effizienz.

28. Controller nach Anspruch 25, der ferner Mittel aufweist zum Bestimmen einer zurückgesetzten bzw. backed-off Sendeleistung und der Mittel aufweist zum Zuweisen der zurückgesetzten Sendeleistung an die Übertragungskanäle in dem Satz.

29. Controller nach Anspruch 28, der ferner Mittel aufweist zum Durchführen des Bestimmens der zurückgesetzten Sendeleistung und des Zuweisens der zurückgesetzten Sendeleistung ein oder mehrere Male bis die überschüssige spektrale Effizienz innerhalb einer bestimmten Schwelle ist.

30. Eine Sendereinheit, die den Controller in Anspruch 21 aufweist, wobei die Sendereinheit ferner Folgendes aufweist:

einen Sende-(transmitt, TX)-Datenprozessor (**714**), der betrieben wird zum Codieren von Daten für eine Vielzahl von Übertragungskanälen basierend auf einem oder mehreren Codierungs- und Modulationsschemata zum Vorsehen einer Vielzahl von Strömen von Symbolen;

eine Vielzahl von Sendern (**732**), die betreibbar sind zum Verarbeiten der Vielzahl von Symbolströmen zum Vorsehen einer Vielzahl von modulierten Signalen, die geeignet sind zur Übertragung über einen Kommunikationskanal.

31. Sendereinheit nach Anspruch 30, wobei der TX Datenprozessor (**714**) ferner betreibbar ist zum Skalieren jedes Modulationssymbols mit einem bestimmten Gewicht und zwar bestimmt basierend auf der für das Modulationssymbol genutzten Übertragungskanal zugewiesenen Sendeleistung.

32. Eine Basisstation, die die Sendereinheit nach Anspruch 30 aufweist.

33. Sendereinheit nach Anspruch 30, wobei ein Übertragungskanal als in dem Sättigungsbereich befindlich erachtet wird, falls ihm mehr Sendeleistung zugewiesen wird, als zum Erreichen einer bestimmten maximalen Datenrate notwendig ist.

34. Sendereinheit nach Anspruch 30, wobei ein Übertragungskanal als in dem Sättigungsbereich befindlich erachtet wird, falls ihm mehr Sendeleistung zugewiesen ist, als zum Erreichen eines bestimmten Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (Signal-to-noise ratio, SNR) notwendig ist.

35. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die räumlichen Subkanäle Datenströmen entsprechen.
36. Speicher nach Anspruch 20, wobei die räumlichen Subkanäle Datenströmen entsprechen.
37. Controller nach Anspruch 21 oder 25, wobei die räumlichen Sub-Kanäle Datenströmen entsprechen.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

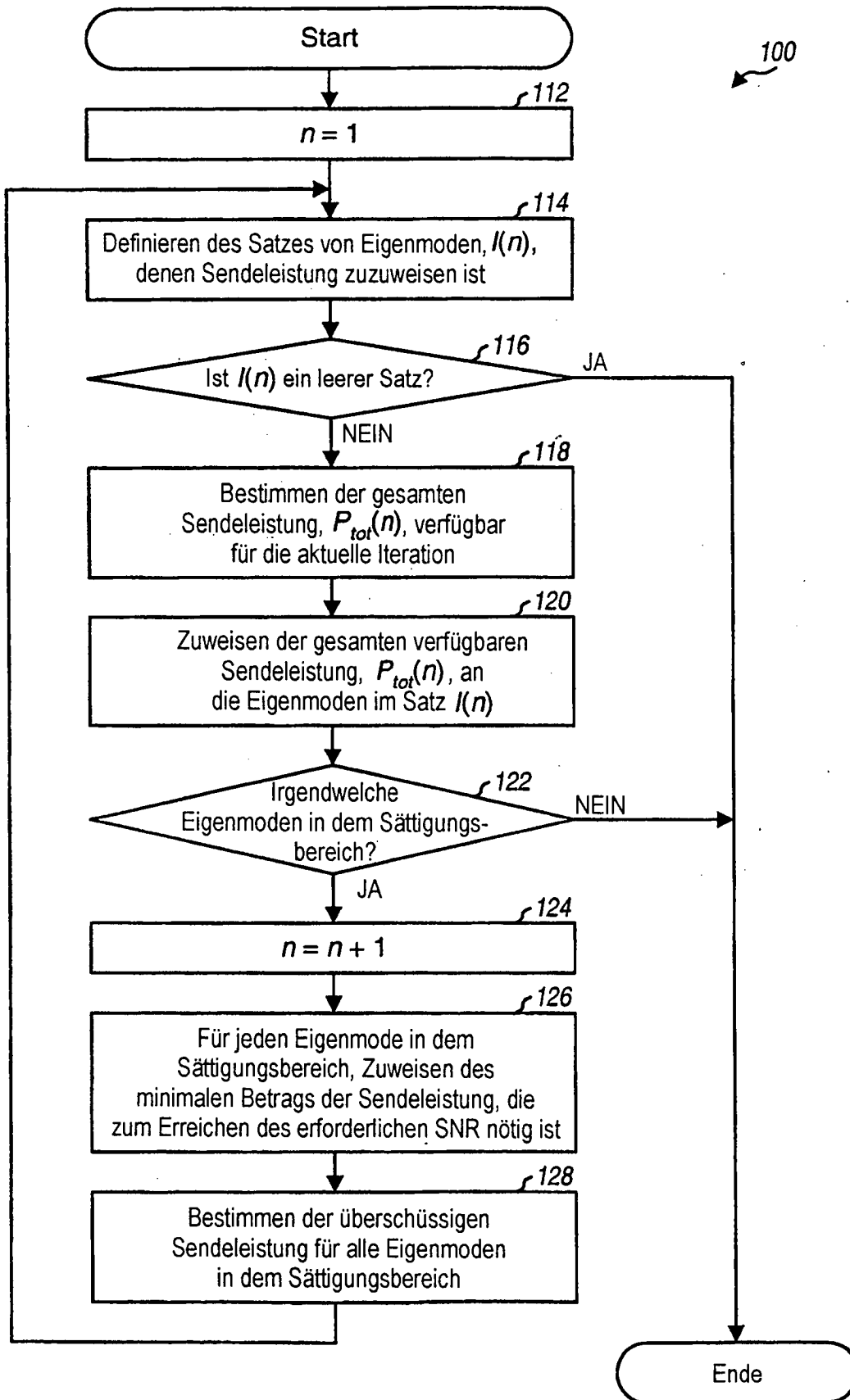


FIG. 1

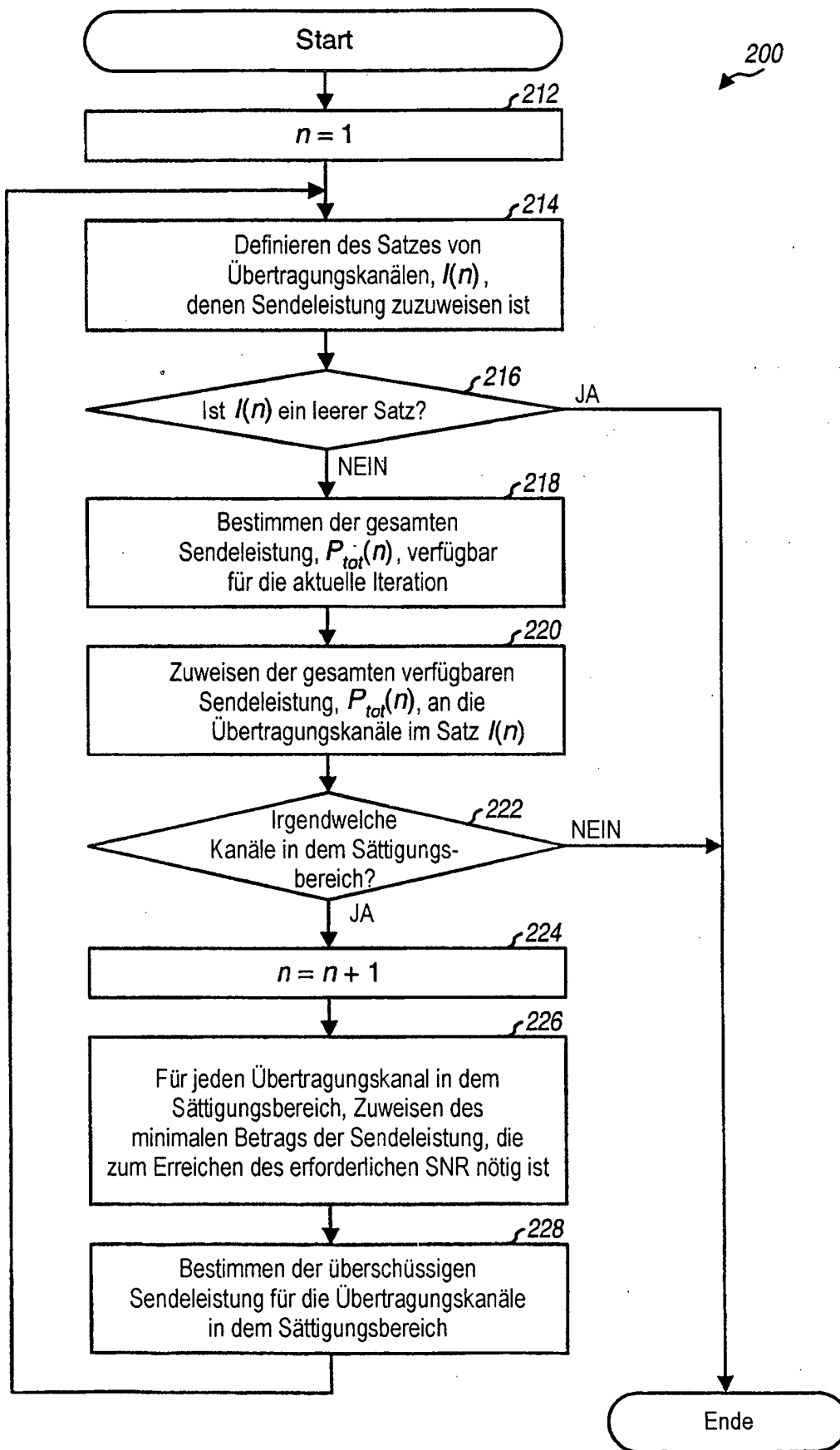


FIG. 2

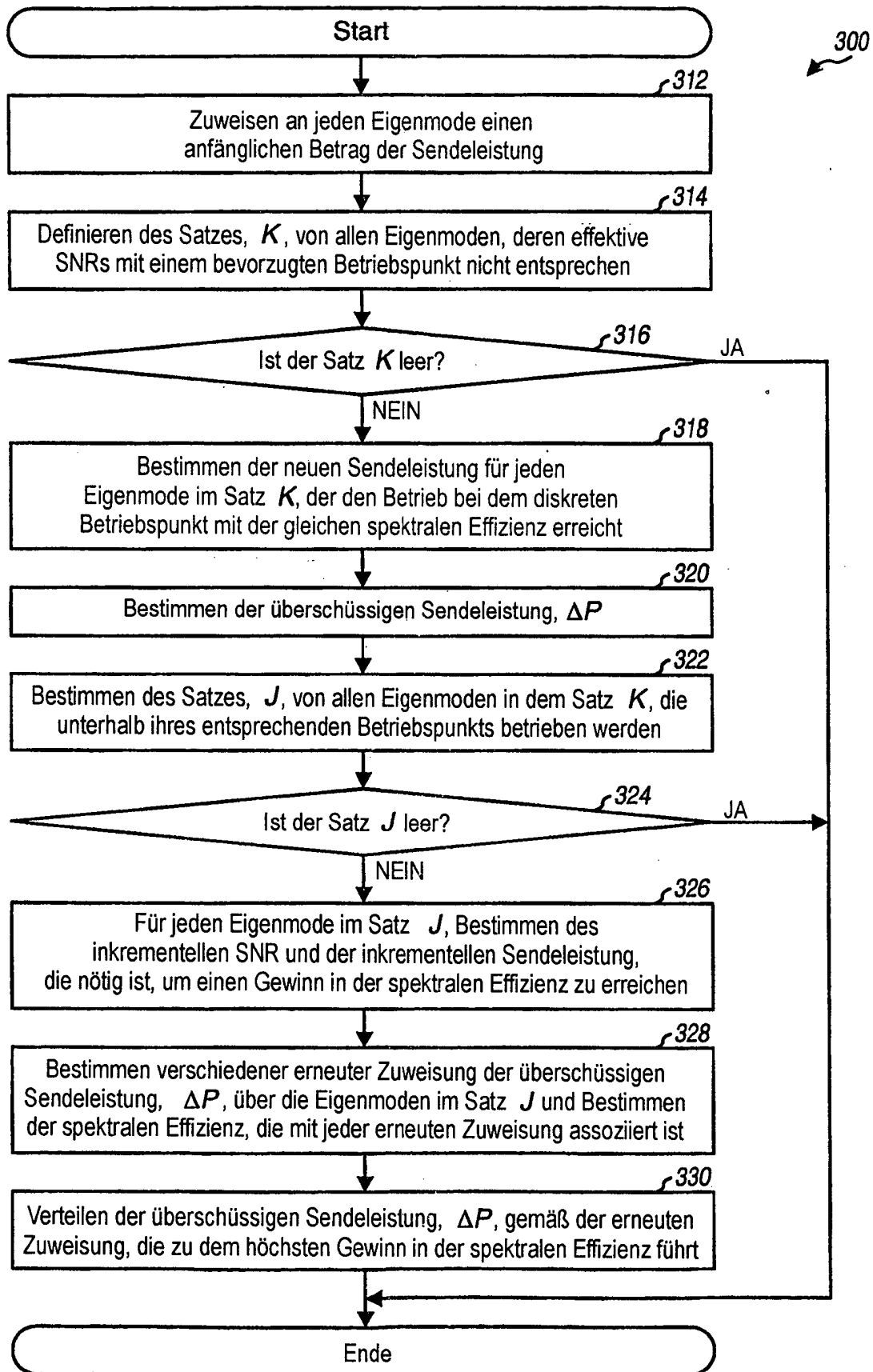


FIG. 3

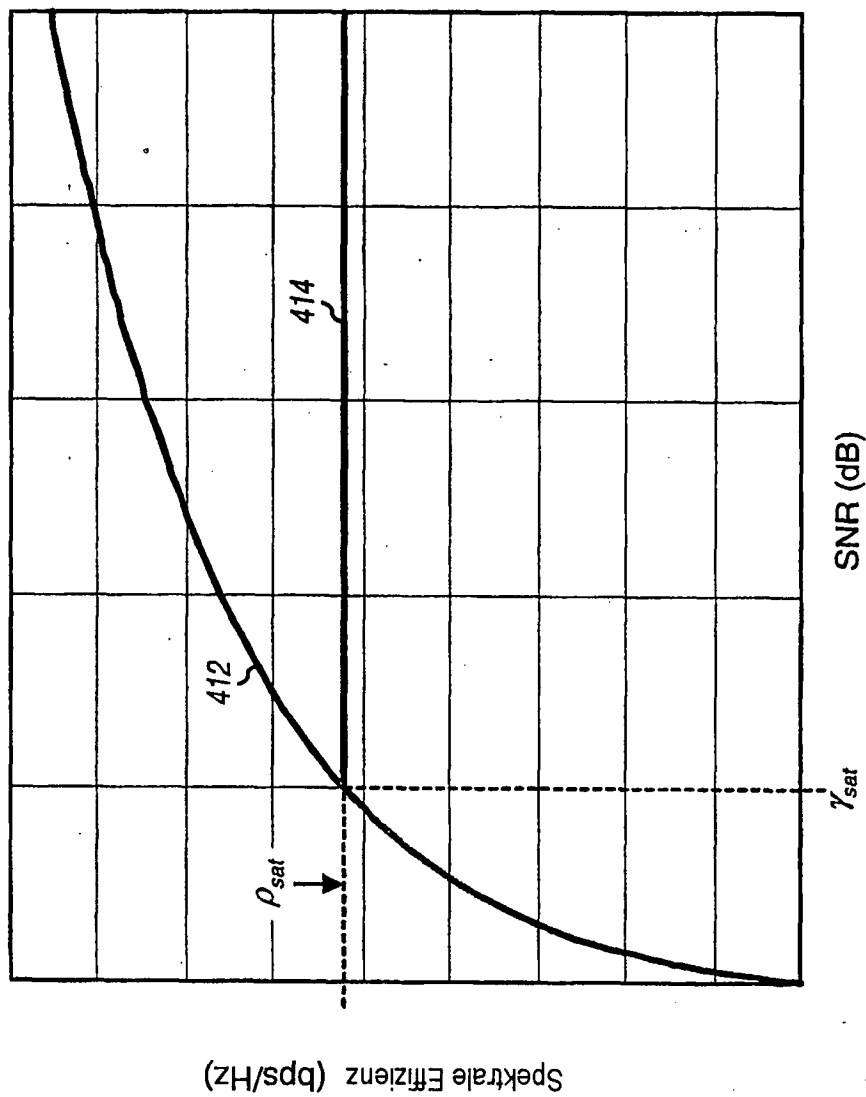


FIG. 4A

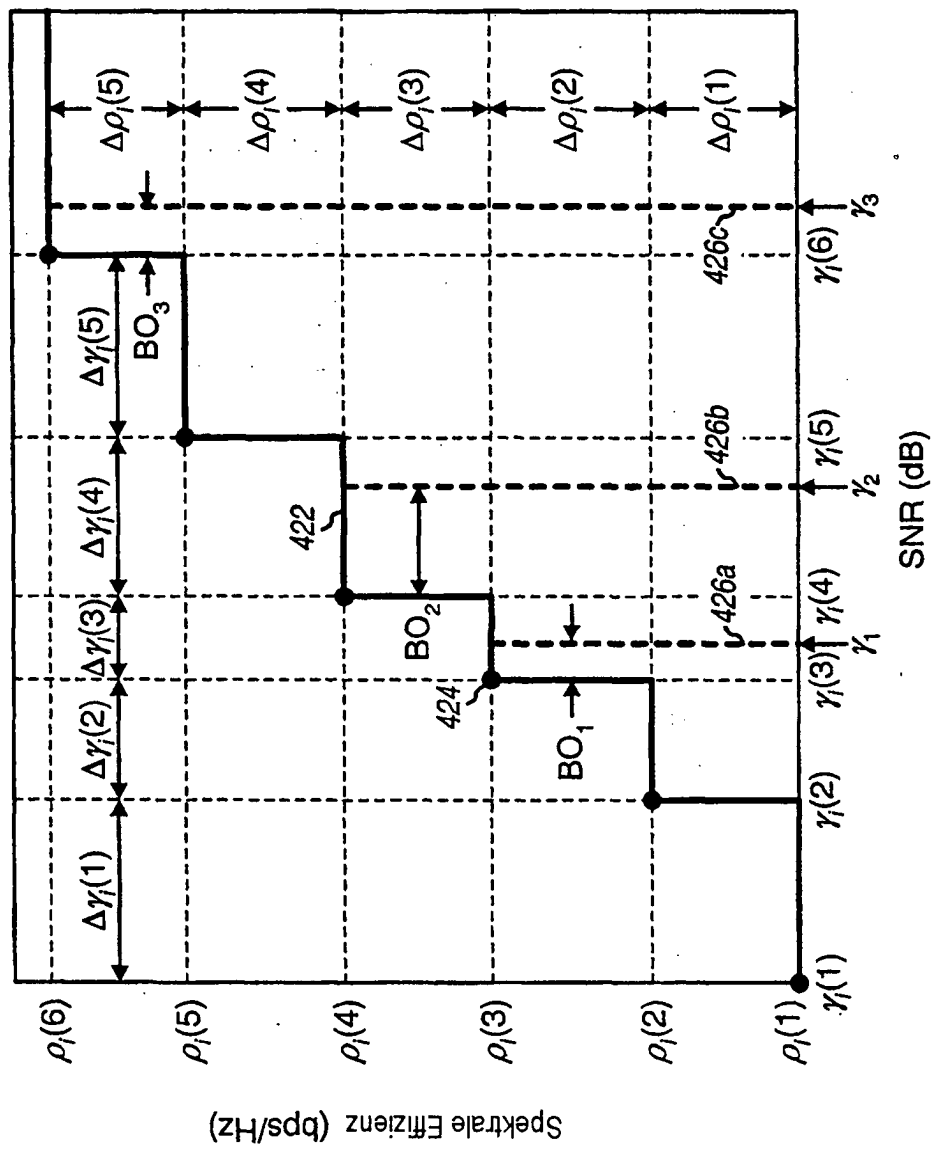


FIG. 4B

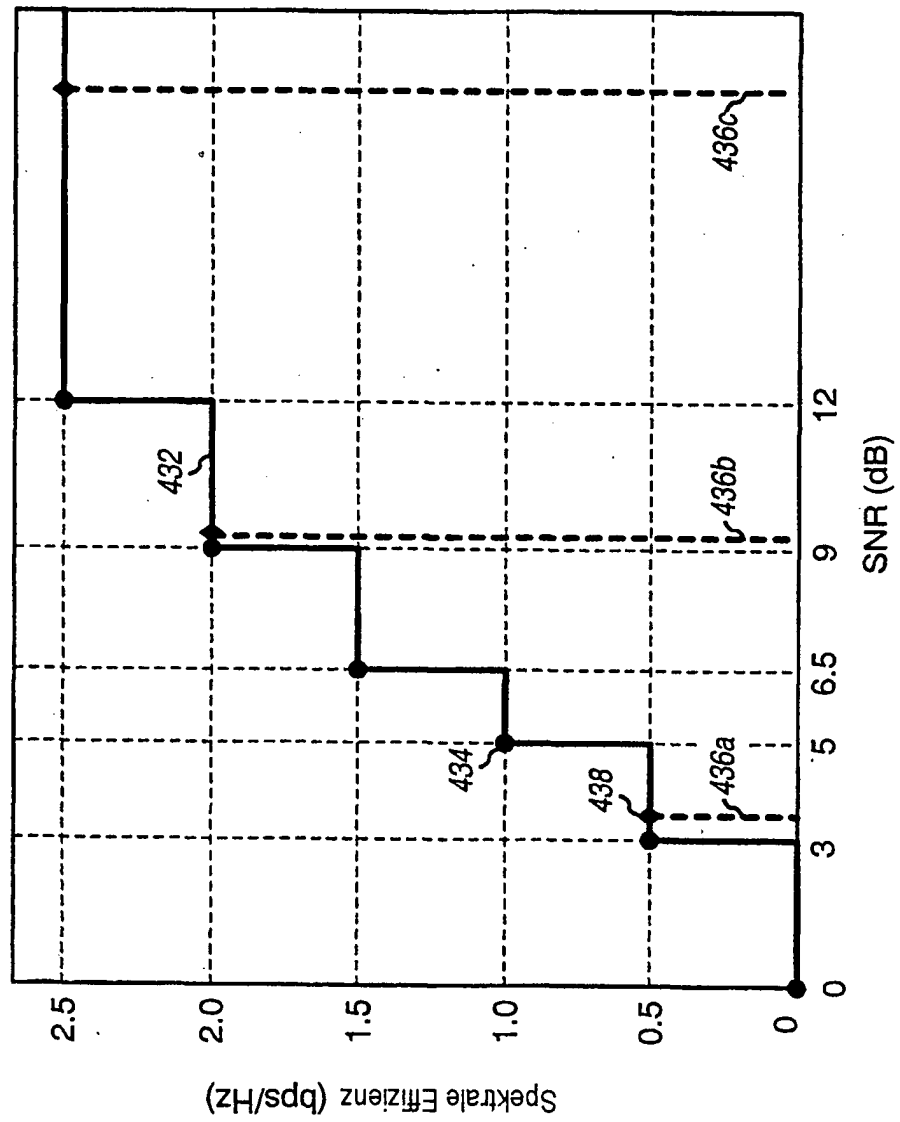


FIG. 4C

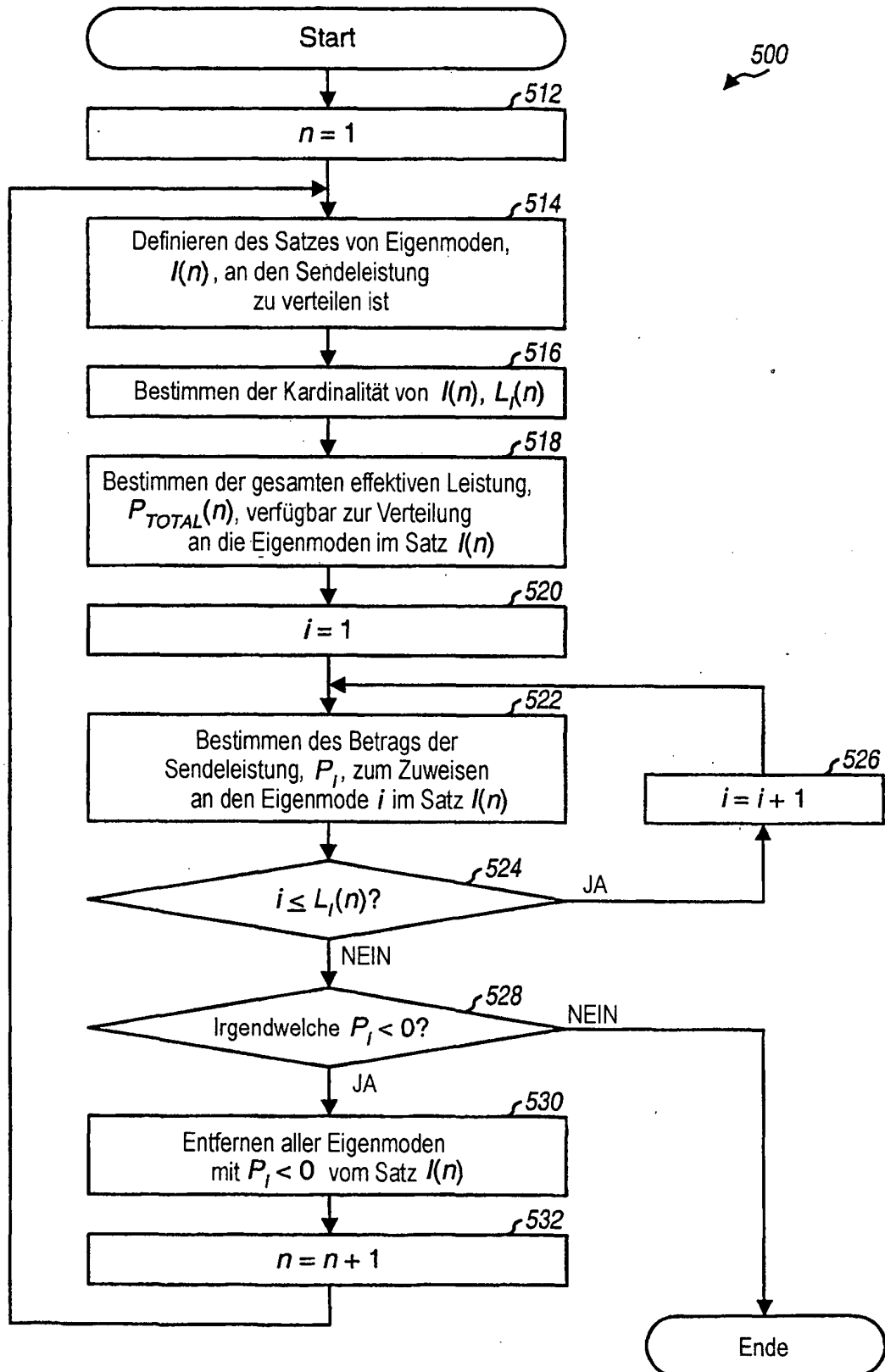
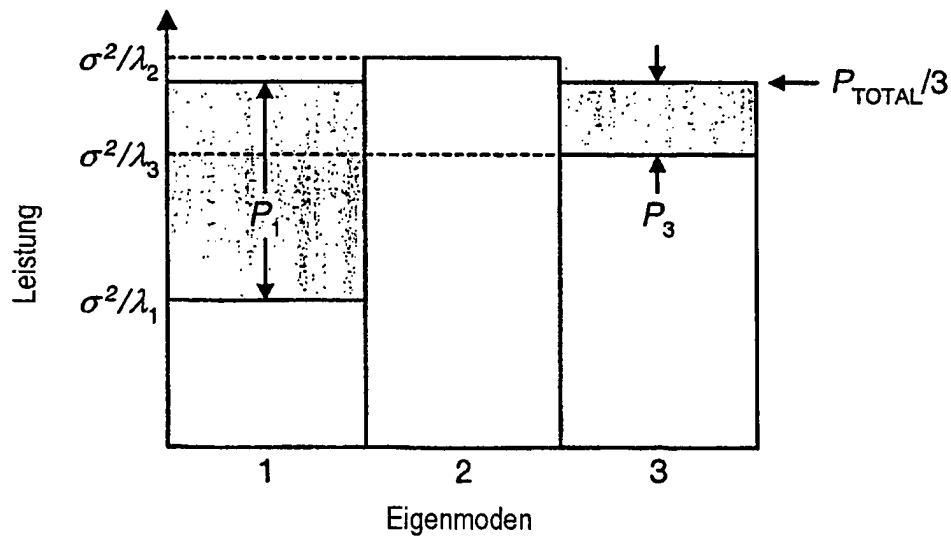
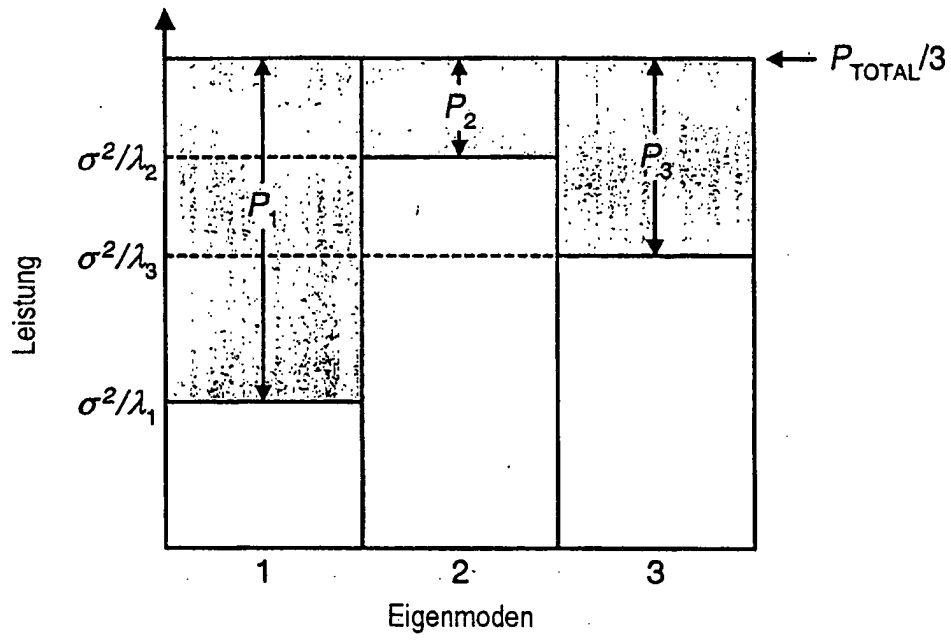


FIG. 5



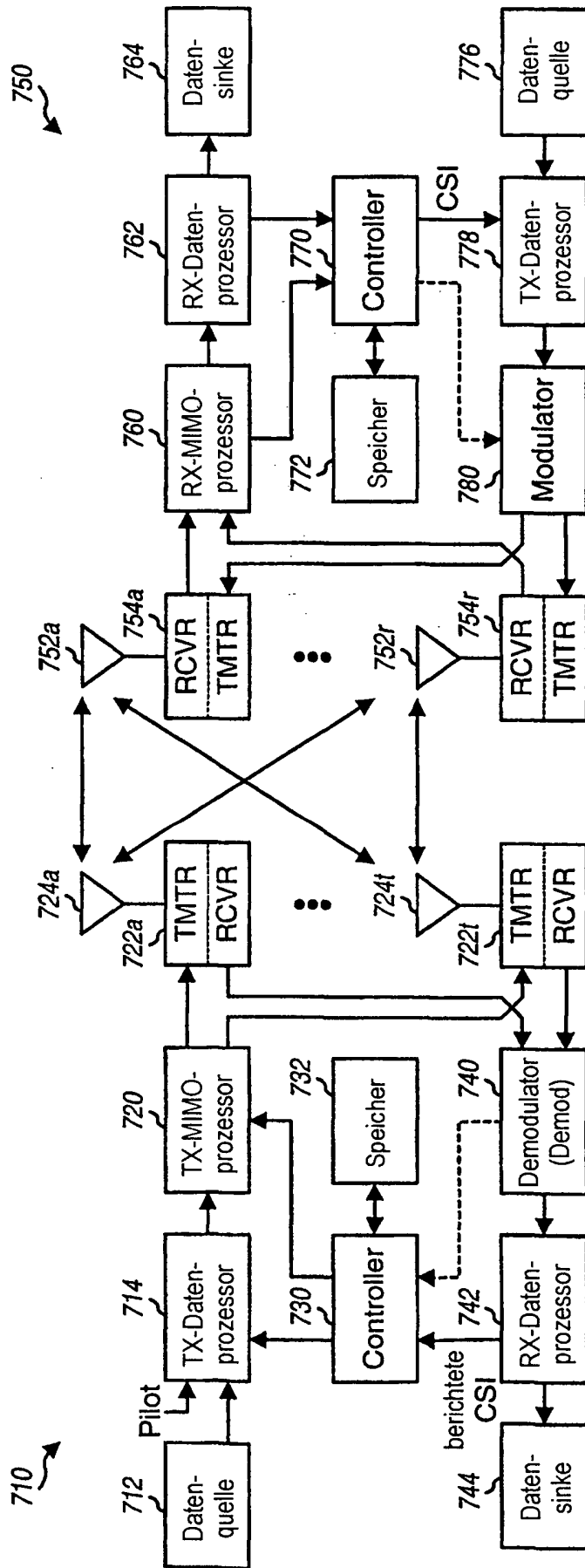


FIG. 7