



(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 888/96
(22) Anmeldetag: 20.05.1996
(42) Beginn der Patentdauer: 15.08.2001
(45) Ausgabetag: 25.04.2002

(51) Int. Cl.⁷: **H04B 7/08**
H04B 7/005, H04Q 7/20

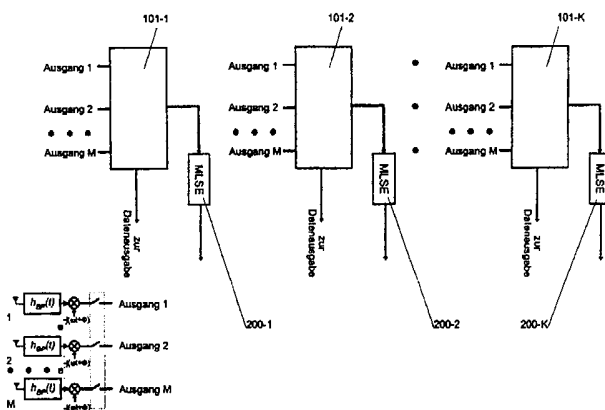
(56) Entgegenhaltungen:
EP 520969A2 WO 95/22873A2 EP 540387A2
WO 95/26116A1

(73) Patentinhaber:
FUHL JOSEF DIPL.ING.
A-1040 WIEN (AT).
BONEK ERNST DIPL.ING. DR.
A-1040 WIEN (AT).

(72) Erfinder:
FUHL JOSEF DIPL.ING.
WIEN (AT).
BONEK ERNST DIPL.ING. DR.
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERHÖHUNG DER TEILNEHMERKAPAZITÄT VON ZELLULAREN MOBILFUNKNETZEN

(57) Für jeden der K Teilnehmer eines zellularen Mobilfunknetzes, die auf ein- und derselben Frequenz und ein- und demselben Zeitschlitz versorgt werden, wird eine entscheidungsrückgekoppelte, also nichtlineare Antennen-Verarbeitung mittels entscheidungsrückgekoppelter Struktur, bestehend aus Vorwärtsfilter (101-k), Rückwärtsfilter (12-k) und Entscheider (40-k), zur Adaption der Antennengewichtsfaktoren (w_{11k} bis w_{MRk}) eingesetzt, wobei die Rückwärtsfilter (12-k) auf die Verarbeitungsfensterlänge D der MLSE (200-k) angepaßt sind, und für die tatsächliche Datendetektion die Ausgangssignale der Vorwärtsfilterstrukturen (101-k) S_{FFk} vor der Subtraktion des rückgekoppelten Anteils S_{FBk} einem dem jeweiligen Teilnehmer zugeordneten MLSE (200-k) zugeführt werden. Jede dieser K gleichartigen Empfängerstrukturen kann parallel und unabhängig von den anderen K-1 Strukturen adaptiert und betrieben werden. Auch ein gemeinsamer vektorieller MLSE (201) für die gemeinsame Datendetektion aller K Teilnehmer kann eingesetzt werden.



Figur 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erhöhung der Teilnehmerkapazität von zellularen Mobilfunknetzen, bestehend aus einer Gruppe von Einzelantennen mit nachgeschalteten Mischern, einer Zeit- und Wertdiskretisierung der Empfangssignale der Einzelantennen, sowie mehreren gleichartigen Signalverarbeitungsschaltungen, und zwar genau so vielen wie Teilnehmer auf *einer Frequenz und einem Zeitschlitz* bedient werden sollen, sowie einem oder mehreren MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimator) zur Datendetektion. Die Grundlage stellt richtungsaufgelöster Empfang auf der Basisstation und nachfolgende Trennung der Teilnehmersignale in den Signalverarbeitungsschaltungen dar.

Das nur begrenzt zur Verfügung stehende elektromagnetische Spektrum einerseits, die rapid zunehmende Zahl von Mobilfunkteilnehmern und -diensten andererseits zwingen zu effizienteren Ausnutzung des einem Netzbetreiber zur Verfügung stehenden Frequenzbandes. Da bekannte Zugriffsverfahren, wie FDMA, TDMA, CDMA, bereits ihre Kapazitätsgrenzen erreicht haben (z.B. in GSM, Global System for Mobile Communications), und Mikrozellen in städtischen Ballungsgebieten sowie der Halbraten-Koder für GSM bereits in Verwendung stehen, sind neuartige effiziente Zugriffsverfahren zur Kapazitätssteigerung höchst wünschenswert.

Richtungsaufgelöster Empfang stellt eine erfolgversprechende neue Technik zur

- Erhöhung der Reichweite,
 - Verminderung der Gleichkanalstörungen,
 - Verringerung des Frequenzwiederholabstandes und damit zur
 - Erhöhung der Teilnehmerkapazität
- eines Mobilfunknetzes dar.

Die Erhöhung der Reichweite ist in schwach besiedelten Gebieten von Interesse, darüber hinaus auch für große Schirmzellen, die den überlaufenden Verkehr von untergeordneten Mikrozellen übernehmen sollen. Ein weiterer interessanter Anwendungsfall ist der Funkzugang für Festnetzteilnehmer („radio in the local loop“, RLL bzw. „radio in the loop“, RITL).

Die Gleichkanalstörungen sind bekanntlich der limitierende Einflußfaktor für gut ausgebaute zellulare Mobilfunknetze.

Richtungsaufgelöster Empfang, der ein Maximum des Richtdiagramms der Empfangsantenne in Einfallsrichtung des gewünschten Signals (eines Teilnehmers) legt, als auch/oder Nullstellen dieses Richtdiagramms in die Einfallsrichtung von Störsignalen, vermindert die Gleichkanalstörungen. Diese Störsignale sind z.B. Signale, die entweder anderen Teilnehmern in derselben Zelle zugeordnet sind, oder von Teilnehmern in fremden (entfernteren) Zellen stammen. Durch diese Vorgangsweise wird es möglich, den Frequenzwiederholabstand zu verringern, in Extremfall bis zur Wiederverwendung derselben Frequenz in einer Nachbarzelle (Kanalgruppenzahl gleich eins). Für die Erhöhung der Teilnehmerkapazität eines Mobilfunknetzes gibt es aber auch noch die Möglichkeit, mehrere Teilnehmer auf ein- und derselben Frequenz und demselben Zeitschlitz in derselben Funkzelle zu bedienen. Der dafür übliche Ausdruck SDMA, Space Division Multiple Access, ist unpräzise: Es sollte eigentlich Angle Division Multiple Access heißen. Bei heute vorgeschlagenen Verfahren zum richtungsaufgelösten Empfang stellt die Untergrenze der winkelmäßigen Trennung, ab der das Verfahren versagt, ein schwieriges Problem dar. Im Idealfall sollte diese Untergrenze null Grad betragen.

Sollen nun mehr als ein Teilnehmer in einer Funkzelle mit derselben Frequenz und auf demselben Zeitschlitz versorgt werden, stellt das gewünschte Signal eines Teilnehmers ein Störsignal für alle anderen Teilnehmer dar und vice versa. SDMA ermöglicht die richtungsmäßige Trennung der einzelnen Teilnehmersignale und daran anschließend die Detektion der jedem Teilnehmer zugeordneten Signale.

Der derzeitige Stand der Technik ist zum Beispiel in T. Bull, M. Barrett, R. Arnott, „Technology in Smart Antennas for Universal Advanced Mobile Infrastructure (TSUNAMI R2108) – Overview“, Proc. RACE Mobile Telecommunications Summit, Cascais, Portugal, November 22-24, 1995, pp. 88-97 sowie in M. Tangemann, C. Hoek, and R. Rheinschmitt, „Introducing Adaptive Array Antenna Concepts in Mobile Communication Systems“, RACE Mobile Communications Workshop, May 17-19, 1994, Amsterdam, pp. 714-727 beschrieben.

Es wird dabei eine Gruppenantenne mit veränderbarer Richtcharakteristik verwendet, welche zur Trennung von gewünschtem Teilnehmer-Signal und Störsignalen (in Summe auch als „Interferenz“ bezeichnet) eingesetzt wird. Dabei wird das Signal jedes einzelnen Antennenelements der

Gruppe auf eine tiefere Frequenz gemischt (Zwischenfrequenz ZF oder Basisband BB). Diese ZF- bzw. BB-Signale werden nun zeit- und wertdiskretisiert und als Eingangsgrößen für einen leistungsfähigen Algorithmus verwendet. Der Algorithmus, welcher die Richtcharakteristik durch adaptive Beeinflussung der Antennengewichtsfaktoren bestimmt, wird auf einem Signalprozessor oder Ähnlichem realisiert.

Die Vorteile der Verwendung adaptiver phasengesteuerter Antennengruppen an sich werden in der Patentschrift EP 0 540 387 A2 (Weis) dargelegt. In der Patentschrift WO-A1-95/26116 (Ericsson) sind grundlegende Prinzipien von aktiven, also mit den einzelnen Antennenelementen zugeordneten Verstärkern versehenen phasengesteuerten Gruppenantennen beschrieben. Diese Druckschrift betrifft die Verwendung einer oder mehrerer phasengesteuerter Gruppenantennen, die Verbindung mit Verstärkern zu den strahlenden Elementen sowie Schaltungen zum Zusammenführen von HF-Signalen, die Ausführung der Antennenelemente in Streifenleitungstechnik in Form gedruckter Schaltungen, Modulatoren, und Schalter, um die HF-Signale auf verschiedene Antennenelemente zu legen, und zwar in Sende- und Empfangsrichtung. Hinweise auf die Art und Weise der Steuerung der Richtcharakteristik sind aber so allgemein gehalten, daß daraus kein Verfahren abgeleitet werden kann. Verfahrensbeschreibungen zur optimalen Adaption des Richtdiagramms und zur Detektion der Teilnehmer-Daten fehlen überhaupt.

Bei den adaptiven Algorithmen zur Bestimmung der Antennengewichtsfaktoren handelt es sich entweder um "temporal-reference" Algorithmen, wie sie z.B. in S. Ratnavel, A. Paulraj and A. G. Constantinides „MMSE Space-Time Equalization for GSM Cellular Systems“, Proc. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE, Vehicular Technology Conference 1996, VTC '96, Atlanta, Georgia, pp. 331-335, E. Lindskog, A. Ahlen and M. Sternad, „Spatio-Temporal Equalization for Multipath Environments in Mobile Radio Applications“, Proc. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE, Vehicular Technology Conference 1995, VTC '95, Chicago, Illinois, USA, July 25-28, 1995, pp. 399-403, und O. Munoz and J. Fernandez, „Adaptive Arrays for frequency non-selective and selective channels“, Proc. EUSIPCO '94, European Conference for Signal Processing, Edinburgh, pp. 1536-1539 beschrieben sind, oder um „spatial-reference“ Algorithmen, wie sie z.B. in M. Haardt and J. A. Nossek, „Unitary ESPRIT: How to Obtain an Increased Estimation Accuracy with a Reduced Computational Burden“, IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 43, no. 5, May 1995, pp. 1232-1242, R. Roy and T. Kailath, „ESPRIT - Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques“, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 37, July 1989, pp. 984-995 beschrieben sind.

„Temporal-reference“ Algorithmen beruhen auf der (vorherigen!) Kenntnis eines Teils des Signals, zum Beispiel einer absichtlich eingefügten Trainingssequenz zur Identifikation des Teilnehmers. Im Global System for Mobile Communications, GSM, ist eine solche normgemäß vorgesehen und dient zur Schätzung des Funkkanals bzw. zur Identifikation der Basisstation.

Im Gegensatz dazu benötigen „spatial-reference“ Algorithmen keine vorherige Kenntnis der Teilnehmersignale, da diese Algorithmen die räumlich-geometrische Anordnung der einzelnen Antennenelemente in der Gruppe ausnützen.

Das optimale Empfangsverfahren zur Detektion von Teilnehmersignalen benutzt einen MLSE-Detektor (MLSE = maximum likelihood sequence estimation). Das MLSE - Verfahren ist z.B. in Lee/Messerschmitt, Digital Communication, Seiten 271-278, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande, 1st edition, 2nd print, 1990, beschrieben. MLSE detektiert eine Empfangsfolge in optimaler Weise, d.h. mit geringstmöglicher Bitfehlerquote. Die Patentschrift EP-A2-520 969 (Hughes Aircraft) schlägt ein MLSE-Verfahren für digitale Empfänger des Mobilfunks vor, der speziell die Zeitvarianz frequenzselektiver Mobilfunkkanäle bekämpft. Das Verfahren betrifft ausschließlich die Entzerrung eines Teilnehmersignals im Zeitbereich, nicht aber die räumlich-zeitliche Entzerrung mehrerer Teilnehmersignale, die denselben Funkkanal (gleiche Frequenz, gleicher Zeitschlitz bzw. gleicher Code) benützen. Die Patentschrift WO-A2-95/22873 (Ericsson) beschreibt Empfänger, Sender und Sendeempfänger für den zellularen Mobilfunk, welche intelligente Antennen verwenden, einschließlich einiger Algorithmen. Die beschriebenen Systeme enthalten räumliche Filter zur Richtdiagrammformung, Algorithmen zur Anpassung der räumlichen Filter an die richtungsmäßige Verteilung der Empfangs- bzw. Sendesignale gemäß der vorhandenen Mobilstationen, Kanalschätzer, sowie MLSE Detektoren zum Empfang der Teilnehmersignale aufgrund geschätzter oder blind ermittelter Impulsantworten basierend auf den Ausgangssignalen der räum-

lichen Filter. Dabei wird eine Vielzahl von allgemein bekannten Verfahren (siehe z.B. Lee, Messerschmidt, *Digital Communications*) beschrieben. Über die Struktur und Beschaffenheit der räumlichen Filterung werden keine spezifischen Aussagen gemacht.

Eine Kombination von linearer Vorverarbeitung der Signale der Antennenelemente und einem MLSE ist in S. Ratnavel, A. Paulraj and A. G. Constantinides „MMSE Space-Time Equalization for GSM Cellular Systems“, Proc. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Vehicular Technology Conference 1996, VTC '96, Atlanta, Georgia, pp. 331-335 beschrieben.

Die linearen Vorverarbeitungsverfahren wie bei Ratnavel erwähnt, haben nun den entscheidenden Nachteil, daß bei geringer winkelmäßiger Trennung (z.B. innerhalb der halben Antennenhauptkeulenbreite) des durch Mehrwegeausbreitung in mehrere Teilsignale aufgespaltenen und zeitlich verzögerten Teilnehmersignals das System wie ein linearer Entzerrer im Zeitbereich funktioniert. Bekanntlich sind aber lineare Entzerrerstrukturen auf Grund der Intersymbolinterferenz zufolge der Mehrwegeausbreitung (tiefe spektrale Nullstellen in der Übertragungsfunktion) nur sehr bedingt zur Entzerrung des Mobilfunkkanals geeignet.

Nahezu alle bisherigen Publikationen beziehen sich auf einen Teilnehmer pro Frequenz und Zeitschlitz. Sollen hingegen mehrere Teilnehmer auf ein- und derselben Frequenz und demselben Zeitschlitz bedient werden, so sind zusätzliche Vorkehrungen notwendig.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, die Teilnehmerkapazität eines Mobilfunknetzes durch richtungsabhängigen Empfang zu erhöhen. Dies wird dadurch erreicht, daß für jeden der K Teilnehmer, die auf ein- und derselben Frequenz und ein- und demselben Zeitschlitz versorgt werden, eine entscheidungsrückgekoppelte, also nichtlineare Antennen-Vorverarbeitung mittels entscheidungsrückgekoppelter Struktur, bestehend aus Vorwärtsfilter, Rückwärtsfilter und Entscheider, zur Adaption der Antennengewichtsfaktoren eingesetzt wird, wobei das Rückwärtsfilter auf die Länge des MLSE angepaßt ist, und für die tatsächliche Datendetektion das Signal der Vorwärtsfilterstruktur vor der Subtraktion des rückgekoppelten Anteils einem dem jeweiligen Teilnehmer zugeordneten MLSE zugeführt wird. Jede dieser K gleichartigen Empfängerstrukturen kann parallel und unabhängig von den anderen K-1 Strukturen adaptiert und betrieben werden.

Dieses Verfahren hat die Vorteile,

- daß die Kapazität eines Mobilfunknetzes bei konstanter Anzahl der Basisstations-Standorte um den Faktor K (K in der Größenordnung 2 bis 5) erhöht wird,
- daß die richtungsaufgelösten Empfang notwendigen Antennengruppen dennoch nur einmal bereitgestellt werden müssen,
- daß für jeden Teilnehmer die Signale der anderen Teilnehmer, die für den erstgenannten Teilnehmer Gleichkanalstörungen darstellen, durch das Vorwärtsfilter eliminiert werden,
- daß exzessive Zeitdispersion (solche, die außerhalb der Verarbeitungsfensterlänge des MLSE Detektors liegt), ebenfalls durch das Vorwärtsfilter eliminiert wird,
- daß infolge der nichtlinearen Adaption der Antennengewichte Signale aus dergleichen oder sehr knapp beisammen liegenden Richtungen optimal kombiniert werden,
- übliche MLSE-Detektoren, wie sie heute bereits in GSM-Empfängern realisiert sind, zur Kombination der Mehrwegesignale eines Teilnehmers Verwendung finden kann.

Bei ausreichend verfügbarer Signalverarbeitungskapazität können zwei weitere Varianten mit großem Vorteil angewandt werden. Erstens kann ein einziger MLSE zur Detektion der Daten aller bedienten Teilnehmer eingesetzt werden, wodurch eine Ersparnis an Hardwareaufwand lukriert werden kann. Zweitens kann die entscheidungsrückgekoppelte Struktur, ausreichend hohe Taktrate vorausgesetzt, alle bedienten Teilnehmer im Zeitmultiplexverfahren abarbeiten. Das heißt, man braucht nur eine einzige Hardwarerealisierung der rückgekoppelten Struktur. Die stürmische Entwicklung der Rechenleistung von handelsüblichen Signal- und Mikroprozessoren begünstigt den Einsatz solcher, zugegebenermaßen rechenaufwendiger Verfahren und Realisierungen.

Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Prinzipskizze des Verfahrens und der zugehörigen Empfängerstruktur;

Figur 2 zeigt eine Einheit (101) im Detail; und

Figur 3 zeigt eine Realisierung mit einem vektoriellen MLSE.

Figur 1 zeigt eine Prinzipskizze des Verfahrens und der zugehörigen Empfängerstruktur. Es sind dabei K im wesentlichen identische Einheiten (101-1, 101-2, ..., 101-K) vorhanden, die zur Vereinfachung der Zeichnung nur symbolisch angedeutet sind. Ihr Aufbau ist aus Figur 2 ersicht-

lich. Wenn auf ein konkretes Element solch einer Einheit bezug genommen wird, wird das Bezugszeichen gemäß Fig. 2 mit einem Bindestrich und einer Zahl ergänzt, die angibt, welcher Einheit das Element angehört; so bezeichnet z.B. 12-2 das Rückwärtsfilter der Einheit 101-2.

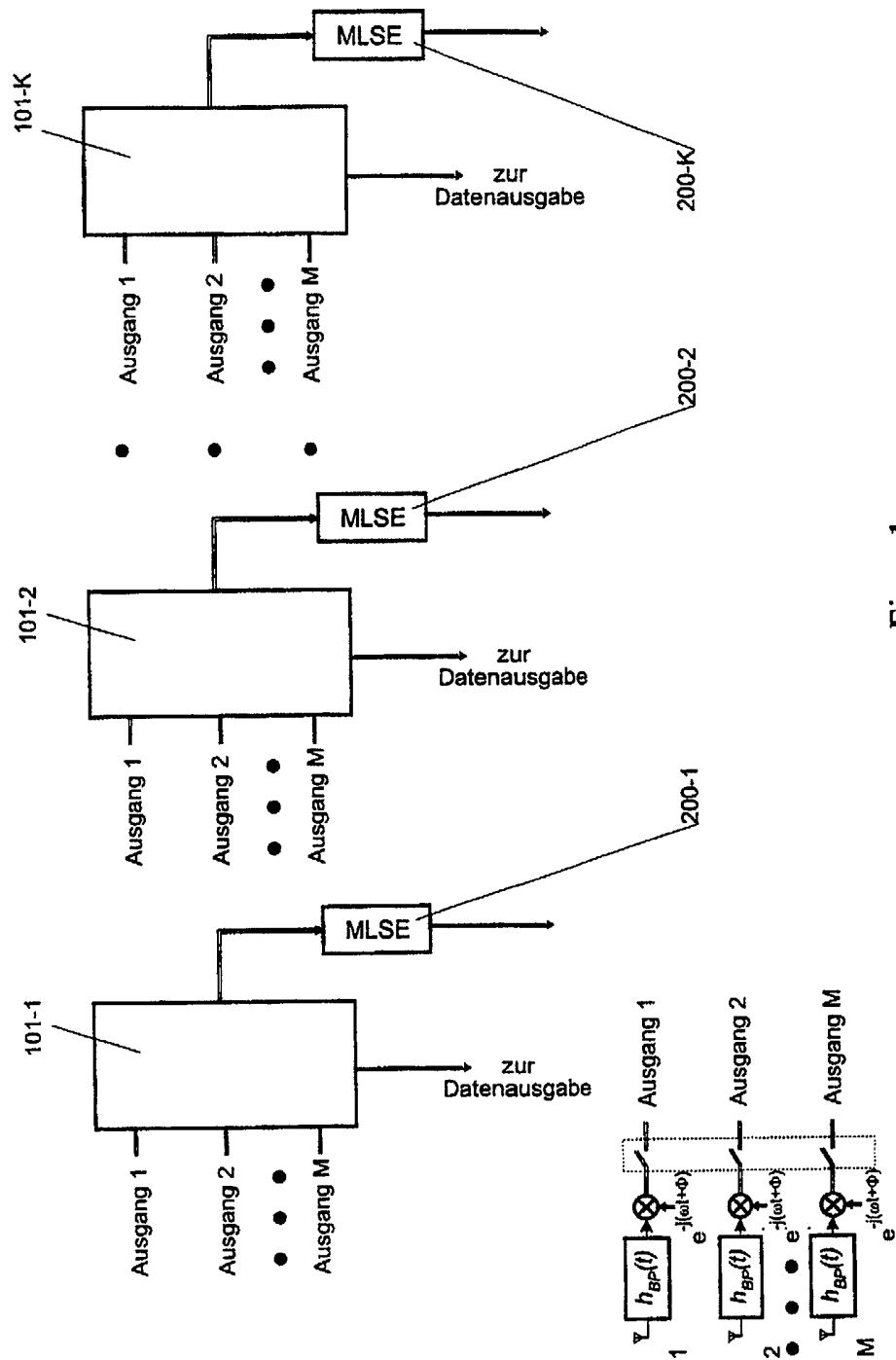
Die Antennenelemente 1 bis M sind mit den K Vorwärtsfiltern (101-k, charakterisiert durch ihre Gewichtungsfaktoren w_{11k} bis w_{MRk} verbunden. K bezeichnet die Anzahl der Teilnehmer im selben Zeitschlitz und auf derselben Frequenz und k ist eine Zahl zwischen 1 und K. Die nach den Antennenelementen platzierten Bandpaßfilter sind durch ihre Stoßantwort $h_{BP}(t)$ charakterisiert. Die mit T bezeichneten Elemente bewirken eine Verzögerung des anliegenden Signals um eine Symboldauer T. Die Rückwärtsfilter (12-k) sind jeweils eine lineare Struktur pro Teilnehmer, wobei ihre Länge an die Verarbeitungsfensterlänge D der/des MLSE (200-k) angepaßt ist. Die Schalter 20-k werden zur Datendetektion umgelegt. Die nichtlinearen Strukturen 300-k werden während der Datendetektion entweder zur kontinuierlichen Adaption der Antennengewichte verwendet oder stillgelegt. Der Adaptionalgorithmus 30-k adaptiert die Gewichtungsfaktoren w_{11k} bis w_{MRk} für das Vorwärtsfilter (101-k) und jene (w_{B1k} bis w_{BDk}) für das Rückwärtsfilter (12-k). Es kann dazu einer der bekannten Algorithmen, wie sie z.B. in S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1986 beschrieben sind, eingesetzt werden.

Figur 3 zeigt dieselbe Empfängerstruktur, jedoch mit einem einzigen vektorieller MLSE (201) für alle K Teilnehmer.

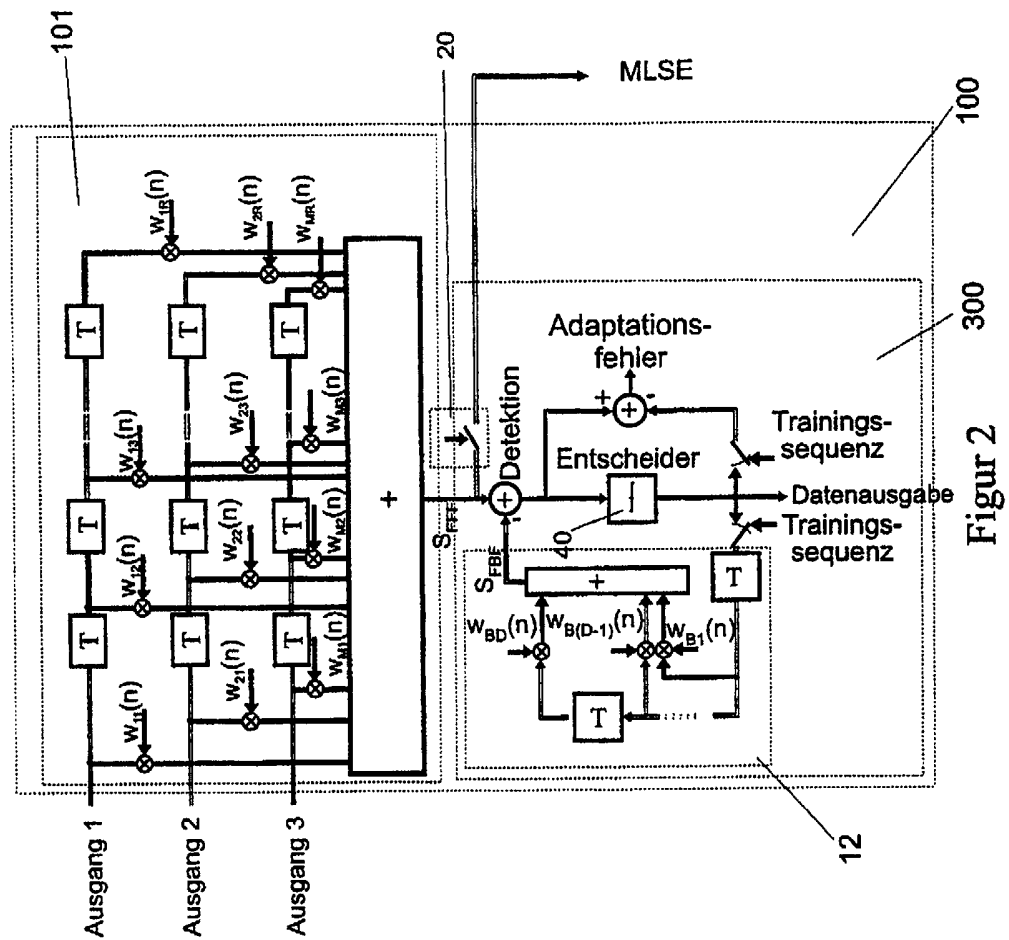
PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Erhöhung der Teilnehmerkapazität in einem zellularen Mobilfunknetz bestehend aus einer phasengesteuerten Gruppenantenne versehen mit einer Schaltung zur adaptiven Beeinflussung der Antennengewichtungsfaktoren (Richtcharakteristik) und einem oder mehreren MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimator) zur Datendetektion, **dadurch gekennzeichnet**, daß für jeden der K Teilnehmer, die auf ein- und derselben Frequenz und ein- und demselben Zeitschlitz versorgt werden, eine entscheidungsrückgekoppelte, also nichtlineare Antennen-Vorverarbeitung mittels entscheidungsrückgekoppelter Struktur, bestehend aus Vorwärtsfilter (101-k), Rückwärtsfilter (12-k) und Entscheider (40-k), zur Adaption der Antennengewichtungsfaktoren (w_{11k} bis w_{MRk}) eingesetzt wird, wobei die Rückwärtsfilter (12-k) auf die Verarbeitungsfensterlänge D der MLSE (200-k) angepaßt sind, und für die tatsächliche Datendetektion die Ausgangssignale der Vorwärtsfilterstrukturen (101-k) s_{FFFK} vor der Subtraktion des rückgekoppelten Anteils s_{FBFK} einem dem jeweiligen Teilnehmer zugeordneten MLSE (200-k) zugeführt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede dieser K gleichartigen Empfängerstrukturen parallel und unabhängig von den anderen K-1 Strukturen adaptiert und betrieben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein gemeinsamer vektorieller MLSE (201) für die gemeinsame Datendetektion aller K Teilnehmer eingesetzt wird.
4. Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß für jeden der K Teilnehmer, die auf ein- und derselben Frequenz und ein- und demselben Zeitschlitz versorgt werden, eine nichtlineare Struktur, bestehend aus Vorwärtsfilter (101-k), Rückwärtsfilter (12-k) und Entscheider (40-k), und für die tatsächliche Datendetektion ein dem jeweiligen Teilnehmer zugeordneter MLSE (200-k) vorgesehen ist.
5. Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein gemeinsamer vektorieller MLSE (201) für die gemeinsame Datendetektion aller K Teilnehmer vorgesehen ist.

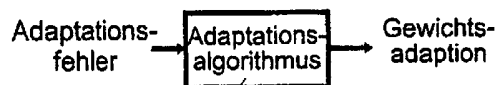
HIEZU 3 BLATT ZEICHNUNGEN



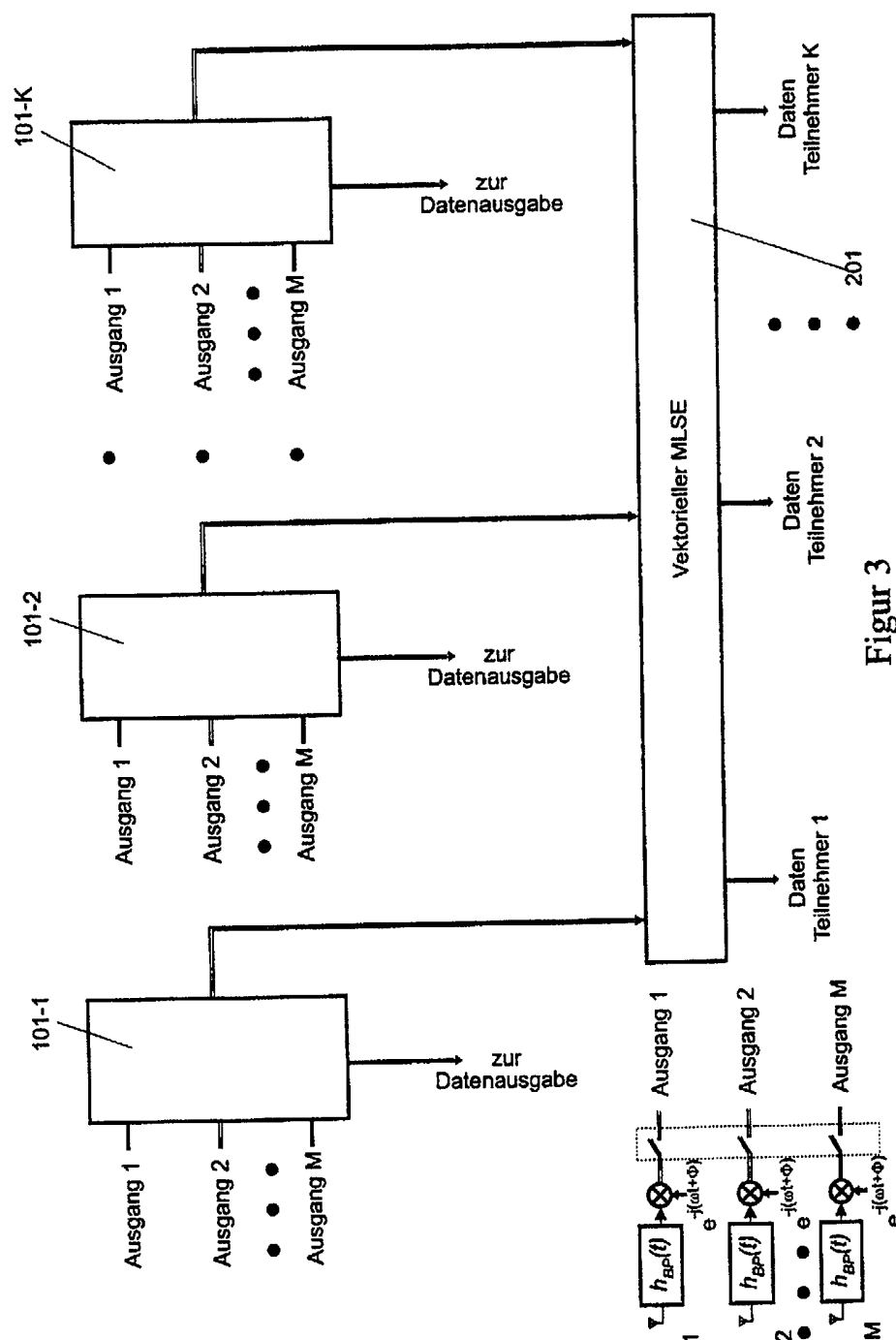
Figur 1



Figur 2



30



Figur 3