



(10) **DE 10 2009 019 905 A1** 2010.11.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 019 905.5**

(22) Anmeldetag: **04.05.2009**

(43) Offenlegungstag: **25.11.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01S 13/08** (2006.01)
G01S 13/50 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2009 018 764.2 27.04.2009

(71) Anmelder:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(74) Vertreter:
**Gagel, R., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
81241 München**

(72) Erfinder:
**Wiesbeck, Werner, Prof., 75210 Keltern, DE; Zwick,
Thomas, 76676 Graben-Neudorf, DE; Sturm,
Christian, 76131 Karlsruhe, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

**STURM, C., ZWICK, T., WIESBECK, W.: An OFDM
System Concept for Joint Radar and
Communications Operations. In: Vehicular
Technology Conference, 2009. VTC Spring
2009. IEEE 69th, 26-29 April 2009, S. 1-5, ISSN:
1550-2252, Print ISBN:978-1-4244-2517-4**

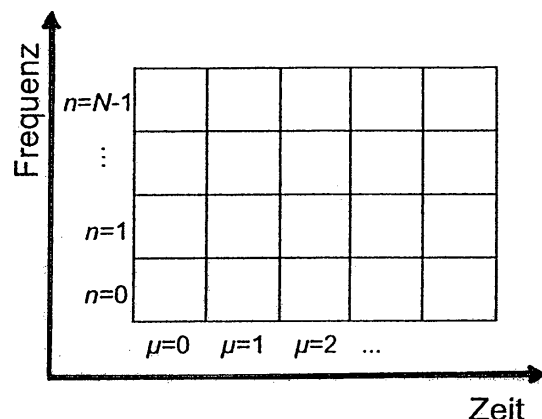
**BELLO, P.A.: Characterization of Randomly
Time-Variant Linear Channels. In:
Communications Systems, IEEE Transactions
on, December 1963, Vol. 11, Nr. 4, S. 360-393,
ISSN: 0096-1965**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Verarbeitung von OFDM-Signalen für Radaranwendungen**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur digitalen Verarbeitung von OFDM-Signalen, die von einer Sendeeinrichtung mit Modulationssymbolen als Informationsträger ausgesendet, an einem oder mehreren Objekten zumindest teilweise reflektiert und von einer Empfangseinrichtung empfangen werden. Ohne vorangehende Kanalverzerrung werden die Modulationssymbole aus den empfangenen OFDM-Signalen extrahiert und die extrahierten Modulationssymbole durch eine komplexe Division auf das jeweilige gesendete Modulationssymbol normiert. Die Radarauswertung zur Entfernungsbestimmung und/oder Geschwindigkeitsbestimmung der Objekte erfolgt dann auf Basis der normierten Modulationssymbole. Mit dem Verfahren und der Vorrichtung lassen sich zum einen sowohl Entfernung als auch Geschwindigkeit der Objekte unabhängig voneinander bestimmen. Zum anderen arbeitet das Verfahren sehr zuverlässig, da es nicht durch die übertragene Information beeinflusst wird.



Beschreibung

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur digitalen Verarbeitung von OFDM-Signalen, die von einer Sendeeinrichtung mit Modulationssymbolen als Informationsträger gesendet, an einem oder mehreren Objekten zumindest teilweise reflektiert und von einer Empfangseinrichtung empfangen werden, wobei die Modulationssymbole aus den empfangenen OFDM-Signalen extrahiert werden.

[0002] Für Radar-Sensoren gibt es neben militärischen Anwendungen auch zahlreiche zivile Anwendungen, bspw. im Bereich der intelligenten Fahrassistenzsysteme (Radar-Tempomat, Kollisionsverhinderung) oder bei der Überwachung von Produktionsprozessen. Die Radar-Technologie bietet gegenüber anderen Sensortechnologien den Vorteil, dass mit ihr sowohl Distanzen als auch Geschwindigkeiten schnell und präzise bestimmt werden können und Radar-Sensoren gegenüber äußeren Einflüssen, wie Dämpfen, Regen oder Nebel, resistent sind.

Stand der Technik

[0003] Im Bereich der Radar-Technologie existieren unterschiedliche klassische Verfahren und Hardwarekonzepte, bei denen die Signalverarbeitung zu einem großen Teil analog in elektronischen Schaltkreisen erfolgt. Beispiele hierfür sind Chirp-Radar, Puls-Radar oder FMCW-Radar (FMCW: Frequency Modulated Continuous Wave). Diese Verfahren sind weitgehend ausgereizt und optimiert. Durch die mittlerweile verfügbare Leistungsfähigkeit im Bereich der digitalen Signalverarbeitung eröffnen sich vollständig neue Möglichkeiten sowohl hinsichtlich der Formung neuartiger Sendesignale als auch hinsichtlich der Anwendung komplexer Prozessierungsalgorithmen im Empfänger. Die Leistungsfähigkeit zukünftiger Radar-Sensoren wird daher hauptsächlich durch die eingesetzten Signalformen und digitalen Prozessierungsverfahren bestimmt werden.

[0004] Die vorliegende Erfindung befasst sich mit der digitalen Verarbeitung und Nutzung von OFDM-Signalen (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplex) für eine Anwendung in der Radarsensorik. Die Generierung von OFDM-Signalen kann hierbei ausschließlich auf digitaler Ebene erfolgen. Bisher wurde die OFDM-Technik in erster Linie für die Informations- bzw. Datenübertragung genutzt, da das OFDM-Signal aus Modulationssymbolen zusammengesetzt ist und somit gezielt der Informationsübertragung dient. Auch eine Nutzung der OFDM-Technik für Radar-Anwendungen wurde bereits diskutiert. So zeigen bspw. A. Garmatyuk et al., „Feasibility study of a multi-carrier dual-use imaging radar and communication system“, in Proc. 37th European Microwave Conference, Seiten 1473 bis 1476, Oktober 2007, ein OFDM-Radarsystem, das gleichzeitig zur Informationsübertragung genutzt werden kann. Bei dieser Implementierung von OFDM-Radar wird für die Verarbeitung der OFDM-Radarsignale im Empfänger eine Kreuzkorrelation des empfangenen Signals mit dem gesendeten Signal durchgeführt. Bezeichnet $x(t)$ das gesendete und $y(t)$ das empfangene Basisbandsignal, dann kann dieser Vorgang mit folgender Gleichung mathematisch beschrieben werden:

$$\varphi_{yx}(\tau) = \int y(t)x(t - \tau)dt \quad (1)$$

[0005] Durch diese Verarbeitung ist die erzielbare Dynamik jedoch von den Autokorrelations-Eigenschaften des Sendesignals abhängig. Um eine hohe Dynamik erzielen zu können, müssen spezielle Codes wie bspw. M-Sequenzen gesendet werden. Deren Eigenschaften bestimmen dann die Dynamik. Soll das System jedoch zur simultanen Informationsübertragung genutzt werden, so ist die erzielbare Dynamik nicht vorhersehbar, da sie von den Autokorrelations-Eigenschaften der übertragenen Information abhängt. Ein zuverlässiger Betrieb ist somit nicht möglich. Weiterhin kann mit der Verarbeitung auf Basis der Kreuzkorrelation zwar die Distanz von Objekten, nicht jedoch deren Geschwindigkeit bestimmt werden.

[0006] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verarbeitung von OFDM-Signalen anzugeben, das bei einer gleichzeitigen Nutzung dieser Signale für Radar und zur Informationsübertragung einen zuverlässigen Betrieb sowie bei Bedarf auch die Bestimmung der Geschwindigkeit von Objekten ermöglicht.

Darstellung der Erfindung

[0007] Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 1 und 8 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie dem Ausführungsbeispiel entnehmen.

[0008] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren zur digitalen Verarbeitung von OFDM-Signalen werden die übertragenen Modulationssymbole, die auch als Datensymbole bezeichnet werden können, zunächst ohne vorangehende Kanalverzerrung aus den empfangenen OFDM-Signalen extrahiert. Diese extrahierten Modulationssymbole oder zumindest einige dieser Modulationssymbole werden dann durch eine komplexe Division auf das jeweils ursprünglich gesendete Modulationssymbol normiert. Die Radarauswertung zur Entfernungsbestimmung und/oder Geschwindigkeitsbestimmung der Objekte, an denen die OFDM-Signale reflektiert wurden, erfolgt dann auf Basis der normierten Modulationssymbole. Die Radarauswertung zur Entfernungsbestimmung und/oder Geschwindigkeitsbestimmung der Objekte umfasst dabei insbesondere die Erstellung eines Radar-Bildes, aus dem die Entfernung der Objekte oder die Entfernung und Geschwindigkeit der Objekte ableitbar ist.

[0009] Mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der weiter unten angeführten Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens wird die Radar-Prozessierung vollkommen unabhängig von der gesendeten Information bzw. den gesendeten Daten. Dies wird durch die Normierung der aus dem Signal extrahierten Modulationssymbole auf die ursprünglich gesendeten Modulationssymbole erreicht. Es werden keine speziellen Codes benötigt, so dass das OFDM-Radarsignal mit beliebigen Nutzdaten moduliert werden kann, die über das gemeinsame OFDM-Signal übertragen werden sollen. Durch die Unabhängigkeit von der übertragenen Information kann eine sehr hohe Dynamik erzielt werden, die nur durch die Nebenmaxima der erforderlichen Fourier-Transformation und Rauschen begrenzt ist. Ein besonderer Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung besteht darin, dass die Entfernung bzw. Distanz der Objekte unabhängig von deren Geschwindigkeit bestimmt werden kann. Distanz und Geschwindigkeit sind hier nicht miteinander verkoppelt. Bei der Geschwindigkeitsbestimmung kann die Integrationsdauer und damit die Doppler-Auflösung bzw. Geschwindigkeitsauflösung im laufenden Betrieb beliebig adaptiert werden. Der für das Verfahren benötigte Rechenaufwand ist vergleichsweise niedrig, da keine Kreuzkorrelationen berechnet werden müssen, wie dies bisher im Stand der Technik der Fall ist.

[0010] Die Verarbeitung der Radarsignale wird bei dem vorgeschlagenen Verfahren nicht mit Hilfe der Basisbandsignale durchgeführt, sondern mit Hilfe der gesendeten und empfangenen Modulationssymbole. Diese werden dazu im Empfänger noch vor der optionalen Verzerrung abgegriffen, da sie an diesen Stellen noch die vollständigen bei der Übertragung auftretenden Verzerrungen enthalten, die letztendlich die Information über reflektierende Objekte beinhalten. Jedes empfangene und ausgewählte Modulationssymbol wird mit Hilfe einer komplexen Division durch das gesendete Modulationssymbol in Amplitude und Phase normiert. Diese Normierung macht das Verfahren vollständig unabhängig von den gesendeten Modulationssymbolen. Die Berechnung des Radar-Bildes zur Entfernungsbestimmung erfolgt anschließend über eine inverse Fourier-Transformation.

[0011] Die Auswertung der Doppler-Information zur Bestimmung der relativen Geschwindigkeit reflektierender Objekte erfolgt vorzugsweise mit Hilfe einer Fourier-Transformation über zeitlich aufeinander folgende OFDM-Symbole. Die Dauer der OFDM-Symbole wird dazu geeignet parametrisiert. Diese Prozessierung basiert ebenfalls auf den Modulationssymbolen und nicht auf den Basisbandsignalen.

[0012] Für die zur Bestimmung der Entfernung und/oder Geschwindigkeit durchgeführten diskreten Fourier-Transformationen bzw. inversen Fourier-Transformationen können beim vorliegenden Verfahren jeweils alle übertragenen Modulationssymbole eines OFDM-Symbols bzw. einer Folge von OFDM-Symbolen oder auch nur einige dieser Modulationssymbole herangezogen werden. Bei der Auswertung selbst werden vorzugsweise sowohl Distanz als auch Geschwindigkeit der Objekte bestimmt, an denen die OFDM-Signale reflektiert wurden. Selbstverständlich lassen sich das Verfahren und die zugehörige Vorrichtung jedoch auch so betreiben, dass nur die Distanz oder nur die Geschwindigkeit aus den empfangenen OFDM-Signalen bestimmt wird.

[0013] Die vorgeschlagene Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens umfasst in bekannter Weise eine Empfangsantenne, mit der OFDM-Signale empfangen werden können, eine Mischeinrichtung zum Heruntermischen der empfangenen Signale, einen Analog-Digital-Wandler für die Digitalisierung der Signale sowie eine Verarbeitungseinrichtung, die aus diesen Signalen die Modulationssymbole extrahiert, auf die gesendeten Modulationssymbole normiert und auf Basis dieser normierten Modulationssymbole eine Radarauswertung zur Bestimmung der Distanz und/oder Geschwindigkeit der Objekte durchführt, an denen die Signale reflektiert wurden. Die Vorrichtung kann dabei ausgestaltet sein wie ein herkömmlicher Empfänger für OFDM-Signale, wobei lediglich die Verarbeitungseinheit für die Durchführung des vorgeschlagenen Verfahrens ausgebildet ist, d. h. die Modulationssymbole ohne vorangehende Kanalverzerrung extrahiert und auf Basis dieser Modulationssymbole die Radarauswertung zur Entfernungsbestimmung und/oder Geschwindigkeitsbestimmung

durchführt, insbesondere die entsprechenden Radar- bzw. Dopplerbilder berechnet.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals näher erläutert. Hierbei zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung des Aufbaus eines OFDM-Sendesignals;

[0016] [Fig. 2](#) ein Vergleich eines Radar-Bildes aus klassischer Prozessierung mit einem Radar-Bild das gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren erhalten wurde;

[0017] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung zur Bestimmung der Geschwindigkeit;

[0018] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung zur Bestimmung der Distanz;

[0019] [Fig. 5](#) ein Beispiel eines prozessierten Radar-Bildes;

[0020] [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung eines OFDM-Senders; und

[0021] [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung eines OFDM-Empfängers.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0022] Die gesamte Verarbeitung bei der Durchführung des vorgeschlagenen Verfahrens wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels detailliert beschrieben. Dabei werden auch Beispielergebnisse gezeigt, die mit Hilfe einer Computer-Simulation berechnet wurden.

[0023] Ein OFDM-Signal wird im Zeitbereich folgendermaßen beschrieben:

$$x(t) = \sum_{\mu=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} I(\mu N + n) \psi_n(t - \mu T) \quad (2)$$

[0024] Dabei beschreibt I die zu übertragenden Modulationssymbole, die aus der zu übertragenden binären Information bereits mittels diskreter Phasenmodulation (z. B. PSK: Phase Shift Keying) erzeugt wurden. Der Index n indiziert die insgesamt N OFDM-Subträger, μ indiziert die zeitlich aufeinander folgenden OFDM-Symbole und ψ_n repräsentiert die orthogonalen OFDM-Subträger mit:

$$\psi_n(t) = \exp(j2\pi f_n t) \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right), \quad n = 0, \dots, N-1 \quad (3)$$

wobei für den Abstand der Subträger zur Wahrung der Orthogonalität $\Delta f = 1/T$ gelten muss. Dabei bezeichnet T die OFDM-Symboldauer.

[0025] Der Aufbau des OFDM-Sendesignals aus einzelnen Modulations-Symbolen kann auch mit Hilfe einer Matrix veranschaulicht werden, wie sie in [Fig. 1](#) dargestellt ist. Jede Zelle der Matrix enthält ein Modulations-symbol, jede Spalte der Matrix stellt jeweils ein OFDM-Symbol dar.

[0026] Zur einfacheren Diskussion der Vorgehensweise für die Normierung der Modulationssymbole und die Bestimmung der Distanz bzw. eines Radar-Bildes auf Basis der Modulationssymbole wird nun ausschließlich das erste OFDM-Symbol mit $\mu = 0$ betrachtet. Das Zeitsignal dieses OFDM-Symbols kann ausgedrückt werden als:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{N-1} I(n) \exp(j2\pi f_n t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (4)$$

[0027] Im Empfänger wird das OFDM-Signal decodiert, die einzelnen empfangenen Modulationssymbole I_n werden direkt nach der diskreten Fourier-Transformation im OFDM-Empfänger und noch vor der Kanalentzerrung für die Prozessierung verwendet. Die Normierung erfolgt durch eine komplexe Division:

$$I_{div}(n) = \frac{I_r(n)}{I(n)} \quad (5)$$

[0028] Das Radar-Bild in Entfernungsrichtung wird durch eine inverse diskrete Fourier-Transformation der normierten Modulationssymbole gewonnen

$$h(k) = IDFT(\{I_{div}(n)\}) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} I_{div}(n) \exp\left(j \frac{2\pi}{N} nk\right), \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (6)$$

[0029] Dabei bezeichnet k die diskrete Zeitvariable. Die Eindeutigkeit ist auf die Distanz $d_{max} = Tc_0/2$ begrenzt, die Dynamik lediglich durch die Nebenmaxima der Fourier-Transformation.

[0030] Mit Hilfe eines Simulationsmodells wurde die Funktionsfähigkeit der Modulationssymbol-basierten Prozessierung verifiziert sowie ihre Leistungsfähigkeit mit dem klassischen Ansatz der Kreuzkorrelation gemäß Gleichung (1) verglichen. Die in [Fig. 2](#) dargestellten Bilder zeigen eine Radar-Simulation für ein Punktziel in 30 m Distanz. Das linke Bild zeigt das Ergebnis der klassischen Prozessierung, das rechte Bild das Ergebnis der Modulationssymbol-basierten Prozessierung gemäß Gleichung (5) und (6). Aus der Figur ist deutlich ersichtlich, dass bei der klassischen Prozessierung wesentlich höhere Nebenmaxima auftreten als bei der Prozessierung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren. Diese Nebenmaxima resultieren aus den Autokorrelations-Eigenschaften der Zufallsdaten, mit denen das Signal moduliert wurde, und können nicht durch geeignete Techniken wie z. B. eine Fensterung reduziert werden. Der Dynamikbereich ist dadurch stark begrenzt, was die Objektdetektion in Szenarien mit vielen Objekten praktisch unmöglich macht. Bei der Modulationssymbol-basierten Prozessierung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren können die Nebenmaxima mit Hilfe einer Fensterung auf ein konstant sehr niedriges Niveau gebracht werden. Für das Resultat im rechten Bild der [Fig. 2](#) wurde ein Hamming-Fenster verwendet. Die Nebenmaxima sind hier ausschließlich durch die Fourier-Transformation verursacht. Nebenmaxima aufgrund schlechter Autokorrelations-Eigenschaften können bei der Modulationssymbol-basierten Prozessierung prinzipbedingt nicht auftreten.

[0031] Die Realisierung der Doppler-Prozessierung bzw. die Bestimmung der Geschwindigkeit erfolgt ebenfalls basierend auf den nach Gleichung (5) normierten Modulationssymbolen. In diesem Fall werden allerdings zeitlich aufeinander folgende Modulationssymbole betrachtet. Die Auswertung erfolgt jeweils über einen definierten Rahmen aus M OFDM-Symbolen. Für einen beliebigen OFDM-Subträger n wird das Doppler-Spektrum mit Hilfe einer diskreten Fourier-Transformation berechnet

$$S(v, n) = \sum_{\mu=0}^{M-1} I_{div}(n, \mu) \exp\left(-j \frac{2\pi}{M} \mu v\right), \quad v = 0, \dots, M-1 \quad (7)$$

wobei v die diskrete Frequenzvariable ist.

[0032] Vorzugsweise werden die beiden obigen Verfahrensvarianten zur Bestimmung der Entfernung und zur Bestimmung der Geschwindigkeit zu einem zweidimensionalen Verfahren kombiniert, das eine unabhängige Prozessierung von Distanz und Geschwindigkeit ermöglicht. Die gesamte Prozessierung erfolgt bei diesem Prozessierungsverfahren ausgehend von dem empfangenen Signal in drei Schritten:

1. Schritt: Normierung durch komplexe Division

[0033] Die empfangenen Modulationssymbole werden noch vor der Kanalverzerrung mit Hilfe der gesendeten Modulationssymbole gemäß Gleichung (5) durch eine komplexe Division normiert.

2. Schritt: Fourier-Transformation in Zeitrichtung

[0034] Zur Bestimmung der Geschwindigkeit wird in der normierten Modulationssymbolmatrix für jeden OFDM-Subträger innerhalb eines Rahmens der Länge M eine diskrete Fourier-Transformation in Zeitrichtung berechnet. Das Ergebnis ist eine Matrix, bei der die Zeitachse durch eine Doppler-Achse ersetzt ist, die die Dopplerverschiebung repräsentiert. Dies ist in [Fig. 3](#) veranschaulicht.

3. Schritt: Inverse Fourier-Transformation in Frequenzrichtung

[0035] Zur Bestimmung der Distanz wird in der Ergebnismatrix von Schritt 2 für jedes OFDM-Symbol inner-

halb eines Rahmens der Länge M eine inverse diskrete Fourier-Transformation in Frequenzrichtung berechnet. Das Ergebnis ist eine Matrix, in der ein zweidimensionales Radar-Bild mit den Dimensionen Distanz und Doppellerverschiebung enthalten ist. Der 3. Prozessierungsschritt ist in der [Fig. 4](#) veranschaulicht.

[0036] Schritte 2 und 3 können in der Reihenfolge vertauscht werden. Alternativ können beide Schritte zusammengefasst und durch eine zweidimensionale diskrete Fourier-Transformation bzw. eine zweidimensionale diskrete inverse Fourier-Transformation mit anschließender Spiegelung der Matrix ersetzt werden.

[0037] [Fig. 5](#) zeigt ein Beispielergebnis aus der Simulation für die Prozessierung von drei Punktzielen gleicher Reflektivität mit einem OFDM-Signal aus $N = 1024$ Subträgern mit einem Abstand von $\Delta f = 90,909$ kHz über eine Rahmendauer von $M = 128$. Die simulierten Objekte besitzen dabei folgende Distanzen und Geschwindigkeiten:

	Distanz	Geschwindigkeit
Objekt 1	33,2 m	10 m/s
Objekt 2	33,2 m	14 m/s
Objekt 3	35 m	10 m/s

[0038] Im prozessierten Radarbild sind alle drei Objekte eindeutig in Distanz und Geschwindigkeit abgebildet.

[0039] Eine Verkopplung zwischen Distanz und Geschwindigkeit tritt nicht auf. Objekte in gleicher Distanz und Objekte mit gleicher Geschwindigkeit sind trennbar, wie aus der [Fig. 5](#) ersichtlich ist.

[0040] [Fig. 6](#) zeigt schließlich ein Beispiel für eine Sendeeinrichtung zur Aussendung der OFDM-Radarsignale. Die Eingangsbits **1**, die die zu übertragende Information repräsentieren, werden zunächst in einem digitalen Modulator **2**, im vorliegenden Beispiel mittels PSK, in komplexe Modulationssymbole umgesetzt, d. h. in Modulationssymbole mit einem komplexen Wert (I, Q). Mit Hilfe eines Seriell-Parallel-Wandlers **3** wird eine Seriell-Parallel-Wandlung des Datenstroms durchgeführt.

[0041] Hierbei wird der serielle Datenstrom jeweils in N parallele Datenfolgen aufgeteilt, die N Subträgern zugeordnet sind. In einer Fouriertransformations-Einheit **4** wird mit Hilfe einer inversen diskreten Fast-Fourier-Transformation (IFFT) für die jeweils ein OFDM-Symbol bildenden, aktuell parallel anliegenden Modulationssymbole ein digitales zeitdiskretes OFDM-Signal gebildet, das anschließend in einem Parallel-Seriell-Wandler **5** serialisiert wird. Nach dem Hinzufügen eines zyklisch wiederholten Ausschnitts (Zyklisches Präfix bzw. Cyclic Prefix) des so erhaltenen Signals (Einheit **6**) zur Verhinderung von Intersymbol-Interferenz wird der digitale Signalstrom in einem Digital-Analog-Wandler **7** in ein analoges Sendesignal gewandelt, das nach Passieren eines Tiefpassfilters **8** sowie einer Mischeinheit **9** auf einem hochfrequenten Träger als Radarsignal über die Sendeantenne **10** ausgesendet wird. Eine derartige Sendeeinrichtung ist dem Fachmann aus dem Bereich der OFDM-Radartechnik bzw. der OFDM-Informationsübertragungstechnik bekannt.

[0042] Ein Beispiel für eine Empfangseinrichtung, die auch im gleichen Gerät wie die Sendeeinrichtung angeordnet sein kann, ist in [Fig. 7](#) schematisch dargestellt. In dieser Empfangseinrichtung wird das von den Objekten reflektierte Radarsignal über die Empfangsantenne **11** empfangen, in einer Mischeinheit **12** wieder ins Basisband heruntergemischt und nach Passieren eines Tiefpassfilters **13** in einem Analog-Digital-Wandler **14** in ein digitales Signal gewandelt. Im Falle einer Anwendung für OFDM-Radar wird typischerweise derselbe hochfrequente Oszillator zur Ansteuerung der Mischeinheit **9** im Sender und der Mischeinheit **12** im Empfänger eingesetzt. Anschließend wird im Empfänger das zyklische Präfix (Einheit **15**) entfernt und das digitale Signal in einem Seriell-Parallel-Wandler **16** entsprechend der Anzahl der Subträger parallelisiert, um die einzelnen Kanäle einer diskreten Fast-Fourier-Transformation (FFT-Einheit **17**) zu unterziehen und in einem Parallel-Seriell-Konverter **18** wieder in ein serielles Signal zu wandeln. In einer herkömmlichen Empfangseinrichtung wird das serielle Signal einer Kanalverzerrungseinheit **20** zugeführt, in der die Abtastwerte der einzelnen Kanäle entzerrt werden. Nach der Entzerrung erfolgt in einer Extrahierungseinheit **21** eine Detektion der Modulationssymbole und einem Demodulator **22** eine Umsetzung der Modulationssymbole in die übertragenen Datenbits, die dann als Ausgangsbits **23** zur Verfügung stehen.

[0043] Die Empfangseinrichtung der hier vorgeschlagenen Vorrichtung weist alternativ oder zusätzlich zur Kanalverzerrungseinheit **20**, der Extrahierungseinheit **21** und dem Demodulator **22** eine Verarbeitungseinheit **19** auf, die die Modulationssymbole ohne vorangehende Kanalverzerrung extrahiert, auf die gesendeten Modulationssymbole normiert und die Berechnung der Geschwindigkeiten und/oder Distanzen der Objekte bzw.

der entsprechenden Radar-Bilder auf Basis der normierten Modulationssymbole durchführt.

[0044] Für die Realisierung einer derartigen Empfangseinrichtung sind als Hardwarekomponenten neben der I/Q-Mischeinheit **12** ein Analog-Digital-Wandler **14** sowie FFT- bzw. IFFT-Prozessoren erforderlich, auf die die Verarbeitungseinheit **19** zugreift.

[0045] Das Verfahren lässt sich bspw. im ISM-Band bei 24 GHz durchführen, da hier weltweit eine Signalbandbreite von ungefähr 100 MHz lizenzfrei genutzt werden kann. Grundsätzlich gilt bei der Wahl der Trägerfrequenz, dass die Wellenlänge kleiner als die reflektierenden Strukturen sein sollte. Gleichzeitig darf die Trägerfrequenz auch nicht zu hoch sein, da sonst die Ausbreitungsdämpfung zu hoch und damit nur eine Anwendung über geringe Distanzen möglich ist.

Bezugszeichenliste

1	Eingangsbits
2	Modulator
3	Seriell-Parallel-Wandler
4	Fouriertransformations-Einheit
5	Parallel-Seriell-Wandler
6	Einheit zum Hinzufügen eines Präfix
7	Digital-Analog-Wandler
8	Tiefpassfilter
9	Mischeinheit
10	Sendeantenne
11	Empfangsantenne
12	Mischeinheit
13	Tiefpassfilter
14	Analog-Digital-Wandler
15	Einheit zum Entfernen des Präfix
16	Seriell-Parallel-Wandler
17	FFT-Einheit
18	Parallel-Seriell-Wandler
19	Verarbeitungseinheit
20	Kanalentzerrungseinheit
21	Extrahierungseinheit
22	Demodulator
23	Ausgangsbits

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- A. Garmatyuk et al., „Feasibility study of a multi-carrier dual-use imaging radar and communication system“, in Proc. 37th European Microwave Conference, Seiten 1473 bis 1476, Oktober 2007 [\[0004\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur digitalen Verarbeitung von OFDM-Signalen, die von einer Sendeeinrichtung mit Modulationssymbolen als Informationsträger gesendet, an einem oder mehreren Objekten zumindest teilweise reflektiert und von einer Empfangseinrichtung empfangen werden, bei dem
 - die Modulationssymbole ohne vorangehende Kanalverzerrung aus den empfangenen OFDM-Signalen extrahiert werden,
 - einige oder alle extrahierten Modulationssymbole durch eine komplexe Division auf das jeweilige gesendete Modulationssymbol normiert werden, und
 - eine Radarauswertung zur Entfernungsbestimmung und/oder Geschwindigkeitsbestimmung der Objekte auf Basis der normierten Modulationssymbole erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Entfernungsbestimmung über eine inverse Fouriertransformation der normierten Modulationssymbole zumindest eines OFDM-Symbols der empfangenen OFDM-Signale erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Geschwindigkeitsbestimmung durch Auswertung einer Phasenverschiebung zeitlich aufeinander folgender Modulationssymbole zumindest eines Subträgers der OFDM-Signale erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Auswertung der Phasenverschiebung mit Hilfe einer Fouriertransformation der normierten Modulationssymbole erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Entfernungsbestimmung und die Geschwindigkeitsbestimmung simultan über eine zweidimensionale inverse bzw. normale Fouriertransformation der normierten Modulationssymbole erfolgen.
6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem für die Entfernungsbestimmung eine inverse Fouriertransformation der normierten Modulationssymbole mehrerer Subträger zeitlich aufeinander folgender OFDM-Symbole durchgeführt wird und die daraus erhaltenen Daten anschließend einer Fouriertransformation für die Geschwindigkeitsbestimmung unterworfen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem für die Geschwindigkeitsbestimmung eine Fouriertransformation der normierten Modulationssymbole mehrerer Subträger zeitlich aufeinander folgender OFDM-Symbole durchgeführt wird und die daraus erhaltenen Daten anschließend einer inversen Fouriertransformation für die Entfernungsbestimmung unterworfen werden.
8. Vorrichtung zur digitalen Verarbeitung von OFDM-Signalen, die von einer Sendeeinrichtung mit Modulationssymbolen als Informationsträger gesendet, und an einem oder mehreren Objekten zumindest teilweise reflektiert werden, mit
 - einer Empfangsantenne (**11**) für den Empfang der OFDM-Signale,
 - einer Mischeinrichtung (**12**) zum Heruntermischen der empfangenen Signale,
 - einem Analog-Digital-Wandler (**14**) für die Digitalisierung der Signale und
 - einer Verarbeitungseinrichtung (**19**), die die Modulationssymbole ohne vorangehende Kanalverzerrung extrahiert und auf Basis dieser Modulationssymbole eine Radarauswertung zur Entfernungsbestimmung und/oder Geschwindigkeitsbestimmung durchführt, insbesondere Radar- bzw. Dopplerbilder berechnet.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

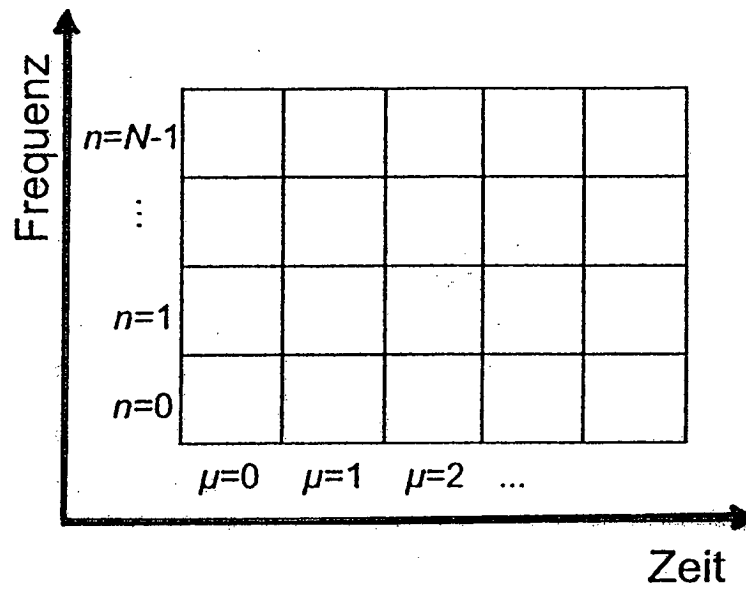


FIG. 1

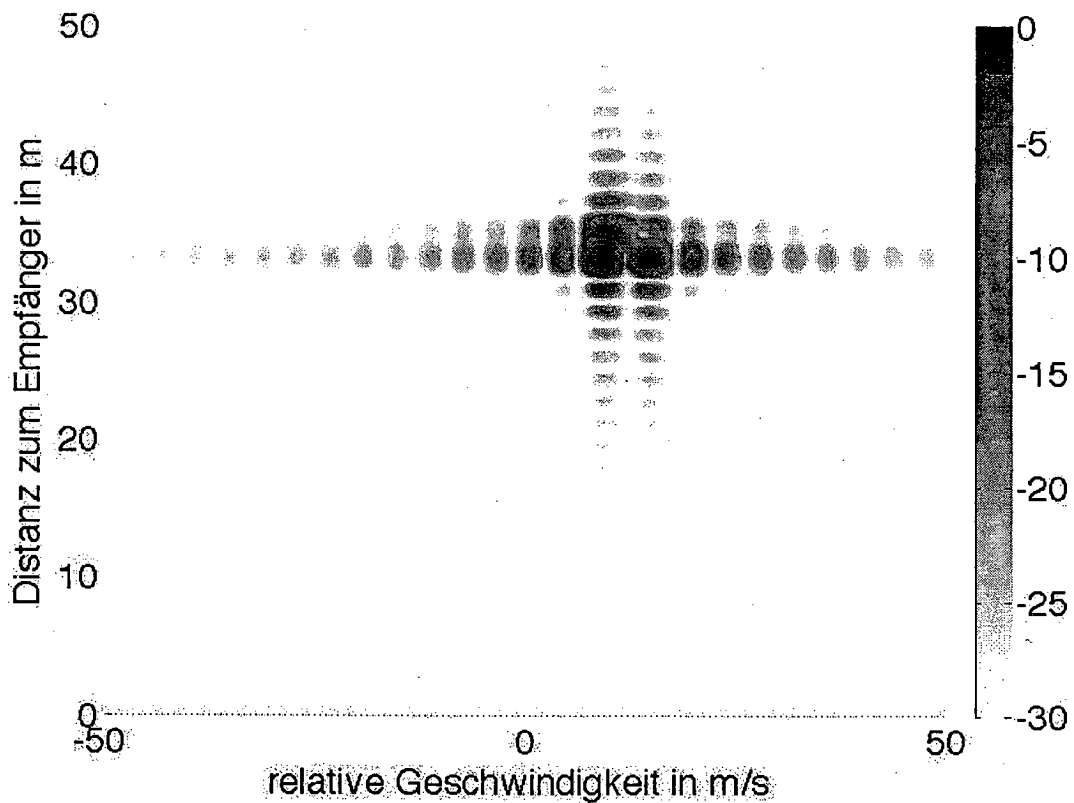


FIG. 5

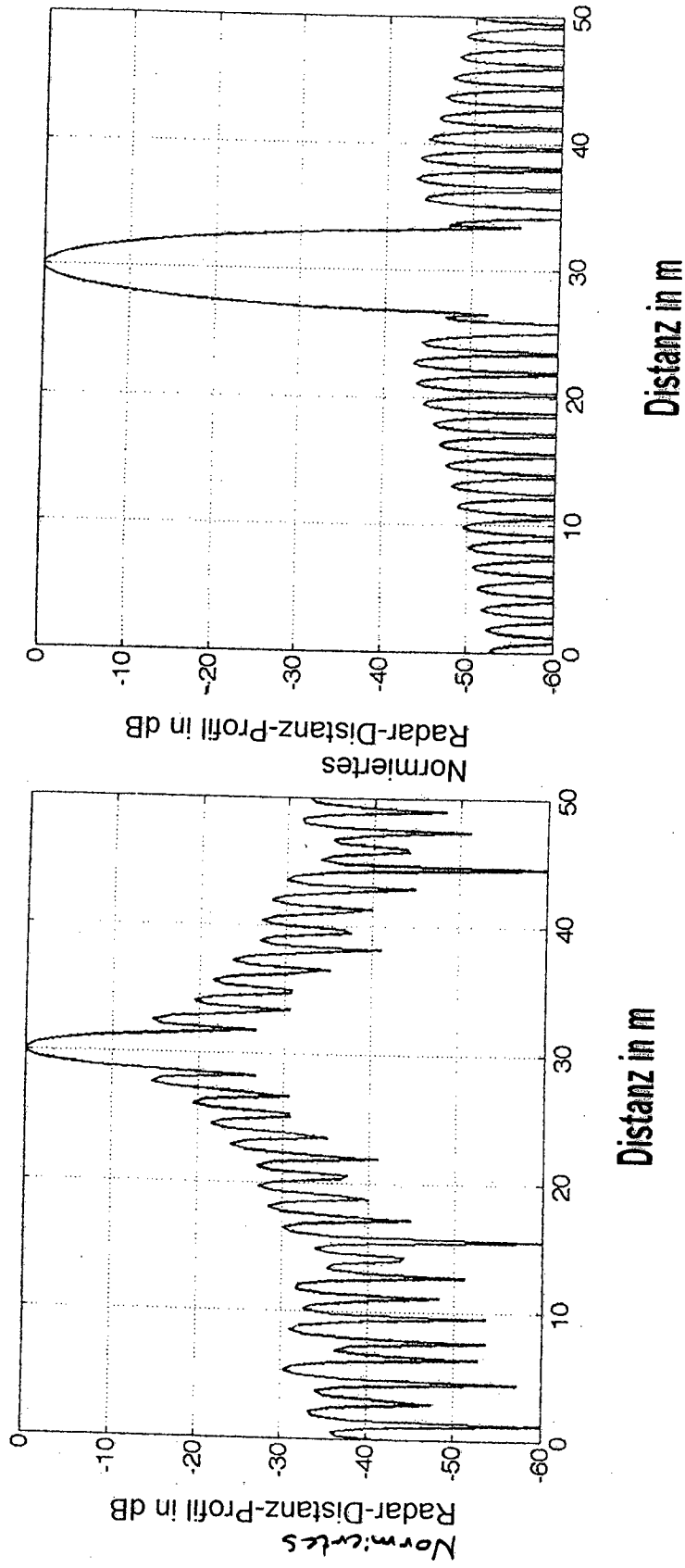


FIG. 2

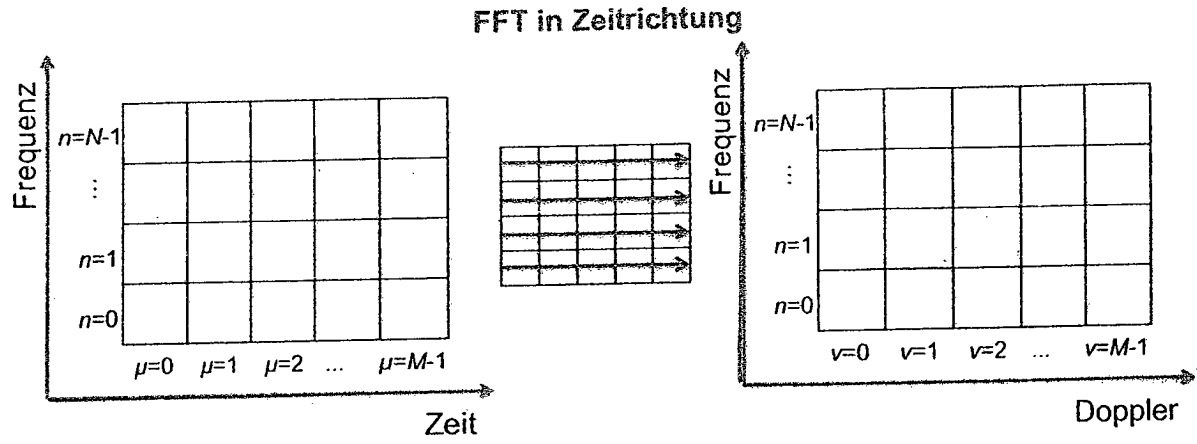


FIG. 3

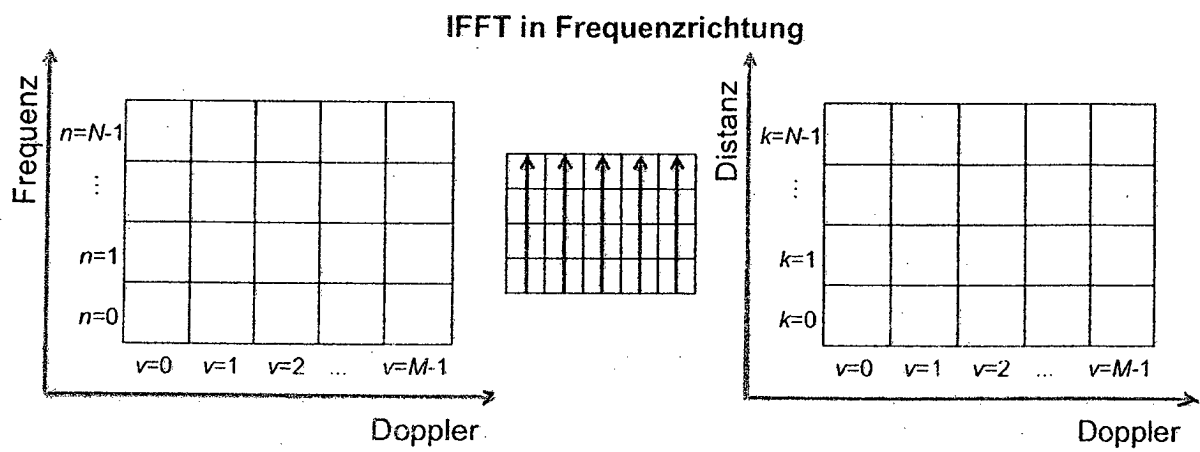


FIG. 4

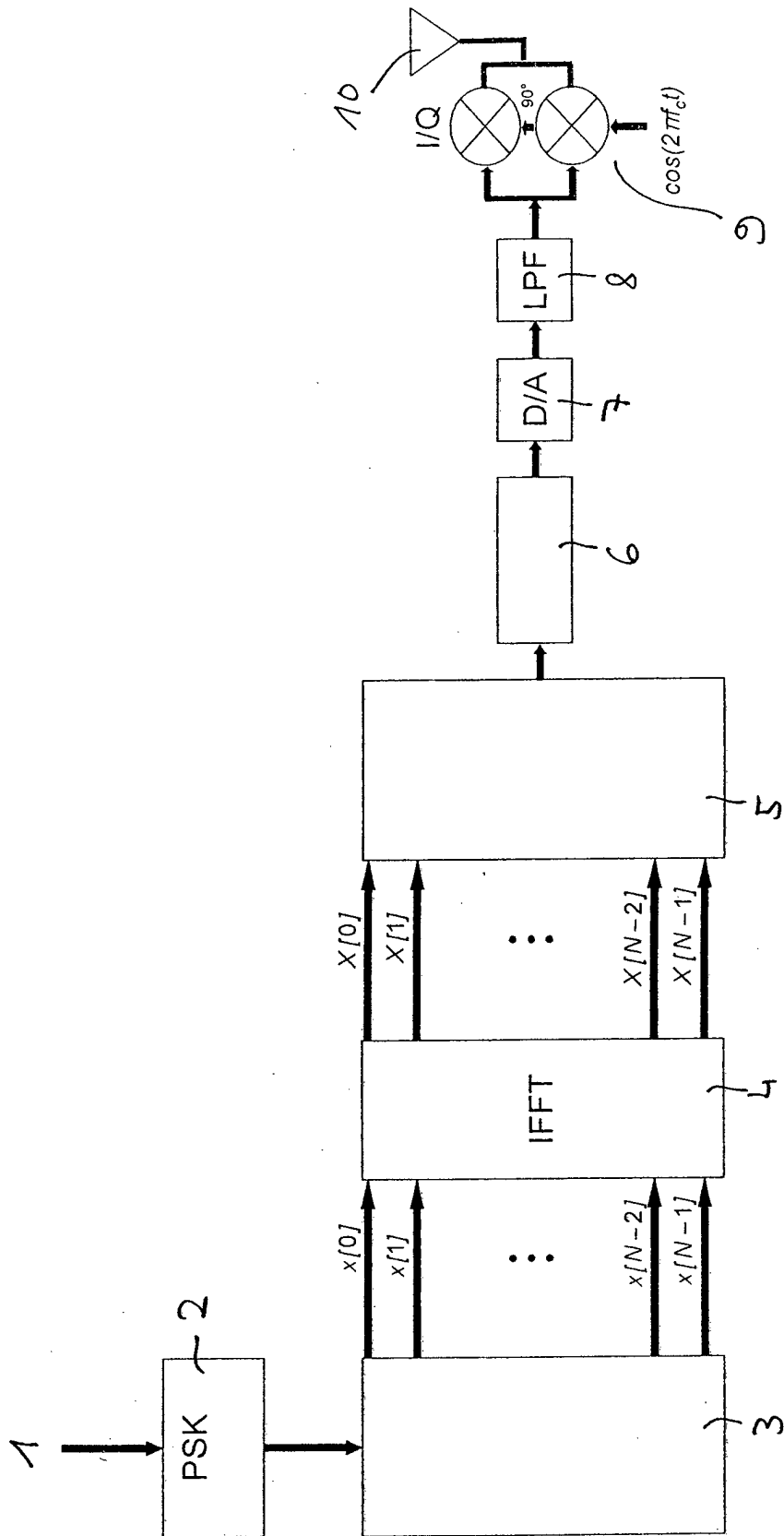


FIG. 6

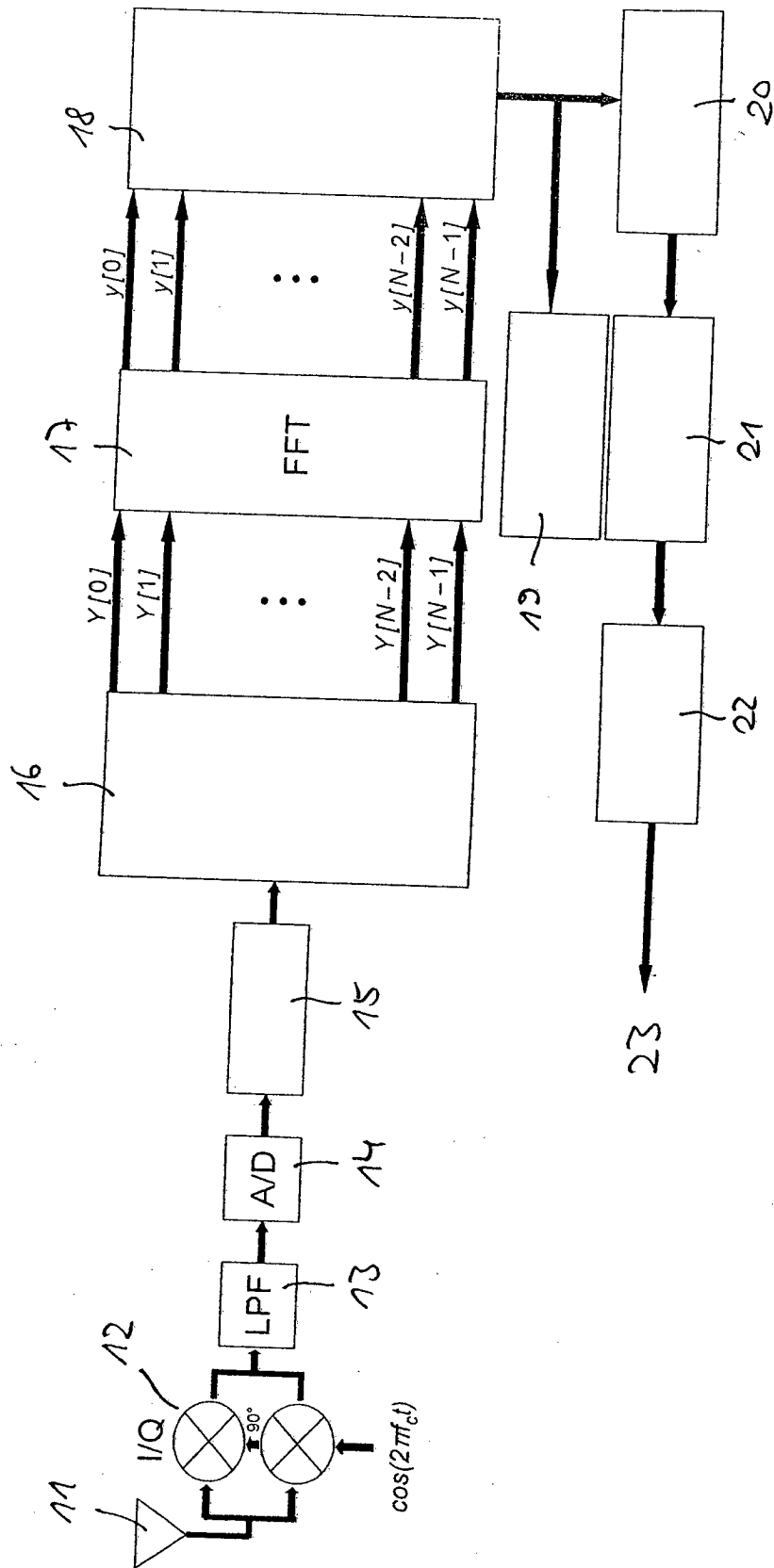


FIG. 7