



(10) **DE 10 2019 001 770 B4** 2021.03.18

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 001 770.6**
(22) Anmeldetag: **13.03.2019**
(43) Offenlegungstag: **17.09.2020**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **18.03.2021**

(51) Int Cl.: **G01S 13/26 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,
80639 München, DE**

(72) Erfinder:
**Nuß, Benjamin, 75203 Königsbach-Stein, DE;
Zwick, Thomas, 76676 Graben-Neudorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**SCHWEIZER, B. [et al.]: Stepped-Carrier
OFDM-Radar Processing Scheme to Retrieve
High-Resolution Range-Velocity Profile at
Low Sampling Rate. In: IEEE Transactions on
Microwave Theory and Techniques, vol. 66, no. 3,
2018. S. 1610–1618. - ISSN 0018-9480**

**STURM, C. [et al.]: Waveform Design and
Signal Processing Aspects for Fusion of
Wireless Communications and Radar Sensing. In:
Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 7, 2011. S.
1236–1259. - ISSN 0018-9219**

(54) Bezeichnung: **Signalverarbeitungsverfahren für ein Signalverarbeitungssystem und ein entsprechendes Signalverarbeitungssystem**

(57) Hauptanspruch: Signalverarbeitungsverfahren für ein Signalverarbeitungssystem bestehend aus einer Send- und Empfangsvorrichtung (200, 300, 400, 500), insbesondere für ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM Radarsystem, welches folgende Schritte aufweist:

- Erzeugen eines Sendesignals (20) mittels der Sendevorrichtung (200, 300), wobei das Sendesignal (20) eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand (Δf_M) zueinander aufweisen;

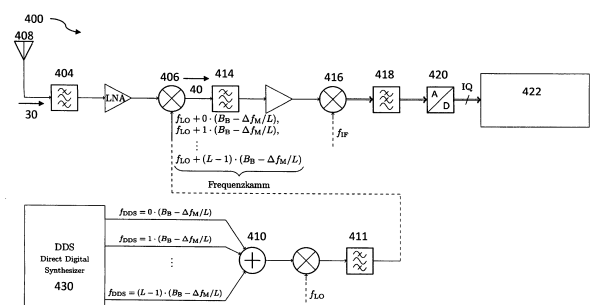
- Senden des Sendesignals (20) mittels der Sendevorrichtung (200, 300);

- Empfangen eines Empfangssignals (30) mittels der Empfangsvorrichtung (400, 500), wobei das Empfangssignal (30) eine Reflexion des Sendesignals (20) darstellt;

- Erzeugen eines auf dem Empfangssignal (30) basierenden Auswertesignals (40) mittels der Empfangsvorrichtung (400, 500),

wobei das Auswertesignal (40) eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern einem L-fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, wobei das Auswertesignal (40) einen Auswertefrequenzbereich (42) aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern beinhaltet,

wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L-tel ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Signalverarbeitungsverfahren für ein Signalverarbeitungssystem, insbesondere für ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Radarsystem. Ferner betrifft die Erfindung ein entsprechendes Signalverarbeitungssystem.

[0002] Signalverarbeitungssysteme, insbesondere Systeme, welche das Laufzeitverhalten von Signalen auswerten, wie beispielsweise Radarsysteme, nutzen Signale einer bestimmten Bandbreite. Bei einem Radarsystem gilt beispielsweise der Zusammenhang, dass die erreichbare Entfernungsauflösung des Radarsystems umgekehrt proportional zur verwendeten Bandbreite des Radarsignals ist, d.h. je größer die Bandbreite des Radarsignals ist, desto besser können zwei Objekte in Entfernungsrichtung voneinander getrennt und deren Entfernung bestimmt werden. Daraus resultiert die Bestrebung, die Bandbreite der eingesetzten Signale zu erhöhen. Eine solche Erhöhung der Signalbandbreite geht aber mit dem Nachteil einher, dass sich die Komplexität der Sende- und Empfangsseite eines Radarsystems erhöht. So ist es beispielsweise notwendig, die Abtastrate und/oder Anzahl der Digital-Analog-Wandler (DAC) und Analog-Digital-Wandler (ADC) auf der Sende- bzw. Empfangsseite zu erhöhen, um eine höhere Bandbreite zu realisieren.

[0003] Insbesondere bei OFDM-Radarsystemen, welche bereits höhere Basisband-Bandbreiten gegenüber Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radarsystemen nutzen, führt eine weitere Erhöhung der Bandbreite zu technischen Schwierigkeiten, beispielsweise DACs und ADCs mit entsprechenden Abtastraten bereitzustellen. Des Weiteren sind DACs und ADCs, die hohe Bandbreiten unterstützen, kostenintensiv, wodurch die Erhöhung der Bandbreite mit hohen Implementierungskosten einhergeht. Ferner erhöhen sich ebenfalls die Anforderungen an die benötigte Speichergröße nach einem ADC, um ein durch den ADC erhaltenes Signal weiterverarbeiten zu können.

[0004] Ferner beschreibt STURM, C. [et al.]: Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing. In: Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 7, 2011. S. 1236-1259. -ISSN 0018-9219 ein Radarsystem und ein Signalverarbeitungsverfahren zur Prozessierung von OFDM- und DSSS-Signalen, welche gleichzeitig für Radaranwendungen und Kommunikation geeignet sind.

[0005] Des Weiteren beschreibt SCHWEIZER, B. [et al.]: Stepped-Carrier OFDM-Radar Processing Scheme to Retrieve High-Resolution Range-Velocity Profile at Low Sampling Rate. In: IEEE Transactions

on Microwave Theory and Techniques, vol. 66, no. 3, 2018. S. 1610-1618. - ISSN 0018-9480 ein Verfahren zur Prozessierung von OFDM-Radarsignalen, welches die Erfassung von hochauflösenden Abstands-Geschwindigkeits-Profilen bei niedriger Abtastrate erlaubt ohne den Rechenaufwand dabei zu erhöhen.

[0006] Somit ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Signalverarbeitungsverfahren und ein entsprechendes Signalverarbeitungssystem vorzuschlagen, welches es ermöglicht, die nutzbare Signalbandbreite zu erhöhen, ohne dass es einer wesentlichen Erhöhung der Abtastrate eines DAC oder ADC bedarf.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0008] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Signalverarbeitungsverfahren für ein Signalverarbeitungssystem bestehend aus einer Sende- und Empfangsvorrichtung, insbesondere für ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM Radarsystem, welches folgende Schritte aufweist:

- Erzeugen eines Sendesignals mittels der Sendevorrichtung, wobei das Sendesignal eine erste Anzahl **M** von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl **M** von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand zueinander aufweisen;

- Senden des Sendesignals mittels der Sendevorrichtung;

- Empfangen eines Empfangssignals mittels der Empfangsvorrichtung, wobei das Empfangssignal eine Reflexion des Sendesignals darstellt;

- Erzeugen eines auf dem Empfangssignal basierenden Auswertesignals mittels der Empfangsvorrichtung,

wobei das Auswertesignal eine zweite Anzahl **N** von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist,

wobei die zweite Anzahl **N** von Unterträgern einem L-fachen der ersten Anzahl **M** von Unterträgern entspricht,

wobei das Auswertesignal einen Auswertefrequenzbereich aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl **N** von Unterträgern beinhaltet,

wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L -tel des ersten Frequenzabstands entspricht; und

- Auswerten des Auswertefrequenzbereichs mittels der Empfangsvorrichtung.

[0009] Insbesondere können L , M positive natürlichen Zahlen sein, wobei M und L größer gleich 2 sind. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Sendesignal und dem Empfangssignal um elektromagnetische Wellen, wie beispielsweise Radiowellen und/oder Licht. Ferner wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung das Sende- und Empfangssignal im Frequenzbereich erläutert. Des Weiteren wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung unter dem Begriff „Frequenzabstand“ benachbarter Unterträger allgemein der Frequenzabstand der Maxima (direkt) benachbarter Unterträger verstanden, wenn das Spektrum jedes einzelnen Unterträgers einzeln betrachtet wird. Bei real gesendeten und empfangenen Signalen kann es jedoch zu einer Überlagerung der Spektren der Unterträger kommen, welche zu einer leichten Versetzung der Maxima neben die jeweilige Mittenfrequenz des Unterträgers führen kann. Daher wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung unter dem Begriff „Frequenzabstand“ benachbarter Unterträger insbesondere der Frequenzabstand zwischen der Mittenfrequenz eines Unterträgers und der Mittenfrequenz eines (direkt) benachbarten Unterträgers verstanden.

[0010] Insbesondere liegt jeder Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern auf einer unterschiedlichen Frequenz, wobei der erste Frequenzabstand benachbarter Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern, im Folgenden als Δf_M bezeichnet, im Wesentlichen gleichgroß ist.

[0011] Beispielhaft kann ein Übertragen bzw. das Senden des Sendesignals im GHz-Bereich vorgesehen werden, wobei der erste Frequenzabstand Δf_M im kHz-Bereich liegen kann.

[0012] Vorzugsweise weist das erzeugte Auswertesignal zumindest abschnittsweise unterschiedliche Frequenzabstände zwischen benachbarten Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern auf, wobei in dem Auswertefrequenzbereich der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge von Unterträgern, im Folgenden als Δf_Q bezeichnet, im Wesentlichen gleichgroß ist.

[0013] Dadurch, dass der Frequenzabstand Δf_Q benachbarter Unterträger der Teilmenge von Unterträgern einem L -tel des ersten Frequenzabstands Δf_M entspricht, und die Anzahl Q der Unterträger der Teilmenge von Unterträgern des Auswertesignals der

ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, weist der Auswertefrequenzbereich gegenüber dem Sendesignal eine um etwa den Faktor L geringere Bandbreite auf.

[0014] Vorzugsweise korrespondieren die Unterträger der Teilmenge in dem Auswertefrequenzbereich mit den Unterträgern des Sendesignals. Mit anderen Worten, jeder Unterträger der Teilmenge im Auswertefrequenzbereich entspricht einem (reflektierten) Unterträger des Sendesignals bzw. einem entsprechenden Unterträger des Empfangssignals. Somit umfasst der Auswertefrequenzbereich Reflexionen (ausschließlich) aller Unterträger des Sendesignals, weist aber gegenüber dem Sendesignal eine um etwa den Faktor L geringere Bandbreite auf. Somit können die technischen Anforderungen für das Auswerten des Auswertefrequenzbereichs reduziert werden, da gegenüber der Bandbreite des eigentlichen Sendesignals bzw. Empfangssignals lediglich der Auswertefrequenzbereich mit dessen geringerer Bandbreite ausgewertet werden muss. Insbesondere kann somit für die Auswertung auf Empfängerseite auf ADCs zurückgegriffen werden, welche eine geringere Bandbreite unterstützen. Diese sind zum einen leichter zu realisieren und zum anderen kostengünstiger.

[0015] Vorzugsweise sieht das Erzeugen des Auswertesignals vor, dass die Unterträger der Teilmenge der zweiten Anzahl N von Unterträgern bzw. die Unterträger des Auswertefrequenzbereichs im Wesentlichen unkorreliert und besonders bevorzugt orthogonal zueinander angeordnet sind. Unter einer orthogonalen Anordnung der Unterträger wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung verstanden, dass das Maximum eines Unterträgers bei seinen benachbarten Unterträgern jeweils auf deren Nulldurchgang des Spektrums liegt. Dadurch, dass die Unterträger im Auswertefrequenzbereich im Wesentlichen unkorreliert und/oder orthogonal vorliegen, ist es möglich, die einzelnen Unterträger des Auswertefrequenzbereichs bei dessen Auswertung voneinander zu trennen. Insbesondere ist es möglich, dass nach einem Abtasten des Auswertefrequenzbereichs mittels eines ADC, die einzelnen Unterträger des Auswertefrequenzbereichs voneinander zu trennen.

[0016] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass das Erzeugen des Sendesignals mittels Frequenzhochmischens eines Basissignals mit L voneinander beabstandeten ersten Trägerfrequenzen erfolgt, wobei das Basissignal eine dritte Anzahl P von voneinander beabstandeten Unterträgern aufweist und die dritte Anzahl P von Unterträgern einem L -tel der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht. Ferner kann der Frequenzabstand zwischen benachbarten Unterträgern des Basissignals, im Folgenden als Δf_P bezeichnet, im Wesentlichen gleich groß sein. Des Weiteren können der Frequenzabstand Δf_P zwischen benachbarten Unterträgern des Basissignals und der

Frequenzabstand Δf_M zwischen benachbarten Unterträgern des Sendesignals im Wesentlichen gleich groß bzw. identisch sein.

[0017] Aus dem Produkt der dritten Anzahl P von Unterträgern des Basissignals und dem Frequenzabstand Δf_P zwischen benachbarten Unterträgern des Basissignals ergibt sich die Bandbreite des Basissignals, im Folgenden als B_B bezeichnet. Demnach entspricht die Bandbreite des Basissignals B_B folgender Formel:

$$B_B = P * \Delta f_P. \quad \text{Formel 1)}$$

[0018] Vorzugsweise entspricht der Frequenzabstand benachbarter erster Trägerfrequenzen der L ersten Trägerfrequenzen im Wesentlichen der Bandbreite des Basissignals B_B . Die Bandbreite des Basissignals B_B entspricht ferner einem L -tel der Bandbreite des Sendesignals, im Folgenden mit B_S bezeichnet. Die Bandbreite des Sendesignals B_S lässt sich mittels folgender Formel bestimmen:

$$B_S = M * \Delta f_M = L * P * \Delta f_P = L * B_B.$$

Formel 2)

[0019] Durch das Frequenzhochmischen des Basissignals auf verschiedene erste Trägerfrequenzen ist es auf einfache Weise möglich, die Bandbreite des Sendesignals B_S gegenüber der Bandbreite des Basissignals B_B zu erhöhen. Vorteilhafterweise können die ersten Trägerfrequenzen mittels eines Frequenzkamms bereitgestellt werden, welcher mit dem Basissignal, welches durch einen Signalgenerator erzeugt werden kann, gemischt wird. Durch das Frequenzhochmischen können somit die technischen Anforderungen an die Sendevorrichtung geringer ausfallen, da diese nicht speziell für größere Bandbreiten des Sendesignals, beispielsweise entsprechende Digital-Analog-Wandler mit hoher Abtastrate, ausgelegt sein muss.

[0020] Ferner entspricht das Sendesignal durch das Frequenzhochmischen des Basissignals mit den L ersten Trägerfrequenzen einem Signal, welches aus L Sub-Bändern besteht, wobei jedes Sub-Band der L Sub-Bänder dem Basissignal gemischt mit einer (unterschiedlichen) der L ersten Trägerfrequenzen entspricht. Mit anderen Worten, das Basissignal wird zur Erzeugung des Sendesignals L -fach entsprechend der L ersten Trägerfrequenzen aneinandergereiht. Die einzelnen Trägerfrequenzen f_{T1} der L ersten Trägerfrequenzen können dabei mittels folgender Formel bestimmt werden:

$$f_{T1} = f_{LO} + I * B_B, \text{ mit } I = (0, 1, \dots, L - 1),$$

Formel 3)

wobei f_{LO} eine Frequenz eines Lokaloszillators darstellt.

[0021] Vorzugsweise kann das Basissignal mittels OFDM-Verfahren erzeugt werden, wobei ferner ausschließlich die dritte Anzahl P von Unterträgern zur Datenübertragung genutzt werden kann. D.h. $L-1$ (potentielle) Unterträger zwischen benachbarten Unterträgern der dritten Anzahl P von Unterträgern werden nicht zur Datenübertragung genutzt.

[0022] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass das Erzeugen des Auswertesignals mittels Frequenzruntermischens des Empfangssignals mit L voneinander beabstandeten zweiten Trägerfrequenzen erfolgt, wobei vorzugsweise der Abstand benachbarter zweiter Trägerfrequenzen der Differenz des Produkts der ersten Anzahl M von Unterträgern und einem L -tel des ersten Frequenzabstands, und dem L -tel des ersten Frequenzabstands entspricht. Der Frequenzabstand von benachbarten zweiten Trägerfrequenzen, im Folgenden Δf_{T2} bezeichnet, entspricht im Wesentlichen folgender Formel:

$$\Delta f_{T2} = (M * \Delta f_M / L) - \Delta f_M / L = P * \Delta f_P - \Delta f_Q = B_B - \Delta f_Q.$$

Formel 4)

[0023] Durch ein derartiges Frequenzruntermischen ist es möglich, im Auswertefrequenzbereich des Auswertesignals Unterträger, welche den Unterträgern des Empfangssignals entsprechen, möglichst dicht anzuordnen, so dass die Bandbreite des Auswertefrequenzbereichs im Wesentlichen einem L -tel der Bandbreite des Empfangssignals entspricht. Dadurch ist es möglich die auszuwertende Bandbreite zu reduzieren und somit technisch einfacher zu realisieren.

[0024] Insbesondere können die zweiten Trägerfrequenzen mittels eines Frequenzkamms bereitgestellt werden, welcher die zweiten Trägerfrequenzen, die entsprechend des Frequenzabstands Δf_{T2} beabstandet sind, umfasst. Die einzelnen zweiten Trägerfrequenzen f_{T2} der L zweiten Trägerfrequenzen können dabei mittels folgender Formel bestimmt werden:

$$f_{T2} = f_{LO} + I * (B_B - \Delta f_M / L) \text{ für } I = (0, 1, \dots, L - 1),$$

Formel 5)

wobei f_{LO} eine Frequenz eines Lokaloszillators darstellt.

[0025] Das vorgeschlagene Frequenzruntermischen ermöglicht es ferner, dass die oben beschriebenen L Sub-Bänder des Sendesignals im Auswertefrequenzbereich jeweils um ein L -tel des ersten Frequenzabstands Δf_M zueinander versetzt angeordnet sind. Dadurch ist es möglich, alle Unterträger des Empfangssignals, welche den Unterträgern des Sendesignals entsprechen, in einem Frequenzband anzuord-

nen, welches im Wesentlichen einem L-tel der Bandbreite des Sendesignals B_s entspricht. Somit können die technischen Anforderungen an die spätere Auswertung reduziert werden, da beispielsweise ADC zur Auswertung lediglich für die Bandbreite des Auswertefrequenzbereichs und nicht für die höhere Bandbreite des Empfangssignals bzw. Sendesignals ausgebildet sein müssen.

[0026] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass das Auswerten des Auswertefrequenzbereichs mittels Filterns des Auswertefrequenzbereichs aus dem Auswertesignal erfolgt und/oder mittels Analog/Digital-Wandeln des Auswertefrequenzbereichs zum Erzeugen einer digitalen Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs. Insbesondere kann der Auswertefrequenzbereich mittels eines Bandpassfilters gefiltert werden, wobei der Bandpassfilter einen Durchlassbereich aufweist, welcher zumindest der Bandbreite des Auswertefrequenzbereichs entspricht. Ferner kann die digitale Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs mittels Abtastens des Auswertefrequenzbereichs durch einen ADC erzeugt werden.

[0027] Vorzugsweise weist das Verfahren weitere folgende Schritte auf:

Generieren von L Teilspektren aus der digitalen Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs, wobei die L Teilspektren einer Frequenzkorrektur unterzogen werden können. Insbesondere kann jedes Teilspektrum der L Teilspektren einem Sub-Band der L Sub-Bänder des Sendesignals bzw. des Empfangssignals entsprechen. Durch die Frequenzkorrektur ist es möglich, die durch das Frequenzruntermischen erfolgte Frequenzverschiebung der einzelnen Sub-Bänder zu kompensieren, da diese Frequenzverschiebung ansonsten die Auswertung verfälschen würde.

[0028] Vorzugsweise kann das Verfahren das Zusammensetzen der L Teilspektren zu einem Gesamtspektrum vorsehen. Das Gesamtspektrum entspricht dabei einer digitalen Repräsentation des Empfangssignals, welches mittels digitaler Signalverarbeitung ausgewertet werden kann. Beispielsweise kann das Gesamtspektrum hinsichtlich des Laufzeitverhaltens ausgewertet werden.

[0029] Vorzugsweise kann das Verfahren vorsehen, dass das Sendesignal und/oder das Auswertesignal OFDM-Signale sind. Insbesondere kann das Basissignal, welches zur Erzeugung des Sendesignals dient, derart ausgebildet sein, dass benachbarte Unterträger aller (möglichen) Unterträger des Basissignals, d.h. auch einschließlich zur Datenübertragung genutzte und ungenutzte Unterträger, orthogonal zueinanderstehen. Somit ist es auf einfache Weise möglich, dass die Unterträger im Auswertefrequenz-

bereich unkorreliert und/oder orthogonal zueinander vorliegen, wodurch die Auswertbarkeit der Unterträger vereinfacht wird.

[0030] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Signalverarbeitungssystem, insbesondere ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM Radarsystem, aufweisend:

eine Sendevorrichtung, welche ausgelegt ist zum:

- Erzeugen eines Sendesignals, welches eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand zueinander aufweisen; und

- Senden des Sendesignals; und

eine Empfangsvorrichtung, welche ausgelegt ist zum:

- Empfangen eines Empfangssignals, wobei das Empfangssignal eine Reflexion des Sendesignals darstellt;

- Erzeugen eines auf dem Empfangssignal basierenden Auswertesignals,

wobei das Auswertesignal eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist,

wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern einem L -fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht,

wobei das Auswertesignal einen Auswertefrequenzbereich aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern beinhaltet,

wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und

wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L -tel des ersten Frequenzabstands entspricht; und

- Auswerten des Auswertefrequenzbereichs.

[0031] Das Signalverarbeitungssystem kann ferner dazu ausgebildet sein, das zuvor beschriebene Signalverarbeitungsverfahren auszuführen.

[0032] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Sendevorrichtung für ein Signalverarbeitungssystem, insbesondere für ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM-Radarsystem, welche ausgelegt ist zum:

- Erzeugen eines Sendesignals, welches eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand zueinander aufweisen; und
- Senden des Sendesignals.

[0033] Ferner, betrifft ein Aspekt der Erfindung eine Empfangsvorrichtung für ein Signalverarbeitungssystem, insbesondere ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM-Radarsystem, welche ausgelegt ist zum:

- Empfangen eines Empfangssignals, wobei das Empfangssignal eine Reflexion des Sendesignals darstellt;
- Erzeugen eines auf dem Empfangssignal basierenden Auswertesignals,

wobei das Auswertesignal eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist,

wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern einem L -fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht,

wobei das Auswertesignal einen Auswertefrequenzbereich aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern beinhaltet,

wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und

wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L -tel des ersten Frequenzabstands entspricht; und

- Auswerten des Auswertefrequenzbereichs.

[0034] Vorzugsweise können die Sendevorrichtung und die Empfangsvorrichtung dazu ausgebildet sein, das oben beschriebene Signalverarbeitungsverfahren auszuführen.

Figurenliste

[0035] Nachfolgend wird eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung anhand der beigefügten Figuren beispielhaft erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1A-1F: Frequenzspektren entsprechend verschiedener Schritte eines Signalverarbeitungsverfahrens;

Fig. 2: eine erste Ausführungsform einer Sendevorrichtung eines Signalverarbeitungssystems;

Fig. 3: eine zweite Ausführungsform einer Sendevorrichtung des Signalverarbeitungssystems;

Fig. 4: eine erste Ausführungsform einer Empfangsvorrichtung des Signalverarbeitungssystems; und

Fig. 5: eine zweite Ausführungsform einer Empfangsvorrichtung des Signalverarbeitungssystems.

[0036] Fig. 1A zeigt das Frequenzspektrum eines Basissignals 10 , welches in einem Signalverarbeitungsverfahren zur Erzeugung eines Sendesignals 20 (siehe Fig. 1B) genutzt werden kann. Das Basissignal 10 weist eine dritte Anzahl P von zueinander beabstandeten Unterträgern P auf, wobei in Fig. 1A beispielhaft vier Unterträger ($P1, P2, P3, P4$) dargestellt sind. Die Anzahl P kann dabei eine natürliche Zahl sein, welche größer gleich 2 ist. Benachbarte Unterträger P des Basissignals 10 weisen einen ersten Frequenzabstand Δf_M zueinander auf. Mit anderen Worten, benachbarte Unterträger P des Basissignals 10 sind voneinander durch den ersten Frequenzabstand Δf_M beabstandet. Vorzugsweise kann der erste Frequenzabstand Δf_M zwischen benachbarten Unterträgern P des Basissignals 10 jeweils im Wesentlichen gleichgroß sein. Die Bandbreite des Basissignals B_B entspricht dabei im Wesentlichen dem Produkt der dritten Anzahl P von Unterträgern P und dem ersten Frequenzabstand Δf_M .

[0037] Das Signalverarbeitungsverfahren kann ferner vorsehen, dass aus dem Basissignal 10 das in Fig. 1B gezeigte Sendesignal 20 erzeugt wird. Das Sendesignal 20 weist eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern M auf, wobei M einem L -fachen von P entspricht. Ferner ist L eine natürliche Zahl, die größer gleich zwei (2) ist. Fig. 1B zeigt beispielhaft ein Sendesignal 20 mit insgesamt 16 Unterträgern $M1$ bis $M16$.

[0038] Des Weiteren weisen benachbarte Unterträger M des Sendesignals 20 einen Frequenzabstand zueinander auf, der im Wesentlichen dem ersten Frequenzabstand Δf_M entspricht. Ferner entspricht die Bandbreite des Sendesignals B_S dem Produkt aus der ersten Anzahl M von Unterträgern des Sendesignals 20 und dem ersten Frequenzabstand Δf_M , wodurch die Bandbreite des Sendesignals B_S im Wesentlichen einem L -fachen der Bandbreite des Basissignals B_B entspricht.

[0039] Das Sendesignal 20 lässt sich insbesondere durch Frequenzhochmischen des Basissignals 10 mit L voneinander beabstandeten ersten Trägerfrequenzen erzeugen. Insbesondere weisen benachbarte erste Trägerfrequenzen einen Frequenzabstand zueinander auf, der im Wesentlichen der Bandbreite des Basissignals B_B entspricht. In Fig. 1B liegen jeweils eine Trägerfrequenz der ersten Trägerfrequenzen auf den mit $f_{RF}, f_{RF} + B, \dots, f_{RF} + (L-1) \cdot B_B$ gekennzeichneten Frequenzen. Folglich kann das Sendesignal 20 als ein Signal verstanden werden, welches

aus L Subbändern **S1-S4** besteht, wobei jedes Subband **S1-S4** dem Basissignal **10** gemischt auf die entsprechende erste Trägerfrequenz entspricht. In **Fig. 1B** sind die L Subbänder **S1-S4** verschieden gestrichelt dargestellt. Das Frequenzhochmischen wird weiter untenstehend mit Bezug auf die **Fig. 2** und **Fig. 3** erläutert. Das vorgeschlagene Frequenzhochmischen ist vorteilhaft, da es die einfache Erhöhung der Bandbreite des Sendesignals B_s ermöglicht.

[0040] Alternative kann das zuvor beschriebene Sendesignal **20** auch direkt durch einen Signalgenerator erzeugt werden, ohne dass auf ein Frequenzhochmischen zugegriffen werden muss. So kann beispielsweise das Sendesignal **20** mit einem Signalgenerator direkt im RF-Bereich erzeugt werden, so dass das Sendesignal **20** über eine Antenne abgestrahlt werden kann.

[0041] Des Weiteren ist es auch möglich, das Sendesignal **20** mit der Bandbreite B_s in einem Basisband zu erzeugen und anschließend mit einer einzigen Trägerschwingung in den RF-Bereich hochzumischen. Anschließend kann das Sendesignal **20** über eine Antenne abgestrahlt werden.

[0042] In dem Signalverarbeitungsverfahren ist ferner vorgesehen, dass das Sendesignal **20** gesendet wird, beispielsweise durch eine Sendevorrichtung (siehe **Fig. 2** und **Fig. 3**). Des Weiteren kann eine Empfangsvorrichtung eine Reflexion des Sendesignals **20** als Empfangssignal **30** empfangen. Zur vereinfachten Darstellung wird angenommen, dass das Empfangssignal **30** im Wesentlichen dem in **Fig. 1B** gezeigten Sendesignal **20** entspricht. **Fig. 1B** wird somit zur Erläuterung des Empfangssignals **30** genutzt. Das Empfangssignal **30** weist eine dem Sendesignal **20** entsprechende Anzahl von Unterträgern auf. Des Weiteren entspricht der Frequenzabstand benachbarter Unterträger des Empfangssignals im Wesentlichen dem ersten Frequenzabstand Δf_M des Sendesignals **20**. Demzufolge entspricht die Bandbreite des Empfangssignals im Wesentlichen der Bandbreite des Sendesignals B_s .

[0043] Das Signalverarbeitungsverfahren ist ferner dazu ausgebildet, ein auf dem Empfangssignal **30** basierendes Auswertesignal **40** zu erzeugen. Das Auswertesignal **40** wird im Folgenden mit Bezug auf **Fig. 1C** erläutert. Insbesondere weist das Auswertesignal eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern N auf, wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern N des Auswertesignals **40** einem L -fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern M des Sendesignals **20** entspricht. In **Fig. 1C** besteht das Auswertesignal **40** beispielhaft aus vierundsechzig Unterträgern $N_1 \dots N_{64}$, wobei der Unterträger N_1 der frequenzniedrigste Unterträger und der Unterträger N_{64} der frequenzhöchste Unterträger ist.

[0044] Des Weiteren weist das Auswertesignal **40** zumindest abschnittsweise Frequenzbereiche mit unterschiedlichen Frequenzabständen zwischen benachbarten Unterträgern N des Auswertesignals **40** auf. Insbesondere weist das Auswertesignal einen Auswertefrequenzbereich **42** auf, welcher einer Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern N des Auswertesignals **40** aufweist. Die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge entspricht ferner der ersten Anzahl M von Unterträgern M des Sendesignals. Die Teilmenge von Unterträgern entspricht dabei den in **Fig. 1C** gezeigten Unterträgern Q_1-Q_{16} . Die Unterträger Q_1-Q_{16} entsprechen insbesondere den Unterträgern M_1-M_{16} des Empfangssignals **30** bzw. den reflektierten Unterträgern M_1-M_{16} des Sendesignals **20**. In **Fig. 1C** ist eine beispielhafte Zuordnung der Unterträger Q_1-Q_{16} zu den in der **Fig. 1B** gezeigten Unterträgern M_1-M_{16} dargestellt, wobei $Q_1=M_1$, $Q_5=M_2$, $Q_9=M_3$, $Q_{13}=M_4$, $Q_2=M_5$, $Q_6=M_6$, $Q_{10}=M_7$, $Q_{14}=M_8$, $Q_3=M_9$, $Q_7=M_{10}$, $Q_{11}=M_{11}$, $Q_{15}=M_{12}$, $Q_4=M_{13}$, $Q_8=M_{14}$, $Q_{12}=M_{15}$, $Q_{16}=M_{16}$. Die Reihenfolge ist jedoch nicht wesentlich, es ist lediglich wesentlich, dass alle M Unterträger im Auswertefrequenzbereich **42** enthalten sind, wenn auch anders angeordnet.

[0045] Das Signalverarbeitungsverfahren ist vorteilhafter Weise dazu ausgelegt, die Unterträger Q_1-Q_{16} im Auswertefrequenzbereich **42** derart anzuordnen, dass der Frequenzabstand zwischen benachbarten Unterträgern Q_1-Q_{16} des Auswertefrequenzbereichs **42** im Wesentlichen einem L -tel des ersten Frequenzabstands Δf_M entspricht. Dadurch beträgt die Bandbreite des Auswertefrequenzbereichs B_{AB} im Wesentlichen einem L -tel der Bandbreite des Sendesignals B_s . Des Weiteren sind alle Unterträger M_1-M_{16} des Sendesignals **20** bzw. alle entsprechenden Unterträger M_1-M_{16} des Empfangssignals **30** in dem Auswertefrequenzbereich **42** vorhanden. Dadurch ist es möglich, empfangsseitig einen Analog-Digital-Wandler zum Abtasten des Auswertefrequenzbereichs **42** vorzusehen, der eine wesentlich geringere Abtastrate benötigt, als wenn das auf dem Sendesignal **20** basierende Empfangssignal **30** mit einem Analog-Digital-Wandler abzutasten wäre.

[0046] Vorzugsweise ist das Signalverarbeitungsverfahren derart ausgebildet, dass benachbarte Unterträger Q_1-Q_{16} des Auswertefrequenzbereichs **42** im Wesentlichen unkorreliert zueinander sind und/oder orthogonal zueinanderstehen. Somit ist es möglich, dass die einzelnen Unterträger Q des Auswertefrequenzbereichs **42** möglichst präzise ausgewertet werden können, da die gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Unterträgern Q_1-Q_{16} im Auswertefrequenzbereich **42** reduziert wird.

[0047] Das Signalverarbeitungsverfahren kann insbesondere dazu ausgebildet sein, das Auswertesignal **40** durch Frequenzruntermischen des Emp-

fangssignals **30** mit L voneinander beabstandeten zweiten Trägerfrequenzen zu erzeugen. Insbesondere beträgt der Frequenzabstand benachbarter Trägerfrequenzen der zweiten Trägerfrequenzen der Differenz des Produkts der ersten Anzahl M von Unterträgern und einem L -tel des ersten Frequenzabstands Δf_M , und dem L -tel des ersten Frequenzabstands Δf_M . Somit wird gewährleistet, dass das heruntergemischte Empfangssignal **30** sich nicht überlagert. Vielmehr werden die Subbänder **S1-S4** des Sendesignals **20** bzw. die entsprechenden Subbänder **S1-S4** des Empfangssignals im Auswertefrequenzbereich **42** jeweils um ein L -tel des ersten Frequenzabstands Δf_M zueinander versetzt angeordnet, siehe unterschiedlich gestrichelt dargestellte Subbänder **S1-S4** im Auswertefrequenzbereich.

[0048] Des Weiteren ist das Signalverarbeitungsverfahren dazu ausgebildet, den Auswertefrequenzbereich **42** vorzugsweise mit der Empfangsvorrichtung auszuwerten. Die Auswertung des Auswertefrequenzbereichs **42** wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die **Fig. 1D-1F** erläutert. Vorzugsweise sieht das Signalverarbeitungsverfahren vor, dass beispielsweise mittels Analog-Digital-Wandels des Auswertefrequenzbereichs **42** bzw. ausschließlichen Analog-Digital-Wandels des Auswertefrequenzbereichs **42** eine digitale Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs **42** erzeugt wird. Unter ausschließlichen Analog-Digital-Wandeln des Auswertefrequenzbereichs **42** wird verstanden, dass lediglich die Bandbreite bzw. der Frequenzbereich des Auswertefrequenzbereichs **42** dem Analog-Digital-Wandeln unterzogen wird. D.h. das Analog-Digital-Wandeln ist auf den Auswertefrequenzbereich **42** beschränkt.

[0049] Wie in **Fig. 1D** dargestellt, kann das Signalverarbeitungsverfahren dazu ausgebildet sein, L Teilspektren **50-52-54-56** aus dem Auswertefrequenzbereich **42** bzw. aus der digitalen Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs **42** zu generieren, wobei jedes Teilspektrum der L -Teilspektren **50-52-54-56** einem entsprechenden Subband der L Subbänder **S1-S4** (wie in **Fig. 1B** gezeigt) entspricht. Dabei werden jedem Teilspektrum der L Teilspektren **50-52-54-56** entsprechende Unterträger des Auswertefrequenzbereichs **42** zugeordnet, gekennzeichnet durch die entsprechend gestrichelten Unterträger und Teilspektren in den **Fig. 1C** und **Fig. 1D**. Insbesondere umfasst ein L -tes Teilspektrum den L -ten Unterträger **Q** des Auswertefrequenzbereichs **42** sowie alle weiteren Unterträger des Auswertefrequenzbereichs **42**, welche von dem L -ten Unterträger **Q** mit einem Frequenzabstand beabstandet sind, der im Wesentlichen einem ganzzahligen Vielfachen des ersten Frequenzabstands Δf_M entspricht. Der L -te Unterträger **Q** ist in Bezug auf die weiteren Unterträger der frequenzniedrigste Unterträger.

[0050] Das Signalverarbeitungsverfahren sieht ferner vor, dass die so erhaltenen L Teilspektren **50-52-54-56** einer Frequenzkorrektur unterzogen werden. Durch die Frequenzkorrektur wird ein durch das Frequenzruntermischen verursachter Frequenzoffset in den L Teilspektren **50-52-54-56** korrigiert. Der Frequenzoffset würde beispielsweise bei einer Anwendung des Signalverarbeitungsverfahrens in einem OFDM-Radarsystem dazu führen, dass der Frequenzoffset wie eine zusätzliche Dopplerverschiebung durch bewegte Objekte erscheint. Insbesondere erfolgt die Frequenzkorrektur dadurch, dass jedes L -te Teilspektrum der L -Teilspektren **50-52-54-56** um eine Verschiebungsfrequenz f_v verschoben wird. Die Verschiebungsfrequenz f_v für jedes L -te Teilspektrum entspricht im Wesentlichen folgender Formel:

$$f_v = l * (-\Delta f_M / L) \text{ für } l = (0, 1, \dots, L - 1).$$

Formel 6)

[0051] Die L -Teilspektren **50-52-54-56**, welche der Frequenzkorrektur unterzogen wurden, sind beispielhaft in **Fig. 1E** dargestellt.

[0052] Wie in **Fig. 1F** dargestellt, kann das Signalverarbeitungsverfahren dazu ausgebildet sein, die L -Teilspektren **50-52-54-56** zu einem Gesamtspektrum **60** zusammenzusetzen. Die Bandbreite des Gesamtspektrums **60** entspricht dabei im Wesentlichen der Bandbreite des Empfangssignals **30**. Dieses Gesamtspektrum **60** kann durch anschließende Auswertungsverfahren ausgewertet werden.

[0053] Bei dem zuvor genannten Basissignal **10**, Sendesignal **20** und/oder Empfangssignal **30** handelt es sich insbesondere um elektromagnetische Wellen, wie beispielsweise Radiowellen und/oder Licht.

[0054] Ein beispielhaftes Signalverarbeitungssystem der vorliegenden Erfindung wird nun mit Bezugnahme auf die **Fig. 2** bis **Fig. 5** erläutert. Dabei zeigen die **Fig. 2** und **Fig. 3** jeweils alternative Ausführungsformen einer Sendevorrichtung **200**, die in dem Signalverarbeitungssystem zum Einsatz gelangen können. Weiter zeigen die **Fig. 4** und **Fig. 5** alternative Ausführungsformen einer Empfangsvorrichtung, die in dem Signalverarbeitungssystem zum Einsatz gelangen können.

[0055] Die in der **Fig. 2** gezeigte Sendevorrichtung **200** besteht aus einem Signalgenerator **202**, der dazu ausgelegt ist, das oben genannte Basissignal **10** zu erzeugen. Des Weiteren umfasst die Sendevorrichtung **200** einen Trägerfrequenzgenerator **204**, der dazu ausgelegt ist, die oben genannten L ersten Trägerfrequenzen zu erzeugen. Ferner umfasst die Sendevorrichtung **200** einen Frequenzmischer **206**, der dazu ausgelegt ist, das von dem Signalgenerator **202** erzeugte Basissignal **10** mit den von dem Trägerfre-

quenzgenerator **204** erzeugten L ersten Trägerfrequenzen zu mischen. Des Weiteren ist der Frequenzmischer **206** dazu ausgelegt, das oben beschriebene Sendesignal **20** mittels Frequenzhochmischens des Basissignals **10** mit den L ersten Trägerfrequenzen zu erzeugen. Das so erzeugte Sendesignal **20** kann dann mittels einer Antenne **208** ausgesendet werden.

[0056] Der Signalgenerator **202** kann beispielsweise einen OFDM-Radarsignalgenerator **210** aufweisen, der eine digitale Information **IQ** zur Erzeugung des Basissignals **10** bereitstellt. Durch Verwendung des OFDM-Radarsignalgenerators **210** ist es möglich, ein Basissignal **10** zu generieren, bei dem benachbarter Unterträger aller möglichen Unterträger orthogonal zueinanderstehen. Vorliegend werden jedoch nicht alle möglichen Unterträger des Basissignals **10** genutzt. Vielmehr werden in dem Basissignal **10** lediglich die dritte Anzahl **P** von zueinander beabstandeten Unterträgern genutzt.

[0057] Die digitale Information **IQ** wird ferner einem Digital-Analog-Wandler **212** zugeführt, welcher aus der digitalen Information **IQ** das (analoge) Basissignal **10** generiert. Das so erhaltene Basissignal **10** kann weiter einem Tiefpassfilter **214** zugeführt werden, der Signalanteile des Basissignals **10** oberhalb einer Grenzfrequenz filtert. Ferner kann das Basissignal **10** mittels eines Frequenzmischers **216** mit einer Zwischenfrequenz f_{IF} gemischt werden. Im Anschluss kann das so erhaltene Basissignal **10** mittels eines Bandpassfilters **218** gefiltert werden bevor es dem Frequenzmischer **206** zugeführt wird.

[0058] Der Trägerfrequenzgenerator **204** kann ferner einen Direct Digital Synthesizer (DDS) **220** aufweisen, der dazu ausgelegt ist, L erste Basisträgerfrequenzen ($f_{DDS} = [0 * B_B; 1 * B_B; \dots; (L - 1) * B_B]$) zu erzeugen. Mittels eines Kombinierrers **222** werden die L ersten Basisträgerfrequenzen zu einem Frequenzkamm zusammengeführt, der mit einer Frequenz f_{LO} eines Lokaloszillators **223** gemischt werden kann. Der so erhaltene Frequenzkamm weist die L ersten Trägerfrequenzen auf. Anschließend kann der Frequenzkamm mittels eines Bandpassfilters **224** gefiltert werden.

[0059] Das zuvor erzeugte Basissignal **10** wird in dem Frequenzmischer **206** mit dem so erzeugte Frequenzkamm hochgemischt, um das Sendesignal **20** zu erzeugen. Das so erhaltene Sendesignal **20** kann anschließend einem weiteren Bandpassfilter **226** zugeführt werden, bevor das Sendesignal **20** über die Antenne **208** gesendet wird.

[0060] Die in **Fig. 3** gezeigte Sendevorrichtung **300** unterscheidet sich von der in der **Fig. 2** gezeigten Sendevorrichtung **200** dadurch, dass anstatt eines Frequenzkamms jede der L ersten Trägerfrequenzen $[f_{LO} + 0 * B_B; f_{LO} + 1 * B_B; \dots; f_{LO} + (L - 1) * B_B]$ je-

weils einem separaten Frequenzmischer **302**, **304**, **306** zugeführt wird, um die jeweilige Trägerfrequenz mit dem Basissignal **10** zu mischen. Weitere Elemente der Sendevorrichtung **300**, welche identisch zu den Elementen der Sendevorrichtung **200** sind, werden mit gleichem Bezugszeichen versehen und es wird auf die obigen Ausführungen verwiesen. Die aus den Frequenzmischern **302**, **304**, **306** resultierenden Signale werden anschließend in einem Kombinierrers **308** zu dem Sendesignal **20** kombiniert.

[0061] Der DDS **220** ist wie in der Ausführungsform nach **Fig. 2** dazu ausgelegt, die L ersten Basisträgerfrequenzen ($f_{DDS} = [0 * B_B; 1 * B_B; \dots; (L - 1) * B_B]$) zu erzeugen. Jede der L ersten Basisträgerfrequenzen ($f_{DDS} = [0 * B_B; 1 * B_B; \dots; (L - 1) * B_B]$) kann mittels eines jeweiligen Frequenzmischers **310**, **312**, **314** mit der Frequenz f_{LO} des Lokaloszillators **223** gemischt werden, um die L ersten Trägerfrequenzen zu erhalten. Die entsprechenden L ersten Trägerfrequenzen können anschließend mittels jeweiliger Frequenzmischer **302**, **304**, **306** mit dem Basissignal **10** gemischt werden, um das Sendesignal **20** zu erzeugen. Insbesondere können dabei jedem Frequenzmischer **302**, **304**, **306** eine separate Trägerfrequenz der L ersten Trägerfrequenzen ($[f_{LO} + 0 * B_B; f_{LO} + 1 * B_B; \dots; f_{LO} + (L - 1) * B_B]$) und das Basissignal **10** zugeführt werden, wobei die durch das Frequenzmischen erhaltenen Signale einem Kombinierrers **308** zugeführt werden, um das Sendesignal **20** zu erzeugen. Anschließend kann das Sendesignal **20**, wie in der Sendevorrichtung **200** nach **Fig. 2**, mittels des Bandpassfilters **226** gefiltert werden, bevor es über die Antenne **208** gesendet wird.

[0062] Bezugnehmend auf die **Fig. 4** und **Fig. 5** werden zwei alternative Empfangsvorrichtungen **400**, **500** beschrieben, welche in dem Signalverarbeitungssystem genutzt werden können. Dabei sind gleiche Elemente der **Fig. 4** und **Fig. 5** mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0063] **Fig. 4** zeigt insbesondere eine Antenne **408**, welche dazu ausgelegt ist, eine Reflexion des Sendesignals **20** als Empfangssignal **30** zu empfangen. Das Sendesignal **20** bzw. das Empfangssignal **30** entsprechen dabei jeweils dem oben genannten Sendesignal **20** und Empfangssignal **30**. Das Empfangssignal **30** kann mittels eines Bandpassfilters **404** gefiltert werden, bevor das Empfangssignal einem Frequenzmischer **406** zugeführt wird. Der Frequenzmischer **406** ist dazu ausgelegt, das Empfangssignal **30** mit L zweiten Trägerfrequenzen $[f_{LO} + 0 * (B_B - \Delta f_M / L); f_{LO} + 1 * (B_B - \Delta f_M / L); \dots; f_{LO} + (L - 1) * (B_B - \Delta f_M / L)]$ herunterzumischen, wobei die L zweiten Trägerfrequenzen wie oben beschrieben voneinander beabstandet sind.

[0064] Zum Erzeugen der L zweiten Trägerfrequenzen können L zweite Basisträgerfrequenzen ($f_{DDS} =$

$[0 * (B_B - \Delta f_M / L); 1 * (B_B - \Delta f_M / L); \dots; (L - 1) (B_B - \Delta f_M / L)]$) mittels eines Direct Digital Synthesizer (DDS) **430** erzeugt werden. Mittels eines Kombinierers **410** kann aus den L zweiten Basisträgerfrequenzen ein Frequenzkamm erzeugt werden, der mittels eines Frequenzmischers **412** mit der Frequenz f_{LO} eines Lokaloszillators (nicht gezeigt) gemischt werden kann. Der so erhaltene Frequenzkamm enthält die L zweiten Trägerfrequenzen $[f_{LO} + 0 * (B_B - \Delta f_M / L); f_{LO} + 1 * (B_B - \Delta f_M / L); \dots; f_{LO} + (L - 1) (B_B - \Delta f_M / L)]$. Das Empfangssignal **30** kann mit dem so erhaltenen Frequenzkamm mittels des Frequenzmischers **406** heruntergemischt werden, um das oben beschriebene Auswertesignal **40** zu erzeugen. Vorzugsweise kann der die L zweiten Trägerfrequenzen enthaltende Frequenzkamm vor dem Frequenzmischen im Frequenzmischer **406** mittels eines Bandpassfilters **411** gefiltert werden, um ungewünschte Frequenzanteile zu beseitigen.

[0065] Ferner kann das Auswertesignal mittels eines Bandpassfilters **414** gefiltert werden, um den Auswertefrequenzbereich **42** aus dem Auswertesignal **40** herauszufiltern. Anschließend kann das so gefilterte Auswertesignal **40** mittels eines Frequenzmischers **416** mit einer Zwischenfrequenz f_{IF} gemischt werden. Anschließend kann das so erhaltene Signal mit einem Tiefpassfilter **418** gefiltert werden, bevor es mit einem Analog-Digital-Wandler **420** abgetastet wird, um eine digitale Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs zu erhalten. Die digitale Repräsentation kann anschließend wie oben beschrieben in einer OFDM-Radarprocessing-Einheit **422** ausgewertet werden.

[0066] Die Empfangsvorrichtung **500** gemäß **Fig. 5** unterscheidet sich von der Empfangsvorrichtung **400** nach **Fig. 4** dadurch, dass das Empfangssignal **30**, anstatt mit dem Frequenzkamm, direkt mit den L zweiten Trägerfrequenzen $[f_{LO} + 0 * (B_B - \Delta f_M / L); f_{LO} + 1 * (B_B - \Delta f_M / L); \dots; f_{LO} + (L - 1) (B_B - \Delta f_M / L)]$ heruntergemischt wird. Dazu kann vorgesehen sein, dass mit dem Direct Digital Synthesizer **408** L zweite Basisträgerfrequenzen erzeugt werden ($f_{DDS} = [0 * (B_B - \Delta f_M / L); 1 * (B_B - \Delta f_M / L); \dots; (L - 1) (B_B - \Delta f_M / L)]$), wobei jede Basisträgerfrequenz der L zweiten Basisträgerfrequenzen mittels eines separaten Frequenzmischers **502, 504, 506** mit der Frequenz f_{LO} eines Lokaloszillators (nicht gezeigt) gemischt wird, um die L zweiten Trägerfrequenzen zu erhalten. Das Empfangssignal **30** wird ferner mittels eines jeweiligen Frequenzmischers **508, 510, 512** mit einer entsprechenden Trägerfrequenz der L zweiten Trägerfrequenzen $[f_{LO} + 0 * (B_B - \Delta f_M / L); f_{LO} + 1 * (B_B - \Delta f_M / L); \dots; f_{LO} + (L - 1) (B_B - \Delta f_M / L)]$ heruntergemischt, um das Auswertesignal **40** zu erhalten. Insbesondere können die so gemischten Signale in einem Kombinierer **514** zu dem Auswertesignal **40** zusammengefasst werden. Die anschließende Auswertung des Auswertesignals **40** entspricht der mit Bezug zu **Fig. 4** erläuterten Auswertung des Auswertesignals **40**. Insbesondere kann das Auswertesignal **40** mittels des Bandpassfilters

414 gefiltert werden, um den Auswertefrequenzbereich **42** aus dem Auswertesignal **40** zu filtern.

[0067] Der Auswertefrequenzbereich **42** kann anschließend mit dem Analog-Digital-Wandler **420** abgetastet werden, um die digitale Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs **42** zu erhalten. Anschließend erfolgt die Auswertung der digitalen Repräsentation in der OFDM-Radarprocessing-Einheit **422**.

Bezugszeichenliste

10	Basissignal
20	Sendesignal
30	Empfangssignal
40	Auswertesignal
42	Auswertefrequenzbereich
50-52-54-56	Teilspektren
60	Gesamtspektrum
200, 300	Sendevorrichtung
202	Signalgenerator
204	Trägerfrequenzgenerator
206, 216, 302, 304, 306, 310, 312, 314, 406, 416, 502, 504, 506, 508, 510, 512	Frequenzmischer
208	Antenne (senderseitig)
408	Antenne (empfangsseitig)
210	OFDM-Radarsignalgenerator
212	Digital-Analog-Wandler
214, 418	Tiefpassfilter
218, 224, 226, 404, 411, 414	Bandpassfilter
220, 430	Direct Digital Synthesizer (DDS)
222, 308, 410, 514	Kombinierer
223	Lokaloszillator
400, 500	Empfangsvorrichtung
420	Analog-Digital-Wandler
422	OFDM-Radarprocessing-Einheit

B_B	Bandbreite des Basissignals	wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern einem L-fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht,
B_S	Bandbreite des Sendesignals	wobei das Auswertesignal (40) einen Auswertefrequenzbereich (42) aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern beinhaltet,
B_{AB}	Bandbreite des Auswertefrequenzbereichs	wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und
IQ	digitale Information	wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L-tel des ersten Frequenzabstands (Δf_M) entspricht; und
M	Unterträger des Sendesignals	- Auswerten des Auswertefrequenzbereichs (42) mittels der Empfangsvorrichtung.
N	Unterträger des Auswertesignals	
P	Unterträger des Basissignals	2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erzeugen des Sendesignals (20) mittels Frequenzhochmischens eines Basissignals (10) auf L voneinander beabstandete erste Trägerfrequenzen erfolgt, wobei das Basissignal (10) eine dritte Anzahl P von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist und die dritte Anzahl P von Unterträgern einem L-tel der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht.
Q	Unterträger des Auswertefrequenzbereichs	
Δf_M	erster Frequenzabstand	
f_V	Verschiebungsfrequenz	3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Erzeugen des Auswertesignals (40) mittels Frequenzruntermischens des Empfangssignals (30) mit L voneinander beabstandeten zweiten Trägerfrequenzen erfolgt, wobei vorzugsweise der Abstand benachbarter zweiter Trägerfrequenzen der Differenz des Produkts der ersten Anzahl M von Unterträgern und einem L-tel des ersten Frequenzabstands (Δf_M), und dem L-tel des ersten Frequenzabstands (Δf_M) entspricht.
f_{LO}	Frequenz Lokaloszillator	
f_{IF}	Zwischenfrequenz	
S1-S4	Subbänder Sendesignal/Empfangssignal	

Patentansprüche

1. Signalverarbeitungsverfahren für ein Signalverarbeitungssystem bestehend aus einer Sende- und Empfangsvorrichtung (200, 300, 400, 500), insbesondere für ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM Radarsystem, welches folgende Schritte aufweist:

- Erzeugen eines Sendesignals (20) mittels der Sendevorrichtung (200, 300), wobei das Sendesignal (20) eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand (Δf_M) zueinander aufweisen;
- Senden des Sendesignals (20) mittels der Sendevorrichtung (200, 300);
- Empfangen eines Empfangssignals (30) mittels der Empfangsvorrichtung (400, 500), wobei das Empfangssignal (30) eine Reflexion des Sendesignals (20) darstellt;
- Erzeugen eines auf dem Empfangssignal (30) basierenden Auswertesignals (40) mittels der Empfangsvorrichtung (400, 500), wobei das Auswertesignal (40) eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist,

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Auswerten des Auswertefrequenzbereichs (42) mittels Filterns des Auswertefrequenzbereichs (42) aus dem Auswertesignal (40) erfolgt und/oder mittels Analog-Digital-Wandeln des Auswertefrequenzbereichs (42) zum Erzeugen einer digitalen Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs (42).

5. Verfahren nach Anspruch 4, weiter aufweisend: Generieren von L Teilspektren (50-52-54-56) aus der digitalen Repräsentation des Auswertefrequenzbereichs (42), wobei vorzugsweise die L Teilspektren einer Frequenzkorrektur unterzogen werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, weiter aufweisend: Zusammensetzen der L Teilspektren (50-52-54-56) zu einem Gesamtspektrum (60).

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Unterträger zur Datenübertragung genutzt werden.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Unterträger des Auswertesi-

gnals (40) unkorreliert und/oder orthogonal zueinander sind.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Sendesignal (20) und/oder das Auswertesignal OFDM-Signale sind.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Unterträger der Teilmenge mit den Unterträgern des Sendesignals (20) korrespondieren.

11. Signalverarbeitungssystem, insbesondere ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM Radarsystem, aufweisend: eine Sendevorrichtung (200, 300), welche ausgelegt ist zum:

- Erzeugen eines Sendesignals (20), welches eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand (Δf_M) zueinander aufweisen; und
 - Senden des Sendesignals (20); und
- eine Empfangsvorrichtung (400, 500), welche ausgelegt ist zum:
- Empfangen eines Empfangssignals (30), wobei das Empfangssignal (30) eine Reflexion des Sendesignals (20) darstellt;
 - Erzeugen eines auf dem Empfangssignal (30) basierenden Auswertesignals (40), wobei das Auswertesignal (40) eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern einem L-fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, wobei das Auswertesignal (40) einen Auswertefrequenzbereich (42) aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern beinhaltet, wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L-tel des ersten Frequenzabstands entspricht; und
 - Auswerten des Auswertefrequenzbereichs (42).

12. Sendevorrichtung (200, 300) für ein Signalverarbeitungssystem, insbesondere für ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM-Radarsystem, welche ausgelegt ist zum:

- Erzeugen eines Sendesignals (20), welches eine erste Anzahl M von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei benachbarte Unterträger der ersten Anzahl M von Unterträgern einen ersten Frequenzabstand (Δf_M) zueinander aufweisen, wobei das Erzeugen des Sendesignals (20) mittels Frequenzhochmischens eines Basissignals (10) auf L voneinander beabstandete erste Trägerfrequenzen erfolgt, wobei das Basissignal (10) eine dritte Anzahl

P von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist und die dritte Anzahl P von Unterträgern einem L-tel der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht; und

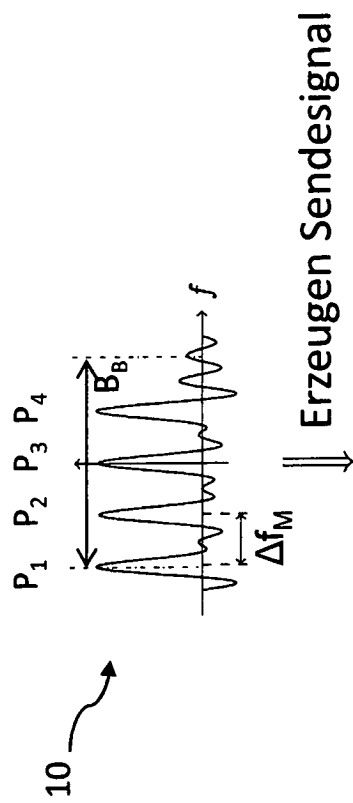
- Senden des Sendesignals (20).

13. Empfangsvorrichtung (400, 500) für ein Signalverarbeitungssystem, insbesondere ein Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radarsystem, OFDM-Radarsystem, welche ausgelegt ist zum:

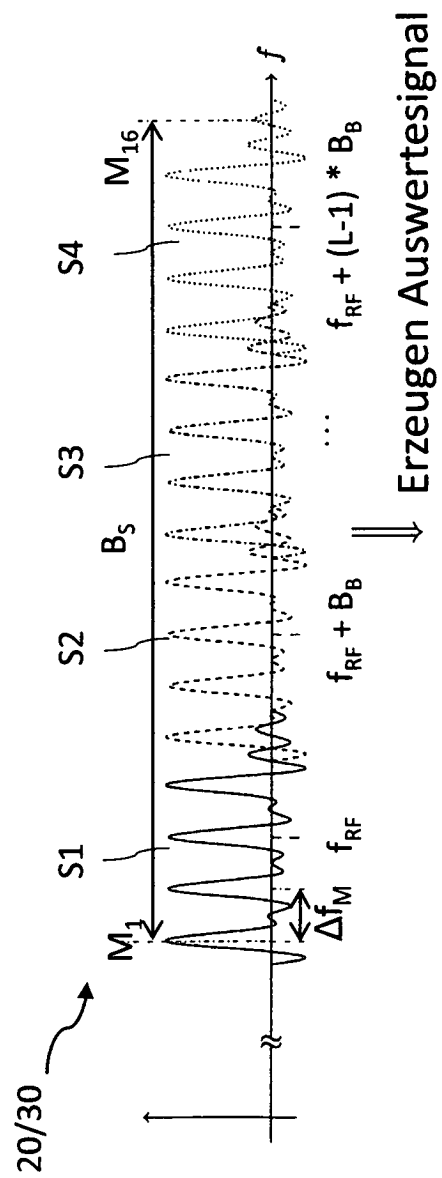
- Empfangen eines Empfangssignals (30), wobei das Empfangssignal (30) eine Reflexion eines von einer Sendeinheit (200, 300) gemäß Anspruch 12 gesendeten Sendesignals (20) darstellt;
- Erzeugen eines auf dem Empfangssignal (30) basierenden Auswertesignals (40), wobei das Auswertesignal (40) eine zweite Anzahl N von zueinander beabstandeten Unterträgern aufweist, wobei die zweite Anzahl N von Unterträgern einem L-fachen der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, wobei das Auswertesignal (40) einen Auswertefrequenzbereich (42) aufweist, welcher eine Teilmenge von Unterträgern der zweiten Anzahl N von Unterträgern beinhaltet, wobei die Anzahl Q von Unterträgern der Teilmenge der ersten Anzahl M von Unterträgern entspricht, und wobei der Frequenzabstand benachbarter Unterträger der Teilmenge einem L-tel des ersten Frequenzabstands (Δf_M) entspricht; und
- Auswerten des Auswertefrequenzbereichs (42).

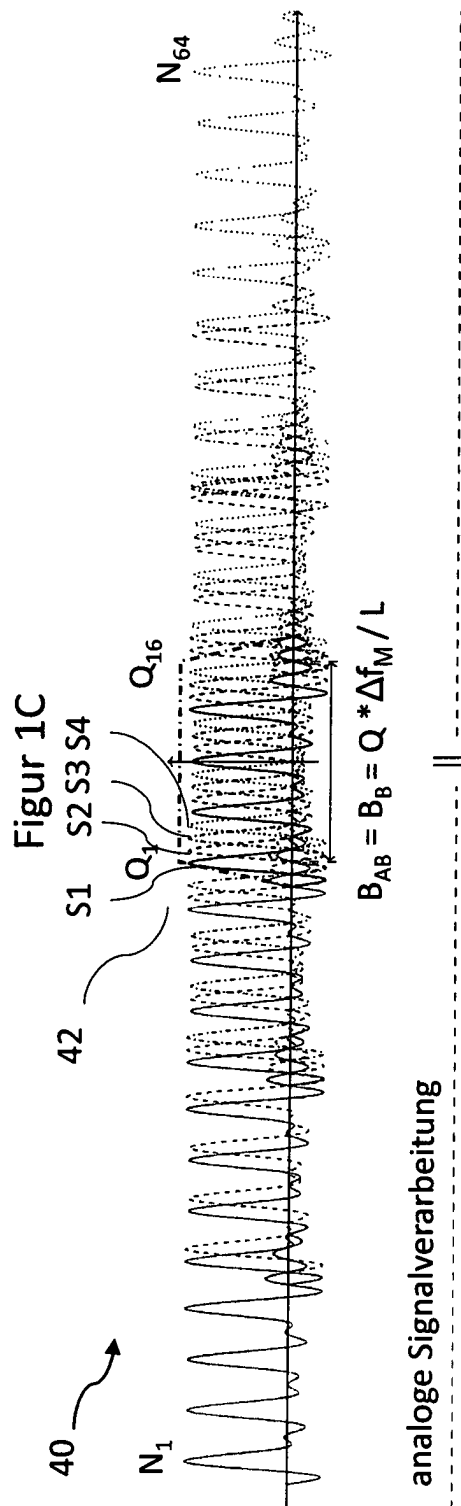
Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Figur 1A

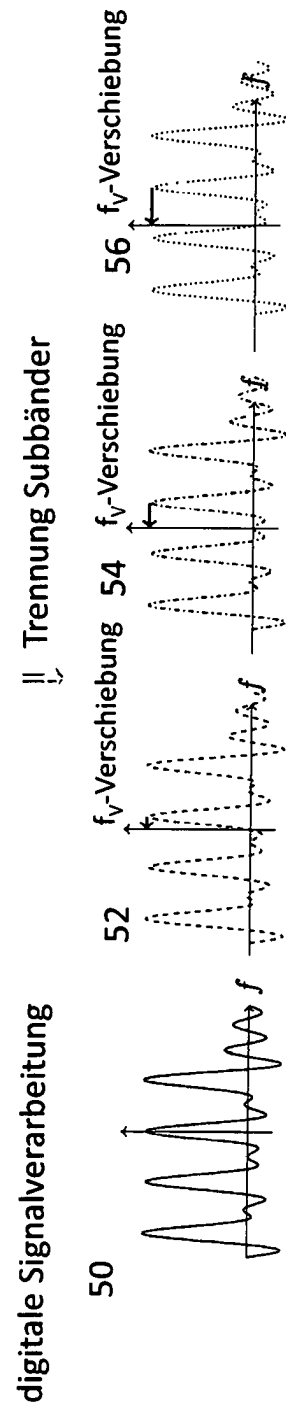


Figur 1B

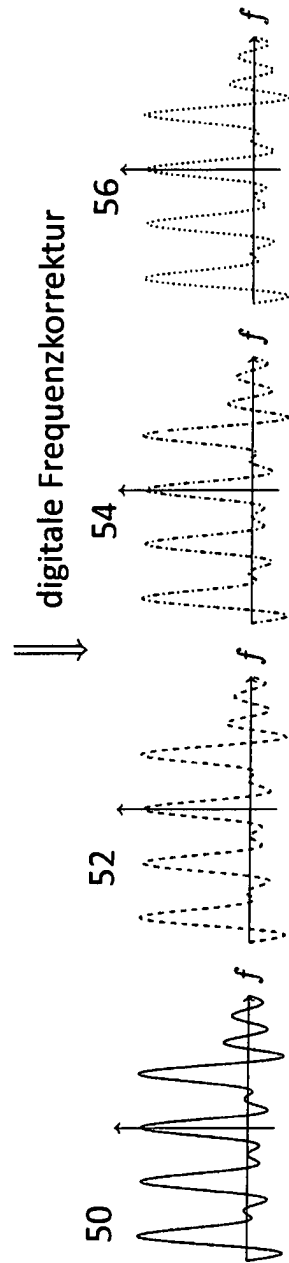




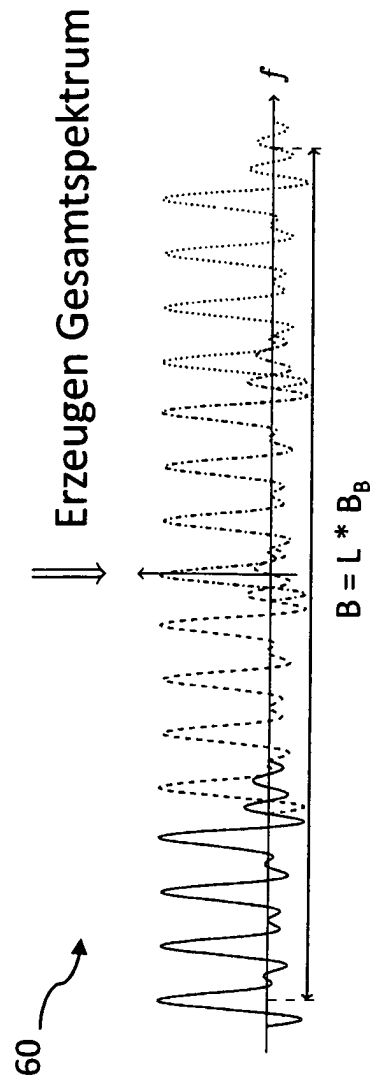
Figur 1D



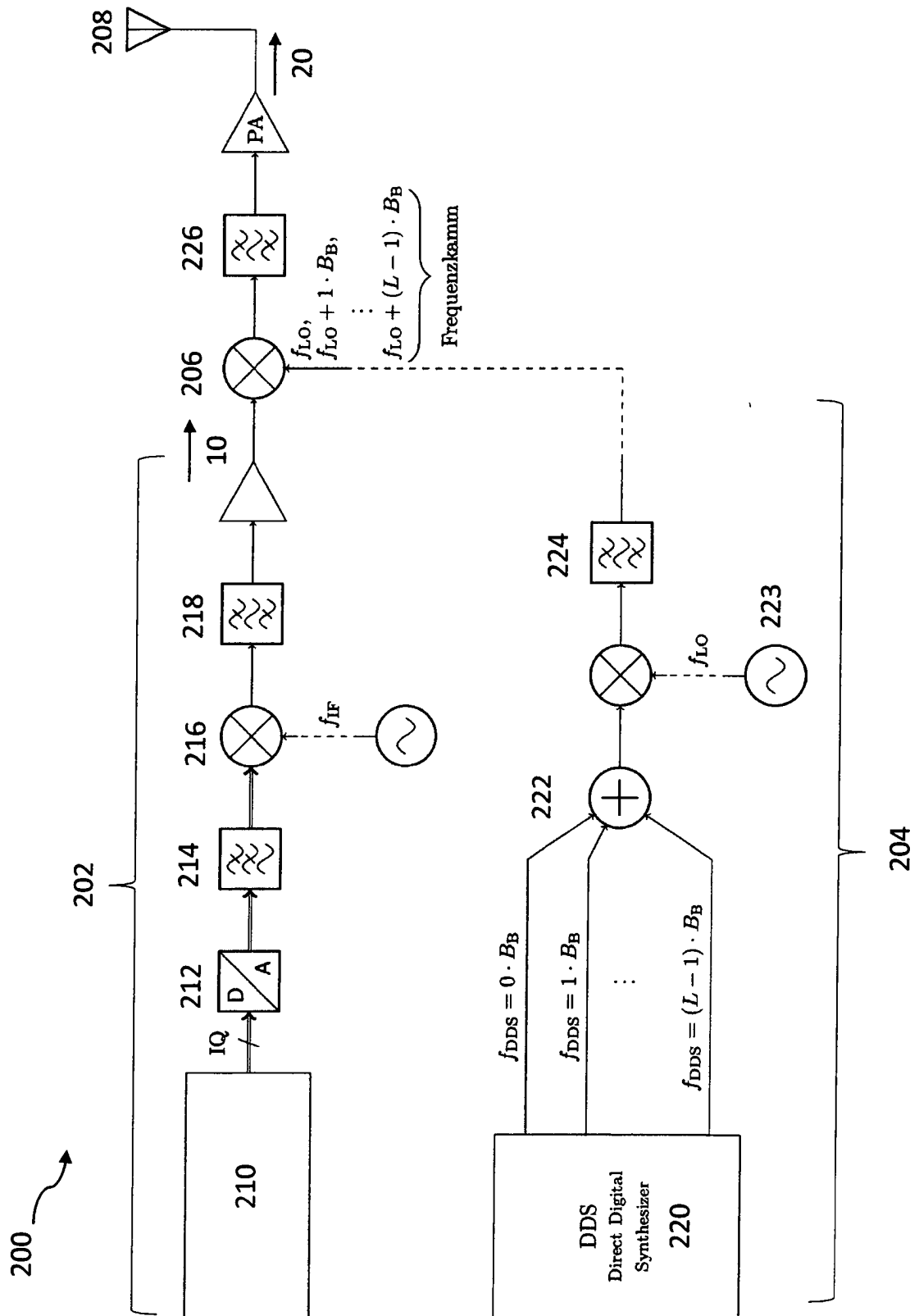
Figur 1E



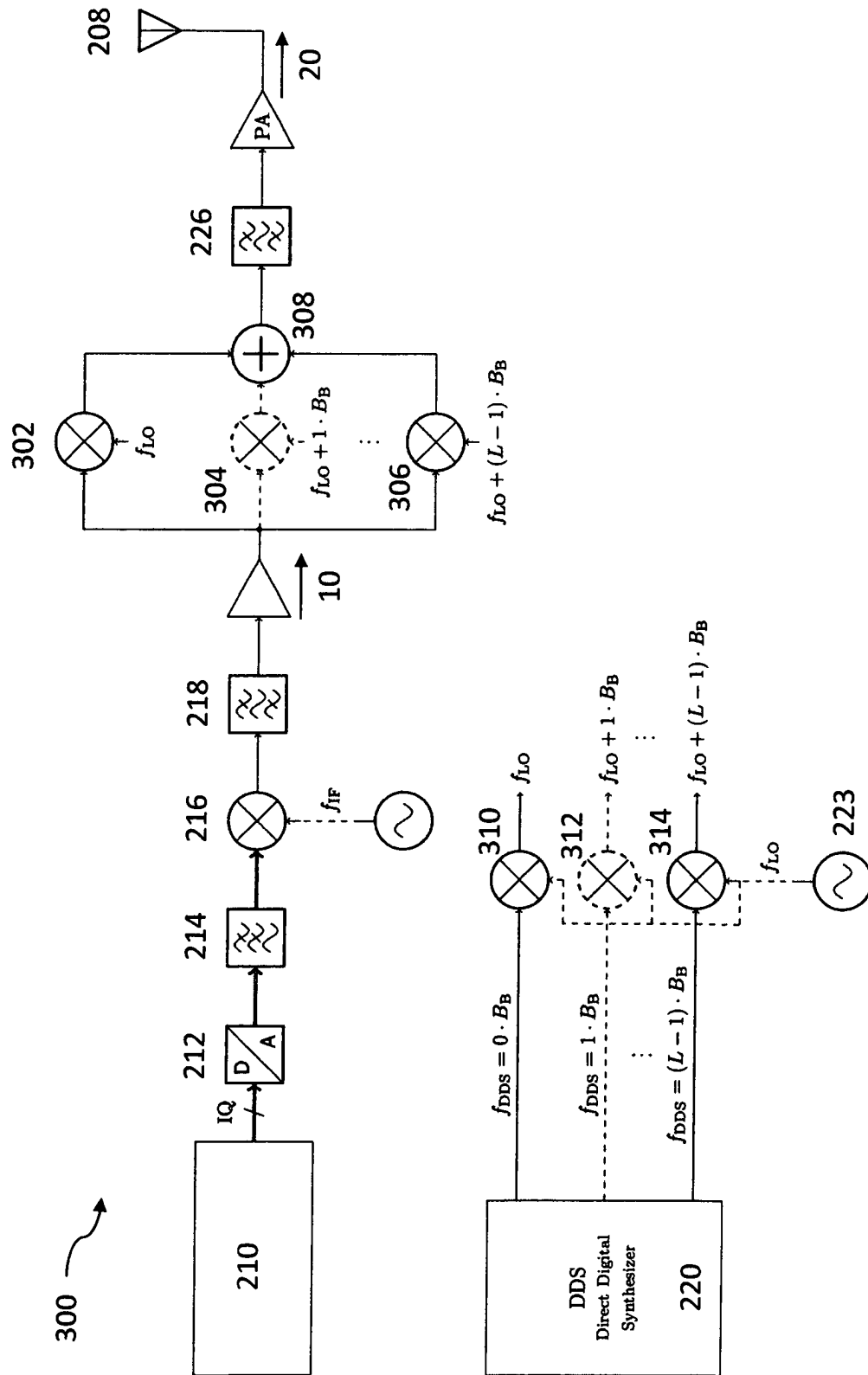
Figur 1F



Figur 2



Figur 3



Figur 4

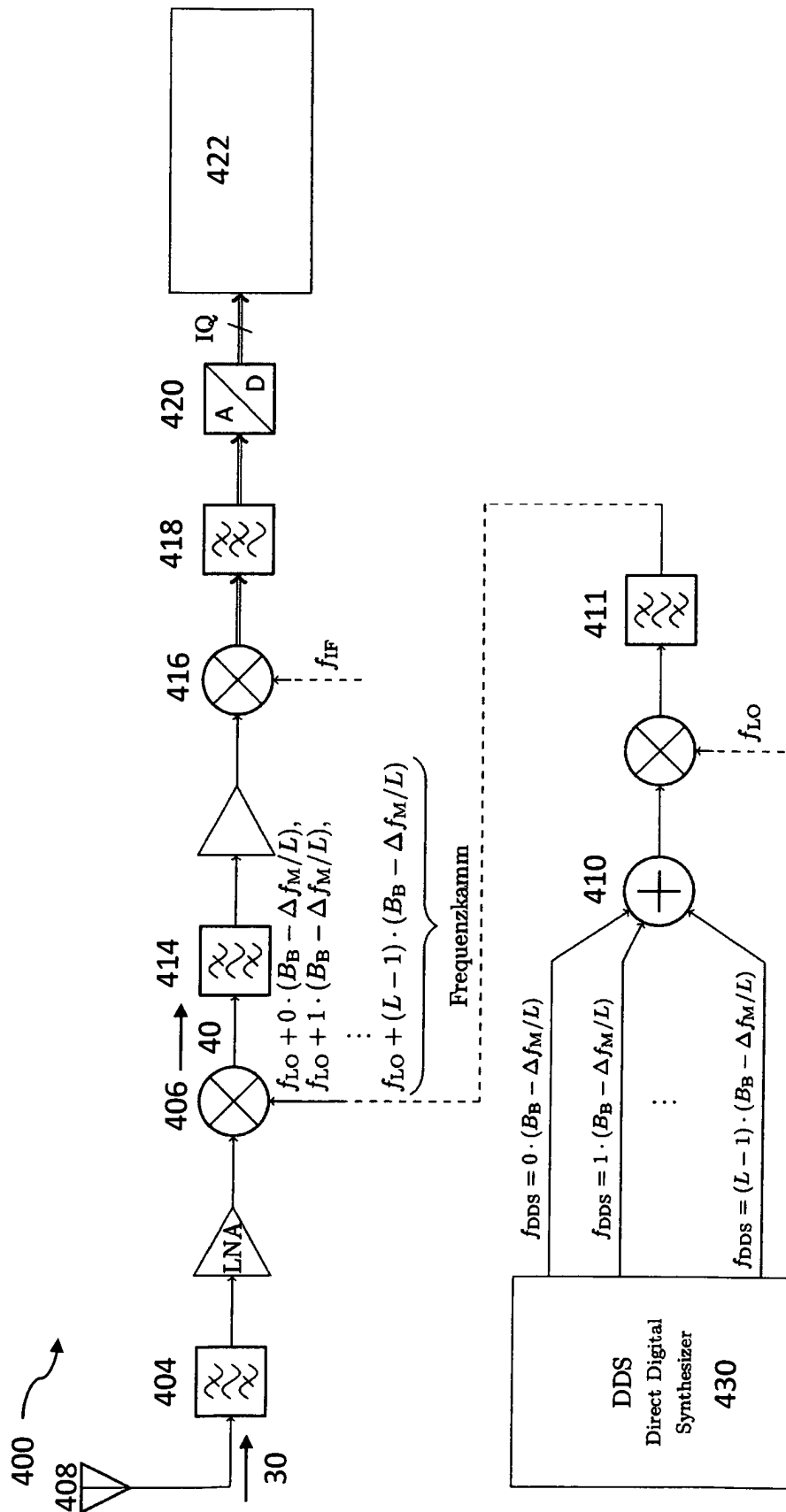


Figure 5

