

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. März 2019 (21.03.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/052685 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H04W 24/00 (2009.01) *G01S 5/02* (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/000434

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. September 2018 (17.09.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 008 647.8
15. September 2017 (15.09.2017) DE
62/559,116 15. September 2017 (15.09.2017) US

(71) Anmelder: METIRIONIC GMBH [DE/DE]; Strehleener
Strasse 12-14, 01069 Dresden (DE).

(72) Erfinder: EGGERT, Dietmar; Reickerstrasse 23 D,
01219 Dresden (DE).

(74) Anwalt: KOCH MÜLLER PATENTANWALTS-
GESELLSCHAFT MBH; Maaßstrasse 32/1, 69123 Hei-
delberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD FOR RADIO MEASURING APPLICATIONS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN FÜR FUNKMESSANWENDUNGEN

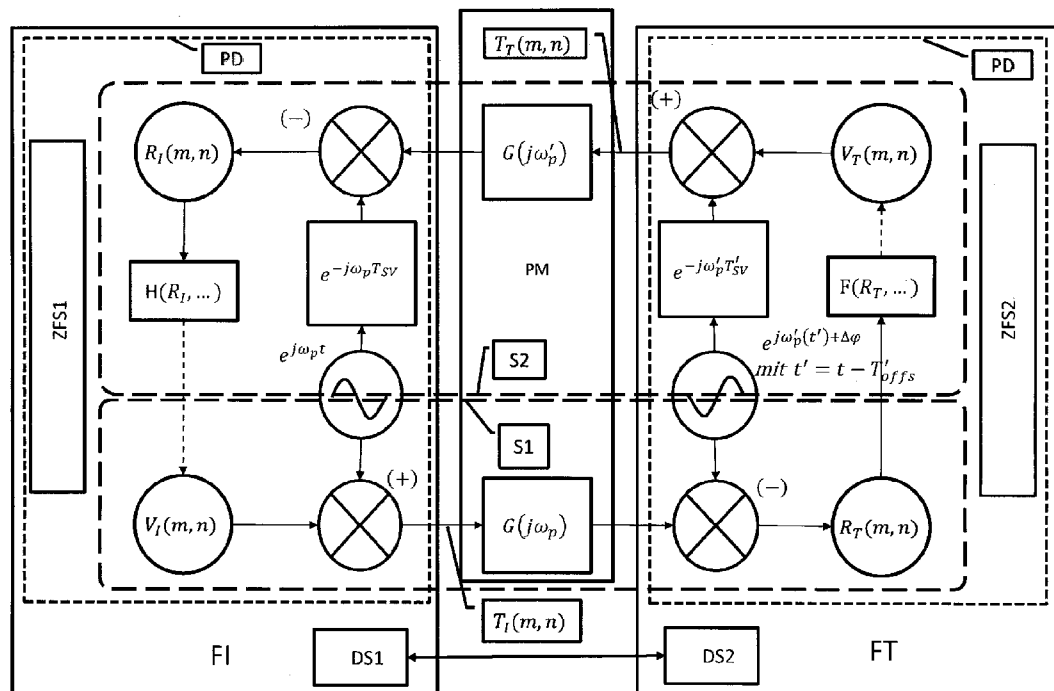


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for radio measuring applications, wherein a first radio node functions as an initiator and a second radio node functions as a transponder, each radio node having its own timer and a data interface, wherein, in a first step, a first carrier frequency is transmitted by the initiator as an initial signal and the initial signal is received by the transponder during a first receiving time period, in a second step, a response signal is transmitted by the transponder with a second carrier frequency and the response signal is received by the initiator during a second receiving time period, the initial signal and the response signal are consistent at least during each step sequence, the carrier frequency of the initial signal is changed within a predetermined frequency range with each repetition, and the method comprises a first mode and a second mode, wherein in the first mode, the response signal is formed



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

at least from a portion of the received initial signal and a transfer function is determined based on at least one portion of the received response signal, and in the second mode, the response signal is formed independently from the received initial signal and a transfer function is determined based on a portion of the received response signals and a portion of the received and transferred initial signals.

(57) **Zusammenfassung:** Verfahren für Funkmessenwendungen, wobei ein erster Funkknoten als Initiator und ein zweiter Funkknoten als Transponder arbeitet, jeder Funkknoten einen eigenen Zeitgeber und eine Datenschnittstelle aufweist, in einem ersten Schritt von dem Initiator eine erste Trägerfrequenz als ein Initialsignal gesendet wird und von dem Transponder während eines ersten Empfangszeitraums das Initialsignal empfangen wird, in einem zweiten Schritt von dem Transponder mit einer zweiten Trägerfrequenz ein Antwortsignal gesendet wird und von dem Initiator während eines zweiten Empfangszeitraums das Antwortsignal empfangen wird, das Initialsignal und das Antwortsignal zumindest während jeder Schrittfolge kohärent sind, die Trägerfrequenz des Initialsignals bei jeder Wiederholung innerhalb eines vorbestimmten Frequenzbereichs geändert wird und das Verfahren einen ersten Modus und einen zweiten Modus umfasst, wobei in dem ersten Modus das Antwortsignal zumindest aus einem Teil des empfangenen Initialsignals gebildet und eine Transferfunktion anhand zumindest eines Teils der empfangenen Antwortsignale ermittelt wird und in dem zweiten Modus das Antwortsignal unabhängig von dem empfangenen Initialsignal gebildet wird, und eine Transferfunktion anhand eines Teils der empfangenen Antwortsignale und eines Teils der empfangenen und übermittelten Initialsignale ermittelt wird.

Verfahren für Funkmessenanwendungen

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für Funkmessenanwendungen mit wenigstens zwei Funkknoten zur Ermittlung einer Transferfunktion und/oder
10 eines Zeitversatzes zwischen den Funkknoten.

Es gibt eine Vielzahl von Verfahren zur Abstandsermittlung auf Basis der Messung von Phasen und Phasen-Differenzen von Referenz-Signalen im Frequenzbereich. Das Grundprinzip ist seit mehr als 50 Jahren bekannt, z.B. aus
15 der US 3 243 812. Das Verfahren wird seit Jahrzehnten in Verschiedenen Applikation angewandt. Neben einer Vielzahl von Publikation gibt es auch eine ganze Reihe von Patenten.

Aus der DE 10 2009 060 505 B4 ist ein Verfahren zur Kommunikation
20 zwischen zwei Funkknoten bekannt, wobei die Funkknoten wechselseitig Signale senden und empfangen und die Trägerfrequenzen der Signale für jede Wiederholung geändert werden. Die von dem zweiten Funkknoten extrahierten Phasenwerte werden im Anschluss an den ersten Funkknoten rückübertragen und dann mit den empfangenen Signalen des ersten
25 Funkknoten ausgewertet, um einen Abstand zwischen den beiden Funkknoten zu bestimmen.

Aus der DE 10 2009 060 593 A1 ist ein weiteres Verfahren zur Entfernungsmessung zwischen zwei Funkknoten bekannt, wobei die
30 Funkknoten unmodulierte Trägersignale austauschen, jeder Funkknoten zwei Phasenwerte für zwei Frequenzen ermittelt und aus den insgesamt vier Phasenwerten die Entfernung zwischen den Funkknoten bestimmt wird.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Alternative Verfahren zur Entfernungsmessung zwischen zwei Funkknoten sind aus der DE 10 2009 592 B4 und der DE 10 2009 060 591 A1 bekannt.

5 Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Vorrichtung anzugeben, die den Stand der Technik weiterbildet.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren für Funkmessenanwendungen mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

10

Gemäß dem Gegenstand der Erfindung wird ein Verfahren für Funkmessenanwendungen vorgeschlagen, wobei wenigstens zwei Funkknoten bereitgestellt werden.

15 Mindestens ein erster Funkknoten arbeitet als Initiator und mindestens ein zweiter Funkknoten arbeitet als Transponder.

Der erste Funkknoten und der zweite Funkknoten weisen jeweils einen Zeitgeber und eine Datenschnittstelle auf.

20

Zwischen den Zeitgebern des ersten Funkknotens und des zweiten Funkknotens besteht ein Zeitversatz.

25 In einem ersten Schritt wird von dem Initiator eine erste Trägerfrequenz als ein Initialsignal gesendet und von dem Transponder während eines ersten Empfangszeitraums das Initialsignal empfangen.

30 In einem zweiten Schritt wird von dem Transponder mit einer zweiten Trägerfrequenz ein Antwortsignal gesendet und von dem Initiator während eines zweiten Empfangszeitraums das Antwortsignal empfangen.

Eine Schrittfolge aus dem ersten Schritt und dem zweiten Schritt in der genannten Reihenfolge wird wenigstens einmal wiederholt, wobei das

Initialsignal und das Antwortsignal zumindest während jeder Schrittfolge kohärent sind.

Die Trägerfrequenz des Initialsignals und die Trägerfrequenz des Antwortsignals werden bei jeder Wiederholung innerhalb eines vorbestimmten Frequenzbereichs geändert.

Das Verfahren umfasst einen ersten Modus und einen zweiten Modus.

10 In dem ersten Modus wird das Antwortsignal zumindest aus einem Teil des empfangenen Initialsignals gebildet und eine Transferfunktion und/oder der Zeitversatz anhand zumindest eines Teils der empfangenen Antwortsignale ermittelt.

15 In dem zweiten Modus wird das Antwortsignal unabhängig von dem empfangenen Initialsignal gebildet und mindestens zwei empfangene Initialsignale werden mittels der Datenschnittstelle übermittelt und mindestens eine Transferfunktion und/oder der Zeitversätze anhand zumindest eines Teils der empfangenen Antwortsignale und zumindest eines
20 Teils der empfangenen und übermittelten Initialsignale ermittelt.

Es versteht sich, dass jeder Funkknoten eine Empfangseinheit, eine Sendeeinheit, einen Signalprozessor, eine Datenschnittstelle und wenigstens eine Antenne umfasst. Des Weiteren versteht es sich, dass in einem Schritt
25 jeweils nur ein Funkknoten sendet.

Es sei angemerkt, dass der Ausdruck Zeitbasis und der Ausdruck Zeitdomäne synonym verwendet werden.

30 Umfasst ein Funkknoten mehrere Antennen, so wird das Initialsignal und/oder das Antwortsignal von einer der Antennen gesendet oder das Initialsignal und/oder das Antwortsignal wird von mehreren Antennen abgestrahlt. Beispielsweise strahlen die Antennen während eines Sendezeitraums sequentiell nacheinander ab. Der Sendezeitraum ist hierfür

z.B. in mehrere Zeitfenster unterteilt, wobei jeweils eine der Antennen während eines Zeitfensters sendet. Es versteht sich, dass auch der Empfang der Signale entsprechend organisiert sein kann.

- 5 Alle mit dem erfindungsgemäßen Verfahren übermittelten Werte bzw. Signalvektoren können durch geeignete Verschlüsselungsmechanismen manipuliert werden, um die ablaufenden Vorgänge entsprechend zu schützen. So kann beispielsweise jeder Signalvektor mit einem zeitlich veränderlichen Zahlenfolge belegt werden, der nur dem Initiator und dem
10 Transponder a priori bekannt sind.

Die Datenschnittstelle ist gemäß alternativer Ausführungsformen drahtgebunden oder drahtlos ausgebildet und ermöglicht den Austausch von Daten, z.B. von ermittelten Signalvektoren, sowie die grobe Synchronisation
15 der Funkknoten.

Als Initiator wird ein Funkknoten bezeichnet, der in einem ersten Schritt ein Signal aussendet.

- 20 Als Transponder wird ein Funkknoten bezeichnet, der das in einem ersten Schritt ausgesendete Signal empfängt und verarbeitet. Erst in einem zweiten Schritt sendet der Transponder ein Antwortsignal zurück.

Mittels des Verfahrens lassen sich ein Zeitversatz zwischen den einzelnen
25 Zeitgebern und/oder eine Transferfunktion bestimmen. Voraussetzung ist, dass eine Kohärenz zwischen den Signalen des ersten Schritts und den Signalen des zweiten Schritts besteht.

Die Transferfunktion bildet die Übertragungseigenschaften zwischen zwei
30 Funkknoten im Frequenzbereich ab, also die Übertragung eines Signals über ein Ausbreitungsmedium, und stellt im Bereich der drahtlosen Datenübertragung eine übliche Bezeichnung dar. Vielfach wird die Transferfunktion auch als Übertragungsfunktion bezeichnet.

Es versteht sich, dass sich mittels einer Fourier-Transformation die aufgenommen Werte aus dem Frequenzbereich in den Zeitbereich transformieren lassen. Im Zeitbereich ist für das Übertragungsverhalten eines Ausbreitungsmediums auch der Begriff Kanalimpulsantwort üblich.

5

Das Verfahren umfasst einen ersten und einen zweiten Modus, wobei jeder Modus für sich geschlossen ist. Maßgeblich für Modus 1 ist, dass innerhalb des Signalaustauschs zusätzliche Informationen innerhalb des Messsignals übermittelt werden, während Modus 2 ausschließlich die Datenschnittstelle für die Übertragung dieser Informationen nutzt. Ein System arbeitet jeweils innerhalb eines Zeitraums in einem der Modi. Ein Übergang zwischen den Modi ist möglich.

Mittels des Verfahrens ist es möglich, eine Übertragungsfunktion für das Ausbreitungsverhalten eines Ausbreitungsmediums von dem Initiator zu dem Transponder oder von dem Transponder und zu dem Initiator (auch als 1WR-Einwegtransferfunktionen bezeichnet) oder für einen Umlauf, also eine Übertragung von dem Initiator zu dem Transponder und von dem Transponder zu dem Initiator zurück (auch als 2WR-Umlauftransferfunktion bezeichnet) zu bestimmen.

Aus der ermittelten Transferfunktion im Frequenzbereich lässt sich wiederum der Abstand zwischen den beteiligten Funkknoten bestimmen.

Dabei kommt insbesondere dem Phasengang zwischen den Signalen eine besondere Bedeutung zu. Wird das Ausbreitungsverhalten innerhalb eines Mediums von dem direkten Pfad dominiert, dann lässt sich aus dem Phasengang über eine Ableitung die Gruppenlaufzeit t_g der elektromagnetischen Welle ermitteln.

30
$$t_g = \frac{d\phi}{d\omega}$$

Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der elektromagnetischen Welle entsteht eine direkte Beziehung zu dem Abstand d zwischen den Funkknoten entsprechend $d = c \cdot t_g$.

Kennzeichnend für alle Messverfahren ist das wechselseitige Senden eines Referenzsignals, also des Initialsignals bzw. des Antwortsignals, das vom anderen Knoten empfangen wird, wobei dabei die Lage des Empfangssignals in der komplexen Ebene bzgl. seiner internen Zeitreferenz bewertet wird.

Eine Schrittfolge aus dem ersten Schritt und dem zweiten Schritt stellt eine Kernoperation dar, die auch als Atomic Operation oder als Ping-Pong bezeichnet wird.

Die Phasenkohärenz muss im Minimum über eine Schrittfolge erhalten sein.

Der Übertragungskanal ist in vielen Fällen durch mehrere Wege gekennzeichnet, wobei neben der direkten Verbindung zwischen zwei Funkknoten auch weitere Pfade durch Reflexion an Gegenständen und/oder durch Brechung und/oder durch Beugung entstehen können.

Um mehrere Wege in den empfangenen Signalen aufzulösen wird die Schrittfolge, also das wechselseitige Senden und Empfangen von Referenzsignalen, in Frequenzschritten über eine Bandbreite (vorbestimmten Frequenzbereich) mehrfach wiederholt. Hierdurch lässt sich die Transferfunktion basierend auf einer Menge von Stützstellen im Frequenzbereich ermitteln.

Die Bandbreite des vorbestimmten Frequenzbereichs ist bestimmend für die Fähigkeit des Verfahrens, Signal-Pfade mit unterschiedlichen Längen aufzulösen. Da es sich um eine frequenz-diskrete Darstellung handelt, bestimmt die Frequenzschrittweite den Bereich über den sich ein Abstand eindeutig ermitteln lässt und begrenzt gleichzeitig die Größe der eindeutig bestimmbar Zeitversätze.

Eine Vielzahl von Schrittfolgen wird als Messzyklus bezeichnet. Die Zeitdauer des Messzyklus ist von der Anzahl, Art und Zeitdauer der einzelnen Schrittfolgen und der verwendeten Frequenzen abhängig.

Die Erhaltung der Phasenkohärenz der Signale über einen abgegrenzten Zeitraum und zwischen Funkknoten ist eine wichtige Eigenschaft des Verfahrens und eine Voraussetzung für eine Rekonstruktion des
5 Signalverlaufs.

Die Kohärenz-Forderung ist je nach Ausführung auf mehrere Schrittfolgen, also einen Messzyklus oder auch mehrere Messzyklen auszuweiten.

10 Neben dem Abstand ist auch eine Extraktion von weiteren Parametern, z.B. einem Einfallswinkel zwischen Funkknoten (zwei oder mehrere) für eine relative Positionsbestimmung, möglich. Dazu sind die Empfangssignale mehrerer Antennen auszuwerten bzw. die Sendesignale auf mehrere Antennen determiniert zu verteilen. Dies kann parallel/gleichzeitig durch
15 Nutzung mehrerer Sende- und Empfangseinheiten erfolgen. Alternative kann auch die Antennenzuordnung zeitlich nacheinander auf verschiedenen Zeitfenstern innerhalb der Schrittfolge und durch Umschalten der Antennen zwischen den Zeitfenstern erfolgen. Beim Umschalten sind entsprechende Einschwingvorgänge zu beachten.

20 Vorzugsweise entspricht der vorbestimmte Frequenzbereich beispielsweise dem zur Verfügung stehenden Frequenzbereich, richtet sich also nach den von den verwendeten Funkknoten zur Verfügung gestellten Bandbreiten. Alternativ wird der technisch mögliche Frequenzbereich aufgrund gesetzlicher
25 Vorgaben und/oder aufgrund einer konkreten Anwendung eingeschränkt, so dass der vorbestimmte Frequenzbereich nur einen Teilbereich des zur Verfügung stehenden Frequenzbereichs umfasst.

Jeder Funkknoten folgt einem festen zeitlichen Ablauf, der fest an den
30 Zeitgeber und die entsprechende Zyklussteuerung gebunden und daher deterministisch ist. Damit haben alle Funktionsblöcke über die erforderlichen Zeiträume einen festen Zeit- und Phasenbezug und erfüllen die jeweiligen Forderungen nach Phasenkohärenz. Da das Zeitverhalten der Funkknoten unter den Knoten a-priori (mit Ausnahme von Initialphasenlage, Zeit- und

Frequenzoffset) bekannt ist, entsteht eine Kohärenzbeziehung zwischen den Funkknoten.

5 Für den Ablauf des Verfahrens ist es jedoch wichtig, dass die entsprechenden Sende- und Empfangszeiträume (ggfs. auch Sende- und Empfangszeitfenster) sich gegenüberstehen und entsprechende Einschwingvorgänge abgeschlossen sind, d.h. ein stationärer Zustand hergestellt wird.

10 Die tolerierbare Schwankung des Zeitversatzes, die durch eine Grob-Synchronisation abgesichert wird, orientiert sich an der Größe des Messbereichs und sollte z.B. bei einem Messbereich von 300m geringer als 1µs sein um erhöhte Aufwände in Zeit- und Frequenzoffsetkorrektur zu vermeiden. Die erreichbare Messgenauigkeit im 2.4GHz Bereich liegt bei
15 unter einem 1m.

Bzgl. dieser Eigenschaft unterscheidet sich dieses Verfahren maßgeblich von etablierten UWB TDOA (Time Difference of Arrival) Verfahren. Da hier die Messgenauigkeit durch die Synchronisation bestimmt wird, muss die
20 Synchronisationsgüte bei vergleichbarer Genauigkeit besser als 3ns sein.

Wie angemerkt, verfügt jeder Funkknoten über eine eigene Zeitreferenz. Vorzugsweise ist die Zeitreferenz als Quarzoszillator (XTAL/XOSC) ausgebildet. Es versteht sich, dass der grobe Zeitabgleich nicht die Ermittlung
25 des tatsächlichen Zeitoffsets bei einer Kernoperation ersetzt, sondern eine Voraussetzung ist.

Ein Vorteil ist, dass sich die Flexibilität des Verfahrens und die Zuverlässigkeit erhöht. Ein anderer Vorteil ist, dass sich das Verfahren schneller und
30 kostengünstiger durchführen lässt. Insbesondere lässt sich das Verfahren vorteilhaft bei Ermittlung der Position von Funkknoten im Bereich der Sensornetzwerke einsetzen. Des Weiteren erlaubt das Verfahren hochauflösende Abstandsmessungen in großen Reichweitenbereichen, d.h. in einem Bereich von 0.5 m bis 10 Km, durchzuführen. Insbesondere mittels der

Verwendung von Schmalbandarchitekturen, d.h. Kanalfilterbandbreite kleiner 1MHz, werden ein hoher Dynamikbereich und eine hohe Störfestigkeit erreicht.

- 5 Die Ermittlung des Zeitoffsets bzw. des Zeitversatzes zweier an der Kommunikation beteiligter Funkknoten ist für eine Weiterverarbeitung der Messergebnisse von Bedeutung.

- 10 In einer Weiterbildung lässt sich der Zeitversatz auch für die Synchronisation von Einheiten eines Systems verwenden und besitzt daher eine wichtige Bedeutung.

- 15 Als Datenschnittstelle wird jede weitere Art eines Datenaustauschs bezeichnet, also beispielsweise ein Kommunikationsprotokoll für einen drahtlosen Austausch, z.B. Bluetooth, Zigbee oder IEEE 802.11, welches einen Austausch von Datenframes zur groben Synchronisation ermöglicht. Alternativ kann die Datenschnittstelle als eine Datenleitung bzw. Anschluss für eine Datenleitung ausgebildet sein.

- 20 Wird gemäß dem ersten Modus das Antwortsignal zumindest aus einem Teil des empfangenen Initialsignals gebildet, so werden entsprechend Informationen über das empfangene Initialsignal direkt an den Initiator zurück übermittelt. Das empfangene Antwortsignal enthält somit Informationen über Hin- und Rückweg zwischen den Funkknoten. Dies
25 ermöglicht es, allein anhand der empfangenen Antwortsignale die 2WR-Transferfunktion zu ermitteln.

- Wird gemäß dem zweiten Modus das Antwortsignal unabhängig von dem Initialsignal gebildet, so wird gemäß einer ersten alternativen
30 Ausführungsform mindestens ein von dem Transponder ermittelter Empfangssignalvektor mittels der Datenschnittstelle an den Initiator übermittelt. So kann die weitere Auswertung von dem Initiator oder einer mit dem Initiator kommunizierenden Recheneinheit vorgenommen werden.

Anhand der empfangenen Antwortsignale und der empfangene und übermittelten Initialsignale kann die 2WR-Transferfunktion ermittelt werden.

Der Zeitversatz lässt sich anhand von mindestens zwei empfangenen Initialsignalen und mindestens zwei empfangenen Antwortsignalen bestimmen. Die Ermittlung des Zeitversatzes ist eine notwendige Voraussetzung für die Bestimmung der 1WR-Transferfunktion.

Die Bestimmung des Zeitversatzes ist sowohl in dem ersten Modus als auch in dem zweiten Modus möglich.

Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist somit, dass eine weitere Datenübermittlung aller oder zumindest vieler Messergebnisse des Transponders entfällt. Hierdurch kann sowohl der technische als auch der zeitliche Aufwand reduziert werden.

Gemäß einer ersten Ausführungsform entspricht die zweite Trägerfrequenz der ersten Trägerfrequenz. Alternativ unterscheidet sich die zweite Trägerfrequenz von der ersten Trägerfrequenz.

Es versteht sich, dass der zeitliche Verlauf der Trägerfrequenzen bzw. die Frequenzänderungen den beteiligten Funkknoten vorab bekannt sind. Die zweite Trägerfrequenz wird beispielsweise immer der ersten Trägerfrequenz entsprechend geändert. Die Änderung der zweiten Trägerfrequenz erfolgt alternativ unabhängig von der Änderung der ersten Trägerfrequenz oder gar nicht.

Die Änderung, d.h. der bei einer Wiederholung vorgenommene Frequenzschritt, ist bei jeder Wiederholung gleich oder ändert sich bei jeder Wiederholung, beispielsweise gemäß einer vorgegebenen allen Funkknoten bekannten Liste oder mathematischen Funktion, die auch das zeitliche Verhalten einschließt und damit die erforderliche Phasenkohärenz erhalten werden kann.

Gemäß einer Weiterbildung wird ein Messzyklus von mehreren Wiederholungen der Schrittfolge gebildet und das Initialsignal und das Antwortsignal sind mindestens während eines Messzyklus oder mindestens während mehrerer Messzyklen kohärent. Die zueinander kohärenten
5 Messzyklen sind insbesondere bei Nutzung mehrerer Antennen innerhalb eines Funkknotens und/oder weiterer Funkknoten vorteilhaft.

In einer Ausführungsform wird aus dem empfangenen Initialsignal ein erster komplexer Signalvektor (Empfangssignalvektor) ermittelt, wobei das
10 Antwortsignal aus dem ersten komplexen Signalvektor oder alternativ aus dem reziproken ersten komplexen Signalvektor gebildet wird.

In einer ersten Alternative entspricht das von dem Initiator empfangene Antwortsignal einer frequenzweisen Multiplikation des komplexen
15 Signalvektors mit der Kanaltransferfunktion des Ausbreitungsmediums. Im Ergebnis entsteht das im Frequenzbereich diskret abgetastete Quadrat der Kanaltransferfunktion. Im Zeitbereich entspricht ergibt sich hieraus die zeitdiskret abgetastete Faltung der Kanalimpulsantwort mit sich selbst.

20 In der zweiten zweiten Alternative liefert das von dem Initiator empfangene Antwortsignal einem Verzögerungsoperator $e^{j\omega \cdot 2 \cdot T_{\text{off}}}$, der die Ermittlung des Zeitversatz zwischen den beiden Funkknoten erlaubt. Mit Hilfe des Zeitversatzes lässt sich die 1WR-Kanaltransferfunktion ermitteln.

25 Weiterhin kann der ermittelte Zeitversatz auch als Stellgröße innerhalb von Präzisionssynchronisationen und auch zum Test einer zeitlichen Synchronisation von Funktionsblöcken verwendet werden.

In einer anderen Ausführungsform wird ein erster komplexer Signalvektor
30 ermittelt und das Antwortsignal aus dem konjugiert komplexen ersten komplexen Signalvektor gebildet wird.

Das empfangene Antwortsignal besteht aus dem Betragsquadrat des ersten komplexen Signalvektors sowie einem Verzögerungsoperator $e^{j\omega \cdot 2 \cdot T_{\text{off}}}$, der den Zeitversatz zwischen den Knoten gekennzeichnet.

- 5 Gemäß weiterer alternativer Ausführungsform wird aus dem empfangenen Initialsignal eine erste Phase ermittelt, wobei das Antwortsignal entweder aus der ersten Phase oder aus der invertierten ersten Phase gebildet wird. Diese Alternativen sind besonders einfach und schnell.
- 10 In anderen alternativen Ausführungsformen arbeitet immer mindestens ein Funkknoten als Initiator und immer mindestens ein Funkknoten als Transponder, wobei jeder Funkknoten über mehrere Schrittfolgen mindestens einmal als Initiator und mindestens einmal als Transponder arbeitet oder
- 15 jeder Funkknoten über mehrere Schrittfolgen nur als Initiator oder nur als Transponder arbeitet.

- In einer weiteren Ausführungsform wird ein Messzyklus von mehreren Wiederholungen der Schrittfolge gebildet und die erste Trägerfrequenz nimmt für jede Wiederholung während des Messzyklus jeweils einen vorbestimmten
- 20 Wert innerhalb des Frequenzbereichs an.

- Beispielsweise wird ein Frequenz-Sweep durchgeführt, wobei die erste Trägerfrequenz bei jeder Wiederholung während des Messzyklus jeweils um einen konstanten Wert innerhalb des vorgegebenen Frequenzbereichs erhöht
- 25 oder verringert wird. Ein Sweep ist mit geringem Implementierungsaufwand umsetzbar. In der Regel ist es einfacher die Phasenbeziehungen über eine Vielzahl kleinerer Frequenzschritte aufrechtzuerhalten. Auf Grund von gesetzlichen Bestimmungen ist diese Ausführung jedoch für viele Anwendungen in der zulässigen Sendeleistung beschränkt.

- 30 Eine unregelmäßigere Änderung der Frequenz wird auch als Frequenz-Hopping bezeichnet. Die unterschiedlichen Frequenzen bzw. Werte für die Trägerfrequenz für jede einzelne Wiederholung sind beispielsweise in einem Lookup-Table hinterlegt oder richten sich nach einer vorgegebenen

mathematischen Funktion. Beispielsweise kann das Frequenz-Hopping auf Basis von pseudorandomisierten Folgen durchgeführt werden, wodurch eine hohe Robustheit gegen Störquellen erreicht wird. Gleichzeitig erlaubt diese Ausführung des Verfahrens die Nutzung größerer Sendeleistungen bei
5 Einhaltung der verschiedensten gesetzlichen Bestimmungen und regulatorische Vorgaben. Somit ist es möglich die Nutzung des Verfahrens auf größere Reichweiten zu erweitern.

In einer anderen Ausführungsform wird anhand der ermittelten
10 Transferfunktion und/oder des Zeitversatzes ein Abstand zwischen dem mindestens einen Initiator und dem mindestens einen Transponder bestimmt.

Gemäß einer Weiterbildung wird für mindestens eine ermittelte Kanaltransferfunktion eine Mehrwege-Analyse durchgeführt. Die
15 Mehrwegeanalyse fokussiert sich auf die Ermittlung des direkten Ausbreitungsweges.

Gemäß einer anderen Weiterbildung wird vor der Ermittlung der Transferfunktion und/oder des Zeitversatzes auf die empfangenen
20 Antwortsignale und/oder die empfangenen Initialsignale ein Filter angewandt. Als Filter kann beispielsweise ein $\cos^2$ -Fenster zur Unterdrückung von Nebenmaxima eingesetzt werden. Eine höhere Messdynamik bzw. Rauschunterdrückung kann beispielsweise durch Mittelwertbildung der Messwerte innerhalb einer Schrittfolge erfolgen.

25 In einer weiteren Weiterbildung werden bei jeder Wiederholung zusätzlich zu der Trägerfrequenz des Initialsignals eine Amplitude und/oder eine Phase des Initialsignals verändert.

30 Gemäß einer anderen Weiterbildung werden mindestens drei Funkknoten bereitgestellt und in jeder Schrittfolge wird der zweite Schritt mindestens einmal wiederholt, wobei in dem ersten Schritt das Initialsignal von mindestens zwei als Transponder fungierenden Funkknoten empfangen wird, in jedem zweiten Schritt von genau einem der Transponder das Antwortsignal

gesendet und von dem Initiator sowie von mindestens einem weiteren Transponder empfangen wird, bei jeder Wiederholung des zweiten Schritts ein anderer Transponder das Antwortsignal sendet und in dem ersten Modus bei jeder Wiederholung des zweiten Schritts das Antwortsignal jeweils
5 zumindest aus einem Teil des empfangenen Initialsignals oder aus einem Teil des empfangenen Antwortsignals gebildet wird.

In einer weiteren Ausführungsform sendet der Initiator das Initialsignal während eines ersten Sendezeitraums und der Transponder sendet das
10 Antwortsignal während eines zweiten Sendezeitraums, wobei der erste Sendezeitraum und der zweite Sendezeitraum jeweils mehrere, aufeinanderfolgende Zeitfenster umfassen, jeweils nur während der Zeitfenster gesendet wird und jeweils zwei aufeinanderfolgende Zeitfenster zeitlich unmittelbar aufeinander folgen oder zeitlich einen Abstand zueinander
15 aufweisen.

Es versteht sich, dass auch die Empfangszeiträume mehrere Zeitfenster umfassen können, wobei die Zeitfenster der Sendezeiträume und die Zeitfenster der Empfangszeiträume einander (bis auf den Zeitversatz)
20 entsprechen können, aber nicht müssen.

Diese Vorgehensweise erlaubt insbesondere die Anpassung an verschiedenen Applikationsanpassungen, wie getrennte Übertragung der Referenzphase, Signalisierung zwischen Initiator und Transponder (Verstärkungs- und Sende-
25 leistungsanpassungen, Verschlüsselung), Rauschunterdrückung durch Mittelwertbildung, Zuordnung zu verschiedenen Antennen zur Erzeugung von Raumdiversität zur Ermittlung von Einfallswinkeln im speziellen und zur Verbesserung der Messgenauigkeit im Allgemeinen (Beam Steering, MIMO, Smart Antennas), oder auch zur Detektion von Kanalbelegungen im Sinne
30 von LBT (Listen-before-Talk), CS (Carrier Sense) und DAA (Detect and Avoid) Anforderungen für die Zulassung von Funksystemen.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Hierbei werden gleichartige Teile mit identischen

Bezeichnungen beschriftet. Die dargestellten Ausführungsformen sind stark schematisiert, d.h. Abstände sowie laterale und vertikale Erstreckung sind nicht maßstäblich und weisen, sofern nicht anders angegeben, auch keine ableitbaren geometrischen Relationen zueinander auf. Darin zeigen,

5

Figur 1 eine Messanordnung für Funkmessenanwendungen gemäß einer ersten alternativen Ausführungsform,

10

Figur 2 ein Ablaufschema der ersten alternativen Ausführungsform,

15

Figur 3 eine Tabelle mit einem Überblick über verschiedene Sende-, Empfangs-, Basisbandvektoren und den entsprechenden Abhängigkeiten

Figur 4 ein Schema eines ersten zeitlichen Verlaufs des Verfahrens für Funkmessenanwendungen gemäß der ersten alternativen Ausführungsform,

20

Figur 5 ein Schema eines weiteren zeitlichen Verlaufs des Verfahrens für Funkmessenanwendungen gemäß der ersten alternativen Ausführungsform,

25

Figur 6 eine Messanordnung für Funkmessenanwendungen gemäß der zweiten alternativen Ausführungsform,

Figur 7 Amplitudenverläufe der Mess-Signale,

30

Figur 8 in den Zeitbereich transformierte Mess-Signale,

Figur 9 eine Anordnung von drei Funkknoten,

Figur 10 ein Ablaufschema unter Verwendung von drei Funkknoten.

Für alle Ausführungsformen sei angemerkt, dass:

Ein als Initiator bezeichneter erster Funkknoten FI und ein als Transponder bezeichneter zweiter Funkknoten FT bereitgestellt werden. Der Initiator FI und der Transponder FT weisen jeweils eine Empfangseinheit RX, eine Sendeeinheit TX, eine Datenschnittstelle DS1 bzw. DS2 und einen eigenen Zeitgeber $Z(t)$ bzw. $Z(t')$ auf. Es versteht sich, dass jeder Funkknoten einen Signalprozessor - nicht dargestellt - enthält.

Die Datenschnittstellen DS1 und DS2 sind als Kommunikationsprotokoll für einen drahtlosen Datenaustausch ausgebildet.

Der Initiator-Funkknoten FI besitzt eine Zeitbasis t und der Transponder-Funkknoten FT besitzt eine Zeitbasis t' , wobei die beiden Zeitbasen t bzw. t' voneinander unabhängig sind.

Es sei angemerkt, dass der Ausdruck Zeitbasis und der Ausdruck Zeitdomäne synonym verwendet werden.

Die zugehörigen Zeitgeber $Z(t)$ und $Z(t')$ umfassen jeweils einen Quarzoszillator und geben ein Zeitmaß für die jeweilige Zeitbasis t bzw. t' des jeweiligen Funkknotens vor.

Die Zeitgeber $Z(t)$ und $Z(t')$ sind durch einen Zeitversatz T_{offs} gegeneinander verschoben. Es wird vorausgesetzt, dass die Zeitgeber $Z(t)$ und $Z(t')$ in gleichen Einheiten fortschreiten, d.h. es besteht kein Frequenzoffset zwischen den Quarzoszillatoren.

Sollte zwischen den beiden Zeitgebern $Z(t)$ und $Z(t')$ ein Frequenzoffset bestehen, muss der Frequenzoffset korrigiert werden, um das Verfahren durchzuführen. Eine Korrektur des Frequenzoffsets ist nicht Gegenstand der vorliegenden Anmeldung.

Die Zeitgeber $Z(t)$ bzw. $Z(t')$ erzeugen jeweils eine Zeitreferenz für eine Ablaufsteuerung in dem Initiator-Funkknoden FI und dem Transponder-Funkknoden FT. Die Ablaufsteuerung steuert das zeitliche Verhalten aller relevanten Funktionsblöcke in den jeweiligen Funkknoden FI und FT. Insbesondere gibt die Ablaufsteuerung die Zeitpunkte für einen Frequenzwechsel vor. Es sei angemerkt, dass die Ablaufsteuerung auch als Zeit-Frequenzsteuerung ZFS1 und ZFS2 bezeichnet wird.

Es sei angemerkt, dass die zeitlichen Längen T_{MU} bzw. T'_{MU} jeweils ein vorgegebenes kleinstes Zeitintervall bezeichnen, wobei das kleinste Zeitintervall auch als Messeinheitzeit T_{MU} bezeichnet wird.

Es sei angemerkt, dass das Verfahren umfasst:

- Schritte ausweisend eine oder mehrere Sendefenster bzw. Empfangsfenster,
- Schrittfolgen umfassend wenigstens zwei Schritte mit einer zeitlichen Länge T_{SF} für den Initiator FI bzw. einer zeitlichen Länge T'_{SF} für den Transponder FT,
- Messzyklen als eine Serie von Schrittfolgen mit einer zeitlichen Länge T_Z für den Initiator FI bzw. einer zeitlichen Länge T'_Z für den Transponder FT,
- Serien von Messzyklen.

Jede Schrittfolge weist Sende und Empfangsbereiche auf, die jeweils in Sendefenster und Empfangsfenster unterteilt sind. Die zeitliche Länge eines Sende- bzw. Empfangsfensters des Funkknoden FI ist T_{MU} . Die zeitliche Länge eines Sende- bzw. Empfangsfensters des Funkknoden FT ist T'_{MU} .

Jeder Funkknoden FI weist ein Sendefenster mit einer zeitlichen Länge T_{MU} und ein Empfangsfenster mit einer zeitlichen Länge T_{MU} auf. Jeder Funkknoden FT weist ein Sendefenster mit einer zeitlichen Länge T'_{MU} und ein Empfangsfenster mit einer zeitlichen Länge T'_{MU} auf.

Es sei angemerkt, dass der Index n innerhalb einer der Schrittfolge die Stellung der Zeitfenster angibt und eine Dauer von $T_{SF}=n_{\max} \cdot T_{MU}$ besitzt. Der Index besitzt einen Wertebereich $n=0,1,\dots,(n_{\max}-1)$, wobei sich $n_{\max}$ aus der konkreten Auslegung des Messzyklus bestimmt.

5

Der Index m gibt innerhalb des Messzyklus die Stellung der Schrittfolge an, wobei $m=0,1,\dots,(m_{\max}-1)$. $m_{\max}$ durch die konkrete Ausführung bestimmt wird und ist u.a. von der Anzahl der Frequenzen abhängig, für die die Übertragungsfunktion ermittelt werden soll. Eine Serie von Schrittfolgen wird als Messzyklus bezeichnet. Ein Messzyklus des Funkknoten FI hat eine Länge von $T_Z=m_{\max} \cdot T_{SF}$. Ein Messzyklus des Funkknoten FT hat eine Länge von $T_Z=m_{\max} \cdot T_{SF}$.

10

15

Zur Unterscheidung zwischen Initiator Funkknoten FI und Transponder-Funkknoten FT sind die entsprechenden Größen des Transponders durch Anstriche (z.B. Frequenzen und Zeiten des f'_p , ω'_p , t' ,...) gekennzeichnet.

20

25

Nachfolgend wird zwischen zeitkontinuierlichen Größen und zeitdiskreten Größen unterschieden. Insbesondere erzeugen die Sende-Einheiten TX des Initiator-Funkknoten FI bzw. die Sendeeinheiten TX des Transponder-Funkknotens FT zeitkontinuierliche Sendesignale $T_I(t)$ bzw. $T_T(t')$, wobei die Darstellung $T_I(m,n)$ den Wert eines Sendesignals T_I bezüglich der Zeitbasis t zu einem Zeitpunkt $t=n \cdot T_{MU}+m \cdot T_{SF}$ bezeichnet. Entsprechend bezeichnet die Darstellung $T_T(m,n)$ den Wert eines Sendesignals T_T bezüglich der Zeitbasis t' zu einem Zeitpunkt $t'=n \cdot T_{MU}+m \cdot T_{SF}$.

30

Hinsichtlich der Phasenkohärenz wird angemerkt, dass die Sende- und die Empfangseinheit des Transponders zusammen mit dem Zeitgeber $Z(t)$ und der Zeit-Frequenz Ablaufsteuerung eine phasenkohärente Domain bilden.

Die phasenkohärente Domain des Funkknoten FI ist für eine geforderte zeitliche Länge d.h. für eine beliebige Anzahl von Schritten, gekennzeichnet durch eine feste Beziehung zwischen der Phasenlage der Sendesignale $T_I(m,n)$ für alle Indizes n innerhalb einer Schrittfolge, in denen die Sendeeinheit sendet

und der Referenzphase für die Ermittlung der Empfangsvektoren $R_I(m,n)$ für alle Indizes n innerhalb einer Schrittfolge, in denen die Empfangseinheit empfängt.

- 5 Analog gilt für den Transponder, dass die phasenkohärente Domain des Funkknoten FT für eine geforderte zeitliche Länge d.h. für eine beliebige Anzahl von Schritten, durch eine feste Beziehung zwischen der Phasenlage der Sendesignale $T_I(m,n)$ für alle Indizes n innerhalb einer Schrittfolge, in denen die Sendeeinheit sendet und der Referenzphase für die Ermittlung der Empfangsvektoren $R_I(m,n)$ für alle Indizes n innerhalb einer Schrittfolge, in denen
10 die Empfangseinheit empfängt, gekennzeichnet ist.

- Ist die Phasenkohärenz auf eine Schrittfolge begrenzt, so beträgt die Kohärenz Länge T_{SF} für den Funkknoten FI bzw. T'_{SF} für den Funkknoten FT. Wird
15 die Phasenkohärenz auf einen Messzyklus ausgedehnt so ist für den Funkknoten FI die Kohärenzlänge T_Z bzw. für den Funkknoten FT ist die Kohärenzlänge T_Z .

Bei einer Serie von Messzyklus verlängert sich die Kohärenzlänge entsprechend auf die zeitliche Länge der Serie von Messzyklen.

- 20 Es versteht sich, dass die Übergangsbereiche, die durch Einschwingvorgänge gekennzeichnet sind, von der Forderung nach Kohärenz ausgenommen sind.

- Aus den Anforderungen bzgl. Phasenkohärenz der jeweiligen Funkknoten ergibt sich eine Phasenkohärenz der Funkknoten zueinander, wenn die sich die Zeitgeber nur in einem Zeitversatz unterscheiden und ansonsten beide
25 Knoten dem gleichen zeitlichen Ablauf auf Basis T_{MU} , bzw. T'_{MU} folgen, der Empfangs-und Sendeverhalten zueinander komplementär ist.

- Die Abbildung der Figur 1 zeigt eine Anordnung von zwei Funkknoten, dem Initiator FI und dem Transponder FT, zur Durchführung einer ersten
30 Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens für Funkmessenwendungen, wobei die Anordnung dazu ausgelegt ist, einen ersten Modus des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

Der Initiator FI ist dazu ausgelegt während eines ersten Schritt S1 mittels der Sendeeinheit TX über ein Ausbreitungsmedium PM, z.B. Luft, ein Initialsignal T_I zu senden. Der Transponder FT ist dazu ausgelegt während des ersten Schritts S1 das von dem Initiator FI ausgesandte Initialsignal T_I nach einer Übertragung über das Ausbreitungsmedium PM als Empfangssignal R_T zu empfangen.

Die Empfangseinheiten RX des Initiator Funkknotens FI und RX des Transponder Funkknotens FT überführen die empfangenen Signale in eine zeitdiskrete Darstellung. Die Empfangsergebnisse R_I und R_T werden weiterhin als Empfangsvektoren bezeichnet.

Die Empfangsvektoren $R_T(m,n)$ haben die Form einer komplexen Zahl, wobei der Betrag proportional zum Betrag des empfangenen Signals ist.

Die Phase der komplexen Vektoren $R_T(m,n)$ wird relativ zur Zeitbasis t' zu den Zeitpunkten $t' = n \cdot T_{MU} + m \cdot T_{SF}$ bestimmt.

Außerdem ist der Transponder FT dazu ausgelegt, aus dem Empfangssignal R_T mit Hilfe einer Funktion $F(R_T, \dots)$ einen Signalvektor V_T zu ermitteln und mittels der Datenschnittstelle DS2 auszutauschen.

Um den ersten Modus des erfindungsgemäßen Verfahrens ausführen zu können, ist der Transponder FT zusätzlich dazu ausgelegt, den Signalvektor V_T an die Sendeeinheit TX zu übermitteln und mittels der Sendeeinheit TX weiter zu verarbeiten.

Während eines zweiten Schritts S2 sendet der Transponder FT mittels der Sendeeinheit TX ein Antwortsignal T_T .

Der Initiator FI empfängt während des zweiten Schritts S2 mittels der Empfangseinheit RX das von dem Transponder ausgesandte Antwortsignal T_T nach Übertragung über das Ausbreitungsmedium PM als Empfangssignal R_I .

Die Empfangsvektoren $R_I(n,m)$ des Initiators haben die Form einer komplexen Zahl, wobei der Betrag proportional zum Betrag des empfangenen Signals ist. Die Phase der komplexen Vektoren $R_I(m,n)$, wird relativ zur Zeitbasis t zu den Zeitpunkten $t=n \cdot T_{MU} + m \cdot T_{SF}$ bestimmt.

Außerdem ist der Initiator FI dazu ausgelegt, aus dem Empfangssignal R_I mit Hilfe der Funktion $H(R_I, \dots)$ Signalvektor V_I zu ermitteln und mit der Datenschnittstelle DS1 auszutauschen.

Der Einfluss der Übertragung über das Ausbreitungsmedium PM auf die ausgesandten Signale wird als Transferfunktion G bezeichnet.

Ein Verfahrensablauf gemäß der ersten alternativen Ausführungsform des Verfahrens für Funkmessenwendungen wird im Folgenden anhand der Figuren 2, 3 und 4 weiter erläutert.

Wie Figur 2 zeigt, besitzen beide Funkknoten FI und FT jeweils einen Generator, einen Aufwärtsmischer, der einen komplexen Signalvektor V_T bzw. V_I aus der Basisband-Lage in die HF-Lage konvertiert, einen Abwärtsmischer, der ein Hochfrequenzsignal in einen Signalvektor R_I bzw. R_T in der Basisbandlage konvertiert und einen Zeitgeber $Z(t)$ bzw. $Z(t')$ beinhaltende Zeit- und Frequenzsteuerung ZFS1 bzw. ZFS2, die alle Systemzustandswechsel in einem festen Zeitregime steuert.

Die Zeit- und Frequenzsteuerung ZFS1 bzw. ZFS2 arbeitet auf Basis einer Zeiteinheit T_{MU} und stellt sicher, dass alle relevanten Zustandswechsel (Sampling der Signalvektoren, RX/TX-TX/RX Übergänge, Frequenzwechsel) fest mit der durch den jeweiligen Zeitgeber vorgegebenen Zeitbasis verbunden sind und auf diesen bezogen werden können.

Die Zeit- und Frequenzsteuerung ZFS1 bzw. ZFS2 ist auch dafür verantwortlich, dass die Kohärenz zwischen den Signalen und Vektoren über die geforderte Länge erhalten bleibt, d.h. Einschwingvorgänge berücksichtigt

und sich alle Funktionseinheiten auch in den Übergangsbereichen im linearen Regelbereichen befinden (u.a. Frequenzgenerator, PLL). Die Funkknoten FI und FT werden durch die Zeit- und Frequenzsteuerung ZFS1 bzw. ZFS2 während der Schrittfolge aus Schritt S1 und S2 gesteuert.

5

Die Schrittfolge schließt auch die Übergangsbereiche (Schrittverzögerung) ein, die als Verzögerungsglieder der Größe T_{sv} dargestellt sind. Die Zeit- und Frequenzsteuerung ZFS1 bzw. ZFS2 übernimmt auch die Steuerung der Frequenz ω_p über einen verfügbaren Frequenzbereich.

10

Dadurch erzeugt die Zeit- und Frequenzsteuerung ZFS1 bzw. ZFS2 jeweils eine phasenkohärente Domain PD, in der die Hochfrequenzsynthese, die Erzeugung der entsprechenden Sendevektoren und die Extraktion der Empfangsvektoren zueinander phasenseitig in einer festen Beziehung stehen.

15

Weiterhin besitzt jeder Funkknoten jeweils eine Logikeinheit, die mittels einer Funktion F bzw. H auf Basis von Eingabeparametern (u.a. die empfangen Signalvektoren $R_I(m,n)$ und $R_T(m,n)$ und/oder über die Datenschnittstelle DS1 bzw. DS2 bereitgestellte Parameter) die Signalvektoren V_T bzw. V_I zur Erzeugung des entsprechenden Sendesignals $T_I(m,n)$ bzw. $T_T(m,n)$ bereitstellt.

20

Der maximale Index der Schrittfolge n_{max} bestimmt sich aus der konkreten Auslegung des Messzyklus und wird im dargestellten Beispiel $n_{max}=6$ gewählt.

25

Wie in Figur 2 und 4 veranschaulicht ist, erzeugt der Frequenzgenerator im Initiator FI und im Transponder FT zunächst ein Signal der Frequenz f_p , f_p' bzw. $\omega_p = 2\pi \cdot f_p$, $\omega_p' = 2\pi \cdot f_p'$, wobei das Signal des Frequenzgenerators des Transponders um den Zeitoffset T_{offs} verzögert ist und einen statischen Phasenoffset $\Delta\phi$ besitzt.

30

Im Sinne der weiteren Erläuterung werden die Frequenzen als gleich groß betrachtet. Es wird vorausgesetzt, dass entsprechende Frequenzoffsetkorrekturen (falls notwendig) bereits durchgeführt wurden bzw. die notwendigen Parameter extrahiert wurden um die
5 Empfangsvektoren entsprechend zu korrigieren. Somit wird für die weiteren Aussagen $f_p = f_p'$ angenommen, wobei das Verfahren auch Frequenzunterschiede $f_p = f_p' + \Delta f$ einschließt, wenn Δf bekannt, z.B. durch die Empfangsarchitektur vorgegeben, ist.

10 In einem ersten Schritt S1 $m=0, n=0,1,2$ wird von dem Initiator FI mittels eines Mischers und des Frequenzgenerators ein Initialsignal $T_I(m,n)$ mit einer ersten Trägerfrequenz ω_p mit dem Signalvektor $V_I(m,n)$ erzeugt und als Initialsignal $T_I(m,n)$ in das Ausbreitungsmedium PM angekoppelt. Zur Veranschaulichung und wie der in Figur 3 dargestellten Tabelle zu
15 entnehmen ist, sei der Signalvektor $V_I(m,n)=1$, d.h. der Initiator-Funkknöten sendet ein Referenz-Signal mit einer Trägerfrequenz ω_p als Initialsignal T_I .

Es versteht sich, dass das Vorbeschriebene nicht ausschließt, dass die
20 Signalvektor $V_{I,T}$ vor dem Auskoppeln in einem weiteren Mischer durch Multiplikation mit einem Hilfsträger, häufig als Local Oscillator bezeichnet, auf eine Zwischenfrequenz IF gebracht wird, bevor das Signal abschließend durch Umsetzung auf eigentlich Zielfrequenz ω_p umgesetzt wird.

25 Der Transponder FT bestimmt während eines ersten Empfangszeitraums S1 mit $m=0, n=0,1,2$ ein Empfangsvektor $R_T(m,n)$ durch Mischung des empfangenen HF-Signals mit dem Signal des Frequenzgenerators der Frequenz f'_p , das um Toffs gegenüber dem Generatorsignal des Initiators zeitlich verschoben ist.

30

Die Empfangsvektoren $R_T(n,m)$ haben die Form einer komplexen Zahl, wobei der Betrag proportional zum Betrag des empfangenen Signals ist.

In der Figur 2 wird die durch die Empfangseinheit des Transponders bestimmte Phase des Signalvektors $R_T(m,n)$ durch Abtastung des durch das Ausbreitungsmedium übertragene Sendesignals T_I bezüglich des zeitkontinuierlichen Signals $\exp(j\omega'_p \cdot t')$ zu dem Zeitpunkten $t' = t' = n \cdot T'_{MU} + m \cdot T'_{SF}$ erzeugt.

Das Empfangssignals $R_T(m,n)$ wird maßgeblich durch die Übertragungsfunktion des Funkkanals auf der Frequenz f_p und den Zeit- und Phasenoffset T_{offs} bzw. $\Delta\phi$ zwischen den Zeitgebern bestimmt.

Im Sinne des Verfahrens ist $T_{MU} = T'_{MU}$, $T_{SF} = T'_{SF}$, $T_Z = T'_Z$, usw. Anhand des Empfangssignals $R_T(m,n)$ wird ein Signalvektor $V_T(m,n+3) = F(R_T(m,n), \dots)$ gebildet und als Signalvektor V_T an die Sendeeinheit TX des Transponders FT übermittelt.

Auch der Transponder bildet ein zeitdiskretes System mit $t' = n \cdot T'_{MU} + m \cdot T'_{ASF}$.

In dem zweiten Schritt S2 $m=0, n=3,4,5$ wird von dem Transponder FT aus dem ermittelten Basisbandvektor $V_T(m,n)$ mittels eines Mischers und dem Frequenzgenerator ein Sendesignal $T_T(m,n)$ mit der Frequenz f_p erzeugt und als Antwortsignal T_T in das Ausbreitungsmedium PM ausgekoppelt.

Das Antwortsignal T_T $m=0, n=3,4,5$ wird dabei aus dem Empfangsvektor $R_T(m,n)$ $m=0, n=0,1,2$ mit Hilfe der Funktion $F(R_T(m,n), \dots)$ und somit zumindest aus einem Teil des Empfangsvektors R_T gebildet. Einige Möglichkeiten der Bildung des Antwortsignals T_T sind den Zeilen 2 bis 6 der Tabelle der Figur 3 zu entnehmen.

Der Initiator FI bestimmt während eines zweiten Empfangszeitraums $m=0, n=3,4,5$ den Empfangsvektor $R_I(m,n), \dots$ mit $m=0, n=3,4,5$.

Die Empfangsvektoren $R_I(n,m)$ haben die Form einer komplexen Zahl, wobei der Betrag proportional zum Betrag des empfangenen Signals ist.

Analog ergibt sich die durch die Empfangseinheit des Initiator bestimmte Phase des Signalvektor $RT(m,n)$ durch Abtastung des durch das Ausbreitungsmedium übertragene Sendesignals TT bezüglich des zeitkontinuierlichen Signals $\exp(j\omega_p \cdot t)$ zu dem Zeitpunkt $t = n \cdot T_{MU} + m \cdot T_{SF}$.

5

Das empfangene HF Signal der Frequenz f_p wird mit einem Mischer und dem Signal des Frequenzgenerators der Frequenz f_p in die Basisbandlage konvertiert. Die entsprechenden Empfangsvektoren R_I sind ebenfalls in der Tabelle der Figur 3 angegeben.

10

Die entsprechenden zeitdiskreten Werte ergeben sich für den Initiator aus $t = n \cdot T_{MU} + m \cdot T_{SF}$ und den Transponder aus $t' = n' \cdot T'_{MU} + m' \cdot T'_{SF}$.

15

Mit Bezug auf Figur 2 bilden die Sende- und Empfangseinheit des Transponder zusammen mit dem Zeitgeber und der Ablaufsteuerung eine phasenkohärente Domäne PD, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Phase der Sendesignals $T_T = V_T(m,n) \cdot \exp(j\omega_p' \cdot t')$ als $T_T(S2,m,n)$ zu den Zeitpunkten $t' = n' \cdot T'_{MU} + m' \cdot T'_{SF}$ ($S2: n = \{4,5\}$) phasenkohärent zur Referenzphase des zeitkontinuierlichen Signals $\exp(j\omega_p' \cdot t')$ für die Ermittlung der Phase des Empfangsvektors R_T zu den Zeitpunkten $t' = n' \cdot T'_{MU} + m' \cdot T'_{SF}$ ($S1: n = \{1,2\}$) ist.

20

Mit Bezug auf Figur 2 bilden die Sendeeinheit und die Empfangseinheit des Initiators zusammen mit dem Zeitgeber und der Ablaufsteuerung eine phasenkohärente Domäne PD, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Phase der Sendesignals $T_I = V_I(m,n) \cdot \exp(j\omega_p \cdot t)$ als $T_I(S1,m,n)$ zu den Zeitpunkten $t = n \cdot T_{MU} + m \cdot T_{SF}$ ($S1: n = \{1,2\}$) phasenkohärent zur Referenzphase des zeitkontinuierlichen Signals $\exp(j\omega_p \cdot t)$ für die Ermittlung der Phase des Empfangsvektors R_T zu den Zeitpunkten $t' = n' \cdot T'_{MU} + m' \cdot T'_{SF}$ ($S2: n = \{4,5\}$) ist.

25

Aus den Anforderungen bzgl. Phasenkohärenz der jeweiligen Funkknoten ergibt sich eine Phasenkohärenz der Funkknoten zueinander, wenn die sich die Zeitgeber nur in einem Zeitversatz unterscheiden und ansonsten beide Knoten dem gleichen zeitlichen Ablauf auf Basis T_{MU} , bzw. T'_{MU} folgen, der Empfangs- und Sendeverhalten zueinander komplementär ist.

30

Wie der Tabelle der Figur 3 zu entnehmen, ist es durch das Übermitteln von Informationen über das empfangene Initialsignal T_I mittels des Antwortsignals T_T möglich, direkt anhand der empfangenen Antwortsignale T_T eine Transferfunktion für den Umlauf (Schrittfolge aus Schritt S1 und Schritt S2) und/oder einen Zeitversatz zu ermitteln. In der Tabelle der Figur 3 ist eine Auswahl möglicher Empfangsvektoren und Antwortsignalvektoren aufgelistet.

- 10 Eine Schrittfolge aus dem ersten Schritt S1 und dem zweiten Schritt S2 wird mehrfach wiederholt, wobei bei jeder Wiederholung, die Trägerfrequenzen ω_p und ω'_p innerhalb eines vorbestimmten Frequenzbereichs nach den entsprechenden Anforderungen ausgewählt werden. Im dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht die zweite Trägerfrequenz ω'_p der ersten Trägerfrequenz ω_p .

Die Wiederholungen einer Schrittfolge bilden einen Messzyklus, wobei m mit jeder abgeschlossenen Schrittfolge inkrementiert und ω_p entsprechende den Anforderungen ausgewählt wird. Im Falle eines Frequenz-Sweeps wird ω_p mit jedem Messzyklus um ω_{step} erhöht.

Um eine Kohärenz jedes Initialsignals T_I und des folgenden Antwortsignals T_T während einer Schrittfolge oder eine Kohärenz der Initialsignale T_I und der Antwortsignale T_T über mindestens eines Messzyklus (im Falle der komplexeren Ableitungen ist Kohärenz über einen ganzen Messzyklus auszudehnen) zu gewährleisten, verfügen der Initiator FI sowie der Transponder FT jeweils über eine kohärente Zeit- und Frequenzkontrolle, wobei eine grobe Zeitsynchronisation, beispielsweise durch den Austausch von Datenframes über die Datenschnittstellen DS1 und DS2, erfolgt.

30 Der zeitliche Ablauf des Verfahrens ist in der Figur 4 skizziert. Über den Zeitachsen t bzw. $t'=t+T_{\text{offs}}$ sind der Verlauf der Frequenzen ω_p bzw. ω'_p , eine Aktivität der Sendeeinheiten TX des Transponders FT und des Initiators FI, eine Aktivität der Empfangseinheiten RX des Transponders FT sowie des

Initiators FI über drei Schrittfolgen $m=0$ bis $m=2$ dargestellt, wobei eine Schrittfolge eine Zeitspanne T_{SF} einnimmt. Darüber sind die Aktivitäten des Transponders FT und des Initiators FI als senkrechte verlaufende Balken dargestellt, wobei fette Balken jeweils das Umschalten von Empfang auf Senden bzw. von Senden auf Empfang, dünne Balken jeweils das Senden eines Signals und Pfeile das Empfangen eines Signals kennzeichnen.

Die Messzeiteinheiten, also die zeitlichen Abstände zwischen den verschiedenen Aktivitäten, werden als T_{MU} bzw. T_{MU} bezeichnet. Zwischen der ersten Sendeaktivität und der ersten Empfangsaktivität bzw. vice versa liegt immer eine Schrittverzögerung T_{SV} . Hierdurch werden Einflüsse bzw. Störungen durch einen Einschwingvorgang der Funkknoten vermieden. Die Schrittverzögerung T_{SV} ist entsprechend größer als eine Einschwingzeit T_{settle} . Gleichzeitig ist zu vermerken, dass die vorgestellten Beziehungen einen eingeschwungenen stationären Zustand voraussetzen. Diese Bedingung ist nur für Bereiche der Schrittfolge erfüllt, die durch Übergangsbereiche abgegrenzt sind, in denen die entsprechenden Einschwingvorgänge stattfinden. In diesen sind die entsprechenden Signalvektoren nur eingeschränkt im Sinne des Verfahrens verwendbar. Für den dargestellten Fall betrifft dies die Vektoren $R_{I,T}(m,n)$ mit $n=0,3$.

Für die Umsetzung des Verfahrens im bisher dargestellten Sinne wird mindestens ein gültiger Empfangsvektor pro Funkknoten pro Schritt innerhalb der Schrittfolge benötigt.

Die Abbildung der Figur 5 veranschaulicht ein Ablaufschema eine weitere alternative Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens für Funkmessenwendungen, wobei im Folgenden nur die Unterschiede gegenüber den vorangegangenen Figuren erläutert werden.

Die Ausführungsform beruht auf einer Erweiterung der Schrittfolge in Sende- und Empfangszeiträume mit mehreren separaten Sende- bzw. Empfangszeitfenstern, wobei eine solche Konfiguration mit $n_{max}=8$ dargestellt ist.

Geht man von einer symmetrischen Verteilung zwischen dem Initiator FI und dem Transponder FT aus, so stehen die entsprechenden zeitkontinuierliche Sende-Signale $T_{I,T}$ mit ihren Werten zu den Zeitpunkten
5 $t=n \cdot T_{MU} + m \cdot T_{SF}$ und $t'=n \cdot T'_{MU} + m \cdot T'_{SF}$ ($T_I(m,n=0:1/2 \cdot n_{max}-1)$ und $T_T(m,n=1/2 \cdot n_{max}:n_{max}-1)$) auf der anderen Seite die entsprechende Anzahl an Empfangszeitfenster gegenüber und erlauben damit die Ermittlung der zugehörigen Empfangsvektoren $R_T(m,n=0:1/2 \cdot n_{max}-1)$ und $R_I(m,n=1/2 \cdot n_{max}:n_{max}-1)$.

10

Die somit zur Verfügung stehenden Zeitfenster bieten sich für verschiedene Zwecke an. Eine Auswahl sei hier zusammengestellt:

- Übertragung der Referenzphase des Transponders
- 15 • Signalisierung zwischen Initiator und Transponder (Verstärkungs- und Sendeleistungsanpassungen,..., Verschlüsselung)
- Rauschunterdrückung durch Mittelwertbildung von mehreren Empfangsvektoren die auf Basis eines Sendevektors der Gegenseite erzeugt wurden
- 20 • Zuordnung zu verschiedenen Antennen zur Erzeugung von Raumdiversität zur Ermittlung von Einfallswinkeln im speziellen und zur Verbesserung der Messgenauigkeit im Allgemeinen (Beam Steering, MIMO, Smart Antenna),
- Zur Detektion von Kanalbelegungen im Sinne von LBT (Listen-before-Talk), CS (Carrier Sense) und DAA (Detect and Avoid) Anforderungen
25 für die Zulassung von Funksystemen.

Bei der Dimensionierung sind sowohl die jeweiligen Einschwingvorgänge als auch die Grenzen der durch die Grobsynchronisation erreichbaren
30 maximalen Zeitoffsetschwankungen zu beachten und entsprechende die Schrittverzögerungs- bzw. Guard-Intervalle T_{SV} auszulegen.

In der Figur 6 ist das erfindungsgemäße Verfahren gemäß einer ersten Ausführungsform des Modus 2 dargestellt. Im Folgenden werden die Unterschiede zu den vorangegangenen Figuren erläutert.

- 5 Die Figur 6 zeigt eine Anordnung des Initiators FI und des Transponders FT im Modus 2.

Der erste Schritt S1 wird zunächst in gleicher Form wie bei Modus 1 ausgeführt. Im Rahmen des zweiten Schritts S2 ist der Transponder FT dazu
10 ausgelegt, mittels der Sendeeinheit TX das Antwortsignal T_T zu erzeugen, wobei der Basisbandvektor V_T zu $V_T(m,n)=1$ für die Erzeugung des Antwortsignals T_T gewählt wird.

Das bedeutet, dass der Transponder ein Signal T_T sendet, dass nur von
15 seiner eigenen Zeitreferenz abhängig ist und damit unabhängig vom empfangenen Initiator Sendesignal T_I bzw. dem daraus ermittelten Empfangssignalvektor R_T ist. Diese Ausführungsform entspricht der ersten Zeile der Tabelle der Figur 3.

- 20 Der Transponder FT ist zusätzlich dazu ausgelegt, der im ersten Schritt S1 ermittelte Empfangsvektor R_T mittels der Datenschnittstelle DS2 an den Initiator zu übermitteln.

Der Initiator FI ist zusätzlich dazu ausgelegt, die Empfangsvektoren R_T
25 mittels der Datenschnittstelle DS1 zu erhalten und anhand zumindest eines Teils der erhaltenen Empfangsvektoren R_T und der ermittelten Messvektoren R_I den Zeitversatz T_{offs} zu bestimmen.

Anhand des Zeitversatzes T_{offs} und zumindest eines Teils der von dem
30 Initiator FI empfangenen Empfangsvektoren R_I kann dann eine Transferfunktion für den Funkkanal zwischen dem Transponder FT und dem Initiator FI ermittelt werden. Es ist somit möglich direkt die Transferfunktion für einen einfachen Weg zwischen Initiator und Transponder und nicht für einen zwei Wege umfassenden Umlauf zu bestimmen.

Nachfolgend wird auf die wesentlichen Eigenschaften der einfachen Kanalübertragungsfunktion $G_{1WR}(j\omega)=G(j\omega)$ gegenüber der weit verbreiteten Ermittlung der Umlaufkanalübertragungsfunktion $G_{2WR}(j\omega)=G^2(j\omega)$ eingegangen.

In der Abbildung der Figur 7 ist beispielhaft in einer typischen Mehrwegeumgebung der Amplitudenverlauf im Frequenzbereich von beiden Funktionen auf Basis von Messwerten dargestellt. Da die Umlaufkanalübertragungsfunktion dem Quadrat der Einwegkanalübertragungsfunktion entspricht, ist die Umlaufkanalübertragungsfunktion mit $10\log_{10}$ skaliert und die Einwegkanalübertragungsfunktion mit $20\log_{10}$. Die entsprechenden Verläufe sind annähernd gleich.

Die Bedeutung der Extraktion der Einwegkanaltransferfunktion erschließt sich mit Hilfe der Fourier-Transformation in den Zeitbereich; die entsprechenden Kanalimpulsantworten geben Aufschluss über das Mehrwegverhalten.

Die entsprechenden Impulsantworten sind in der Figur 8 dargestellt. In dem oberen Diagramm ist die ermittelte Transferfunktion für einen einzigen Weg zwischen Initiator und Transponder und in dem unteren Diagramm die gemäß dem ersten Modus ermittelte Transferfunktion für den Umlauf dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Messergebnis für einen Umlauf stärker von weiteren Pfaden dominiert ist, während das Messergebnis der Einwegkanaltransferfunktion von der Energie des direkten Pfades 1 dominiert wird und weitere Wege 2 und 3 abbildet.

Die Ursache liegt im 2-fachen Durchlauf der elektromagnetischen Wellen durch das entsprechende Ausbreitungsmedium. Die resultierende Transferfunktion entspricht im Zeitbereich der Faltung der 1WR Kanalimpulsantwort mit sich selbst. Die 2WR-Kanalimpulsantwort enthält damit neben den Pfaden der 1WR-Kanalimpulsantwort (1,2,3) zusätzliche Pfade (1-2,1-3, 2-3) die aus der Faltung der Pfade untereinander entstehen.

Wie aus der Darstellung deutlich wird, können diese Faltungsprodukte auch die Ausprägung der Pfade 1,2,3 innerhalb der 2WR Darstellung beeinflussen, da sich diesen überlagern. Dies wird deutlich am Pfad 2 innerhalb der 2WR Darstellung. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Faltungsprodukte durchaus auch die direkten Pfade dominieren können. So ist in der 1WR Darstellung der Pfad 1 der Dominierende. Das 2WR Ergebnis wird dagegen durch die Energie des Faltungsprodukts 1-2 dominiert.

Die Abbildung der Figur 9 zeigt schematische eine Anordnung von drei Funkknoten FI, FT1 und FT2 zur Durchführung einer weiteren alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens für Funkmessenwendungen. Jeder der drei Funkknoten FI, FT1 und FT2 verfügt jeweils über eine Empfangseinheit RX, eine Sendeeinheit TX, eine Datenschnittstelle DS1 bzw. DS2 bzw. DS3 und einen eigenen Zeitgeber $Z(t)$ bzw. $Z(t')$ bzw. $Z(t'')$.

Die Abbildung der Figur 10 veranschaulicht einen Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens mit drei Funkknoten über die jeweilige Zeitachse t bzw. t' bzw. t'' . Zwischen den einzelnen Zeitbasen besteht jeweils ein Zeitoffset $T_{\text{offs},1}$ bzw. $T_{\text{offs},2}$. Ein erster Funkknoten FI bildet den Initiator und die beiden weiteren Funkknoten FT1 und FT2 bilden jeweils einen Transponder. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu den vorangegangenen Abbildungen, insbesondere zu Figur 4, erläutert.

Eine Schrittfolge besteht aus drei Schritten, wobei in dem ersten Schritt S1, der Initiator FI in dem Sendemodus ein Initialsignal T_I aussendet, welches von den beiden Transpondern FT1 und FT2 empfangen wird, in dem zweiten Schritt S2 der erste Transponder FT1 ein Antwortsignal T_{T1} aussendet, welches von dem Initiator FI und dem zweiten Transponder FT2 empfangen wird, und in dem dritten Schritt S3, der zweite Transponder FT2 ein Antwortsignal T_{T2} aussendet, welches von dem Initiator FI und dem ersten Transponder FT1 empfangen wird.

Die Schrittfolge nimmt ein Zeitintervall T_{SF} ein und wird mehrfach wiederholt, wobei der Index m die Wiederholungen angibt. Das Initialsignal T_I sowie beide Antwortsignale T_{T1} und T_{T2} zumindest während einer Schrittfolge, also während des Zeitintervalls T_{sf} kohärent sind.

5

Der dritte Schritt S3 entspricht somit einer Wiederholung des zweiten Schritts S2, nur dass ein anderer Transponder das Antwortsignal sendet.

Patentansprüche

1. Verfahren für Funkmessenanwendungen, wobei
- 5 - wenigstens zwei Funkknoten bereitgestellt werden,
- mindestens ein erste Funkknoten als Initiator und mindestens ein
zweiter Funkknoten als Transponder arbeitet,
- der erste Funkknoten und der zweite Funkknoten jeweils einen
eigenen Zeitgeber und eine Datenschnittstelle aufweisen,
- 10 - zwischen den Zeitgebern des ersten Funkknotens und des zweiten
Funkknotens ein Zeitversatz besteht,
- in einem ersten Schritt von dem Initiator eine erste Trägerfrequenz
als ein Initialsignal gesendet wird und von dem Transponder während
eines ersten Empfangszeitraums das Initialsignal empfangen wird,
- 15 - in einem zweiten Schritt von dem Transponder mit einer zweiten
Trägerfrequenz ein Antwortsignal gesendet wird und von dem Initiator
während eines zweiten Empfangszeitraums das Antwortsignal
empfangen wird,
- eine Schrittfolge aus dem ersten Schritt und dem zweiten Schritt in
- 20 der genannten Reihenfolge wenigstens einmal wiederholt wird,
- das Initialsignal und das Antwortsignal zumindest während jeder
Schrittfolge kohärent sind, und
- die Trägerfrequenz des Initialsignals und die Trägerfrequenz des
Antwortsignals bei jeder Wiederholung innerhalb eines vorbestimmten
- 25 Frequenzbereichs geändert werden,
dadurch gekennzeichnet, dass
- das Verfahren entweder in einem ersten Modus oder in einem
zweiten Modus arbeitet, wobei
- in dem ersten Modus das Antwortsignal zumindest aus einem Teil des
- 30 empfangenen Initialsignals gebildet und eine Transferfunktion und/oder
der Zeitversatz anhand zumindest eines Teils der empfangenen
Antwortsignale ermittelt wird,
- in dem zweiten Modus das Antwortsignal unabhängig von dem
empfangenen Initialsignal gebildet wird, mindestens zwei empfangene

Initialsignale mittels der Datenschnittstelle übermittelt werden und mindestens eine Transferfunktion und/oder der Zeitversätze anhand zumindest eines Teils der empfangenen Antwortsignale und zumindest eines Teils der empfangenen und übermittelten Initialsignale ermittelt wird.

5

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Trägerfrequenz der ersten Trägerfrequenz entspricht oder sich von der ersten Trägerfrequenz unterscheidet.

10

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Messzyklus aus mehreren Wiederholungen der Schrittfolge gebildet wird und das Initialsignal und das Antwortsignal mindestens während eines Messzyklus oder mindestens während mehrere Messzyklen kohärent sind.

15

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Initialsignal ein erster komplexer Signalvektor ermittelt wird und das Antwortsignal aus dem ersten komplexen Signalvektor gebildet wird.

20

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem empfangenen Initialsignal ein erster komplexer Signalvektor ermittelt wird und das Antwortsignal aus dem reziproken ersten komplexen Signalvektor gebildet wird.

25

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem empfangenen Initialsignal ein erster komplexer Signalvektor ermittelt wird und das Antwortsignal aus dem konjugiert komplexen ersten komplexen Signalvektor gebildet wird.

30

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem empfangenen Initialsignal eine erste

Phase ermittelt wird und das Antwortsignal aus der ersten Phase oder aus der invertierten ersten Phase gebildet wird.

- 5 8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass immer mindestens ein Funkknoten als Initiator und immer mindestens ein Funkknoten als Transponder arbeitet, wobei jeder Funkknoten über mehrere Schrittfolgen mindestens einmal als Initiator und mindestens einmal als Transponder arbeitet oder jeder Funkknoten über mehrere Schrittfolgen nur als Initiator oder nur als
10 Transponder arbeitet.
9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Messzyklus aus mehreren Wiederholungen der Schrittfolge gebildet wird und die erste Trägerfrequenz für jede
15 Wiederholung während des Messzyklus jeweils einen vorbestimmten Wert innerhalb des Frequenzbereichs annimmt.
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der ermittelten Transferfunktion und/oder des Zeitversatzes ein Abstand zwischen dem mindestens
20 einen Initiator und dem mindestens einen Transponder bestimmt wird.
11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für mindestens eine ermittelte Transferfunktion eine Mehrwege-Analyse durchgeführt wird.
25
12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf die empfangenen Antwortsignale und/oder die empfangenen Initialsignale ein Filter angewandt wird.
30
13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei jeder Wiederholung zusätzlich zu der Trägerfrequenz des Initialsignals eine Amplitude und/oder eine Phase des Initialsignals verändert wird.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens drei Funkknoten bereitgestellt werden und in jeder Schrittfolge der zweite Schritt mindestens einmal wiederholt wird, wobei in dem ersten Schritt das Initialsignal von mindestens zwei als Transponder fungierenden Funkknoten empfangen wird, in jedem zweiten Schritt von genau einem der Transponder das Antwortsignal gesendet und von dem Initiator sowie von mindestens einem weiteren Transponder empfangen wird, bei jeder Wiederholung des zweiten Schritts ein anderer Transponder das Antwortsignal sendet und in dem ersten Modus bei jeder Wiederholung des zweiten Schritts das Antwortsignal jeweils zumindest aus einem Teil des empfangenen Initialsignals oder aus einem Teil des empfangenen Antwortsignals gebildet wird.
15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Initiator das Initialsignal während eines ersten Sendezeitraums sendet und der Transponder das Antwortsignal während eines zweiten Sendezeitraums sendet, wobei der erste Sendezeitraum und der zweite Sendezeitraum jeweils mehrere, aufeinanderfolgende Zeitfenster umfassen, jeweils nur während der Zeitfenster gesendet wird und jeweils zwei aufeinanderfolgende Zeitfenster zeitlich unmittelbar aufeinander folgen oder zeitlich einen Abstand zueinander aufweisen.

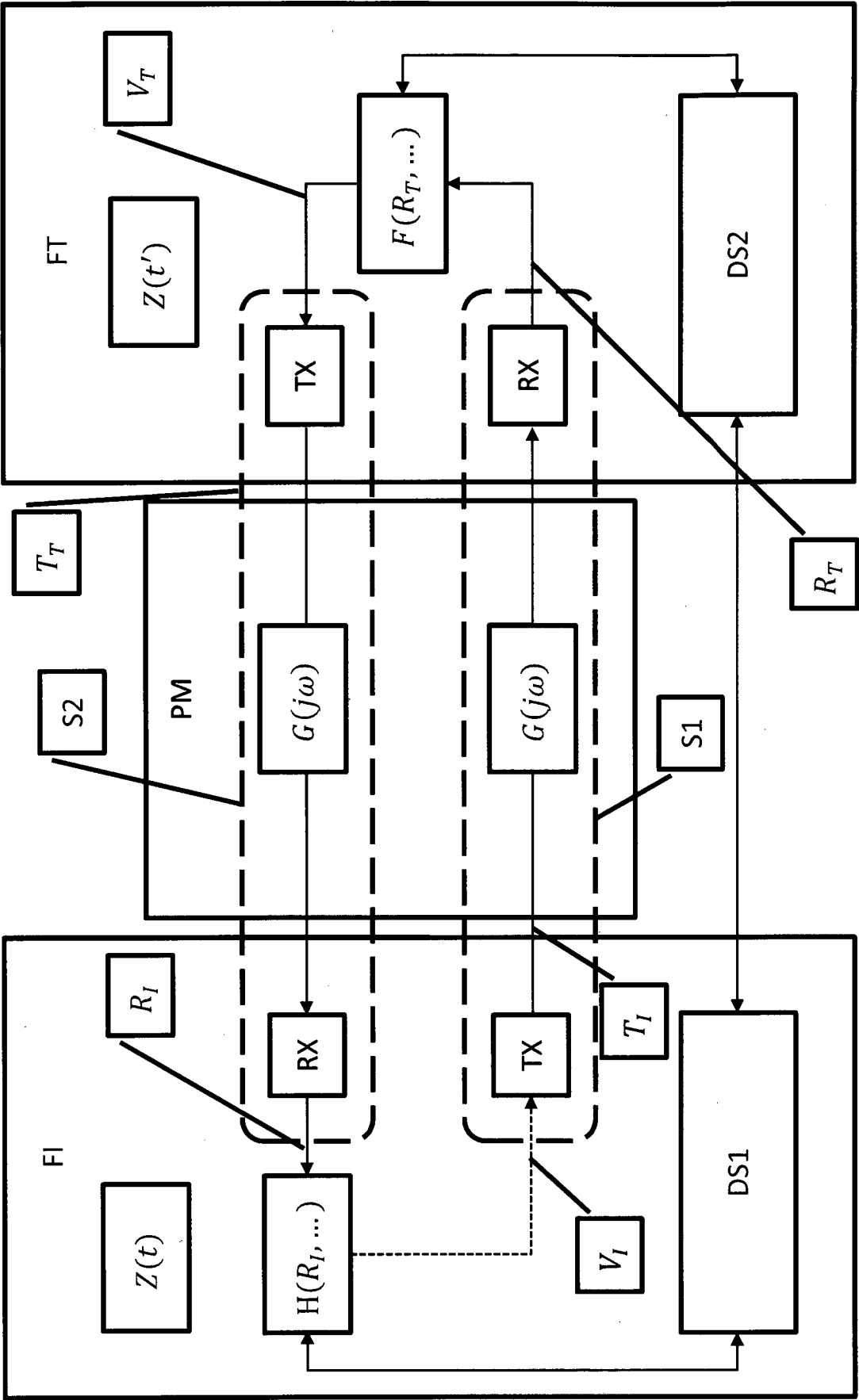


Fig. 1

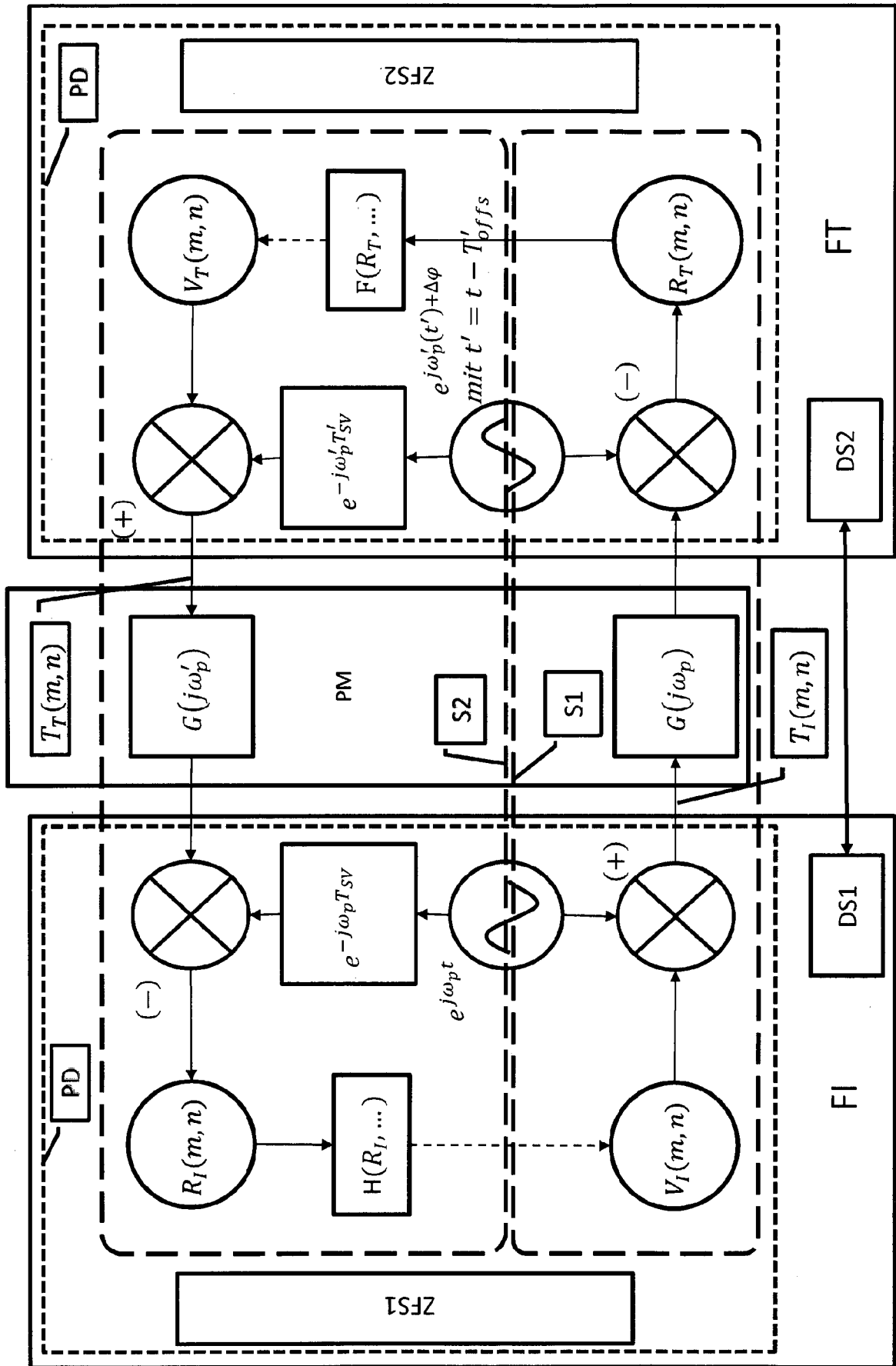


Fig. 2

Initiator TX BB Vector V_I	Initiator TX HF Signal T_I	Transponder RX BB Vector R_T	Transponder TX BB Vector V_T	Transponder TX HF Signal T_T	Initiator RX BB Vector R_I
Schritt S1			Schritt S2		
1	$e^{j\omega_p t}$	$G(j\omega_p) \cdot e^{j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$	1	$e^{j(\omega_p \cdot (t - T'_{\text{offset}} - T_{SV}) + \Delta\varphi)}$	$G(j\omega_p) \cdot e^{-j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$
			$V_T = R_T = G(j\omega_p) \cdot e^{j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$	$G(j\omega_p) \cdot e^{j\omega_p \cdot (t - T_{SV})}$	$G(j\omega_p) \cdot G(j\omega_p) = \text{mag}^2(G(j\omega_p)) \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \text{phase}(G(j\omega_p))}$
			$V_T = 1/R_T = 1/G(j\omega_p) \cdot e^{-j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$	$1/G(j\omega_p) \cdot e^{j\omega_p \cdot (t - 2 \cdot T'_{\text{offset}} - T_{SV})} \cdot e^{2 \cdot j\Delta\varphi}$	$e^{-j \cdot 2 \cdot (\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$
			$V_T = \text{conj}(R_T) = G^*(j\omega_p) \cdot e^{-j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$	$G^*(j\omega_p) \cdot e^{j\omega_p \cdot (t - 2 \cdot T'_{\text{offset}} - T_{SV})} \cdot e^{2 \cdot j\Delta\varphi}$	$\text{mag}^2(G(j\omega_p)) \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot (\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$
			$V_T = e^{j \cdot \text{phase}(R_T)} = e^{j \cdot \text{phase}(G(j\omega_p))} \cdot e^{j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$	$e^{j \cdot \text{phase}(G(j\omega_p))} \cdot e^{j\omega_p \cdot (t - T_{SV})}$	$\text{mag}(G(j\omega_p)) \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \text{phase}(G(j\omega_p))}$
			$V_T = e^{-j \cdot \text{phase}(R_T)} = e^{-j \cdot \text{phase}(G(j\omega_p))} \cdot e^{-j(\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$	$e^{-j \cdot \text{phase}(G(j\omega_p))} \cdot e^{j\omega_p \cdot (t - 2 \cdot T'_{\text{offset}} - T_{SV})} \cdot e^{2 \cdot j\Delta\varphi}$	$\text{mag}(G(j\omega_p)) \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot (\omega_p \cdot T'_{\text{offset}} - \Delta\varphi)}$

Fig. 3

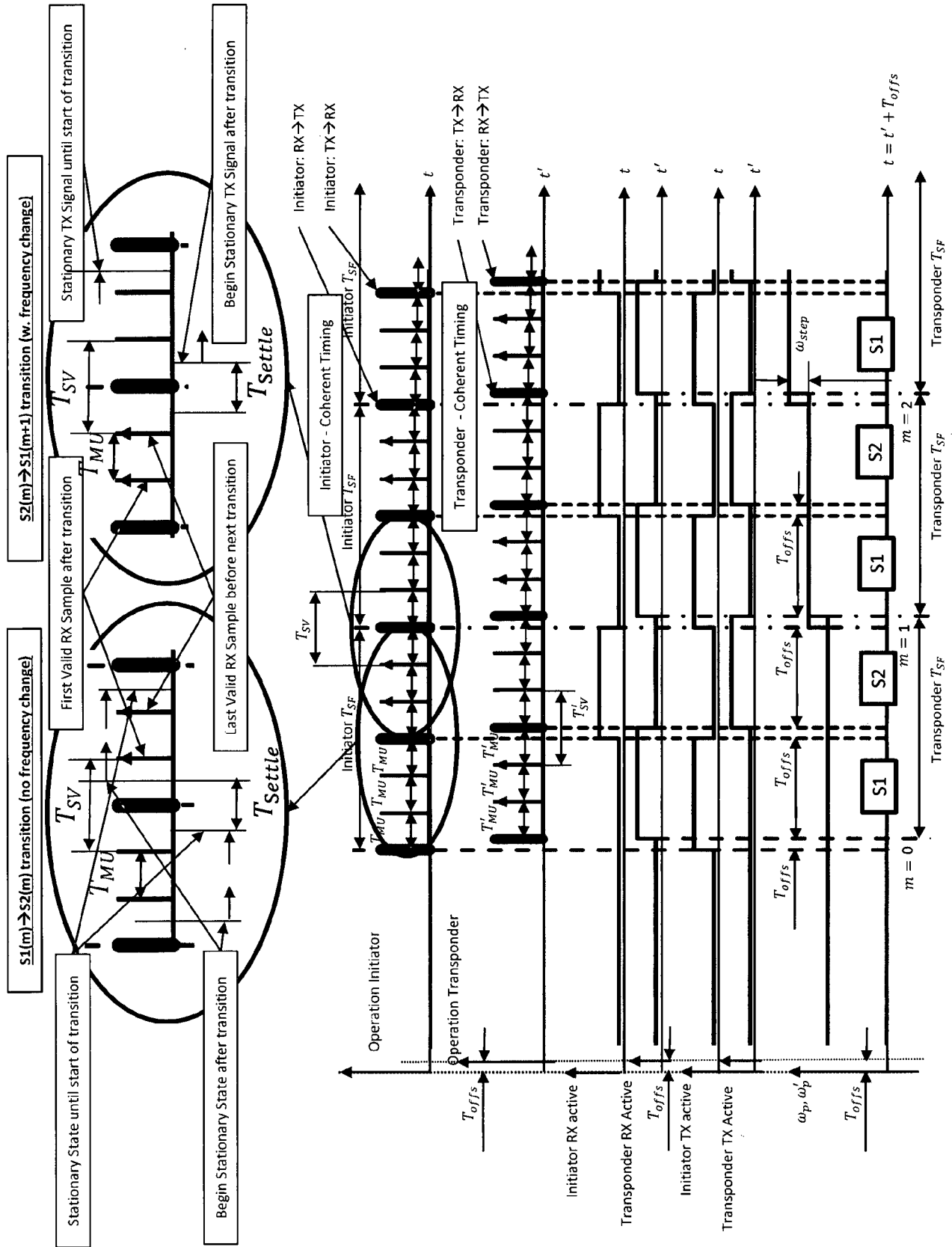


Fig. 4

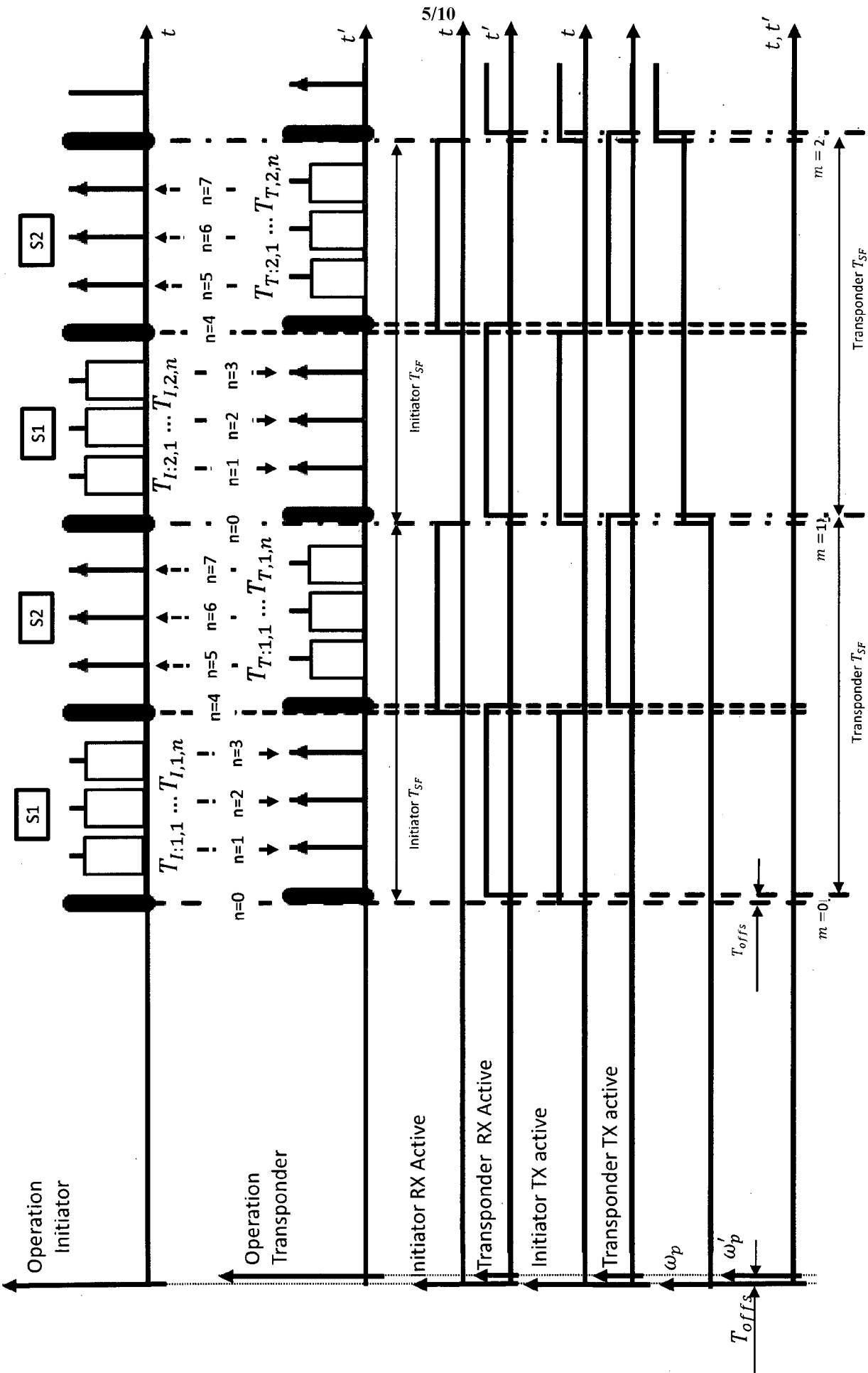


Fig. 5

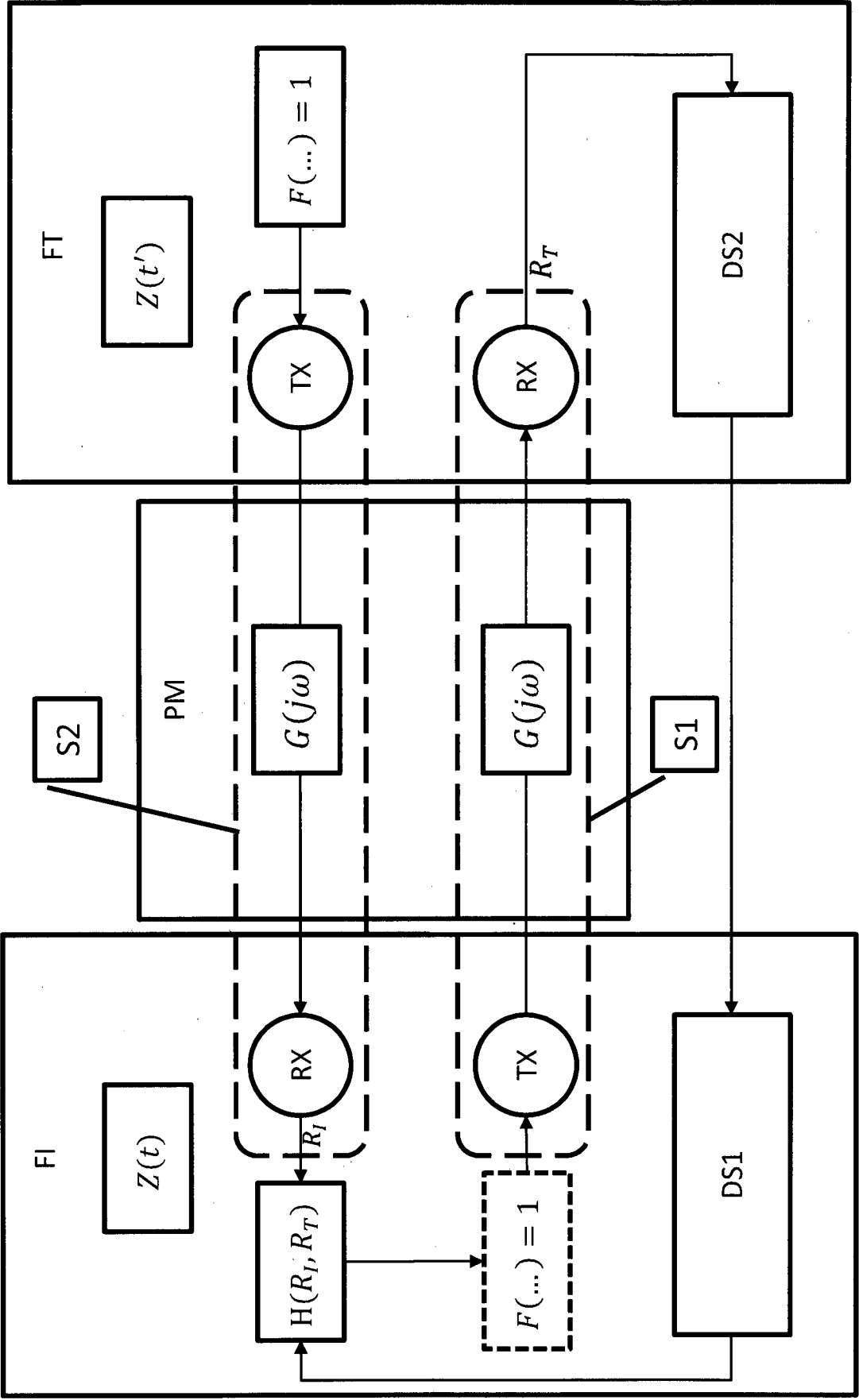


Fig. 6

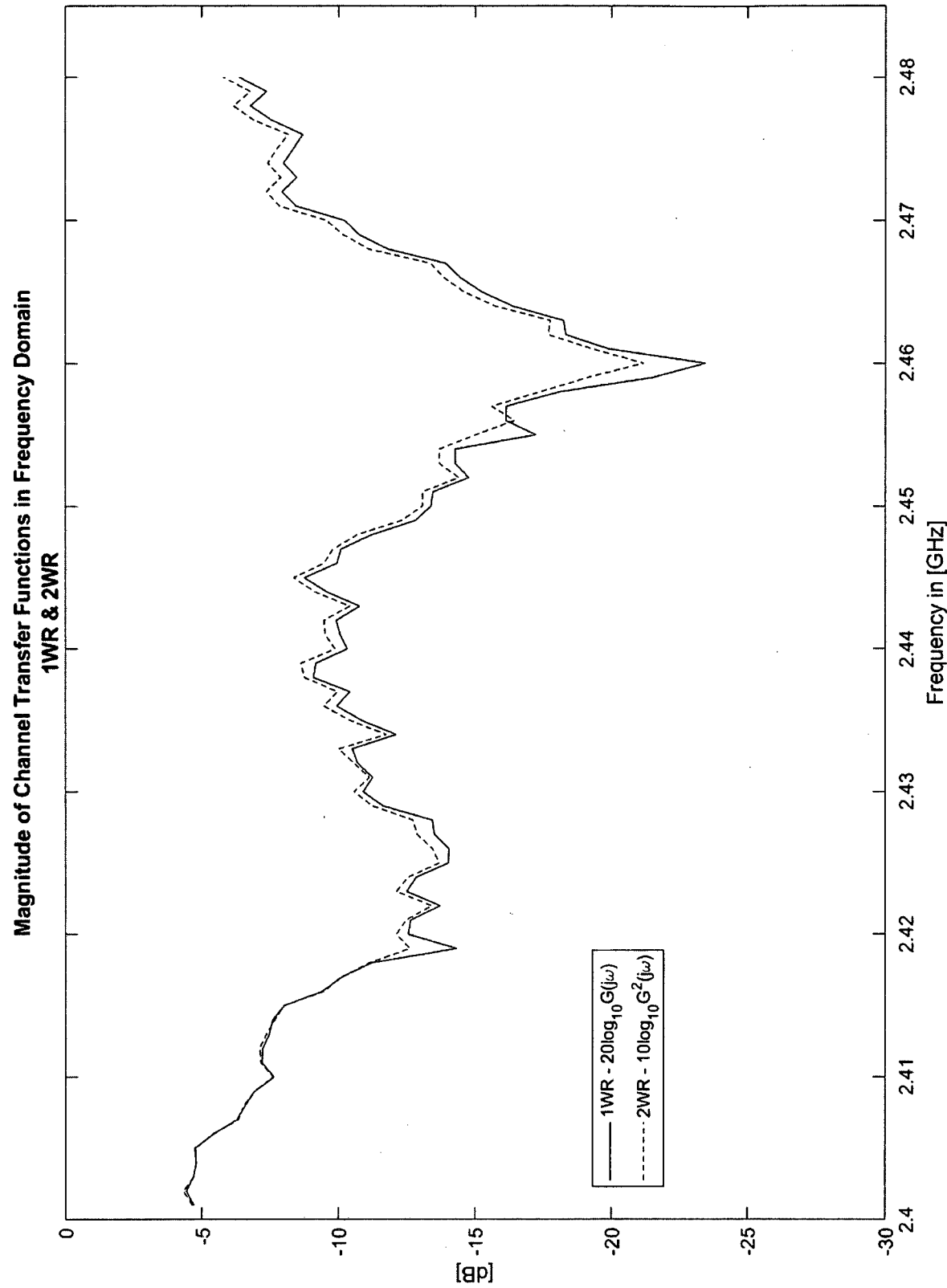


Fig. 7

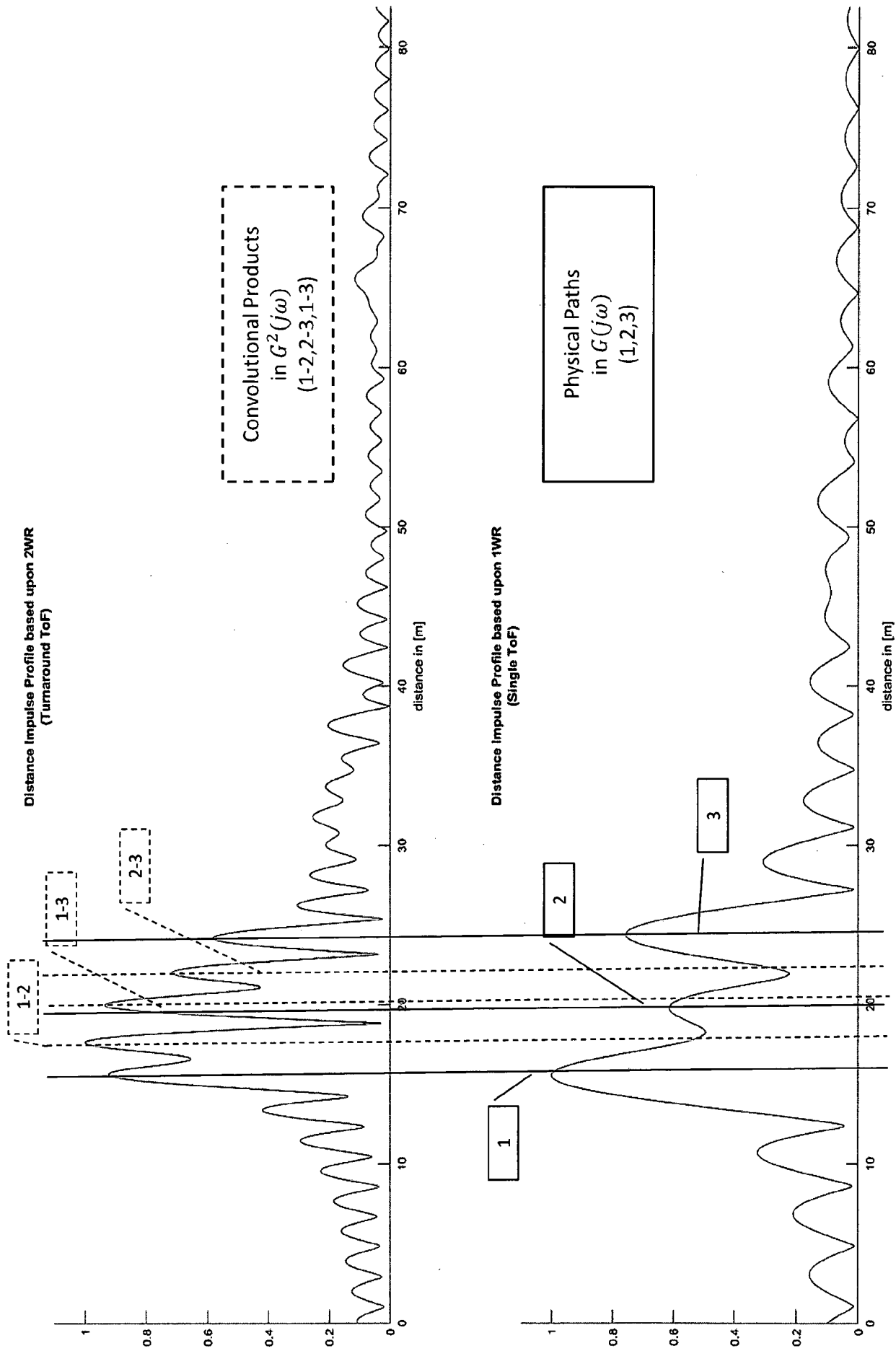


Fig. 8

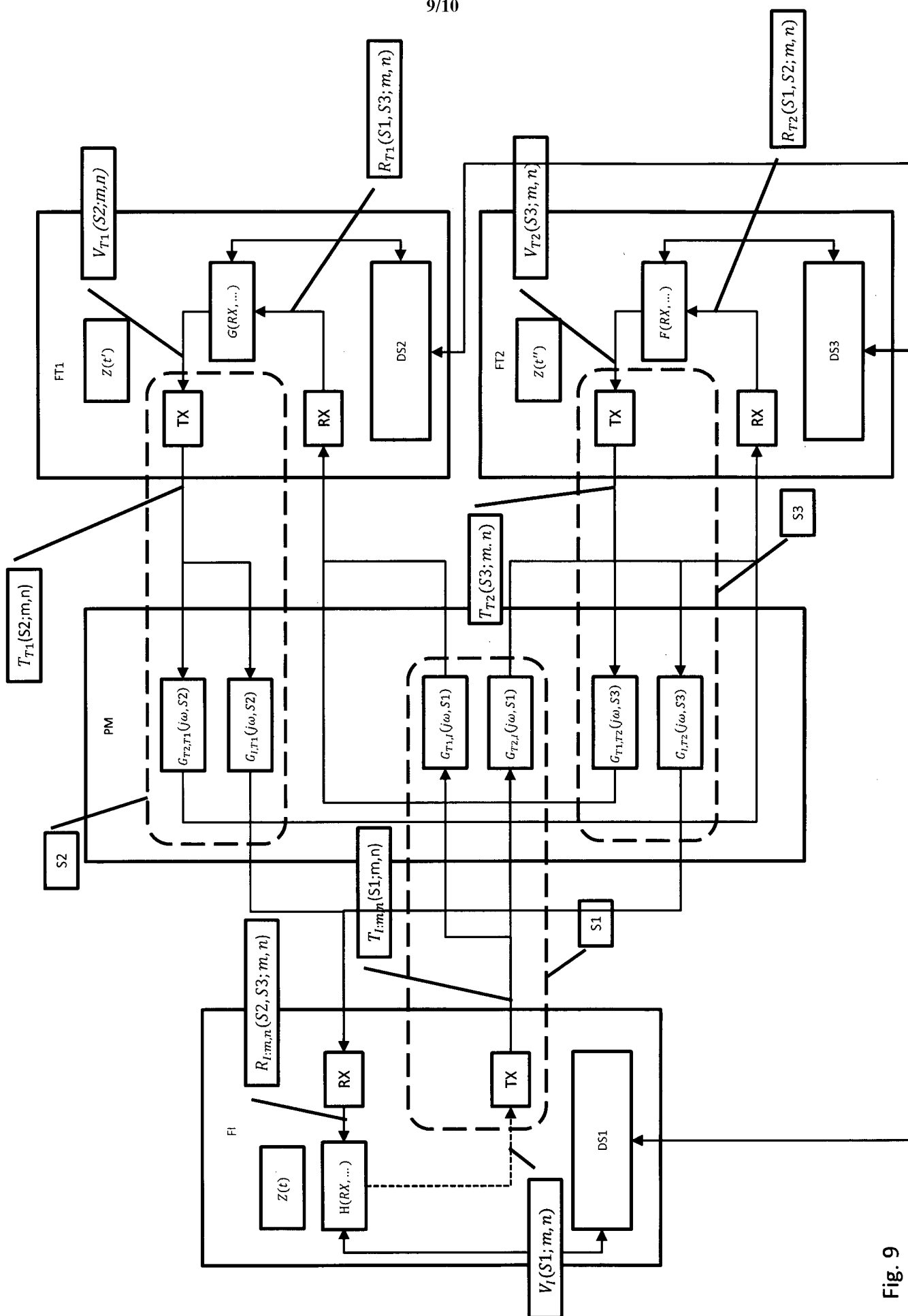


Fig. 9

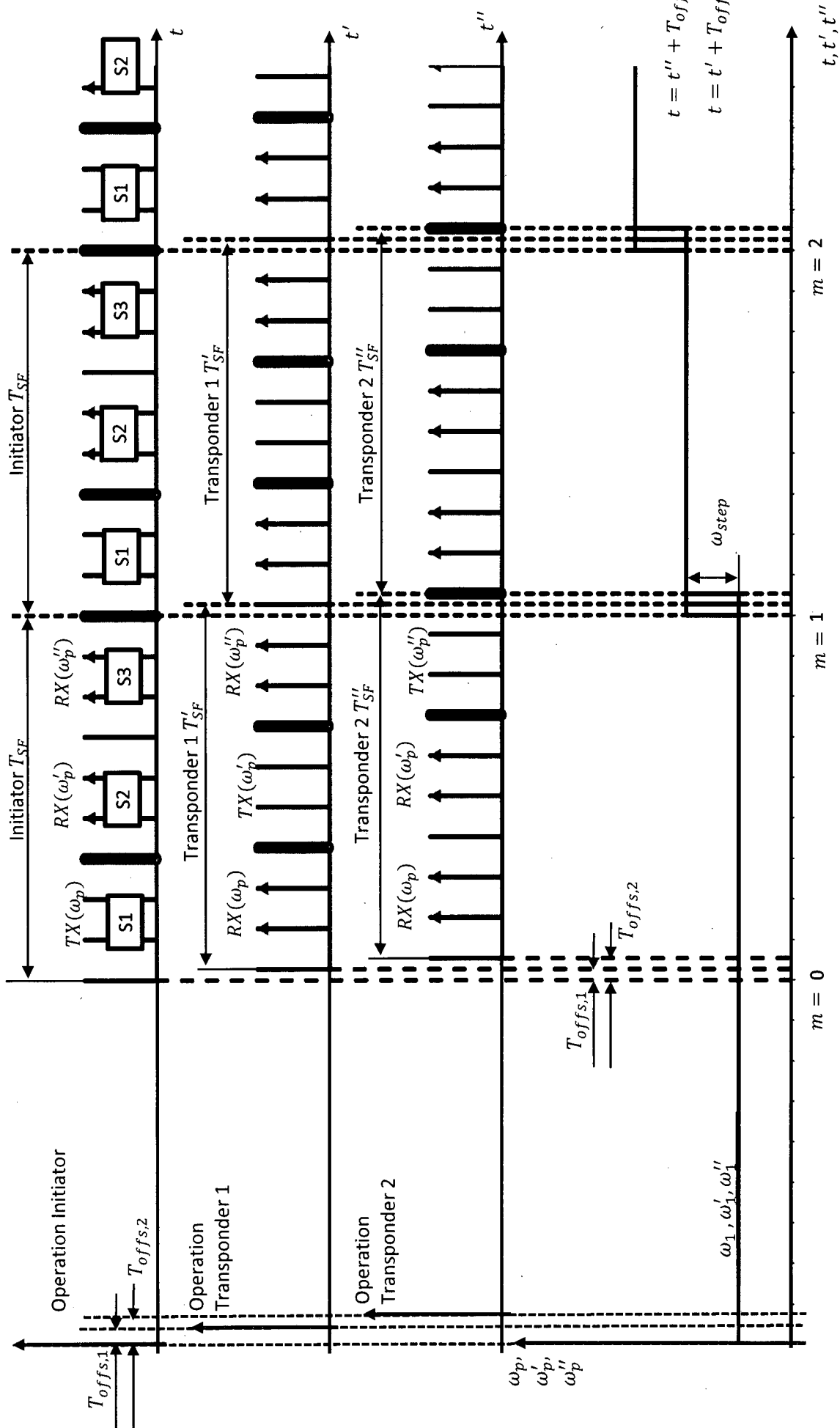


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/000434

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H04W 24/00</i> (2009.01)i; <i>G01S 5/02</i> (2010.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04W; G01S Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 0201247 A2 (SIEMENS AG [DE]; BERGERHOFF NIKOLAS [DE]) 03 January 2002 (2002-01-03) page 4, line 10 - page 7, line 26 figure 2	1-15
Y	WO 2005119379 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; LEITCH ADAM S [GB]) 15 December 2005 (2005-12-15) page 5, line 5 - page 6, line 3 figures 2,3	1-15
A	EP 2244098 A1 (UNIV DUISBURG ESSEN [DE]) 27 October 2010 (2010-10-27) paragraph [0024] - paragraph [0032] figure 1A	1-15
A	EP 3067712 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR]) 14 September 2016 (2016-09-14) paragraph [0018] - paragraph [0022] figure 1	1-15
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 30 November 2018		Date of mailing of the international search report 07 December 2018
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Rabe, Marcus Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/000434

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	0201247	A2	03 January 2002	EP	1295148	A2	26 March 2003
				JP	2004502177	A	22 January 2004
				US	2003090365	A1	15 May 2003
				WO	0201247	A2	03 January 2002
WO	2005119379	A1	15 December 2005	CN	1965270	A	16 May 2007
				DE	602005003573	T2	19 June 2008
				EP	1756678	A1	28 February 2007
				JP	5166869	B2	21 March 2013
				JP	2008502199	A	24 January 2008
				KR	20070029725	A	14 March 2007
				US	2009198467	A1	06 August 2009
				WO	2005119379	A1	15 December 2005
EP	2244098	A1	27 October 2010	AT	530923	T	15 November 2011
				EP	2244098	A1	27 October 2010
EP	3067712	A1	14 September 2016	EP	3067712	A1	14 September 2016
				KR	20150052753	A	14 May 2015
				US	2016274229	A1	22 September 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H04W24/00 G01S5/02
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H04W G01S

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 02/01247 A2 (SIEMENS AG [DE]; BERGERHOFF NIKOLAS [DE]) 3. Januar 2002 (2002-01-03) Seite 4, Zeile 10 - Seite 7, Zeile 26 Abbildung 2	1-15
Y	----- WO 2005/119379 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; LEITCH ADAM S [GB]) 15. Dezember 2005 (2005-12-15) Seite 5, Zeile 5 - Seite 6, Zeile 3 Abbildungen 2,3	1-15
A	----- EP 2 244 098 A1 (UNIV DUISBURG ESSEN [DE]) 27. Oktober 2010 (2010-10-27) Absatz [0024] - Absatz [0032] Abbildung 1A ----- -/-	1-15

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. November 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/12/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Rabe, Marcus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 3 067 712 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR]) 14. September 2016 (2016-09-14) Absatz [0018] - Absatz [0022] Abbildung 1 -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/000434

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0201247	A2	03-01-2002	EP 1295148 A2 26-03-2003
			JP 2004502177 A 22-01-2004
			US 2003090365 A1 15-05-2003
			WO 0201247 A2 03-01-2002
WO 2005119379	A1	15-12-2005	CN 1965270 A 16-05-2007
			DE 602005003573 T2 19-06-2008
			EP 1756678 A1 28-02-2007
			JP 5166869 B2 21-03-2013
			JP 2008502199 A 24-01-2008
			KR 20070029725 A 14-03-2007
			US 2009198467 A1 06-08-2009
			WO 2005119379 A1 15-12-2005
EP 2244098	A1	27-10-2010	AT 530923 T 15-11-2011
			EP 2244098 A1 27-10-2010
EP 3067712	A1	14-09-2016	EP 3067712 A1 14-09-2016
			KR 20150052753 A 14-05-2015
			US 2016274229 A1 22-09-2016