



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2004 054 914 A1 2005.06.09**

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 054 914.1**

(22) Anmeldetag: **12.11.2004**

(43) Offenlegungstag: **09.06.2005**

(51) Int Cl.7: **A61B 19/00**

(30) Unionspriorität:

<b>60/520,189</b>	<b>14.11.2003</b>	<b>US</b>
<b>10/869,396</b>	<b>16.06.2004</b>	<b>US</b>

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(71) Anmelder:

**GE Medical Systems Global Technology  
 Company, LLC, Waukesha, Wis., US**

(72) Erfinder:

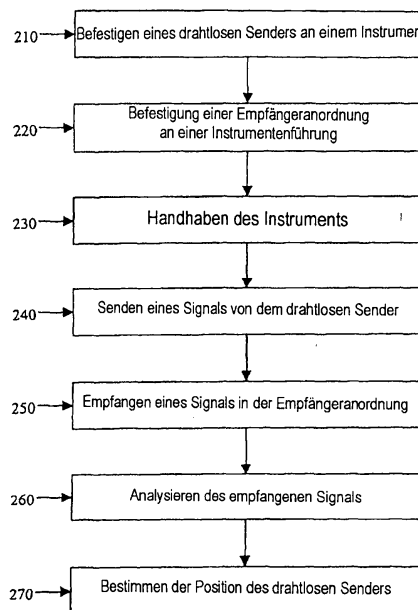
**Anderson, Peter Traneus, Andover, Mass., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Elektromagnetisches Verfolgungssystem und -verfahren unter Verwendung eines drahtlosen Dreispulensenders**

(57) Zusammenfassung: Bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schaffen ein System (100) und ein Verfahren (200) zur elektromagnetischen Verfolgung unter Verwendung eines drahtlosen Dreispulensenders (110). Das elektromagnetische Verfolgungssystem (100) enthält ein Instrument (130), das von einem Bediener zum Erfüllen einer Aufgabe betätigt wird, einen drahtlosen Sender (110) zum Senden eines drahtlosen Signals, eine Empfängeranordnung (120) zum Empfangen des drahtlosen Signals und Elektronik (150) zum Bestimmen der Positionsinformationen des Instruments (130), gestützt auf eine Beziehung zwischen der Empfängeranordnung (120) und dem drahtlosen Sender (110). In einer Ausführungsform enthält der drahtlose Sender (110) ein drahtloses Senderspulen-trio. In einer Ausführungsform enthält die Empfängeranordnung (120) zwei Empfängerspulen-trios (122, 124).

200



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf ein elektromagnetisches Verfolgungssystem. Im Speziellen bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein elektromagnetisches Verfolgungssystem unter Verwendung eines drahtlosen Senders.

## Stand der Technik

**[0002]** In viele medizinische Verfahren ist ein medizinisches Instrument, wie z.B. ein Bohrer, ein Katheter, ein Skalpell, ein Rahmen, ein Stent oder ein anderes Werkzeug einbezogen. In einigen Fällen kann ein medizinisches Bildgebungs- oder Videosystem verwendet werden, um Positionsinformationen zu dem Instrument, wie auch eine Visualisierung einer Innenaufnahme eines Patienten zu liefern. Ärzte können jedoch medizinische Bildgebungssysteme oft nicht nutzen, wenn sie Operationen ausführen. Typischerweise sind medizinische Bildgebungssysteme zu langsam, um brauchbare Echtzeitbilder zur Instrumentenverfolgung bei medizinischen Operationen zu erzeugen. Der Gebrauch medizinischer Bildgebungssysteme zur Instrumentenverfolgung kann z.B. auch aus Gesundheits- und Sicherheitsgründen (z.B. die Strahlungsdosierung betreffend), finanziellen Beschränkungen, physischen Platzbeschränkungen und anderen Gründen beschränkt sein.

**[0003]** Medizinische Praktiker, wie z.B. Ärzte, Chirurgen und andere medizinische Fachleute, verlassen sich beim Ausführen einer medizinischen Operation oft auf Technologie, wie z.B. bildgeführte Chirurgie oder Untersuchung. Ein Verfolgungssystem kann z.B. Positionsinformationen zu einem medizinischen Instrument in Bezug auf den Patienten oder ein Referenzkoordinatensystem liefern. Ein Arzt kann auf das Verfolgungssystem Bezug nehmen, um die Position des medizinischen Instruments zu bestimmen, wenn sich das Instrument nicht innerhalb des Sichtbereiches des Arztes befindet. Ein Verfolgungssystem kann auch bei der Planung vor einem chirurgischen Eingriff helfen.

**[0004]** Das Verfolgungs- oder Navigationssystem erlaubt dem Arzt, die Anatomie des Patienten sichtbar darzustellen und die Position und die Orientierung des Instruments zu verfolgen. Der Arzt kann das Verfolgungssystem verwenden, um zu bestimmen, wann das Instrument an der gewünschten Stelle positioniert ist. Der Arzt kann einen gewünschten oder verletzten Bereich lokalisieren und bearbeiten, während er anderen Strukturen ausweicht. Erhöhte Genauigkeit beim Lokalisieren medizinischer Instrumente innerhalb eines Patienten kann durch das Erleichtern einer verbesserten Kontrolle über kleinere Instrumente, die weniger Auswirkungen auf den Pati-

enten haben, für eine weniger invasive medizinische Operation sorgen. Eine verbesserte Steuerung und Genauigkeit mit kleineren verfeinerten Instrumenten kann auch die mit stärker invasiven Operationen, wie z.B. offenen chirurgischen Operationen, verbundenen Risiken reduzieren.

**[0005]** Verfolgungssysteme können auch benutzt werden, um die Position von anderen Gegenständen als medizinischen Instrumenten in einer Vielzahl von Anwendungen zu verfolgen.

**[0006]** Das bedeutet, dass ein Verfolgungssystem in anderen Bereichen verwendet werden kann, wo die Position eines Instruments in einem Objekt oder einer Umgebung durch visuelle Prüfung nicht genau bestimmt werden kann. Z.B. kann die Verfolgungstechnologie in gerichtlichen oder Sicherheitsanwendungen benutzt werden. Einzelhandelskaufhäuser können die Verfolgungstechnologie anwenden, um Diebstahl von Waren zu verhindern. In solchen Fällen kann ein passiver Transponder auf der Ware angebracht sein. Ein Sender kann innerhalb der Einzelhandelseinrichtung strategisch angeordnet sein. Der Sender sendet ein Erregungssignal von einer Frequenz aus, die so ausgewählt ist, dass sie eine Antwort von einem Transponder erzeugt. Wenn die einen Transponder tragende Ware sich innerhalb des Sendebereichs des Senders befindet, erzeugt der Transponder ein Antwortsignal, das von einem Empfänger erkannt wird. Der Empfänger bestimmt anschließend, gestützt auf die Eigenschaften des Antwortsignals, den Aufenthaltsort des Transponders.

**[0007]** Verfolgungssysteme werden auch oft in Virtual-Reality-Systemen oder -Simulatoren verwendet. Verfolgungssysteme können auch benutzt werden, um die Position einer Person in einer simulierten Umgebung zu überwachen. Ein oder mehrere Transponder können auf einer Person oder einem Objekt angeordnet sein. Ein Sender sendet ein Erregungssignal aus, und ein Transponder erzeugt ein Antwortsignal. Das Antwortsignal wird von einem Empfänger erkannt. Das von dem Transponder ausgesandte Signal kann danach verwendet werden, um die Position einer Person oder eines Objektes in einer simulierten Umgebung zu überwachen.

**[0008]** Die zum Verfolgen größerer Objekte, wie z.B. Flugzeugen in Bezug zu einem Flughafen, verwendeten Verfolgungssysteme beinhalten weniger genaue Messungen als die Systeme, die kleinere Objekte, wie z.B. chirurgische Instrumente, verfolgen. Zusätzlich ist es wünschenswert, kleine und kostengünstige Verfolgungssysteme mit geringer Leistung zu verwenden, um kleine Objekte, wie z.B. medizinische Instrumente, zu verfolgen. Daher wäre ein Verfolgungssystem besonders wünschenswert, das bei Verwendung kleiner kostengünstiger Komponenten mit geringer Leistung genaue Messungen ermöglicht.

**[0009]** Verfolgungssysteme können z.B. Ultraschall-, Trägheitspositions- (inertial position) oder elektromagnetische Verfolgungssysteme sein. Elektromagnetische Verfolgungssysteme können Spulen als Empfänger und Sender verwenden. Typischerweise ist ein elektromagnetisches Verfolgungssystem in einer industriellen Standardspulenarchitektur (ISCA) aufgebaut. ISCA verwendet drei zusammengesetzte orthogonale Quasi-Dipol-Senderspulen und drei zusammengesetzte Quasi-Dipol-Empfängerspulen. Andere Systeme können drei große, nicht zusammengesetzte Nicht-Dipol-Senderspulen mit drei zusammengesetzten Quasi-Dipol-Empfängerspulen verwenden. Eine andere Verfolgungssystemarchitektur benutzt ein Feld von sechs oder mehr im Raum verteilten Senderspulen und eine oder mehrere Quasi-Dipol-Empfängerspulen. Alternativ kann eine einzelne Quasi-Dipol-Senderspule mit einem Feld aus sechs oder mehr im Raum verteilten Empfängern benutzt werden.

**[0010]** Die ISCA-Verfolgerarchitektur verwendet einen Drei-Achsen-Dipolspulensender und einen Drei-Achsen-Dipolspulenempfänger. Jeder Drei-Achsen-Sender oder -Empfänger ist so aufgebaut, dass die drei Spulen die gleiche effektive Fläche aufweisen, zueinander orthogonal ausgerichtet und in demselben Punkt zentriert sind. Ein Beispiel für ein Dipolspulentrio mit Spulen in X-, Y- und Z-Richtung, die etwa gleich um einen zentralen Punkt herum angeordnet sind, ist in **Fig. 6** dargestellt. Wenn die Spulen verglichen mit dem Abstand zwischen dem Sender und dem Empfänger klein genug sind, können die Spulen Dipolverhalten zeigen. Die von dem Trio der Senderspulen erzeugten Magnetfelder können von dem Trio der Empfängerspulen erkannt werden. Durch Verwendung von drei etwa konzentrisch angeordneten Senderspulen und drei etwa konzentrisch angeordneten Empfängerspulen können z.B. neun Parametermessungen erhalten werden. Unter Verwendung der Messungen der neun Gegeninduktivitäten können z.B. für den Sender eine Position mit drei Freiheitsgraden und eine Orientierung mit drei Freiheitsgraden gewonnen werden. Folglich wäre ein Verfahren zur verbesserten Bestimmung der Position und Orientierung besonders wünschenswert.

**[0011]** Einige existierende elektromagnetische Verfolgungssysteme enthalten einen Sender und Empfänger, die mit einer gemeinsamen Einrichtung oder einem Gehäuse verdrahtet sind. Bei den Systemen, bei denen Sender und Empfänger mit einer gemeinsamen Einrichtung verdrahtet sind, ist das verfolgte Objekt mit derselben Einrichtung wie die die Verfolgung ausführenden Komponenten verdrahtet. Folglich ist der Bewegungsbereich des verfolgten Objektes begrenzt.

**[0012]** Daher besteht Bedarf an einem Verfolgungssystem, das eine verbesserte Verfolgung eines Instruments erlaubt. Zusätzlich besteht Bedarf an einem elektromagnetischen Verfolgungssystem, das erhöhte Mobilität und Flexibilität ermöglicht. Bedarf besteht auch an einem elektromagnetischen chirurgischen Navigationssystem, das es ermöglicht, dass chirurgische oder andere medizinische Operationen auf eine weniger invasive Art durchgeführt werden können.

#### KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0013]** Bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung weisen ein drahtloses Dreispulensender verwendendes System und Verfahren zur elektromagnetischen Verfolgung auf. Das elektromagnetische Verfolgungssystem enthält ein von einem Benutzer zum Erfüllen einer Aufgabe betätigtes Instrument, einen drahtlosen Sender zum Senden eines drahtlosen Signals, eine Empfängeranordnung zum Empfangen des drahtlosen Signals und Elektronik zum Bestimmen der Positionsinformationen des Instruments auf der Grundlage einer Beziehung zwischen der Empfängeranordnung und dem drahtlosen Sender. Der drahtlose Sender ist auf dem Instrument angeordnet. In einer Ausführungsform enthält der drahtlose Sender ein drahtloses Senderspulentrio. In einer Ausführungsform enthält die Empfängeranordnung zwei Empfängerspulenentrios.

**[0014]** In einer Ausführungsform ist das Instrument ein medizinisches Instrument. In einer Ausführungsform kann das Instrument zum Erfüllen einer Aufgabe verwendet werden, die die Handhabung des Instruments außerhalb des Sichtbereiches des Benutzers einschließt. Das System kann auch einen verdrahteten Sender enthalten, der von dem Instrument entfernt angeordnet ist. Der verdrahtete Sender kann z.B. auf einer Instrumentenföhrung zu dem Instrument angeordnet sein. Die Empfängeranordnung kann auch auf der Instrumentenföhrung angeordnet sein.

**[0015]** In einer Ausführungsform schließt die Beziehung zwischen der Empfängeranordnung und dem drahtlosen Sender eine Triangulation zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung ein. Die Positionsinformationen können die Positions- und/oder Orientierungsinformationen zu dem Instrument enthalten. Die Positionsinformationen können durch ein Entfernungs- und ein Verstärkungsverhältnis zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung bestimmt werden. Die Positionsinformationen können auch durch Verwendung der Gegeninduktivitäten zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung bestimmt wer-

den.

**[0016]** Bestimmte Ausführungsformen enthalten ein Verfahren zum Verfolgen einer Position eines Instruments. Das Verfahren enthält das Übertragen eines Signals von einem auf dem Instrument angeordneten drahtlosen Sender, das Empfangen des Signals in einer Empfängeranordnung und das auf das Signal und eine Beziehung zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung gestützte Bestimmen der Positionsinformationen zu dem drahtlosen Sender.

**[0017]** Das Verfahren kann auch das Übertragen eines Signals von einem zweiten Sender enthalten, um die Positionsinformationen zu bestimmen. Zusätzlich kann das Verfahren das Bestimmen eines Betrages und einer Phase des Signals enthalten. Das Verfahren kann auch das Berechnen einer Summe von Produkten des Signals enthalten. In einer Ausführungsform kann das Verfahren das Bestimmen einer Gegeninduktivität zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung enthalten. Das Verfahren kann auch das Verfeinern der Positionsinformationen unter Verwendung eines Regressionssystems enthalten. Das Verfahren kann auch das Anzeigen der Positionsinformationen in Bezug auf ein Referenzsystem enthalten.

**[0018]** In einer Ausführungsform enthält der bestimmende Schritt weiterhin das Bestimmen der Positionsinformationen zu dem drahtlosen Sender durch Triangulation zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung. Der bestimmende Schritt kann auch das Bestimmen der Positionsinformationen des drahtlosen Senders durch Bestimmen eines Entfernungs- und Verstärkungsverhältnisses zwischen dem drahtlosen Sender und der Empfängeranordnung enthalten.

**[0019]** Bestimmte Ausführungsformen enthalten ein verbessertes drahtloses elektromagnetisches Verfolgungssystem. Das Verfolgungssystem enthält ein drahtloses Senderspulentrio, das an einem Objekt befestigt ist und ein Signal aussendet. Das System enthält auch eine Empfängeranordnung mit wenigstens zwei Empfängerspulentrios. Das System enthält außerdem eine Verfolgungselektronik zum Bestimmen der Positionsinformationen der drahtlosen Spule, gestützt auf die drahtlose Spule und die zwei oder mehr Empfängerspulentrios. Das System kann auch eine Anzeige zum Anzeigen der Positionsinformationen enthalten. In einer Ausführungsform können die Positionsinformationen auf der Grundlage des Signals und einer Triangulation der Signale zwischen dem drahtlosen Spulentrio und den zwei oder mehr Empfängerspulentrios bestimmt werden. Die Positionsinformationen können auch auf der Grundlage einer Gegeninduktivität zwischen dem drahtlosen Spulentrio und dem zwei oder mehr Empfängerspulentri-

os bestimmt werden.

Ausführungsbeispiel

#### KURZE BESCHREIBUNG VERSCHIEDENER ANSICHTEN DER ZEICHNUNGEN

**[0020]** [Fig. 1](#) zeigt ein elektromagnetisches Verfolgungssystem, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

**[0021]** [Fig. 2](#) zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Verfolgen einer Position eines Instruments, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewandt wird.

**[0022]** [Fig. 3](#) stellt eine Triangulation zwischen einem drahtlosen Sender und zwei Empfängern in einer Empfängeranordnung dar, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden.

**[0023]** [Fig. 4](#) zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen einer Größe und eines relativen Vorzeichens oder einer Phase jedes Signals, das durch den Empfänger von dem drahtlosen Sender empfangen worden ist, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewandt wird.

**[0024]** [Fig. 5](#) stellt eine induzierte Spannung in Form einer Kosinus-Grundschiwingung und eine induzierte Spannung in Form einer Kosinusschiwingung der zweiten Harmonischen in Bezug auf die Zeit gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

**[0025]** [Fig. 6](#) stellt ein Dipolspulentrio dar, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

**[0026]** Die vorangehende Zusammenfassung wie auch die folgende detaillierte Beschreibung bestimmter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden besser verstanden, wenn sie in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen gelesen werden. Zum Zweck der Darstellung der Erfindung werden bestimmte Ausführungsformen in den Zeichnungen gezeigt. Es sollte jedoch verstanden werden, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die in den beigefügten Zeichnungen gezeigten Anordnungen und Instrumente beschränkt ist.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0027]** Nur zum Zweck der Darstellung nimmt die folgende detaillierte Beschreibung Bezug auf ein bestimmtes Ausführungsbeispiel eines elektromagnetischen Verfolgungssystems, das mit einem bildge-

fürten chirurgischen Behandlungssystem benutzt wird. Es wird verstanden, dass die vorliegende Erfindung auch mit anderen Bildgebungssystemen oder anderen Anwendungen benutzt werden kann.

**[0028]** **Fig. 1** stellt ein elektromagnetisches Verfolgungssystem **100** dar, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird. Das Verfolgungssystem **100** enthält einen drahtlosen Sender **110**, eine Empfängeranordnung **120**, ein Instrument **130**, eine Instrumentenführung **140** und eine Verfolgungselektronik **150**. In einer Ausführungsform ist der drahtlose Sender **110** auf dem Instrument **130** angeordnet. Die Empfängeranordnung ist von dem Instrument **130** und dem Sender **110** entfernt angeordnet. Die Instrumentenführung **140** wird verwendet, um das Instrument **130** zu steuern.

**[0029]** In einer Ausführungsform enthält die Verfolgungselektronik **150** einen Lucas 4650-Prozessor. Die Verfolgungselektronik **150** kann z.B. mit der Empfängeranordnung **120** zusammengefasst oder ein separates Modul sein. In einer Ausführungsform ist die Verfolgungselektronik **150** auf einer Platine der Empfängeranordnung **120** angeordnet, um eine Produktsumme (SOP) zu bilden und andere Berechnungen an Signalen durchzuführen. In einer Ausführungsform ist eine SOP-Berechnung eine Komponente einer auf ein Fenster beschränkten diskreten Fourier-Transformation. Eine SOP kann unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$y = \sum_{n=1}^k a_n * x_n \quad (1)$$

**[0030]** In einer Ausführungsform enthält die Empfängeranordnung **120** zwei Empfänger **122**, **124**. Die Empfänger **122**, **124** der Empfängeranordnung **120** können z.B. Empfängerdipolspulen oder -spulentríos sein. Die Empfängeranordnung **120** kann in der Instrumentenführung **140** befestigt sein. Das Instrument **130** kann z.B. ein chirurgischer Bohrer oder ein anderes medizinisches Instrument sein. Die Instrumentenführung **140** kann z.B. eine Bohrerführung oder eine andere medizinische Instrumentenführung sein. In einer anderen Ausführungsform kann das Instrument **130** mit der Instrumentenführung **140** ein Werkzeug sein, dass für Anwendungen, bei denen der Sichtbereich des Bedieners durch ein Objekt verdeckt ist, indirekt gesteuert wird.

**[0031]** In bestimmten Ausführungsformen ist der drahtlose Sender **110** an dem Instrument **130** befestigt. Alternativ kann der drahtlose Sender mit dem Instrument **130** zusammengefasst sein. Unter Verwendung des drahtlosen Senders **110** und der Empfängeranordnung **120** wird die Position des Instruments **130** z.B. in Bezug auf die Instrumentenführung **140** oder einen anderen Referenzpunkt verfolgt.

**[0032]** Das System **100** kann auch einen oder mehrere zusätzliche Sender (nicht dargestellt) zur Verwendung bei der Verfolgung des Instruments **130** enthalten. Der oder die zusätzlichen Sender können verdrahtete oder drahtlose Sender sein. Z.B. kann ein drahtloser zweiter Sender auf der Instrumentenführung **140** oder auf dem Instrument **130** angeordnet sein. Alternativ kann ein zweiter verdrahteter Sender auf der Instrumentenführung **140** angeordnet sein. Der zweite Sender kann mit der Verfolgungselektronik **150** verdrahtet sein. Ein Kabel kann von dem Instrument **130** zu der Verfolgungselektronik **150** geführt sein. Der drahtlose Sender **110** und der/die zusätzliche(n) Sender können von den Empfängern in der Empfängeranordnung **120** simultan verfolgt werden.

**[0033]** In einer Ausführungsform kann der drahtlose Sender **110** z.B. ein drahtloser ISCA-Sender, wie z.B. ein drahtloses ISCA-Senderspulentrío sein. Der drahtlose Sender **110** beseitigt den Bedarf an einem Kabel, das das Instrument **130** mit der Verfolgungselektronik **150** verbindet. Die zusammen mit der Verfolgungselektronik **150** laufende Software kann zur Aufnahme des drahtlosen Senders **110** an Stelle des oder zusätzlich zu dem verdrahteten Sender neu eingerichtet werden. Der drahtlose Sender **110** kann z.B. aus dem Instrument **130** Energie aufnehmen oder eine separate Energiequelle aufweisen. Der drahtlose Sender **110** kann von jedem der Empfänger in der Empfängeranordnung **120** verfolgt werden. Folglich verwenden bestimmte Ausführungsformen einen drahtlosen Sender **110** und eine verdrahtete Empfängeranordnung **120**, um die Position des Instruments **130** im Bezug auf die Instrumentenführung **140** zu verfolgen.

**[0034]** In einer Ausführungsform ist ein Verstärkungsverhältnis des von dem Sender **110** empfangenen Signals bekannt, aber eine absolute Verstärkung in der Empfängeranordnung **120** kann nicht bekannt sein. Die Verfolgungselektronik **150** kann die Position des drahtlosen Senders **110** in Bezug auf die Instrumentenführung **140** oder einen anderen Referenzpunkt bestimmen. Die Richtung oder Orientierung der Position des Senders **110** kann aus den empfangenen Signalen und dem Verstärkungsverhältnis bestimmt werden. Jedoch kann eine verfolgte Position des Senders **110** Entfernungsfehler aufweisen (z.B. liegt die verfolgte Position in der richtigen Richtung, aber nicht im richtigen Abstand). Um eine richtige Entfernung zu bestimmen, kann die Verfolgungselektronik **150** anhand der verfolgten Positionen des Senders **110** von den Empfängern aus eine Triangulation durchführen und die Positionsbeziehung zwischen den beiden Empfängern **122**, **124** in dem Empfängerfeld **120** nutzen.

**[0035]** Das Instrument **130** kann z.B. ein chirurgischer Bohrer sein. Die Instrumentenführung **140** ist

eine Bohrerführung für den Bohrer. Der drahtlose Sender **110** enthält ein Spulentrio, und die Übertragungselektronik ist auf dem Bohrer angedruckt. Die Empfängeranordnung **120** ist auf der Bohrerführung angeordnet. Die Empfängeranordnung **120** enthält zwei Empfängerspulentrios **122, 124**.

**[0036]** Während des Betriebes wird der Bohrer verwendet, um innerhalb des Patienten zu arbeiten, und er wird durch die Bohrerführung gesteuert. Der auf dem Bohrer montierte drahtlose Sender **110** entnimmt einer Energiequelle in dem Bohrer Energie und sendet ein Signal von einer gegebenen Frequenz aus. Die Empfänger **122, 124** in der Empfängeranordnung **120** erkennen das von der Spule des drahtlosen Senders **110** ausgesandte Signal.

**[0037]** Um die Positionen der Komponenten des Systems zu erkennen, können in dem elektromagnetischen Verfolgungssystem die Gegeninduktivitäten verwendet werden. Die Gegeninduktivitäten können es erlauben, dass das System in zwei Teile unterteilt wird: Spulen und Elektronik. Das Bestimmen einer Gegeninduktivität betrifft einen physischen Aufbau der Spulen und eine geometrische Beziehung zwischen den Spulen, aber nicht die Details der zum Messen der Gegeninduktivität verwendeten Elektronik. Zusätzlich hängt die Gegeninduktivität nicht davon ab, welche Spule einen eingespeisten Strom empfängt.

**[0038]** Zusätzlich zu der zum Messen der Gegeninduktivität verwendeten Elektronik bildet ein System, das eine Senderspule und eine Empfängerspule enthält, ein Netzwerk aus vier Terminals und zwei Anschlüssen. Ein sich ändernder, in eine Spule eingespeister Strom induziert in der anderen Spule eine Spannung. Die induzierte Spannung  $V$  ist zu der Änderungsgeschwindigkeit des eingespeisten Stroms  $I$  proportional:

$$V = L_m(dI/dt) \quad (2),$$

wobei  $L_m$  die Gegeninduktivität darstellt.  $L_m$  hängt von der Geometrie der Spulen ab (geschlossene Stromkreise).  $L_m$  ist ein von der Schwingungsform oder Frequenz des eingespeisten Stroms unabhängiges Verhältnis. Daher ist  $L_m$  eine wohl definierte Größe, die mit einer annehmbaren Genauigkeit gemessen werden kann.

**[0039]** In einer Ausführungsform ist eine Lagebeziehung zwischen den Spulen der Empfänger **122, 124** in der Empfängeranordnung **120** bekannt. Die Spulen der Empfänger **122, 124** empfangen das von der Spule des drahtlosen Senders **110** gesendete Signal. Die Position und Orientierung des drahtlosen Senders **110** kann danach relativ zu einem Referenzkoordinatensystem bestimmt werden, indem die Gegeninduktivitäten zwischen den Spulen der Empfän-

ger **122, 124** und des Senders **110** und die Lagebeziehung zwischen den Spulen der Empfänger **122, 124** verwendet werden. Die sich ergebende verfolgte Position und Orientierung des an einem Bohrer befestigten Senders **110** in Bezug zu einer Empfängeranordnung **120** auf der Bohrerführung kann benutzt werden, um einem Bediener bei der Handhabung des Bohrers innerhalb des Körpers des Patienten zu helfen. Die Positionsinformationen können helfen, Verletzungen des Patienten zu vermeiden und ein unnötiges Risiko zu minimieren.

**[0040]** In bestimmten Ausführungsformen ermöglicht das elektromagnetische Verfolgungssystem **100** dem verfolgten Objekt, sich frei zu bewegen, ohne durch Verbindungen mit einem Sender **110** oder Empfängern **122, 124** beschränkt zu sein. Um die mit dem Befestigen einer Batterie oder einer anderen Energiequelle an dem Transponder verbundene Größe zu reduzieren, können passive Transponder eine Spule als ein Mittel zur Kopplung mit anderen Einrichtungen und zum Empfangen von Energie von diesen verwenden.

**[0041]** In bestimmten Ausführungsformen werden Verhältnisse zwischen Feldern statt absoluter Werte gemessen. Genaue Verhältnisse können einfacher zu erhalten sein als genaue Absolutwerte. Fünf von sechs Freiheitsgraden bei Positions- und Orientierungsmessungen können z.B. aus den Verhältnissen der empfangenen Magnetfelder oder Gegeninduktivitäten bestimmt werden. Die Entfernung (z.B. ein Abstand von einem Empfänger zu einem Sender) kann nicht ohne einen Feldstärken- oder Gegeninduktivitätswert bestimmt werden.

**[0042]** In einer Ausführungsform werden die Spulentrios der beiden Empfänger **122, 124**, wie z.B. IS-CA-Empfängerspulentrio, zum Bestimmen der Entfernung benutzt. Die Positions- und Orientierungsparameter mit Ausnahme der Entfernung können unter Verwendung von Magnetfeld- oder Gegeninduktivitätsverhältnismessungen durch die sechs Empfänger in den Spulentrios der beiden Empfänger **122, 124** bestimmt werden. Zusätzlich kann ein Verhältnis der Entfernungen zwischen den Spulentrios der zwei Empfänger **122, 124** und dem Spulentrio des Senders **110** bestimmt werden. Auf diese Weise wird zwischen den Spulentrios des Senders **110** und der Empfänger **122, 124** ein Dreieck gebildet. Die drei Winkel des Dreiecks können durch Verhältnismessungen bestimmt werden. Zusätzlich wird auch ein Verhältnis der zwei Entfernungen bestimmt. Unter Verwendung der drei Winkel und des Verhältnisses der zwei Seiten können die Verhältnisse aller drei Seiten des Dreiecks bestimmt werden. Die Seite des Dreiecks, die den Abstand zwischen den Spulentrios der zwei Empfänger **122, 124** darstellt, kann aus dem Aufbau der Empfängeranordnung **120** bestimmt werden. Auf diese Weise können durch Triangulation die

Entfernungen zwischen den zwei Empfängern **122**, **124** und dem Sender **110** bestimmt werden (z.B. die verbleibenden zwei Seiten des Dreiecks).

**[0043]** **Fig. 2** stellt ein Flussdiagramm eines Verfahrens **200** zum Verfolgen einer Position eines Instruments **130** dar, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung angewandt wird. Zuerst wird in Schritt **210** der drahtlose Sender **110** an einem Instrument **130**, wie z.B. einem chirurgischen Bohrer oder einem anderen medizinischen Instrument oder Werkzeug befestigt. Als nächstes wird in Schritt **220** die Empfängeranordnung **120** an der Instrumentenführung **140** befestigt. In einer Ausführungsform enthält der drahtlose Sender ein Senderspulentrio. In einer Ausführungsform enthält die Empfängeranordnung **120** zwei Empfängerspulentrios **122**, **124**.

**[0044]** Anschließend betätigt ein Bediener in Schritt **230** das Instrument innerhalb eines Patienten unter Verwendung der Instrumentenführung **140**. In Schritt **240** sendet der drahtlose Sender **110** unter Verwendung der Energie von der Instrumentenführung **140** ein Signal aus. Z.B. erzeugt die Elektronik des drahtlosen Senders **110** unter Verwendung der Spule des drahtlosen Senders **110** ein Signal.

**[0045]** Als nächstes erkennen die Empfänger der Empfängeranordnung **120** in Schritt **250** das von dem drahtlosen Sender **110** ausgesandte Signal. In Schritt **260** werden die empfangenen Signale analysiert. Die Verfolgungselektronik **150** misst die Signale wie sie von den Empfängern **122**, **124** empfangen worden sind. Die Signale werden gestützt auf das Verhältnis zwischen den Empfängern **122**, **124** in der Empfängeranordnung **120** gemessen.

**[0046]** Anschließend wird in Schritt **270** die Position des Senders **110** bestimmt. Die Position des drahtlosen Senders **110** kann in Bezug auf die Instrumentenführung **140** oder ein anderes Referenzkoordinatensystem bestimmt werden. Die Richtung und Orientierung der Position des Senders **110** kann aus den empfangenen Signalen bestimmt werden. Wie in **Fig. 3** dargestellt, kann gestützt auf die von den Empfängern verfolgten Positionen des Senders **110** und auf die Lagebeziehung zwischen den zwei Empfängern **122**, **124** in dem Empfängerfeld **120** durch Triangulation eine Entfernung des Senders **110** bestimmt werden. In einer alternativen Ausführungsform sendet ein verdrahteter Sender auch ein Signal an die Empfängeranordnung **120**, um beim Lokalisieren des Instruments **130** zu helfen. Weitere Darstellungen eines drahtlosen elektromagnetischen Verfolgungssystems und -verfahrens, die gemäß bestimmter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden, werden unten bereitgestellt.

**[0047]** **Fig. 4** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens **400** zum Bestimmen eines Betrags und eines

relativen Vorzeichens oder einer Phase jedes Signals, das durch einen Empfänger **122**, **124** von dem drahtlosen Sender **110** empfangen worden ist, der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung benutzt wird. In Schritt **410** werden die von dem drahtlosen Sender ausgesandten Signale durch die Empfängerspulen erkannt. Anschließend werden in Schritt **420** eine oder mehrere Produktensummen (SOPs) zu den drahtlos ausgesandten Signalen berechnet.

**[0048]** Die Verfolgungselektronik **150** kann zu den Signalen, die von den Spulen der Empfänger **122**, **124** in der Empfängeranordnung **120** empfangen worden sind, die SOPs bestimmen. Die SOPs können aus jedem der empfangenen Signale berechnet werden, um eine Signalphase zu bestimmen. In einer Ausführungsform werden die von dem drahtlosen Sender **110** ausgesandten Signale von den Spulen der Empfänger **122**, **124** empfangen. Die Spulen der Empfänger **122**, **124** können auch Signale empfangen, die von anderen Sendern ausgesandt worden sind. Jeder Spulentreiber gibt eine sinusförmige Spannung von einer einzigen Frequenz aus. Jede ausgegebene Frequenz unterscheidet sich von den von den anderen Treibern ausgegebenen Frequenzen. SOP-Berechnungen extrahieren die Frequenzanteile aus den Empfängerspulen Spannungen.

**[0049]** Die SOPs können z.B. von Software angewandt werden, um die Phase eines empfangenen Signals zu bestimmen. Die Phase des Signals kann z.B. durch Phasensperrung (phaselocking) oder eine andere phasenbestimmende Berechnung bestimmt werden. Weil ein Signal positiv oder negativ sein kann, kann die Phase z.B. auf  $0^\circ$  oder  $180^\circ$  festgelegt werden. Weil eine Phasensperre jedoch bei  $0^\circ$  oder  $180^\circ$  auftreten kann, können zwei aufeinander folgende Sperren desselben Signals bei unterschiedlichen Phasen auftreten. Daher kann das Vorzeichen des Signals durch das Vorzeichen der Sperre gekennzeichnet sein.

**[0050]** In einer Ausführungsform sendet die Spule des drahtlosen Senders **110** ein erstes Signal bei einer Grundfrequenz und ein zweites Signal bei einer zweiten harmonischen Frequenz aus. Die zweite Oberschwingung wird mit einer niedrigen Amplitude ausgesendet und ist in ihrer Phase so gelegen, dass das Vorzeichen der Grundfrequenz getrennt von dem Vorzeichen der Sperre bestimmt werden kann. In einer Ausführungsform kann eine zweite Oberschwingung benutzt werden, um unter Verwendung von Verfahren wie z.B. zur Beseitigung der Mehrdeutigkeit der Phase (phase-disambiguation) (auch als Polaritätsbestimmung bekannt) die Phase zu bestimmen. Die zweite Harmonische kann verwendet werden, um die Polarität (oder Phase  $0^\circ$  gegenüber  $180^\circ$ ) des Sendersignals zu bestimmen.

**[0051]** In einer alternativen Ausführungsform wird eine SOP bei der Grundfrequenz für sechs Empfängerspulen erzeugt, um Positionsverfolgungsdaten zu gewinnen. Eine SOP der zweiten Harmonischen wird für drei der sechs Empfängerspulen (ein Trio) gewonnen, weil alle Signale gezwungen sein können, in der selben Weise zu sperren. In einer Ausführungsform wird für ein Maß des Stroms keine SOP bei den drahtlosen Frequenzen ausgeführt, weil der Strom am drahtlosen Sender **110** nicht bekannt sein kann.

**[0052]** Nachdem die Signale des drahtlosen Senders **110** auf SOPs reduziert worden sind, können in Schritt **430** ein Betrag und ein relatives Vorzeichen jedes Signals des drahtlosen Senders **110** gewonnen werden. In einer Ausführungsform wird angenommen, dass eine Spitze des Senders **110** auf die Empfängeranordnung **120** zeigt. Zusätzlich kann angenommen werden, dass die Gegeninduktivität zwischen der Spule des Senders **110** und einer Spule des Empfängers **122**, **124** groß ist. Die Phase des Stroms des Senders **110** kann anschließend aus dem Spulensignal des Empfängers **122**, **124** berechnet werden.

**[0053]** Um einen Betrag des empfangenen Signals zu bestimmen, wird eine Verstärkung eines Empfängerspulenkanals bestimmt. In einer Ausführungsform kann die Verstärkung des Empfängers **122**, **124** vor der Verfolgung gemessen und gespeichert werden. Die gespeicherte Empfängerverstärkung kann während der Verfolgung des Instruments **130** benutzt werden. Die Verstärkung kann unter Verwendung eines Empfängeranordnungsrechners gemessen werden. Die SOP-Matrizen der empfangenen Signale können verwendet werden, um die Verstärkung zu berechnen. Aufeinander folgende SOP-Messungen werden gemittelt, um eine durchschnittliche SOP-Matrix zu erzeugen. Eine komplex-skalare Kalibrierungsspannung und eine komplex-vektorielle Kalibrierungsspannung können gewonnen werden. Eine Strom-Zu-Spannung-Transimpedanz des Kanalmessstroms wird auch berechnet. Ein Kalibrierungsbetriebsstrom, eine Spulenfrequenz und eine Gegenimpedanz werden auch bestimmt. Ein inverser Verstärkungsvektor kann anschließend unter Verwendung der Kalibrierungsgegenimpedanz, des Betriebsstroms und des komplexen Spannungsvektors berechnet werden. Z.B. kann ein inverser Verstärkungsvektor wie folgt dargestellt werden:

$$\text{Inverse\_Verstärkung}[n] = \text{Gegenimpedanz} \cdot (\text{Betriebsstrom} / \text{Spannung}[n]) \quad (3)$$

**[0054]** Für eine ideale Empfängeranordnung **120** betragen die inversen Verstärkungen  $1 + j0$  (z.B. keine imaginäre Komponente).

**[0055]** Der Betriebsstrom des Senders **110** kann gestützt auf SOPs für das geeignete Frequenzverzeichnis

des Senders und die Strom-Zu-Spannung-Transimpedanz des Strommessungskanals berechnet werden. Der Senderstrom ist ein Produkt aus dem Strombetrag und der Stromphase. In einer Ausführungsform ist der Betrag reell, positiv und konstant. Die Phase ist komplex und vom Einheitsbetrag.

**[0056]** Anschließend können eine SOP-Matrix des empfangenen Signals und der inverse Verstärkungsvektor verwendet werden, um einen normierten Empfängersignalvektor zu berechnen. Als nächstes kann ein komplexer Gegeninduktivitätsvektor aus dem Empfängersignal, dem Senderbetriebsstrom und der Senderfrequenz bestimmt werden. In einer Ausführungsform ist der Gegeninduktivitätsvektor eine komplexe Größe mit einem Imaginärteil. Wenn die Vektorphase jedoch korrekt ist, ist der Imaginärteil näherungsweise Null. Ein Regressionssystem, wie z.B. ein Powell-Regressionssystem, kann anschließend verwendet werden, um die optimalen Werte der Position, Orientierung und Verstärkung des Senders **110** zu bestimmen. Das Regressionssystem wird mit der Position, Orientierung und Verstärkung des Senders **110** aus dem voran gegangenen Zyklus gestartet.

**[0057]** In einer Ausführungsform kann eine nicht normierte Senderstromphase berechnet werden, indem das empfangene Signal mit der größten Amplitude und ein Vorzeichen von +1 oder -1 verwendet wird, um Elemente des empfangenen Signals mit übereinstimmenden Vorzeichen über der Zeit zu erzeugen. Das Auswählen eines Vorzeichens ist weiter unten beschrieben. Anschließend kann die Phase des Stroms des Senders **110** unter Verwendung der Phase und des Vorzeichens des nicht normierten Senderstroms korrigiert werden. Der komplexe Strom des Senders **110** kann aus dem Strombetrag und der Stromphase bestimmt werden. Der Strom des Senders **110** kann anschließend verwendet werden, um den Gegeninduktivitätsvektor zu berechnen.

**[0058]** Anschließend können in Schritt **440** alle Signale einer gegebenen Grundfrequenz, z.B. mit einem gemeinsamen Vorzeichenfaktor von +1 oder -1, multipliziert werden, um die Vorzeichen der Signale zu korrigieren. Die Signale der zweiten Harmonischen können verwendet werden, um zu bestimmen, ob die Grundfrequenzsignale mit +1 oder -1 multipliziert werden müssen. Die Vorzeichenbestimmung kann für jede der Spulen des drahtlosen Senders **110** ausgeführt werden. Eine Spule des Senders **110** wird mit einem sinusförmigen Strom einer Grundfrequenz und einem sinusförmigen Strom einer zweiten Oberschwingung gespeist. Die Grund- und die zweite Oberschwingung werden dazu verwendet, dass ein gesperrtes Vorzeichen einer induzierten Spannung in einem Empfänger gleich dem Vorzeichen einer in einer selbstinduktiven Reaktanz des Senders **110** induzierten Spannung sein kann.



**[0059]** [Fig. 5](#) stellt eine induzierte Spannung einer Cosinus-Grundschiwingung und eine induzierte Spannung einer zweiten Cosinus-Oberschwingung über der Zeit gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. Die Zeit ist in Bruchteilen der Periodendauer der Cosinus-Grundschiwingung angegeben. In einer Ausführungsform beträgt eine Gruppenlaufzeit mehr als eine Periodendauer der Grundfrequenz. Jedoch können auch Laufzeiten von Bruchteilen einer Periodendauer der Grundfrequenz betrachtet werden, weil eine Laufzeit von einer Periodendauer der Grundfrequenz gleich einer Laufzeit von zwei Periodendauern einer zweiten Harmonischen ist. Die Phase der Grundfrequenz kann gesperrt oder wieder hergestellt werden, indem ein Zeitpunkt einer positiven Spitze des empfangenen Grundfrequenzsignals bestimmt wird. Eine zweite Oberschwingung kann benutzt werden, um das Vorzeichen des empfangenen Signals zu bestimmen.

**[0060]** Eine in [Fig. 5](#) gezeigte Kurve aus „+“-Zeichen stellt eine Periode einer Cosinus-Grundschiwingung der induzierten Spannung des Empfängers **122**, **124** dar. Eine Kurve aus „s“-Zeichen in [Fig. 5](#) stellt zwei Perioden einer zweiten Cosinus-Oberschwingung der induzierten Spannung am Empfänger **122**, **124** dar. Ein „\*“-Zeichen in [Fig. 5](#) kennzeichnet einen Punkt, der der Grundschiwingung und der zweiten Oberschwingung gemeinsam ist.

**[0061]** [Fig. 5](#) zeigt, dass die zweite Oberschwingung des gesendeten Signals positive Spitzen sowohl bei den positiven als auch bei den negativen Spitzen der Grundfrequenz aufweist. In einer Ausführungsform weist ein positives empfangenes Signal die gleiche Darstellung wie das in [Fig. 5](#) gezeigte gesendete Signal auf. Bei einem negativen empfangenen Signal sind sowohl die Grundschiwingung als auch die zweite Oberschwingung negiert. Bei einer Phasenverschiebung um 180° weist ein empfangenes Signal (z.B. bei einer falschen Phasensperre) eine negierte Grundschiwingung auf, während die zweite Oberschwingung nicht negiert ist. Auf diese Weise unterscheidet sich in einer Ausführungsform ein negatives empfangenes Signal von einem um 180° phasenverschobenen empfangenen Signal durch das Vorzeichen der zweiten Oberschwingung.

**[0062]** In einer Ausführungsform enthält ein Spulentrío des Empfängers **122** die Spulen X1, Y1, und Z1. Produktsummen (SOPs) werden für die I(Cosinus)- und Q(Sinus)-Anteile der Grundfrequenz und die I- und Q-Anteile der zweiten Oberschwingung für die Spulen X1, Y1 und Z1 berechnet. Für eine Spule des zweiten Empfängers **124** mit den Spulen X2, Y2 und Z2 können die Produktsummen (SOPs) für die I- und Q-Anteile der Grundfrequenz bestimmt werden. Eine Empfängerspule des ersten Spulentrios, die das Signal mit dem größten Betrag aufweist, kann danach ausgewählt werden (Empfängerspule W). Eine kom-

plexe SOP von Spule W bei der Grundfrequenz (CSOPWF) wird danach ausgeführt, wie unten in der Gleichung (4) gezeigt ist:

$$\text{CSOPWF} = \text{SOP}[\text{Grundfrequenz I-Phase}][\text{Spule W}] + j \text{SOP}[\text{Grundfrequenz Q-Phase}][\text{Spule W}] \quad (4)$$

**[0063]** In einer Ausführungsform weist die Phase des CSOPWF den Einheitsbetrag auf:

$$\text{Phase}(\text{CSOPWF}) = \text{CSOPWF}/|\text{CSOPWF}| \quad (5)$$

**[0064]** Eine inverse Phase von CSOPWF kann so bestimmt werden.

$$\text{Phaseinv}(\text{CSOPWF}) = |\text{CSOPWF}|/\text{CSOPWF} \quad (6)$$

**[0065]** Folglich liefert das Multiplizieren des CSOPWF mit der inversen Phase des CSOPWF den Absolutbetrag des CSOPWF:

$$\text{CSOPWF} \cdot \text{Phaseinv}(\text{CSOPWF}) = \text{CSOPWF} \cdot |\text{CSOPWF}|/\text{CSOPWF} = |\text{CSOPWF}| \quad (7)$$

**[0066]** In einer Ausführungsform ist ein Absolutbetrag der komplexen SOP von Spule W zur Grundfrequenz ein reeller Wert, hat denselben Betrag wie die CSOPWF und ist positiv. Folglich dreht das Multiplizieren eines Signals mit der inversen Phase der CSOPWF den Vektor so, dass die positive Spitze des empfangenen Grundfrequenzsignals bei 0° auftritt.

**[0067]** Eine komplexe SOP von Spule W bei der zweiten Oberschwingung kann unter Verwendung der Gleichung (8) erzeugt werden:

$$\text{CSOPW2} = \text{SOP}[2. \text{ Harmonische I-Phase}][\text{Spule W}] + j \text{SOP}[2. \text{ Harmonische Q-Phase}][\text{Spule W}] \quad (8)$$

**[0068]** Das Multiplizieren der CSOPW2 mit dem Quadrat der inversen Phase der CSOPWF dreht den Vektor der zweiten Oberschwingung. Der gedrehte Vektor der zweiten Oberschwingung positioniert einen Teil der zweiten Oberschwingung, der gleichzeitig mit der in [Fig. 5](#) gezeigten positiven Spitze der Grundschiwingung liegt, bei 0°. Ein Teil der zweiten Oberschwingung, der mit der positiven Spitze der empfangenen Grundschiwingung zusammenfällt, kann abhängig davon, ob das empfangene Signal positiv oder negativ ist, eine positive oder negative Spitze des empfangenen Signals der zweiten Harmonischen sein. Daher kann ein Phasenfaktor wie folgt berechnet werden:

$$\text{Phasenfaktor} = \text{Phaseinv}(\text{CSOPWF}) \cdot \text{Signum}(\text{Re}(\text{CSOPW2} \cdot (\text{Phaseinv}(\text{CSOPWF}))^2)) \quad (9)$$

**[0069]** Folglich kann ein Realteil eines Signals von einer Empfängerspule V (wobei V z.B. X1, Y1, Z1, X2, Y2 oder Z2 ist) wie folgt aus den Gleichungen

(10, 11 und 12) bestimmt werden:

$$\text{CSOP}[V] = \text{SOP}[\text{Grundfrequenz I-Phase}][\text{Spule V}] + j \text{SOP}[\text{Grundfrequenz Q-Phase}][\text{Spule V}] \quad (10)$$

**[0070]** Eine vorzeichen- und phasenkorrigierte SOP der Spule V kann dargestellt werden als:

$$\text{CTRSOP}[V] = \text{Phasenfaktor} \cdot \text{CSOP}[V] \quad (11)$$

**[0071]** Eine reelle SOP der Spule V kann aus der Gleichung (12) wie folgt erzeugt werden:

$$\text{RSOP}[V] = \text{Re}(\text{CTRSOP}[V]) \quad (12)$$

**[0072]** Die oben angegebenen Gleichungen bilden einen Phasenvektor oder einen Vektor, der eine Darstellung eines Signals durch eine komplexe Zahl und eine normierte Phase enthält. In einer Ausführungsform rotiert ein Phasenvektor der zweiten Oberschwingung mit der doppelten Geschwindigkeit eines Phasenvektors der Grundschwingung. Die Phasenvektoren sind zur gleichen Zeit bei  $0^\circ$  (maximale positive Amplitude der Cosinus-Schwingung). Der Phasenvektor der zweiten Oberschwingung ist auch bei  $0^\circ$ , wenn sich der Phasenvektor der Grundschwingung bei  $180^\circ$  befindet. Die Phasenvektoren können durch eine Gruppenlaufzeit von der Elektronik der Empfängeranordnung zeitverschoben sein. Folglich wird der Phasenvektor der zweiten Oberschwingung zweimal so stark phasenverschoben wie der Phasenvektor der Grundschwingung.

**[0073]** Die obigen Berechnungen setzen voraus, dass das empfangene Grundsignal positiv ist und bestimmen eine Phasenverschiebung um einen Bruchteil einer Periode des empfangenen Grundsignals. Wenn das empfangene Grundsignal negativ ist, ist die berechnete Phasenverschiebung um  $180^\circ$  verschoben. In einer Ausführungsform verschiebt das Subtrahieren der Phasenverschiebung von dem Phasenvektor der Grundfrequenz den beobachteten empfangenen Phasenvektor der Grundfrequenz unabhängig von dem Vorzeichen des empfangenen Signals auf  $0^\circ$ . Die Phasenverschiebung kann von dem Phasenvektor der Grundfrequenz subtrahiert werden, indem z.B. der Phasenvektor der Grundfrequenz durch den komplexen Phasenfaktor aus der Gleichung (8) dividiert wird. Zusätzlich verschiebt das Subtrahieren der Phasenverschiebung von dem Phasenvektor der Grundfrequenz den vorzeichenkorrigierten Phasenvektor der empfangenen Grundfrequenz auf  $0^\circ$  (für positives Vorzeichen) oder  $180^\circ$  (für negatives Vorzeichen). Das Subtrahieren der doppelten Phasenverschiebung (z.B. durch Dividieren durch das Quadrat des komplexen Phasenfaktors) verschiebt den vorzeichenkorrigierten Phasenvektor der zweiten Oberschwingung auf  $0^\circ$ . Für ein negatives Vorzeichen wird der Phasenvektor auf  $360^\circ$  verschoben, was das selbe ist wie  $0^\circ$ . Auf diese Weise

weist der phasenkorrigierte Phasenvektor der zweiten Oberschwingung ein korrektes Vorzeichen zur Bestimmung der Position und Orientierung auf. Das Vorzeichen des Phasenvektors der zweiten Oberschwingung kann verwendet werden, um das Vorzeichen des empfangenen Signals der Grundschwingung zu bestimmen.

**[0074]** Als nächstes erzeugt in Schritt **450** das Herausziehen des Betrags und Vorzeichens aus den durch Bildung der SOP verarbeiteten Sendersignale eine Matrix der Gegeninduktivitäten der Empfängerspulen. In einer Ausführungsform werden zwei  $3 \times 3$ -Gegeninduktivitätsmatrizen erzeugt, eine für jedes der beiden Spulentrios in der Empfängeranordnung.

**[0075]** In einer Ausführungsform werden ein oder mehrere Präzisionstreiber des drahtlosen Senders **110** verwendet, um den drahtlosen ISCA-Sender **110** so zu speisen, dass das System drei orthogonale magnetische Dipolmomente von gleichem Betrag und Nennvorzeichen aufweist. Auf diese Weise können die Charakteristiken der Dipolspulen, wie z.B. der Spule des drahtlosen Senders **110** und der Spulen der Empfänger **122**, **124**, mit Ausnahme einer Gesamtverstärkung bestimmt werden. Daher können die Lösungen für Position und Orientierung (P&O) einen Entfernungsfehler enthalten, aber ansonsten genau sein. Das bedeutet, dass in einer Ausführungsform das Durchführen einer ISCA-P&O-Berechnung für jedes Empfängerspulentrio P&O-Ergebnisse liefert, die mit Ausnahme eines gemeinsamen Entfernungsskalierungsfaktorfehlers genau sind. Das Hinzufügen einer Präzisionsreferenz erlaubt die Kontrolle der Gesamtverstärkung. Jedoch kann die Verstärkung der Empfängeranordnung **120** und/oder der Verfolgungselektronik **150** nicht genau bekannt sein.

**[0076]** In einer Ausführungsform bilden die Spulentrios der zwei Empfänger **122**, **124** in der Empfängeranordnung **120** und der drahtlose Sender **110** ein Dreieck. Die Winkel des Dreiecks können bestimmt werden. Folglich können die Verhältnisse der Seiten des Dreiecks auch bestimmt werden. Zusätzlich kann der Abstand zwischen den beiden Empfängern **122**, **124** bestimmt werden. Der Abstand zwischen den Empfängern **122**, **124** bildet eine Seite des Dreiecks. Ein Entfernungsskalierungsfaktor, der dem Abstand zwischen den Empfängern **122**, **124** entspricht, kann berechnet werden. Der Entfernungsskalierungsfaktor kann verwendet werden, um die P&O-Berechnung zu korrigieren. Der Entfernungsskalierungsfaktor kann verwendet werden, um die Messung der Länge zwischen den Empfängern **122** und **124** zu korrigieren, um eine genaue P&O für den drahtlosen Sender **110** zu erzeugen.

**[0077]** In einer anderen Ausführungsform werden ein oder mehrere Treiber des drahtlosen Senders **110** von geringerer Genauigkeit verwendet, um ein

Spulentrio des drahtlosen Senders zum Erzeugen von drei Dipolmomenten des drahtlosen Senders zu speisen, die näherungsweise orthogonal und von ungefähr gleichen Beträgen sind. Das bedeutet, dass die Senderspulen vorzugsweise ungefähr mit Nennverstärkung entworfen worden sind und näherungsweise orthogonal sind. Die Treiber von geringerer Genauigkeit speisen das Spulentrio des Senders mit nominalen Schwingungsformen, um die gewünschten Grundschwingungen und zweiten Oberschwingungen für ein näherungsweise nominales Spulentrio des Senders zu liefern.

**[0078]** Eine nominale Senderspule ist perfekt orthogonal bei Nennspulenverstärkungen und Nennvorzeichen für das Spulentrio. Die Nennverstärkungen des nominalen Spulentrios sind verschieden, weil die Spulen von geringfügig unterschiedlichen Nenngrößen sind (z.B. liegen die Spulen ineinander). In einer Ausführungsform sind der drahtlose Sender **110** und andere Sender in dem System **100** mit näherungsweise Nennverstärkung und nahezu perfekter Orthogonalität aufgebaut. Jedoch können die Vorzeichen der Spulenverstärkungen für das Senderspulenentrio nicht kontrolliert werden.

**[0079]** In einer Ausführungsform können die Vorzeichen der Spulenverstärkungen Auswirkungen auf die P&O-Bestimmung haben. Wenn zwei Vorzeichen invertiert werden, wird das Spulentrio als um  $180^\circ$  gedreht erscheinen. Eine Drehung um  $180^\circ$  ändert eine gerade Anzahl von Vorzeichen. Ein Spiegelungsvorgang (bekannt als Umkehrung in der Optik) kann ein oder alle drei Vorzeichen ändern.

**[0080]** Ein Regressionssystem kann angewandt werden, um die Güte der Anpassung der Spulenverstärkung und des Vorzeichens zu bestimmen. Anschließend kann das Vorzeichen bei einer Verstärkung umgekehrt werden. Das Regressionssystem wird mit dem Vorzeichen der einen umgekehrten Verstärkung noch einmal laufen gelassen, um eine zweite Güte der Anpassungsmessung zu erhalten. Die Lösung, die eine bessere Güte der Anpassung liefert, wird ausgewählt. Bei bestimmten Regressionssystemen oder Lösern kann der Anpasser für einen oder zwei Fälle der Verstärkung, die einer unzulässigen Rotation entsprechen, keine Lösung finden. Wenn eine Lösung nicht gefunden wird, wird die andere Lösung verwendet.

**[0081]** Wie oben beschrieben zeigt ein unkorrektes Vorzeichen eine unzulässige Rotation an und kann dazu führen, dass der Regressionssystem scheitert. Wenn die Orientierung der Senderspulen innerhalb des Sendergehäuses unwichtig ist, können das Vorzeichen der Senderspule X und das Vorzeichen der Senderspule Y in dem Spulentrio XYZ als korrekt angezeigt werden, weil ein falsches Vorzeichen dasselbe ist wie eine Drehung in dem Sender um  $180^\circ$ . Ein

Vorzeichen des Z-Spulenvorzeichens des Senders kann während der P&O-Berechnung bestimmt werden. Wenn die Orientierung der Senderspulen innerhalb des Gehäuses wichtig ist, werden die X- und Y-Spulen des Senders korrekt verdrahtet. Die Z-Spule des Senders kann nicht korrekt verdrahtet sein.

**[0082]** Anschließend werden in Schritt **460** die P&O-Berechnungen für das Senderspulenentrio durchgeführt, wenn der Betrag und die Phase der empfangenen Signale und die Gegeninduktivitätsmatrix bestimmt worden sind. In einer Ausführungsform wird eine angenäherte P&O des drahtlosen Senders **110** gestützt auf die Ungleichheit und Nichtorthogonalität des Moments des drahtlosen Senders bestimmt. Ein Regressionssystem kann verwendet werden, um die P&O-Ergebnisse zu verfeinern. Eine Gesamtanpassung der 18 Gegeninduktivitäten zwischen den sechs Empfängerspulen und den drei Spulen des drahtlosen Senders wird ausgeführt, um die P&O, die Beträge der Senderdipolmomente und die Orthogonalitäten der Senderdipole zu bestimmen.

**[0083]** Folglich schaffen bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein System und Verfahren zur drahtlosen Verfolgung. Das Instrument und das Verfolgungssystem brauchen während des Betriebs miteinander nicht verdrahtet zu sein. Das Verwenden eines drahtlosen Senders vermeidet das Kabel zwischen dem Instrument und dem Verfolgungssystem, das von einem verdrahteten Sender oder Empfänger verwendet wird. Zusätzlich kann ein drahtloser Sender mit einem bestehenden Verfolgungssystem verwendet werden. Die Software kann verändert werden, um das Verfolgungssystem mit dem drahtlosen Sender zu betreiben, anstatt die Hardware für einen verdrahteten Sender zu verändern. Darüber hinaus beseitigt der drahtlose Sender den Bedarf an einem Empfängeranordnungsmultiplexer und den zugehörigen Kabeln. In einer Ausführungsform können zwei ISCA-Empfänger benutzt werden, um den Bereich einer oder mehrerer Senderspulen zu bestimmen.

**[0084]** Bestimmte Ausführungsformen schaffen ein Verfolgungssystem, das viele Sender von einer einzelnen Empfängeranordnung aus verfolgt. Bestimmte Ausführungsformen schaffen einen oder mehrere drahtlose Sender, die mit niedriger Leistung betrieben werden. Bestimmte Ausführungsformen eliminieren eine Senderdatenverbindung, weil der drahtlose Sender keine Daten zu übertragen hat.

**[0085]** Bestimmte Ausführungsformen erlauben, dass ein Instrument, wie z.B. ein chirurgisches Instrument, in einem Patienten durch einen Bediener verfolgt wird. Bestimmte Ausführungsformen verwenden eine zweite Oberschwingung, um unter Verwendung von Verfahren zur Beseitigung der Mehrdeutigkeit der Phase wie Phasen-Disambiguation (auch be-

kannt als Polaritätsbestimmung), die Phase zu bestimmen. Die zweite Harmonische kann verwendet werden, um die Polarität (oder eine Phase von 0° gegenüber 180°) des Sendersignals zu bestimmen.

**[0086]** Bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schaffen ein System **100** und ein Verfahren **200** zur elektromagnetischen Verfolgung unter Verwendung eines drahtlosen Dreispulensenders **110**. Das elektromagnetische Verfolgungssystem **100** enthält ein Instrument **130**, das von einem Bediener zum Erfüllen einer Aufgabe betätigt wird, einen drahtlosen Sender **110** zum Senden eines drahtlosen Signals, eine Empfängeranordnung **120** zum Empfangen des drahtlosen Signals und Elektronik **150** zum Bestimmen der Positionsinformationen des Instruments **130**, gestützt auf eine Beziehung zwischen der Empfängeranordnung **120** und dem drahtlosen Sender **110**. In einer Ausführungsform enthält der drahtlose Sender **110** ein drahtloses Senderspulentrio. In einer Ausführungsform enthält die Empfängeranordnung **120** zwei Empfängerspulentrios **122**, **124**.

**[0087]** Während die Erfindung mit Bezug auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben worden ist, wird von Fachleuten verstanden, dass vielfältige Änderungen gemacht und Äquivalente eingesetzt werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Zusätzlich können viele Änderungen vorgenommen werden, um eine spezielle Situation oder ein Material an die Lehren der Erfindung anzupassen, ohne ihren Bereich zu verlassen. Daher ist es beabsichtigt, dass die Erfindung nicht auf die spezielle offenbarte Ausführungsform beschränkt ist, sondern dass die Erfindung alle Ausführungsformen einschließt, die in den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche fallen.

### Patentansprüche

1. Elektromagnetisches Verfolgungssystem (**100**), wobei das System (**100**) aufweist: ein Instrument (**130**), das von einem Bediener betätigt wird, um eine Aufgabe zu erfüllen, einen drahtlosen Sender (**110**) zum Senden eines drahtlosen Signals, wobei der drahtlose Sender (**110**) auf dem Instrument (**130**) angeordnet ist, eine Empfängeranordnung (**120**) zum Empfangen des drahtlosen Signals und Elektronik (**150**) zum Bestimmen von Positionsinformationen zu dem Instrument (**130**), gestützt auf eine Beziehung zwischen der Empfängeranordnung (**120**) und dem drahtlosen Sender (**110**).

2. System (**100**) nach Anspruch 1, bei dem der drahtlose Sender (**110**) ein Spulentrio des drahtlosen Senders aufweist.

3. System (**100**) nach Anspruch 1, bei dem die

Empfängeranordnung (**120**) zwei Empfängerspulentrios (**122**, **124**) aufweist.

4. System (**100**) nach Anspruch 1, bei dem die Beziehung eine Triangulation zwischen dem drahtlosen Sender (**110**) und der Empfängeranordnung (**120**) enthält.

5. Verfahren (**200**) zum Verfolgen einer Position eines Instruments (**130**), wobei das Verfahren (**200**) aufweist:

Senden eines Signals durch einen drahtlosen Sender (**110**), der an einem Instrument (**130**) angeordnet ist (**240**),

Empfangen des Signals an einer Empfängeranordnung (**120**)(**250**) und

Bestimmen der Positionsinformationen des drahtlosen Senders (**110**), gestützt auf das Signal und eine Beziehung zwischen dem drahtlosen Sender (**110**) und der Empfängeranordnung (**120**)(**270**).

6. Verfahren (**200**) nach Anspruch 5, bei dem der bestimmende Schritt außerdem das Bestimmen der Positionsinformationen des drahtlosen Senders (**110**) durch Bestimmen eines Entfernungs- und eines Verstärkungsverhältnisses zwischen dem drahtlosen Sender (**110**) und der Empfängeranordnung (**120**) enthält.

7. Verfahren (**200**) nach Anspruch 5, das außerdem das Bestimmen eines Betrages und einer Phase des Signals enthält.

8. Verfahren (**200**) nach Anspruch 5, das außerdem das Bestimmen einer Gegeninduktivität zwischen dem drahtlosen Sender (**110**) und der Empfängeranordnung (**120**) enthält.

9. Verbessertes drahtloses elektromagnetisches Verfolgungssystem (**100**), wobei das System (**100**) aufweist:

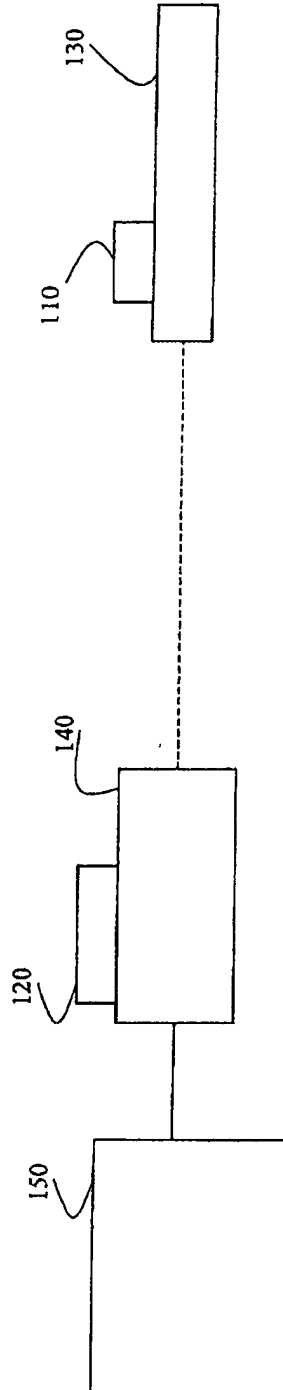
ein drahtloses Senderspulentrio (**110**), das an einem Objekt befestigt ist, wobei das drahtlose Spulentrio (**110**) ein Signal aussendet, eine Empfängeranordnung (**120**) mit wenigstens zwei Empfängerspulentrios (**122**, **124**) und eine Verfolgungselektronik (**150**) zum Bestimmen der Positionsinformationen der drahtlosen Spule (**110**), gestützt auf die drahtlose Spule (**110**) und die wenigstens zwei Empfängerspulentrios (**122**, **124**).

10. System (**100**) nach Anspruch 9, bei dem die Positionsinformationen, gestützt auf das Signal und eine Triangulation der Signale zwischen dem drahtlosen Spulentrio (**110**) und den wenigstens zwei Empfängerspulentrios (**122**, **124**) bestimmt wird.

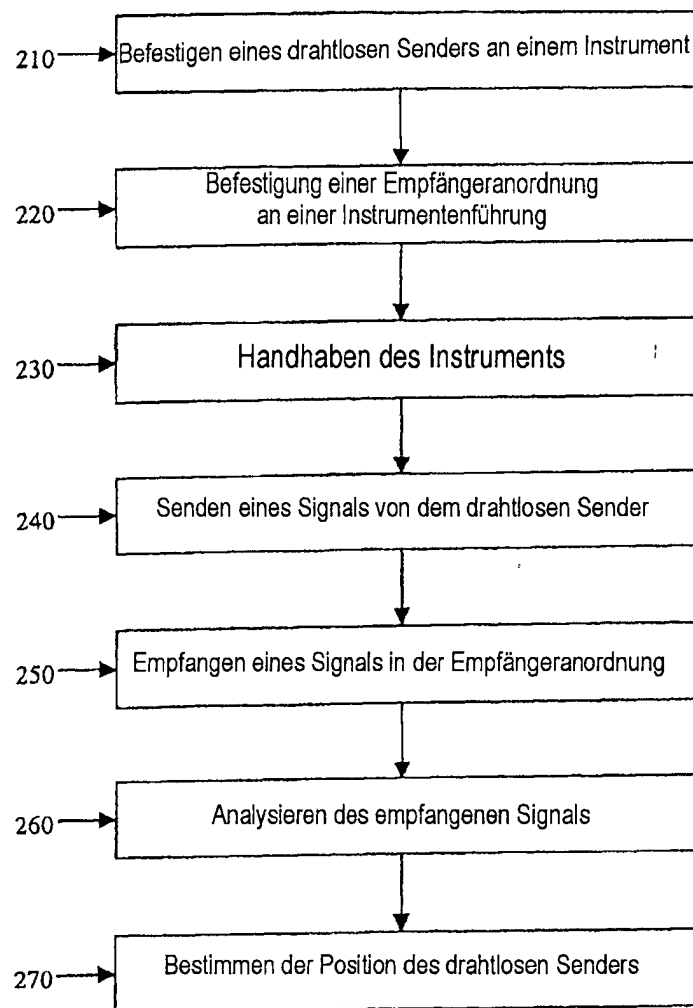
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

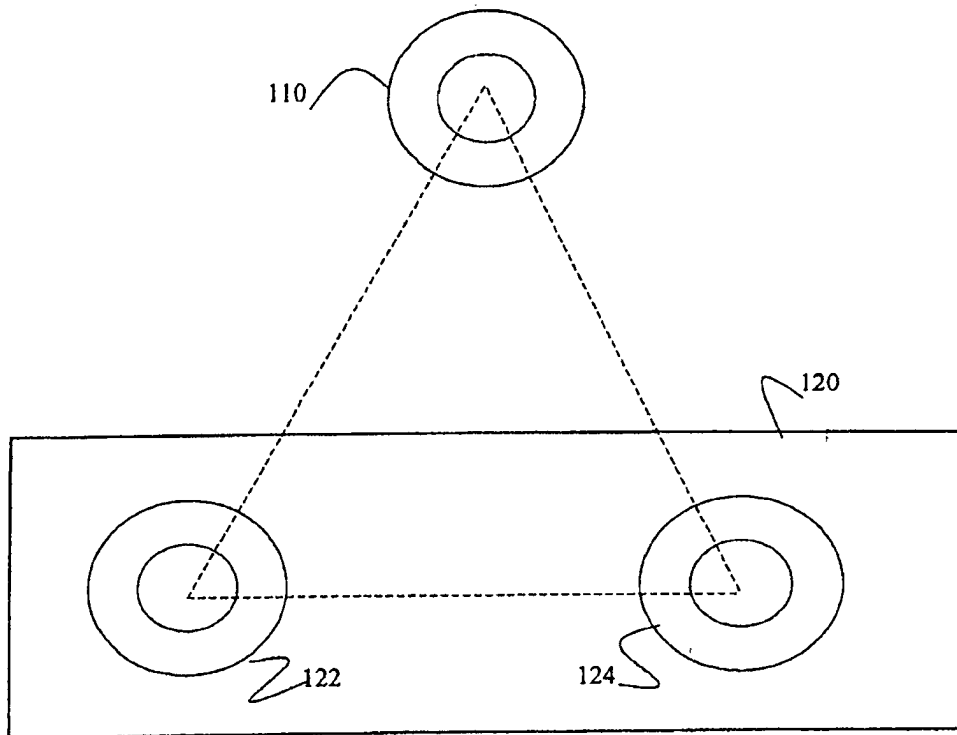
Figur 1  
100



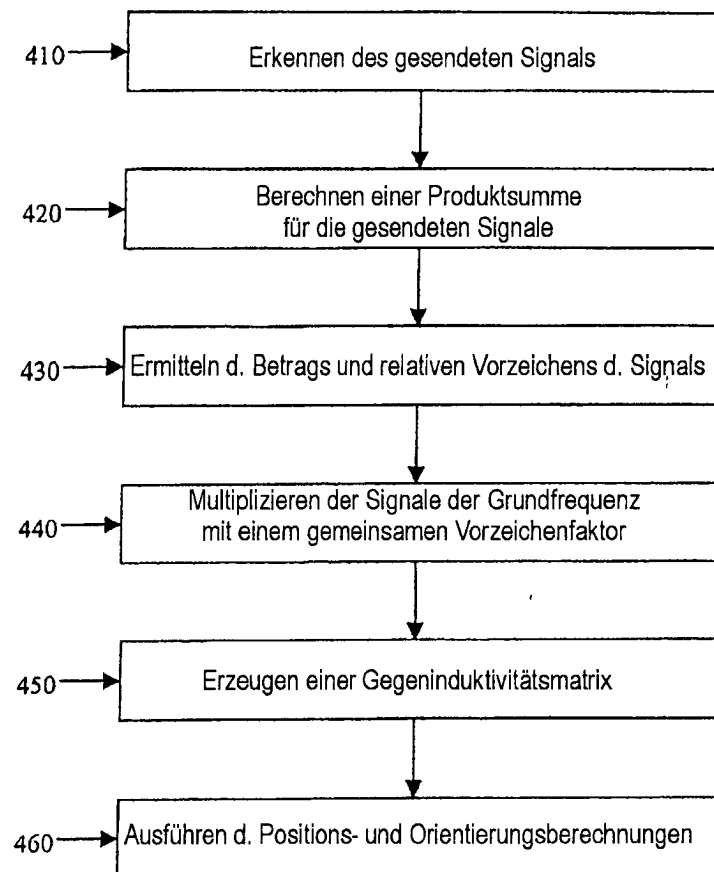
Figur 2  
200



Figur 3

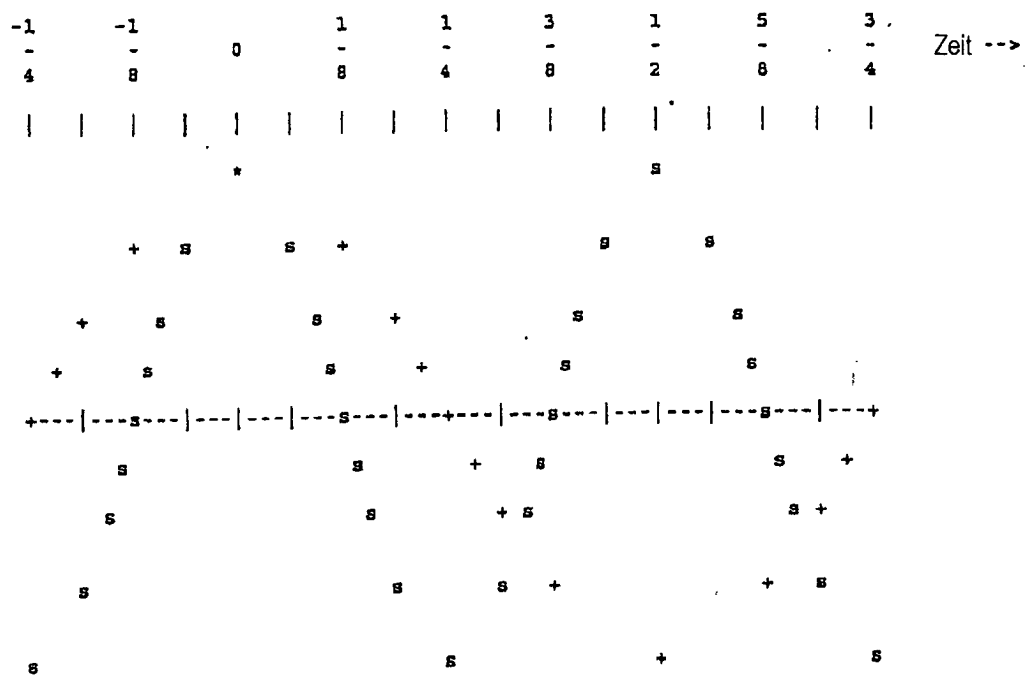


Figur 4  
400





Figur 5



**Figur 6**

