



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 226 030.2**

(22) Anmeldetag: **16.12.2014**

(43) Offenlegungstag: **16.06.2016**

(51) Int Cl.: **G01S 13/34** (2006.01)

G01S 7/35 (2006.01)

G01S 13/58 (2006.01)

G01S 13/93 (2006.01)

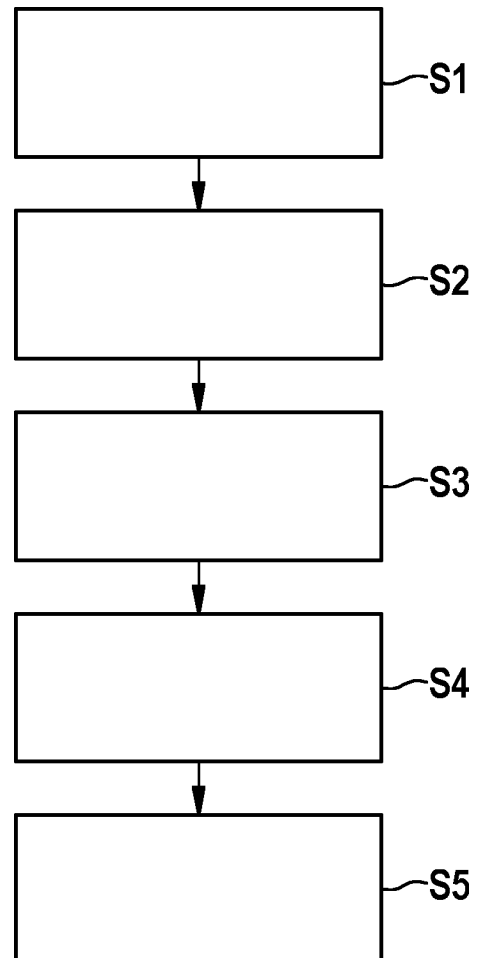
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Loesch, Benedikt, 70195 Stuttgart, DE; Bechler, Dirk, 76135 Karlsruhe, DE; Schoor, Michael, 70195 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Radarsystems und Radarsystem**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren zum Betreiben eines Radarsystems, welches mindestens einen Radarsensor aufweist, aufweisend Aussenden eines Radarsignals, welches eine Vielzahl von Rampen aufweist Empfangen des von Objekten reflektierten Radarsignals, Berechnen eines zweidimensionalen Spektrums für das empfangene Radarsignal, Bestimmen einer Abweichung der Form lokaler Maxima in dem zweidimensionalen Spektrum, welche die Objekte repräsentieren, von einer für unbeschleunigte Objekte erwarteten Form, und Bestimmen jeweils einer Beschleunigung jedes der Objekte basierend auf der erfassten Abweichung. Ferner offenbart die vorliegende Erfindung ein entsprechendes Radarsystem.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben eines Radarsystems, welches mindestens einen Radarsensor aufweist. Ferner bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein entsprechendes Radarsystem.

Stand der Technik

[0002] Auch, wenn die vorliegende Erfindung im Folgenden in Zusammenhang mit Radarsystemen für Fahrzeuge beschrieben wird, ist sie darauf nicht beschränkt und kann mit beliebigen Radarsystemen eingesetzt werden.

[0003] In modernen Fahrzeugen werden eine Vielzahl elektronischer Systeme eingesetzt, die z. B. dazu dienen können, einen Fahrer beim Führen des Fahrzeugs zu unterstützen. Beispielsweise können Bremsassistenten vorausfahrende Verkehrsteilnehmer erkennen und das Fahrzeug entsprechend abbremsen und beschleunigen, so dass immer ein vorgegebener Mindestabstand zu den vorausfahrenden Verkehrsteilnehmern eingehalten wird. Solche Bremsassistenten können auch eine Notbremsung einleiten, wenn sie erkennen, dass der Abstand zu dem vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer zu gering wird.

[0004] Weitere Fahrerassistenzsysteme können auch den Bereich hinter dem Fahrzeug beobachten und den Fahrer, z. B. bei einem durch ein Setzen des Blinkers erkannten Spurwechsel, vor einem herannahenden Fahrzeug warnen, oder z. B. die Rückhaltesysteme des Fahrzeugs, wie z. B. Gurtstraffer, vorbereiten, wenn ein unmittelbar bevorstehender Aufprall erkannt wird.

[0005] Um solche Assistenzsysteme in einem Fahrzeug bereitstellen zu können, ist es notwendig, Daten über das Umfeld des jeweiligen Fahrzeugs zu erfassen. Im oben genannten Beispiel eines Bremsassistenten ist es z. B. nötig, die Position eines vorausfahrenden Verkehrsteilnehmers zu erfassen, um den Abstand des Fahrzeugs zu dem vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer berechnen zu können.

[0006] Zur Erfassung des Fahrzeugumfeldes können dabei unterschiedliche Sensortypen eingesetzt werden. Beispielsweise können Radarsensoren, Ultraschallsensoren, Kameras oder dergleichen eingesetzt werden.

[0007] Als Radarsensoren werden in Fahrzeugen zur Erkennung des Fahrzeugumfeldes üblicherweise FMCW-Radarsensoren eingesetzt, mit welchen der Abstand des Fahrzeugs zu dem vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer bestimmt werden kann.

[0008] Beispielsweise zeigt die DE 10 2013 200 951 A1 einen solchen Radarsensor.

[0009] Für eine umfassende Umfelderkennung ist ferner wünschenswert, auch die Beschleunigung des vorausfahrenden Verkehrsteilnehmers bestimmen zu können.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und ein Radarsystem mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10.

[0011] Demgemäß ist vorgesehen:

Ein Verfahren zum Betreiben eines Radarsystems, welches mindestens einen Radarsensor aufweist, aufweisend Aussenden eines Radarsignals, welches eine Vielzahl von Rampen aufweist, Empfangen des von Objekten reflektierten Radarsignals, Berechnen eines zweidimensionalen Spektrums für das empfangene Radarsignal, Bestimmen einer Abweichung der Form lokaler Maxima in dem zweidimensionalen Spektrum, welche die Objekte repräsentieren, von einer für unbeschleunigte Objekte erwarteten Form, und Bestimmen jeweils einer Beschleunigung jedes der Objekte basierend auf der erfassten Abweichung.

[0012] Ferner ist vorgesehen:

Ein Radarsystem mit einem Radarsensor, welcher ausgebildet ist, ein Radarsignal auszusenden, welches eine Vielzahl von Rampen aufweist und das von Objekten reflektierte Radarsignal zu empfangen, und mit einer Recheneinrichtung, welche ausgebildet ist, mit einem erfindungsgemäßen Verfahren basierend auf dem empfangenen Radarsignal eine Beschleunigung der Objekte zu berechnen.

Vorteile der Erfindung

[0013] Die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegende Erkenntnis besteht darin, dass es bei FMCW-Radarsystemen nicht möglich ist, die Beschleunigung eines Objekts direkt zu erfassen. Eine Erfassung der Beschleunigung eines Objekts ist z. B. nur über die Erfassung zweier Geschwindigkeiten des Objekts zu unterschiedlichen Zeitpunkten und eine anschließende Differenzbildung oder dergleichen möglich.

[0014] Die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegende Idee besteht nun darin, dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen und eine Möglichkeit vorzusehen, bei welcher in einem einzelnen Messzyklus die Beschleunigung eines Objekts gegenüber dem Radarsensor oder z. B. einem Fahrzeug, in welchem der Radarsensor integriert ist, auch Relativbeschleunigung genannt, erfasst werden kann.

[0015] Dazu sieht die vorliegende Erfindung vor, dass ein Radarsignal ausgesendet und das von Objekten reflektierte Radarsignal empfangen wird. Dies kann z. B. durch einen Radarsensor eines erfindungsgemäßen Radarsystems erfolgen.

[0016] Für das empfangene Radarsignal wird daraufhin ein zweidimensionales Spektrum berechnet. Insbesondere kann das zweidimensionale Spektrum dabei eine quadratische Aufteilung in eine Vielzahl von Frequenzbins (k , l) aufweisen.

[0017] Um die Beschleunigung von Objekten gegenüber dem Radarsensor zu bestimmen, sieht die Erfindung vor, dass in dem zweidimensionalen Spektrum die Form der lokalen Maxima, welche durch die Objekte, hervorgerufen werden, bewertet wird. Insbesondere wird die Abweichung der Form der lokalen Maxima von einer für unbeschleunigte Objekte erwarteten Form bewertet und basierend auf der Abweichung die jeweilige Beschleunigung bestimmt. Bei Verwendung identischer Fensterfunktionen in der Auswertung der Radarsignale bildet die für unbeschleunigte Objekte erwartete Form beispielsweise einen Kreis.

[0018] Dadurch ermöglicht es die vorliegende Erfindung in nur einem Messzyklus die Beschleunigung bzw. die Relativbeschleunigung von Objekten zu erfassen.

[0019] Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

[0020] In einer Ausführungsform weist das Berechnen eines zweidimensionalen Spektrums das Berechnen einer zweidimensionalen Fourier-Transformation, insbesondere einer zweidimensionalen Fast-Fourier-Transformation, auf. Dies ermöglicht eine einfache und schnelle Berechnung des zweidimensionalen Spektrums.

[0021] In einer Ausführungsform weist das Bestimmen der Abweichung das Bestimmen einer Richtung einer Hauptachse einer Ellipse und eines Verhältnisses der Hauptachse und einer Nebenachse der Ellipse auf. Dies ermöglicht eine einfache geometrische Bestimmung der Abweichung der Form.

[0022] In einer Ausführungsform wird beim Bestimmen jeweils einer Beschleunigung der Betrag der Beschleunigung des entsprechenden Objekts basierend auf der Länge der Hauptachse im Verhältnis zur Länge der Nebenachse der jeweiligen Ellipse bestimmt. Dadurch kann auf sehr einfache Weise der Wert bzw. der Betrag der Beschleunigung bestimmt werden.

[0023] In einer Ausführungsform wird beim Bestimmen jeweils einer Beschleunigung das Vorzeichen der Beschleunigung basierend auf der Richtung der Hauptachse bestimmt.

[0024] In einer Ausführungsform wird ein positives Vorzeichen für die Beschleunigung bestimmt, wenn die Komponente der Hauptachse auf der Abszissenachse des zweidimensionalen Spektrums positiv ist.

[0025] In einer Ausführungsform wird ein negatives Vorzeichen für die Beschleunigung bestimmt, wenn die Komponente der Hauptachse auf der Abszissenachse des zweidimensionalen Spektrums negativ ist.

[0026] Wird lediglich die Richtung der Hauptachse zur Bestimmung des Vorzeichens genutzt, kann diese sehr einfach berechnet werden.

[0027] In einer Ausführungsform werden beim Bestimmen einer Abweichung der Form lineare Amplituden der lokalen Maxima mittels einer quadratischen Form einer gauß'schen Glockenkurve berechnet. Durch die

quadratische Form der gauß'schen Glockenkurve kann eine Basis für eine numerische Berechnung der Beschleunigungen bereitgestellt werden.

[0028] In einer Ausführungsform weist das Verfahren das Schätzen der Parameter der quadratischen Form insbesondere mittels der Methode der kleinsten Quadrate auf. Die Methode der kleinsten Quadrate kann z. B. in einem Steuergerät bzw. einer Recheneinrichtung eines Fahrzeugs oder eines Radarsystems effizient umgesetzt werden.

[0029] In einer Ausführungsform wird beim Bestimmen jeweils einer Beschleunigung eine auf der quadratischen Form basierende quadratische Gleichung gelöst. Dies ermöglicht eine sehr einfache Berechnung der Beschleunigung.

[0030] In einer Ausführungsform weisen die Rampen des Radarsignals eine Länge von weniger als 200 Mikrosekunden auf.

[0031] Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0032] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

[0033] Fig. 1 ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0034] Fig. 2 ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Radarsystems;

[0035] Fig. 3 ein Spektrum zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren;

[0036] Fig. 4 ein weiteres Spektrum zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren;

[0037] Fig. 5 ein weiteres Spektrum zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren; und

[0038] Fig. 6 ein weiteres Spektrum zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren.

[0039] In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen – sofern nichts Anderes angegeben ist – mit denselben Bezugszeichen versehen worden.

Ausführungsformen der Erfindung

[0040] Fig. 1 zeigt ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0041] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht das Aussenden S1 eines Radarsignals **3** vor. Das Radarsignal **3** ist insbesondere als ein FMCW-Radarsignal **3** ausgebildet, welches eine Vielzahl von Rampen im Frequenzverlauf aufweist, welche z. B. eine Länge von weniger als 200 Mikrosekunden aufweisen können. Das von Objekten **4-1**, **4-2** reflektierte Radarsignal **3** wird daraufhin empfangen S2 und ausgewertet, um die Beschleunigung der Objekte **4-1**, **4-2** gegenüber dem Radarsensor **2**, auch Relativbeschleunigung genannt, zu bestimmen.

[0042] Das Auswerten besteht in dem Berechnen S3 eines zweidimensionalen Spektrums **5-1-5-4** der empfangenen Radarsignale. Dabei kann das zweidimensionale Spektrum **5-1-5-4** insbesondere eine Aufteilung in eine Vielzahl von Frequenzbins k , l aufweisen. Dabei stellt die Abszissenachse des zweidimensionalen Spektrums **5-1-5-4** die Frequenz innerhalb einer Rampe dar und die Ordinatenachse des zweidimensionalen Spektrums **5-1-5-4** stellt die Frequenz über die Rampen hinweg dar. Beispielhafte zweidimensionale Spektren **5-1-5-4** werden in Fig. 3–Fig. 6 näher erläutert. Das zweidimensionale Spektrum **5-1-5-4** kann z. B. mittels einer Fourier-Transformation bzw. einer Fast-Fourier-Transformation berechnet werden.

[0043] Mathematisch kann das zweidimensionale Spektrum **5-1-5-4** in einer Ausführungsform wie folgt definiert werden:

$$Y_{kl} = e^{-j2\pi l \frac{N_{slow}-1}{2N_{slow}}} e^{-j2\pi k \frac{N_{fast}-1}{2N_{fast}}} \cdot \sum_{r=1}^{N_{slow}} \left(\sum_{n=0}^{N_{fast}-1} w_1(n) \cdot e^{j2\pi \left((\Delta k + k_0 - k) \frac{n - \frac{N_{fast}-1}{2}}{N_{fast}} \right)} w_2(r) \cdot e^{j2\pi \left((\Delta l + l_0 - l) \frac{r-1}{N_{slow}} \right)} \right)$$

$$= \bar{w}_{kl} e^{-j2\pi l \frac{N_{slow}-1}{2N_{slow}}} e^{-j2\pi k \frac{N_{fast}-1}{2N_{fast}}}$$

mit

$$\Delta k = \bar{k} - k_0$$

$$= \frac{2}{c} \left(\left(v F_{fast} T_{r2r} + v T_{fast} \frac{F_{slow}}{N_{slow}} + a f_0 T_{r2r} T_{fast} \right) \mu + \left(\frac{1}{2} a T_{r2r}^2 F_{fast} + a T_{r2r} T_{fast} \frac{F_{slow}}{N_{slow}} \right) \mu^2 \right)$$

und

$$\Delta l = \bar{l} - l_0$$

$$= \frac{2}{c} \left(\left(v T_{r2r} F_{slow} + \frac{1}{2} a f_0 T_{slow} T_{r2r} \right) \mu + \left(\frac{1}{2} a T_{r2r}^2 F_{slow} \right) \mu^2 \right)$$

[0044] Die Werte \bar{w}_{kl} beschreiben die zweidimensionale Form lokaler Maxima **6-1-6-4** in dem zweidimensionalen Spektrum **5-1-5-4**, die von den verwendeten Fensterfunktionen $w_1(n)$, $w_2(r)$ sowie über die oben genannten Gleichungen von der Bewegung der Objekte **4-1**, **4-2** und den Modulationsparametern abhängen.

[0045] Bei MSFMCW, multiple source frequency modulated continuous wave, basierten Radarverfahren werden N_{slow} identische LFMCW-Rampen **20-1-20-n** ausgesendet. Diese Rampen **20-1-20-n** werden als „schnelle Rampen“ bezeichnet. Die Mittenfrequenzen der schnellen Rampen bilden über die Zeit ebenfalls eine LFMCW-Rampe **21**. Diese wird als „langsame Rampe“ bezeichnet. Dieser Zusammenhang ist in **Fig. 7** dargestellt. Der Rampenhub einer schnellen Rampe **20-1-20-n** beträgt F_{fast} bei einer Rampendauer T_{fast} und N_{fast} Abtastwerten pro schneller Rampe **20-1-20-n**. Der Hub der langsamen Rampe **21** wird mit F_{slow} bezeichnet und die Rampendauer beträgt $T_{slow} = N_{slow} T_{r2r}$ bei N_{slow} schnellen Rampen **20-1-20-n** mit Zeitunterschied (ramp-to-ramp) $T_{r2r} \geq T_{fast}$ in einer langsamen Rampe **21**.

[0046] Zur Auswertung werden die Abweichungen der Formen lokaler Maxima **6-1-6-4** in dem zweidimensionalen Spektrum **5-1-5-4** von einer für unbeschleunigte Objekte erwarteten Form, z. B. einer Kreisform, bestimmt, S4, und die Beschleunigung des dem jeweiligen Maximum **6-1-6-4** entsprechenden Objekts **4-1**, **4-2** basierend auf der jeweiligen Abweichung bestimmt, S5.

[0047] Dabei kann die Bestimmung der Formen der lokalen Maxima **6-1-6-4** in einer Ausführungsform z. B. numerisch durchgeführt werden.

[0048] Zur Beschreibung der Formen der lokalen Maxima **6-1-6-4** z. B. in linearen Amplituden kann eine gauß'sche Glockenkurve verwendet werden. Die Leistungsverteilung in dB, z. B. nach Normierung auf die Leistung an der Position des jeweiligen Maximums **6-1-6-4**, wird somit dann durch eine quadratische Form beschrieben:

$$P_{kl} = -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(k-\bar{k})^2}{\sigma_k^2} - \frac{2\rho(k-\bar{k})(l-\bar{l})}{\sigma_k\sigma_l} + \frac{(l-\bar{l})^2}{\sigma_l^2} \right] \quad (1)$$

$$= -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} k-\bar{k} \\ l-\bar{l} \end{pmatrix}^T C^{-1} \begin{pmatrix} k-\bar{k} \\ l-\bar{l} \end{pmatrix}$$

mit

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_k^2 & \rho\sigma_k\sigma_l \\ \rho\sigma_k\sigma_l & \sigma_l^2 \end{bmatrix}, \quad C^{-1} = \begin{bmatrix} \alpha & \frac{\beta}{2} \\ \frac{\beta}{2} & \gamma \end{bmatrix} = \frac{1}{1-\rho^2} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_k^2} & \frac{\rho}{\sigma_k\sigma_l} \\ \frac{\rho}{\sigma_k\sigma_l} & \frac{1}{\sigma_l^2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0049] \bar{k} , \bar{l} beschreibt dabei die (interpolierte) Position des jeweiligen Maximums **6-1-6-4**, σ_k , σ_l sind die Standardabweichungen in den beiden Dimensionen und ρ ist der Korrelationskoeffizient.

[0050] Aus den Leistungswerten der neun um das jeweilige Maximum **6-1-6-4** liegenden Bins in dem zweidimensionalen Spektrum **5-1-5-4** (d. h. $k = k_0 - 1, k_0, k_0 + 1$ und $l = l_0 - 1, l_0, l_0 + 1$) lassen sich die Parameter der quadratischen Form bzw. der inversen Kovarianzmatrix C^{-1} z. B. mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate schätzen. Dazu werden die neun relativen Binpositionen $(k - \bar{k}, l - \bar{l})$ in einer 9×2 Matrix vereint:

$$M = \begin{bmatrix} k_1 - \bar{k} & l_1 - \bar{l} \\ \vdots & \vdots \\ k_9 - \bar{k} & l_9 - \bar{l} \end{bmatrix}$$

und die dazugehörigen Leistungswerte in einem Vektor beschrieben:

$$p = \begin{pmatrix} P_{kl,1} \\ \vdots \\ P_{kl,9} \end{pmatrix}$$

[0051] Die Parameter der inversen Kovarianzmatrix C^{-1} lassen sich dann wie folgt bestimmen

$$\hat{\theta} = \begin{pmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta} \\ \hat{\gamma} \end{pmatrix} = -2M^+ \cdot p = -2(M^T M)^{-1} M \cdot p$$

[0052] M^+ bezeichnet die Pseudoinverse der Matrix M .

[0053] Aus den geschätzten Parametern $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$, $\hat{\gamma}$ kann in einer Ausführungsform die Beschleunigung direkt bestimmt werden. Dabei hängen die Parameter $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$, $\hat{\gamma}$ von der Geschwindigkeit und Beschleunigung des jeweiligen Objekts **2-1**, **2-2** ab.

[0054] In einer weiteren Ausführungsform wird zunächst eine Schätzung der Kovarianzmatrix \hat{C} durch Invertierung der geschätzten inversen Kovarianzmatrix

$$\hat{C}^{-1} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} & \hat{\beta}/2 \\ \hat{\beta}/2 & \hat{\gamma} \end{bmatrix} \text{ bestimmt:}$$

$$\hat{C} = (\hat{C}^{-1})^{-1} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} & \hat{\beta}/2 \\ \hat{\beta}/2 & \hat{\gamma} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \widehat{\sigma_k^2} & \widehat{\rho\sigma_k\sigma_l} \\ \widehat{\rho\sigma_k\sigma_l} & \widehat{\sigma_l^2} \end{bmatrix}$$

[0055] Das Element \hat{C}_{12} enthält die Kovarianz \hat{c}_{kl} zwischen (k, l) , die von den Modulationsparametern, den Fensterfunktionen sowie der Geschwindigkeit und der Beschleunigung abhängt. Es wird eine quadratische Form genutzt, um die Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Beschleunigung zu modellieren:

$$\hat{c}_{kl} = \widehat{\rho\sigma_k\sigma_l} \approx c_1 + c_2 \cdot v + c_3 \cdot a + c_4 \cdot v^2 + c_5 \cdot a^2 + c_6 \cdot v \cdot a$$

[0056] In einer Ausführungsform werden Koeffizienten, die derartig klein sind, dass diese vernachlässigt werden können, gestrichen, um die Formel zu vereinfachen. Dies kann in einer Ausführungsform z. B. auf die Koeffizienten c_2 und c_3 zutreffen, welche üblicherweise kleiner als 10^{-17} sind. Somit vereinfacht sich obige Gleichung zu:

$$\hat{c}_{kl} \approx c_1 + c_4 \cdot v^2 + c_5 \cdot a^2 + c_6 \cdot v \cdot a$$

[0057] Die Geschwindigkeit v kann als bekannt angenommen werden, da sie direkt aus der (interpolierten) Position des jeweiligen Maximums **6-1-6-4** ermittelt werden kann. Somit ergibt die obige Gleichung eine quadratische Gleichung für die unbekannte Beschleunigung a . Da es sich um eine quadratische Gleichung handelt, erhält man als mögliche Schätzwerte:

$$\hat{a}_{1,2} = \frac{-c_6 \cdot v \pm \sqrt{(c_6 \cdot v)^2 - 4c_5 \cdot (c_1 + c_4 \cdot v^2 - \hat{c}_{kl})}}{2c_5}$$

[0058] Für eine Ausführungsform, in welcher $c_5 = 0$ ist, ergibt sich nur ein Schätzwert:

$$\hat{a} = -\frac{c_1 + c_4 \cdot v^2 - \hat{c}_{kl}}{c_6 \cdot v}$$

[0059] In der Regel weist eine der beiden Schätzungen $\hat{a}_{1,2}$ betragsmäßig unplausibel große Werte auf, wodurch der korrekte Wert einfach erkannt werden kann.

[0060] Alternativ dazu kann in einer Ausführungsform die Entscheidung, welche der beiden Schätzwerte korrekt ist, durch Lösen der linearen Gleichung für \hat{a} erfolgen.

[0061] Die Koeffizienten c_1, \dots, c_6 können auf unterschiedliche Arten bestimmt werden. In einer Ausführungsform können die Koeffizienten c_1, \dots, c_6 numerisch bestimmt werden. Alternativ können die Koeffizienten c_1, \dots, c_6 experimentell ermittelt oder durch Simulationen bestimmt werden.

[0062] In einer Ausführungsform können die Koeffizienten c_1, \dots, c_6 numerisch derart bestimmt werden, dass eine der Gleichungen für \hat{c}_{kl} für eine Vielzahl von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bestmöglich erfüllt wird. Dies kann z. B. als numerisches Optimierungsproblem gelöst werden.

[0063] In einer Ausführungsform können die Koeffizienten c_1, \dots, c_6 für jeden Typ von Radarsensor **2**, mit welchem das vorliegende Verfahren eingesetzt werden soll, und für die jeweiligen Modulationsparameter bestimmt werden.

[0064] Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Radarsystems **1**.

[0065] Das Radarsystem **1** weist einen Radarsensor **2** auf, welcher ein Radarsignal **3** aussendet. Dabei ist das Radarsignal **3** in einer Ausführungsform als FMCW-Radarsignal **3** ausgebildet, welches eine Vielzahl von aufeinander folgenden Rampen aufweist. Insbesondere können die Rampen in einer Ausführungsform eine Dauer von weniger als 200 Mikrosekunden aufweisen.

[0066] In Fig. 2 sind zwei Objekte **4-1**, **4-2** dargestellt, welche das Radarsignal **3** reflektieren. Der Radarsensor **2** nimmt dabei das reflektierte Radarsignal **3** auf. Werden die Objekte **4-1**, **4-2** mit einer Beschleunigung beschleunigt, welche von der Beschleunigung des Radarsensors **2** bzw. z. B. eines Fahrzeugs, in welchem der Radarsensor **2** angeordnet ist, abweicht, besteht zwischen dem jeweiligen Objekt **4-1**, **4-2** und dem Radarsensor **2** eine Relativbeschleunigung, welche mit Hilfe des Radarsystems **1** und des erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmt werden kann.

[0067] Der Radarsensor übermittelt Signale, welche das empfangene Radarsignal **3** kennzeichnen, an eine Recheneinrichtung **11**, welche aus diesen basierend auf dem unter **Fig. 1** beschriebenen Verfahren die jeweilige Beschleunigung **7** der Objekte **4-1**, **4-2** berechnet.

[0068] **Fig. 3** zeigt ein beispielhaftes zweidimensionales Spektrum **5-1** eines Radarsignals **3** zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0069] Das Spektrum **5-1** ist ein zweidimensionales Spektrum **5-1**, in welchem ein Maximum **6-1** vorhanden ist, die Abfallenden Signalwerte sind durch konzentrische, um das Maximum **6-1** angeordnete Kreise dargestellt.

[0070] Die **Fig. 4–Fig. 6** zeigen ebenfalls zweidimensionale Spektren **5-2–5-4**, welche jeweils an der gleichen Stelle, wie das zweidimensionale Spektrum **5-1** der **Fig. 3** ein Maximum **6-2–6-4** aufweisen. Die zweidimensionalen Spektren **5-1–5-4** sind dabei in Bins, insbesondere in sog. Frequenzbins unterteilt. An der Ordinate-nachse sind dabei die I-Frequenzbins und an der Abszissenachse die k-Frequenzbins dargestellt.

[0071] Das Spektrum der **Fig. 3** zeigt ein Maximum **6-1**, welches ein Objekt **4-1**, **4-2** kennzeichnet, dessen Relativgeschwindigkeit und Relativbeschleunigung 0 betragen.

[0072] **Fig. 4** zeigt ein weiteres beispielhaftes zweidimensionales Spektrum **5-2** eines Radarsignals **3** zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0073] Im Gegensatz zu **Fig. 3** zeigt das zweidimensionale Spektrum **5-2** der **Fig. 4** ein Maximum **6-2** für ein Objekt **4-1**, **4-2**, dessen Relativbeschleunigung 0 beträgt, dessen Relativgeschwindigkeit aber größer 0 ist. Es ist zu erkennen, dass die Form des Maximums zwar weiterhin kreisförmig ist, allerdings ist der Kreis nun größer.

[0074] In **Fig. 4** ist zu erkennen, dass eine Relativgeschwindigkeit, welche größer als 0 ist, die Form des lokalen Maximums **6-2** gegenüber der Form des lokalen Maximums **6-1** nicht verändert sondern lediglich dessen Größe verändert.

[0075] Unter einem lokalen Maximum **6-1–6-4** ist in diesem Zusammenhang nicht ein einziger Wert zu verstehen. Vielmehr ist unter einem lokalen Maximum **6-1–6-1** in diesem Zusammenhang der gesamte Bereich um einen jeweiligen Maximalwert zu verstehen.

[0076] **Fig. 5** zeigt ein weiteres beispielhaftes zweidimensionales Spektrum **5-3** eines Radarsignals **3** zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0077] Das zweidimensionale Spektrum **5-3** der **Fig. 5** repräsentiert ein Objekt **4-1**, **4-2**, welches eine Relativgeschwindigkeit größer 0 und eine Relativbeschleunigung größer 0 gegenüber dem Radarsensor **2** bzw. dem Fahrzeug, in welchem das Radarsystem **1** angeordnet ist, aufweist.

[0078] Das Objekt **4-1**, **4-2** entfernt sich also von dem Radarsensor **2** mit steigender Geschwindigkeit.

[0079] In dem zweidimensionalen Spektrum **5-3** ist zu erkennen, dass die Form des Maximums **6-3** nicht mehr kreisförmig ist. Vielmehr ist die Form des Maximums **6-3** zu einer Ellipse verzerrt, deren Hauptachse **9-1** sowohl auf der Ordinatenachse als auch der Abszissenachse in eine positive Richtung zeigt. In dem Diagramm der **Fig. 5** zeigt die Hauptachse **9-1** also nach rechts oben. Folglich zeigt die Nebenachse **10-1** der Ellipse nach links oben.

[0080] Je größer die Relativbeschleunigung des in dem zweidimensionalen Spektrum **5-3** dargestellten Objekts ist, desto größer wird das Verhältnis aus Hauptachse **9-1** und Nebenachse **10-1** der Ellipse. Die Ellipse wird mit steigender Relativbeschleunigung also weiter gestreckt.

[0081] **Fig. 6** zeigt ein weiteres beispielhaftes zweidimensionales Spektrum **5-4** eines Radarsignals **3** zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0082] Das zweidimensionale Spektrum **5-4** repräsentiert ebenfalls ein Objekt **4-1**, **4-2**, welches eine Relativgeschwindigkeit größer 0 und eine Relativbeschleunigung ungleich 0 aufweist. Im Gegensatz zu **Fig. 5** weist das in **Fig. 6** repräsentierte Objekt **4-1**, **4-2** aber eine Relativbeschleunigung auf, welche kleiner 0 ist.

[0083] Das durch das Maximum **6-4** repräsentierte Objekt **4-1**, **4-2** entfernt sich also mit sinkender Geschwindigkeit von dem Radarsensor **2**.

[0084] In **Fig. 6** ist zu erkennen, dass eine negative Relativbeschleunigung des Objekts **4-1**, **4-2** dazu führt, dass das Vorzeichen des Bestandteils der Hauptachse **9-2** der Ellipse auf der Abszissenachse das Vorzeichen wechselt. Die Hauptachse **9-2** zeigt in **Fig. 6** also nach links oben und die Nebenachse **10-2** zeigt nach links unten.

[0085] **Fig. 7** zeigt ein Diagramm eines Radarsignals, wie es in einem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. einem erfindungsgemäßen Radarsystem **1** genutzt werden kann.

[0086] In dem Diagramm ist über die Ordinatenachse die Frequenz und über die Abszissenachse die Zeit dargestellt. Es ist zu erkennen, dass das Radarsignal eine Vielzahl **20-1–20-n** einer hohen Steigung, sog. schnelle Rampen, aufweist, deren Mittenfrequenzen eine Rampe geringer Steigung, sog. langsame Rampen, bilden.

[0087] N_{slow} bezeichnet die Anzahl der schnellen Rampen **20-1–20-n**. Die Mittenfrequenzen der schnellen Rampen bilden über die Zeit ebenfalls eine Rampe **21**, durch eine gepunktete Linie dargestellt. Diese wird als „langsame Rampe“ bezeichnet. Der Rampenhub einer schnellen Rampe **20-1–20-n** beträgt F_{fast} bei einer Rampendauer T_{fast} und N_{fast} Abtastwerten pro schneller Rampe **20-1–20-n**. Der Hub der langsamen Rampe **21** wird mit F_{slow} bezeichnet und die Rampendauer beträgt $T_{\text{slow}} = N_{\text{slow}} T_{r2r}$ bei N_{slow} schnellen Rampen **20-1–20-n** mit Zeitunterschied (ramp-to-ramp) $T_{r2r} \geq T_{\text{fast}}$ in einer langsamen Rampe **21**.

[0088] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vorstehend beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar. Insbesondere lässt sich die Erfindung in mannigfaltiger Weise verändern oder modifizieren, ohne vom Kern der Erfindung abzuweichen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102013200951 A1 [0008]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Radarsystems (1), welches mindestens einen Radarsensor (2) aufweist, aufweisend:

Aussenden (S1) eines Radarsignals (3), welches eine Vielzahl von Rampen aufweist;

Empfangen (S2) des von Objekten (4-1, 4-2) reflektierten Radarsignals (3);

Berechnen (S3) eines zweidimensionalen Spektrums (5-1-5-4) für das empfangene Radarsignal (3);

Bestimmen (S4) einer Abweichung der Form lokaler Maxima (6-1-6-4) in dem zweidimensionalen Spektrum (5-1-5-4), welche die Objekte (4-1, 4-2) repräsentieren, von einer für unbeschleunigte Objekte erwarteten Form; und

Bestimmen (S5) jeweils einer Beschleunigung (7) jedes der Objekte (4-1, 4-2) basierend auf der erfassten Abweichung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Berechnen eines zweidimensionalen Spektrums (5-1-5-4) das Berechnen einer zweidimensionalen Fourier-Transformation, insbesondere einer zweidimensionalen Fast-Fourier-Transformation, aufweist.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Bestimmen der Abweichung das Bestimmen einer Richtung einer Hauptachse (9-1, 9-2) einer Ellipse und eines Verhältnisses der Hauptachse (9-1, 9-2) und einer Nebenachse (10-1, 10-2) der Ellipse aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei beim Bestimmen jeweils einer Beschleunigung (7) der Betrag der Beschleunigung (7) des entsprechenden Objekts (4-1, 4-2) basierend auf der Länge der Hauptachse (9-1, 9-2) im Verhältnis zur Länge der Nebenachse (10-1, 10-2) der jeweiligen Ellipse bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 und 4, wobei beim Bestimmen jeweils einer Beschleunigung (7) das Vorzeichen der Beschleunigung (7) basierend auf der Richtung der Hauptachse (9-1, 9-2) bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei ein positives Vorzeichen für die Beschleunigung (7) bestimmt wird, wenn die Komponente der Hauptachse (9-1, 9-2) auf der Abszissenachse des zweidimensionalen Spektrums (5-1-5-4) positiv ist; und/oder wobei ein negatives Vorzeichen für die Beschleunigung (7) bestimmt wird, wenn die Komponente der Hauptachse (9-1, 9-2) auf der Abszissenachse des zweidimensionalen Spektrums (5-1-5-4) negativ ist.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei beim Bestimmen einer Abweichung der Form lineare Amplituden der lokalen Maxima (6-1-6-4) mittels einer quadratischen Form einer gauß'schen Glockenkurve berechnet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, aufweisend:

Schätzen der Parameter der quadratischen Form insbesondere mittels der Methode der kleinsten Quadrate.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei beim Bestimmen jeweils einer Beschleunigung (7) eine auf der quadratischen Form basierende quadratische Gleichung gelöst wird.

10. Radarsystem (1),

mit einem Radarsensor (2), welcher ausgebildet ist, ein Radarsignal (3) auszusenden, welches eine Vielzahl von Rampen aufweist und das von Objekten (4-1, 4-2) reflektierte Radarsignal (3) zu empfangen;

mit einer Recheneinrichtung, welche ausgebildet ist, mit einem Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche basierend auf dem empfangenen Radarsignal (3) eine Beschleunigung (7) der Objekte (4-1, 4-2) zu berechnen.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

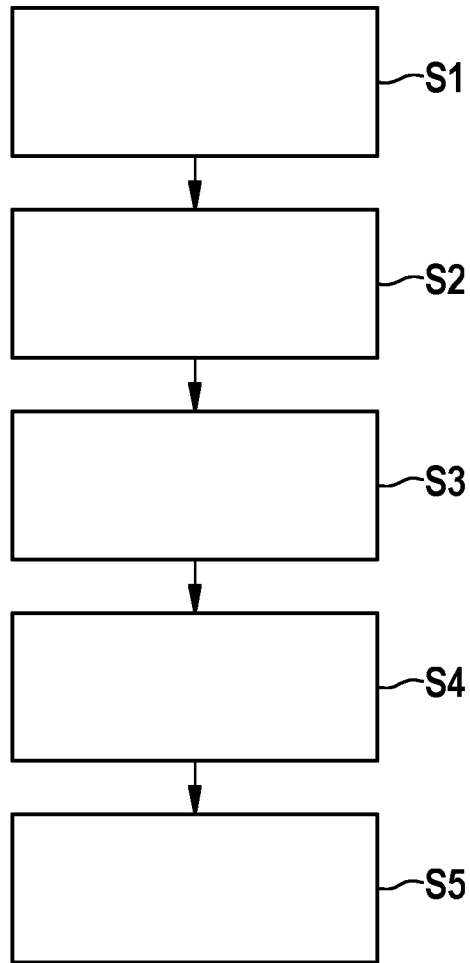


Fig. 1

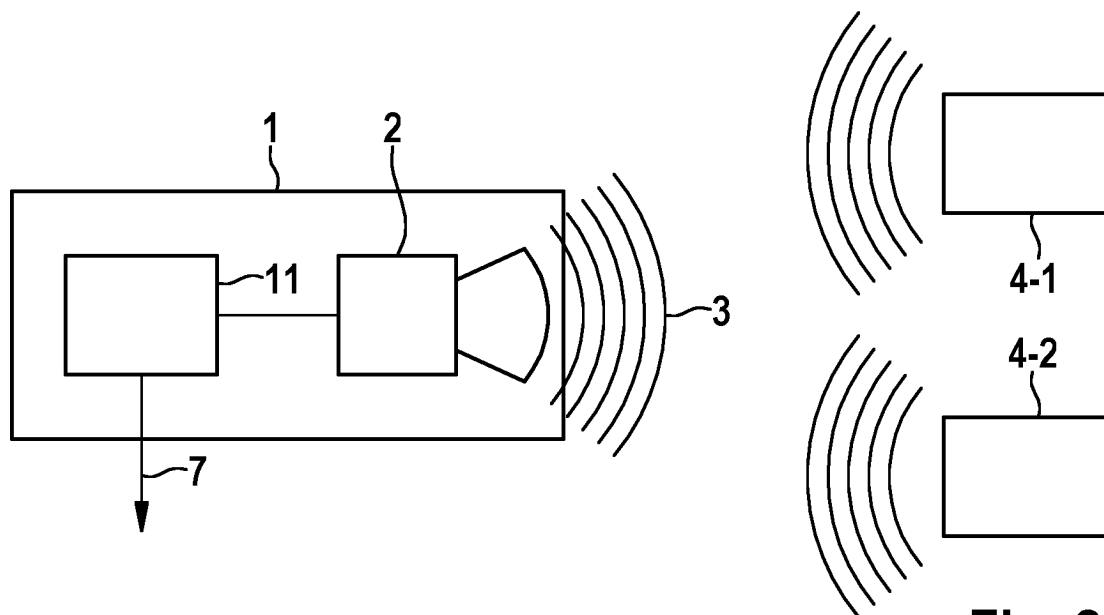


Fig. 2

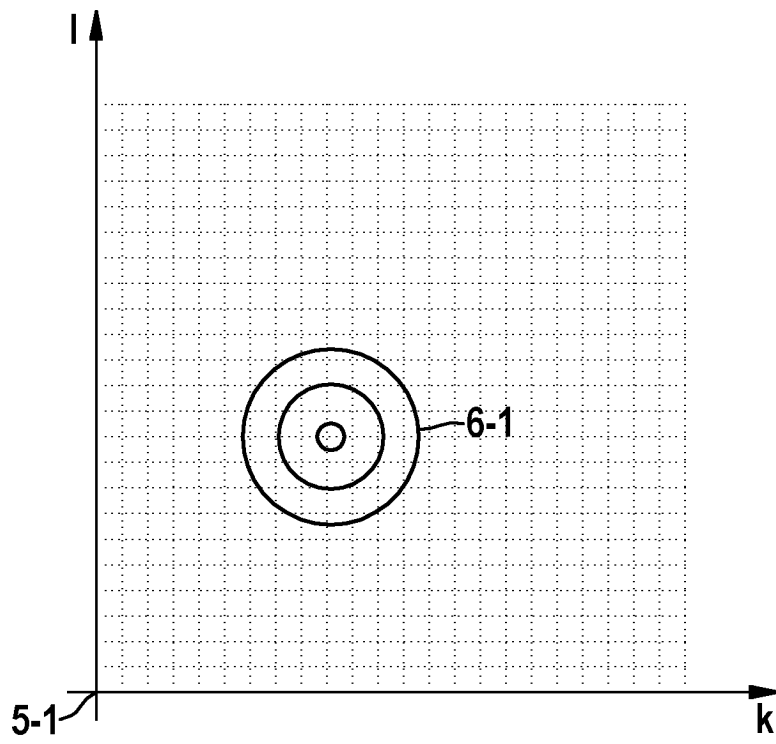


Fig. 3

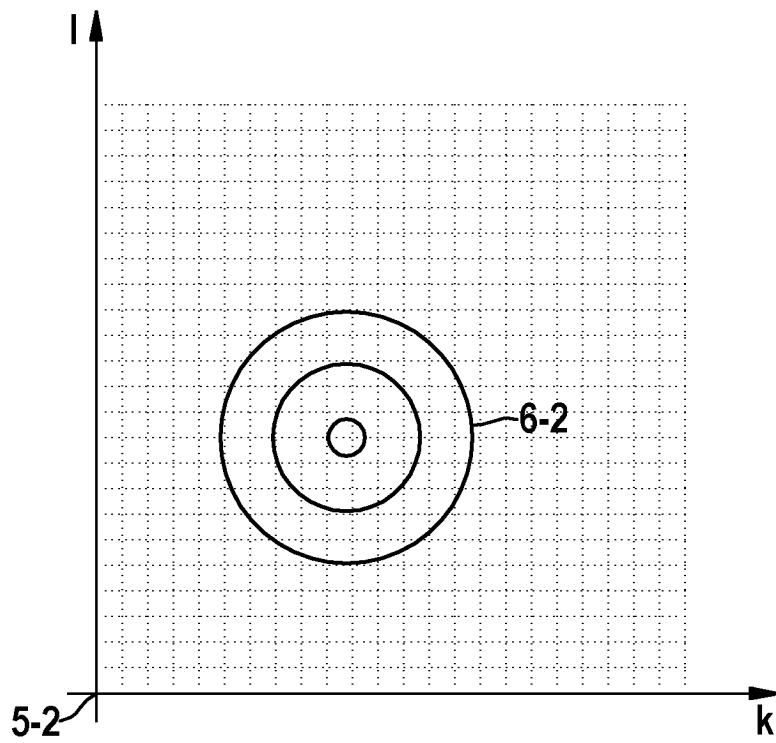
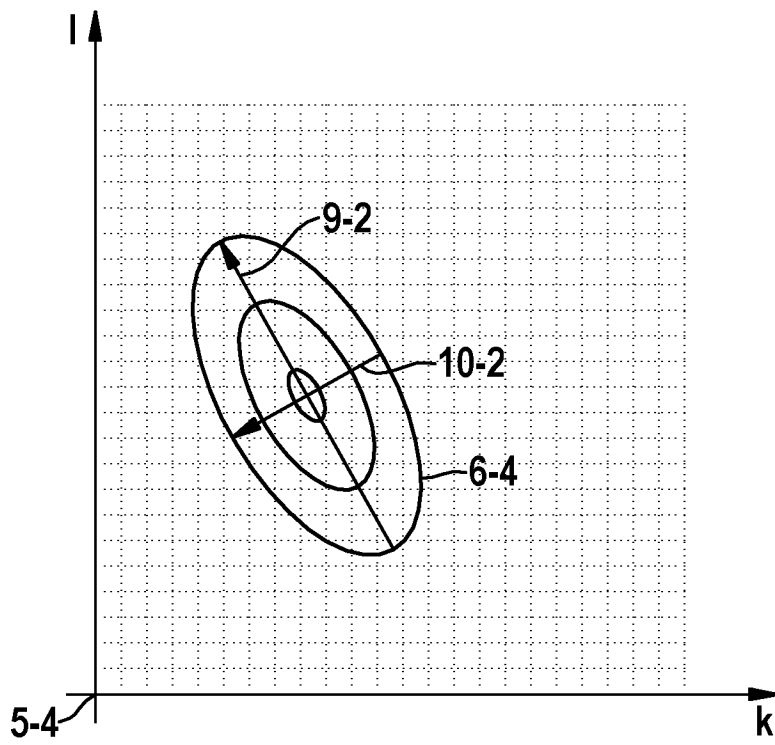
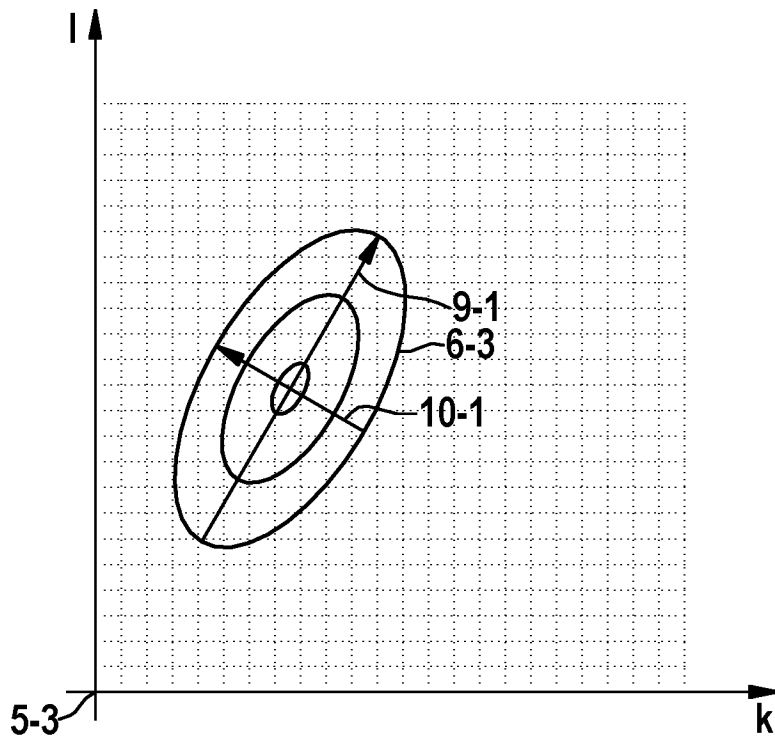


Fig. 4



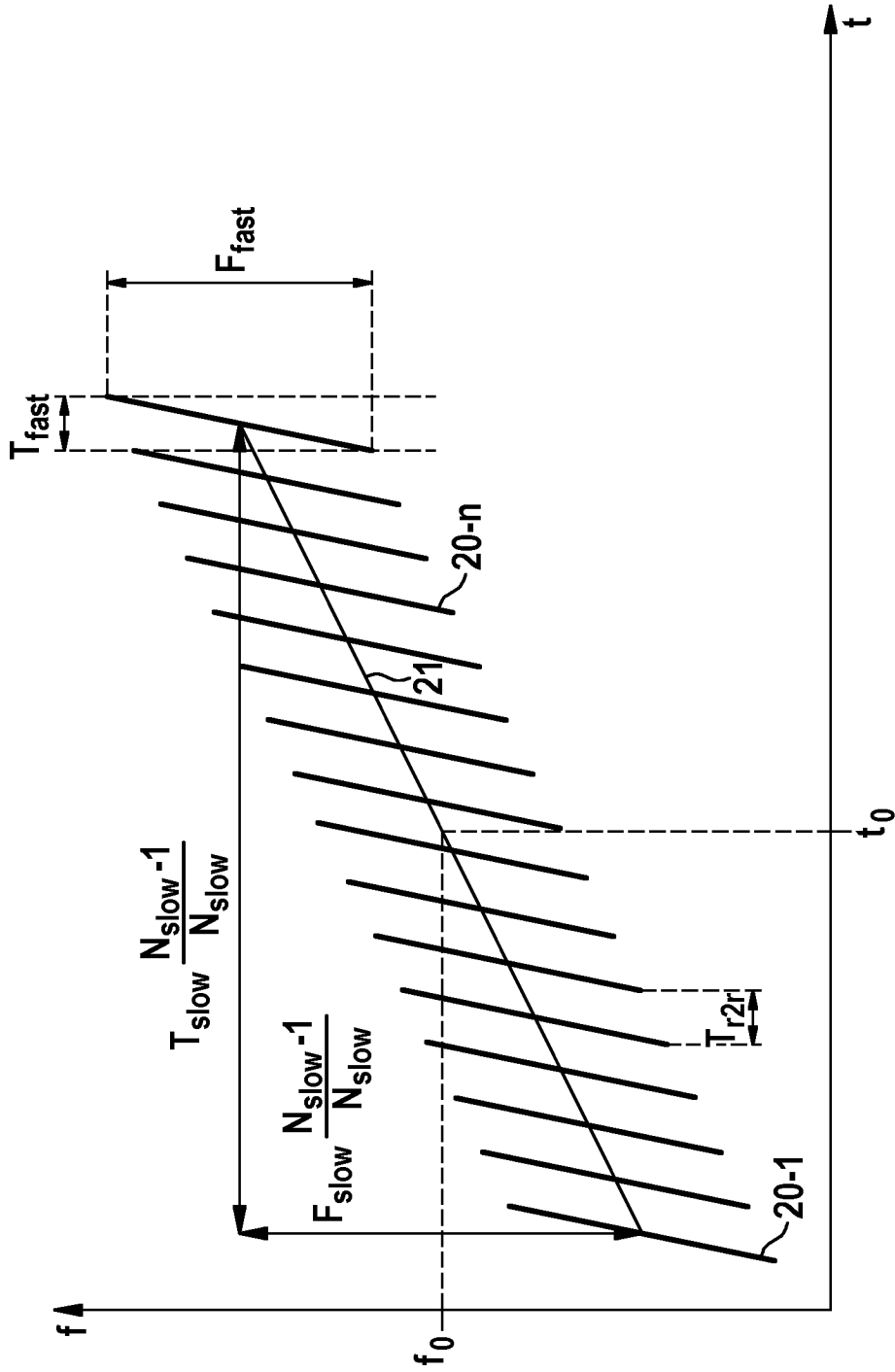


Fig. 7