

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50828/2013
(22) Anmeldetag: 16.12.2013
(43) Veröffentlicht am: 15.07.2015

(51) Int. Cl.: **G01S 13/22** (2006.01)
G01S 17/88 (2006.01)
G01S 7/487 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 511310 B1
US 4973968 A
US 2002041370 A1
WO 9960419 A1

(71) Patentanmelder:
RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS
GMBH
3580 HORN (AT)

(72) Erfinder:
Rieger Peter Dipl.Ing.
3824 Großau (AT)
Ullrich Andreas Dr.
3003 Gablitz (AT)

(74) Vertreter:
WEISER ANDREAS DIPL.ING. DR.
1130 WIEN (AT)

(54) **Verfahren zur Entfernungsmessung**

(57) 1. Verfahren zur Entfernungsmessung von Umgebungszielen durch Laufzeitmessung von daran reflektierten Impulsen, insbesondere Laserimpulsen, umfassend:

Aussenden einer Folge von Impulsen (S_k), in welcher die Impulsabstände (ΔT_{S_k}) zumindest einer Gruppe (G_{Sm}) aufeinanderfolgender Impulse (S_k) einem bekannten Abstandsmuster (M) folgen, als Sendeimpulsfolge ($\{S_k\}$) und begleitendes Empfangen der reflektierten Impulse als Folge ($\{E_k\}$) von Empfangsimpulsen (E_k) und Messen deren Impulsabstände (ΔT_{Ek}),

Ermitteln, in der Empfangsimpulsfolge ($\{E_k\}$), einer Gruppe (G_{Em}) von Empfangsimpulsen (E_k), deren Impulsabstände (ΔT_{Ek}) die größte Ähnlichkeit mit dem bekannten Abstandsmuster (M) haben,

Bestimmen von Laufzeiten (T_k) zwischen jedem Sendeimpuls (S_k) der genannten Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) und jeweils jenem Empfangsimpuls (E_k) der genannten Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}), welcher darin dieselbe Reihung in der Gruppe (G_{Em}) hat wie dieser Sendeimpuls (S_k) in seiner Gruppe (G_{Sm}), und Bestimmen von Entfernungsmesswerten (D_k) aus den genannten Laufzeiten (T_k).

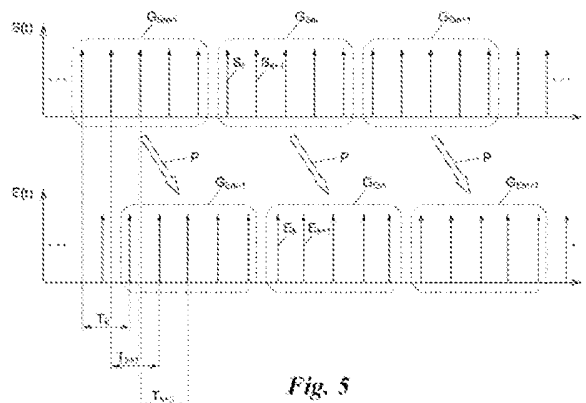


Fig. 5

Zusammenfassung:

1. Verfahren zur Entfernungsmessung von Umgebungszielen durch Laufzeitmessung von daran reflektierten Impulsen, insbesondere Laserimpulsen, umfassend:

Aussenden einer Folge von Impulsen (S_k), in welcher die Impulsabstände (ΔT_{S_k}) zumindest einer Gruppe (G_{Sm}) aufeinanderfolgender Impulse (S_k) einem bekannten Abstandsmuster (M) folgen, als Sendeimpulsfolge ($\{S_k\}$) und begleitendes Empfangen der reflektierten Impulse als Folge ($\{E_k\}$) von Empfangsimpulsen (E_k) und Messen deren Impulsabstände (ΔT_{E_k}),

Ermitteln, in der Empfangsimpulsfolge ($\{E_k\}$), einer Gruppe (G_{Em}) von Empfangsimpulsen (E_k), deren Impulsabstände (ΔT_{E_k}) die größte Ähnlichkeit mit dem bekannten Abstandsmuster (M) haben,

Bestimmen von Laufzeiten (T_k) zwischen jedem Sendeimpuls (S_k) der genannten Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) und jeweils jenem Empfangsimpuls (E_k) der genannten Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}), welcher darin dieselbe Reihung in der Gruppe (G_{Em}) hat wie dieser Sendeimpuls (S_k) in seiner Gruppe (G_{Sm}), und

Bestimmen von Entfernungsmesswerten (D_k) aus den genannten Laufzeiten (T_k).

(Fig. 5)

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
A-3580 Horn

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entfernungsmessung von Umgebungszielen durch Laufzeitmessung von daran reflektierten Impulsen. Die Impulse können beliebiger Art sein, z.B. Lichtimpulse, insbesondere Laserimpulse, Funkimpulse, insbesondere Radarimpulse, Schallimpulse od. dgl. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Laserscannen durch Richten von Laserimpulsen fortlaufend auf verschiedene Umgebungsziele.

Moderne Impulslaufzeit-Entfernungsmesser wie Laserentfernungsmesser bzw. -scanner arbeiten mit hoher Impulsleistung über große Entfernungen und/oder hoher Impulswiederholungsrate zur raschen Erstellung einer Vielzahl von Entfernungsmesspunkten der Umgebung. In beiden Fällen kann sich die Situation ergeben, dass der nächste Impuls schon ausgesandt wird, noch bevor die Reflexion des letzten Impulses empfangen wurde, sodass die eintreffenden Empfangsimpulse nicht mehr eindeutig ihrem jeweiligen Sendeimpuls zugeordnet werden können. Dies ist als „multiple time around“- (MTA) bzw. „multiple pulses in the air“-Problem bekannt. Die maximale Größe $d_{\max}$ des eindeutig vermessbaren Entfernungsbereiches, der sog. MTA-Zone, ergibt sich dabei aus der Impulswiederholungsrate (pulse repetition rate) PRR und der Lichtgeschwindigkeit c zu

$$d_{\max} = c / (2 \cdot \text{PRR}) .$$

Laserscanner moderner Bauart bieten beispielsweise Impulswiederholungsraten von bis zu 400 kHz, was einer MTA-Zonengröße $d_{\max}$ von etwa 375 m entspricht. Wird diese Messdistanz überschritten, ist das Messergebnis aufgrund der nicht eindeutigen Zuordenbarkeit der Sende- und Empfangsimpulse in der Regel nicht korrekt interpretierbar.

Die Fig. 1 und 2 zeigen diese Situation im Detail. Von einem flugzeuggestützten Laserscanner 1 wird ein gepulster Lasermessstrahl 2 abtastend über eine Umgebung U mit einzelnen Umgebungszielen (Abtastpunkten) $U_1, U_2, \dots$ geführt, z.B. zeilenweise fächerförmig. Aus Laufzeitmessungen an den einzelnen ausgesandten Impulsen $S_1, S_2, \dots$, die nach der Umgebungsreflexion als Empfangsimpulse $E_1, E_2, \dots$ zurückerhalten werden, können die Zielentfernungen $D_1, D_2, \dots$ zu den einzelnen Umgebungszielen $U_1, U_2, \dots$ bestimmt werden.

Die Fig. 1a und 2a zeigen eine beispielhafte Situation bei der Vermessung von Umgebungszielen U_1, U_2 , die in der ersten, dem Laserscanner 1 nächstgelegenen MTA-Zone Z_1 liegen: Der zum Sendeimpuls S_1 gehörende Empfangsimpuls E_1 wird zurückerhalten, bevor der nächste Sendeimpuls S_2 im Zeitabstand $\tau = 1/\text{PRR}$ ausgesandt wird, usw. usf.

Die Fig. 1b und 2b zeigen eine beispielhafte Situation, wenn Umgebungsziele U_3, U_4 in der zweiten MTA-Zone Z_2 liegen: Hier wird der zum Sendeimpuls S_3 gehörende Empfangsimpuls E_3 erst empfangen, nachdem bereits der nächste Sendeimpuls S_2 ausgesandt wurde. Zur Bestimmung der korrekten Entfernung D_3 des Umgebungsziels U_3 in der Zone Z_2 ist es notwendig, den Empfangsimpuls E_3 korrekt dem Sendeimpuls S_3 zuzuordnen; wird der Empfangsimpuls E_3 fälschlich dem unmittelbar vorhergehenden Sendeimpuls S_4 zugeordnet, ergibt sich eine falsche Zielentfernung D_3' in der falschen MTA-Zone Z_1 , anstelle der richtigen Zielentfernung D_3 in der richtigen MTA-Zone Z_2 .

Zur richtigen gegenseitigen Zuordnung der Sende- und Empfangsimpulse und damit Überwindung der MTA-Zonengrenzen für eindeutige Entfernungsmessungsergebnisse sind verschiedenste Verfahren bekannt. Eine erste Möglichkeit besteht darin, bei der Planung der Vermessungsaufgabe darauf zu achten, dass alle zu erwartenden Umgebungsziele in ein- und derselben MTA-Zone liegen, um die korrekte Zuordnung vornehmen zu können. Dieses Verfahren ist naturgemäß nur für spezielle Messaufgaben anwendbar und z.B. für hochmobile oder weiträumige Vermessungs-

oder Scanaufgaben, z.B. das luftgestützte Scannen von Gebirgen oder das terrestrische fahrzeuggestützte Scannen, ungeeignet.

Eine andere Gruppe von Verfahren beruht darauf, die einzelnen Sendeimpulse durch Variation bzw. Codierung ihrer Polarisation, Amplitude oder Wellenlänge voneinander unterscheidbar zu machen, um die Empfangsimpulse entsprechend zuordnen zu können. Diese Verfahren sind jedoch entweder nur für wenige „pulses in the air“ geeignet oder erfordern aufwändig codierte Impulse, was jeweils die Impulswiederholungsrate und den vermessbaren Entfernungsbereich begrenzt und die Messzeit verlängert.

Die Erfindung setzt sich zum Ziel, ein Verfahren zum Entfernungsmessen bzw. Scannen zu schaffen, welches eine automatische Zuordnung und damit richtige Vermessung von Umgebungszielen in beliebigen MTA-Zonen mit hoher Impulswiederholungsrate ermöglicht. Dieses Ziel wird mit einem Verfahren der einleitend genannten Art erreicht, welches umfasst:

Aussenden einer Folge von Impulsen, in welcher die Impulsabstände zumindest einer Gruppe aufeinanderfolgender Impulse einem bekannten Abstandsmuster folgen, als Sendeimpulsfolge und begleitendes Empfangen der reflektierten Impulse als Folge von Empfangsimpulsen und Messen deren Impulsabstände,

Ermitteln, in der Empfangsimpulsfolge, einer Gruppe von Empfangsimpulsen, deren Impulsabstände die größte Ähnlichkeit mit dem bekannten Abstandsmuster haben,

Bestimmen von Laufzeiten zwischen jedem Sendeimpuls der genannten Sendeimpulsgruppe und jeweils jenem Empfangsimpuls der genannten Empfangsimpulsgruppe, welcher darin dieselbe Reihung in der Gruppe hat wie dieser Sendeimpuls in seiner Gruppe, und

Bestimmen von Entfernungsmesswerten aus den genannten Laufzeiten.

Es sei erwähnt, dass das Variieren des Impulsabstandes und damit der Impulswiederholungsrate (Reziprokwert des Impulsabstandes) als sog. „PRR-Modulation“ auf dem Gebiet der Radar-

technik an sich bekannt ist, um „Geisterechos“ („ghosting“) von Sendeimpulsen außerhalb der richtigen MTA-Zone zu identifizieren.

Die vorliegende Erfindung verwendet eine neuartige „Zeitabstands“-Betrachtung einer PRR-modulierten Sendeimpulsfolge, wobei die variierenden Impulsabstände in einer Impulsgruppe der Folge ein eindeutiges Abstandsmuster bilden, das in der Empfangsimpulsfolge als Impulsgruppe wiedererkannt werden kann. Dadurch kann eine MTA-zonenrichtige Zuordnung der Empfangsimpulse in dieser Gruppe zu den Sendeimpulsen der ursächlichen Sendeimpulsgruppe vorgenommen werden, woraufhin zwischen diesen MTA-zonenrichtig zugeordneten Sende- und Empfangsimpulsen jeweils genaue, individuelle Laufzeiten berechnet werden können. Im Ergebnis können hochgenaue Entfernungsmesswerte unter automatischer MTA-Zonenzuordnung mit der vollständigen Zeitauflösung der Sendeimpulse der Sendeimpulsfolge erzielt werden.

Die Erfindung beruht dabei einerseits auf der Erkenntnis, dass die „Oberflächenrauigkeit“ der zu vermessenden Umgebung innerhalb einer Sendeimpulsgruppe für die MTA-Zonenzuordnung gering ist, d.h. das Abstandsmuster der Sendeimpulsgruppe durch die Umgebungsreflexion der einzelnen Impulse der Gruppe nur geringfügig verzerrt wird, so dass ein Wiedererkennen des Abstandsmusters in der Empfangssignalfolge mit Hilfe einer Musterähnlichkeitssuche möglich ist; andererseits können dann, wenn die richtige Empfangssignalfolge der Sendeimpulsgruppe zugeordnet wurde, exakte Laufzeiten zwischen den einzelnen Sende- und Empfangsimpulsen der Gruppen berechnet werden, was eine ganz genaue Vermessung dieser Oberflächenrauigkeit mittels einzelner Entfernungsmesswerte ermöglicht.

Die MTA-Zuordnung gemäß der Erfindung erfordert nur eine gruppenweise, d.h. lokale Betrachtung der Sende- und Empfangssignalfolgen über jeweils nur wenige Impulse und kann daher mit verhältnismäßig geringem Rechenaufwand z.B. auch in Echtzeit („online“) direkt während des Messvorgangs durchgeführt

werden, ebenso wie die anschließende Laufzeit- und Entfernungsberechnung.

Das verwendete Abstandsmuster kann auf verschiedene Arten bekannt sein. In einer ersten Ausführungsform kann ein völlig zufälliges Abstandsmuster verwendet werden, beispielsweise indem die Impulsabstände der aufeinanderfolgenden Sendeimpulse zufällig variiert werden, was einer PRR-Modulation mit weißem Rauschen entspricht. Die konkreten, in einer Sendeimpulsgruppe auftretenden Impulsabstände können dann unmittelbar während des Aussendens aufgezeichnet werden, so dass das Abstandsmuster für die Ähnlichkeitssuche in der Empfangssignalfolge bekannt ist.

Alternativ kann ein vorgespeichertes zufälliges oder pseudzufälliges Abstandsmuster vorgegeben und die Sendeimpulse können gemäß diesem Abstandsmuster ausgesandt werden, wodurch das Abstandsmuster ebenfalls bekannt ist.

Besonders geeignet sind Abstandsmuster auf Basis von Pseudo-Zufallsfolgen, wie einer m-Sequenz oder einem Barker-Code, welche vorteilhafte Eigenschaften für Korrelationsverfahren zur Ermittlung der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalfolge aufweisen.

Wie bereits kurz angesprochen, ist das Verfahren der Erfindung für eine repetitive Anwendung im Zuge einer langen Sendeimpulsfolge, die aus einer Vielzahl aufeinanderfolgender Sendeimpulsgruppen zusammengesetzt ist, besonders nützlich und wird dazu lokal, jeweils Sendeimpulsgruppe für Sendeimpulsgruppe, abgearbeitet. Dabei wird bevorzugt für jede Sendeimpulsgruppe die Empfangssignalfolge nur bis zur jeweils nächstliegenden, d.h. zeitlich erstaufgefundenen abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalfolge durchsucht, und für dieses Paar von einander nächstliegenden abstandsmusterähnlichsten Sende- und Empfangssignalfolgen werden dann die individuellen Impulslaufzeiten ermittelt. Die so ermittelten Impulslaufzeiten ergeben - zusammengesetzt über alle aufeinanderfolgenden Sendeimpulsgruppen - eine vollständige Folge von Impulslauf-

zeiten und damit Entfernungsmesswerten für die gesamte Sendeimpulsfolge, d.h. für jeden einzelnen Sendeimpuls derselben.

Da in der Praxis eine automatische Auswertung einer begrenzten Zahl von MTA-Zonen ausreicht, kann die Länge des Abstandsmusters, d.h. der Sendeimpulsgruppe, entsprechend begrenzt werden, was auch günstig ist, wenn die von der Sendeimpulsfolge abgetasteten Umgebungsziele in verschiedenen MTA-Zonen liegen. Je kürzer die zu korrelierenden Sende- und Empfangsimpulsgruppen sind, desto rascher reagiert das Verfahren auf MTA-Zonenwechsel während der Sendeimpulsfolge, und je länger die zu korrelierenden Sende- und Empfangsimpulsgruppen sind, desto störungsunanfälliger ist die automatische MTA-Zonenzuordnung. Demgemäß ist in bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung, welche einen guten Kompromiss zwischen diesen gegensätzlichen Anforderungen liefern, die Anzahl von Impulsen in der Sendeimpulsgruppe und in der Empfangsimpulsgruppe jeweils 4 bis 64, bevorzugt 16 bis 32.

Bevorzugt erfolgt das Ermitteln der Empfangsimpulsgruppe durch Korrelieren der Sendeimpulsgruppe mit einem über die Empfangsimpulsfolge gleitenden Fenster mit der Sendeimpulsgruppenlänge und Ermitteln jener Position des gleitenden Fensters, welche das Korrelationsmaximum ergibt. Dies kann beispielsweise mittels einer für jede Sendeimpulsgruppe durchlaufenen Schleife, in der in jedem Schleifendurchlauf eine Fensterposition, d.h. eine potenzielle Empfangssignalgruppe, in Bezug auf ihre Abstandsmuster-Korrelation „ausprobiert“ wird, erreicht werden.

Besonders günstig ist es, wenn für das Korrelieren eine hardwarenahe Lösung eingesetzt wird, indem ein an das bekannte Abstandsmuster angepasstes Filter verwendet wird, dem die Impulsabstände der Empfangsimpulsfolge als Eingangssignal zugeführt werden und dessen Ausgangssignal den Auftrittszeitpunkt der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe anzeigt. Das gesuchte Abstandsmuster ist dabei direkt als Impulsantwort eines signalangepassten („matched“) Filters implementiert, so

dass ein maximales Ansprechen des Filters, ein „Peak“ an seinem Ausgang, das Erkennen des Abstandsmusters in der Empfangssignalfolge anzeigt.

Bei dieser Ausführungsform ist es ferner besonders günstig, wenn ein weiteres an das bekannte Abstandsmuster angepasstes Filter verwendet wird, dem die Impulsabstände der Sendeimpulsfolge als Eingangssignal zugeführt werden und dessen Ausgangssignal den Auftrittszeitpunkt einer Sendeimpulsgruppe anzeigt, welcher als Zeitreferenz für das Bestimmen der Laufzeiten zwischen den Sendeimpulsen einer Sendeimpulsgruppe und den jeweiligen Empfangsimpulsen der dazu ermittelten Empfangsimpulsgruppe verwendet wird. Dadurch können die Komponenten zur Erzeugung der Sendeimpulsfolge mit den genannten Abstandsmustern einerseits und jene zur Auswertung der Empfangsimpulsfolge andererseits stärker voneinander entkoppelt werden: Das genannte weitere signalangepasste Filter extrahiert die Zeitinformation über den Beginn jeweils eines neuen Abstandsmusters und damit jeweils einer neuen Sendeimpulsgruppe direkt aus der Sendeimpulsfolge und stellt diese Zeitinformation als Referenz für die MTA-zonenrichtige Laufzeitmessung der Empfangsimpulse bereit.

Das Verfahren der Erfindung kann auch für mehrzielfähige Laserscanner eingesetzt werden, welche in der Lage sind, von mehreren, von ein und demselben Sendeimpuls getroffenen Zielen, z.B. Blattwerk eines Baums und darunterliegendem Boden, reflektierte Mehrfach-Empfangsimpulse auszuwerten und demgemäß mehrere Entfernungsmesswerte pro Sendeimpuls zu liefern. Eine für diesen Einsatz geeignete Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Empfangssignalfolge vor dem genannten Schritt des Ermitteln der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe um Mehrfach-Empfangsimpulse bereinigt wird, indem jeweils von mehreren innerhalb eines mittleren Sendeimpulsabstandes auftretenden Empfangsimpulsen nur ein Empfangsimpuls berücksichtigt wird und die übrigen unberücksichtigt gelassen werden. Falls gewünscht, können an-

schließlich auch Laufzeiten und Entfernungsmesswerte für die zuvor unberücksichtigten Empfangsimpulse bestimmt werden, und zwar bezogen auf jeweils den ursächlichen Sendeimpuls, d.h. jenen Sendeimpuls, bezüglich dessen die Laufzeit eines berücksichtigten Empfangsimpulses bestimmt wurde.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung kann das Verfahren zum MTA-korrekten Entfernungsmessen eines Umgebungszieles verwendet werden, indem die Sendeimpulse fortlaufend auf eben-dieses selbe Umgebungsziel gerichtet werden.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung kann das Verfahren auch zum Laserscannen eingesetzt werden, indem die Impulse der Sendeimpulsfolge Laserimpulse sind und fortlaufend auf verschiedene Umgebungsziele gerichtet werden, um eine ganze Umgebung punktwise abzutasten bzw. zu scannen. Laserimpulse lassen sich durch rotierende Spiegel od.dgl. besonders einfach auf unterschiedliche Ziele richten.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1 schematisch verschiedene Reflexionssituationen eines gepulsten Laserabtaststrahls an Umgebungszielen, die in verschiedenen MTA-Zonen liegen, nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 beispielhafte Zeitdiagramme von Sende- und Empfangsimpulsen für die Reflexionssituationen von Fig. 1 nach dem Stand der Technik;

Fig. 3 beispielhafte Zeitdiagramme von Sende- und Empfangsimpulsen im Zusammenhang mit verschiedenen Schritten des Verfahrens der Erfindung;

Fig. 4 beispielhafter Abstandsmusterdiagramme verschiedener Impulsfolgen im Rahmen des Verfahrens der Erfindung;

Fig. 5 den Schritt des Bestimmens individueller Laufzeiten zwischen einzelnen Impulsen von MTA-zonenrichtig korrelierten Sende- und Empfangssignalgruppen gemäß dem Verfahren der Erfindung;

Fig. 6 ein Blockschaltbild eines mit Hilfe zweier Matched-Filter aufgebauten Abstandsmusterkorrelators zur Durchführung des Verfahrens der Erfindung; und

Fig. 7 beispielhafte Zeitdiagramme der Ausgangssignale der beiden Matched-Filter von Fig. 6.

Die Fig. 1 und 2 zeigen die Impulszuordnungsproblematik von MTA-zonenüberschreitenden Entfernungsmess- bzw. Scanbereichen und wurden bereits eingangs erörtert. Zur Überwindung dieses Problems dient das nun im folgenden beschriebene Verfahren, welches auf einer signalanalytischen Auswertung einer Vielzahl von Sendeimpulsen $S_1, S_2, S_3, \dots$, allgemein S_k , und Empfangsimpulsen $E_1, E_2, E_3, \dots$, allgemein E_k , beruht.

Die folgende Verfahrensbeschreibung nimmt konkret auf Laserimpulse als Sende- und Empfangsimpulse S_k, E_k Bezug. Es versteht sich jedoch, dass die Sende- und Empfangsimpulse S_k, E_k beliebiger Art sein können, beispielsweise Schallimpulse in einem Sonargerät, Lichtimpulse in einer Time-of-Flight-Kamera (photonic mixing device, PMD), Radarimpulse in einem Radarentfernungsmesser oder -scanner, elektrische Impulse in Leitungsmessgeräten usw. oder eben Laserimpulse in einem Laserentfernungsmesser oder -scanner. Das hier geschilderte Verfahren ist demgemäß allgemein auf beliebige Arten von Impulslaufzeit-Messverfahren anwendbar.

Gemäß den Fig. 3a und 3c wird eine Folge $\{S_k\}$ von Laser-Sendeimpulsen S_k vom Laserentfernungsmesser bzw. -scanner 1 auf die Umgebung U (Fig. 1) ausgesandt, um durch Reflexionen der Sendeimpulse S_k an Umgebungszielen $U_1, U_2, \dots$, allgemein U_i , eine Folge $\{E_k\}$ von Empfangsimpulsen E_k zurückzuerhalten. Aus der Laufzeit T_k jedes umgebungsreflektierten Laserimpulses, d.h. der Differenz zwischen dem Empfangszeitpunkt t_{E_k} des Empfangsimpulses E_k und dem Sendezeitpunkt t_{S_k} des zugrundeliegenden Sendeimpulses S_k , lässt sich in bekannter Weise die Entfernung $D_k = c \cdot T_k / 2$ vom Entfernungsmesser bzw. Scanner 1 bis zum vermessenen Umgebungsziel U_i berechnen. Die Laufzeiten T_k und Entfernungsmesswerte D_k sind einander direkt proportional und wer-

den im Folgenden daher auch synonym und austauschbar verwendet.

Das hier beschriebene Verfahren lässt sich sowohl zum Entfernungsmessen verwenden, wenn die Sendeimpulse S_k fortlaufend auf ein und dasselbe Umgebungsziel U_i gerichtet werden, als auch zum Scannen, wenn die Sendeimpulse S_k fortlaufend auf verschiedene Umgebungsziele U_i gerichtet werden, z.B. zeilenweise abtastend über die Umgebung U geführt. In ersterem Falle werden eine Vielzahl von Entfernungsmesswerten D_k ein- und desselben Umgebungsziels U_i erhalten, welche anschließend - z.B. von Ausreisserwerten bereinigt - gemittelt werden können, um ein Endresultat der Entfernung D zu erhalten. Im zweiten Falle kann aus der Vielzahl von Entfernungsmesswerten D_k und der im Scanner 1 bekannten Aussenderichtung der Sendeimpulse S_k ein diskretes Profil bzw. Oberflächenmodell der Umgebung U (eine „Punktwolke“) erstellt werden, wie dem Fachmann z.B. auf dem Gebiet des Laserscannens geläufig.

Die in den Fig. 3a und 3c gezeigte Zuordnung bzw. Paarung P zwischen Sendeimpulsen S_k und Empfangsimpulsen E_k geht von der Annahme aus, dass sich die Umgebungsziele U_i in der zweiten MTA-Zone Z_2 befinden, siehe die beispielhaften Umgebungsziele U_3 und U_4 in Fig. 1. In der gezeigten Zuordnung P wird ein Empfangsimpuls E_k nicht mehr dem unmittelbar vorangegangenen Sendeimpuls sondern dem vorletzten Sendeimpuls zugeordnet. Liegen die abgetasteten Umgebungsziele U_i in der der Zuordnung P entsprechenden „richtigen“ MTA-Zone Z_2 , sind die auf Basis der gezeigten Laufzeiten T_k berechneten Entfernungsmesswerte D_k korrekt.

Im allgemeinen ist die MTA-Zone $Z_1, Z_2, \dots$, allgemein Z_j , in welcher die Umgebungsziele U_i liegen, nicht bekannt. Um auch in diesem Fall die richtige MTA-Zonenlage zu erkennen und dadurch die richtigen Entfernungsmesswerte D_k zu ermitteln, wird das folgende Verfahren angewandt.

Wie in Fig. 3a dargestellt, werden die Sendeimpulse S_k nicht mit einem konstanten Impulsabstand $\tau = \Delta T = 1/\text{PRR}$, d.h.

einer konstanten Impulswiederholungsrate PRR ausgesandt, sondern mit einem von Sendeimpuls zu Sendeimpuls variierenden Impulsabstand ΔT_{Sk} . Mit anderen Worten wird die Impulswiederholungsrate PRR bzw. der Impulsabstand ΔT gleichsam mit einem Signal moduliert („pulspositionsmoduliert“), um die genannte Variation der Impulsabstände ΔT_{Sk} zu erzielen.

Die Variation des Impulsabstandes ΔT_{Sk} von Impuls S_k zu Impuls S_{k+1} wird anwendungsspezifisch gewählt, beispielsweise $\pm 1\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ oder $\pm 50\%$ (oder mehr) um einen mittleren (durchschnittlichen) Sendeimpulsabstand ΔT .

Das Modulationssignal zur Erzielung der genannten Impulsabstandsvariation kann beliebiger Art sein, z.B. ein Sinussignal, Dreiecksignal, Sägezahnsignal, Treppensignal, ein Datensignal mit eigenem Informationsgehalt oder ein statistisch zufälliges Signal wie weißes Rauschen. Mit einem solchen Zufallssignal wird die Impulswiederholungsrate PRR_k bzw. der Impulsabstand ΔT_{Sk} in der Art eines zufälligen „Phasenjitters“ der Sendeimpulse S_k statistisch zufällig variiert. In bestimmten Grenzen kann ein solches Zufallssignal auch lediglich pseudozufällig sein, wie eine m-Sequenz oder ein Barker-Code.

Fig. 4a zeigt eine alternative Darstellung der Sendeimpulsabstände ΔT_{Sk} der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$, aufgetragen als Abtastwerte in regelmäßigen Darstellungsabständen über dem Index k , d.h. in einem regelmäßigen Index-Darstellungsraster k . Die Amplitude jedes Abtastwerts der Abtastwertfolge von Fig. 4a entspricht damit jeweils einem Impulsabstand ΔT_{Sk} , so dass mehrere aufeinanderfolgende Amplituden- bzw. Abtastwerte in Fig. 4a ein „Abstandsmuster“ M mehrerer Sendeimpulse S_k von Fig. 3a wiedergeben.

Es versteht sich, dass die Impulsabstände ΔT_{Sk} auch relativ zu dem mittleren Sendeimpulsabstand $\tau = \Delta T$ aufgetragen werden können, so dass jeder Amplituden- bzw. Abtastwert der Impulsabstands-Darstellung von Fig. 4 lediglich das Ausmaß an „Phasenjitter“ jedes Sendeimpulses S_k gegenüber einem exakt periodischen Aussendetakt $PRR = 1/\tau$ wiedergibt. Das Abstandsmus-

ter M kann daher auch bloß relative Impulsabstandsdefinitionen, bezogen auf einen mittleren Sendeimpulsabstand $\tau = \Delta T$, umfassen.

In dem Beispiel der Fig. 3 und 4 wurde ein pseudozufälliges (hier: sich nach jeweils fünf Sendeimpulsen S_k der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ wiederholendes) Abstandsmuster M gewählt. Die Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ kann daher auch als Abfolge von sich jeweils im ersten bzw. letzten Sendeimpuls teilüberlappenden Sendeimpulsgruppen G_{S1} , G_{S2} , ..., allgemein G_{Sm} , von Sendeimpulsen S_k betrachtet werden, zwischen denen jeweils Impulsabstände ΔT_{Sk} entsprechend dem Abstandsmuster M liegen.

Es ist nicht notwendig, dass jede Sendeimpulsgruppe G_{Sm} dasselbe Abstandsmuster M zeigt, sie könnte auch jeweils ein individuelles Abstandsmuster M_m haben, beispielsweise wenn die Impulsabstände ΔT_{Sk} der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ mit einem nicht der Periodizität der Gruppen G_{Sm} entsprechenden Modulationssignal moduliert werden, z.B. mit weißem Rauschen. Bevorzugt wird jedoch für alle Gruppen G_{Sm} dasselbe Abstandsmuster M verwendet, was das Verfahren vereinfacht, die Anzahl an automatisch zuordenbaren MTA-Zonen Z_j jedoch auf die Gruppen- bzw. Musterlänge beschränkt, wie später noch näher erläutert.

Ein Wiedererkennen des Abstandsmusters M bzw. M_m einer Sendeimpulsgruppe G_{Sm} in der Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$ kann nun wie folgt zur automatischen MTA-Zonenzuordnung, d.h. zum Auffinden der korrekten Paarung P , verwendet werden.

Fig. 4b zeigt zur Erläuterung eine Impulsabstandsdarstellung einer Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$ bei Reflexion der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ an einem Ziel in einer konstanten Entfernung, beispielsweise einem Spiegel. Wie ersichtlich finden sich das Abstandsmuster M der Sendeimpulsgruppen G_{Sm} in unveränderter Form, nur zeitversetzt entsprechend der richtigen MTA-Zone Z_2 bzw. Paarung P , in der Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$ wieder. Jene Empfangsimpulse E_k , welche also zu einer Empfangsimpulsgruppe G_{Em} (Fig. 3c) gehören und das Abstandsmuster M (bzw. M_m) zeigen (Fig. 4b), sind demgemäß die „richtigen“, auf die Sendeimpulse

S_k der Sendeimpulsgruppe G_{Sm} zurückzuführenden Empfangsimpulse E_k .

Fig. 4c zeigt anstelle des theoretischen idealen Reflexionsfalls von Fig. 4b die Reflexion der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ an einer realen Umgebung U , bei welcher jeder Sendeimpuls auf ein anderes Umgebungsziel U_i in z.B. der zweiten MTA-Zone Z_2 , jedoch in einer unterschiedlichen individuellen Entfernung D_i trifft. Dadurch erfahren die Empfangsimpulse E_k jeweils einen - entsprechend der Entfernung D_i des jeweilig getroffenen Umgebungsziels U_i - unterschiedlichen Zeitversatz, was dementsprechend zu einem vom Sendeimpuls-Abstandsmuster M abweichenden Empfangssignal-Abstandsmuster M' , in der Darstellungsweise von Fig. 4c zu unterschiedlichen Amplituden- bzw. Abstandswerten, führt. Durch Aufsuchen bzw. Ermitteln jener Empfangssignalgruppe G_{Em} von Empfangsimpulsen E_k in der Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$, welche das dem Abstandsmuster M „ähnlichste“ Abstandsmuster M' zeigt, kann nun wieder die zur Sendeimpulsgruppe G_{Sm} gehörende Empfangssignalgruppe G_{Em} ermittelt und damit die richtige MTA-Zonenzuordnung bzw. -paarung P ermittelt werden.

Sobald die abstandsmusterähnlichste Empfangssignalgruppe G_{Em} in der Empfangssignalfolge $\{E_k\}$ (und damit die richtige Paarung P) aufgefunden worden ist, kann nun für jeden einzelnen Sendeimpuls S_k der ursächlichen Sendeimpulsgruppe G_{Sm} und den jeweils dieselbe Reihung in der Gruppe einnehmenden Empfangsimpuls E_k der ermittelten Empfangsimpulsgruppe G_{Em} - siehe die Zuordnungen erster Impuls der Gruppe G_{Sm} zu erstem Impuls der Gruppe G_{Em} , zweiter Impuls der Gruppe G_{Sm} zu zweitem Impuls der Gruppe G_{Em} , usw. usf. in Fig. 5 - eine individuelle Laufzeit ΔT_k zwischen dem Sendezeitpunkt t_{Sk} des jeweiligen Sendeimpulses S_k und dem Empfangszeitpunkt t_{Ek} des Empfangsimpulses E_k ermittelt werden.

Dies ist in den Fig. 3c und 5 für eine von mehreren aufeinanderfolgende Sende- und Empfangsimpulsgruppen G_{Sm} , G_{Em} dargestellt: Wie ersichtlich können durch die Gruppenbildung und Abstandsmusteridentifizierung in den Sende- und Empfangsim-

pulsfolgen $\{S_k\}$, $\{E_k\}$ einerseits und die individuellen Laufzeitberechnungen T_k der einzelnen Impulse in den Gruppen andererseits automatisch MTA-zonenrichtig zugeordnete, individuelle Impulslaufzeiten T_k und damit Entfernungsmesswerte D_k für jeden Sendeimpuls S_k im Takt der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ erzielt werden.

Das Auffinden der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe G_{Em} für eine bestimmte Sendeimpulsgruppe G_{Sm} kann auf verschiedenste Arten durchgeführt werden, beispielsweise durch Berechnen von Korrelationen zwischen potentiellen „Kandidaten“-Gruppen, die Abstandsmuster M'_1 , M'_2 , ..., allgemein M'_j , haben (siehe Fig. 4c), und jeweils dem Sendeimpuls-Abstandsmuster M , und dann Auswählen der Kandidatengruppe M'_j mit dem größten Maß an Ähnlichkeit zu dem gesuchten Abstandsmuster M .

Als Ähnlichkeitsmaß zwischen zwei Abstandsmustern M und M' (bzw. M'_j) kann jedes in der Technik bekannte Unterschiedsmaß verwendet werden, z.B. die Standardabweichung, die Summe quadrierter Differenzen, usw.

Die Länge des Abstandsmusters M (bzw. M' , M'_j), d.h. die Anzahl an Impulsabständen ΔT_{Sk} bzw. ΔT_{Ek} (= Anzahl an Impulsen S_k bzw. E_k einer Gruppe G_{Sm} bzw. G_{Em} minus eins), welches zur Zuordnung der Empfangssignalgruppen G_{Em} zu den Sendeimpulsgruppen G_{Sm} verwendet wird, hat Auswirkung auf die Anzahl an MTA-Zonen Z_j , welche automatisch aufgelöst und zugeordnet werden können: Je größer die Länge des Abstandsmusters M , desto mehr MTA-Zonen Z_j können zugeordnet werden. Eine zu große Länge des Abstandsmusters M bzw. Größe der Gruppen G_{Sm} , G_{Em} erschwert jedoch die Detektion von MTA-Zonenwechseln während einer Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$, so dass ein Kompromiss von Vorteil ist. In praktischen Anwendungsfällen genügen 4 bis 64, bevorzugt 16 oder 32 Impulse S_k , E_k pro Gruppe G_{Sm} , G_{Em} , d.h. Abstandsmuster M (bzw. M' , M'_j) mit einer Länge von 3 bis 63, bevorzugt 15 bis 31 Abtastwerten.

Die Fig. 6 und 7 zeigen eine praktische Ausführungsform zur Echtzeit- bzw. Online-Berechnung von Korrelationen zwischen gruppenweisen Abstandsmustern der Sende- und Empfangsimpulsfolgen $\{S_k\}$, $\{E_k\}$ mit Hilfe von signalangepassten („matched“) Filtern, hier Linearfiltern 3, 4. Von der Sende- und Empfangsimpulsfolgen $\{S_k\}$ und $\{E_k\}$ werden - nach entsprechender Detektion der Auftrittszeitpunkte t_{Sk} , t_{Ek} der Impulse S_k , E_k darin - Folgen von Sende- bzw. Empfangszeitpunkten $\{t_{Sk}\}$, $\{t_{Ek}\}$ gebildet und aus diesen wiederum - durch paarweise Differenzbildung, siehe Verzögerungsglieder 5, 6 und Subtrahierer 7, 8 - Abstandsfolgen $\{\Delta T_{Sk}\}$ und $\{\Delta T_{Ek}\}$ erzeugt. Die Abstandsfolgen $\{\Delta T_{Sk}\}$, $\{\Delta T_{Ek}\}$ werden jeweils einem Matched-Filter 3 bzw. 4 zugeführt.

Jedes Filter 3, 4 besitzt eine Impulsantwort $h[k]$, welche dem in die Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ eingepprägten und in der Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$ gesuchten Abstandsmuster M entspricht. Fig. 7 zeigt den Zeitverlauf der Signale (Abtastwerte) am Ausgang der Filter 3, 4: Das Filter 4 erzeugt jeweils dann einen Maximalwert Y_{Sm} in seinem Ausgangssignal $y(\Delta T_{Sk})$, wenn in der Sendeimpulsfolge $\{S_k\}$ das eingepprägte Abstandsmuster M auftritt. Das Ausgangssignal $y(\Delta T_{Ek})$ des Filters 4 liefert jeweils dann einen Maximalwert Y_{Em} , wenn die maximale Korrelation (Signalanpassung) zwischen dem empfangenen Abstandsmuster M' und dem im Filter 4 als Impulsantwort $h[k]$ eingespeicherten, gesuchten Abstandsmuster M auftritt. Aus der Zeit- bzw. Indexdifferenz j zwischen jeweils zwei hintereinander auftretenden - beispielsweise durch Maximalwertsucher 9, 10 ermittelten - Maximalwerte Y_{Sm} und Y_{Em} kann dann die jeweils für die aktuelle Gruppe G_{Sm} bzw. G_{Em} zutreffende Paarung P bzw. MTA-Zonenzuordnung (hier die MTA-Zone $Z_j = Z_2$), abgelesen werden, um anschließend die Laufzeit- und Entfernungsmesswerte T_k bzw. D_k für die einzelnen Impulse der Gruppen berechnen zu können.

Fig. 3b zeigt einen optionalen Schritt des „Ausdünnens“ der Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$ zur Behandlung von Mehrfach-Zielreflektionen, wie sie z.B. bei einem mehrzielfähigen La-

serentfernungsmesser oder -scanner auftreten können. In diesem Fall werden für einen Sendeimpuls S_k gleich zwei oder mehr Empfangsimpulse $E_{k,1}$, $E_{k,2}$, ..., allgemein $E_{k,p}$, zurückerhalten, beispielsweise weil der Sendeimpuls S_k von einem luftgestützten Laserscanner durch eine Baumkrone hindurch auf den Boden trifft und sowohl vom Blattwerk des Baumes als auch vom Boden reflektiert wird. Dies ergibt zwei zeitlich knapp nebeneinander, in der Regel jedoch innerhalb einer MTA-Zone Z_j liegende Empfangsimpulse $E_{k,p}$.

Zur Identifizierung der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe G_{Em} wird in diesem Fall - um für den Vergleich der Sende- und Empfangsgruppen G_{Sm} , G_{Em} wieder eine jeweils gleich große Anzahl von Impulsen darin zu erhalten - zunächst aus der Empfangssignalfolge $\{E_k\}$ von mehreren innerhalb eines mittleren Sendeimpulsabstandes τ auftretenden Empfangsimpulsen $E_{k,p}$ jeweils nur einer, insbesondere der erste oder letzte, Empfangsimpuls $E_{k,p}$ in der Empfangsimpulsfolge $\{E_k\}$ berücksichtigt und die übrigen bleiben vorerst unberücksichtigt, siehe Fig. 3c. Dadurch wird die Mehrzielfähigkeit des Laserentfernungsmessers bzw. -scanners zunächst auf nur ein (z.B. das erste oder letzte) Ziel in einer MTA-Zone Z_j eingeschränkt, um „saubere“, d.h. mit den für den Mustervergleich korrekten Impulsanzahl ausgestattete Abstandsmuster M' in der Empfangssignalfolge $\{E_k\}$ identifizieren und die richtige Zuordnung P ermitteln zu können. Sobald die richtige Zonenzuordnung P zwischen den Sende- und Empfangsimpulsgruppen G_{Sm} und G_{Em} gefunden wurde, können die zuvor unberücksichtigt gelassenen Mehrfach-Zielreflexionen $E_{k,p}$ wieder berücksichtigt und auch für diese individuelle Laufzeiten $T_{k,p}$ bezüglich des zuvor ermittelten zugeordneten Sendeimpulses S_k und damit individuelle Entfernungsmesswerte $D_{k,p}$ berechnet werden, um Mehrfachziele aufzulösen.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst alle Varianten und Modifi-

kationen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Entfernungsmessung von Umgebungszielen durch Laufzeitmessung von daran reflektierten Impulsen, insbesondere Laserimpulsen, umfassend:

Aussenden einer Folge von Impulsen (S_k), in welcher die Impulsabstände (ΔT_{Sk}) zumindest einer Gruppe (G_{Sm}) aufeinanderfolgender Impulse (S_k) einem bekannten Abstandsmuster (M) folgen, als Sendeimpulsfolge ($\{S_k\}$) und begleitendes Empfangen der reflektierten Impulse als Folge ($\{E_k\}$) von Empfangsimpulsen (E_k) und Messen deren Impulsabstände (ΔT_{Ek}),

Ermitteln, in der Empfangsimpulsfolge ($\{E_k\}$), einer Gruppe (G_{Em}) von Empfangsimpulsen (E_k), deren Impulsabstände (ΔT_{Ek}) die größte Ähnlichkeit mit dem bekannten Abstandsmuster (M) haben,

Bestimmen von Laufzeiten (T_k) zwischen jedem Sendeimpuls (S_k) der genannten Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) und jeweils jenem Empfangsimpuls (E_k) der genannten Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}), welcher darin dieselbe Reihung in der Gruppe (G_{Em}) hat wie dieser Sendeimpuls (S_k) in seiner Gruppe (G_{Sm}), und

Bestimmen von Entfernungsmesswerten (D_k) aus den genannten Laufzeiten (T_k).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsabstände (ΔT_{Sk}) in dem genannten Abstandsmuster (M) zufällig gewählt und während des Aussendens der Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) aufgezeichnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsabstände (ΔT_{Sk}) in dem genannten Abstandsmuster (M) gemäß einer vorgegebenen Zufalls- oder Pseudozufallsfolge gewählt werden ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Pseudozufallsfolge auf einer m-Sequenz oder einem Barker-Code beruht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeimpulsfolge (ΔT_{Sk}) aus mehreren aufeinanderfolgenden Sendeimpulsgruppen (G_{Sm}) mit jeweils dem-

selben Abstandsmuster (M) zusammengesetzt ist und die Schritte des Ermitteln der Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}), Bestimmen der Laufzeiten (T_k) und Bestimmen der Entfernungsmesswerte (D_k) für jede Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) durchgeführt werden, wobei für jede Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) nur die jeweils nächstliegende Empfangsimpulsgruppen (G_{Em}) in der genannten Weise ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl von Impulsen (S_k , E_k) in der Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) und in der Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}) jeweils 4 bis 64, bevorzugt 16 bis 32 ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Ermitteln der Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}) durch Korrelieren der Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) mit einem über die Empfangsimpulsfolge ($\{E_k\}$) gleitenden Fenster (M'_j) mit der Sendeimpulsgruppenlänge und Ermitteln jener Position (j) des gleitenden Fensters (M'_j), welche das Korrelationsmaximum (Y_{Em}) ergibt, erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass für das Korrelieren ein an das bekannte Abstandsmuster (M) angepasstes Filter (4) verwendet wird, dem die Impulsabstände (ΔT_{Ek}) der Empfangsimpulsfolge ($\{E_k\}$) als Eingangssignal zugeführt werden und dessen Ausgangssignal $Y(\Delta T_{Ek})$ den Auftrittszeitpunkt (Y_{Em}) der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe (G_{Em}) anzeigt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiteres an das bekannte Abstandsmuster (M) angepasstes Filter verwendet wird, dem die Impulsabstände (ΔT_{Sk}) der Sendeimpulsfolge ($\{S_k\}$) als Eingangssignal zugeführt werden und dessen Ausgangssignal $Y(\Delta T_{Sk})$ den Auftrittszeitpunkt (Y_{Sm}) einer Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) anzeigt, welcher als Zeitreferenz für das Bestimmen der Laufzeiten (T_k) zwischen den Sendeimpulsen (S_k) einer Sendeimpulsgruppe (G_{Sm}) und den jeweiligen Empfangsimpulsen (E_k) der dazu ermittelten Empfangsimpulsgruppe (G_{Em}) verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangssignalfolge ($\{E_k\}$) vor dem genannten Schritt des Ermitteln der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe (G_{Em}) um Mehrfach-Empfangsimpulse ($E_{k,j}$) bereinigt wird, indem jeweils von mehreren innerhalb eines mittleren Sendeimpulsabstandes (ΔT) auftretenden Empfangsimpulsen ($E_{k,j}$) nur ein Empfangsimpuls (E_k) berücksichtigt wird und die übrigen unberücksichtigt gelassen werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem genannten Schritt des Ermitteln der abstandsmusterähnlichsten Empfangssignalgruppe (G_{Em}) auch Laufzeiten ($T_{k,p}$) und Entfernungsmesswerte ($D_{k,p}$) für die zuvor unberücksichtigten Empfangsimpulse bezüglich jenes Sendeimpulses (S_k) bestimmt werden, zu dem die Laufzeit (T_k) des jeweils berücksichtigten Empfangsimpulses (E_k) bestimmt wurde.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zum Laserscannen, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulse (S_k) der Sendeimpulsfolge ($\{S_k\}$) Laserimpulse sind und fortlaufend auf verschiedene Umgebungsziele (U_i) gerichtet werden.

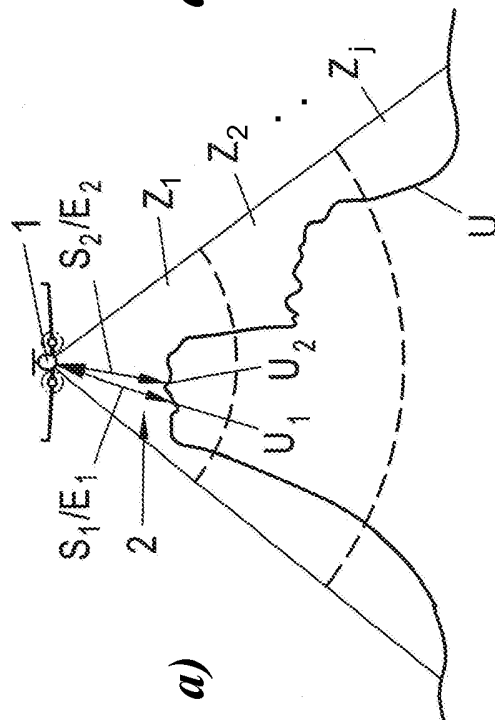
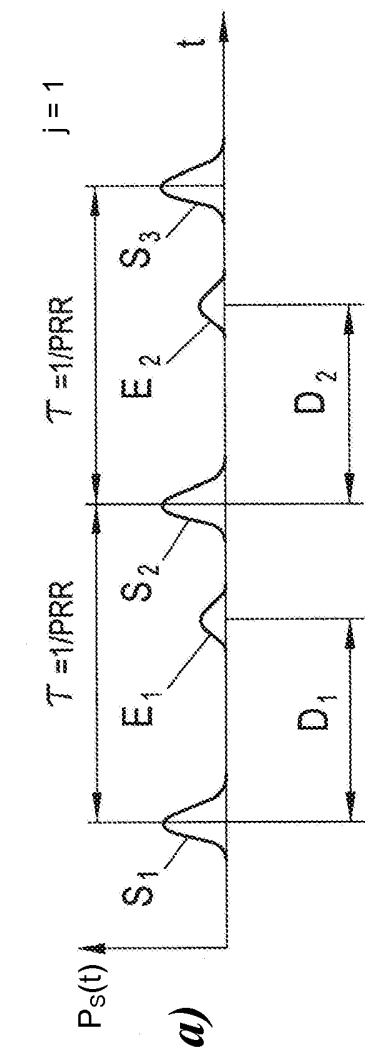


Fig. 2

(Stand der Technik)

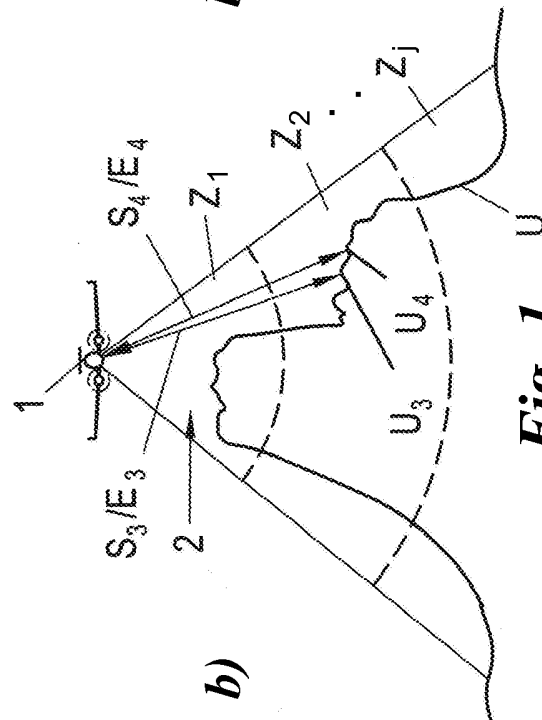
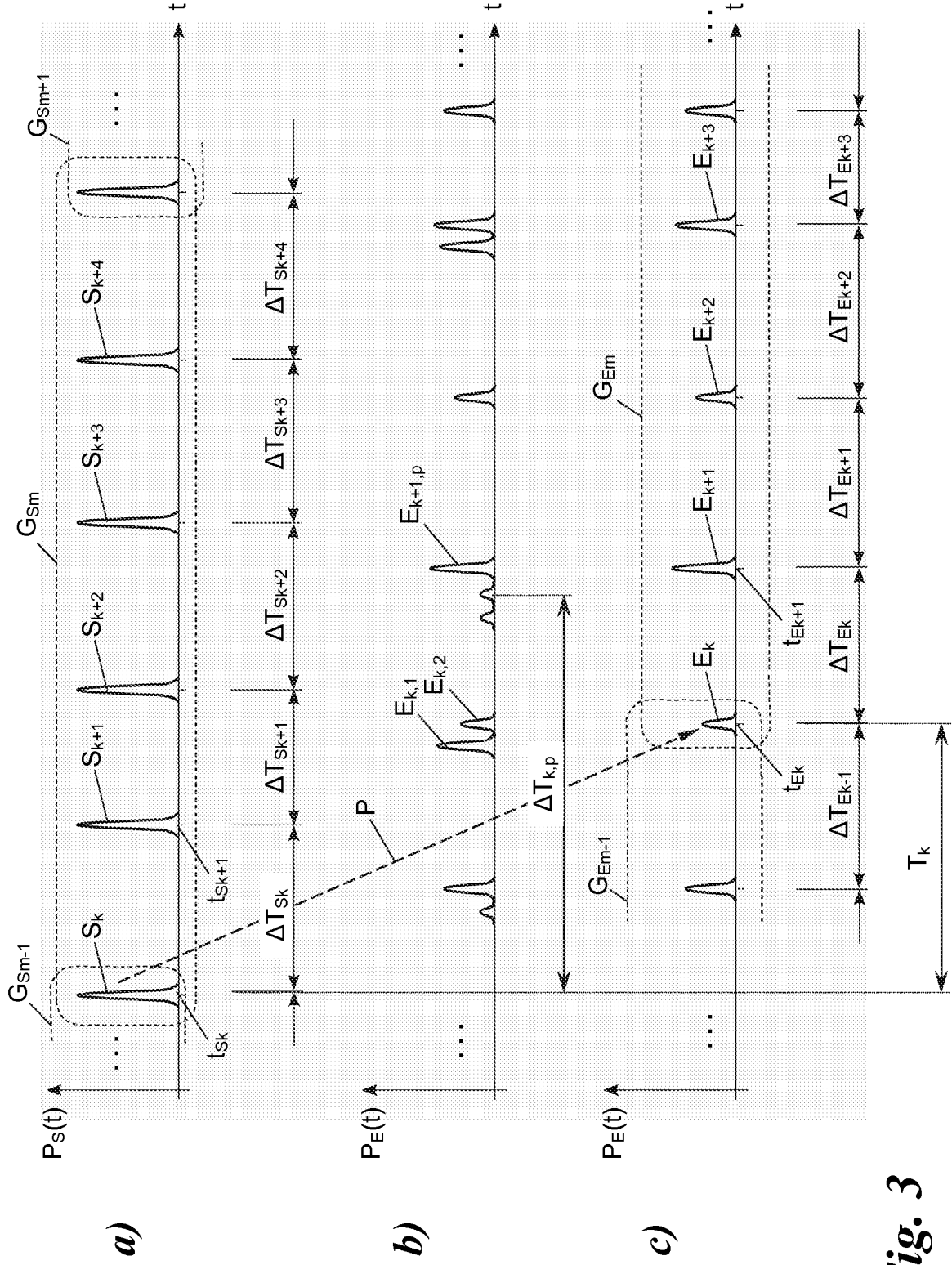
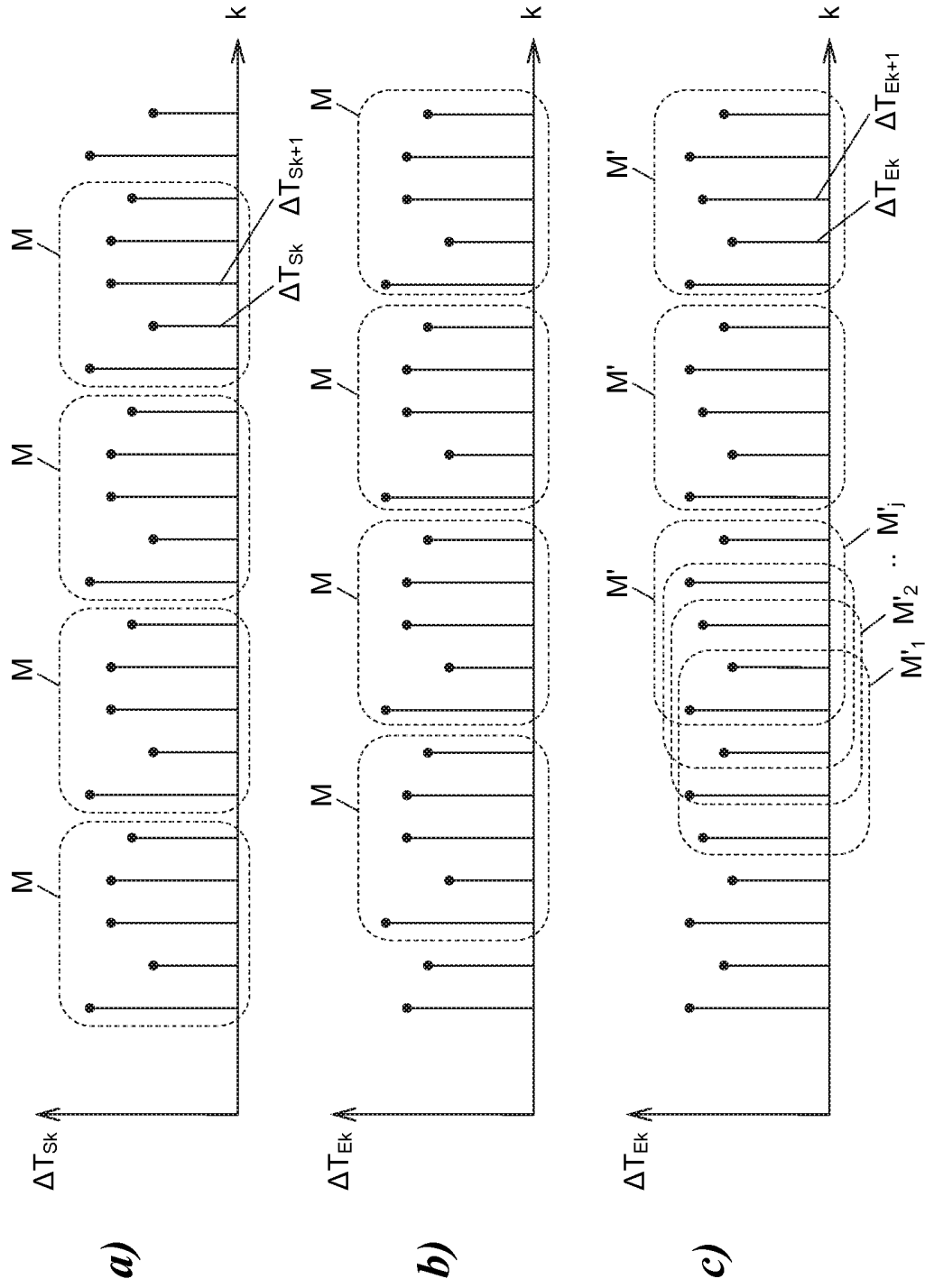


Fig. 1

(Stand der Technik)

**Fig. 3**

**Fig. 4**

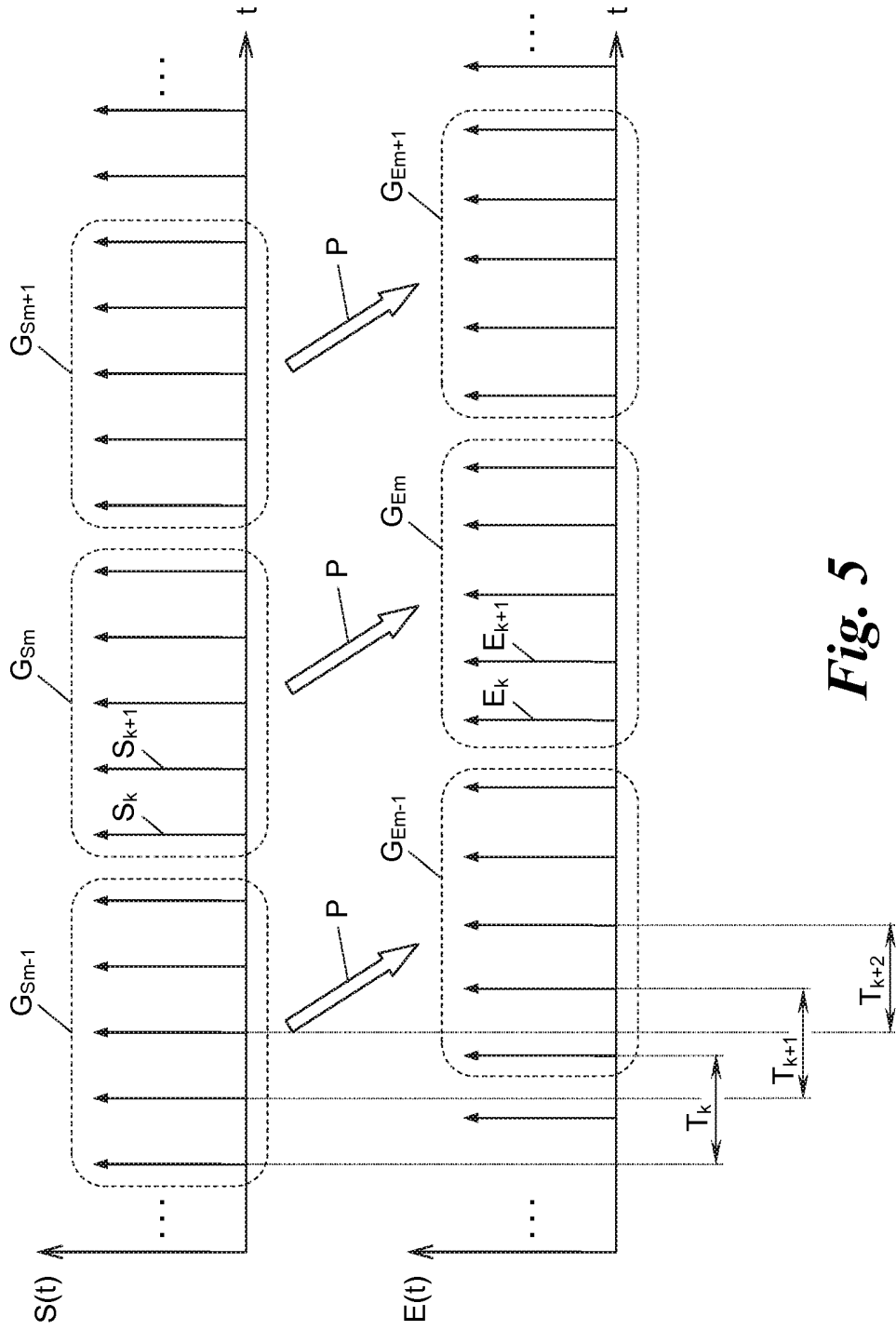


Fig. 5

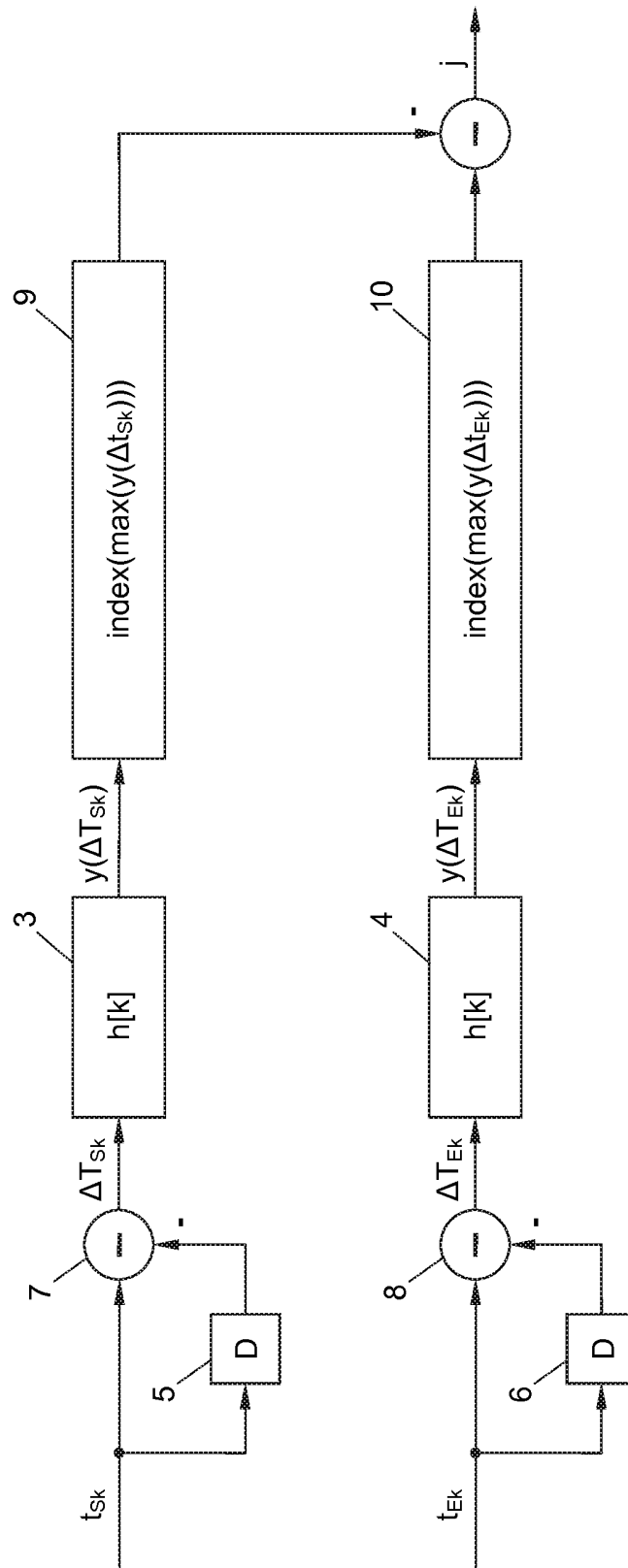


Fig. 6

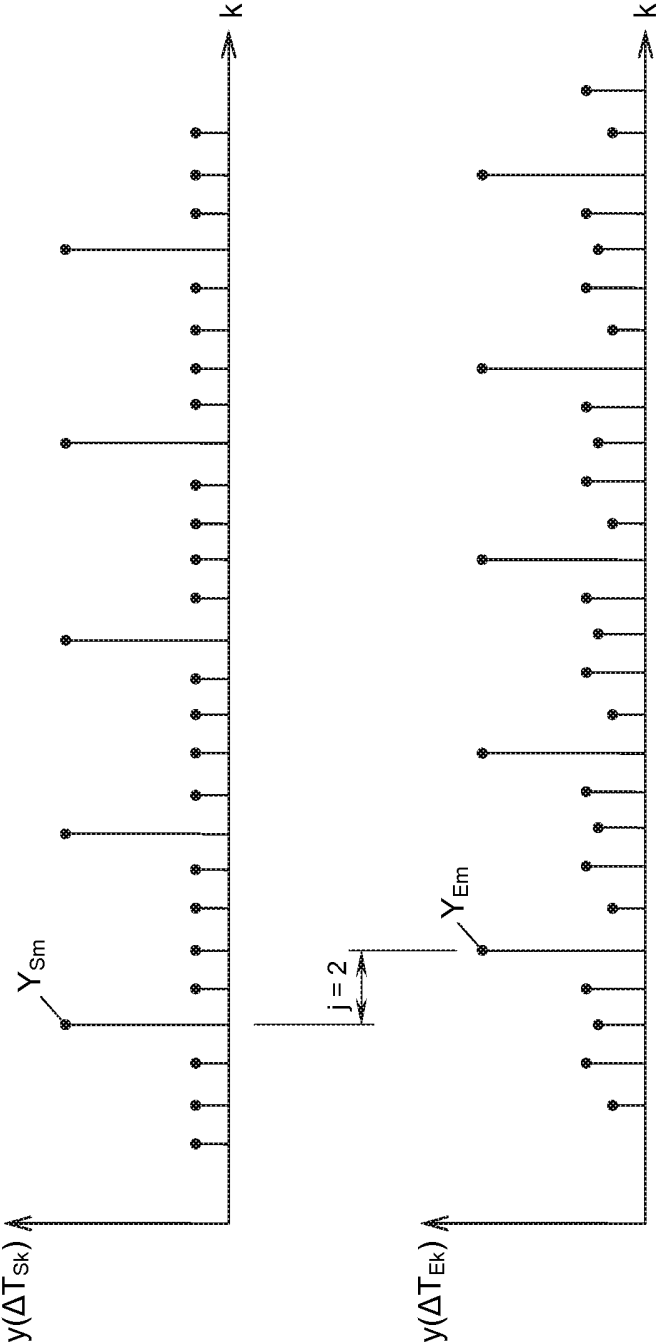


Fig. 7