

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 506 683 A2 2009-11-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 575/2009**(22) Anmeldetag: **14.04.2009**(43) Veröffentlicht am: **15.11.2009**(51) Int. Cl.⁸: **G01S 17/10** (2006.01),
G01S 7/486 (2006.01)

(30) Priorität:

22.04.2008 AT A 637/08 beansprucht.

(73) Patentinhaber:

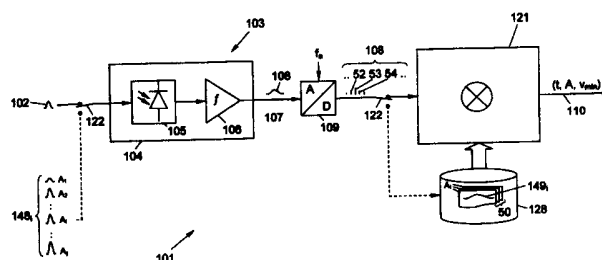
RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GMBH
A-3580 HORN (AT)

(72) Erfinder:

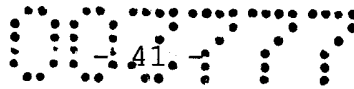
ULLRICH ANDREAS DR.
GABLITZ (AT)
PFENNIGBAUER MARTIN DR.
TULLN (AT)
SCHUBERT WALTER DIPL.ING.
WAIDHOFEN (AT)
ZIERLINGER WOLFGANG ING.
ROHRENDORF (AT)
HOFBAUER ANDREAS DIPL.ING.
ZWETTL (AT)
EDERER GERHARD ING.
WINDIGSTEIG (AT)

(54) VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM MESSEN DES EMPFANGSZEITPUNKTS EINES IMPULSES

(57) Vorrichtung (101, 201) zum Messen des Empfangszeitpunkts (t) eines Impulses (102) in einem Empfangssystem (6-8, 103, 203, 203', 203''), das zumindest einen Empfangskanal (6-8, 104, 104_n) mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang (10, 107, 207_n) ein Empfangssignal (108, 108_n) liefert, mit einem Speicher (28, 128), in dem die Empfangssignale von Referenzimpulsen (148i) vorgegebener unterschiedlicher Amplitude (A_i) als Referenzsignale (149_i, 149_{i,n}) bezogen auf einen Zeitmaßstab (T) vorliegen, und einer an das Empfangssystem und den Speicher angeschlossenen Auswerteeinrichtung (21, 121), welche ein Empfangssignal (108, 108_n) mit jedem Referenzsignal (149_n, 149_{i,n}) unter variierendem Zeitversatz (t) vergleicht, um jenes Referenzsignal (148_i) und jenen Zeitversatz (t) zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung (v_{it} , $v'_{i,t}$) minimal ist, und diesen Zeitversatz als Empfangszeitpunkt (t) bezüglich des Zeitmaßstabs (T) ausgibt.



AT 506 683 A2 2009-11-15



Zusammenfassung:

Vorrichtung (101, 201) zum Messen des Empfangszeitpunkts (t) eines Impulses (102) in einem Empfangssystem (6-8, 103, 203, 203', 203''), das zumindest einen Empfangskanal (6-8, 104, 104_n) mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang (10, 107, 207_n) ein Empfangssignal (108, 108_n) liefert, mit

einem Speicher (28, 128), in dem die Empfangssignale von Referenzimpulsen (148_i) vorgegebener unterschiedlicher Amplitude (A_i) als Referenzsignale (149_i, 149_{i,n}) bezogen auf einen Zeitmaßstab (T) vorliegen, und

einer an das Empfangssystem und den Speicher angeschlossenen Auswerteeinrichtung (21, 121), welche ein Empfangssignal (108, 108_n) mit jedem Referenzsignal (149_i, 149_{i,n}) unter variierendem Zeitversatz (t) vergleicht, um jenes Referenzsignal (148_i) und jenen Zeitversatz (t) zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) minimal ist, und diesen Zeitversatz als Empfangszeitpunkt (t) bezüglich des Zeitmaßstabs (T) ausgibt.

(Fig. ⁵~~A~~)

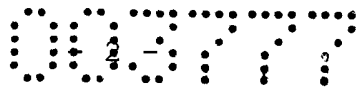
RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
A-3580 Horn (AT)

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses in einem Empfangssystem, das zumindest einen Empfangskanal mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang ein Empfangssignal liefert.

Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses von hohem Dynamikumfang in einem Empfangssystem, das zumindest zwei parallele Empfangskanäle mit unterschiedlicher Empfindlichkeit enthält, welche an ihren Ausgängen einen Satz zeitparalleler Empfangssignale liefern.

Im weiteren bezieht sich die Erfindung auch auf Verfahren zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses in derartigen Systemen.

Die exakte Messung des Empfangszeitpunktes eines Impulses ist in der Vermessungstechnik, beispielsweise zur Entfernungsbestimmung mittels Messung der Laufzeit eines optischen Impulses, von enormer praktischer Bedeutung. Bereits ein Zeitmeßfehler von 1 ns entspricht hier einem Entfernungsmeßfehler von 30 cm, was für hochpräzise Anforderungen inakzeptabel ist. Andere Präzisionsanwendungen liegen beispielsweise in der Satellitennavigation, bei welcher der Empfangszeitpunkt von Satel-



litenfunkimpulsen hochgenau in einem globalen Zeitmaßstab bestimmt werden muß.

Aufgrund der Bandbegrenzung üblicher Sende- und Empfangssysteme und wechselnder Eigenschaften des zwischenliegenden Übertragungsweges sind in einem realen Empfangssystem empfangene Impulse - selbst wenn sie ursprünglich als ideale Rechteckimpulse erzeugt wurden - stets einer gewissen Verzerrung ihrer Impulsform unterworfen, was die Festlegung eines genauen Empfangszeitpunkts erschwert. Für Entfernungsaufösungen im Millimeterbereich ist beispielsweise eine Zeitauflösung im Pikosekundenbereich erforderlich, die bei derart verzerrten Impulsen mit einer klassischen Schwellwerterkennung der ansteigenden oder abfallenden Impulsflanke nicht erreichbar ist. Es wurden daher bereits verfeinerte Verfahren vorgeschlagen, wie das Heranziehen des Schwerpunkts eines Empfangsimpulses als Empfangszeitpunkt, das Vergleichen des Impulses mit einer Gauß'schen Impulsform („Gauß-Fit“) od.dgl., welche Verfahren eine zwar höhere, aber durchaus noch verbesserungsfähige Zeitauflösung haben.

Der Einsatz der bekannten Verfahren für die Messung von Entfernungen mittels Impulslaufzeitmessung wird zusätzlich noch dadurch erschwert, daß die an einem Ziel reflektierten Impulse („Echoimpulse“) - gleichgültig ob es sich dabei um optische, Funk- oder akustische Impulse handelt - je nach Entfernung und Reflektivität („schwarz“, „weiß“ oder sogar „hochreflektierend“) des Ziels einen extrem großen Amplitudendyna-

003777

mikbereich einnehmen können, z.B. von über 60 dB in der optischen Leistung bzw. über 120 dB im elektrischen Ausgangssignal einer Photodiode. Empfangssysteme, welche einen derart großen Dynamikbereich verarbeiten können, enthalten in der Regel komprimierende, d.h. stark nicht-lineare Komponenten im Empfangskanal, und/oder es müssen mehrere parallele Empfangskanäle mit unterschiedlicher Eingangsempfindlichkeit vorgesehen werden, um das Empfangssignal auf einzelne leichter weiterzuverarbeitende Dynamikbereiche aufzuteilen. Beide Maßnahmen führen zu einer weiteren Verzerrung der Impulsform im Empfangssystem, welche die genaue Festlegung des Empfangszeitpunkts noch weiter erschwert.

Die Erfindung setzt sich zum Ziel, die genannten Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und Vorrichtungen und Verfahren zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses zu schaffen, welche eine verbesserte Genauigkeit haben, u.zw. insbesondere für Impulse mit hohem Dynamikumfang.

Dieses Ziel wird in einem ersten Aspekt der Erfindung mit einer Vorrichtung zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses in einem Empfangssystem erreicht, das zumindest einen Empfangskanal mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang ein Empfangssignal liefert, und die sich durch einen Speicher, in dem die Empfangssignale von Referenzimpulsen vorgegebener unterschiedlicher Amplitude als Referenzsignale bezogen auf einen Zeitmaßstab vorliegen, und eine an das Empfangssystem und den Speicher angeschlossene

00377

Auswerteeinrichtung auszeichnet, welche ein Empfangssignal mit jedem Referenzsignal unter variierendem Zeitversatz vergleicht, um jenes Referenzsignal und jenen Zeitversatz zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung minimal ist, und diesen Zeitversatz als Empfangszeitpunkt bezüglich des Zeitmaßstabs ausgibt.

Die Erfindung berücksichtigt erstmals das Verhalten von realen Empfangssystemen bei Empfangsimpulsen unterschiedlicher Amplitude durch Heranziehung der damit einhergehenden unterschiedlichen Impulsverformungen zur Bestimmung des Empfangszeitpunkts. Durch „Einpassen“ des Empfangssignals in eine das Dynamikverhalten des Empfangssystems repräsentierende Amplitudenschar von Referenzsignalen, die sog. „Signaturfläche“ des Empfangssystems, läßt sich erstmals eine wesentlich genauere Bestimmung der Zeitlage des Empfangssignals und damit Festlegung des Empfangszeitpunkts des Impulses erreichen als mit allen bisher bekannten Verfahren. Die Signaturfläche ist für jedes individuelle Empfangssystem charakteristisch, wodurch auch Serienstreuungsfehler vermieden werden können.

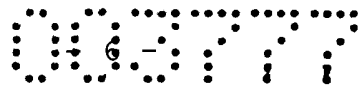
Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung besteht in einer Vorrichtung zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses von hohem Dynamikumfang in einem Empfangssystem, das zumindest zwei parallele Empfangskanäle mit unterschiedlicher Empfindlichkeit enthält, welche an ihren Ausgängen einen Satz zeitparalleler Empfangssignale liefern, und die sich durch einen Speicher, in dem die Sätze von Empfangssigna-

003777

len von Referenzimpulsen vorgegebener unterschiedlicher Amplitude als Referenzsätze bezogen auf einen Zeitmaßstab vorliegen, und eine an das Empfangssystem und den Speicher angeschlossene Auswerteeinrichtung auszeichnet, welche einen Satz von Empfangssignalen mit jedem Referenzsatz unter variierendem Zeitversatz vergleicht, um jenen Referenzsatz und Zeitversatz zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung minimal ist, und diesen Zeitversatz als Empfangszeitpunkt bezüglich des Zeitmaßstabs ausgibt.

Diese Ausführungsform erweitert das Konzept der Erfindung auf Empfangssysteme mit mehreren Kanälen mit unterschiedlichen Dynamikbereichen. Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß in dynamikgesplitteten Empfangskanälen ein und derselbe Empfangsimpuls zu zeitparallelen, jedoch unterschiedlich verformten Impulsformen führt, welche jeweils auf die zuvor genannte Art und Weise in system- und kanalspezifische Signaturflächen eingepaßt werden können. Durch die kombinierte Auswertung aller Kanäle mit Hilfe eines gemeinsamen Abweichungskriteriums ergibt sich in Summe eine nochmalige signifikante Verbesserung der Treffsicherheit und damit Genauigkeit der Empfangszeitpunktsbestimmung.

Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen eignen sich bevorzugt für Empfangssysteme, bei denen der bzw. die Empfangskanäle analoger und der Speicher und die Auswerteeinrichtung digitaler Art sind, wobei am Ausgang jedes Empfangskanals ein Analog/Digital-Wandler liegt. Die Dynamikanpassung erfolgt damit



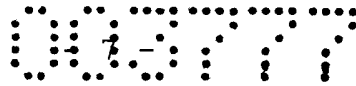
zeitunkritisch auf analoge Art, während die Eigenschaften des analogen Teils im digitalen Teil ausgewertet werden können.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung wird vorgesehen, daß die Referenzsignale bzw. Referenzsätze in dem Speicher in einer hohen ersten Zeitauflösung vorliegen, das bzw. die Empfangssignale eines Impulses mit einer geringen zweiten Zeitauflösung abgetastet sind, und die Auswerteeinrichtung den Zeitversatz in den Auflösungsschritten der hohen ersten Zeitauflösung variiert.

Dadurch kann mit einer für den Echtzeitbetrieb geeigneten geringen Abtastrate von z.B. 500 MSamples/s (entspricht einer geringen Zeitauflösung von 2 ns) eine wesentlich höhere Zeitauflösung bei der Bestimmung des Empfangszeitpunkts erreicht werden. Letztere ist im wesentlichen nur durch den Speicherplatz, die Rechenleistung und das Signal/Rausch-Verhältnis begrenzt, die für die Verarbeitung der Referenzsignale und -sätze zur Verfügung stehen, und kann durchaus das Tausendfache und mehr betragen, z.B. 500 GSamples/s entsprechend einer hohen Zeitauflösung von 2 ps.

Demgemäß liegt bevorzugt die genannte erste (hohe) Zeitauflösung in der Größenordnung von Pikosekunden (ps) und die genannte zweite (geringe) Zeitauflösung in der Größenordnung von Nanosekunden (ns).

Bevorzugt ist der genannte Zeitmaßstab die Weltzeit, wodurch die Vorrichtungen der Erfindung für die absolute Messung



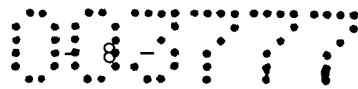
des Empfangszeitpunkts eines Impulses eingesetzt werden können, z.B. in Satellitennavigationsempfängern.

Alternativ können die Vorrichtungen der Erfindung zum Messen der Laufzeit eines Impulses von einem Sendesystem zu einem Empfangssystem eingesetzt werden, indem bevorzugt der Zeitmaßstab auf den Absendezeitpunkt des Impulses vom Sendesystem bezogen wird, um aus dem ermittelten Empfangszeitpunkt die Laufzeit zu erhalten.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß sie als Nebenprodukt auch einen Meßwert über die Amplitude eines Impulses liefern kann. Zu diesem Zweck wird in vorteilhafter Weise vorgesehen, daß der Speicher zu jedem Referenzsignal bzw. Referenzsatz auch die Amplitude des zugehörigen Referenzimpulses enthält und die Auswerteeinrichtung die Amplitude jenes Referenzimpulses, welcher zum ermittelten Referenzsignal bzw. Referenzsatz gehört, als Amplitude des Impulses ausgibt. Die Erfindung ermöglicht damit mit denselben Mitteln gleichzeitig die Bestimmung des Empfangszeitpunktes und der Amplitude eines Impulses.

Bevorzugt gibt die Auswerteeinrichtung für einen gemessenen Empfangszeitpunkt auch die zugehörige Vergleichsabweichung aus, sodaß die Vorrichtung gleich auch ein Maß über die Qualität ihrer Meßwerte mitliefert.

In weiteren bevorzugten Ausführungsformen können die erfindungsgemäßen Vorrichtungen jeweils zumindest einen Sensor enthalten, welcher einen Betriebszustand eines oder mehrerer

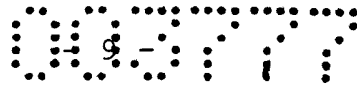


Empfangskanäle mißt und an seinem Ausgang gleichsam als weiteres Empfangssignal bereitstellt, wobei der Speicher solch weitere Empfangssignale der Referenzimpulse als weitere Referenzsignale enthält, und wobei die Auswerteeinrichtung bei dem genannten Vergleich auch ein solch weiteres Empfangssignal mit den weiteren Referenzsignalen vergleicht und in die Ermittlung der Vergleichsabweichung einbezieht.

Auf diese Weise werden zusätzlich zu den Empfangssignalen auch Kriterien über die Empfangskanäle als „weitere Empfangssignale“ erhalten und als zusätzliche Vergleichskriterien beim Einpassen der Empfangssignale in die Signaturflächen verwendet, was die Genauigkeit der Empfangszeitpunktsbestimmung noch weiter verbessert.

Eine andere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die Vorrichtung zumindest einen Sensor enthält, welcher die Betriebstemperatur eines oder mehrerer Empfangskanäle mißt, der Speicher Referenzsignale bzw. Referenzsätze für verschiedene Betriebstemperaturen enthält, und die Auswerteeinrichtung daraus die für die jeweils aktuelle Betriebstemperatur gültigen Referenzsignale bzw. Referenzsätze ermittelt, erforderlichenfalls durch Inter- oder Extrapolation, und bei dem genannten Vergleich verwendet. Damit wird eine thermische Kompensation und nochmalige Erhöhung der Meßgenauigkeit erreicht.

Das Einpassen des Empfangssignals in eine Referenzsignalschar bzw. Signaturfläche („Minimalwertvergleich“) kann mit



Hilfe jedes in der Technik bekannten Matching- bzw. Korrelationsverfahrens erfolgen. Bevorzugt wird die Ermittlung der minimalen Vergleichsabweichung mittels eines Least-Squares-Verfahrens durchgeführt, welches ein stabiles Kriterium liefert.

Dabei kann bevorzugt der Speicher insbesondere auch Gewichtungswerte für die Referenzsignale bzw. Referenzsätze enthalten, welche in das Least-Squares-Verfahren Eingang finden, um Feinabstimmungen vornehmen zu können.

In einem zweiten Aspekt erreicht die Erfindung ihre Ziele mit einem Verfahren zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses in einem Empfangssystem, das zumindest einen Empfangskanal mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang ein Empfangssignal liefert, wobei das Verfahren sich auszeichnet durch die Schritte

Zurverfügungstellen der Empfangssignale von Referenzimpulsen vorgegebener unterschiedlicher Amplitude als Referenzsignale bezogen auf einen Zeitmaßstab,

Vergleichen eines Empfangssignals mit jedem Referenzsignal unter variierendem Zeitversatz, um jenes Referenzsignal und jenen Zeitversatz zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung minimal ist, und

Ausgeben dieses Zeitversatzes als Empfangszeitpunkt bezüglich des Zeitmaßstabs.

Eine besonders vorteilhafte Variante der Erfindung ist ein Verfahren zum Messen des Empfangszeitpunkts eines Impulses von

hohem Dynamikumfang in einem Empfangssystem, das zumindest zwei parallele Empfangskanäle mit unterschiedlicher Empfindlichkeit enthält, welche an ihren Ausgängen einen Satz zeitparalleler Empfangssignale liefern, wobei das Verfahren sich auszeichnet durch die Schritte

Zurverfügungstellen der Sätze von Empfangssignalen von Referenzimpulsen vorgegebener unterschiedlicher Amplitude als Referenzsätze bezogen auf einen Zeitmaßstab,

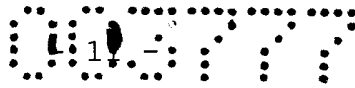
Vergleichen eines Satzes von Empfangssignalen mit jedem Referenzsatz unter variierendem Zeitversatz, um jenen Referenzsatz und Zeitversatz zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung minimal ist, und

Ausgeben dieses Zeitversatzes als Empfangszeitpunkt bezüglich des Zeitmaßstabs.

Hinsichtlich der Vorteile der erfindungsgemäßen Verfahren wird auf die obigen Erläuterungen zu den Vorrichtungen verwiesen.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Referenzsignale bzw. Referenzsätze in einer hohen ersten Zeitauflösung zur Verfügung gestellt werden, das bzw. die Empfangssignale mit einer geringen zweiten Zeitauflösung abgetastet werden, und beim Vergleichen der Zeitversatz in den Auflösungsschritten der hohen ersten Zeitauflösung variiert wird.

Die Erzeugung der Referenzsignale kann auf bevorzugte Weise dadurch erreicht werden, daß mehrere gleichartige und in den Auflösungsschritten einer hohen Zeitauflösung zeitversetz-



te Referenzimpulse verwendet werden, deren Empfangssignale mit einer geringen Zeitauflösung abgetastet und kämmend zum Referenzsignal zusammengesetzt werden.

Das genannte Zeitversetzen der Referenzimpulse in den Schritten der hohen Zeitauflösung kann beispielsweise durch entsprechend phasenverschobenes Triggern der Aussendung der Referenzimpulse oder durch Verändern der Länge ihres Übertragungswegs, beispielsweise durch Verstellen eines Reflexionsziels, auf einfache Art und Weise erreicht werden.

Eine noch höhere Meßgenauigkeit wird erreicht, wenn gemäß einem weiteren bevorzugten Merkmal der Erfindung das zusammengesetzte Referenzsignal durch Einfügen von Interpolationswerten auf eine noch höhere Zeitauflösung gebracht wird.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung ihrer bevorzugten Ausführungsformen, welche auf die begleitenden Zeichnungen Bezug nimmt, in denen zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform der Vorrichtung der Erfindung mit einem Empfangskanal;

Fig. 2 eine Schar von Referenzimpulsen unterschiedlicher Amplitude;

Fig. 3 eine Schar von Referenzsignalen, wie sie als Empfangssignale am Ausgang eines nicht-linearen Empfangskanals in Antwort auf die Referenzimpulse von Fig. 2 erhalten werden und eine Signaturfläche aufspannen;

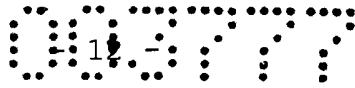


Fig. 4 das Einpassen der Abtastwerte eines Empfangssignals in eine Referenzsignalschar (Signaturfläche) unter variierendem Zeit- und Amplitudenindexversatz;

Fig. 5 ein Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsform der Vorrichtung der Erfindung mit einem Empfangskanal;

Fig. 6 das Verfahren zur Erzeugung eines hochaufgelösten Referenzsignals in vier aufeinanderfolgenden Verfahrensstufen;

Fig. 7 ein Blockschaltbild einer dritten Ausführungsform der Vorrichtung der Erfindung mit mehreren Empfangskanälen;

Fig. 8 den Schritt des Einpassens der Abtastwerte eines Mehrkanal-Satzes von Empfangssignalen in einen Mehrkanal-Satz von Referenzsignal-Scharen (Signaturflächen) unter variierendem Zeit- und Amplitudenindexversatz;

Fig. 9 eine erste Variante eines mehrkanaligen Empfangssystems in elektrischer Blockschaltbildform;

Fig. 10 eine zweite Variante eines mehrkanaligen Empfangssystems in opto-elektrischer Blockschaltbildform;

Fig. 11 die Signaturflächen des unteren und des mittleren Kanals von Fig. 8 in der Draufsicht mit Graustufenkodierung der Amplitudenwerte; und

Fig. 12 Gewichtungswertflächen für die Signaturflächen von Fig. 11 in der Draufsicht mit Graustufenkodierung der Gewichtungswerte.

In Fig. 1 ist mit 1 ein Laser-Entfernungsmesser bezeichnet, der einen Impulsgeber 2 umfaßt. Der Impulsgeber 2 steuert eine Laserquelle 3 an, welche einen optischen Impuls aussen-

det, wenn sie mit einem elektrischen Triggerimpuls angesteuert wird. Der Laserstrahl wird durch eine Optik 5 gebündelt, in das Meßfeld ausgesandt (Pfeil 14) und an einem im Meßfeld befindlichen Ziel, im allgemeinen diffus, gestreut. Ein Teil der gestreuten Strahlung gelangt zurück zum Entfernungsmesser 1 (Pfeil 15) und wird durch ein Objektiv 6 auf eine Photodiode 7 fokussiert. Zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit des Entfernungsmessers wird vorzugsweise eine Lawinenphotodiode (avalanche photo diode, APD) eingesetzt. Der auf die Photodiode 7 auftreffende optische Impuls wird in einen elektrischen Impuls umgesetzt. Der Photodiode 7 sind ein Verstärker (mit Filter) 8 nachgeschaltet.

Da sich je nach Entfernung des Zieles und seiner Reflektivität die empfangenen optischen Impulse um mehrere Größenordnungen unterscheiden können, weist der Verstärker 8 im allgemeinen eine nicht-lineare Charakteristik auf, durch welche die Dynamik der elektrischen Impulse begrenzt wird. Diese Impulse werden in einem Analog/Digital-Wandler 9 digitalisiert. Die einem Impuls entsprechenden Abtastwerte werden über eine digitale Schnittstelle 10 ausgegeben und in einer Auswerteeinrichtung 21 ausgewertet. Der Analog/Digital-Wandler 9 wird durch einen Taktgenerator 11 getaktet. Der Taktgenerator 11 kann auch den Impulsgeber 2 triggern.

Wird als Laser 3 eine Laserdiode eingesetzt, so gibt es eine fixe, exakte zeitliche Beziehung zwischen dem elektrischen Ausgangsimpuls des Impulsgebers 2 und dem optischen La-

serimpuls. Die Impulslaufzeit und damit die Entfernung zum Ziel kann somit direkt aus der zeitlichen Position des elektrischen Impulses des Impulsgebers 2 und der zeitlichen Position des empfangenen Echoimpulses ermittelt werden.

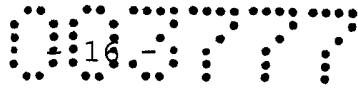
Zur Erzielung großer Reichweiten des Entfernungsmessers ist es erforderlich, Laserquellen mit größerer Leistung einzusetzen. Hierzu bieten sich sog. gepumpte Laser an, insbesondere diodengepumpte Laser. Da bei diesen Lasertypen der optische Impuls spontan ausgelöst wird, fehlt hier die exakte zeitliche Beziehung zwischen den elektrischen Pulsen des Impulsgebers 2 und den vom Laser ausgesandten optischen Impulsen. In einem solchen Fall erübrigt es sich, den Impulsgeber 2 durch den Taktgenerator 11 zu triggern.

Unabhängig von der eingesetzten Laserquelle kann zur Ermittlung des exakten Zeitpunkts der Aussendung des optischen Impulses der Photodiode 7 ein mittels eines optischen Elements 4, beispielsweise eines Strahlteilerwürfels, aus dem Sendestrahle ausgekoppelter kleiner Anteil des Laserimpulses über einen Lichtleiter, z.B. über ein Glasfaserkabel 12, zugeführt werden. Das Glasfaserkabel 12 besitzt eine definierte Länge und kann gegebenenfalls durch eine optische Abschwächereinrichtung 13 ergänzt werden. Der auf diese Weise gewonnene Startimpuls löst die Messung der zeitlichen Position von Echoimpuls und Startimpuls aus, aus der schließlich die Entfernung ermittelt wird.

Gemäß der Erfindung wird die Definition der zeitlichen Lage der Impulse in Genauigkeit und Auflösung entscheidend verbessert, indem aus dem digitalisierten elektrischen Signal ausgewählte Abtastwerte genommen werden und in zuvor gewonnene, für die Laufzeitmessung relevante Geräteeigenschaften enthaltende Signaturflächen eingepaßt werden.

Bei der Erfassung dieser Geräteeigenschaften werden dem Empfangskanal optische Impulse verschiedener Amplitude und konstanter Impulslaufzeit zugeleitet. Die optischen Impulse werden in der Photodiode 7 in elektrische Signale umgewandelt und im Verstärker 8 verstärkt. Durch eine zeitliche Mittelung kann dabei das Signal/Rausch-Verhältnis verbessert werden. Durch eine definierte sukzessive zeitliche Verschiebung der Laserimpulse in Bezug auf den Abtasttakt kann ferner eine effektive Abtastung der Empfangssignale mit einem Vielfachen der Taktfrequenz erzielt werden. Nach der Signaldetektion, insbesondere nach einer Diskriminierung gegenüber Rauschen, wird aus der Vielzahl der sich ergebenden elektrischen Impulse bzw. den entsprechenden Abtastwerten eine Signaturfläche ermittelt, in welche dann bei der Messung ausgewählte Abtastwerte der Impulse eingepaßt werden, womit die zeitliche Lage der Impulse mit hoher Genauigkeit ermittelt wird.

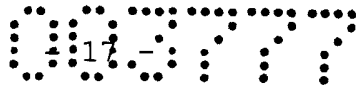
Für den Fall, daß Laser eingesetzt werden, für die es keine fixe, exakte zeitliche Beziehung zwischen dem elektrischen Ausgangsimpuls des Impulsgebers 2 und dem optischen Laserimpuls gibt, z.B. diodengepumpte Laser, kann die Bestimmung der



zeitlichen Position der Echopulse beispielsweise durch eine Schwellwertdetektion erfolgen. Eine Überabtastung wird erzielt, indem mehrere Pulse gleicher Amplitude mit in Bezug auf den Abtastraster zufälliger zeitlicher Lage erfaßt werden. Eine Mittelung wie oben beschrieben kann in diesem Fall nicht erfolgen, aber es kann z.B. mit einer hohen zeitlich statistisch verteilten Überabtastung gearbeitet und anschließend, beispielsweise im Zuge der Berechnung der Signaturfläche, eine entsprechende Glättung vorgenommen werden.

Dem Entfernungsmesser 1 ist eine Auswerteeinrichtung 21 nachgeschaltet, die den über die Schnittstelle 10 ausgegebenen Datenstrom aufnimmt und im wesentlichen ein Rechenwerk (Signalprozessor) umfaßt. Die in der Zeichnung angegebenen Blöcke können sowohl mittels Hardware-Komponenten als auch softwaremäßig realisiert werden. Die Auswerteeinrichtung 21 weist einen ersten Modus für die Aufnahme der Signaturfläche und einen zweiten für die eigentliche Messung auf. Die Einstellung des jeweiligen Modus erfolgt mit dem Umschalter 22.

In Stufe 24 wird aus der Vielzahl der während des Aufnahmeprozesses gewonnenen Impulse eine Signaturfläche ermittelt, deren Einzelheiten anhand der Fig. 3, 4 und 8 noch näher erläutert werden. Im allgemeinen werden mehrere Signaturflächen bei verschiedenen Betriebstemperaturen (z.B. T_1 und T_2) der Vorrichtung ermittelt und in Teilspeichern 25 und 26 abgelegt. Für die eigentliche Messung des Impulsempfangszeitpunkts wird zunächst die aktuelle Betriebstemperatur gemessen und aus den



in den Speichern 25 und 26 abgelegten Signaturflächen durch Interpolation und/oder Extrapolation eine der aktuellen Betriebstemperatur optimal angepaßte Signaturfläche berechnet (Block 27) und in einem Speicher 28 für die Verwendung bei der Messung bereitgestellt.

Zur Durchführung der Entfernungsmessung wird mit dem Schalter 22 auf Messung umgeschaltet. In einem ersten Schritt wird aus der Vielzahl der vom Analog/Digital-Wandler 9 pro abgegebenem Laserimpuls gelieferten Abtastwerte in Stufe 29 nach dort abgelegten Kriterien eine Auswahl von beispielsweise drei oder fünf Abtastwerten getroffen, deren mittlerer Wert z.B. jeweils die größte Amplitude aufweist. In Stufe 30 wird die im Speicher 28 bereitgestellte Signaturfläche an diese ausgewählten Abtastwerte angepaßt.

Auf diese Weise kann sowohl die zeitliche Position des Echoimpulses als auch jene des Startimpulses ermittelt werden. Durch Zählen der Takte des Taktgenerators 11 zwischen den zeitlichen Positionen von Start- und Echoimpuls in Stufe 31 wird die Impulslaufzeit zunächst grob ermittelt, während parallel hierzu in Stufe 32 die jeweilige zeitliche Position der Signaturfläche in Bezug auf den Taktraster sowohl für den Start- als auch für den Echoimpuls bestimmt wird. Aus diesen Werten wird in Stufe 33 die Impulslaufzeit mit hoher Genauigkeit berechnet. Aus der auf diese Weise gewonnenen Impulslaufzeit wird in 34 die Entfernung zwischen Entfernungsmesser und Ziel ermittelt.

In der Stufe 32 kann auch die Amplitude des Echoimpulses aus der Signaturfläche abgeleitet werden. In Verbindung mit der Impulslaufzeit kann aus diesem Wert auf die Reflektivität des Zieles und damit auf bestimmte Eigenschaften desselben rückgeschlossen werden.

In Fig. 2 ist eine Schar von optischen Impulsen („Referenzimpulsen“) 48 gezeigt. Die dargestellte optische Signalstärke (Amplitude) A entspricht dem gesamten Aussteuerbereich der Kombination aus Photodiode 7, Verstärker 8 und Analog/Digital-Wandler 9.

Fig. 3 veranschaulicht die für die optischen Impulse 48 am Ausgang des Verstärkers 8 erhaltenen elektrischen Impulse („Empfangssignale“) 49. Durch die Umwandlung der optischen Impulse 48 in der Photodiode 7 und durch die nicht-lineare Verstärkung im Verstärker 8 ist die Dynamik der elektrischen Impulse 49 gegenüber jener der optischen Impulse 48 deutlich reduziert. Es kommt durch die nicht-lineare Verstärkung und Sättigungseffekte auch zu erheblichen Veränderungen der Impulsform.

Die einzelnen Impulse bzw. die Abtastwerte derselben stehen in einer festen Phasenbeziehung zum Abtast- und Amplitudenraster 51, dessen Zeitmaßstab T durch den Taktgenerator 11 definiert wird. Die Abtastwerte sind im allgemeinen in Richtung des Amplitudenindex A_i zunächst noch unregelmäßig verteilt. Aus der Vielzahl der Abtastwerte wird durch einen Anpassungsvorgang nun eine Signaturfläche 50 berechnet, deren

Stützwerte gleichmäßig entsprechend dem Raster 51 verteilt sind. Die Signaturfläche 50 enthält in kompakter Form Informationen bezüglich der Impulsformen des elektrischen Echsignals über den gesamten nutzbaren Dynamikbereich des Empfangskanals.

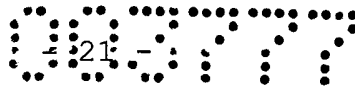
Die Werte der Signaturfläche 50 zwischen den Stützstellen werden durch Interpolation ermittelt. Die Modellierung der Signaturfläche kann mittels eines Dreiecknetzes erfolgen, die genannte Anpassung kann hierbei auf ein lineares Gleichungssystem zurückgeführt werden. Mit Hilfe dieser Signaturfläche kann, wie an Hand der Fig. 4 nun erläutert wird, die zeitliche Position (Empfangszeitpunkt) eines empfangenen optischen Impulses (Echoimpuls oder Startimpuls) und dessen Signalstärke (Amplitude) mit hoher Genauigkeit und geringem Rechenaufwand bestimmt werden.

In Fig. 4 ist gezeigt, wie zum Messen des Empfangszeitpunktes eines Impulses ausgewählte Abtastwerte desselben in die Signaturfläche 50 „eingepaßt“ werden. Aus den Abtastwerten eines elektrischen Impulses wurden gemäß den oben beschriebenen Methoden beispielsweise drei Abtastwerte 52, 53 und 54 ausgewählt. Durch Verschiebung der Signaturfläche 50 in beiden Achsrichtungen (T , A_i) wird diese an die Abtastwerte 52, 53, 54 so angepaßt, daß die Abweichungen zwischen den Abtastwerten 52, 53, 54 und der Signaturfläche 50 ein Minimum annehmen (Minimum der Summe der Quadrate der Abweichungen). An diesem Minimum ergibt sich aus der relativen Lage der Signaturfläche 50 zu den Bezugslinien 55 und 56 der Abtastwerte 52, 53, 54 die

exakte zeitliche Position t des Echoimpulses als Verschiebung in Richtung des Zeitmaßstabs T (Abtastrasters 56). Aus der Verschiebung i der Signaturfläche 51 in Richtung der Amplitudenindexachse 55 kann die Amplitude A des optischen Echoimpulses ermittelt werden.

Zur Ermittlung erster Näherungswerte für die Einpassung können zusätzliche Hilfsflächen herangezogen werden, die aus der Signaturfläche 50 abgeleitet sind.

Die beschriebene Einpassung erfolgt sowohl für den Startimpuls als auch für jeden einzelnen zu einem ausgesendeten Sendeimpuls detektierten Echoimpuls. Die Bestimmung der Zielentfernung kann nun auf zweierlei Art erfolgen. Einerseits ergibt sich die Entfernung zum Ziel aus dem Laufzeitunterschied des zum aktuellen Laserimpuls gehörenden Startimpulses 36 und dem jeweiligen Echoimpuls. Durch Bilden der Differenz der jeweils ermittelten Laufzeiten von Echoimpuls und Startimpuls werden etwaige Schwankungen der zeitlichen Lage des Laserpulses gegenüber dem Triggerpuls eliminiert. Unsicherheiten der Einpassung, hervorgerufen durch Amplitudenrauschen der Abtastwerte, addieren sich jedoch quadratisch, was unter der Annahme von gleichen Verhältnissen für Startimpuls und Echoimpuls zu einer Erhöhung des Rauschens der Entfernungsmessung um den Faktor 1,4 führt. Andererseits kann, wenn die zeitliche Lage des Laserimpulses gegenüber dem den Laserimpuls auslösenden Triggerimpuls des Taktgenerators hinreichend konstant ist, die Position des Startpulses durch Mittelung mit hoher Genauigkeit



bestimmt werden. In diesem Fall kann eine Messung mit reduziertem Rauschen durch Bezug der zeitlichen Lage des Echoimpulses auf die gemittelte Position des Startimpulses erreicht werden.

Fig. 5 zeigt eine verallgemeinerte Ausführungsform einer Vorrichtung 101 zum Messen des Empfangszeitpunkts t eines Impulses 102, der in einem Empfangssystem 103 mit einem einzigen Empfangskanal 104 empfangen wird. Das Empfangssystem 103 ist im gezeigten Beispiel ein opto-elektronisches Empfangssystem, der Impuls 102 demgemäß ein optischer Impuls, z.B. ein Laserimpuls, und der Empfangskanal 104 umfaßt eine Photodiode 105.

Es versteht sich, daß das Empfangssystem 103 auch von beliebig anderer als der dargestellten opto-elektronischen Art sein kann, beispielsweise ein Funkempfangssystem für Funk- oder Radar-Impulse, ein akustisches Empfangssystem für akustische Impulse oder Echos, ein Empfangskreis in einem elektronischen System zur Verarbeitung von elektronischen Impulsen, usw.

Der Empfangskanal 104 ist bevorzugt aus analogen Komponenten aufgebaut, um eine möglichst hohe Bandbreite zu erzielen, wie dem Fachmann bekannt. Zur Verarbeitung von Impulsen 102 mit hohem Dynamikumfang besitzt der Empfangskanal 104 ferner bevorzugt ein dynamikkomprimierendes Übertragungsverhalten, hier versinnbildlicht durch einen die Amplitudendynamik des Impulses 102 komprimierenden Verstärker 106. Dadurch tritt am Ausgang 107 des Empfangskanals 104 ein Empfangssignal 108 auf,

welches eine dynamikkomprimierte und damit in ihrer Amplitudenform verzerrte Version des Eingangs-Impulses 102 enthält. Allgemein gesprochen kann das Empfangssystem 104 ein beliebiges nicht-lineares Übertragungsverhalten haben.

Das Empfangssignal 108 wird in einem Analog/Digital-Wandler 109 mit einer Abtastrate f_a von z.B. 500 MSamples/s abgetastet und digitalisiert, z.B. mit einer Bitbreite von 8, 12 oder 16 Bit. Das digitalisierte Empfangssignal 108 besteht aus den obengenannten einzelnen Abtastwerten 52, 53, 54 usw.; seine Abtastwerte werden in ihrer Gesamtheit einfachheit halber weiterhin als Empfangssignal 108 bezeichnet.

Das Empfangssignal 108 wird einer Auswerteeinrichtung 121 zugeführt. Die Auswerteeinrichtung 121 vergleicht das Empfangssignal 108 mit in einem Speicher 128 gespeicherten Referenzsignalen 149_i , um daraus letztlich den Empfangszeitpunkt t und die Amplitude A des Impulses 102 zu ermitteln und gemeinsam mit einem Qualitätsmaß $v_{\min}$ über die Zuverlässigkeit der Meßwerte t , A auf einem Ausgang 110 auszugeben. Bei diesem Vergleich führt die Auswerteeinrichtung 121 die bereits kurz anhand von Fig. 4 erörterte Einpassung des Empfangssignals 108 in eine von den Referenzsignalen 149_i aufgespannte Signaturfläche 50 durch, wie später noch ausführlicher erörtert wird.

Zunächst wird auf die Erzeugung der Referenzsignale 149_i näher eingegangen. Die Referenzsignale 149_i sind das Ergebnis eines Trainings- bzw. Kalibrierdurchlaufs von Referenzimpulsen 148_i vorgegebener unterschiedlicher Amplitude, beispielsweise

den optischen Impulsen 48 von Fig. 2, durch die Vorrichtung 101.

Für den Trainingsdurchlauf wird die Vorrichtung 101 über die symbolisch dargestellten Schalter 122 in den mit strichlierten Linien gezeichneten Trainingsmodus versetzt. In diesem Modus werden die Empfangssignale 108 von I verschiedenen Referenzimpulsen 148_i ($i = 1..I$) mit jeweils gleicher Impulsform, jedoch unterschiedlicher Amplitude A_i jeweils als ein Referenzsignal 149_i für eine bestimmte Amplitude A_i im Speicher 128 hinterlegt, und zwar bezogen auf einen gemeinsamen Zeitmaßstab T. Letzteres ist einfach zu bewerkstelligen, weil im Trainingsmodus der Empfangszeitpunkt des Empfangssignals 108 eines Referenzimpulses 148_i bekannt ist.

Besonders hervorzuheben ist, daß der Einpaßvorgang der Abtastwerte 52, 53, 54 in die Signaturfläche 50, d.h. der Vergleich des Empfangssignales 108 eines Impulses 102 mit den Referenzsignalen 149_i , mit einer höheren Zeitauflösung als der Abtastrate f_a durchgeführt werden kann, und zwar indem die Referenzsignale 149_i in einer höheren Zeitauflösung des Zeitmaßstabs T im Speicher 128 hinterlegt werden und der Einpaßvorgang in den Auflösungsschritten dieser höheren Zeitauflösung durchgeführt wird. Solche hochaufgelösten Referenzsignale 149_i können dennoch mit derselben Vorrichtung 101 gewonnen werden, wie anhand von Fig. 6 kurz erläutert wird.

Fig. 6a zeigt das Empfangssignal 108 eines Referenzimpulses 148_i mit vorgegebener Amplitude A_i . Das Empfangssignal 108

wird mit einer relativ „geringen“ Abtastrate f_a von z.B. 500 MSamples/s abgetastet, um die Abtastwerte 52, 53, 54,... zu erhalten. Diese Abtastrate entspricht einer zeitlichen Auflösung $T_a = 1/f_a$ von 2 ns, was z.B. bei optischen Lichtimpulsen einer Entfernungsauflösung von 60 cm entspricht.

Für die Generierung der Referenzsignale 149_i werden bevorzugt nur solche Abtastwerte 52, 53, 54... berücksichtigt, welche einen Amplitudenschwellwert S überschreiten.

Fig. 6b zeigt das Empfangssignal 108 eines gleichartigen Referenzimpulses 148_i derselben Amplitude A_i , der jedoch um einen vorgegebenen, kleinen Zeitversatz T_m phasenverschoben empfangen wurde. Der Zeitversatz T_m kann beispielsweise durch zeitversetzte Aussendung der Impulse im Sendesystem erreicht werden, z.B. bei der Vorrichtung von Fig. 1 durch Zeitversetzen der Triggerimpulse des Impulsgebers 2, oder auch durch Verändern des Übertragungsweges der Referenzimpulse, z.B. bei optisch reflektierten Impulsen durch Verstellen der Entfernung des Reflexionsziels.

Eine Abtastung des um T_m zeitversetzten Empfangssignals 108 mit derselben Abtastrate f_a erzeugt daher weitere Abtastwerte $52', 53', 54'...$ zu um T_m versetzten Zeitpunkten (Fig. 6c). Durch Fortschreitendes weiteres Zeitversetzen des Referenzimpulses 148_i um T_m , bis letztlich der gesamte Zeitbereich $T_a - T_m$ abgedeckt ist, können anschließend alle erhaltenen Abtastwerte 52, $52'...$ „kämmend“, d.h. abwechselnd aufeinanderfolgend, zu einem mit der hohen Zeitauflösung T_m abgetasteten Referenzsi-

gnal 149_i zusammengesetzt werden, siehe Fig. 6d. In dem gezeigten Beispiel ist $T_m = T_a/4 = 500 \text{ ps}$.

Fig. 6d zeigt den optionalen weiteren Schritt des Einfügens von Interpolationswerten 111 zwischen die Abtastwerte 52, 52'... des Referenzsignals 149_i, um eine im Prinzip beliebig feine, lediglich durch Speicher- und Rechenleistung begrenzte besonders hohe Zeitauflösung T_h zu erreichen. Beispielsweise werden jeweils 249 Interpolationswerte 111 zwischen zwei Abtastwerte 52, 52'... eingefügt, so daß die Zeitauflösung $T_h = T_m/250 = 2 \text{ ps}$ beträgt, was einer Abtastrate f_n von 500 GSamples/s entspricht.

Daraus ist ersichtlich, daß bei dem Einpaßvorgang eines Empfangssignales 108 mit niedrig-zeitaufgelösten Abtastwerten 52, 53,... in eine von Referenzsignalen 149_i aufgespannte Signaturfläche 50 dennoch ein sehr feinstufiger Vergleich in Richtung des Zeitmaßstabs T in den Auflösungsschritten T_m oder T_h der hochaufgelösten Referenzsignale 149_i vorgenommen werden kann, im gezeigten Beispiel mit einer Zeitauflösung von bis zu 2 ps. Dies entspricht z.B. bei Lichtimpulsen einer Entfernungsauflösung von 0,6 mm bzw. bei einem Reflexions-Laser-Entfernungsmesser bzw. -Scanner einer Genauigkeit von 0,6 mm / 2 = 0,3 mm.

Wie zuvor bereits erwähnt, können zwischen die einzelnen real erhaltenen Referenzsignale 149_i einer Referenzsignal-Schar bzw. Signaturfläche 50 auch noch weitere durch Interpretation erhaltene Referenzsignale 149_i eingefügt werden, so daß die

Auflösung einer Signaturfläche 50 auch in Richtung ihres Amplitudenindex A_i - über die Anzahl I der ursprünglich verwendeten Referenzimpulse 148_i hinaus - noch wesentlich erhöht werden kann. Die Treffsicherheit der Einpassung eines Empfangssignals 108 in die Signaturfläche 50 und damit die Genauigkeit der Messung können dadurch noch weiter erhöht werden.

Eine nochmalige signifikante Steigerung der Treffsicherheit und damit Genauigkeit der Empfangszeitpunktsbestimmung wird mit Hilfe der nun folgend beschriebenen mehrkanaligen Vorrichtungen und Verfahren erreicht.

Fig. 7 zeigt eine solche weitere Ausführungsform 201 einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem mehrkanaligen Empfangssystem 203 zur Verarbeitung von Impulsen 102 von hohem Dynamikumfang.

Das Empfangssystem 203 umfaßt N parallelgeschaltete Empfangskanäle 104_n ($n = 1..N$), denen ein Impuls 102 über einen Signalteiler 204 zeitgleich zugeführt wird. Die am Ausgang der Empfangskanäle 104_n erhaltenen Empfangssignale 108_n werden über Analog-Digitalwandler 109_n der Auswerteeinrichtung 121 zugeführt.

Die Empfangskanäle 104_n besitzen jeweils eine unterschiedliche Empfindlichkeit und/oder ein unterschiedliches nicht-lineares Übertragungsverhalten, sodaß die Empfangssignale 108_n auch jeweils eine unterschiedliche Form haben. Der Satz von Empfangssignalen 108_n, der für einen Impuls 102 über das Emp-

fangssystem 203 erhalten wird, ist daher charakteristisch für diesen Impuls.

Demgemäß können in dem Trainingsmodus (strichlierte Stellung der symbolischen Schalter 122) für jeden Referenzimpuls 148_i mit einer vorgegebenen Amplitude A_i auch jeweils N Empfangssignale 108_n empfangen und als Satz 205_i von N Referenzsignalen $149_{i,n}$ im Speicher 128 hinterlegt werden. Analog zu Fig. 4 spannen alle I Referenzsignale $149_{i,n}$ eines Empfangskanals 104_n jeweils eine der N Signaturflächen 50_n auf.

In Fig. 8 ist dargestellt, wie ein Satz von Empfangssignalen 108_n eines Impulses 102 gleichzeitig in alle N Signaturflächen 50_n durch gemeinsame Verschiebung in Amplitudenindexrichtung A_i und Zeitmaßstabsrichtung T eingepaßt wird. Mit anderen Worten wird der Satz von Empfangssignalen 108_n mit jedem der I Referenzsätze 205_i verglichen, u.zw. jeweils ein Empfangssignal 108_n mit einem Referenzsignal $149_{i,n}$, und so jener Index i und jener Zeitversatz t ermittelt, bei denen die Vergleichsabweichung minimal ist.

Als Maß für die Vergleichsabweichung wird bevorzugt die Summe der quadratischen Abweichung jeweils zwischen einem Empfangssignal 108_n und einem Referenzsignal $149_{i,n}$, summiert über alle N Empfangskanäle, herangezogen:

$$v_{i,t} = \sum_{n,k} (s_{k,n} - r_{k-t,i,n})^2$$

mit

- $v_{i,t}$ Vergleichsabweichung beim Zeitversatz t und Referenzversatz- bzw. Amplitudenindex-Versatz i zwischen Empfangssignal 108_n und Referenzsignal $149_{i,n}$;
- $s_{k,n}$ Abtastwert des Empfangssignals 108_n zum Zeitpunkt k ;
- $r_{k-t,i,n}$ Abtastwert des Referenzsignals $149_{i,n}$ zum Zeitpunkt $k-t$.

Durch Aufsuchen des Minimums von $v_{i,t}$ kann nun der Empfangszeitpunkt t und in der Folge auch die zugehörige Amplitude A_i des Impulses 102 ermittelt werden.

Fig. 8 zeigt in dem obersten dargestellten Kanal n ein Empfangssignal 108_n , welches für die analysierte Dauer des Impulses 102 hier eine weitgehend konstante Amplitude hat, wie es z.B. aus einem stark integrierenden Empfangskanal 104_n und/oder mit einer gegenüber f_a reduzierten Abtastrate f_b erhalten wird. Fig. 9 zeigt ein Beispiel eines Empfangssystems 203', das zwei unterschiedlich dynamikkomprimierende Empfangskanäle 104_1 , 104_2 und einen solchen integrierenden, „langsamen“ Empfangskanal 104_3 hat. Eine Photodiode 105 empfängt den optischen Impuls 102. Der Ausgang der Photodiode 105 ist auf einen Verstärker 207 mit zwei Ausgängen 207_1 , 207_2 geführt, welche Empfangssignale 108_1 und 108_2 mit unterschiedlicher Dynamikkompression liefern.

An einem Abgriff 207_3 des Verstärkers 207 stellt dieser ein Signal zur Verfügung, welches einen seiner aktuellen Betriebszustände anzeigt, z.B. seine aktuelle Ladungs- oder Stromaufnahme, seine Betriebstemperatur usw., und welches Si-

gnal einem Anpaßverstärker 208 zugeführt wird. Das Signal auf dem Abgriff 207₃ kann somit einerseits als ein „weiteres Empfangssignal“ 108₃ betrachtet werden, da es ebenfalls auf den Impuls 102 zurückzuführen ist; andererseits ist es aber auch ein Signal über den Betriebszustand des Empfangssystems 203' selbst.

Das weitere Empfangssignal 108₃ hat im gezeigten Beispiel ein relativ langsames Zeitverhalten, sodaß es kostengünstig mit einem Analog/Digital-Wandler 109₃ mit besonders geringer Abtastrate f_b digitalisiert werden kann.

Alternativ könnten auch noch weitere Betriebszustände der geschilderten Empfangssysteme 103, 203, 203' als weitere Empfangssignale 108₃ ermittelt und wie die anderen „normalen“ Empfangssignale 108_n in die Signaturflächenanpassung einbezogen werden.

Bei den bisher gezeigten Ausführungsformen von mehrkanaligen Empfangssystemen erfolgte die Aufteilung des Impulses 102 auf die verschiedenen Empfangskanäle 104_n auf elektrischem Wege. Alternativ ist es in opto-elektrischen Systemen wie Laser-Entfernungsmessern oder -Scannern auch möglich, den Impuls 102 auf optischem Wege auf die Empfangskanäle aufzuteilen, beispielsweise mit Hilfe eines optischen Strahlteilerwürfels 210 in einem opto-elektrischen Empfangssystem 203'', wie in Fig. 10 gezeigt. Eine unterschiedliche Empfindlichkeit und/oder Nicht-Linearität der Empfangskanäle 104_n kann dabei auch durch optische Komponenten erreicht werden, z.B. durch Einfügen von un-

terschiedlich abschwächenden optischen Filtern 211, 212 in den Strahlengang.

Die Fig. 11 und 12 zeigen die Verwendung von Gewichtungswerten bei der Bestimmung der Vergleichsabweichung $v_{i,t}$ in den Vergleichsschritten der Fig. 4 und 8. Die Fig. 11a und 11b sind Draufsichten auf die Signaturflächen 50_1 und 50_2 des ersten und zweiten Kanals von Fig. 8, wobei die Helligkeit der Graustufendarstellung den Amplitudenwert der Signaturfläche angibt.

Die Fig. 12a und 12b zeigen - in derselben Darstellungsart - „Gewichtungsflächen“ aus Gewichtungsfaktoren g , die den einzelnen Werten der Signaturflächen 50_1 , 50_2 der Fig. 11a und 11b zugewiesen und für die Bestimmung einer gewichteten Vergleichsabweichung $v'_{i,t}$ gemäß

$$v'_{i,t} = \sum_{n,k} g(s_{k,n} - v_{k-t,i,n})^2$$

herangezogen werden können.

In den Fig. 12a und 12b zeigen helle Werte höhere Gewichtungsfaktoren g an als dunkle Werte; Schwarz zeigt z.B. einen Gewichtungsfaktor g von Null, Weiß einen Gewichtungsfaktor g von 1 und Grau einen Gewichtungsfaktor g von 0,5 an. Auf diese Weise können bestimmte Bereiche der Signaturflächen 50_n z.B. zur Rechenzeitverkürzung ausgeblendet ($g = 0$) oder ihnen eine besondere Signifikanz ($g = 1$) zugewiesen werden.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfaßt alle Varianten und Modifika-

tionen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen.

Patentansprüche:

1. Vorrichtung (101, 201) zum Messen des Empfangszeitpunkts (t) eines Impulses (102) in einem Empfangssystem (6 - 8, 103, 203, 203', 203''), das zumindest einen Empfangskanal (6 - 8, 104, 104_n) mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang (10, 107, 207_n) ein Empfangssignal (108, 108_n) liefert, gekennzeichnet durch

einen Speicher (28, 128), in dem die Empfangssignale von Referenzimpulsen (148_i) vorgegebener unterschiedlicher Amplitude (A_i) als Referenzsignale (149_i, 149_{i,n}) bezogen auf einen Zeitmaßstab (T) vorliegen, und

eine an das Empfangssystem und den Speicher angeschlossene Auswerteeinrichtung (21, 121), welche ein Empfangssignal (108, 108_n) mit jedem Referenzsignal (149_i, 149_{i,n}) unter variierendem Zeitversatz (t) vergleicht, um jenes Referenzsignal (148_i) und jenen Zeitversatz (t) zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung (v_{i,t}, v'_{i,t}) minimal ist, und diesen Zeitversatz als Empfangszeitpunkt (t) bezüglich des Zeitmaßstabs (T) ausgibt.

2. Vorrichtung (201) zum Messen des Empfangszeitpunkts (t) eines Impulses (102) von hohem Dynamikumfang in einem Empfangssystem (203, 203', 203''), das zumindest zwei parallele Empfangskanäle (104_n) mit unterschiedlicher Empfindlichkeit enthält, welche an ihren Ausgängen (207_n) einen Satz zeitparalleler Empfangssignale (108_n) liefern, gekennzeichnet durch

einen Speicher (128), in dem die Sätze von Empfangssignalen von Referenzimpulsen (148_i) vorgegebener unterschiedlicher Amplitude (A_i) als Referenzsätze (205_i) bezogen auf einen Zeitmaßstab (T) vorliegen, und

eine an das Empfangssystem (203, 203', 203'') und den Speicher (128) angeschlossene Auswerteeinrichtung (121), welche einen Satz von Empfangssignalen (108_n) mit jedem Referenzsatz (205_i) unter variierendem Zeitversatz (t) vergleicht, um jenen Referenzsatz (205_i) und Zeitversatz (t) zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) minimal ist, und diesen Zeitversatz als Empfangszeitpunkt (t) bezüglich des Zeitmaßstabs (T) ausgibt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der bzw. die Empfangskanäle (6 - 8, 104, 104_n) analoger Art und der Speicher (28, 128) und die Auswerteeinrichtung (21, 121) digitaler Art sind, wobei am Ausgang jedes Empfangskanals (6 - 8, 104, 104_n) ein Analog/Digital-Wandler (9, 109, 109_n) liegt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzsignale (149_i) bzw. Referenzsätze (205_i) in dem Speicher (28, 128) in einer hohen ersten Zeitauflösung (T_m , T_h) vorliegen,

daß das bzw. die Empfangssignale (108 , 108_n) eines Impulses (102) mit einer geringen zweiten Zeitauflösung (T_a) abgetastet sind, und

daß die Auswerteeinrichtung (21, 121) den Zeitversatz (t) in den Auflösungsschritten (T_m , T_h) der hohen ersten Zeitauflösung (T_m , T_h) variiert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte erste Zeitauflösung (T_m , T_h) in der Größenordnung von Pikosekunden und die genannte zweite Zeitauflösung (T_a) in der Größenordnung von Nanosekunden liegt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Zeitmaßstab (T) die Weltzeit ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zum Messen der Laufzeit des Impulses (102) von einem Sendesystem (2 - 5) zum Empfangssystem (6 - 8, 103, 203, 203', 203''), dadurch gekennzeichnet, daß der Zeitmaßstab (T) auf den Absendezeitpunkt des Impulses (102) vom Sendesystem (2 - 5) bezogen ist, um aus dem Zeitversatz (t) die Laufzeit zu erhalten.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zum zusätzlichen Messen der Amplitude (A) des Impulses (102), dadurch gekennzeichnet, daß der Speicher (28, 128) zu jedem Referenzsignal (149_i) bzw. Referenzsatz (205_i) auch die Amplitude (A_i) des zugehörigen Referenzimpulses (148_i) enthält und die Auswerteeinrichtung (21, 121) die Amplitude (A_i) jenes Referenzimpulses (148_i), welcher zum ermittelten Referenzsignal (149_i) bzw. Referenzsatz (205_i) gehört, als Amplitude (A) des Impulses (102) ausgibt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung (21, 121) für einen gemessenen Empfangszeitpunkt (t) auch die zugehörige Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) als Qualitätsmaß der Messung ausgibt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß sie zumindest einen Sensor (206, 208) enthält, welcher einen Betriebszustand eines oder mehrerer Empfangskanäle (104_3) mißt und an seinem Ausgang (207_3) gleichsam als weiteres Empfangssignal (108_3) bereitstellt,

daß der Speicher (128) solch weitere Empfangssignale (108_3) der Referenzimpulse (148_i) als weitere Referenzsignale (149_i , $149_{i,n}$) enthält, und

daß die Auswerteeinrichtung (21, 121) bei dem genannten Vergleich auch ein solch weiteres Empfangssignal (108_3) mit den weiteren Referenzsignalen (149_i , $149_{i,n}$) vergleicht und in die Ermittlung der Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) einbezieht.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sie zumindest einen Sensor enthält, welcher die Betriebstemperatur eines oder mehrerer Empfangskanäle (6 - 8, 104, 104_n) mißt,

daß der Speicher (25-28, 128) Referenzsignale (205_i) bzw. Referenzsätze für verschiedene Betriebstemperaturen (T_1 , T_2) enthält, und

daß die Auswerteeinrichtung daraus die für die jeweils aktuelle Betriebstemperatur gültigen Referenzsignale (149_i) bzw.

Referenzsätze (205_i) ermittelt, erforderlichenfalls durch Inter- oder Extrapolation, und bei dem genannten Vergleich verwendet.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der minimalen Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) mittels eines Least-Squares-Verfahrens erfolgt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Speicher (28, 128) ferner Gewichtungswerte (g) für die Referenzsignale (149_i) bzw. Referenzsätze (205_i) enthält, welche in das Least-Squares-Verfahren Eingang finden.

14. Laser-Entfernungsmesser oder -Scanner mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13 in Verbindung mit Anspruch 7, wobei der Impuls (102) ein Laserimpuls ist.

15. Verfahren zum Messen des Empfangszeitpunkts (t) eines Impulses (102) in einem Empfangssystem (6 - 8, 103, 203, 203', 203''), das zumindest einen Empfangskanal (6 - 8, 104, 104_n) mit nicht-linearem Übertragungsverhalten enthält, welcher an seinem Ausgang (10, 107, 207_n) ein Empfangssignal (108, 108_n) liefert, gekennzeichnet durch die Schritte

Zurverfügungstellen der Empfangssignale von Referenzimpulsen (148_i) vorgegebener unterschiedlicher Amplitude (A_i) als Referenzsignale (149_i, 149_{i,n}) bezogen auf einen Zeitmaßstab (T),

Vergleichen eines Empfangssignals (108, 108_n) mit jedem Referenzsignal (149_i, 149_{i,n}) unter variierendem Zeitversatz

(t), um jenes Referenzsignal (148_i) und jenen Zeitversatz (t) zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) minimal ist, und

Ausgeben dieses Zeitversatzes als Empfangszeitpunkt (t) bezüglich des Zeitmaßstabs (T).

16. Verfahren zum Messen des Empfangszeitpunkts (t) eines Impulses (102) von hohem Dynamikumfang in einem Empfangssystem (203 , $203'$, $203''$), das zumindest zwei parallele Empfangskanäle (104_n) mit unterschiedlicher Empfindlichkeit enthält, welche an ihren Ausgängen (207_n) einen Satz zeitparalleler Empfangssignale (108_n) liefern, gekennzeichnet durch die Schritte

Zurverfügungstellen der Sätze von Empfangssignalen von Referenzimpulsen (148_i) vorgegebener unterschiedlicher Amplitude (A_i) als Referenzsätze (205_i) bezogen auf einen Zeitmaßstab (T),

Vergleichen eines Satzes von Empfangssignalen (108_n) mit jedem Referenzsatz (205_i) unter variierendem Zeitversatz (t), um jenen Referenzsatz (205_i) und Zeitversatz (t) zu ermitteln, bei denen die Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) minimal ist, und

Ausgeben dieses Zeitversatzes als Empfangszeitpunkt (t) bezüglich des Zeitmaßstabs (T).

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet,

daß die Referenzsignale (149_i) bzw. Referenzsätze (205_i) in einer hohen ersten Zeitauflösung (T_m , T_h) zur Verfügung gestellt werden,

daß das bzw. die Empfangssignale (108 , 108_n) mit einer geringen zweiten Zeitauflösung (T_a) abgetastet werden, und

daß beim Vergleichen der Zeitversatz (t) in den Auflösungsschritten (T_m , T_h) der hohen ersten Zeitauflösung (T_m , T_h) variiert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Verfügung gestelltes Referenzsignal (149_i , $149_{i,n}$) erzeugt wird, indem mehrere gleichartige und in den Auflösungsschritten einer hohen Zeitauflösung (T_m) zeitversetzte Referenzimpulse (148_i) verwendet werden, deren Empfangssignale (108) mit einer geringen Zeitauflösung (T_a) abgetastet und kämmend zum Referenzsignal (149_i) zusammengesetzt werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das zusammengesetzte Referenzsignal (149_i) durch Einfügen von Interpolationswerten (111) auf eine noch höhere Zeitauflösung (T_h) gebracht wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Zeitauflösung (T_m , T_h) in der Größenordnung von Pikosekunden und die zweite Zeitauflösung (T_a) in der Größenordnung von Nanosekunden liegt.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Zeitmaßstab (T) die Weltzeit ist.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 20 zum Messen der Laufzeit des Impulses (102) von einem Sendesystem (2-5) zum Empfangssystem (6 - 8, 103, 203, 203', 203"), dadurch gekennzeichnet, daß der Zeitmaßstab (T) auf den Absendezeitpunkt des Impulses (102) vom Sendesystem (2 - 5) bezogen wird, um aus dem Zeitversatz (t) die Laufzeit zu erhalten.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22 zum zusätzlichen Messen der Amplitude (A) des Impulses (102), dadurch gekennzeichnet,

daß zu jedem Referenzsignal (149_i) bzw. Referenzsatz (205_i) auch die Amplitude (A_i) des zugehörigen Referenzimpulses (148_i) zur Verfügung gestellt wird, und

daß die Amplitude (A_i) jenes Referenzimpulses (148_i), welcher zum ermittelten Referenzsignal (149_i) bzw. Referenzsatz (205_i) gehört, als Amplitude (A) des Impulses (102) ausgegeben wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß für den Impuls (102) zumindest ein weiteres Empfangssignal (108₃) aus einem Betriebszustand zumindest eines Empfangskanals (108₃) gewonnen, mit weiteren auf diese Weise zuvor für Referenzimpulse (148_i) gewonnenen Referenzsignalen (149_i, 149_{i,n}) verglichen und in die Ermittlung der Vergleichsabweichung ($v_{i,t}$, $v'_{i,t}$) einbezogen wird.

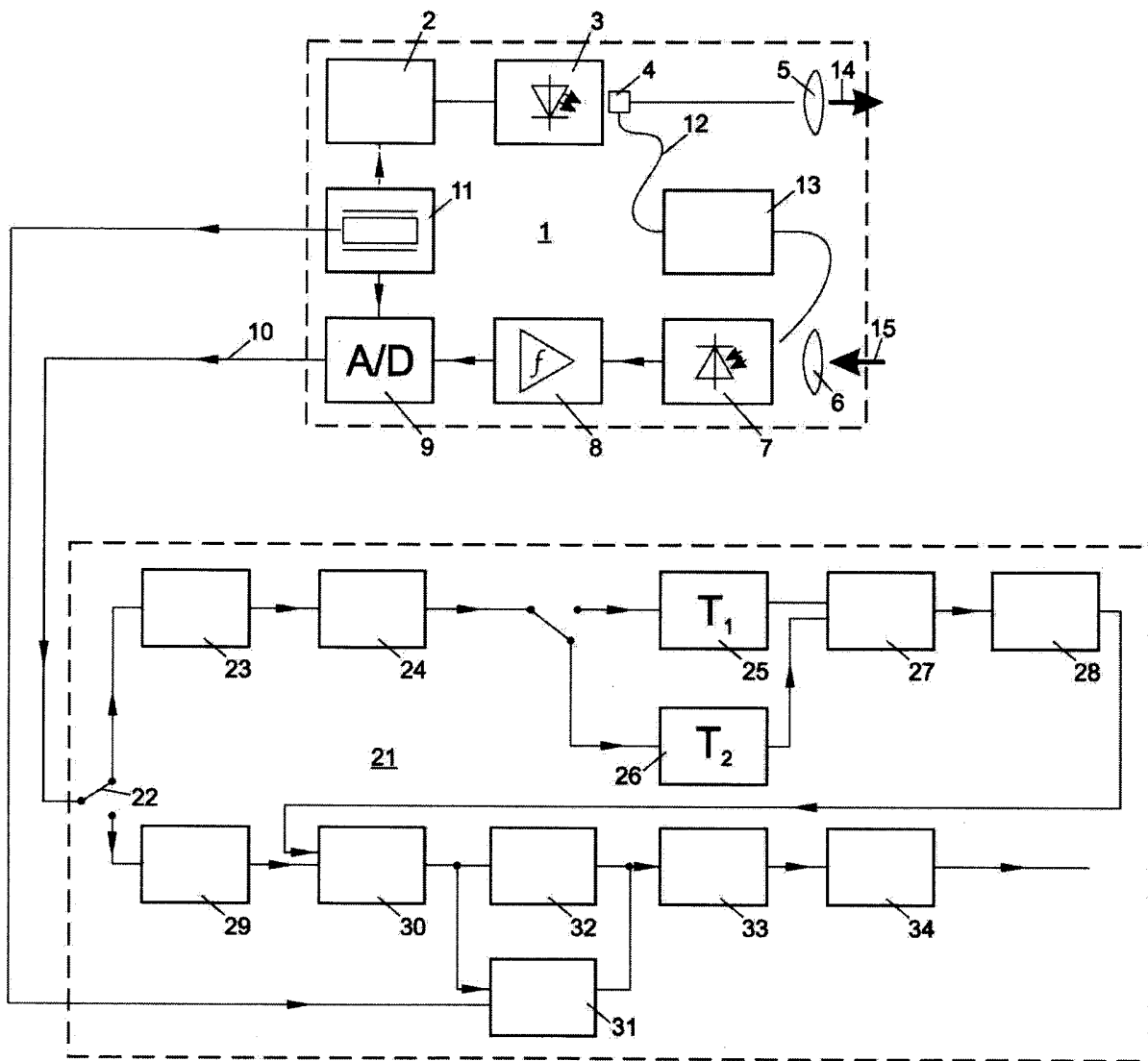
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß Referenzsignale (149_i) bzw. Referenzsätze (205_i) für verschiedene Betriebstemperaturen (T₁, T₂) zur Ver-

fügung gestellt und daraus die für die jeweils aktuelle Betriebstemperatur gültigen Referenzsignale (149_i) bzw. Referenzsätze (205_i) , erforderlichenfalls durch Inter- oder Extrapolation, ermittelt werden.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der minimalen Vergleichsabweichung $(v_{i,t}, v'_{i,t})$ mittels eines Least-Squares-Verfahren erfolgt.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß in das Least-Squares-Verfahren vorgebbare Gewichtungswerte (g) für die Referenzsignale (149_i) bzw. Referenzsätze (205_i) Eingang finden.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 27 in Verbindung mit Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Impuls (102) ein Laserimpuls in einem Laser-Entfernungsmesser oder -Scanner ist.

*Fig. 1*

003777

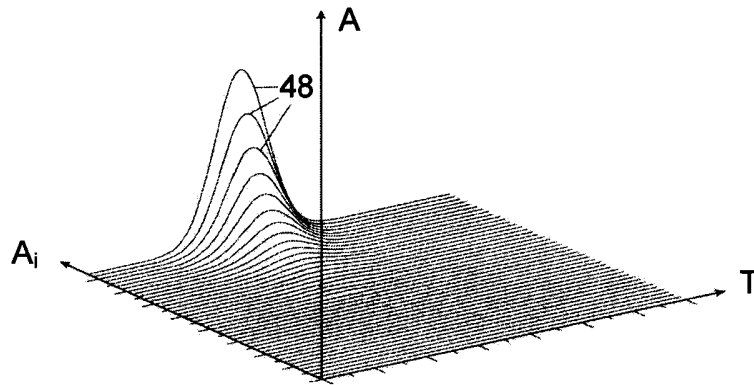


Fig. 2

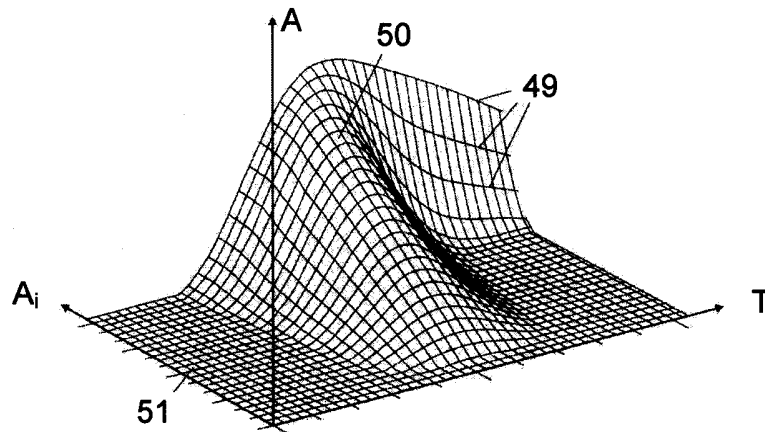


Fig. 3

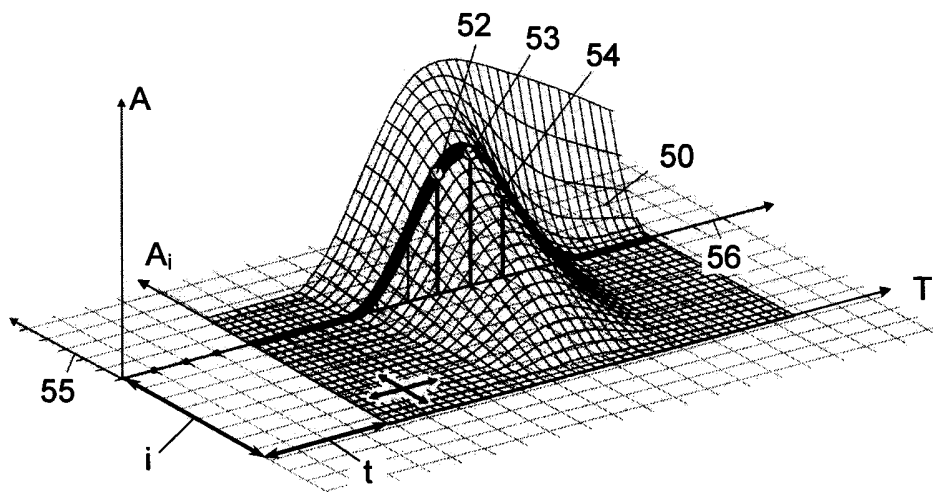


Fig. 4

00077

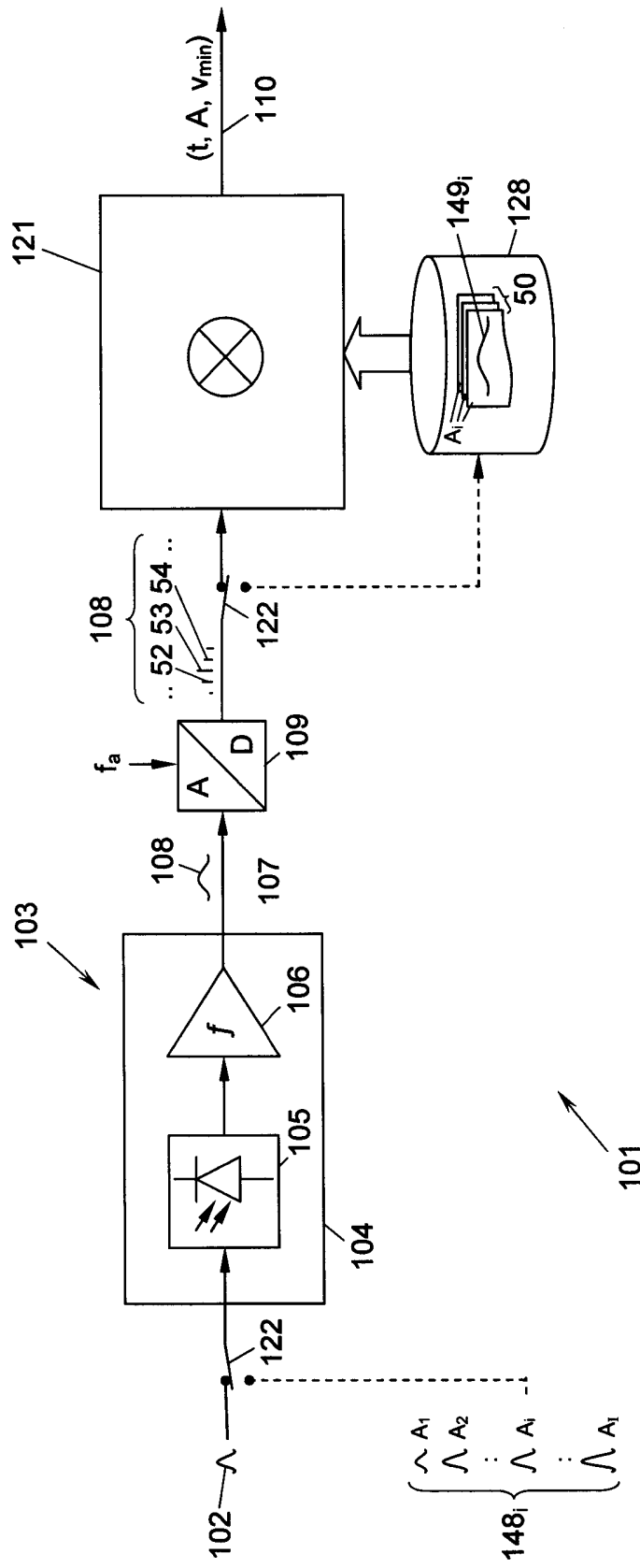


Fig. 5



003777

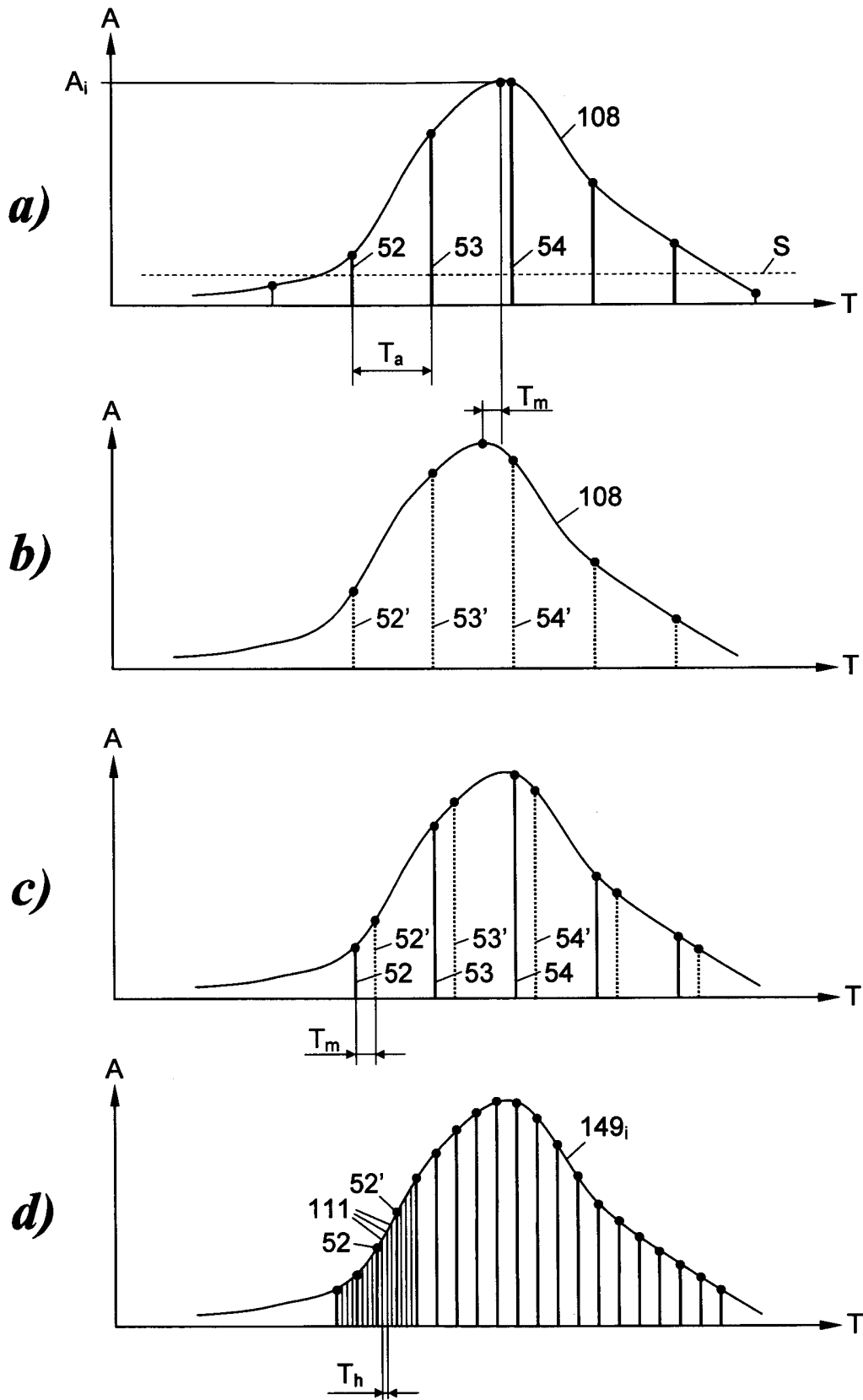


Fig. 6

00377

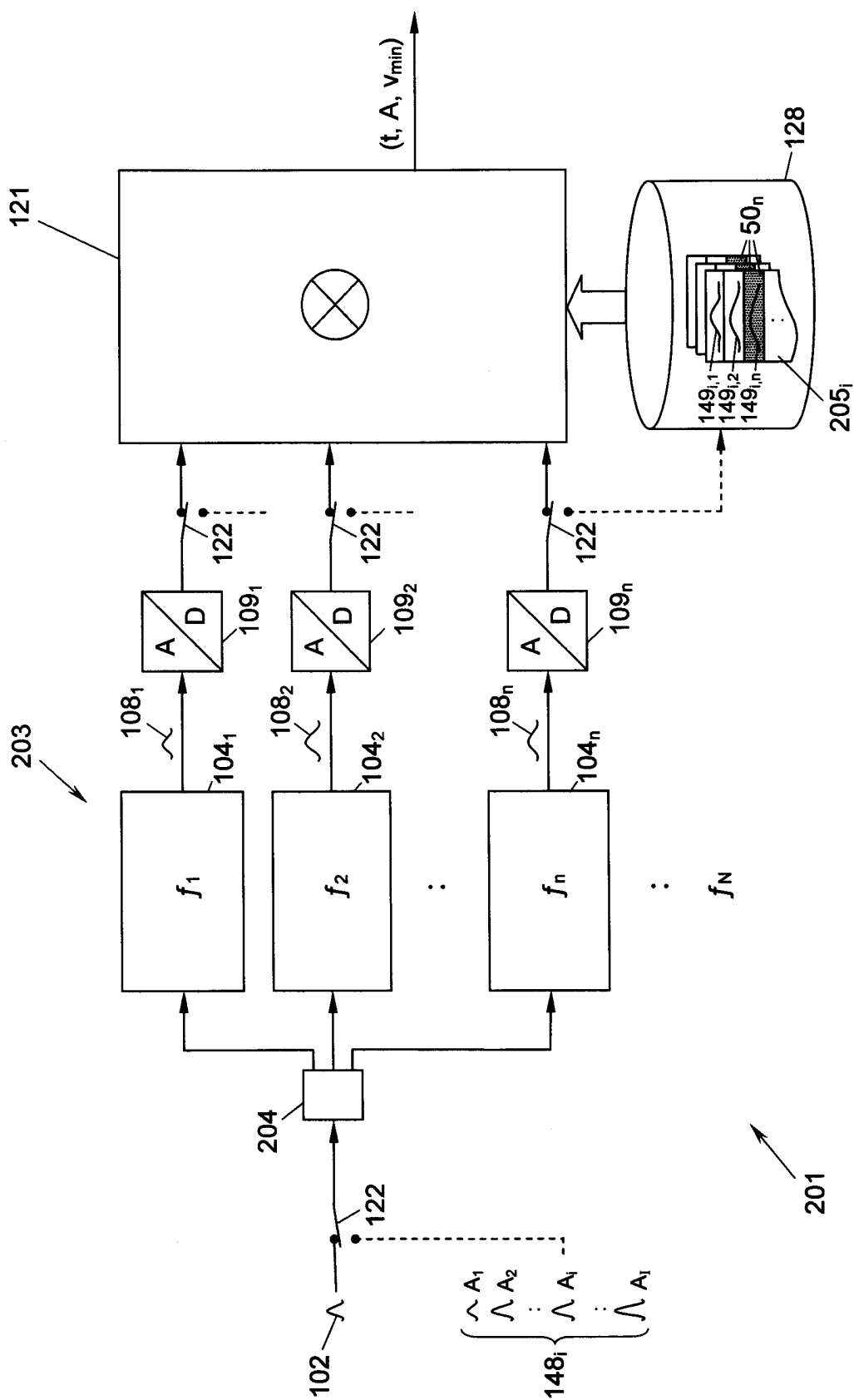


Fig. 7

003777

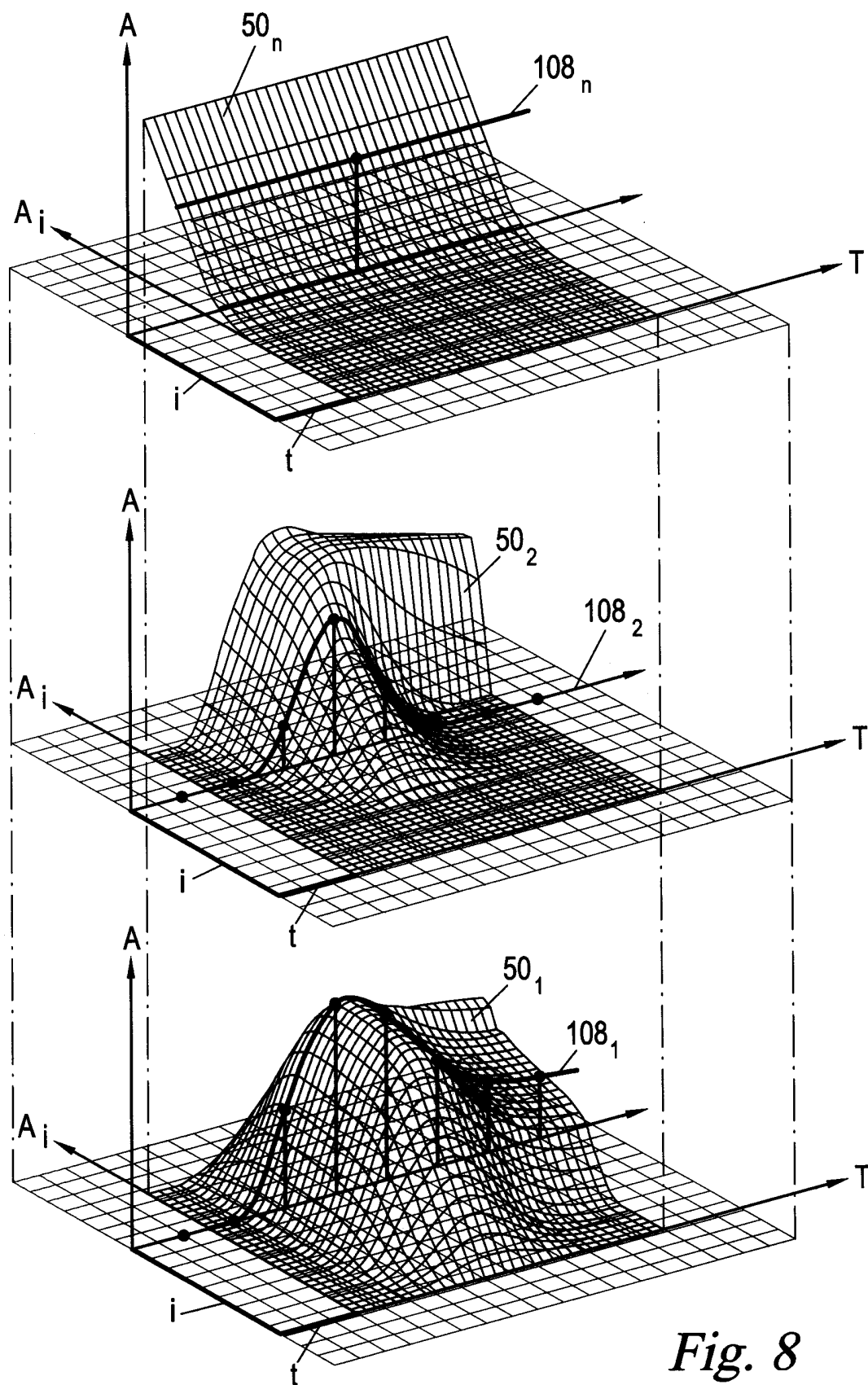


Fig. 8

003777

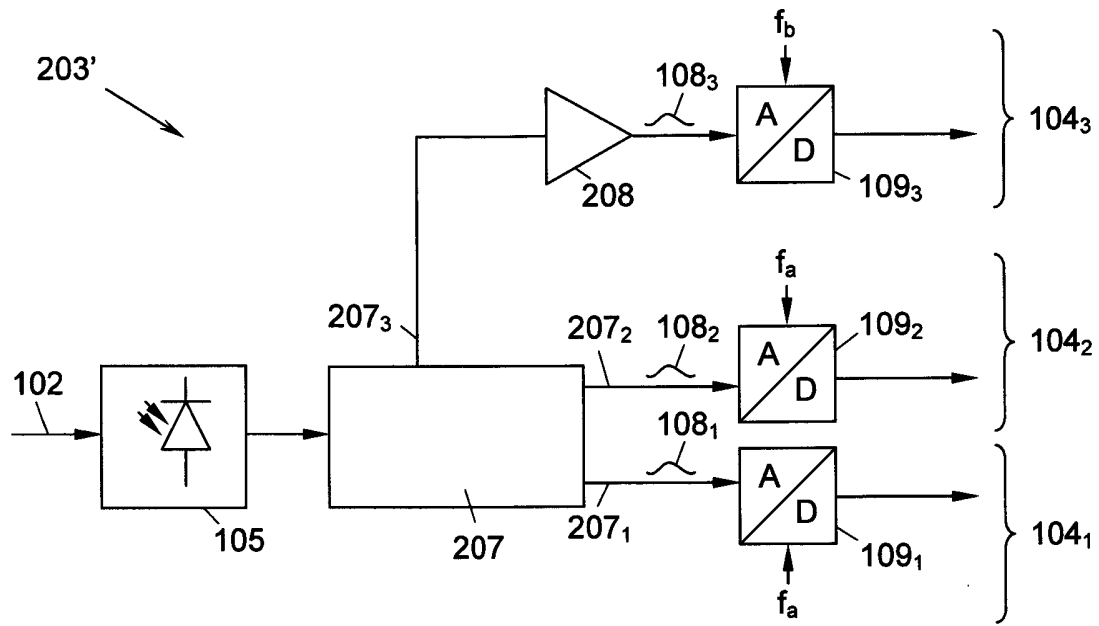


Fig. 9

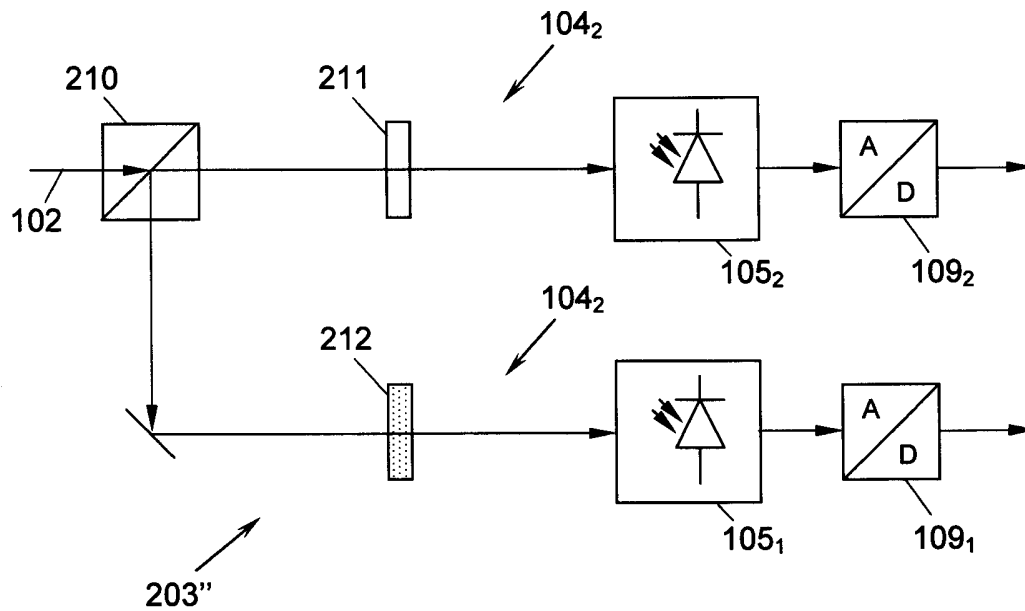


Fig. 10

000777

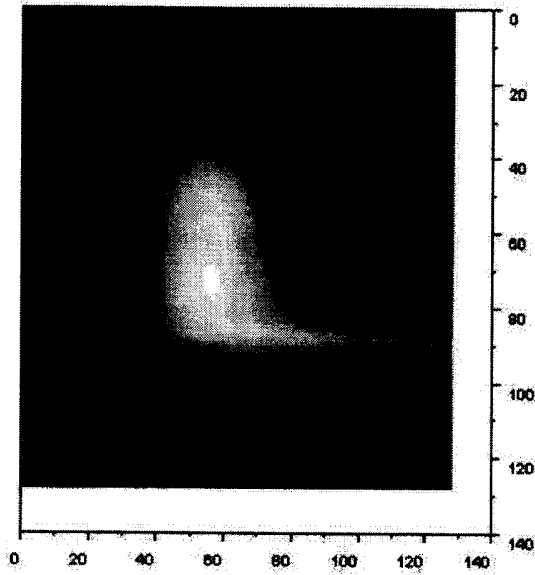


Fig. 11a

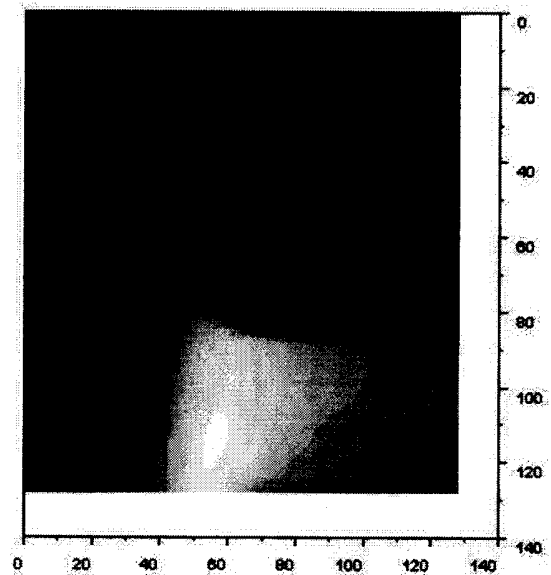


Fig. 11b

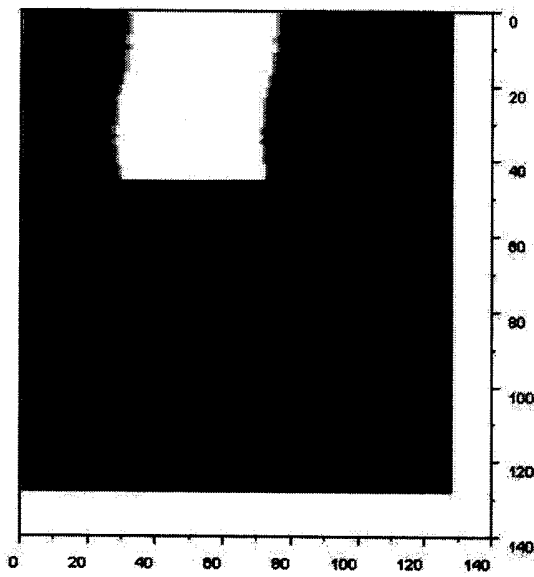


Fig. 12a

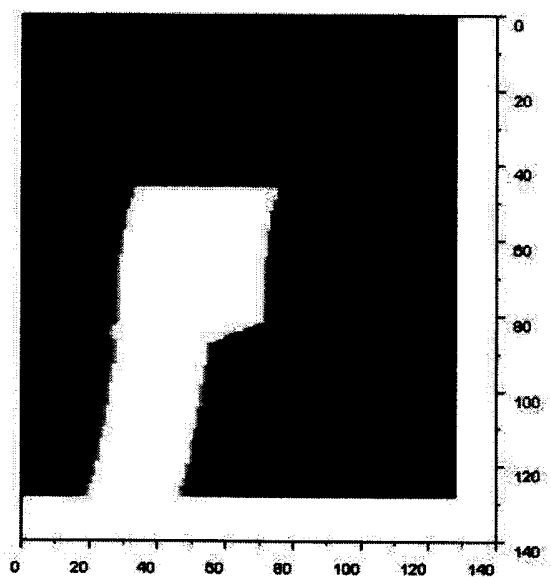


Fig. 12b