



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102011901930427
Data Deposito	30/03/2011
Data Pubblicazione	30/09/2012

Classifiche IPC

Titolo

SOGLIA DINAMICA PER RANGEFINDER A SINGOLO IMPULSO.

Soglia dinamica per rangefinder a singolo impulso - Descrizione

1. Motivazioni e finalità della tecnica

Sempre maggiore interesse rivestono i sistemi in grado di misurare con precisione la distanza tra il sistema di misura ed un oggetto lontano. In ambito militare, inoltre, può essere necessario non essere visti dalla controparte o che questa non si accorga di essere oggetto della misura da parte di un sistema di puntamento elettro-ottico, in modo che non possa adottare eventuali contromisure.

Una larga diffusione stanno avendo i rangefinder (telemetri), sistemi che misurano oggetti a grandi distanze utilizzando la tecnica del tempo di volo: misurano il tempo intercorso tra l'emissione di un impulso elettromagnetico (solitamente una radiazione infrarossa) o impulso acustico e l'istante di ritorno della radiazione diffusa dal target e calcolano la distanza conseguente. Nel seguito si fa riferimento soltanto ad impulsi elettromagnetici tenendo a mente che la stessa invenzione è applicabile a sistemi utilizzando onde acustiche come il caso degli ultrasuoni.

Per evitare che il target si "accorga" della misurazione in atto è importante poter riuscire ad effettuare il calcolo per mezzo dell'emissione di un solo impulso: in questo scenario si parla di rangefinder "single-shot".

Effetti che disturbano la misura possono causare un rumore elettronico che può essere interpretato dal sistema come il ritorno della radiazione retrodiffusa da un target, con il risultato di produrre in uscita la misura di un bersaglio che in realtà non è presente.

Per ovviare a questo problema interviene la tecnologia proposta che consente, in un modo semplice da implementare, di evitare i falsi bersagli senza gravare eccessivamente sulla sensibilità del sistema, ovvero sulla sua capacità di effettuare misurazioni di bersagli lontani.



Un sistema di rivelazione a soglia produce un impulso elettrico in uscita quando il segnale ricevuto dal sensore, opportunamente condizionato, supera un certo valore di tensione; tale valore di tensione viene scelto in modo da essere superiore al rumore ma non troppo da rendere il rangefinder cieco a qualsiasi ritorno retrodiffuso da bersagli reali.

2. Stato dell'arte

Un rangefinder è un apparato elettronico che misura la distanza da un target calcolando il tempo di volo che intercorre dall'invio di un impulso (tipicamente prodotto da un laser) alla ricezione della radiazione diffusa dal bersaglio oggetto di misura.

Il sistema deve essere quindi costituito: da un sottosistema emettitore (108) che invia l'impulso elettromagnetico; da un sottosistema di ricezione (110) che, tramite un sensore (tipicamente un fotodiodo) ed un'opportuna elettronica di amplificazione, rileva la radiazione diffusa dal bersaglio; da un'elettronica di controllo e di calcolo del TOF (Time Of Flight).

Secondo la ben nota range equation, più il bersaglio si trova lontano più tempo occorre per riceverlo e più piccolo è il segnale ricevuto. In altre parole, segnali retrodiffusi da bersagli lontani necessitano di maggiore amplificazione.

Un sistema rangefinder, quindi, generalmente adotta sistemi per aumentare la sensibilità del sottosistema di ricezione al passare del tempo, ovvero della distanza misurata.

Le soluzioni finora adottate sono:

- un'amplificazione a guadagno fisso ed una soglia variabile di comparazione del segnale ricevuto [4]
- un'amplificazione variabile ed una soglia fissa [5]
- riduzione del rumore o adattamento della soglia sulla base di successivi passi di misura tramite invii multipli di impulsi [3] [6] [7]



- un campionamento digitale del segnale ricevuto e un processamento numerico (media di più misurazioni, correlazioni, ecc...) per ridurre il rumore presente nel segnale, con conseguente aumento del rapporto segnale/rumore e della sensibilità [7]
- un adattamento analogico della soglia di comparazione effettuando una rivelazione di picco del rumore. [1] [2]

Se si vuole utilizzare però un rangefinder "single-shot", ovvero in grado di effettuare la misurazione sulla base di un unico impulso laser inviato, alcune delle strategie di aumento della sensibilità sopra menzionate non sono applicabili.

Bibliografia

- [1] Yi-Ren Lai, Pie-You Chien "Method and apparatus for reducing the noise in the receiver of a laser range finder", US Patent 5946081, 1999.
- [2] Ian D.Crawford, "Laser Rangefinder receiver", US Patent 6650404, 2003.
- [3] Keith E. Barr, "Method for improving the received signal to noise ratio of a laser rangefinder", US Patent 7184130, 2007.
- [4] John LaBelle, "Rangefinder with reduced noise receiver", US Patent 7508497, 2009.
- [5] Shimon Aburmad, Ehud Chishinski, Thomas Langer, "Rangefinder", US Patent Application 2006/0170903, 2006.
- [6] Jeremy G. Dunne, "Automatic noise threshold determining circuit and method for a laser range finder", US Patent 5612779, 1997.
- [7] Seok-Hwan Lee, Jae-Young Lee, KiChoul Nam, Kyung-Mok Kang, Geun-Sik Yoo, "Laser rangefinder and method thereof", US Patent Application 2007/0255525, 2007.

1
2
3
4
5
6
7



3. Limitazioni e svantaggi delle soluzioni esistenti

Le limitazioni principali delle soluzioni finora proposte sono le seguenti:

- 1) nel caso di un'amplificazione e/o di una soglia tempo-varianti, se il sistema non tiene conto dell'effettivo rumore presente in ingresso al comparatore, si rischia di non operare a minima probabilità di falso allarme;
- 2) nel caso di metodi che si basano sull'emissione di più impulsi, con o senza processamento digitale del segnale di ritorno, si perde la possibilità di funzionamento "single-shot" o si ammettono prestazioni più restrittive (probabilità di falso allarme maggiore, minore portata, etc.);
- 3) nel caso di rivelazione di picco del rumore si rischia di non tenere in considerazione spike di tensione molto veloci e di perturbare il segnale di ritorno andando a prelevare parte di esso dalla catena di ricezione.

4. Descrizione della soluzione proposta

Oggetto della presente invenzione è un sistema di adattamento dinamico della soglia di comparazione per rangefinder impulsato "single-shot" che adotta un sistema di amplificazione variabile al variare del tempo di misura.

Il rangefinder in oggetto ha una potenza elettromagnetica trasmessa sufficiente a garantire la possibilità di riuscita della misura con un singolo impulso. La sensibilità del ricevitore, la minima e massima amplificazione sono dimensionate in modo da poter rilevare la radiazione diffusa dal bersaglio.

Un problema da dover affrontare è quello di avere una buona sensibilità di ricezione senza confondere il rumore per un bersaglio che in realtà non esiste; oggetto della presente invenzione è la descrizione di un metodo per minimizzare la probabilità di rilevare falsi bersagli mantenendo alta la sensibilità.



Il metodo è applicabile a rangefinder single-shot perché prevede di calcolare la soglia ottimale prima dell'invio dell'impulso e senza doversi basare su precedenti misurazioni.

Lo stesso metodo è applicabile, tra due emissioni consecutive, in sistemi rangefinder multi-impulso, nel caso in cui si abbia una bassa frequenza di ripetizione o per lo meno in grado di permettere il calcolo della soglia ottimale prima della successiva emissione.

La Fig.1 mostra il sistema rangefinder (100) in esame.

La CPU (105) si occupa della gestione degli altri sottosistemi (106, 107, 108, 110) e comunica con l'esterno (109): riceve dall'esterno (109) il comando di effettuare la misurazione della distanza; imposta il valore della soglia (107) utilizzata dal comparatore (104) in modo da minimizzare i falsi allarmi; abilita l'emettitore (108) per l'invio dell'impulso; abilita il guadagno variabile (Time Variable Gain, TVG)(106); calcola il tempo intercorso tra il momento di emissione dell'impulso ed il momento di ricezione del segnale diffuso dal target, ovvero tra la ricezione del segnale di "start" proveniente da un sensore posto nel sottosistema emettitore (108) e la ricezione del segnale di "stop" in uscita dalla catena di ricezione (110).

L'EMETTITORE (108) è costituito da: il driver del sistema di emissione dell'impulso al quale fornisce la corrente necessaria; l'emettitore (tipicamente un laser); un sensore (tipicamente un fotodiodo) che rileva l'istante di emissione dell'impulso; un collegamento tra questo sensore e la CPU per abilitare l'inizio del conteggio del tempo di volo.

Il RICEVITORE (101) è costituito da un sensore (tipicamente un fotodiodo) con o senza un primo stadio elettronico di condizionamento del segnale: la presenza di questa circuiteria elettronica e la sensibilità del sensore sono da scegliere in base alla portata massima che si desidera per il rangefinder. La tipologia di sensore varia a seconda della lunghezza d'onda utilizzata per l'impulso trasmesso.



L'AMPLIFICATORE (102) è formato da uno o più stadi di amplificazione in grado di modificare il proprio guadagno in base ad un segnale di controllo proveniente dal sistema TVG (106) (Time Variable Gain).

La banda passante dell'amplificatore, all'aumentare del guadagno, non deve diventare minore del contenuto in banda del segnale laser trasmesso, altrimenti ha l'effetto di attenuare e distorcere il segnale ricevuto, con conseguente perdita in sensibilità e precisione della misurazione.

Il sistema TVG (106) serve a fornire all'AMPLIFICATORE a guadagno variabile (102) il segnale di controllo (tipicamente una tensione) che modifica l'amplificazione del segnale.

L'andamento della potenza ricevuta da uno stesso bersaglio al variare della distanza può essere approssimato con un andamento esponenziale decrescente, così come la carica/scarica di un condensatore per mezzo di un semplice circuito RC; per questo motivo, la tensione ottenuta dalla carica/scarica di un condensatore può essere utilizzata per comandare il guadagno del segnale; i valori limite della carica/scarica possono essere impostati in modo analogico o in modo digitale tramite un DAC controllato dalla CPU (105).

L'attivazione del TVG (106) viene comandata dalla CPU (105) quando è stato emesso l'impulso elettromagnetico; la CPU (105) disattiverà e riporterà nella sua condizione iniziale il TVG (106) alla ricezione dell'impulso retrodiffuso dal bersaglio oggetto della misura o al raggiungimento della condizione di un tempo limite oltre il quale non ha senso aspettarsi segnali di ritorno.

Il FILTRO (103) serve ad eliminare parte del rumore dal segnale, soprattutto alle alte frequenze, prima che questo arrivi al comparatore.

Il COMPARATORE (104) riceve il segnale e, se la tensione di questo supera la tensione della soglia, fornisce un impulso elettrico (TTL) alla CPU (105) che ferma il conteggio del tempo di volo.



Il sistema di gestione della SOGLIA (107) è l'oggetto della presente invenzione: l'utente decide di effettuare la misurazione ed invia tramite il canale di comunicazione (109) il comando alla CPU (105); la CPU (105) imposta la soglia (107) di comparazione (104) in modo che sia al di sopra del rumore ovvero che, in assenza di emissione dell'impulso elettromagnetico, non ci sia nessun segnale di ritorno dalla catena di ricezione.

La Fig.2 illustra i passi seguiti dalla CPU (105) per impostare il valore della tensione di soglia di comparazione nel caso del calcolo del riferimento ottimale che rimarrà fisso per tutta la durata del tempo di volo dell'impulso emesso. Il processo inizia (201): nel caso di rangefinder single-shot, quando la CPU (105) riceve dall'esterno (109) il comando di effettuare la misurazione della distanza oppure, se il sistema calcola il valore ottimale della soglia periodicamente, all'inizio di un nuovo periodo di questo calcolo; nel caso di rangefinder multi-impulso, poco prima che venga emesso l'impulso successivo. Come prima cosa la CPU (105) imposta (202) il TVG (106) in modo da portare al massimo il valore di amplificazione dell'amplificatore a guadagno variabile (102).

Per ottenere ciò è possibile agire in diversi modi: in maniera analogica è possibile caricare un condensatore fino ad un livello di tensione corrispondente al massimo guadagno del TVG (106) oppure in maniera digitale programmando un DAC.

La CPU (105) imposta l'amplificazione al massimo valore utilizzato durante il processo di misurazione perché si mette nel caso peggiore: anche il rumore, infatti, viene conseguentemente amplificato.

Nel caso in cui sia possibile effettuare un range-gating sul target, ovvero sia possibile preventivamente limitare il campo di misura ad una finestra temporale (ad un intervallo di distanza) ristretta rispetto alla massima possibile, il guadagno può essere impostato non al massimo assoluto ma al massimo ottenibile in quel lasso di tempo. Questo permette di



ottenere amplificazioni minori anche del rumore, con conseguente possibilità di avere valori di tensioni di soglia di comparazione più bassi rispetto al caso peggiore, migliorando la sensibilità.

Un'altra strategia è quella di dividere il tempo totale di misura in più finestre temporali all'interno di ognuna delle quali utilizzare il valore di soglia ottimale: la CPU (105) imposta per ogni intervallo, tramite il TVG (106), il guadagno dell'amplificatore (102) al valore massimo che raggiungerebbe in quella finestra temporale e calcola la soglia ottimale per ognuna di esse.

Le tensioni di soglia calcolate verranno memorizzate dalla CPU (105) in una tabella e verranno utilizzate per produrre una soglia variabile a gradini su tutto l'intervallo di misurazione: in questo caso, il processo in figura 2 va ripetuto per ogni intervallo temporale in cui si è suddivisa la misurazione.

Tornando al caso di un singolo valore di riferimento fissato per tutto l'intervallo di misurazione, una volta raggiunta la massima amplificazione, la CPU (105) imposta la soglia di comparazione al suo valore minimo (203) ed aspetta un tempo T (204) alla fine del quale (o, in alternativa, all'interno del quale) valuta se il comparatore produce uscite oppure no (205): nel caso in cui il comparatore abbia rilevato falsi bersagli, vuol dire che la soglia di comparazione è al di sotto del livello di rumore; nel caso in cui il comparatore non produca uscite, vuol dire che la soglia di comparazione è sopra la soglia di rumore e quindi è utilizzabile per la misurazione del tempo di volo dell'impulso emesso.

Nel primo caso, la CPU (105) controlla che non sia stato raggiunto il massimo valore di soglia (206); se è possibile aumentarla ancora, aggiorna questo valore (207) e dopo un tempo T (204) ricontrolla l'uscita del comparatore (205).

Nel caso sia stato raggiunto il valore massimo, la CPU (105) invia all'utente un'informazione che segnala l'impossibilità di effettuare la misurazione per via del troppo rumore presente



nella catena di ricezione del segnale. In questo caso non verrà emesso l'impulso per il calcolo della distanza.

Nel caso si sia trovato un valore di soglia per il quale il comparatore non produce uscite spurie, la CPU (105) memorizza questo valore di soglia (209) e lo utilizzerà per la misurazione della distanza. In questo caso verrà abilitata l'emissione dell'impulso.

Prima di uscire dal processo (211) la CPU (105) riporta il valore del guadagno del TVG (106) al suo valore iniziale (210), ovvero quello che dovrà avere all'inizio del calcolo del tempo di volo.

Il periodo T di aggiornamento del valore di comparazione è dipendente dal numero N di passi discreti di variazione della tensione di soglia e dal tempo massimo T_{max} ammissibile tra la richiesta di misurazione e l'effettiva emissione dell'impulso da parte del rangefinder:

$$T = T_{max} / N$$

L'emissione dell'impulso per la misura di distanza deve essere effettuata, dopo il calcolo dinamico della soglia, entro un tempo dipendente dalla velocità di cambiamento della scena inquadrata dal campo di vista del ricevitore: ad esempio, nel caso in cui il rangefinder sia montato su un supporto per il pan/tilt, questo tempo sarà dipendente dalla velocità di movimento altazimutale del sistema; un altro esempio è quello di un target in movimento, per cui questo tempo sarà dipendente dalla velocità di movimento dell'oggetto che si sta misurando.

Un'alternativa può essere quella di aggiornare periodicamente la soglia, indipendentemente dall'avvenuta richiesta di una misura, così da minimizzare i tempi di attesa prima dell'invio dell'impulso: anche in questo caso il periodo dipenderà dalla velocità di cambiamento della scena.

La variazione della tensione di soglia può essere effettuata per mezzo di un DAC.



In Fig.3 in cui si vede come la tensione (301) di soglia (107) viene cambiata in maniera discreta finché non si abbia nessun falso impulso (302) in uscita dal comparatore (104). Un ulteriore metodo della variazione della soglia consiste nell'aumentarla in maniera continua o continua a tratti, come ad esempio caricando un condensatore a passi successivi.

La SOGLIA (107) viene inizialmente impostata al livello di tensione minimo ed il GUADAGNO VARIABILE (102) al valore massimo di amplificazione (caso peggiore) controllando se il comparatore fornisca impulsi in uscita, segno che la tensione di rumore è maggiore della tensione della soglia applicata. Trascorso un tempo T (o, alternativamente, non appena si riceve un falso bersaglio) la soglia viene quindi aumentata al secondo valore di tensione: nel caso in cui si abbiano ancora uscite dal comparatore si passa, al tempo $2T$, al successivo livello di tensione e questo fino al raggiungimento di una tensione di soglia maggiore della tensione di rumore, ovvero di nessuna uscita dal comparatore. Nel caso in cui si sia raggiunto il valore massimo di tensione di soglia applicabile, la CPU (105) provvederà a fornire all'utente un allarme che segnala l'impossibilità di effettuare la misura.

Le sorgenti di rumore possono essere: background (come ad esempio il sole nel caso in cui il sensore sia sensibile alla radiazione emessa da esso), elettronica, EMI.

Quando viene individuata la soglia ottimale, la CPU (105) abilita l'emissione dell'impulso elettromagnetico.

Questo metodo di impostazione della soglia non si basa su una precedente emissione di impulsi e per questo motivo rende possibile il "single shot".



5. Vantaggi della soluzione proposta rispetto agli schemi tradizionali

- 1) Possibilità di funzionamento single-shot, legato al fatto che l'individuazione della soglia di comparazione ottimale non si basa sull'invio multiplo di impulsi.
- 2) Capacità di adattare la soglia alle momentanee condizioni di rumore.
- 3) Immunità dai falsi bersagli causati da spike di tensione isolati e molto veloci.

Luca Fucini



Rivendicazioni

- 1) Un metodo per adattare dinamicamente la soglia (107) del comparatore (104) in modo da diminuire drasticamente la probabilità di falsi bersagli nel caso di funzionamento "single-shot" o a bassa frequenza di ripetizione, quando è richiesta una bassa probabilità di intercettazione, utilizzando la catena di ricezione del segnale di ritorno (110) di un rangefinder (100) quando l'emettitore (108) è spento e sia il ricevitore (101) che la catena di ricezione (110) sono affetti solo al rumore di fondo ottico ed elettronico permettendo quindi di impostare la soglia in modo opportuno sopra il limite di rivelazione attuale.
- 2) Un metodo in accordo con la rivendicazione 1 basato sulla rivelazione con comparazione a soglia (104) dove il riferimento di soglia (107) viene cambiato automaticamente dal sistema digitale di controllo CPU (105).
- 3) Un metodo in accordo con le rivendicazioni 1 e 2 dove la CPU (105) è programmata per impostare, o mantenere aggiornata periodicamente, la soglia ottimale del comparatore in assenza di impulsi emessi, abilitando la rivelazione del rumore solamente sulla catena di ricezione del segnale (110).
- 4) Un metodo in accordo con la rivendicazione 3 nel quale il livello di soglia (107) è ottimizzata per non avere falsi impulsi, impostando questo valore in modo opportuno al di sopra del rumore attuale evitando falsi impulsi in uscita dal comparatore (104) e permettendo il massimo livello di sensibilità possibile senza soffrire delle limitazioni di una rivelazione di picco come la distorsione della banda, il filtraggio del segnale, ecc.
- 5) Un metodo in accordo con le rivendicazioni da 1 a 4 in cui la CPU (105) cerca la soglia ottimale senza prelevare alcun segnale dalla catena di ricezione (110) e quindi senza ridurre il segnale retro-riflesso dal bersaglio.
- 6) Un metodo in accordo con le rivendicazioni da 1 a 5 in cui la CPU (105) cerca la soglia



ottimale senza prelevare parte del segnale ricevuto e quindi senza introdurre rumore nella catena di ricezione (110).

- 7) Un metodo in accordo con la rivendicazione 1 in cui il sistema utilizza un'amplificazione (102) con guadagno variabile (106): la CPU (105) cerca il valore di soglia ottimale nel caso peggiore, cioè nel caso di amplificazione massima, impostando il guadagno variabile al valore massimo.
- 8) Un metodo in accordo con le rivendicazioni 1 e 7 nel caso di range-gating verso il bersaglio, in cui la CPU (105) imposta il guadagno del Time Variable Gain (TVG) (106) al massimo valore possibile nella finestra temporale selezionata, permettendo maggiore sensibilità che nel caso peggiore.
- 9) Un altro metodo in accordo con le rivendicazioni 1, 7 e 8 in cui si divide il tempo totale di misurazione in più finestre temporali nella quali la CPU (105) imposta valori discreti per il guadagno (il massimo guadagno raggiunto per ogni intervallo temporale durante il processo di misura) dell'amplificatore (102) attraverso il TVG (106) e calcola il valore ottimale di soglia per ognuno di essi: la CPU (105) memorizzerà i valori calcolati in una tabella e li utilizzerà per implementare una soglia variabile durante l'intero tempo di misurazione
- 10) In accordo con la rivendicazione 1, la soglia ottimale dev'essere sufficiente a permettere la rivelazione dell'impulso di ritorno una volta che sia stato emesso ma nel caso in cui il rumore impedisca di rivelare il segnale, cioè quando si è raggiunto il valore massimo impostabile per la soglia, la CPU (105) deve inviare un allarme in uscita dal sistema (109).
- 11) In accordo con la rivendicazione 1, la CPU (105) controlla l'emissione dell'impulso per il calcolo del tempo di volo solo quando ha trovato la soglia per il comparatore e per aumentare l'efficienza di rivelazione è opportuno che la misura della distanza sia effettuata subito dopo il calcolo della soglia in modo da minimizzare gli effetti dovuti ai cambiamenti delle condizioni e dello scenario.



Soglia dinamica per rangefinder a singolo impulso - Disegni





