

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902098279A1

Publication Date

20140505

Applicant

I.D.S. - INGEGNERIA DEI SISTEMI - S.P.A.

Title

METODO E DISPOSITIVO PER PER DETERMINARE LA TRAIETTORIA DI UN
PROIETTILE EMESO DA UNA PICCOLA ARMA DA FUOCO, IN PARTICOLARE
PER LOCALIZZARE UNA POSTAZIONE DI SPARO

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo: "METODO
E DISPOSITIVO PER DETERMINARE LA TRAIETTORIA DI UN
PROIETTILE EMESSE DA UNA PICCOLA ARMA DA FUOCO, IN
PARTICOLARE PER LOCALIZZARE UNA POSTAZIONE DI SPARO" a nome
5 della ditta italiana I.D.S. - Ingegneria dei Sistemi -
S.p.A., con sede a Pisa.

DESCRIZIONE

Ambito dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce a un metodo e a un
10 dispositivo per determinare la traiettoria di un proiettile
emesso da una piccola arma da fuoco a tiro teso o diretto
(small arms weapon) e per ricostruire la traiettoria
indicando la direzione di provenienza del proiettile, che
può procedere con moto supersonico o subsonico.

15 In particolare, l'invenzione si riferisce a un metodo e
a un dispositivo per localizzare la postazione da cui un
tiratore ha eseguito lo sparo.

L'invenzione fornisce un metodo e un dispositivo per
consentire azioni di protezione e/o di risposta nei
20 confronti di un suddetto tiro.

Brevi cenni alla tecnica nota-Problemi tecnici

Da vari decenni, le forze militari regolari e di polizia
devono operare sempre più spesso in scenari di guerra
asimmetrica. In particolare, sono sempre più frequenti
25 operazioni in ambienti urbani, in cui operano antagonisti
quali cecchini (snipers) e/o combattenti improvvisati.

Pur essendo dotati di tecnologia inferiore, in un
siffatto ambiente tali antagonisti fruiscono di grossi
vantaggi rispetto alle forze regolari. Infatti, essi possono
30 facilmente dissimularsi nella folla, sparare da postazioni
nascoste o da veicoli, e poi dileguarsi nel traffico. Ciò
rende difficile distinguere gli antagonisti dai civili, per

*Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544*

cui forze regolari sono soggette a imboscate e tiri di precisione da postazioni nascoste e/o inattese.

Per questo motivo, è sempre più difficile compiere missioni come ricognizione in territorio ostile su mezzi blindati/armati o meno, missioni di difesa del territorio e di basi militari, aeroporti, postazioni mobili come checkpoint ed altre strutture, protezione di personalità in ambiente non necessariamente ostile, protezione di convogli militari o vettori di aiuti umanitari.

È quindi sentita l'esigenza di sistemi per aumentare la protezione di tali obiettivi contro tiratori quali cecchini, guerriglieri e combattenti improvvisati.

Sono noti dispositivi di localizzazione di tiratori comprendenti sensori acustici. Tali dispositivi sono adatti solo per tiri supersonici. Essi hanno tuttavia prestazioni fortemente dipendenti dalle condizioni di mascheramento del tiratore. Ad esempio, i dispositivi acustici sono poco efficaci per localizzare proiettili sparati attraverso un foro di una parete interna di un edificio. Inoltre, I dispositivi acustici sono influenzati da condizioni particolari ed occasionali come riverberi causati dalle strutture degli ambienti urbani, ad esempio dagli edifici.

È anche noto che i sensori acustici non sono sostanzialmente in grado di localizzare proiettili a velocità subsonica, come nel caso di spari da RPG (Reaktivnyj Protivotankovyj Granatomët, lanciagranate a reazione anticarro) o da armi provviste di silenziatore.

Sono inoltre noti sistemi radar per rilevare e tracciare tiri indiretti come tiri di mortaio. Tali sistemi radar non consentono di vedere da vicino oggetti di piccole dimensioni, cioè oggetti aventi dimensioni dell'ordine del centimetro, e/o oggetti aventi una RCS (Radar Cross Section, riflettività) inferiore al cm^2 . Inoltre, tali sistemi radar

sono in grado di localizzare dei target solo al di fuori di una zona cieca attorno a sé. L'ampiezza della zona cieca dipende dalla durata degli impulsi del segnale radar, ed è tipicamente dell'ordine del centinaio di metri.

- 5 In sintesi,
- i dispositivi acustici non sono in grado di rilevare tiri subsonici, ad esempio tiri silenziati. Nel caso supersonico, sono in grado di localizzare la postazione di sparo, ma possono determinare la direzione del
 - 10 proiettile in modo meno preciso rispetto ai sistemi radar;
 - i sistemi radar per mortaio non sono in grado di localizzare oggetti di piccole dimensioni con RCS inferiore al cm^2 , e non funzionano a corto raggio.

15 Sintesi dell'invenzione

È quindi scopo dell'invenzione fornire un metodo e un dispositivo per rilevare proiettili di piccole dimensioni in tiro diretto, aventi velocità subsonica o supersonica, in un tempo e con una precisione tali da consentire tempestive

20 azioni di protezione e/o di risposta.

È anche scopo dell'invenzione fornire un metodo e un dispositivo per determinare la traiettoria di proiettili, in particolare proiettili emessi da piccole armi da fuoco o armi a tiro subsonico come RPG.

25 È poi uno scopo particolare dell'invenzione fornire un metodo e un dispositivo per localizzare una postazione di sparo, anche se questa si trova al di fuori della zona di osservazione del radar.

Questi ed altri scopi sono raggiunti da un metodo per

30 determinare la traiettoria di un proiettile emesso da uno sparo prodotto da un'arma, in particolare una piccola arma da fuoco a tiro teso o diretto, il metodo comprendendo le fasi di:

- definizione di una zona di osservazione;
 - definizione di una posizione radar;
 - posizionamento di un dispositivo radar a scansione elettronica nella posizione radar;
 - 5 — scansione della zona di osservazione con il dispositivo radar, in cui la fase di scansione comprende le fasi di:
 - emissione di un segnale radar comprendente una forma d'onda periodica con una frequenza compresa tra 4 GHz e 18 GHz;
 - 10 — ricezione e demodulazione di un segnale di ritorno restituito dalla zona di osservazione in risposta al segnale radar;
 - elaborazione del segnale e ricostruzione, in occasione dello sparo, di una traccia del proiettile, la traccia
 - 15 comprendendo una pluralità di punti o plot,
- in cui:
- la fase di elaborazione ha una frequenza di campionamento (Pulse Repetition Frequency, PRF o "sampling rate") superiore a un determinato valore limite inferiore $f_{c,min}$ dipendente
 - 20 dalla frequenza del segnale radar,
 - la fase di scansione ha un tempo di integrazione coerente (TIC), per una determinata lunghezza d'onda λ compreso tra $10\lambda^{1/2}$ e $40\lambda^{1/2}$, in cui λ è espressa in metri e il tempo di integrazione coerente è espresso in millisecondi.
- 25 In particolare, il valore limite inferiore $f_{c,min}$ della frequenza di campionamento f_c è 54 kHz a una frequenza del segnale di 4 GHz, ed è 240 kHz a una frequenza del segnale di 18 GHz, e il valore limite inferiore è espresso dalla formula:
- $$f_{c,min} = (40/3)v,$$
- 30 in cui v è la frequenza del segnale espressa in GHz, e $f_{c,min}$ è espresso in kHz.

Il valore della frequenza di campionamento, superiore ad un certo valore limite inferiore dipendente dalla frequenza del segnale, scelto come sopra specificato, permette di

identificare la posizione di oggetti in movimento ad elevata velocità, in particolare di oggetti in movimento a velocità supersonica.

Il valore del TIC, che in pratica è un tempo di osservazione
5 del target, scelto come sopra indicato, aumenta la sensibilità
del radar e permette di rilevare oggetti di piccole
dimensioni. Più precisamente, un tale tempo di integrazione
coerente permette di rilevare oggetti aventi bassa RCS,
tipicamente aventi riflettività inferiore a 1 cm^2 , fino a
10 valori minimi molto piccoli, dell'ordine di $0,1 \text{ cm}^2$.

In particolare, il tempo di integrazione coerente, per
una determinata lunghezza d'onda λ del segnale è compreso
tra $20\lambda\frac{1}{2}$ e $35\lambda\frac{1}{2}$ più in particolare è compreso tra $22\lambda\frac{1}{2}$ e
 $32\lambda\frac{1}{2}$.

15 In tal modo, si ottiene un vantaggioso compromesso tra la
capacità di rivelazione del segnale, in termini di rapporto
segnale/rumore, e il filtraggio del segnale doppler. Infatti,
come noto nella tecnica radar, ad ogni tempo TIC viene eseguita
un'analisi doppler sul segnale di ritorno, per rivelare la
20 presenza di proiettili in volo. La scelta del TIC secondo
l'invenzione dipende dal fatto che il bersaglio ha dimensioni e
RCS molto ridotti rispetto ai target radar convenzionali.
Infatti, i target radar convenzionali hanno tipicamente RCS
superiore a 10m^2 , ovvero un valore oltre 10^6 volte maggiore di
25 $0,1 \text{ cm}^2$. In questo modo:

- viene massimizzato il rapporto segnale-rumore;
- viene ottimizzata l'accuratezza di stima dei parametri della
traiettoria del proiettile.

Con tale scelta della frequenza di campionamento e del tempo
30 di integrazione coerente, è possibile estendere la tecnica radar
alla rivelazione di oggetti di dimensioni molto inferiori alle
dimensioni dei target convenzionali, cioè alla rivelazione di
oggetti aventi dimensioni dell'ordine del centimetro,

tipicamente a proiettili emessi da armi a tiro diretto. Inoltre, la rivelazione è possibile sia per proiettili di queste dimensioni che viaggiano a velocità supersonica, sia per proiettili di queste dimensioni che viaggiano a velocità
5 subsonica.

In una forma realizzativa, è inoltre prevista una fase di calcolo, a partire dalla traccia, di una retta passante in prossimità dei punti delle tracce, e tale retta è assunta come la traiettoria del proiettile.

10 In particolare, nella zona di osservazione sono definiti una pluralità di settori di osservazione con un vertice comune in corrispondenza della posizione radar, e la fase di calcolo della retta come traiettoria del proiettile prevede una fase di fusione di tracce rilevate in settori, distinti l'uno
15 dall'altro, della zona di osservazione. Con questa tecnica di scansione elettronica, in cui la copertura su 360° in azimuth è ottenuta mediante una scansione elettronica di un array circolare di antenne, ciascuna delle quali copre un proprio settore, è possibile coprire l'intero angolo azimutale,
20 superando al tempo stesso i limiti di velocità di rotazione dei dispositivi meccanici di rotazione dei comuni sistemi radar.

La fase di calcolo di una retta può essere eseguita impiegando un algoritmo di calcolo di un'equazione cioè una
25 legge oraria del moto del proiettile, a partire dai dati di plot.

In particolare, è prevista una fase di backtracking e localizzazione di una postazione di sparo in corrispondenza di un punto della traiettoria. Nel caso dei tiri tesi o diretti, la
30 postazione di sparo può trovarsi ad alcune centinaia di metri dalla posizione del dispositivo, al più a una distanza dell'ordine del chilometro. A differenza di quanto accade nei metodi di tecnica nota, nel metodo secondo l'invenzione, basato

sull'uso di un sensore radar, la postazione in cui ha avuto luogo lo sparo non viene localizzata direttamente, bensì viene localizzata a partire dalla traiettoria del proiettile in volo. Ciò permette di localizzare postazioni di sparo dissimulate con una tecnica di mascheramento e/o dissimulate grazie a condizioni ambientali favorevoli ai tiratori, come particolari condizioni di illuminazione e/o di rumore ambientale.

Vantaggiosamente, è prevista una fase di predisposizione di un sensore acustico in corrispondenza della posizione radar, il sensore acustico essendo configurato per rilevare un'onda di compressione o "muzzle blast" prodotta dallo sparo in arrivo nella posizione radar, e la fase di localizzazione della postazione di sparo viene interrotta in corrispondenza di un istante in cui l'onda di compressione viene rilevata dal sensore acustico. Ciò permette di arrestare backtracking, cioè di ricostruzione della traiettoria del proiettile anche al di fuori della zona di osservazione, nell'istante in cui il sensore acustico rivela l'arrivo dell'onda di compressione generata dallo sparo. In tal modo, è possibile localizzare con maggior precisione la postazione di sparo. Tale selezione è particolarmente conveniente nel caso di proiettili che si muovono con velocità supersonica.

In una forma realizzativa, la fase di emissione del segnale radar è eseguita in modo permanente durante la fase di scansione. Un segnale radar a onda continua, modulata o meno, permette la visibilità da una distanza ravvicinata dell'ordine dei metri o delle decine di metri, come richiesto per una efficace rivelazione di tiri diretti.

Il segnale radar può avere una forma d'onda periodica scelta tra CW e LFMCW, ossia può comprendere una forma d'onda continua non modulata, e un'onda continua modulata in frequenza, in particolare linearmente come noto nella tecnica radar.

In un'altra forma realizzativa, il segnale radar è un segnale range-gated, cioè un segnale in cui la fase di emissione del segnale radar e la fase di ricezione dei segnali di ritorno, cioè degli eco restituiti dai bersagli presenti nella zona di osservazione, vengono eseguite a divisione di tempo l'una rispetto all'altra, ossia in intervalli di tempo distinti, per cui si determina un'attenuazione dei segnali di eco provenienti dalla zona di osservazione. La durata di ciascuna fase è predeterminata, e avviene con una cadenza o frequenza di ripetizione molto più alta rispetto al tempo di integrazione coerente (TIC), in cui la cadenza e la durata sono scelte in modo da ottimizzare il rapporto segnale/rumore alla massima distanza di rivelazione dei proiettili. In tal modo si ottiene una desensibilizzazione del dispositivo radar a range vicini, cioè a corto raggio. Ciò permette di attenuare o sostanzialmente eliminare il disturbo dovuto a scariche elettrostatiche a breve-brevissima distanza. Infatti, un sistema radar concepito per la rivelazione a breve distanza, quale il sistema secondo l'invenzione, è concepito per essere molto sensibile. Per questo motivo, esso è anche particolarmente suscettibile nei confronti di disturbi a corto raggio. Tali disturbi a corto raggio possono essere scariche elettrostatiche come quelle causate dall'impatto di gocce di pioggia su una superficie, o dal contatto anche occasionale di oggetti metallici o portatori di carica elettrostatica. I disturbi a corto raggio possono ridurre la sensibilità del dispositivo radar fino all'ordine delle decine di dB.

In particolare, il terzo intervallo di tempo, durante il quale l'unità di antenna è attiva solo con i propri mezzi di ricezione, è complementare del primo intervallo rispetto all'intervallo, e l'attivazione dei mezzi di ricezione dell'unità antenna avviene sostanzialmente in modo immediato

dopo lo spegnimento dei mezzi di emissione dell'unità antenna.

In alternativa, è prevista una fase di attesa di un intervallo di tempo di separazione prima di attivare i mezzi
5 di ricezione dell'unità di antenna, durante il quale sia i mezzi di emissione che i mezzi di ricezione sono inattivi. In particolare, il tempo di separazione è compreso tra 10 e 30 nanosecondi, più in particolare è prossimo a 20 nanosecondi. Ciò permette di ridurre ulteriormente i
10 disturbi locali oltre che di evitare l'accoppiamento indesiderato tra i mezzi di emissione e quelli di ricezione.

In una forma realizzativa, la fase di elaborazione prevede, per ogni punto o plot, una fase di determinazione della velocità del proiettile, delle coordinate angolari del proiettile, ossia
15 di un angolo di azimuth e di un angolo di elevazione del proiettile, della distanza del proiettile dalla posizione radar.

Gli scopi sopra indicati sono altresì raggiunti da un dispositivo radar a scansione elettronica per determinare, da una posizione radar, una traiettoria di un proiettile emesso da
20 uno sparo da una posizione di sparo incognita e attraversante una zona di osservazione osservabile dal radar, il dispositivo radar comprendendo:

- mezzi per eseguire una scansione radar della zona di osservazione, comprendenti:
25 — mezzi trasmettitori, configurati per trasmettere un segnale radar comprendente una forma d'onda periodica avente una frequenza compresa tra 4 GHz e 18 GHz;
— mezzi ricevitori e di demodulazione per ricevere un segnale di ritorno restituito dalla zona di osservazione
30 in risposta al segnale radar;
— mezzi elaboratori per elaborare il segnale di ritorno e mezzi rilevatori per ricostruire, in occasione dello sparo, una traccia del proiettile, la traccia comprendendo una pluralità di punti o plot;

le cui caratteristiche principali sono che:

- i mezzi elaboratori hanno una frequenza di campionamento superiore a un determinato valore limite inferiore $f_{c,min}$ dipendente dalla frequenza del segnale radar, in particolare i mezzi elaboratori sono configurati per operare con una frequenza di campionamento superiore a un valore limite inferiore $f_{c,min}$ definito dalla formula:

$$f_{c,min} = (40/3)v,$$

in cui v è la frequenza del segnale espressa in GHz, e $f_{c,min}$ è espresso in kHz, e che:

- i mezzi elaboratori e i mezzi rilevatori sono configurati per operare con un tempo di integrazione coerente, in cui per una determinata lunghezza d'onda λ del segnale radar il tempo di integrazione coerente è compreso tra $10\lambda^{1/2}$ e $40\lambda^{1/2}$, in cui la lunghezza d'onda λ è espressa in metri e il tempo di integrazione coerente è espresso in millisecondi.

Vantaggiosamente, i mezzi di ricostruzione sono configurati per determinare, per ogni punto o plot:

- la velocità del proiettile;
- le coordinate angolari del proiettile;
- la distanza del proiettile dalla posizione radar.

In una forma realizzativa, i mezzi elaboratori sono configurati per ricostruire, a partire dalla traccia, una retta passante in prossimità dei punti in modo che tale retta possa essere assunta come la traiettoria del proiettile.

In particolare, i mezzi elaboratori sono configurati per eseguire una fase di backtracking e localizzare una postazione di sparo in corrispondenza di un punto della traiettoria.

In particolare, i mezzi elaboratori e i mezzi rilevatori sono configurati per operare con un tempo di integrazione coerente compreso tra $20\lambda^{1/2}$ e $35\lambda^{1/2}$, più in particolare compreso tra $22\lambda^{1/2}$ e $32\lambda^{1/2}$, per una determinata lunghezza d'onda λ di detto segnale.

In particolare, i mezzi trasmettitori sono configurati per trasmettere il segnale radar in modo permanente durante una scansione radar. In tal caso, i mezzi trasmettitori possono essere configurati per trasmettere un segnale a onda continua non modulata (CW), oppure una forma d'onda continua modulata linearmente in frequenza (LFMCW).

In alternativa, i mezzi trasmettitori sono configurati per trasmettere un segnale range-gated, cioè sono configurati per trasmettere il segnale radar per una durata di emissione predeterminata e con una cadenza superiore alla durata, in cui la cadenza e la durata sono scelte in modo tale da generare una zona di osservazione centrata nella posizione radar e definita da una massima distanza di osservazione predeterminata, l'attenuazione della potenza ricevuta essendo minima in corrispondenza della massima distanza di osservazione.

In una forma realizzativa, detto dispositivo comprende un sensore acustico configurato per rilevare un'onda di compressione prodotta dallo sparo in arrivo nella posizione radar, in cui il dispositivo radar è configurato per interrompere la fase di localizzazione di detta postazione di sparo quando l'onda di compressione inizia ad essere rilevata dal sensore acustico.

Breve descrizione dei disegni

L'invenzione verrà di seguito illustrata con la descrizione che segue di sue forme realizzative, fatta a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento ai disegni annessi in cui:

- la figura 1 è un diagramma a blocchi che descrive il funzionamento di un'unità radar configurata per operare con il metodo secondo l'invenzione;
- le figure 2 e 3 mostrano schematicamente due sistemi radar comprendenti rispettivamente un solo ricetrasmittitore e due ricetrasmittitori per determinare la traiettoria di un

proiettile, secondo l'invenzione, in una zona di osservazione suddivisa in quattro settori;

— la figura 4 mostra uno schema funzionale a blocchi di un dispositivo secondo una forma realizzativa dell'invenzione;

— le figure 5 e 6 mostrano schemi funzionali di due unità di antenna per un singolo settore, secondo rispettive forme realizzative dell'invenzione;

— la figura 7 mostra uno schema funzionale di una composizione di un'unità di commutazione di un dispositivo, secondo una forma realizzativa dell'invenzione;

— la figura 8 è un diagramma a blocchi della procedura di elaborazione del segnale radar in una configurazione CW a doppia frequenza;

— la figura 9 è un diagramma a blocchi della fase di rivelazione a soglia della procedura di elaborazione rappresentata in figura 8;

— la figura 10 è un diagramma a blocchi di una fase di calcolo del range;

— la figura 11 è un diagramma a blocchi di una fase di calcolo di angolo di azimuth;

— le figure 12A-12C sono rappresentazioni schematiche di tre fasi di una procedura di tracciatura di un proiettile, di backtracking e di localizzazione di una postazione di sparo;

— la figura 13 è un diagramma a blocchi di una fase di tracking e calcolo di una traiettoria, e di localizzazione del luogo di provenienza di un proiettile;

— la figura 14 è un diagramma a blocchi di una procedura di elaborazione di un segnale radar in una configurazione LFMCW;

— la figura 15 mostra schematicamente il funzionamento di

un dispositivo radar secondo l'invenzione, operante secondo la tecnica range-rating;

— la figura 16 mostra schematicamente il funzionamento di un dispositivo radar secondo l'invenzione, comprendente un
5 sensore acustico;

— la figura 17 mostra un dispositivo portatile per localizzare piccole armi, secondo una forma realizzativa dell'invenzione;

— la figura 18 mostra un dispositivo secondo una variante
10 dell'invenzione, idoneo per la difesa di un veicolo.

Descrizione di una forma realizzativa preferita

Con riferimento allo schema a blocchi di figura 1, viene descritto nel seguito un metodo per determinare la
15 traiettoria di un proiettile emesso da un'arma leggera a tiro teso, e che viaggia a una velocità supersonica o subsonica, per mezzo di un dispositivo radar. Viene altresì fornita una descrizione di un dispositivo radar per eseguire il metodo secondo l'invenzione.

Il metodo prevede una fase 100 di posizionamento di un
20 dispositivo radar 30 in una posizione radar 12 di una zona di osservazione 10, come mostrato nelle figure 2 e 3. La zona di osservazione 10 è definita da un angolo di azimut, in questo caso un angolo di 360° , con vertice nella posizione radar 12. La zona di osservazione 10 può essere
25 suddivisa in una pluralità di settori, ad esempio quattro settori 13,14,15,16 definiti ciascuno da un angolo di 90° con il vertice nella posizione radar 12.

Con riferimento ancora alla figura 1, il metodo comprende una fase 110 di impostazione di modi operativi del
30 dispositivo radar 30. In particolare, nella fase di impostazione 110 vengono scelti i parametri per eseguire una fase 120 di generazione di una forma d'onda periodica per un segnale radar utilizzato in una successiva fase 125 di

scansione radar della zona di osservazione 10. Come noto, la fase di scansione radar 125 comprende fundamentalmente una fase di emissione 130 del segnale radar, comprendente tale forma d'onda, e una fase 140 di ricezione e demodulazione di segnali di ritorno e di eco provenienti dalla zona di osservazione 10 in risposta al segnale radar trasmesso.

Nel caso di figura 2, viene utilizzato un solo ricetrasmittitore radar 33, che è configurato per scandire a divisione di tempo ciascuno dei settori 13,14,15,16 in cui è divisa la zona di osservazione 10. Nel caso di figura 3, sono usati più ricetrasmittitori radar 33, in questo caso due, ciascuno dei quali è configurato per eseguire la fase 125 di scansione a divisione di tempo su una parte o su tutti i settori 13,14,15,16. Più in dettaglio, ciascun ricetrasmittitore 33 è configurato per scandire a divisione di tempo una rispettiva coppia 13,14 o 15,16 di settori, rispettivamente, ciascuna coppia di settori definendo un angolo di azimut di 180°.

La figura 4 mostra uno schema di un dispositivo radar 30 secondo una forma realizzativa dell'invenzione, comprendente un'unità antenna 31, un'unità 32 di commutazione di antenna e un'unità radar 36. L'unità radar 36 provvede alla gestione e al controllo del dispositivo radar impostandone le modalità operative e attuando i relativi comandi sulle singole unità e moduli. Più in dettaglio, l'unità radar 36 comprende un'unità di ricetrasmmissione o ricetrasmittitore 33, un'unità 34 di controllo di ricetrasmmissione per controllare le modalità operative, la generazione della forma d'onda e la commutazione, e un'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione, cioè un unità di comando per impostare le modalità operative e la forma d'onda, e per elaborare i segnali di eco. In altre parole, l'unità radar è l'insieme dei moduli hardware, software che

consentono di gestire l'apparato, generare la forma d'onda voluta, le modalità operative desiderate, di presentare i dati e gli allarmi ed interfacciarsi con gli operatori

Il ricetrasmittitore 33 ha la funzione di amplificare e
5 inviare all'unità antenna 31 il segnale radar e di ricevere, demodulare, ed eseguire un filtraggio del segnale di eco proveniente dallo scenario, per adattarlo all'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione, in particolare ai mezzi di conversione da analogico a digitale ivi presenti.

10 Allo scopo di scandire a divisione di tempo i settori 13,14,15,16, l'unità antenna 31 comprende una pluralità di antenne di settore 31_i , ad esempio del tipo mostrato in figura 5 o in figura 6, descritte più in dettaglio nel seguito. Ciascun'antenna di settore 31_i è disposta in modo
15 da trasmettere/ricevere un segnale radar/di eco in/da uno o più settori scelti tra i settori 13,14,15,16 in cui è suddivisa la zona di osservazione 10. Più in dettaglio, l'unità antenna 31 del dispositivo 30 comprende tanti moduli antenna di settore $41/42$, o 51 e 55 quanti sono gli N
20 settori 13,14,15,16 in cui è suddiviso l'intero angolo di azimut, quattro nella soluzione di figura 2, e due nella soluzione di figura 3.

Inoltre, l'unità di commutazione 32 è configurata per connettere selettivamente il ricetrasmittitore 33 con una o
25 più antenne di settore 31_i .

Ad esempio, nella configurazione di figura 2 l'unità antenna 31 comprende quattro moduli antenna 31_i , e l'unità di commutazione 32 comprende quattro canali per commutare il ricetrasmittitore 33 sui quattro settori, mentre nella
30 configurazione di figura 3 il dispositivo radar 30 comprende due moduli antenna 31_i e l'unità di commutazione 32 comprende due soli canali, ciascuno per commutare su due

settori corrispondenti all'antenna di settore 21 o al ricetrasmittitore 22.

Inoltre, l'unità di controllo di ricetrasmmissione 34 comprende mezzi a programma per comandare l'unità di commutazione 32 secondo un programma di scansione radar. Il programma di scansione radar può comprendere una fase di scoperta in cui il ricetrasmittitore 33 è connesso in sequenza per un intervallo di tempo predeterminato con ciascun'antenna di settore dell'unità antenna 31. In aggiunta, il programma di scansione radar può comprendere una fase di tracking su un bersaglio mobile, in cui il ricetrasmittitore 33 è connesso con uno o più settori che ricevono segnali di eco da un dato bersaglio mobile di interesse, ed è prevista una fase di passaggio dalla fase di scoperta alla fase di tracking su bersaglio, e viceversa, in caso di riconoscimento/scomparsa di un bersaglio mobile di interesse, secondo la tecnica radar conosciuta.

Il tempo di permanenza di un ricetrasmittitore in un dato settore è chiamato tempo di integrazione coerente (TIC).

In particolare, la figura 5 mostra una forma realizzativa di uno dei moduli antenna 31_i di un'unità antenna 31 in cui sono previsti due elementi separati 41,42 rispettivamente per trasmettere un segnale radar 43 e per ricevere segnali di eco 44',44'', provenienti dai corrispondenti settori dello scenario radar in risposta al segnale radar 43. Il modulo di ricezione 42 comprende due antenne 42' e 42'' per ricevere, rispettivamente i segnali 44' e 44''. Le antenne 42' e 42'' sono disposte ad una distanza nota, e possono essere configurate, assieme all'unità radar 36, per operare in modalità monopulse.

Il modulo antenna 31_i può comprendere un componente come un accoppiatore ibrido 45, funzionalmente connesso con le

antenne $42',42''$ e configurato in modo da distribuire i segnali di eco in ingresso $44',44''$ in una coppia di canali RX Σ_i, Δ_i .

La figura 6 mostra un'altra forma realizzativa di uno dei moduli antenna 31_i , alternativa alla forma realizzativa di figura 5, in cui è previsto un solo elemento 51 configurato sia per trasmettere un segnale radar 43 che per ricevere segnali di eco $44',44''$ in ingresso attraverso le antenne $52',52''$. Il modulo antenna 31_i può comprendere un componente come un accoppiatore ibrido 55, funzionalmente connesso con le antenne $52',52''$ e configurato in modo da distribuire i segnali di eco in ingresso $44',44''$ in una coppia di canali RX Σ_i, Δ_i . Il canale Σ_i dell'accoppiatore ibrido 55 è utilizzato sia in emissione che in ricezione, mentre il canale Δ_i è usato solo in ricezione.

Nelle forme realizzative delle figure 5 e 6, i canali Σ_i e Δ_i formano mezzi di connessione 46 tra l'unità antenna 31 e l'unità 32 di commutazione di antenna (figura 4).

Secondo l'invenzione, l'unità di controllo di ricetrasmisione 34 è configurabile per operare con un tempo di integrazione coerente TIC compreso tra due valori, cioè tra un valore minimo e un valore massimo, dipendenti dalla lunghezza d'onda λ del segnale. Tali valori minimo e massimo sono rispettivamente esprimibili come $k_1\lambda^{\frac{1}{2}}$ e $k_2\lambda^{\frac{1}{2}}$, ad esempio con $k_1=10$ e $k_2=40$. Ad esempio, per un segnale di frequenza pari a 9GHz, corrispondente a un valore di λ di circa 0,033 m, il tempo di integrazione coerente è compreso tra 1,8 e 7,3 ms. Preferibilmente, il tempo di integrazione coerente è compreso tra 3,7 e 5,4 ms, più preferibilmente tra 4,7 e 5,1 ms, in particolare è prossimo a 5 ms. In un'altra forma realizzativa, I valori di k_1 e k_2 possono essere rispettivamente, ad esempio, 30 e 35, oppure 22 e 32, designando ambiti più ristretti di valori di TIC.

Secondo l'invenzione, l'unità radar 36 è configurabile per eseguire la fase di ricezione 140 (figura 1) con una frequenza di campionamento f_c superiore a un valore minimo $f_{c,min}$, dipendente dalla frequenza del segnale radar. In
5 altre parole, l'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione dell'unità radar 36 comprende un convertitore analogico verso digitale configurati per prelevare un campione del segnale di ritorno ogni $1/f_c$ secondi.

In una forma realizzativa, $f_{c,min}$ è 54 kHz per una
10 frequenza ν del segnale di 4 GHz, ed è 240 kHz per ν uguale a 18 GHz. Il valore minimo $f_{c,min}$ a frequenze ν intermedie comprese tra 4 GHz e 18 GHz può essere ottenuto interpolando i valori minimi a 4 GHz e 18 GHz sopra riportati. Per esempio, i valori minimi $f_{c,min}$ a frequenze intermedie
15 possono essere ottenuti per interpolazione lineare, cioè attraverso la formula $f_{c,min}=(40/3)\nu$, in cui ν è espressa in GHz, e $f_{c,min}$ è espresso in kHz.

Con riferimento alla figura 7, l'unità di commutazione di antenna 32 (figura 4) comprende tre matrici di
20 commutazione 61, 61' e 61'' comandate dal modulo di controllo 32' che consente di connettere l'unità radar 36 ad uno dei moduli che costituiscono l'unità antenne 31 di un settore 13,14,15,16 selezionato attraverso una pluralità di contatti, rispettivamente, dei canali di emissione TX_i e dei
25 canali di ricezione Σ_i e Δ_i . Il modulo di controllo 60 è provvisto di una connessione di controllo 48 con l'unità di controllo di ricetrasmisione 34 dell'unità radar 36 (figura 4), ed è configurata per ricevere attraverso la connessione di controllo 48 un segnale di controllo di commutazione
30 generato da mezzi a programma dell'unità di controllo 34.

In una forma realizzativa, la fase di emissione 130 del detto segnale radar 43 viene eseguita in modo permanente durante la fase di scansione 125.

In particolare, l'unità radar 36, ovvero il ricetrasmittitore 33, è configurato per operare con una forma d'onda CW a doppia frequenza. In altre parole, il segnale radar 43 comprende due toni sinusoidali continui nel
5 tempo.

L'unità radar 36 esegue la fase di emissione 130 del segnale 43 avente la forma d'onda generata, vantaggiosamente dopo una fase di amplificazione di potenza, nonché le fasi 140 di ricezione e demodulazione dei segnali eco 44',44",
10 attraverso una delle antenne di settore dell'unità antenne 31, che la zona di rivelazione 10 restituisce in risposta al segnale 43.

Le fasi 140 di ricezione e demodulazione possono svolgersi secondo convenzionali tecniche di ricezione e
15 demodulazione radar. In particolare, la fase di demodulazione comprende una fase di filtraggio e condizionamento del segnale ricevuto per adattarlo ai livelli di tensione di lavoro del modulo di conversione 35' da analogico a digitale (ADC, Analogue to Digital
20 Conversion), secondo una tecnica convenzionale.

L'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione dei segnali (figura 4) esegue una fase 150 di elaborazione del segnale ricevuto, completando la fase di scansione 125 (figura 1), descritta con maggiore dettaglio nel seguito.

25 Con riferimento alla figura 8, viene descritta la fase di elaborazione 150 dei segnali di eco nel caso di un segnale radar 43 avente una forma d'onda continua CW a doppia frequenza. La fase di elaborazione 150 comprende una fase 151 di filtraggio e rimozione dei contributi dei bersagli fissi o clutter. La fase di filtraggio 151, da cui
30 si ottiene un segnale filtrato 57, ha lo scopo di ridurre la dinamica del segnale e di mitigare gli effetti del clutter sulla successiva fase 152 di filtraggio doppler, da cui si

ottiene un segnale filtrato doppler 58, e sulla successiva fase 154 di rivelazione e stima dei parametri del bersaglio, quali distanza, velocità e angolo, necessari per eseguire successive eventuali fasi 160 di tracciatura o tracking o
5 ricostruzione della traiettoria del proiettile e 180 di backtracking. L'insieme di tali parametri del bersaglio è chiamato plot 71.

Per rivelare i bersagli, in questo caso costituiti da proiettili, la fase di elaborazione 150 prevede infatti
10 un'analisi doppler, ossia un'analisi spettrale in frequenza sul segnale di eco 44',44" proveniente dalla zona di osservazione 10, come noto nella tecnica radar per separare i bersagli mobili dal resto dello scenario. La fase di filtraggio doppler 152 può essere eseguita, ad esempio,
15 attraverso una trasformata veloce di Fourier (FFT, Fast Fourier Transform).

In una fase 153 di generazione di canali, il segnale filtrato doppler 58 ottenuto dalla fase 152 di filtraggio doppler viene distribuito su tre canali, ossia su un canale
20 di rivelazione 59', su un canale di misura angolare monopulse 59" e su un canale di range 59'''.

Nella forma realizzativa mostrata in figura 8, per ciascun oggetto rivelato, il segnale filtrato doppler 58 viene utilizzato in una fase 154 di generazione del dato di
25 plot 71. In particolare, ogni dato di plot 71 comprende un valore di velocità, valori di coordinate di range e azimuth del proiettile 1, un valore di rapporto segnale-rumore (SNR, Signal to Noise Ratio), ed una coordinata temporale di rivelazione, oltre ad un identificativo del dato di plot 71.
30 La fase 154 di generazione del dato di plot comprende fasi 155 di rivelazione a soglia, 156 di misura monopulse e calcolo dell'angolo di azimuth e 157 di calcolo e calibrazione range. Modi di realizzazione delle fasi 155,

156 e 157 sono mostrati più in dettaglio, nell'ordine, nelle figure 9, 10 e 11.

Nella forma realizzativa di figura 9, la fase 155 di rivelazione a soglia può essere eseguita ricorrendo alla ben nota tecnica CFAR (Constant False Alarm Rate). Vantaggiosamente, per mantenere costante il numero dei falsi allarmi in un dato periodo di tempo, l'algoritmo utilizzato nella fase di rivelazione 155 è di tipo OS-CFAR (Ordered Statistic CFAR).

Come mostrato ancora schematicamente in figura 8, sui filtri doppler con cui viene eseguita la fase di rivelazione 155, l'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione dei segnali esegue

- una fase 157 di calcolo del range, cioè della distanza del proiettile 1 alla posizione radar 12, in particolare mediante analisi differenziale tra le fasi dei due toni ricevuti dallo stesso oggetto, e
- una fase 156 di calcolo di angolo di azimuth mediante una tecnica monopulse, cioè di calcolo della posizione angolare del proiettile 1 rispetto alla posizione radar 12.

In figura 10 è mostrata schematicamente la fase 157 di calcolo del range, comprendente una fase 271 di calcolo della differenza di fase $\Delta\phi$ tra i segnali ricevuti alle due frequenze trasmesse, una fase 272 di calcolo del range R secondo la formula $R = [(\Delta\phi C)/(4\pi\Delta f)]$, e una fase 274 di calibrazione della misura del range attraverso note procedure di calcolo degli scostamenti del dato misurato dal radar rispetto alla formula, e di correzione della formula in base agli scostamenti. Le cause degli scostamenti possono essere, ad esempio, cause di non idealità, instabilità interne, ed altre.

In figura 11 è mostrata schematicamente la fase 156 di calcolo di angolo di azimuth, comprendente una fase 261 di

determinazione di una curva monopulse eseguendo il rapporto $M=\Delta/\Sigma$ tra il segnale fornito dal canale Δ e il segnale fornito dal canale Σ , una fase 262 di calcolo della fase $\hat{\theta}$, secondo la formula:

$$\hat{\theta} = \Re \left\{ \frac{\lambda}{2 \cdot d} \cdot \arctg(M) \right\},$$

una fase 263, di calcolo dell'angolo di azimuth ϕ_{AZ} come $\arcsin(\hat{\theta})$, e una fase 265 di calibrazione offset.

Con riferimento allo schema sequenziale delle figure 12A-12C, un proiettile 1 emesso dalla postazione 19 entra nella zona di osservazione 10 del sistema radar 30 (figura 12A), precisamente nell'area corrispondente al settore 13, in cui compie la traiettoria 18' e in cui viene rivelato e tracciato. Successivamente, il proiettile passa dal settore 13 al settore 16 (figura 12B), in cui compie la traiettoria 18" e in cui viene rivelato e tracciato.

In una forma realizzativa, quando un proiettile 1 viene rivelato, l'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione dell'unità radar 36 (figura 4) è configurata per eseguire una fase di tracciatura o tracking 160 del proiettile 1 e di ricostruzione della traiettoria 20 del proiettile 1 sulla base di rilevazioni eseguite in TIC successivi, ad esempio nello stesso settore angolare 13 o 14 o 15 o 16.

Mediante algoritmi detti di backtracking viene eseguita la stima della direzione di provenienza del proiettile 1 e la localizzazione della postazione di sparo 19.

In altre parole, gli algoritmi per la ricostruzione della traiettoria fanno uso delle misure di range e di azimuth in un riferimento polare, lo traducono in un riferimento cartesiano e quindi eseguono il fitting della traiettoria. Si sfrutta la bontà della determinazione doppler ottenendo un algoritmo misto, che usa sia range/angolo che doppler, che è interpretabile come

una derivata del range. L'algoritmo, pur basandosi su tecniche numeriche di stima ottima e di filtri digitali ricorsivi di letteratura, ha una configurazione innovativa specifica per l'applicazione.

5 La figura 13 mostra uno schema a blocchi della fase 160 di tracciatura o tracking e calcolo della traiettoria 18',18" di un proiettile (figura 1), fino alla fase 180 di localizzazione della postazione di sparo 19 (figure 12A-12C), secondo una forma realizzativa dell'invenzione. La
10 fase 160 di tracciatura e calcolo della traiettoria può essere rappresentata come il funzionamento di una macchina a stati che a ogni passo riceve i dati di plot 71 relativi a tale passo ed emette le tracce 18',18" ormai chiuse. In altre parole, sulla base dei plot 71 viene eseguita, in
15 occasione di uno sparo, una fase di ricostruzione 161,162,164 di tracce 18',18" e di ricostruzione o calcolo 163 di una retta 20 assimilabile alla traiettoria del proiettile 1 a partire dalle tracce 18',18".

Più in dettaglio, la fase 160 di tracciatura include

20 — una fase 161 di associazione di una pluralità di dati di plot dei punti 71 ad una medesima traccia o ipotesi di traccia, e una fase 162 di gestione delle tracce.

La fase 162 di gestione delle tracce comprende a sua volta una

25 — fase di aggiornamento di una lista di ipotesi di traccia.

Inoltre, la fase 162 di gestione delle tracce comprende una serie di fasi di decisione basate sul contenuto delle tracce della lista. In particolare, la fase 162 di gestione
30 delle tracce comprende una fase di

- trasformazione in tracce delle ipotesi di tracce che hanno un numero sufficiente di plot, e fasi di
- chiusura ed emissione di tracce 18',18" (figure 12A,12B) come tracce completate, cioè relative a bersagli che

sono ormai usciti dalla zona di osservazione 10 (figure 2 e 3). Le tracce emesse 18', 18" possono essere impiegate in una

— fase 163 di ricostruzione della traiettoria 20 del proiettile 1 (figura 12C).

Inoltre, la fase 162 di gestione delle tracce comprende altre fasi di decisione, quali fasi di:

— eliminazione dalla lista delle ipotesi di traccia di ipotesi di traccia che non sono state confermate da numero sufficiente di plot 71;

— conferma di ipotesi di traccia nella dalla lista delle ipotesi di traccia, aggiornamento in base al dato di plot 71 loro associato e nuova memorizzazione nello stato dell'algoritmo;

— creazione di nuove ipotesi di traccia a partire da plot che non vengono associati ad alcuna traccia.

Su questa base, è prevista una fase 164 di aggiornamento tracce, in cui si modificano i parametri relativi di ciascuna traccia/ipotesi di traccia alla luce del plot a esso associata, o al fatto che nessun plot sia stato associato alla traccia/ipotesi di traccia. Tale fase è preliminare a una

— fase di 165 di definizione e aggiornamento di uno stato che comprende una pluralità di tracce e/o di ipotesi di traccia. Ogni traccia/ipotesi di traccia contiene le seguenti informazioni:

- un elenco di plot 71;
- uno stato previsto del proiettile 1;
- un punteggio relativo all'ipotesi.

Lo stato 165 forma l'oggetto della fase 162 di gestione delle tracce.

A partire da ogni traccia/ipotesi di traccia è possibile estrarre, tramite una

— fase di predizione 166, una previsione della posizione

futura del proiettile 1, in termini di range, velocità ed angolo. Un plot può essere associato al più a una sola traccia/ipotesi di traccia e viceversa.

In una successiva fase di fusione 170 (figura 1), le tracce 18',18" corrispondenti rispettivamente al settore 13 e al settore 16 vengono fuse, e viene ricostruita la traiettoria 20 del proiettile 1 (figura 12C). Ciò può avvenire, per esempio, nella fase 163 di ricostruzione della traiettoria, mostrata in figura 13.

La ricostruzione della retta può avvenire anche impiegando una tecnica di calcolo di una legge oraria del moto del proiettile 1, sulla base dei dati ottenuti con la fase 154 di generazione dei plot 71.

L'unità 35 di acquisizione, controllo ed elaborazione (figura 4) può inoltre essere configurata per eseguire una fase 180 di backtracking e determinazione della direzione di provenienza del proiettile 1, e di localizzazione della postazione di sparo 19 (figura 12C). La fase 180 di backtracking può comprendere la fase 170 di fusione delle tracce 18',18" riferite a settori distinti della zona di osservazione 10.

In un'altra forma realizzativa, il ricetrasmittitore 33 comprende unità radar 36 configurata per generare una forma d'onda continua LFMCW. In altre parole, l'unità radar 36 è configurata per generare una forma d'onda modulata linearmente in frequenza.

Con riferimento alla figura 14, viene descritta una possibile fase di elaborazione 150 (figura 1) nel caso di un segnale radar 43 comprendente una forma d'onda continua modulata linearmente in frequenza, cioè LFMCW. In una forma realizzativa, l'unità radar 36 è configurata per eseguire un filtraggio adattato range-doppler per calcolare al tempo stesso la distanza e la velocità radiale dell'oggetto. Dopo la rivelazione, l'unità radar 36 è configurata per

determinare l'angolo di azimut dell'oggetto mediante una tecnica monopulse. In altre parole, la fase di elaborazione 150 si distingue dalla corrispondente fase di elaborazione del segnale radar a doppia frequenza di figura 8 per il fatto di comprendere una fase di filtraggio range-doppler adattato 152' specifica per la forma d'onda LFM CW. La fase di filtraggio range-doppler adattato 152' permette di calcolare il range cioè la distanza tra la posizione radar 12 e il proiettile 1, prima della fase di rivelazione a soglia 155.

Al contrario, la fase 155 di rivelazione a soglia, ad esempio ricorrendo alla tecnica CFAR, e la fase 156 di calcolo con misura monopulse possono essere eseguite come nel caso di un segnale radar comprendente una forma d'onda CW a doppia frequenza, secondo quanto indicato descrivendo rispettivamente le figure 9 e 11. Le fasi 155 di rivelazione a soglia e la fase 156 di calcolo con misura monopulse della coordinata angolare completano la fase 154 di generazione del dato di plot 71.

Anche la fase 160 di tracking e calcolo della traiettoria, e la fase 180 di backtracking e localizzazione della postazione di sparo 19, possono essere eseguite come nel caso di un segnale radar CW a doppia frequenza, secondo quanto indicato descrivendo la figura 13.

Con riferimento alla figura 15, in una forma realizzativa il o i sistemi radar 30 comprendono un unità radar 36 configurata per generare una forma d'onda periodica 60 secondo la tecnica range-gating. In altre parole, un segnale radar 43 (figure 5,6) viene trasmesso durante un primo intervallo di tempo 62', in una fase di attività 60 dei mezzi di emissione, con una cadenza pari a un secondo intervallo di tempo 61 superiore al primo intervallo di tempo 62', dopodiché i mezzi di emissione dell'unità di

antenna 31 vengono disattivati. Durante un terzo, successivo intervallo di tempo 62", l'unità radar 36 attiva i mezzi di ricezione dell'unità di antenna 31 ed esegue una fase 69 di ricezione, mentre nessun segnale radar viene emesso. In questo modo, i segnali provenienti da regioni a range più vicini sono più attenuati rispetto ai segnali provenienti da regioni a range più lontani.

In particolare se gli intervalli di tempo 62' e 62" fossero uguali l'attenuazione diminuirebbe linearmente fino ad assumere il valore minimo all'istante di tempo 62'; dopodiché aumenterebbe linearmente fino ad assumere il valore massimo dopo un tempo pari a 62'+62".

Come mostra ancora la figura 15, gli intervalli 61,62' vengono scelti in modo che e in modo che l'attenuazione o desensibilizzazione locale sia minima in corrispondenza di tale massima distanza di osservazione 64, tipicamente dell'ordine di 100 m.

Oltre a separare l'istante di emissione dall'istante di ricezione ed a limitare gli effetti dell'accoppiamento TX/RX, l'impiego di un segnale 43 range-gated permette di limitare eventuali disturbi generati in prossimità del dispositivo radar. Ad esempio, tali disturbi possono essere disturbi elettrostatici, come quelli causati dalla caduta di gocce di pioggia, o dal contatto anche occasionale di oggetti metallici o portatori di carica elettrostatica. Con la tecnica range-gating, è possibile evitare la saturazione e la conseguente perdita di sensibilità del ricevitore a causa di disturbi locali.

In sintesi, a breve distanza l'attenuazione o desensibilizzazione del contributo del proiettile in arrivo è tollerabile, mentre viene sostanzialmente soppresso il contributo dei disturbi elettrostatici locali.

In particolare, il terzo intervallo di tempo 61, durante il quale l'unità di antenna 31 è attiva solo con i propri mezzi di ricezione, è complementare del primo intervallo 62' rispetto all'intervallo 61, e l'attivazione dei mezzi di ricezione dell'unità antenna 31 avviene sostanzialmente in modo immediato dopo lo spegnimento dei mezzi di emissione dell'unità antenna 31.

In alternativa, una volta trascorso il primo intervallo di tempo 62', cioè dopo che i mezzi di emissione sono stati disattivati, e prima di attivare i mezzi di ricezione dell'unità di antenna 31, è possibile attendere un intervallo di tempo di separazione, non rappresentato, durante il quale sia i mezzi di emissione che i mezzi di ricezione sono inattivi. Un intervallo di tempo di separazione dell'ordine dei nanosecondi permette di ridurre ulteriormente i disturbi locali e di eliminare l'accoppiamento indesiderato tra i mezzi di emissione e quelli di ricezione, comprimendo ulteriormente la dinamica rispetto alla modalità CW. Come noto, l'attesa di un tempo di separazione prima di attivare i mezzi di ricezione genera una zona cieca in un intorno della posizione radar 12, da cui non vengono ricevuti segnali di eco. Tuttavia, l'estensione di tale zona cieca, con i tempi di separazione sopra indicati, è molto piccola, tenendo conto delle esigenze di rilevare i proiettili a una distanza di sicurezza. Ad esempio, con un tempo di separazione di 20 nanosecondi, l'estensione della zona cieca è dell'ordine di 3 metri, molto inferiore alla distanza a cui è opportuno che un proiettile sia rilevato.

La fase 150 di elaborazione del segnale fino all'estrazione del dato di plot, la fase 160 di tracciatura del proiettile e calcolo della traiettoria, la fase 170 di fusione dati tra traiettorie di settori diversi, e la fase

180 di backtracking con stima della direzione di provenienza e localizzazione della postazione di sparo (figura 1) possono essere eseguite come descritto per i dispositivi provvisti di unità radar 36 configurata per trasmettere un
5 segnale periodico permanente, CW o LFMCW (figure 8-14).

Con riferimento nuovamente allo schema a blocchi di figura 1, la fase 180 di localizzazione della postazione di sparo 19 è vantaggiosamente seguita da una fase 190 di generazione di un allarme che può comprendere una
10 visualizzazione o notifica della direzione di provenienza del proiettile 1 e una visualizzazione o notifica della posizione della postazione di sparo 19.

La figura 16 mostra una forma realizzativa del dispositivo secondo l'invenzione in cui il dispositivo radar
15 30 comprende un sensore acustico 90. Il sensore acustico 90 è atto a rilevare l'arrivo dell'onda di compressione 91 generata dallo sparo. In tal caso, la fase 180 di backtracking del proiettile 1 (figura 1), viene arrestata nell'istante in cui il sensore acustico disposto in
20 prossimità immediata dell'antenna radar, inizia ad avvertire l'onda di compressione 91. Ciò permette di localizzare più accuratamente la postazione di sparo 19.

La figura 17 mostra un dispositivo radar trasportabile 30, secondo una forma realizzativa dell'invenzione, per
25 determinare la traiettoria di un proiettile 1 sparato da una piccola arma da fuoco. Il dispositivo portatile 30 può essere impiegato per difendere una postazione mobile come, un checkpoint, un avamposto e simili, ed è idoneo per montaggio su un cavalletto 5. Gli operatori 6 sono in grado,
30 grazie al dispositivo 30, di stimare la direzione di provenienza del proiettile 1 ed eventualmente le coordinate della postazione di sparo, non rappresentata. Ciò permette di adottare contromisure di vario tipo.

In una variante realizzativa, il dispositivo portatile può essere impiegato per difendere un veicolo 2, come mostra la figura 18. In questo caso, il dispositivo comprende vantaggiosamente un'interfaccia con un sistema inerziale, non rappresentata, per il ripristino del riferimento geografico o del riferimento veicolo. In tal modo è possibile determinare la traiettoria di proiettili ed eventualmente localizzare la posizione assoluta della postazione di sparo, anche in caso brusche variazioni di assetto del veicolo 2 ed altre condizioni di elevata accelerazione che possono verificarsi durante la marcia del veicolo 2, in particolare su un terreno accidentato. Nella forma realizzativa di figura 18, il dispositivo comprende due unità 30', 30'', da disporre anteriormente o posteriormente al veicolo, ciascuna delle quali comprende a sua volta un'unità radar 36 e un unità antenna 31 del tipo sopra descritto, in cui l'antenna è configurata per esplorare due zone di osservazione 10', 10'' anteriormente e posteriormente al veicolo.

Quanto sopra descritto si riferisce a una delle possibili soluzioni della presente invenzione. Altre soluzioni possono differire da quella descritta, pur rientrando nell'ambito dell'invenzione, per alcuni aspetti specifici quali la forma d'onda, le modalità di elaborazione del segnale, le logiche di decisione, le modalità di integrazione con altri sistemi per affinare la localizzazione della postazione di sparo e altro ancora.

La descrizione di cui sopra, di forme realizzative specifiche, è in grado di mostrare l'invenzione dal punto di vista concettuale in modo che altri, utilizzando la tecnica nota, potranno modificare e/o adattare in varie applicazioni tali forme realizzative specifiche senza ulteriori ricerche e senza allontanarsi dal concetto inventivo, e, quindi, si intende che tali adattamenti e modifiche saranno considerabili come

equivalenti delle forme realizzative specifiche. I mezzi e i materiali per realizzare le varie funzioni descritte potranno essere di varia natura senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione. Si intende che le espressioni o la terminologia
5 utilizzate hanno scopo puramente descrittivo e, per questo, non limitativo.

p.p. I.D.S. - Ingegneria dei Sistemi - S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Un metodo per determinare una traiettoria (20) di un proiettile (1) emesso da uno sparo prodotto da un'arma, detto metodo comprendendo le fasi di:
- 5 - definizione di una zona di osservazione (10);
- definizione di una posizione radar (12);
- posizionamento (100) di un dispositivo radar (30) a scansione elettronica in detta posizione radar (12);
- scansione (125) di detta zona di osservazione (10) con
- 10 detto dispositivo radar (30), in cui detta fase di scansione (125) comprende le fasi di:
- emissione (130) di un segnale radar (43) comprendente una forma d'onda periodica con una frequenza (ν) compresa tra 4 GHz e 18 GHz;
- 15 - ricezione e demodulazione (140) di un segnale di ritorno (44',44'') restituito da detta zona di osservazione (10) in risposta a detto segnale radar (43);
- elaborazione (150) di detto segnale di ritorno
- 20 (44',44'') e ricostruzione (161,162,164), in occasione di detto sparo, di una traccia (18',18'') di detto proiettile (1), detta traccia (18',18'') comprendendo una pluralità di punti (71);
- 25 **caratterizzato dal fatto che** detta fase di elaborazione (150) ha una frequenza di campionamento (f_c) superiore a un determinato valore limite inferiore $f_{c,min}$ dipendente da detta frequenza (ν) di detto segnale radar (43),
- 30 **dal fatto che** detta fase di scansione radar (125) ha un tempo di integrazione coerente (TIC), per una determinata lunghezza d'onda λ di detto segnale, compreso tra $10\lambda^{\frac{1}{2}}$ e $40\lambda^{\frac{1}{2}}$, in cui detta lunghezza d'onda λ è espressa in metri e detto tempo di integrazione coerente è espresso in

millisecondi.

2. Un metodo come da rivendicazione 1, in cui detto valore limite inferiore $f_{c,min}$ è definito dalla formula:

$$f_{c,min} = (40/3)v,$$

5 in cui v è la frequenza di detto segnale radar (43) espressa in GHz, e $f_{c,min}$ è espresso in kHz.

3. Un metodo come da rivendicazione 1, comprendente una fase di calcolo (163), a partire da detta traccia (18',18''), di una retta (20) passante in prossimità di detti punti (71),
10 e detta retta (20) è assunta come detta traiettoria di detto proiettile (1),

in particolare, una pluralità di settori di osservazione (13,14,15,16) essendo definiti in detta zona di osservazione (10), detti settori (13,14,15,16) avendo un
15 vertice comune in corrispondenza di detta posizione radar (12), e detta fase di calcolo (163) di una retta (20) prevede una fase (170) di fusione di tracce (18',18'') rilevate in settori (13,16) di detti settori (13,14,15,16) distinti l'uno dall'altro.

- 20 4. Un metodo come da rivendicazione 1, in cui detta fase di emissione (130) di detto segnale radar (43) è eseguita in modo permanente durante detta fase di scansione radar (125),

in particolare, detto segnale radar (43) è un segnale
25 radar a onda continua, in particolare detto segnale radar a onda continua è scelto tra:

- un segnale comprendente una forma d'onda continua non modulata (CW);
- un segnale comprendente una forma d'onda continua
30 modulata linearmente in frequenza (LFMCW).

5. Un metodo come da rivendicazione 1, in cui detto segnale radar (43) è un segnale range-gated (60), in cui detta fase di emissione di detto segnale radar (43) viene

5 eseguita per una durata di emissione predeterminata (62')
e con una cadenza (61) superiore a detta durata di
emissione (62'), in modo da causare un'attenuazione di
detto segnale di ritorno (44',44"), in cui detta
cadenza (61) e detta durata di emissione (62') sono
scelte in modo tale da generare detta zona di
osservazione (10), centrata in detta posizione radar
(12) e definita da una massima distanza (64) di
osservazione predeterminata, detta attenuazione
essendo minima in corrispondenza di detta massima
distanza (64) di osservazione,
in particolare, detto metodo comprende una fase di
attesa di un intervallo di tempo di separazione dopo
detta durata di emissione (62') di detta fase di
emissione (130) e prima di detta fase di ricezione e
demodulazione (140), in particolare detto tempo di
separazione è compreso tra 10 e 30 nanosecondi, più in
particolare è prossimo a 20 nanosecondi.

6. Un metodo come da rivendicazione 1, in cui detto tempo di
integrazione coerente (TIC), per una determinata lunghezza
d'onda λ di detto segnale radar (43), è compreso tra $20\lambda^{\frac{1}{2}}$
e $35\lambda^{\frac{1}{2}}$, in particolare detto tempo di integrazione
coerente (TIC) è compreso tra $22\lambda^{\frac{1}{2}}$ e $32\lambda^{\frac{1}{2}}$.

7. Un metodo come da rivendicazione 1, in cui detta fase di
elaborazione (150) comprende, per ogni punto (71), fasi
di:
- determinazione (155) di una velocità di detto
proiettile (1);
- determinazione (156) di una coordinata angolare di
detto proiettile (1);
- determinazione (152',157), della distanza di detto
proiettile da detta posizione radar (12),
in particolare, è inoltre prevista una fase (180) di
localizzazione di una postazione di sparo (19) in un

punto di detta traiettoria (20)

8. Un dispositivo radar (30) a scansione elettronica per determinare, da una posizione radar (12), una traiettoria (20) di un proiettile (1) emesso da uno sparo da una posizione di sparo incognita e attraversante una zona di osservazione (10) osservabile da detto radar, detto dispositivo radar (30) comprendendo:

- mezzi per eseguire una scansione radar di detta zona di osservazione (10), comprendenti:

- mezzi trasmettitori (31,41,52',52''), configurati per trasmettere un segnale radar (43) comprendente una forma d'onda periodica avente una frequenza (ν) compresa tra 4 GHz e 18 GHz;

- mezzi ricevitori (31,42) e di demodulazione (33) per ricevere e demodulare un segnale di ritorno (44',44'') restituito da detta zona di osservazione (10) in risposta a detto segnale radar (43);

- mezzi elaboratori (35) per elaborare detto segnale di ritorno (44',44'') e mezzi rilevatori (35) per ricostruire, in occasione di detto sparo, una traccia (18',18'') di detto proiettile (1), detta traccia (18',18'') comprendendo una pluralità di punti (71);

caratterizzato dal fatto che

- detti mezzi elaboratori (35) hanno una frequenza di campionamento (f_c) superiore a un determinato valore limite inferiore $f_{c,min}$ dipendente da detta frequenza (ν) di detto segnale radar (43), in particolare detto valore limite inferiore $f_{c,min}$ è definito dalla formula:

$$f_{c,min} = (40/3) \nu,$$

dove ν è la frequenza di detto segnale radar (43) espressa in GHz, e $f_{c,min}$ è espresso in kHz, **e dal fatto che**

- detti mezzi elaboratori (35) e detti mezzi rilevatori (35) sono configurati per operare con un tempo di integrazione coerente (TIC), in cui per una determinata lunghezza d'onda λ di detto segnale radar (43) detto tempo di integrazione coerente è compreso tra $10\lambda^{\frac{1}{2}}$ e $40\lambda^{\frac{1}{2}}$, in cui detta lunghezza d'onda λ è espressa in metri e detto tempo di integrazione coerente è espresso in millisecondi.
- 5
9. Un dispositivo radar (30) come da rivendicazione 8, in cui
10 detti mezzi elaboratori (35) sono configurati per ricostruire, a partire da detta traccia (18',18''), una retta (20) passante in prossimità di detti punti (71), in modo che detta retta possa essere assunta come detta traiettoria (20) di detto proiettile (10),
15 in particolare, detti mezzi elaboratori (35) sono configurati per eseguire una fase di backtracking e localizzare una postazione di sparo (19) in corrispondenza di un punto di detta traiettoria (20).
10. Un dispositivo radar (30) come da rivendicazione 8,
20 comprendente un sensore acustico (90) configurato per rilevare un'onda di compressione (91) prodotta da detto sparo in arrivo in detta posizione radar (12), in cui detto dispositivo radar (30) è configurato per interrompere una fase di localizzazione (180) di una
25 postazione di sparo (19) quando detta onda di compressione (91) inizia ad essere rilevata da detto sensore acustico (90).

p.p. I.D.S. - Ingegneria dei Sistemi - S.p.A.

CLAIMS

1. A method for determining a trajectory (20) of a bullet (1) emitted by a shot of a gun, said method comprising the steps of:

- 5 - defining an observation zone (10);
- defining a radar site (12);
- arranging (100) an electronic-scan radar device (30) at said radar site (12);
- scanning (125) said observation zone (10) by said
10 radar device (30), wherein said step of scanning (125) comprises the steps of:
 - emitting (130) a radar signal (43) comprising a periodic waveform that has a frequency (ν) set between 4 GHz and 18 GHz;
 - 15 - receiving and demodulating (140) a return signal (44',44'') back from said observation zone (10) in response to said radar signal (43);
 - processing (150) said return signal (44',44'') and reconstructing (161,162,164), when a bullet is
20 shot, a trace (18',18'') of said bullet (1), said trace (18',18'') comprising a plurality of points(71);

characterised in that said processing step (150) has a sampling rate (f_c) higher than a predetermined lower
25 limit value $f_{c,min}$ responsive to said frequency (ν) of said radar signal (43),

and in that said step of radar scanning (125) has a coherent integration time (TIC), for a predetermined wavelength λ of said signal, set between $10\lambda^{\frac{1}{2}}$ and $40\lambda^{\frac{1}{2}}$,
30 wherein said wavelength λ is expressed in metres and said coherent integration time is expressed in milliseconds.

2. A method according to claim 1, wherein said lower limit value $f_{c,min}$ is defined by the formula:

$$f_{c,min} = (40/3)\nu,$$

wherein v is the frequency of said radar signal (43) expressed in GHz, and $f_{c,min}$ is expressed in kHz

3. A method according to claim 1, comprising a step of computing (163), from said trace (18',18''), a line (20) passing proximate to said points (71), and said line (20) is assumed as said trajectory of said bullet (1), in particular, a plurality of fields of observation (13, 14, 15, 16) are defined in said observation zone (10), said fields (13, 14, 15, 16) having a vertex common at said radar site (12), and said step of computing (163) a line (20) provides a step (170) of merging tracks (18',18'') detected in fields (13, 16) that are distinct from each other.
4. A method according to claim 1, wherein said step of emitting (130) said radar signal (43) is carried out continuously during said step of radar scanning (125), in particular, said radar signal (43) is a continuous-wave radar signal, in particular said continuous-wave radar signal is selected from the group consisting of:
- a signal comprising a non-modulated continuous waveform (CW);
 - a signal comprising a linear frequency modulated continuous waveform (LFMCW).
5. A method according to claim 1, wherein said radar signal (43) is a range-gated signal (60), wherein said step of emitting said radar signal (43) is carried out for a predetermined emission duration (62') with a cadence (61) that is longer than said emission duration (62') in order to cause an attenuation of said return signal (44',44''), wherein said cadence (61) and said duration (62') are selected in such a way that said observation zone (10) is generated centred in said radar site (12) and defined by a maximum predetermined observation

distance (64), said attenuation being at a minimum at said maximum observation distance (64),
in particular, said method comprises a step of waiting a separation time after said emission duration (62') of
5 said step of transmission (130) and before said step of receiving and demodulating (140), in particular said separation time is set between 10 and 30 nanoseconds, more in particular, is about 20 nanoseconds.

6. A method according to claim 1, wherein said coherent
10 integration time (TIC), for a predetermined wavelength λ of said radar signal (43), is set between $20\lambda\frac{1}{2}$ and $35\lambda\frac{1}{2}$, in particular said coherent integration time (TIC) is set between $22\lambda\frac{1}{2}$ and $32\lambda\frac{1}{2}$.

7. A method according to claim 1, wherein said processing
15 step (150) comprises, for each point (71), steps of:
- determining (155) a speed of said bullet (1);
- determining (156) a angular coordinate of said bullet (1);
- determining (152', 157) the distance of said bullet
20 from said radar site (12),
in particular, a step is also provided (180) of detecting a shooting position (19) at a point of said trajectory (20).

8. An electronic scan radar device (30) for determining, from
25 a radar site (12), a trajectory (20) of a bullet (1), said bullet emitted by a shot from an unknown shooting position, and crossing an observation zone (10) observable from said radar, said radar device (30) comprising:

- a radar scan means for carrying out a radar scanning
30 of said observation zone (10), comprising:
- an emission means (31, 41, 52', 52''), configured for emitting a radar signal (43) comprising a periodic waveform having a frequency (ν) set between 4 GHz and 18 GHz;

- a reception (31,42) and demodulation (33) means for receiving and demodulating a return signal (44',44'') back from said observation zone (10) in response to said radar signal (43);
- 5 - a signal processing means (35) for processing said return signal (44',44'') and a detection means (35) for reconstructing, at said shot, a trace (18',18'') of said bullet (1), said trace (18',18'') comprising a plurality of points or
- 10 plots (71);

characterised in that

- said signal processing means (35) has a sampling rate (f_c) higher than a predetermined lower limit value $f_{c,min}$ responsive to said frequency (v) of said
- 15 radar signal (43), in particular said lower limit value $f_{c,min}$ is defined by the formula:

$$f_{c,min} = (40/3)v,$$

where v is the frequency of said radar signal (43) expressed in GHz, and $f_{c,min}$ is expressed in kHz,

20 and **in that**

- said signal processing means (35) and said detection means (35) are configured for operating at a coherent integration time (TIC) wherein, for a predetermined wavelength λ of said radar signal (43), said coherent
- 25 integration time is set between $10\lambda^{1/2}$ and $40\lambda^{1/2}$, wherein said wavelength λ is expressed in metres and said coherent integration time is expressed in milliseconds.

9. A radar device (30) according to claim 8, wherein said
- 30 signal processing means (35) is configured for reconstructing, starting from said trace (18',18''), a line (20) passing proximate to said points (71), such that said line can represent said trajectory (20) of said bullet (10),

in particular, said signal processing means (35) is configured for carrying out a step of backtracking and of localizing a shot position (19) at a point of said trajectory (20).

- 5 **10.** A radar device (30) according to claim 8, comprising an acoustic sensor (90) configured for detecting a compression wave (91) produced by said shot and travelling towards said radar site (12), wherein said radar device (30) is configured for stopping a step of localizing (180)
10 a shot position (19) when said compression wave (91) begins to be detected by said acoustic sensor (90).

Fig. 1

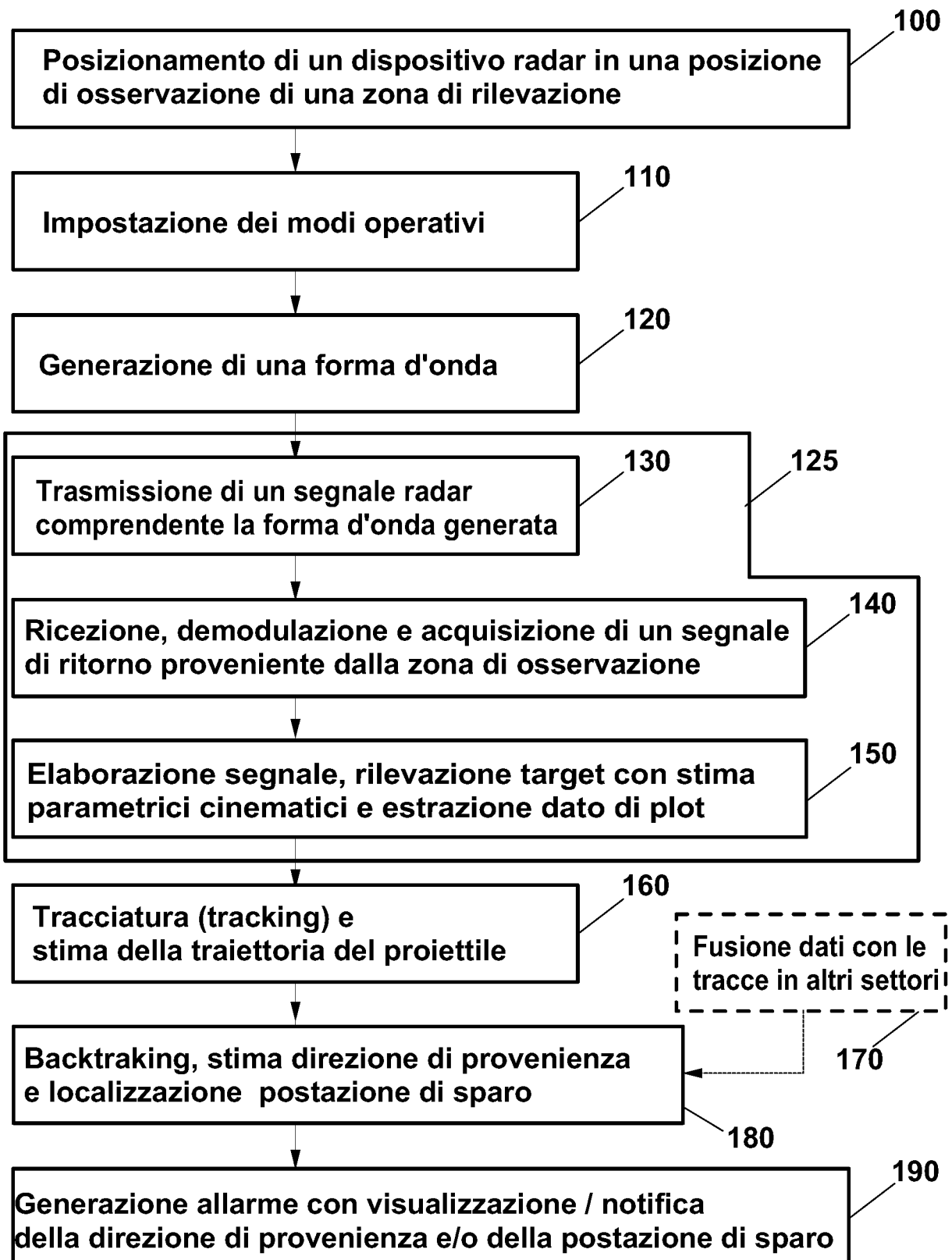


Fig. 2

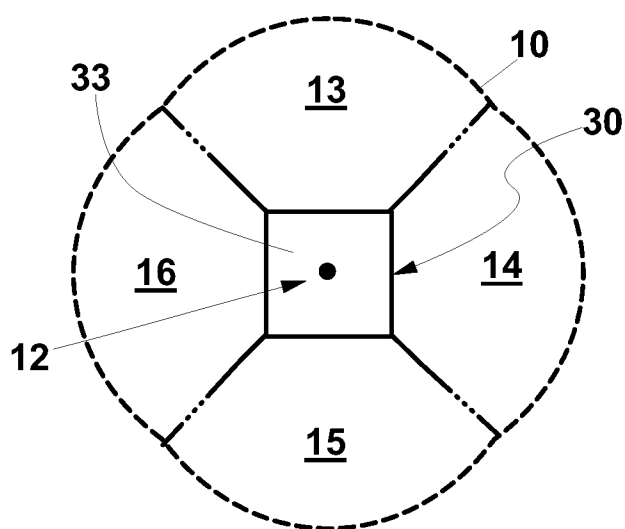


Fig. 3

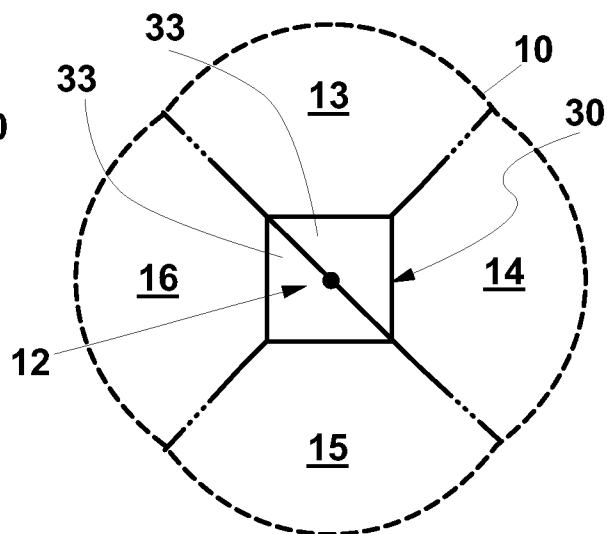


Fig. 4

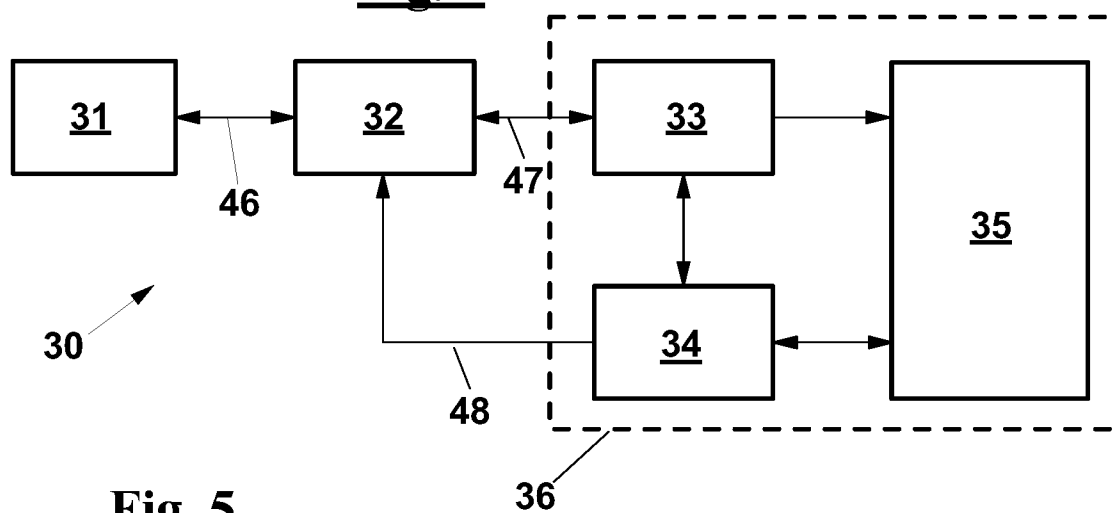


Fig. 5

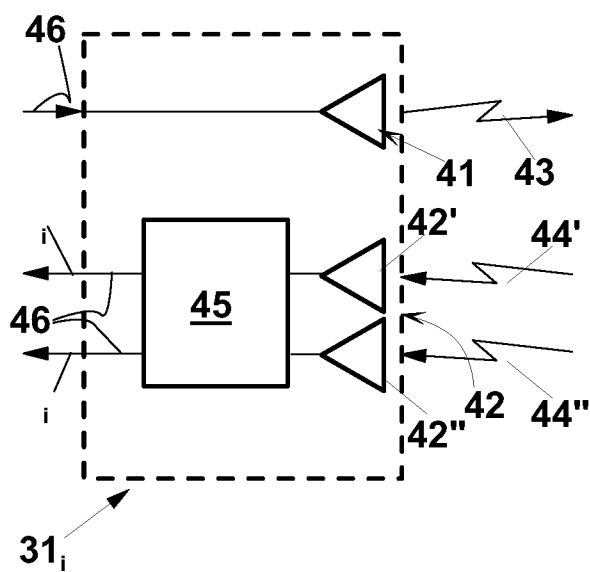
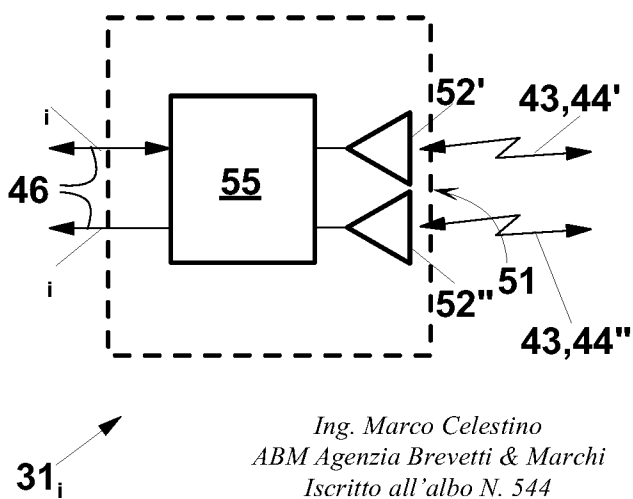


Fig. 6



Ing. Marco Celestino
ABM Agenzia Brevetti & Marchi
Iscritto all'albo N. 544

Fig. 7

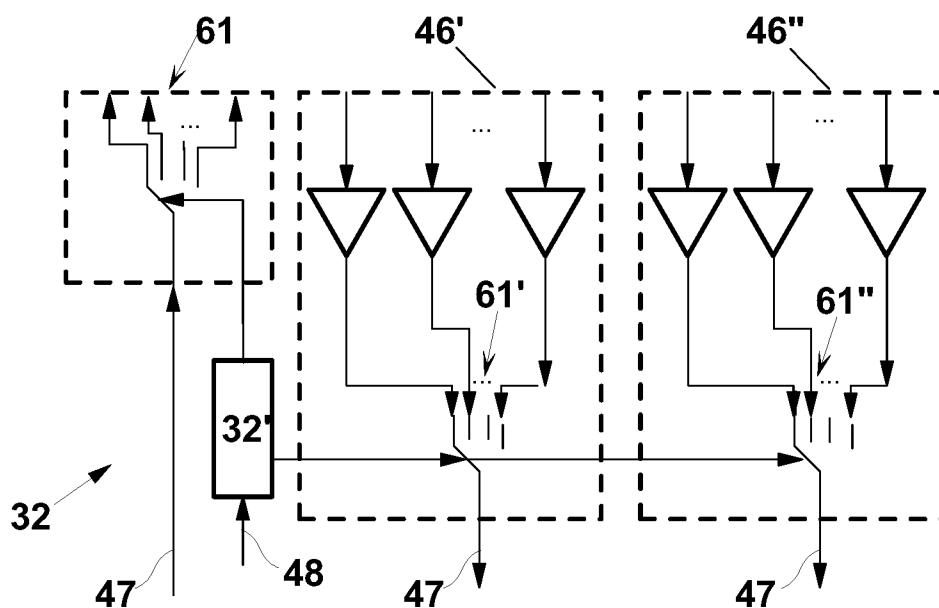


Fig. 8

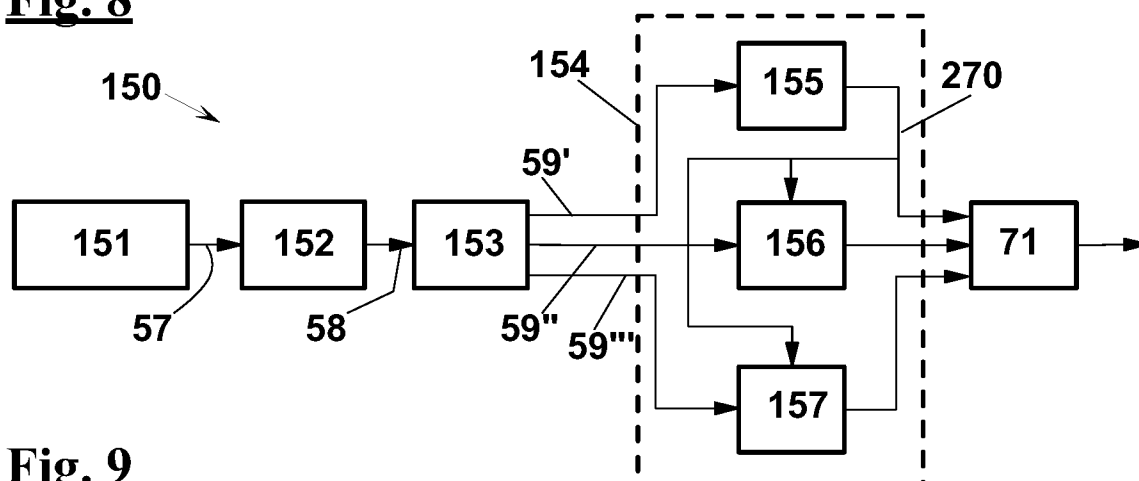


Fig. 9

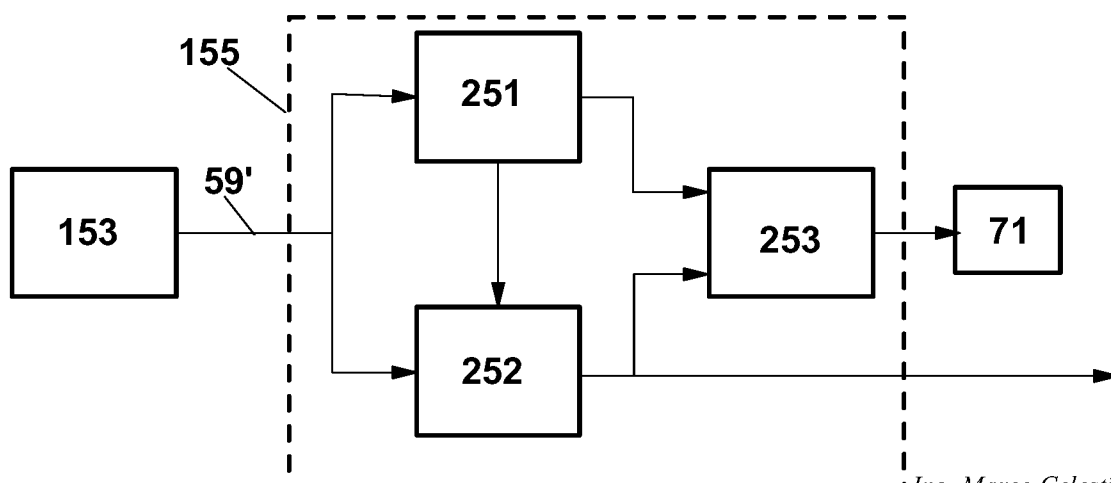


Fig. 10

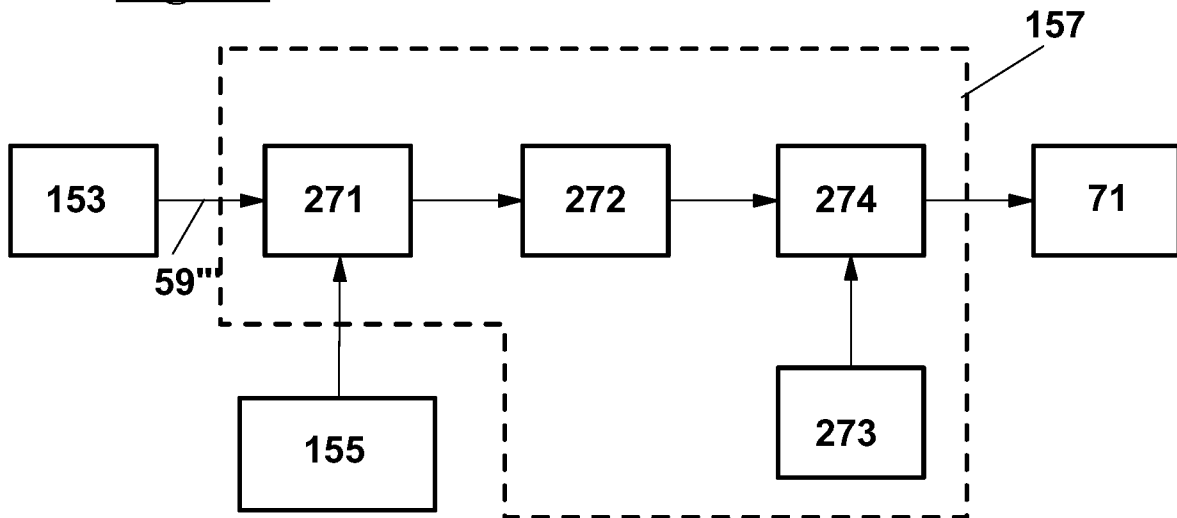


Fig. 11

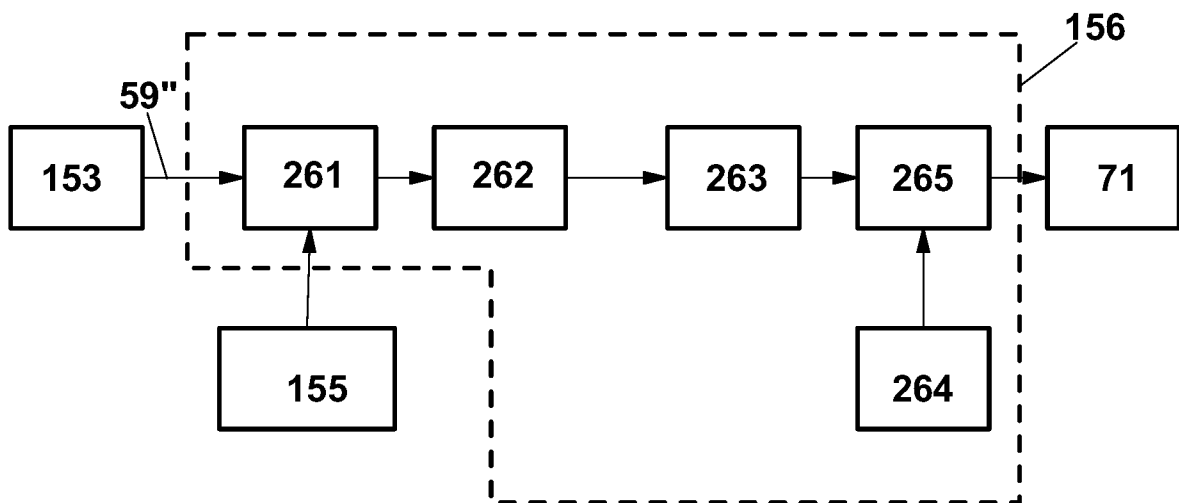


Fig. 12A

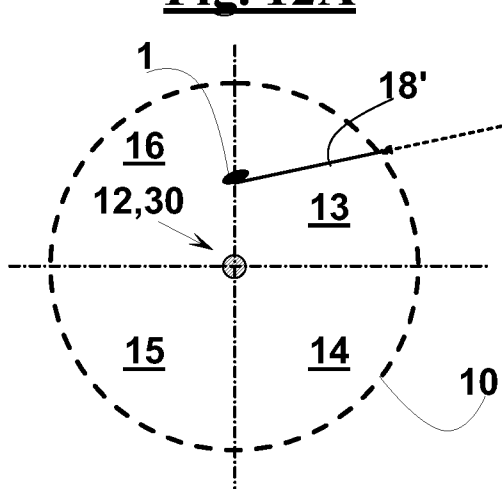


Fig. 12B

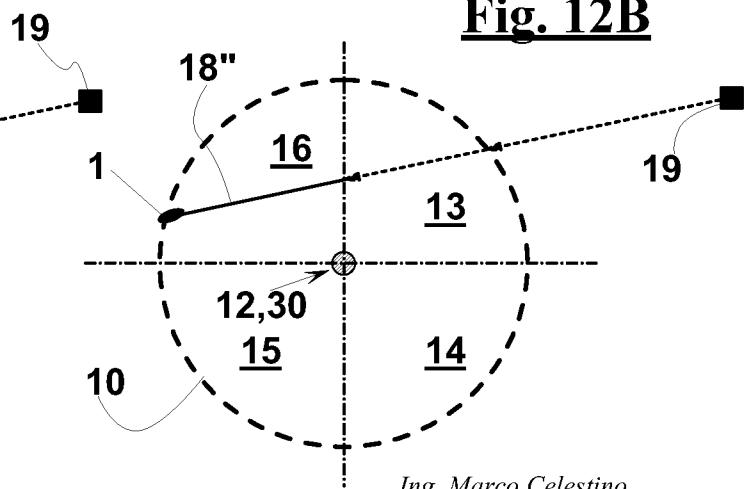


Fig. 12C

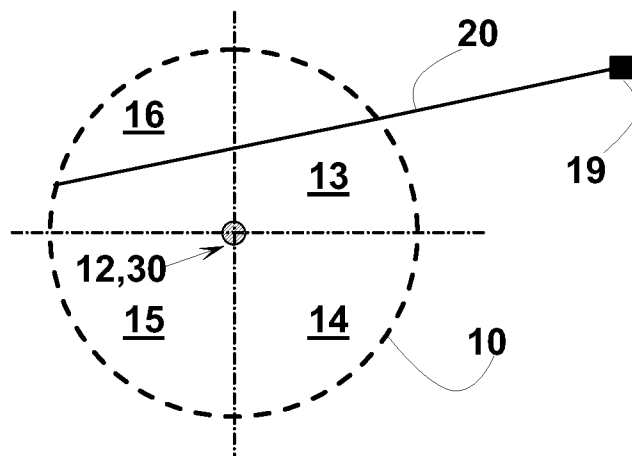


Fig. 13

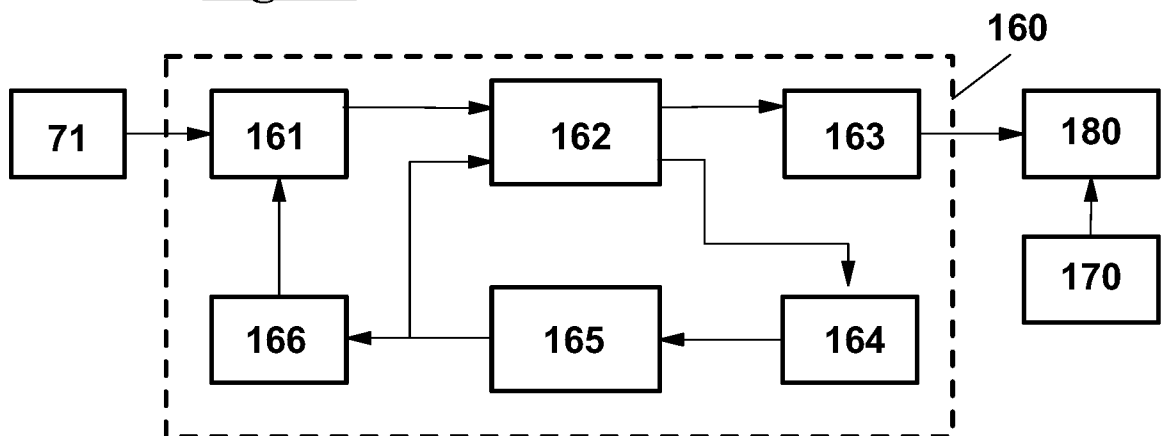
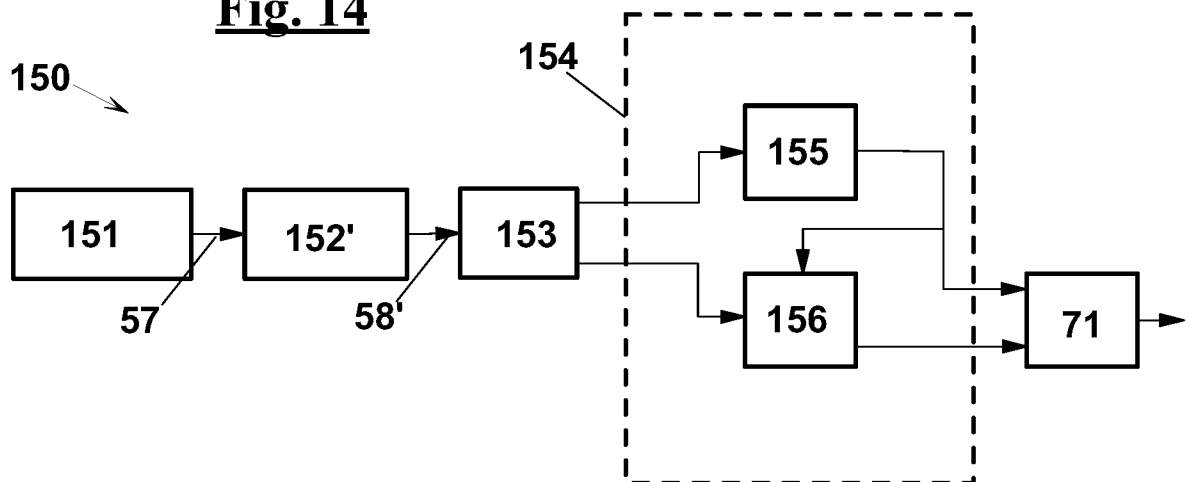


Fig. 14



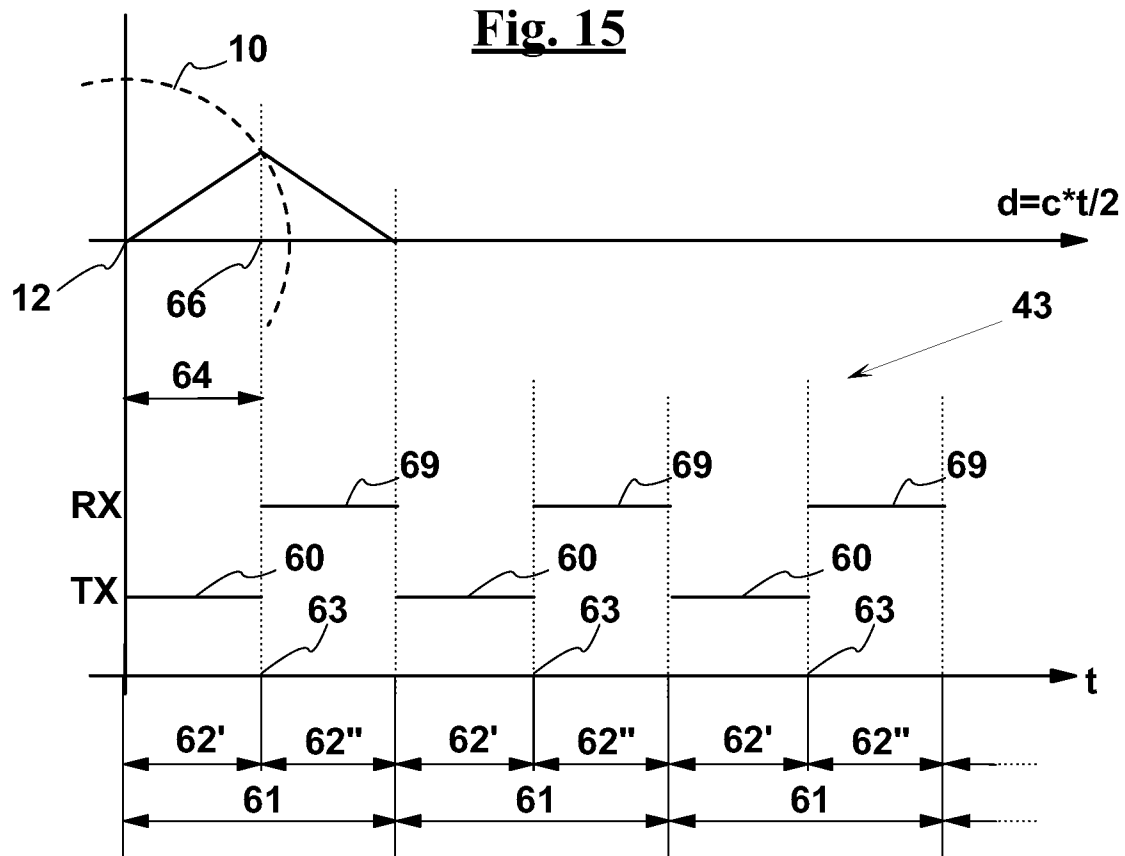


Fig. 16

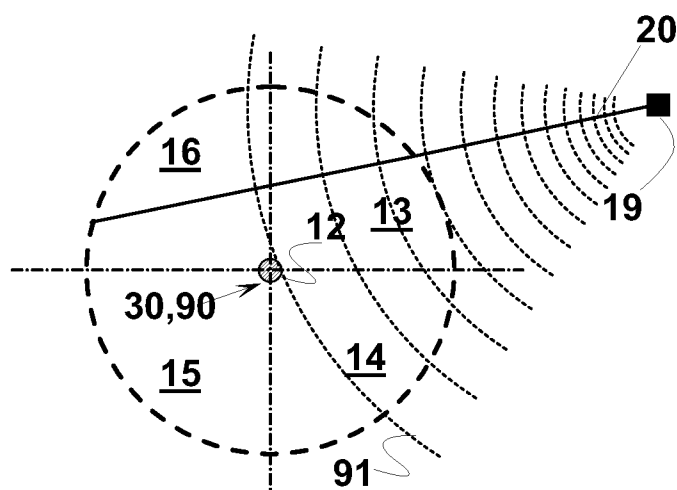


Fig. 17

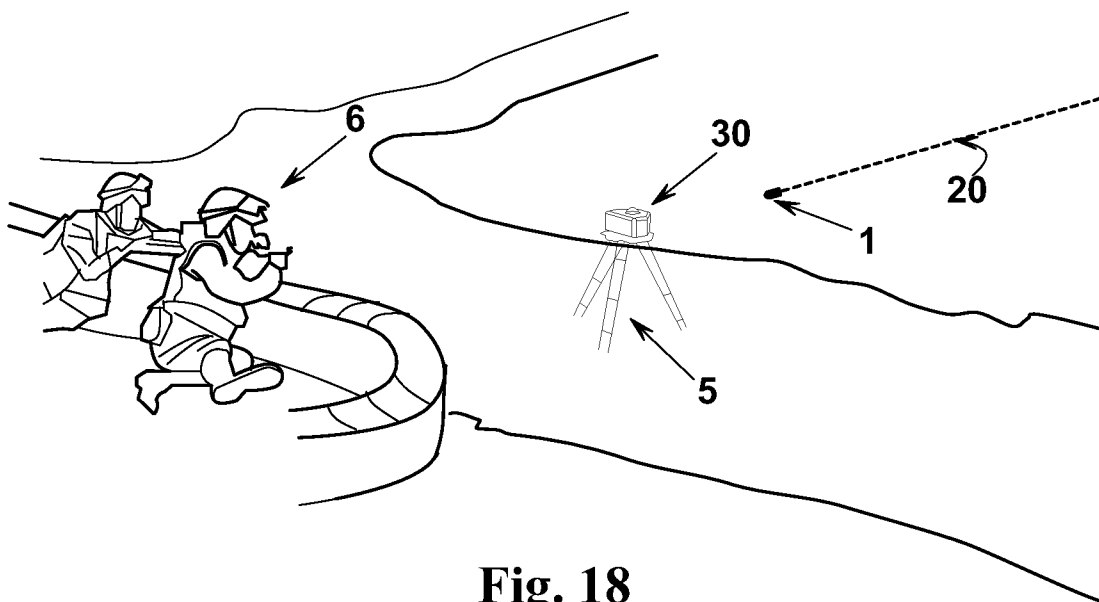


Fig. 18

