

UNIVERSITÀ DI PISA

Scuola di Dottorato in Ingegneria “Leonardo da Vinci”



**Corso di Dottorato di Ricerca in
TELERILEVAMENTO**

Tesi di Dottorato di Ricerca

ELABORAZIONE DEL SEGNALE IN UN RADAR HF TIPO SKYWAVE

Autore:

Ing. Rocco SOLETI _____

Relatori:

Prof. Enzo Dalle Mese _____

Pof. Fabrizio BERIZZI _____

Anno 2007

Abstract

This thesis is focused on the processing, the analysis and the simulation of the received signal of a HF-OTH skywave radar. More precisely, this work aims to identify and model the main components of a HF-OTH skywave radar received signal, in order to provide a realistic simulated input that can be used as test-bed for the signal processing algorithms validation. The effectiveness of the received signal model is validated by analyzing the Doppler-azimuth spatial frequency spectrum of moving single scatterer targets immersed in sea clutter.

HF-OTH skywave radars provide surveillance over wide areas, as well as great remote sensing capabilities, by exploiting the long range skywave propagation of high frequency e.m. waves through the ionosphere. The remarkable advantage of using the ionospheric channel, introduces, as a consequence, a very strong radar signal corruption. Nevertheless it should be noted that the progresses in the signal processing field of the last decades ensure powerful techniques for mitigating the propagation media distortions.

The ability of simulating an expected received radar signal is therefore an essential task in order to design and tune the signal processing architecture that should be implemented by the radar system.

In this thesis a model of HF-OTH skywave radar received signal is analysed and simulated. The considered model is inclusive of a single scatterer target echo, a noise component and an interference component. Specifically the interference component contains clutter, jamming and external noise. The effect of ionospheric drift has been included, too.

Concerning the processing technique we have considered exact and iterative method. Specifically, we have implemented the method of Jacobi, Seidel and Krylov. The latter is an exact method but has been used as iterative, the first two method are purely iterative. We test the computational effort needed for each method and finally for the best one we have given some performance measure.

As a matter of fact, our effort aims to realize both a realistic simulated input able of being a reliable test-bed for the signal processing algorithms validation and a feasible processing schema that exploit the benefit of a joint space-time processing technique.

This work should be considered the starting point for the development of a simulation framework for HF-OTH skywave radars. An area of future investigation will definitely be the propagation media and the implementation of efficient technique to estimate the interference covariance matrix. In fact, complicated physical mechanisms like multi-path fading, dispersion, Doppler ionosphere modulation, waves canalization, multiple hops, fluctuations in signal polarization, which mainly occur in specific ionosphere conditions, are not included at this stage. Furthermore, the test has been carried out using the empirical estimate for the covariance matrix.

Sommario

Il segnale di un radar HF-OTH Skywave è composto da una serie di contributi che tipicamente non esistono in altre bande, quali ad esempio il rumore esterno. Inoltre in questa banda i disturbi tipici quali il clutter presentano delle caratteristiche spettrali che in altre bande non esistono: effetto Bragg. E' evidente perciò come sia necessario calibrare opportunamente anche l'elaborazione del segnale.

A tal proposito la ricerca svolta nel tema assegnato è stata la seguente:

- 1. Sviluppo di modelli di generazione del rumore ambientale, cosmico e man-made*
- 2. Sviluppo di modelli di clutter di mare basati su segnale a fase polinomiale e sinusoidale*
- 3. Sviluppo di tecniche di elaborazione STAP del segnale radar HF OTH con metodi di inversione della matrice sia esatti che iterativi.*

Più precisamente con il termine rumore esterno si intende la composizione degli effetti di interferenza dovuti ai fenomeni atmosferici, alle radiazioni elettromagnetiche provenienti dalla galassia e a disturbi non intenzionali derivanti dalle attività umana. Le prime due componenti costituiscono fonti di disturbo naturale e vengono tipicamente identificate come "rumore ambientale" e sono dovute a: 1) scariche elettriche atmosferiche; 2) rumore generato dai corpi celesti (il sole ne è un classico esempio); 3) rumore derivante dalle emissioni radio provenienti dalle galassie. L'ultima componente, cosiddetta "rumore artificiale (o jamming) e interferenza di canale", è costituita da: rumore derivante da macchinari elettrici, rumore generato all'atto dell'accensione di un motore a combustione dalla scintilla delle candele e radiazioni prodotte da sistemi di telecomunicazione (ad es. stazioni radio). E' chiaro dunque che la caratterizzazione statistica del rumore è un passo fondamentale per poter pianificare correttamente una strategia di ricezione. Si sottolinea infine come la natura del rumore esterno abbia una marcata dipendenza geografica e temporale (segue il ciclo un decennale dell'attività solare).

Nel caso HF, il clutter di mare presenta delle componenti risonanti del primo e del secondo ordine (effetto Bragg) con un contributo sensibile nello spettro. Nel caso di clutter di terra si avrà una riga spettrale dominata a Doppler zero la cui larghezza di banda dipenderà dalla tipologia del terreno. Ciò impone un limite sulle capacità di rivelare del radar HF nei confronti di bersagli che procedono a lento moto, ossia di bersagli con Doppler prossima allo zero. Anche per il clutter è stato proposto, nel caso del mare, un modello che tiene conto della fisicità del fenomeno e che si adatta al caso di elaborazione congiunto spazio-tempo.

Gli effetti dell'interferente così ottenuto (clutter+jamming) possono essere mitigati facendo uso di tecniche di elaborazione del segnale che sfruttano l'analisi congiunta nello spazio e nel tempo: tecniche STAP (Space Time Adaptive Processing). I significativi passi in avanti condotti in questo ultimo ventennio nell'ambito della elaborazione dei segnali hanno reso queste tecniche molto interessanti. Tuttavia è bene precisare che con il termine STAP si abbracciano una serie di tecniche che fondano le loro radici su un passato solido e comune, che è quello dell'array signal processing, dal quale partono molteplici filoni di ricerca. Nella fattispecie, il problema dell'elaborazione del segnale, almeno in prima battuta, si traduce nella soluzione di un sistema lineare di dimensione pari a $N \times M$, dove N è pari al numero degli elementi dell'array ed M è pari al numero di impulsi

che si vuole processare coerentemente. I metodi di soluzione dei sistemi di equazioni lineari si dividono in generale in due gruppi: 1) metodi esatti che sono algoritmi finiti di calcolo delle radici del sistema e 2) metodi iterativi che permettono di ottenere le radici del sistema con la precisione dei processi convergenti infiniti. Nel percorso di studio sono stati utilizzati metodi appartenenti ad entrambi i gruppi. In particolare sono stati valutati i seguenti metodi iterativi: metodo di Richardson, metodo di Jacobi, Metodi di Gauss-Seidel. Mentre per i metodi diretti sono stati utilizzati il metodo di eliminazione di Gauss e il metodo del gradiente coniugato (che è uno dei metodi di Krylov). Riguardo quest'ultimo metodo va specificato che, sebbene si tratti di un metodo esatto, è stato utilizzato alla stregua di un metodo iterativo, fornendo risultati superiori ad ogni altro metodo utilizzato. In particolare è riuscito dove gli altri metodi hanno fallito e laddove è possibile effettuare un paragone si riportano considerevoli guadagni in termini di tempo macchina di esecuzione.

In conclusione il lavoro svolto si può suddividere in due gradi filoni:

- 1. Simulazione del segnale radar HF OTH, che è stata estesa al caso più generico di array 2D;*
- 2. Elaborazione STAP del segnale radar HF OTH con metodi di inversione della matrice sia esatti che iterativi.*

I risultati ottenuti mettono in evidenza come i metodi di Krylov, e nella fattispecie la versione per matrici definite positive: il metodo del gradiente coniugato, siano metodi promettenti e degni di ulteriori investigazioni. Furthermore, the test has been carried out using the empirical estimate for the covariance matrix.

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
1. CARATTERISTICHE DEI RADAR HF OTH.....	3
1.1 <i>Introduzione</i>	3
1.2 <i>Peculiarità di un radar HF OTH Skywave</i>	5
1.3 <i>Caratteristiche dei radar HF OTH esistenti</i>	7
1.3.1 AN/FPS-118	7
1.3.2 Nostradamus	8
1.3.3 Jindalee Over The Horizon Network JORN	8
1.4 <i>Analisi Preliminare</i>	9
1.5 <i>Conclusioni</i>	13
<i>Appendice</i>	14
2. GENERAZIONE DEL SEGNALE RADAR HF	17
2.1 <i>Introduzione</i>	17
2.2 <i>Modello del segnale ricevuto</i>	20
2.2.1 Il modello del rumore interno	21
2.2.2 Il modello del bersaglio	21
2.2.3 Il modello del jamming.....	25
2.2.4 Il modello del rumore esterno	28
2.2.5 Il modello del clutter	33
2.2.5.1 <i>Il clutter di terra</i>	34
2.2.5.2 <i>Il clutter di mare</i>	34
2.3 <i>Effetti dei moti di trasporto ionosferico</i>	39
2.4 <i>Conclusioni</i>	48
3. ELABORAZIONE DEL SEGNALE RADAR HF	49
3.1 <i>Introduzione</i>	49
3.2 <i>Metodi convergenti infiniti</i>	52
3.2.1 Metodo di Jacobi	54
3.2.2 Metodo di Seidel.....	55
3.3 <i>Metodi di Krylov</i>	55
3.4 <i>Metodi convergenti infiniti e metodi di krylov a confronto</i>	64
3.5 <i>Conclusioni</i>	70
4. METRICHE E PRESTAZIONI.....	71
4.1 <i>Introduzione</i>	71
4.2 <i>Rapposrto segnale interferente - SINR</i>	72

4.3 Le perdite medie $LOSS_m$	74
4.4 Il fattore di miglioramento - IF	76
4.5 Matrice di covarianza dell'interferente	76
4.6 La risposta nel dominio Angol-Doppler del set dei pesi	79
4.7 Effetti dell'algoritmo di stima della matrice di covarianza	82
4.8 Conclusioni	95
5. CONCLUSIONI	97
BIBLIOGRAFIA	99