

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



317

NICE du 16 au 20 MAI 1983

ANALYSE DES TRAJETS MULTIPLES DANS UNE TRANSMISSION PAR UN RADAR A VISION LATERALE BISTATIQUE

F. CHRISTOPHE, P. GOLE, G. JOUANNELLE

ONERA - 29, Avenue de la Division Leclerc - BP. 72 - 92322 CHATILLON CEDEX

RESUME

Afin de définir les caractéristiques d'un moyen d'analyse des trajets multiples dans une liaison VHF, fondé sur les principes du radar bistatique à vision latérale, on évalue les réponses à des échos de sol ponctuels et diffus.

Les calculs présentés mettent en évidence les limites d'une telle méthode de cartographie, et peuvent servir à l'étude des effets d'un modèle de terrain sur les systèmes de transmission ou de localisation au voisinage du sol.

SUMMARY

In order to define the characteristics of a multipath measurement device for a VHF radiolink, which is based upon the principles of the bistatic side looking radar, the responses to point-like and diffuse ground scatterers are investigated.

The calculations presented here show the limitations inherent to this mapping method, and may be used to study the effects of terrain models on transmission or direction finding systems close to the ground.



ANALYSE DES TRAJETS MULTIPLES DANS UNE TRANSMISSION
PAR UN RADAR A VISION LATÉRALE BISTATIQUE

1. INTRODUCTION

L'utilisation optimale d'un canal de transmission suppose la connaissance de ses caractéristiques, qu'il est d'usage de réduire à des statistiques de dispersion temporelle et fréquentielle [1].

Dans le cas que nous considérons ici, d'une liaison hertzienne au dessus d'un sol irrégulier avec une extrémité mobile, chaque diffuseur provoque l'apparition d'une composante retardée par rapport au trajet direct, s'il existe, et affectée d'un décalage de fréquence Doppler. Plusieurs expérimentateurs ont fourni pour les bandes VHF et UHF de transmission vers un mobile, des données de dispersion temporelle en zone urbaine ou rurale [2], [3], [4] et plus rarement en raison sans doute des difficultés pratiques, des données de dispersion Doppler [5].

Une cartographie des échos de sol provoquant ces trajets multiples, fournit directement les valeurs de dispersion, et permet en outre une évaluation des performances de systèmes de localisation ; mais elle requiert une connaissance précise de la trajectoire de l'antenne mobile sur une distance de plusieurs dizaines de longueurs d'onde, et la cohérence entre les stations d'émission et de réception au cours du déplacement.

L'ONERA a déjà appliqué une telle méthode, qu'on peut qualifier de radar bistatique à vision latérale, à des trajets air-sol en VHF [6], et envisage une expérimentation sur des liaisons sol-sol pour lesquelles peuvent surgir des difficultés supplémentaires liées au masquage du trajet direct ou à des échos à proximité du point mobile.

Nous dégageons dans ce qui suit les relations qui permettent de définir le moyen de mesures capable de fournir une cartographie des trajets multiples intervenant dans une telle liaison.

2. ECHOS PONCTUELS

La figure 1 définit les paramètres géométriques d'une liaison hertzienne de longueur d'onde λ et de largeur de bande $1/\Delta\tau$ entre un émetteur (ou récepteur) fixe B et un récepteur (ou émetteur) A qui décrit à vitesse v la portion de trajectoire a. Un diffuseur M peut être localisé par son retard relatif par rapport au trajet direct $\tau = (R_1 + R_2 - D)/c$ avec une résolution $\Delta\tau$, par son écart de fréquence Doppler (rapportée également à la fréquence Doppler du trajet direct) $f = [\cos(\theta - \alpha) - \cos\alpha] \cdot v/\lambda$ avec une résolution $\Delta f = a/v$. Le point M se trouve ainsi à l'intersection de l'ellipse de foyers A et B définie par le retard τ , et du lobe du réseau synthétique formé par la trajectoire a de l'antenne mobile.

La puissance relative de cette composante diffusée par M, rapportée à celle du trajet direct, s'écrit pour une section efficace radar bistatique du diffuseur σ éclairé sans perte de gain par les deux aériens :

$$P_R / P_D = \frac{\sigma}{4\pi} \left(\frac{D}{R_1 R_2} \right)^2$$

Lorsqu'on suppose une propagation en espace libre sur les différents trajets émetteur-récepteur, émetteur-diffuseur et diffuseur-récepteur.

Cette dernière hypothèse est en fait peu réaliste à proximité du sol, et on lui préférera un modèle en terre plane tenant compte d'une interférence avec l'onde réfléchie, que l'on peut traduire pour

des distances supérieures à la distance de transition R_L par un affaiblissement supplémentaire $(R/R_L)^2$ dans chacune des liaisons.

Nous nous bornerons ici à considérer un sol de coefficient de réflexion - 1 pour lequel la distance de transition s'écrit $R_L = 4\pi h h' / \lambda$ à la longueur d'onde λ , h et h' étant les altitudes de chaque extrémité.

L'application de cet affaiblissement supplémentaire à chacune des 3 liaisons précédentes conduit au nouveau rapport de puissance :

$$P_R / P_D = \frac{\sigma}{\lambda^2} \left(\frac{h D}{R_1 R_2} \right)^4$$

pour une altitude h du diffuseur.

La figure 2 représente l'évolution de cette puissance relative dans l'hypothèse envisagée de variation du champ en R^{-2} , en fonction du retard par rapport au trajet direct et de l'angle d'incidence au point mobile. La grande dynamique de variation qui apparaît sur cette représentation pour un retard donné - et notamment pour des valeurs faibles de ce retard - nécessite une réjection supplémentaire des lobes latéraux du traitement angulaire - ou traitement Doppler - par rapport au radar monostatique, lorsqu'on voudra localiser plusieurs échos de même retard.

Une difficulté de même ordre est mise en évidence par cette représentation, et provient de l'ambiguïté de la localisation angulaire qui fournit le cosinus de l'angle d'incidence avec la trajectoire de l'antenne mobile (celle-ci est de faible directivité pour ressembler aux antennes des systèmes de transmission ou de localisation omnidirectionnels envisagés). Néanmoins, les points ambigus d'angles symétriques par rapport à la trajectoire et sur la même ellipse de retard donné, peuvent être séparés s'ils sont à des distances R_1 et R_2 suffisamment différentes au sens de la résolution longitudinale (en champ proche) du réseau synthétique d'extension a :

$$1/R_1 - 1/R_2 > \lambda/a^2 \sin^2(\theta - \alpha)$$

On ne pourra cependant bénéficier de cette réjection de champ proche que si les échos restent stables - en phase et amplitude - pour toute la trajectoire a de l'antenne mobile, alors que l'angle de bistatisme aura varié de $a \sin(\theta - \alpha)/R_2$. A cette dernière restriction près, on peut également dissymétriser la réponse du réseau synthétique par une trajectoire non rectiligne.

En tout état de cause, la présence de diffuseurs à proximité de l'antenne mobile restreindra donc la localisation des autres diffuseurs de même retard.

3. ECHOS DIFFUS

A la différence des échos ponctuels envisagés précédemment (arbres ou accidents de relief isolés, bâtiments...) les échos étendus définis par exemple par l'irrégularité moyenne du sol et de la végétation, rendent nécessaire l'évaluation de la surface des cellules de résolution angle-distance du radar.

La répartition dans le plan de cette surface élémentaire de résolution est présentée figures 3 et 4 pour deux valeurs (90° et 45°) de l'angle α entre la trajectoire d'analyse et la direction émetteur-récepteur ; on retrouve aux distances grandes devant D le comportement en $R \Delta R \Delta(\sin(\theta - \alpha))$

ANALYSE DES TRAJETS MULTIPLES DANS UNE TRANSMISSION
PAR UN RADAR A VISION LATERALE BISTATIQUE

du radar monostatique à vision latérale, mais les différences entre les deux systèmes sont manifestes aux distances inférieures.

La combinaison de l'affaiblissement calculé au paragraphe précédent et de la surface de la cellule de résolution fournit maintenant un bilan de liaison relatif sur écho diffus (figure 5).

Un hypothétique terrain présentant une densité de gris uniforme et indépendante de l'angle de bistatisme, pour lequel une distance de transition puisse être définie (terrain constitué d'un grand nombre de diffuseurs petits devant la longueur d'onde et à déphasage aléatoire, modèle simple qui peut être proposé pour un terrain boisé en HF - VHF [7]) aurait alors sur un système de transmission un effet que caractérisent les dispersions fréquentielle et temporelle (figures 6 et 7) obtenues par intégration parallèlement aux axes $c\tau$ et $f\lambda/\alpha$ de la figure 5. Les modèles de propagation et de diffusion moyenne ne sont cependant pas valables au voisinage de l'antenne mobile - zone pour laquelle en outre l'intégration serait divergente - et les courbes obtenues ne peuvent donc pas rendre compte du comportement à proximité immédiate du trajet direct.

4. CONCLUSIONS

Les calculs qui ont été développés afin de dimensionner un moyen de mesure mettent en évidence les limites d'une cartographie du sol par une méthode bistatique. Nécessaires à l'interprétation des résultats expérimentaux, ils constituent également une étape de l'évaluation des effets d'un modèle donné de terrain sur les systèmes de transmission ou de localisation.

REFERENCES

[1] P.A. BELLO (1977) - A Review of Signal Processing for Scatter Communications. AGARD - EPP Symposium - Cambridge, Massachusetts 3-7/10/77.

[2] H.F. SCHMID - A prediction Model for Multipath Propagation of Pulse Signals at VHF and UHF over Irregular Terrain - IEEE-TAP : Vol AP-18 N° 2, May 1970

[3] D.C. COX - Correlation Bandwidth and Delay Spread Multipath Propagation Statistics for 910 MHz Urban Mobile Radio Channels - IEEE Trans on Communications, Vol Com 23 N° 11, Nov. 1975

[4] L. LADELL - Multipath Characteristics at UHF in rural irregular terrain AGARP - EPP Symposium - Cambridge, Mass. 3-7/10/77

[5] D.C. COX - 910 MHz Urban Mobile Radio Propagation : Multipath Characteristics in New York City IEEE Transactions on Communications - Vol 21 N° 11 Nov. 1973

[6] D. MEDYNSKI, J. FRITZ, J. DOREY - Etude Expérimentale des Trajets Multiples Par une Méthode bistatique de Synthèse d'Ouverture - La Recherche Aéronautique - 1981, N° 1

[7] H.F. Backscatter From Terrain With Trees - J.G. STEELE - Proc. IEEE, vol 55 N° 9 - Sept. 1967

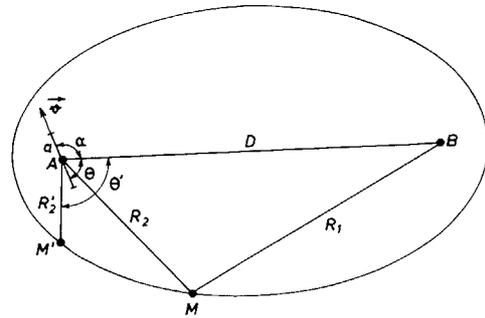


Fig. 1 - Géométrie du radar synthétique bistatique

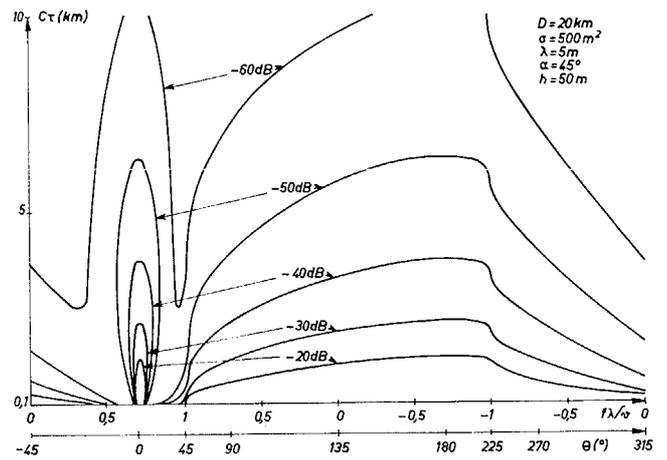


Fig. 2 - Affaiblissement relatif par rapport au trajet direct (échos ponctuels).

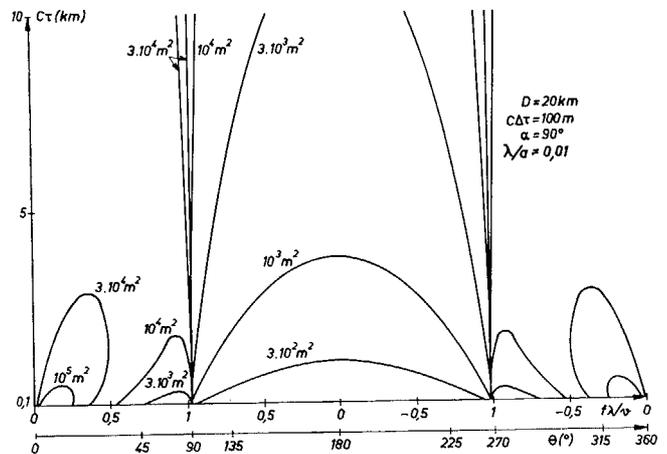


Fig. 3 - Surface des cellules de résolution.



ANALYSE DES TRAJETS MULTIPLES DANS UNE TRANSMISSION
PAR UN RADAR A VISION LATÉRALE BISTATIQUE

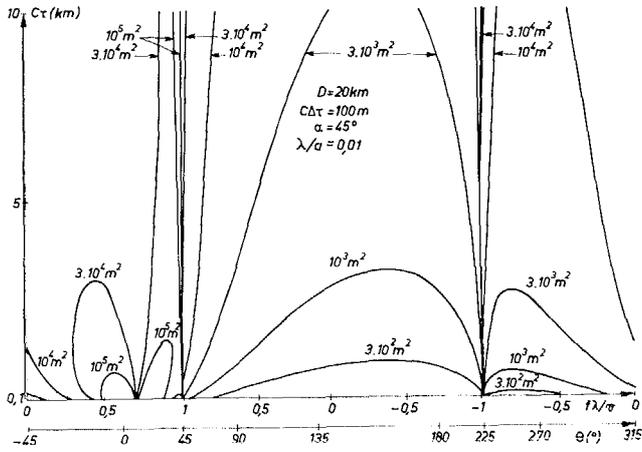


Fig. 4 - Surface des cellules de résolution.

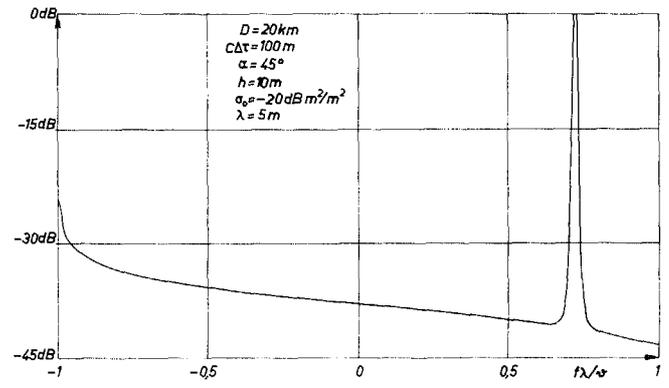


Fig. 6 - Réponse fréquentielle. Terrain uniforme.

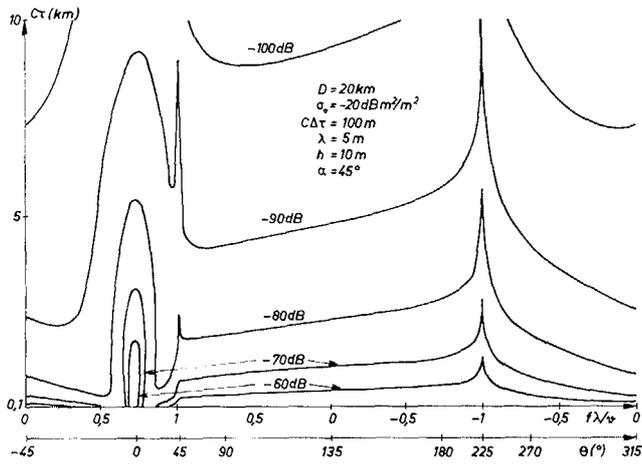


Fig. 5 - Affaiblissement relatif par rapport au trajet direct (échos diffus).

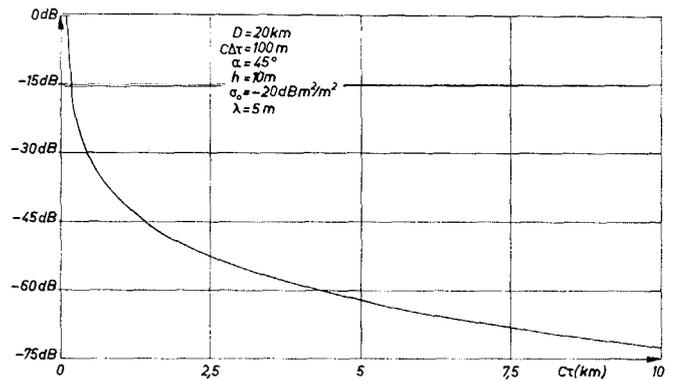


Fig. 7 - Réponse temporelle. Terrain uniforme.