

AD-A037 590

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT OTTAWA (ONTARIO)

F/G 17/9

SIMULATED INTERFEROGRAMS OF THE MODIFIED APS-94 MOTOROLA RADAR --ETC(U)

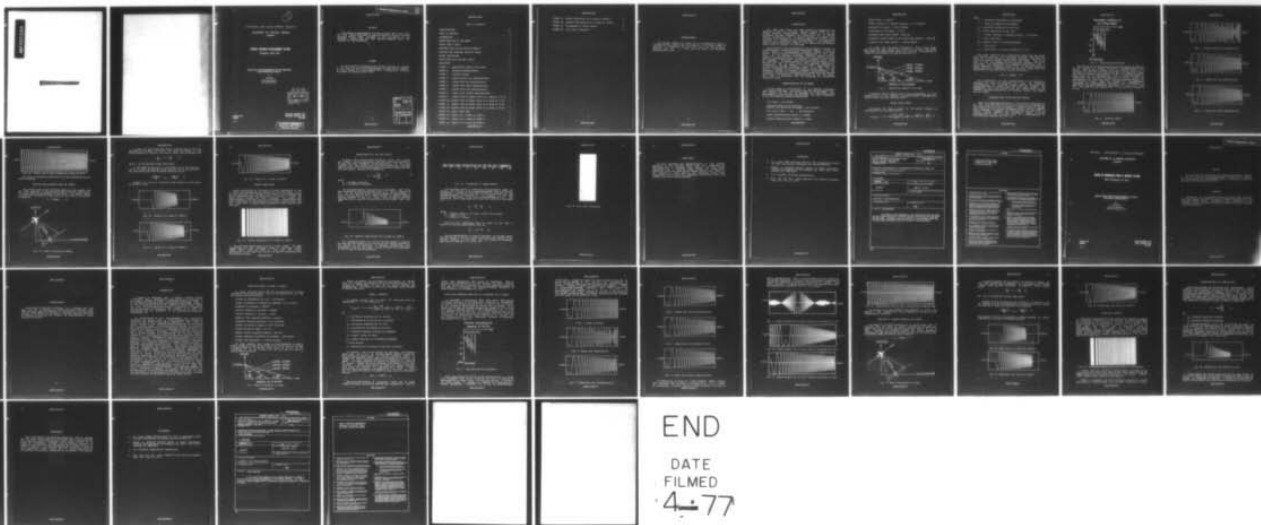
JAN 77 N BROUSSEAU

UNCLASSIFIED

DREO-TN-76-32

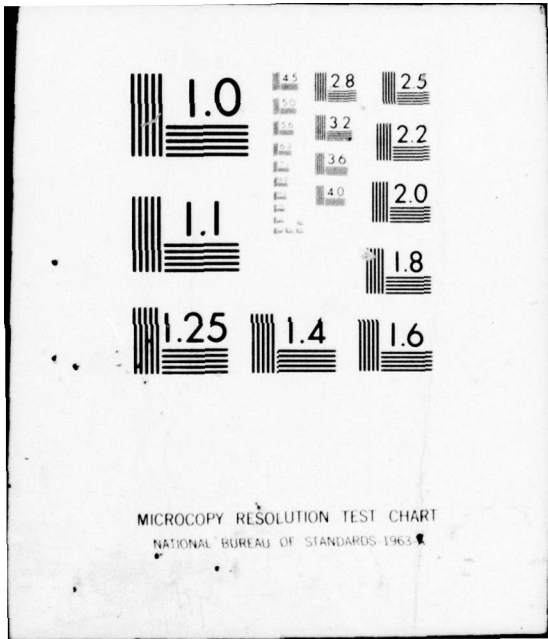
NL

1 OF 1
AD A037 590



END

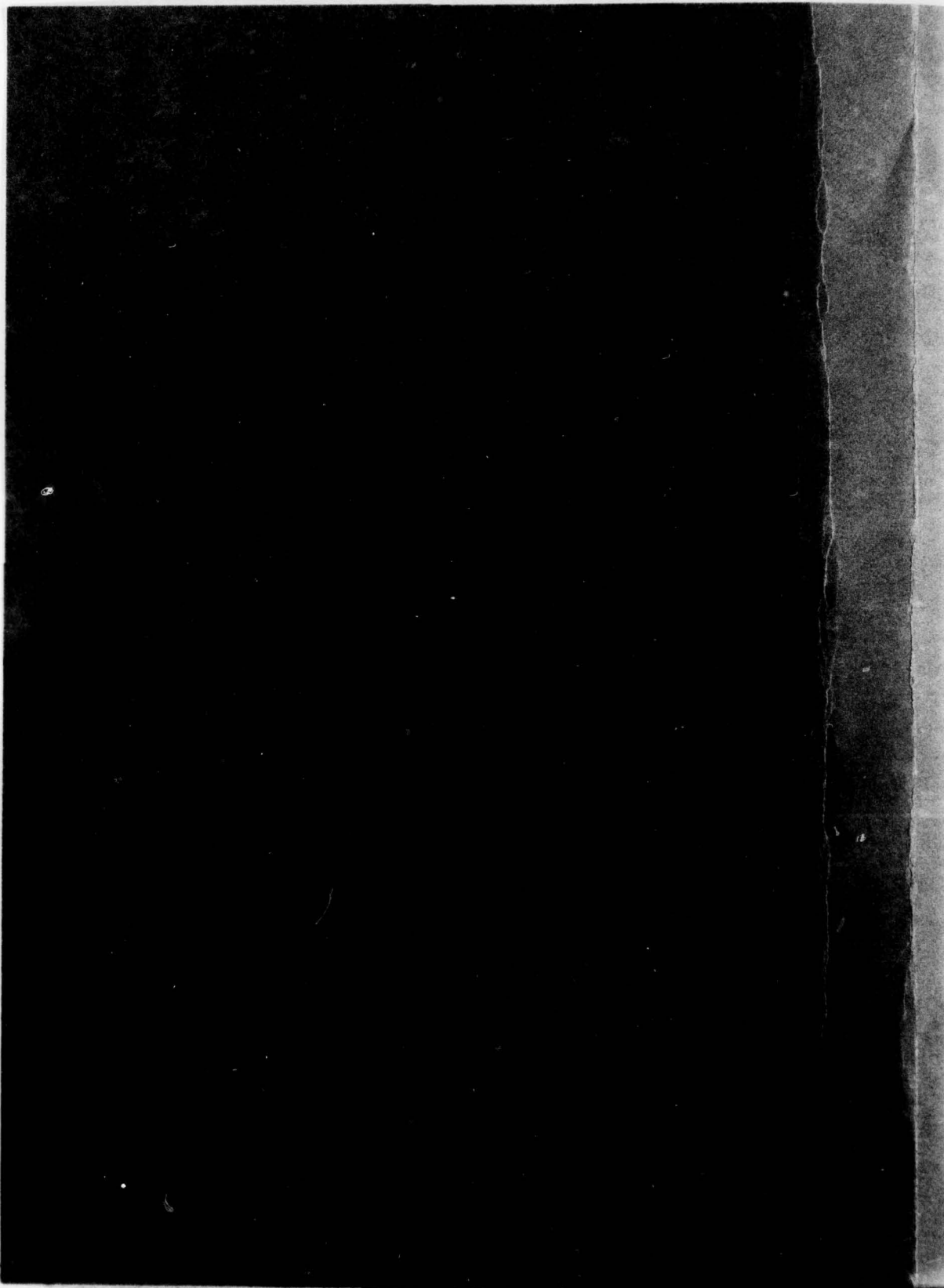
DATE
FILMED
4-77



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

ADA037590

(Simulations d'Interferogrammes du Radar
Motorola APS-94 Modifie).



3

RESEARCH AND DEVELOPMENT BRANCH

DEPARTMENT OF NATIONAL DEFENCE
CANADA

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT OTTAWA

TECHNICAL NOTE 76-32

SIMULATED INTERFEROGRAMS OF THE MODIFIED
APS-94 MOTOROLA RADAR

by

N. Brousseau

Remote Sensing Section
Earth Sciences Division

D D C
RECEIVED
APR 1 1977
RECEIVED
A

PROJECT NO.
38-80-07

77-006

RECEIVED DECEMBER 1976
PUBLISHED JANUARY 1977
OTTAWA

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for public release;
Distribution Unlimited

UNCLASSIFIED

ABSTRACT

Recordings on photographic film using binary data and using 256 grey levels were made to simulate signals received from the modified APS-94 radar. Included in the calculation of the simulated signal was the high spatial-frequency fall-off inherent in film recording.

RESUME

Il est traité de simulations par données binaires et données à 256 tons de gris d'interférogrammes du radar APS-94 modifié. On a tenu compte de l'amortissement dû à l'intégration produite au moment de l'écriture sur film.

UNCLASSIFIED

ACCESSION for	
NTIS	White Section <input checked="" type="checkbox"/>
DDC	Buff Section <input type="checkbox"/>
UNANNOUNCED	<input type="checkbox"/>
JUSTIFICATION.....	
BY.....	
DISTRIBUTION/AVAILABILITY CODES	
Dist.	AVAIL. and/or SPECIAL
A	

UNCLASSIFIED

TABLE OF CONTENTS

RESUME/ABSTRACT	iii
TABLE OF CONTENTS	iv
INTRODUCTION	1
CHARACTERISTICS OF THE RADAR	1
SIGNAL FROM A POINT	2
SUPERPOSITIONS IN THE WRITING PROCESS	3
POSITION AND AZIMUTHAL WIDTH OF TRACES	8
BINARY SIMULATIONS	10
SIMULATIONS WITH 256 GREY LEVELS	11
CONCLUSION	14
FIGURE 1. Operational modes of the radar	2
FIGURE 2. Scanning superpositions	4
FIGURE 3. Original signal	4
FIGURE 4. Signal without any superpositions	5
FIGURE 5. Signal with two superpositions	5
FIGURE 6. Signal with three superpositions	5
FIGURE 7. Signal with five superpositions	6
FIGURE 8. Signal with fifteen superpositions	6
FIGURE 9. Signal from an object point at a range of 3.3 km	7
FIGURE 10. Signal from an object point at a range of 13 km	7
FIGURE 11. Signal from an object point at a range of 25 km	7
FIGURE 12. Signal from an object point at a range of 50 km	8
FIGURE 13. Radar light cone	8
FIGURE 14. Signal for a range of 13030 m	9
FIGURE 15. Signal for a range of 16060 m	9
FIGURE 16. Signal for a range of 24940 m	10

UNCLASSIFIED

FIGURE 17.	Binary simulation for a range of 19030 m	10
FIGURE 18.	Density distribution for a range of 13000 m	11
FIGURE 19.	Arrangement of object points	12
FIGURE 20.	Grey level simulation	13

UNCLASSIFIED

ACKNOWLEDGMENT

The author wishes to thank Dr. E.B. Felstead for help in translating the French version to English. She further wishes to thank Mr. R Cunningham for his help with the micro-circuit machine and Mr. D. Shaw for his rapid and excellent photoreduction work.

UNCLASSIFIED

INTRODUCTION

For some time there has been interest in acquisition and analysis of data from synthetic aperture radar (SAR) at the Defence Research Establishment Ottawa (DREO) (1). An optical correlator has been designed and constructed (2) by Applied Physics Specialties Ltd. of Toronto, and set up at DREO. This correlator was intended for producing images from interferograms produced by a Canadian Forces' APS-94D radar. This Argus-borne radar is being modified by workers at the Communications Research Centre (CRC) to operate in a SAR mode.

Verification of the performance of the correlator requires an interferogram of known and easily measurable imagery. A line of points spaced at predetermined distances would be an ideal object. Such an object would permit measurement of the point size and the minimum resolvable distance between points. However, considerable effort is required to construct and arrange such targets on the ground. Furthermore, numerous trials would be necessary. The small amount of flying time available to the CRC SAR and lack of staff made that approach impractical. Furthermore, it was evident, from initial difficulties in converting the APS-94D incoherent radar to a SAR, that the optical correlator would be ready before the CRC radar. It was, therefore, decided to produce simulated interferograms. The parameters used for the simulation were chosen so as to describe as closely as possible the characteristics of the CRC radar. Note that a simulation has the advantage of eliminating electronic noise.

CHARACTERISTICS OF THE RADAR

The CRC radar is a modification of the APS-94D incoherent radar made by Motorola. The signal from the SAR modulates a CRT. The pattern on the CRT is recorded on film which, upon development, is the desired interferogram. The main parameters (3) of the modified recording system are:

film speed : 1.60 mm/sec

azimuthal width of the scanning
beam at the recording film plane : 16.5 microns

scan rate of CRT : prf : 500 scans/sec.

range demagnification factor q : 250000

azimuth demagnification factor p : 62500

aspect ratio : $K=q/p=4$

offset frequency of spatial carrier : 15.6 lines/mm

bandwidth of signal : 31.25 lines/mm

wavelength of the radar : 3.3 cm

azimuthal mean focal length : 86.8 mm

azimuthal angular width of the radar beam pattern : .008 rad

length of the radar pulses : .1 micro-second

The radar has two modes of operation. First a short range mode where the range varies from 3.3 km to 25 km and a long range mode where the range varies from 25 km to 50 km. The altitude of flight of the aircraft is 2.28 km (see Fig. 1).

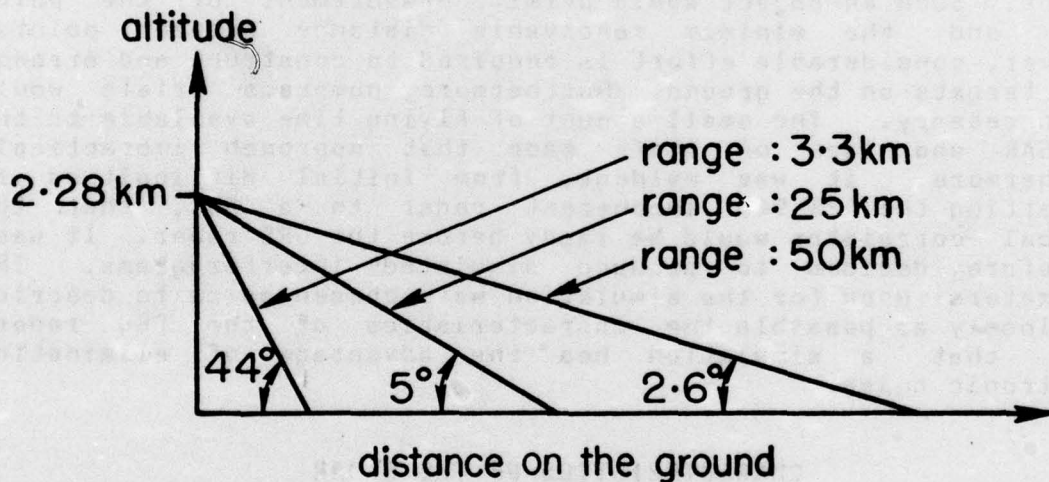


Fig. 1. Operational modes of the radar

A scanning rate of 500/sec with a writing beamwidth of 16.5 microns and a film speed of 1.6 mm/sec causes a superposition whose effects will be discussed later.

SIGNAL FROM A POINT

The signal (4) from a point on the ground located at coordinates (x, r) is described by :

$$t(x_f, r_f) = b + \sigma \operatorname{rect} \left[\frac{r_f - r/q}{\Delta r/q} \right] \cos \left[2\pi f x_f + \frac{2\pi p^2}{\lambda r} \left(x_f - \frac{x}{p} \right)^2 \right] \quad (1)$$

where

x = azimuthal coordinate on the ground

r = range coordinate on the ground

x_f = azimuthal coordinate on the film

r_f = range coordinate on the film

f = offset frequency of spatial carrier in lines/mm

λ = radar wavelength

Δr = spatial width of transmitted pulse

b = bias level

σ = reflectivity of a point reflector at (x, r)

The bias level has to be sufficiently large that the signal never becomes negative. The rectangle function describes the shape of a short impulse in the range coordinate. The width of this pulse sets the range resolution of the radar. The first term in the cos argument is the azimuthal frequency carrier of the signal. The second term is a quadratic phase factor with a range dependent curvature radius $f(r)$ so that the azimuthal object will be at a distance $f(r)$ from the film plane. λ_0 is the wavelength of the light in the optical correlator.

$$f(r) = \lambda r / 2p^2 \lambda_0 \quad (2)$$

For construction of the interferogram it is required to reproduce on film the function (1). For the simulated interferograms the required optical density variation was represented both in binary form and with grey levels. The simulations with grey levels have 256 levels written by the OPTRONICS microdensitometer at the Canadian Center for Remote Sensing (CCRS).

SUPERPOSITIONS IN THE WRITING PROCESS

There is a smoothing phenomenon in the writing process due to the fact that the width of the writing beam is 16.5 microns and the speed of the film is 1.66 mm/sec. A scanning rate of 100/sec would just give 16.5 microns juxtaposed strips. But the sweeping rate is 500/sec. Therefore, the film does not have the time to advance enough between two successive scans to avoid superposition and each 3.3 micron strip is a superposition of five different samples (see Fig. 2).

UNCLASSIFIED

Successive Positions of the 16.5μ Beam

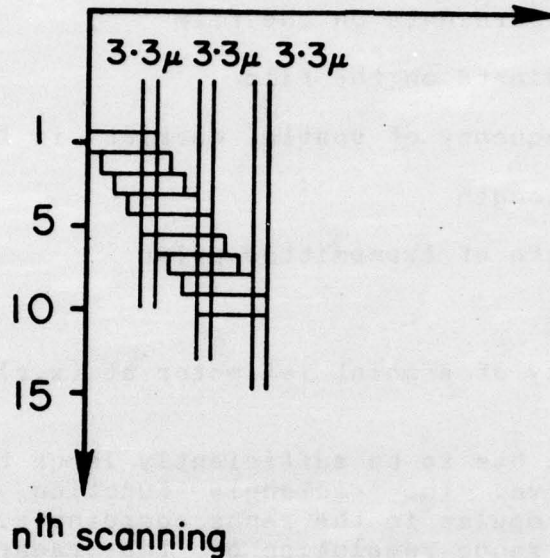


Fig. 2. Scanning superpositions

The effects of the superpositions were calculated by means of an APL program by varying the amount of superposition in the signal. That program divided each 16.5 micron strip in n divisions of width of $16.5/n$ and calculated the intensity of each division by averaging the intensity of the n preceding divisions. When there is no superposition, that is, when the signal is sampled each 0.01 sec and the resulting 16.5 micron strips are juxtaposed, the resulting signal looks undersampled compared to the original signal. When the number of superpositions increases, the undersampling disappears and is replaced by a damping of the high frequencies (see Figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8). The range for the signals shown in the following figures is 13 km.

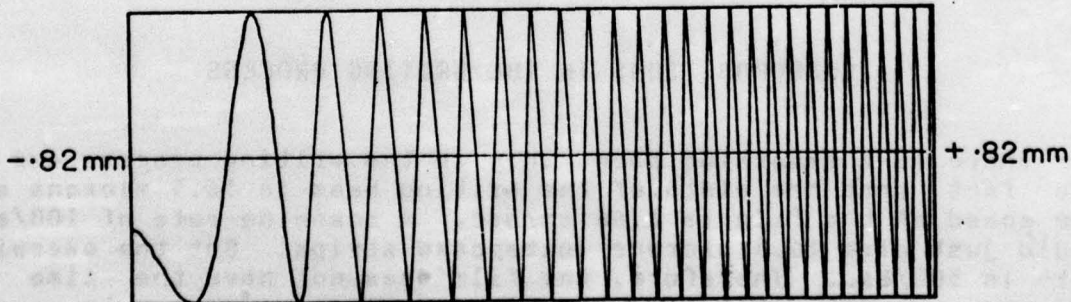


Fig. 3. Original signal

UNCLASSIFIED

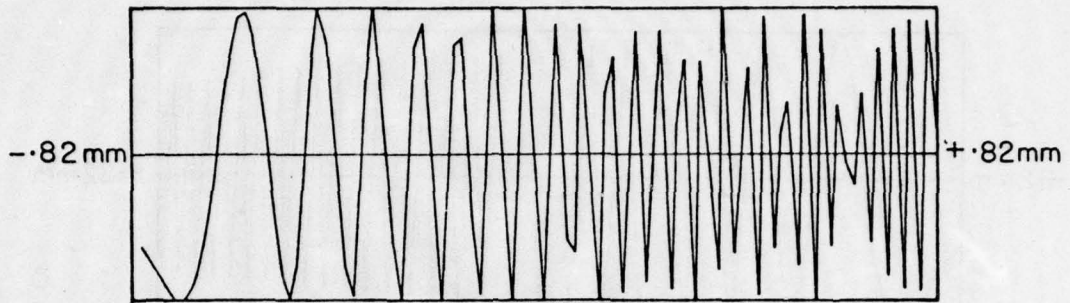


Fig. 4. Signal without any superposition

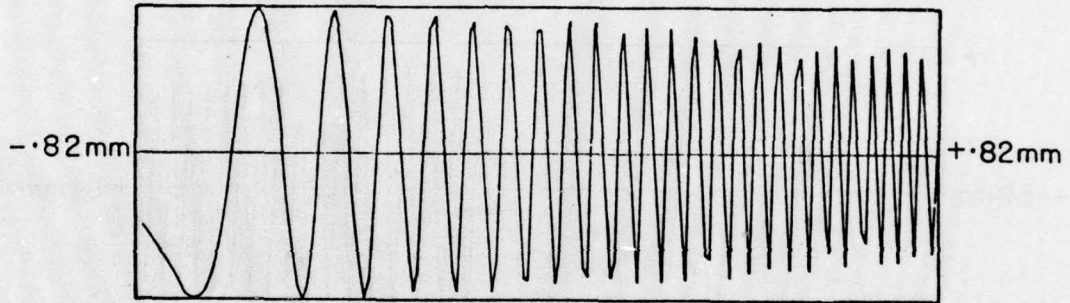


Fig. 5. Signal with two superpositions

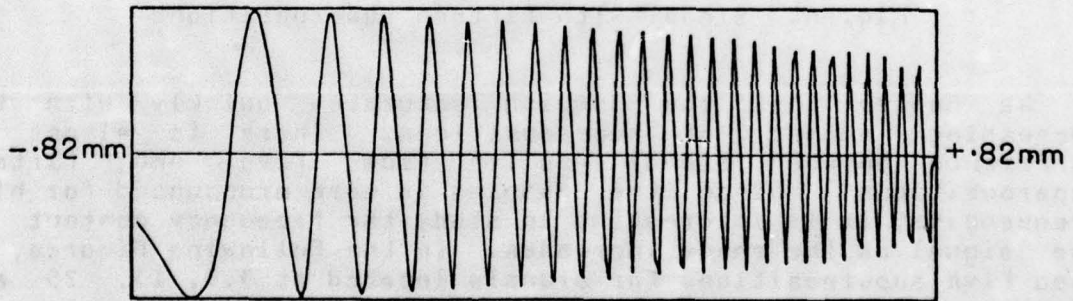


Fig. 6. Signal with three superpositions

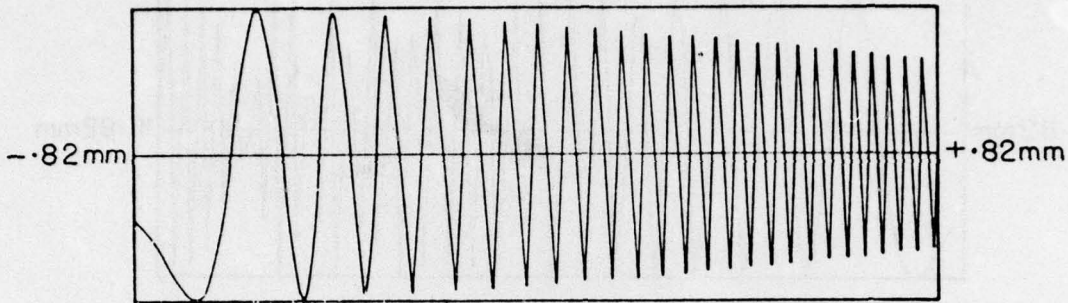


Fig. 7. Signal with five superpositions

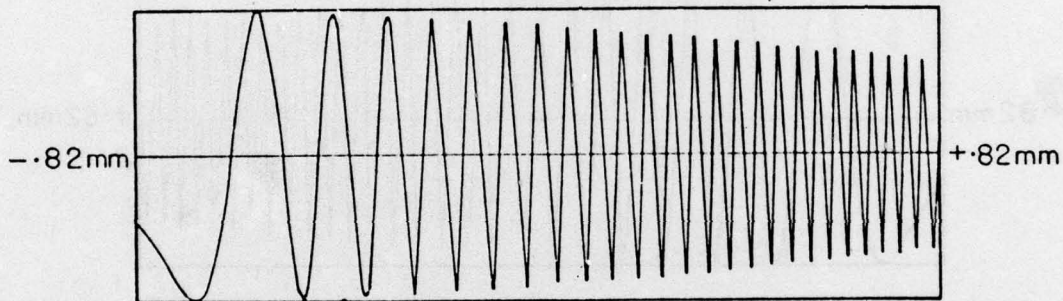


Fig. 8. Signal with fifteen superpositions

We notice that the damping saturates quickly with the increasing number of superpositions. There is almost no difference between signal built from five and fifteen superpositions. Since the damping is more pronounced for high frequencies, it is interesting to study the frequency content of the signal as the range increases. In the following figures, we used five superpositions for signals located at 3.3, 13, 25 and 50 km.

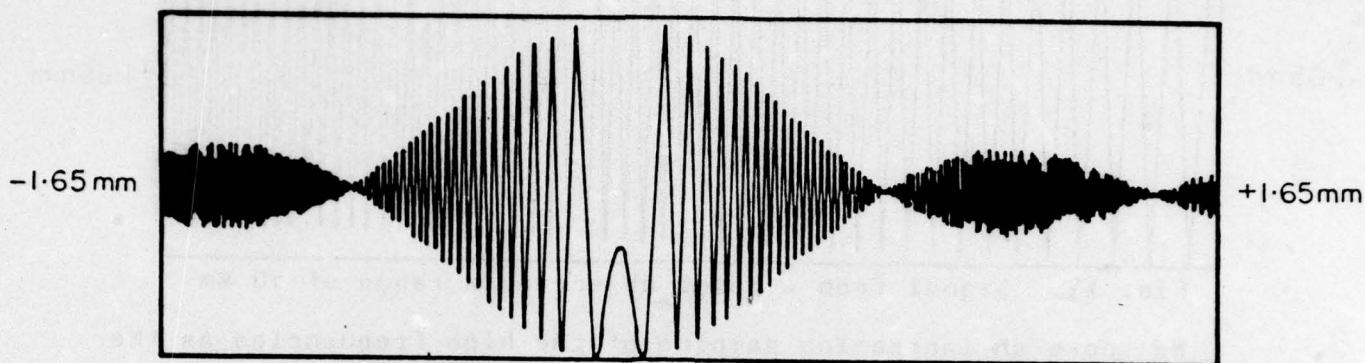


Fig. 9. Signal from a point object at a range of 3.3 km

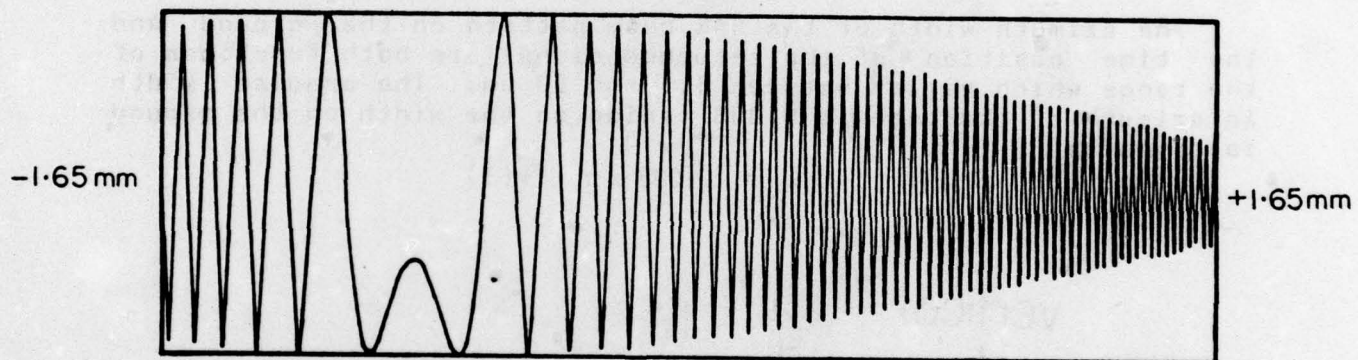


Fig. 10. Signal from a point object at a range of 13 km

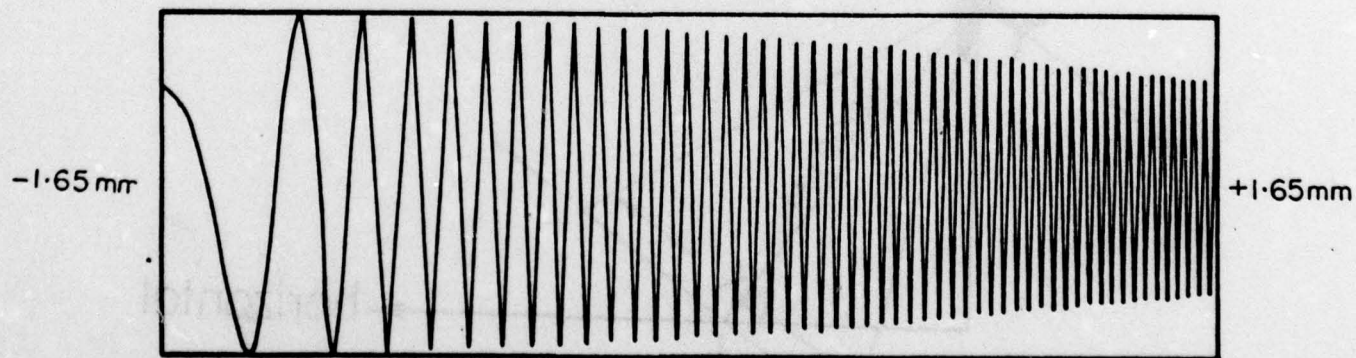


Fig. 11. Signal from a point object at a range of 25 km

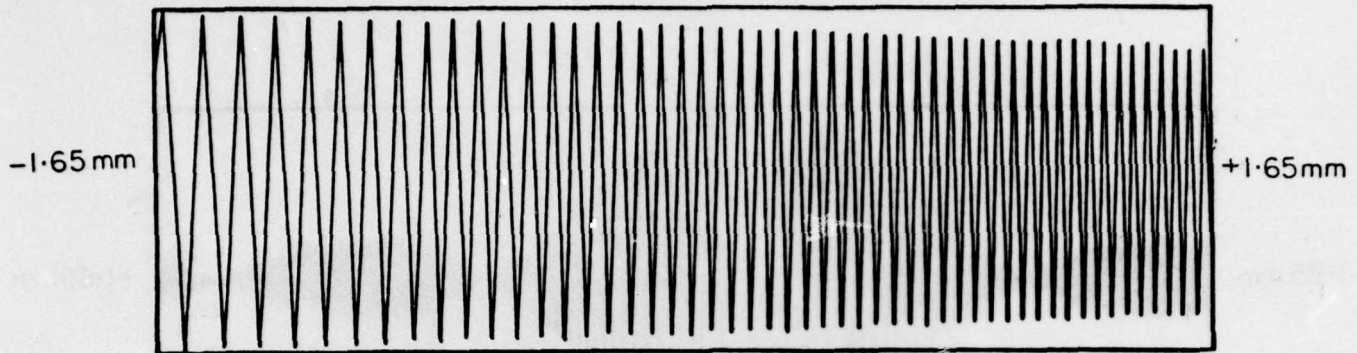


Fig. 12. Signal from a point object, at a range of 50 km

We note an increasing damping of the high frequencies as the range decreases.

POSITION AND AZIMUTHAL WIDTH OF TRACES

The azimuth width of the SAR beam pattern on the ground and the time position of the returned signal are both functions of the range which varies between 3.3 and 50 km. The angular width in azimuth of the beam is 0.008 radian so the width on the ground is given by

$$l = 0.008 \times r \quad (3)$$

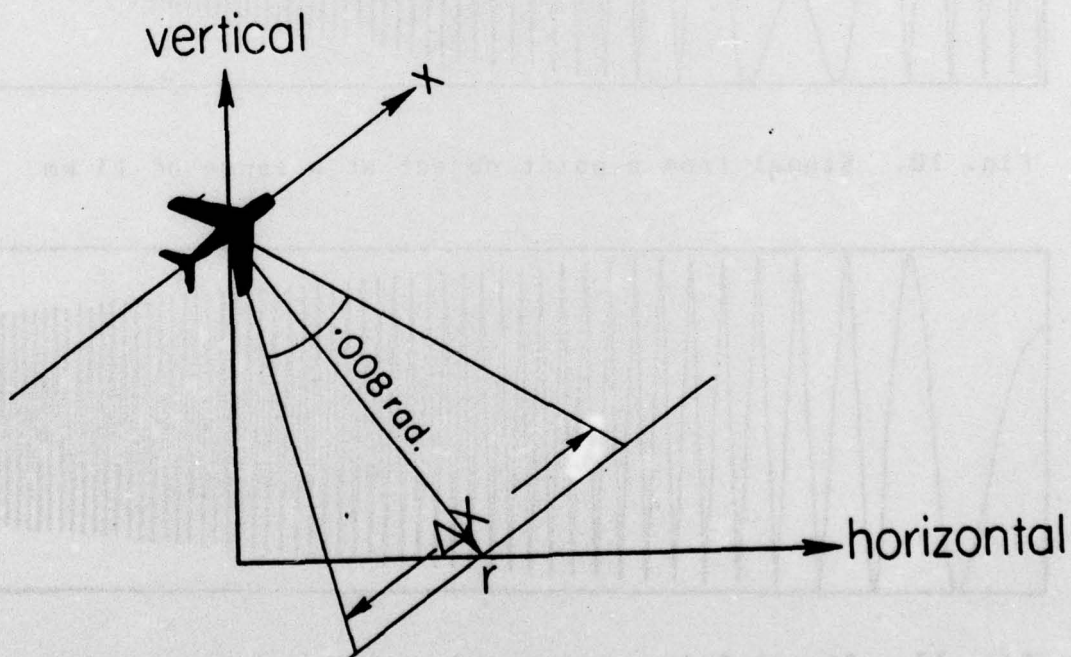


Fig. 13. Radar illumination pattern

A point on the ground will return a signal only if it is in the beam of the radar. If we set $t=0$ when the point on the ground passes the aircraft, the return signal exists between time

$$-\frac{l}{2v} < t < \frac{l}{2v} \quad (4)$$

where v is the aircraft speed (100 m/sec).

If the speed of the film is 1.66 mm/sec and if the position $x=0$ on the film corresponds to the position $t=0$ of the aircraft, the time limits give the following position limits.

$$-\frac{1.66 \times l}{2v} < x_f < \frac{1.66 \times l}{2v} \quad (5)$$

Figures 13, 14 and 15 illustrate some examples of the signal to be put on film.

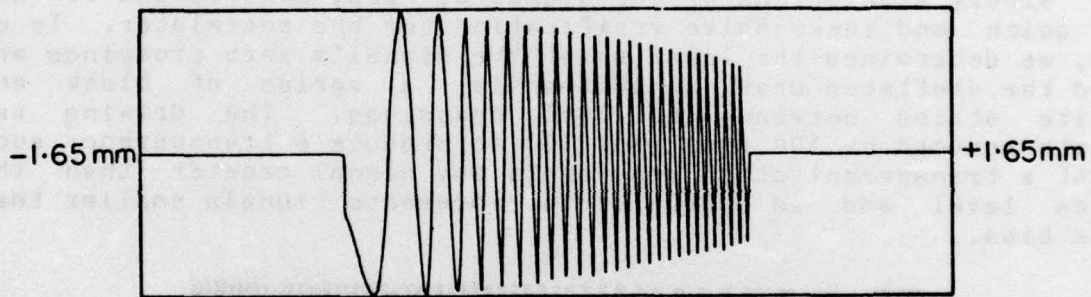


Fig. 14. Signal for a range of 13030 m

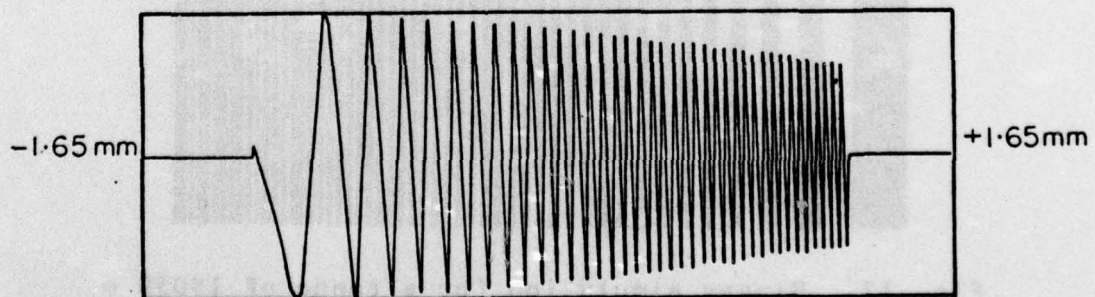


Fig. 15. Signal for a range of 16060 m

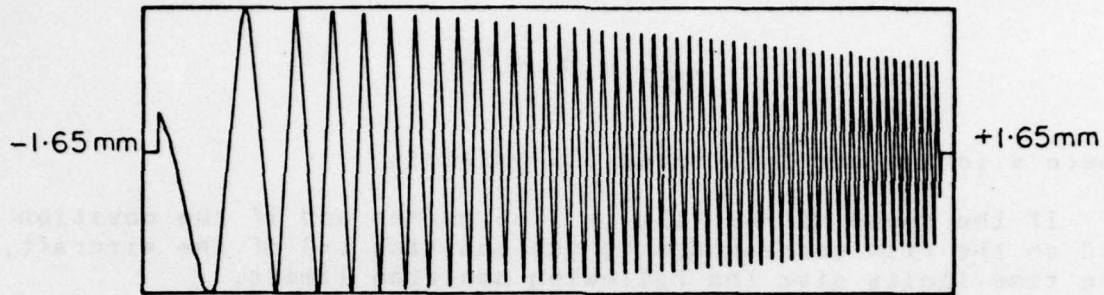


Fig. 16. Signal for a range of 24940 m

BINARY SIMULATIONS

Binary simulations of the signal we first constructed to get a quick and inexpensive verification for the correlator. To do so, we determined the location of the signal's zero crossings and had the draftsmen draw, at 100X scale, a series of black and white strips between the zero crossings. The drawing was photo-reduced by 100 (see Fig. 17) to produce a transparency such that a transparent strip represents any signal greater than the bias level and an opaque strip represents signals smaller than the bias.

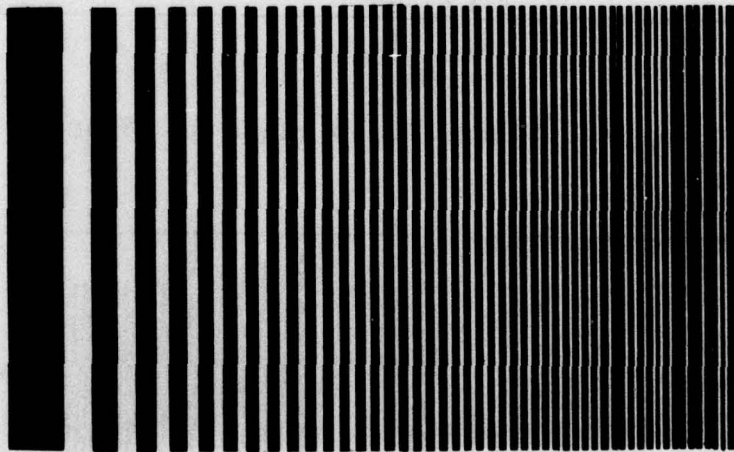


Fig. 17. Binary simulation for a range of 19030 m

The simulated object was a line at a given range. We made simulations for five different values of the range: 13030, 16060, 19030, 22060 and 24940 m. Note that the binary simulations do not take into account the damping associated with the writing process.

SIMULATIONS WITH 256 GREY LEVELS

We made a more sophisticated simulation taking into account the damping of the oscillations and their continuous character. We used the CCRS OPTRONICS microdensitometer. It can write linearly 256 grey levels with a 25 micron resolution. The data must be given to the microdensitometer as density quantified into 256 grey levels. Density D is defined as

$$D = \log \left(\frac{I_i}{I_t} \right) \quad (6) \quad \S\S$$

where

I_i = incident intensity
 I_t = transmitted intensity

The microdensitometer uses 2474 film from Kodak. That film, when processed in good conditions, has a $\gamma=1$ up to a density of 2.3. So we must add to the original signal varying between -1 and +1 the bias level b and a scale factor to obtain density varying between 0 and 2.3. After that, we have to take the logarithm and to quantify the densities in 256 levels (see Fig. 18).

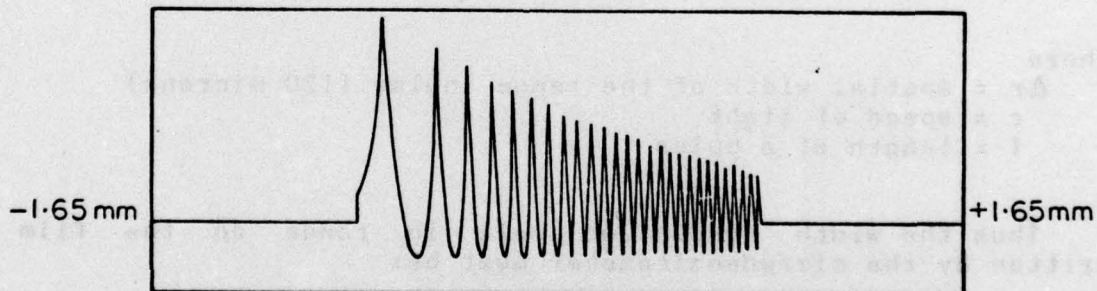


Fig. 18. Density distribution for a range of 13000 m

The simulated object is a line of 18 dots spread in range on 40 positions and spaced so we can evaluate the system resolution. The pattern of 40 positions is repeated periodically with increasing values of the range. Figure 19 shows the arrangement of the 18 dots in the 40 positions.

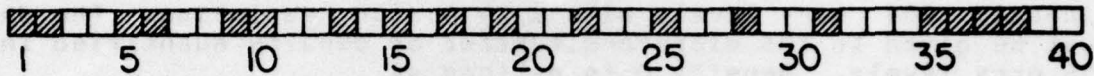


Fig. 19. Arrangement of object points

The azimuthal values of intensities are calculated each 3.3 microns and written by the microdensitometer with a 25 microns resolution. A length of 25 microns on the film produced by the microdensitometer corresponds to 3.3 microns on the film written by the radar. So it must be photo-reduced of 7.6. The resolution cell range width d on the film written by the radar is

$$d_f = \frac{\Delta r}{q} = \frac{cT}{q} \quad (7)$$

where

Δr = spatial width of the range pulse (120 microns)
 c = speed of light
 T = length of a pulse

Thus the width resolution cell in range on the film d written by the microdensitometer must be:

$$d_m = d_f \times 7.6 \quad (8)$$

That is approximately 35 times 25 microns. So we must repeat the information 35 times in range to get the right scaling of the azimuth relative to the range. The film printed and processed must then be reduced by 7.6 (Fig. 20).

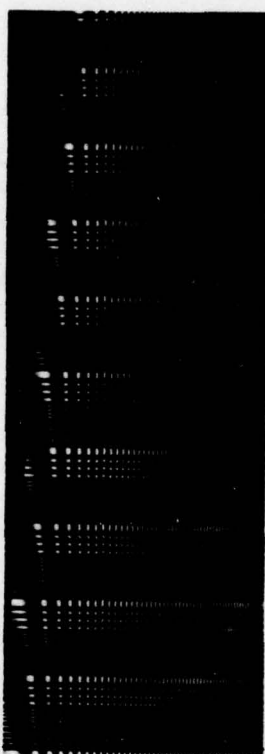


Fig. 20 Grey level simulation

UNCLASSIFIED

CONCLUSION

We here discussed the characteristics of the signals generated by the modified APS-94 radar and described the techniques used to simulate those signals. We made binary simulations for 5 different range values and a grey level simulation where the range varied between 13030 m and 19030 m. The results of tests made on the correlator using these simulations will be given in a subsequent report along with the results from other testing methods.

UNCLASSIFIED

REFERENCES

1. R.T. Lowry, DREO Technical Note No. 74-8, A Feasibility Study for Real Time Optical Correlator for the APS-94D (U).
2. Report on Advanced Optical Design of Radar Correlator, Canadian Instrumentation and Research Ltd. April 1975, D.S.S. contract No. 2SR4-0123.
3. E.B. Felstead, Personal Communication.
4. W.H. Lee and M.O. Greer, Matched Filter Optical Processor Appl. Opt 4 vol.13 p 925.

Unclassified
Security Classification

DOCUMENT CONTROL DATA - R & D		
<small>(Security classification of title, body of abstract and indexing annotation must be entered when the overall document is classified)</small>		
1. ORIGINATING ACTIVITY Defence Research Establishment Ottawa ✓ National Defence Headquarters Ottawa, Ontario K1A 0Z4		2a. DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION Unclassified
		2b. GROUP NA
3. DOCUMENT TITLE Simulated Interferograms of the Modified APS-94D Motorola Radar (U)		
4. DESCRIPTIVE NOTES (Type of report and inclusive dates) Technical Note		
5. AUTHOR(S) (Last name, first name, middle initial) N. Brousseau		
6. DOCUMENT DATE DECEMBER 1976	7a. TOTAL NO. OF PAGES 19	7b. NO. OF REFS 4
8a. PROJECT OR GRANT NO. 38-80-07	9a. ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S) DREO TN - 76-32 ✓	
8b. CONTRACT NO.	9b. OTHER DOCUMENT NO.(S) (Any other numbers that may be assigned this document)	
10. DISTRIBUTION STATEMENT Unlimited - See attached list		
11. SUPPLEMENTARY NOTES	12. SPONSORING ACTIVITY DREO	
13. ABSTRACT - Unclassified <p style="text-align: center;">Recordings on the photographic film using binary data and using 256 grey levels were made to simulate signals received from the modified APS-94D radar. Included in the calculation of the simulated signal was the high spatial-frequency fall-off inherent in film recording.</p>		

Unclassified

Security Classification

KEY WORDS

- synthetic aperture radar
- simulation of radar data
- optical processing

INSTRUCTIONS

1. **ORIGINATING ACTIVITY:** Enter the name and address of the organization issuing the document.
- 2a. **DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION:** Enter the overall security classification of the document including special warning terms whenever applicable.
- 2b. **GROUP:** Enter security reclassification group number. The three groups are defined in Appendix 'M' of the DRB Security Regulations.
3. **DOCUMENT TITLE:** Enter the complete document title in all capital letters. Titles in all cases should be unclassified. If a sufficiently descriptive title cannot be selected without classification, show title classification with the usual one-capital-letter abbreviation in parentheses immediately following the title.
4. **DESCRIPTIVE NOTES:** Enter the category of document, e.g. technical report, technical note or technical letter. If appropriate, enter the type of document, e.g. interim, progress, summary, annual or final. Give the inclusive dates when a specific reporting period is covered.
5. **AUTHOR(S):** Enter the name(s) of author(s) as shown on or in the document. Enter last name, first name, middle initial. If military, show rank. The name of the principal author is an absolute minimum requirement.
6. **DOCUMENT DATE:** Enter the date (month, year) of Establishment approval for publication of the document.
- 7a. **TOTAL NUMBER OF PAGES:** The total page count should follow normal pagination procedures, i.e., enter the number of pages containing information.
- 7b. **NUMBER OF REFERENCES:** Enter the total number of references cited in the document.
- 8a. **PROJECT OR GRANT NUMBER:** If appropriate, enter the applicable research and development project or grant number under which the document was written.
- 8b. **CONTRACT NUMBER:** If appropriate, enter the applicable number under which the document was written.
- 9a. **ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S):** Enter the official document number by which the document will be identified and controlled by the originating activity. This number must be unique to this document.
- 9b. **OTHER DOCUMENT NUMBER(S):** If the document has been assigned any other document numbers (either by the originator or by the sponsor), also enter this number(s).
10. **DISTRIBUTION STATEMENT:** Enter any limitations on further dissemination of the document, other than those imposed by security classification, using standard statements such as:
 - (1) "Qualified requesters may obtain copies of this document from their defence documentation center."
 - (2) "Announcement and dissemination of this document is not authorized without prior approval from originating activity."
11. **SUPPLEMENTARY NOTES:** Use for additional explanatory notes.
12. **SPONSORING ACTIVITY:** Enter the name of the departmental project office or laboratory sponsoring the research and development. Include address.
13. **ABSTRACT:** Enter an abstract giving a brief and factual summary of the document, even though it may also appear elsewhere in the body of the document itself. It is highly desirable that the abstract of classified documents be unclassified. Each paragraph of the abstract shall end with an indication of the security classification of the information in the paragraph (unless the document itself is unclassified) represented as (TS), (S), (C), (R), or (U).

The length of the abstract should be limited to 20 single-spaced standard typewritten lines; 7½ inches long.
14. **KEY WORDS:** Key words are technically meaningful terms or short phrases that characterize a document and could be helpful in cataloging the document. Key words should be selected so that no security classification is required. Identifiers, such as equipment model designation, trade name, military project code name, geographic location, may be used as key words but will be followed by an indication of technical context.

BUREAU - RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

**MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE
CANADA**

CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DÉFENSE, OTTAWA

NOTE TECHNIQUE: N° 76-32

**SIMULATIONS D'INTERFEROGRAMMES DU RADAR
MOTOROLA APS-94 MODIFIE**

par

N. Brousseau

Section de télédétection
Division des sciences de la terre

**PROJECT N°
38-80-07**

77-006

**REÇU DECEMBRE 1976
PUBLIÉ JANVIER 1977
OTTAWA**

NON-CLASSIFIE

TABLE DES MATIERES

RESUME

Il est traité de simulations par données binaires et données à 256 tons de gris d'interférogrammes du radar APS-94 modifié. On a tenu compte de l'amortissement dû à l'intégration produite au moment de l'écriture sur film.

ABSTRACT

Recordings on photographic film using binary data and using 256 grey levels were made to simulate signals received from the modified APS-94 radar. Included in the calculation of the simulated signal was the high spatial-frequency fall-off inherent in film recording.

NON-CLASSIFIE

NON-CLASSIFIE
TABLE DES MATIERES

RESUME/ABSTRACT	iii
TABLE DES MATIERES	iv
INTRODUCTION	1
CARACTERISTIQUES DU RADAR A SIMULER	2
SIGNAL A SIMULER	3
SUPERPOSITIONS LORS DE L'ECRITURE	4
POSITION ET LARGEUR AZIMUTALE DES TRACES	8
SIMULATIONS BINAIRES	10
SIMULATIONS AVEC 256 TONS DE GRIS	11
CONCLUSION	14
FIGURE 1 Modes d'opération du radar.	1
FIGURE 2 Superposition des balayages.	4
FIGURE 3 Signal original.	5
FIGURE 4 Signal sans superposition.	5
FIGURE 5 Signal avec deux superpositions.	5
FIGURE 6 Signal avec trois superpositions.	6
FIGURE 7 Signal avec cinq superpositions.	6
FIGURE 8 Signal avec quinze superpositions.	6
FIGURE 9 Signal d'un point à une portée de 3.3 km.	7
FIGURE 10 Signal d'un point à une portée de 13 km.	7
FIGURE 11 Signal d'un point à une portée de 25 km.	7
FIGURE 12 Signal d'un point à une portée de 50 km.	8
FIGURE 13 Cône d'éclairement du radar.	8
FIGURE 14 Signal pour une portée de 13030 m.	9
FIGURE 15 Signal pour une portée de 16060 m.	9
FIGURE 16 Signal pour une portée de 24940 m.	10
Figure 17 Simulation binaire pour une portée de 19030 m.	10

NON-CLASSIFIE

Figure 18	Densité pour une portée de 13000 m.	11
Figure 19	Disposition des points objets.	11
Figure 20	Simulation en tons de gris.	13

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Docteur E.H. Feltz pour son aide lors de la réalisation de ce travail en français. Nous remercions aussi Monsieur R. Langlois de son assistance lors de l'utilisation de la machine à dessiner des caractères et Monsieur B. Chau pour son travail de photoduction, ainsi que de l'équipe.

NON-CLASSIFIE

Figure 18 Dessin d'une porte de 1000 m.
Figure 19 Disposition des points de test.
Figure 20 Simulation en 3D de l'essai.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Docteur E.B. Felstead pour son aide lors de la traduction en anglais du texte français. Nous désirons aussi remercier Monsieur R. Cunningham de son assistance lors de l'utilisation de la machine à dessiner des micro-circuits et Monsieur D. Shaw pour son travail de photoréduction, aussi rapide qu'excellent.

NON-CLASSIFIE

INTRODUCTION

Le Centre de Recherche pour la Défense d'Ottawa (CRDD) s'intéresse depuis longtemps à l'acquisition et à l'analyse (1) de données provenant de radars à ouverture synthétique (SAR). Or le Centre de Recherche sur les Communications (CRC) entreprit en 1973 la construction d'un SAR. CRDD en a profité pour mettre sur pied un projet parallèle visant à construire le corrélateur optique nécessaire au traitement des données de ce SAR. Ce corrélateur est de conception et de fabrication entièrement canadiennes (2).

La vérification du bon fonctionnement du corrélateur nécessite des essais avec un interférogramme dont l'imagerie résultante est connue et facilement mesurables. Une ligne de points situés à une distance prédéterminée les uns des autres serait un objet idéal. Elle permettrait de mesurer la grandeur des points produits ainsi que l'espacement minimum permettant de résoudre deux points voisins. La réalisation physique d'un tel objet pose plusieurs problèmes. L'installation de réflecteurs sur le terrain suppose la disponibilité de la main d'oeuvre nécessaire à la construction des cibles ainsi qu'à leur mise en place. Le choix du matériau pour les cibles constitue un autre problème délicat. En effet, un matériau possédant un trop fort coefficient de réflexion produirait un signal pouvant facilement dépasser les limites de linéarité du système d'enregistrement et oblitérer une grande surface du film. Par contre un matériau avec un coefficient de réflexion trop faible ne serait pas détecté. La mise au point d'une telle expérience nécessiterait donc de nombreux essais et une mobilisation importante de ressources. Or, la très petite quantité d'heures de vol dont dispose le groupe de CRC ainsi que la quantité très limitée de personnel disponible rend cette approche impossible. De plus, le groupe du CRC a rencontré un grand nombre de difficultés dans la réalisation de son projet et il s'est avéré assez tôt que le corrélateur optique serait prêt à fonctionner avant que le radar ne soit complètement mis au point. C'est pourquoi nous avons décidé de remplacer l'interférogramme produit par le radar par une simulation de cet interférogramme. La simulation possède, en outre, l'avantage d'éliminer la plupart des sources de bruit introduites par l'appareillage électronique. Il va de soi que les paramètres de la simulation ont été choisis de façon à rendre le mieux possible les caractéristiques du radar du CRC.

CARACTERISTIQUES DU RADAR A SIMULER

Le radar construit par le CRC est une modification du radar incohérent APS-94 de Motorola. Nous en soulignerons ici (3) les principales caractéristiques:

vitesse de déroulement du film : 1.60 mm/sec

largeur azimutale du faisceau de balayage : 16.5 microns

fréquence de balayage : 500/sec

facteur d'échelle q (portée) : 250000

facteur d'échelle p (azimut) : 62500

rapport K des facteurs d'échelle : $K=q/p=4$

fréquence spatiale porteuse : 15.6 lignes/mm

largeur de bande du signal : 31.25 lignes/mm

longueur d'onde du radar : 3.3 cm

longueur focale azimutale moyenne : 86.8 mm

largeur angulaire azimutale du faisceau : .008 radian

longueur des impulsions : .1 micro seconde

Ce radar possède deux modes de fonctionnement: un mode à courte portée où la portée varie entre 3.3 km et 25 km et un mode à longue portée où la portée varie entre 25 km et 50 km. L'altitude de vol de l'avion est de 2.28 km. On a donc la configuration suivante:

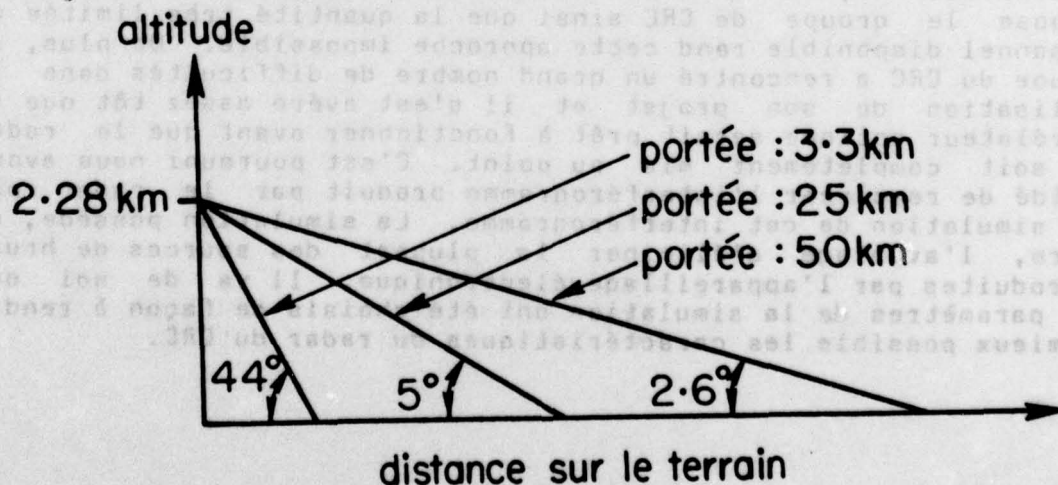


Fig. 1 Modes d'opération du radar.

Notons, en passant, qu'une fréquence de balayage de 500/sec avec une largeur de faisceau d'écriture de 16.5 microns et une vitesse de déroulement du film de 1.6 mm/sec produit une superposition. Les effets d'intégration résultant seront étudiés en détail plus tard.

SIGNAL A SIMULER

Le signal produit par un point (4) situé sur terre aux coordonnées (x, r) est décrit par :

$$t(x_f, r_f) = b + \sigma \operatorname{rect} \left(\frac{r_f - r/q}{\Delta r/q} \right) \cos \left(2\pi f x_f + \frac{2\pi p^2}{\lambda r} \left(x_f - \frac{x}{p} \right)^2 \right) \quad (1)$$

où

x : coordonnée azimutale sur le terrain

r : coordonnée de la portée sur le terrain

x_f : coordonnée azimutale sur le film

r_f : coordonnée de la portée sur le film

f : fréquence spatiale porteuse en lignes/mm

λ : longueur d'onde du radar

Δr : largeur spatiale de l'impulsion transmise

b : fond continu

σ : réflectivité d'un point à (x, r) sur le terrain

La quantité t est un fond continu qui doit être suffisamment grand pour que t(x, r) ne devienne jamais négatif à cause des oscillations du second terme. La fonction rectangle décrit la forme d'une impulsion courte dans la coordonnée de la portée. La largeur de cette impulsion détermine la résolution en portée du radar. Le premier argument du cosinus est associé à la porteuse du signal. Notons que cette porteuse a été choisie selon l'axe azimutal. Le second terme décrit un facteur de phase sphérique d'un rayon de courbure f(r) dépendant de la portée. L'objet azimutal sera donc situé à une distance f(r) en avant du film. λ_0 est la longueur d'onde de la lumière utilisée dans le corrélateur optique.

$$f(r) = \lambda r / 2p^2 \lambda_0 \quad (2)$$

Nous nous efforcerons de reproduire, telle que le radar l'écrit sur film, la fonction décrite par l'équation 1). Pour ce

faire, nous réaliserons deux types de simulation. Dans le premier cas l'intensité sur le film variera de façon binaire. Dans le second cas l'intensité sur le film comptera 256 tons de gris grâce à l'utilisation du microdensitomètre OPTRONICS du Centre Canadien de Télédétection (CCT) .

EFFETS DES SUPERPOSITIONS LORS DE L'ECRITURE PAR LE RADAR.

Le phénomène d'intégration dont nous avons déjà signalé l'existence provient de la combinaison suivante de paramètres. La largeur du faisceau d'écriture sur le film est de 16.5 microns et la vitesse de déroulement du film est de 1.66 mm/sec. On en déduit que le taux de balayage donnant des bandes de 16.5 microns tout juste juxtaposées serait de 100 balayages/sec. Or le taux de balayage est de 500 /sec. Il y a donc superposition car le film n'a pas le temps d'avancer suffisamment entre deux balayages successifs. En conséquence, chaque tranche de 3.3 microns est une superposition de cinq intensités voisines et légèrement différentes (voir figure 2).

Positions Successives du Faisceau de 16.5μ

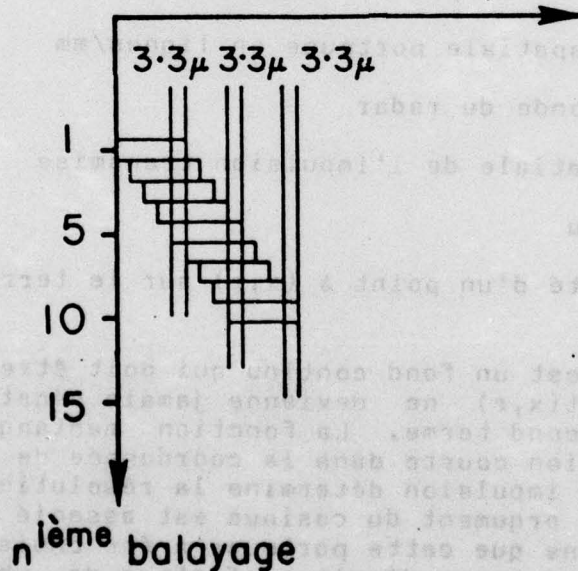


Fig. 2 Superposition des balayages.

Nous avons étudié les effets de ces superpositions au moyen d'un programme écrit en APL permettant de varier la quantité de superposition du signal final. Ce programme calcule l'intensité de chaque bande en faisant la moyenne de l'intensité des n bandes précédentes. Lorsqu'il n'y a pas de superposition,

c'est-à-dire, lorsque le signal est échantillonné à tous les .01 sec et que les bandes de 16.5 microns sont juxtaposées, le signal résultant semble sous-échantillonné par rapport au signal original. Lorsque le nombre de superpositions augmente, l'effet de sous-échantillonnage disparaît pour faire place, tel qu'illustré par les figures 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8, à un amortissement des hautes fréquences de plus en plus prononcé. Les signaux illustrés dans les figures suivantes ont été calculés pour une valeur de la portée de 13 km.

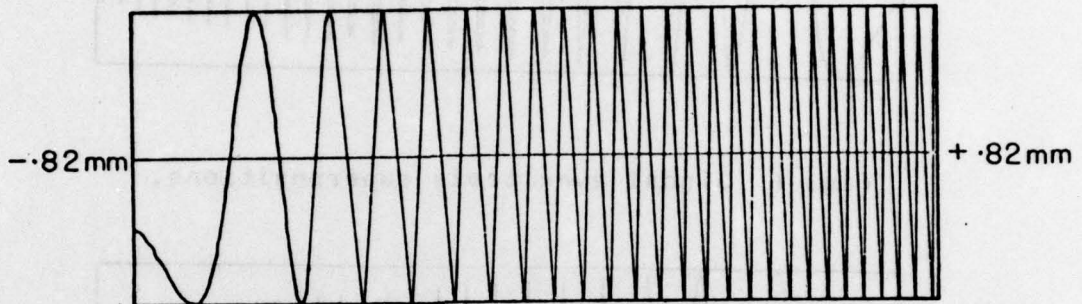


Fig. 3 Signal original.

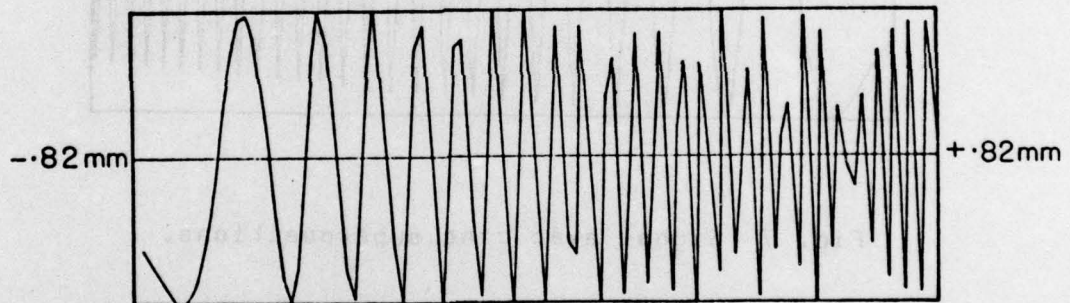


Fig. 4 Signal sans superposition.

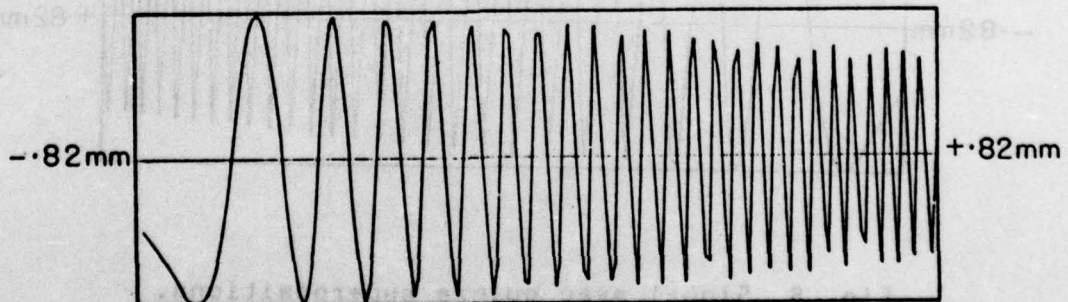


Fig. 5 Signal avec deux superpositions.

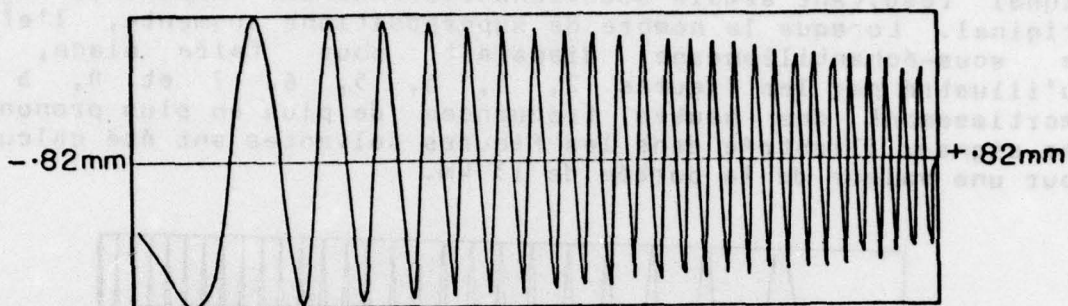


Fig. 6 Signal avec trois superpositions.

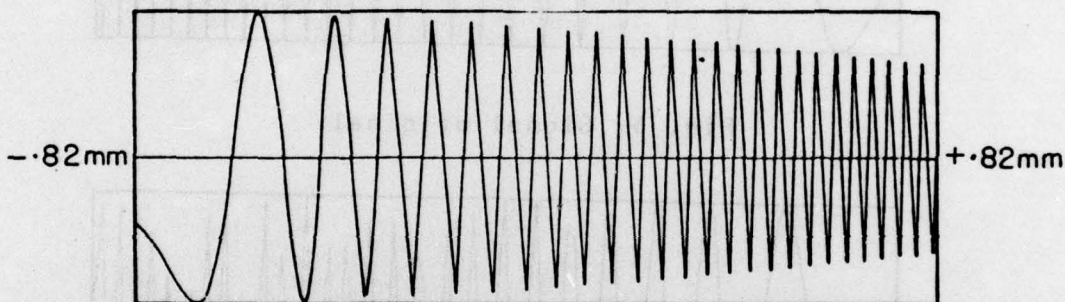


Fig. 7 Signal avec cinq superpositions.

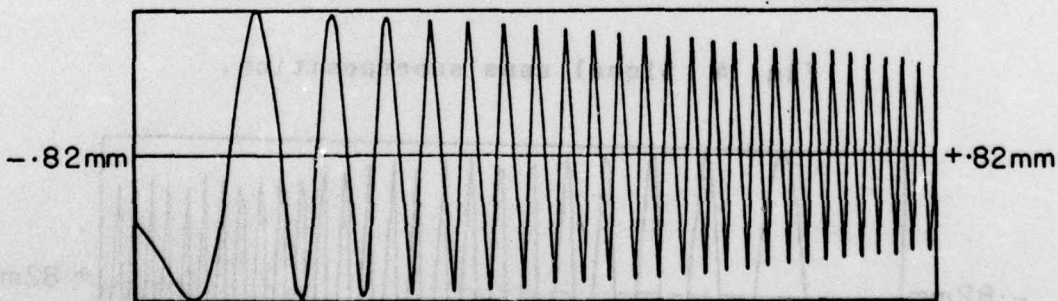


Fig. 8 Signal avec quinze superpositions.

On observe que la valeur de l'amortissement semble saturer très rapidement avec le nombre de superpositions. Il n'y a quère de différence, en effet, entre un signal construit avec cinq ou

quinze superpositions. Mais, l'amortissement est plus grand pour les hautes fréquences, il devient alors intéressant d'examiner le contenu de fréquences du signal en fonction de la portée. Nous avons illustré le signal produit avec cinq superpositions pour des valeurs de la portée de 3.3, 13, 25 et 50km.

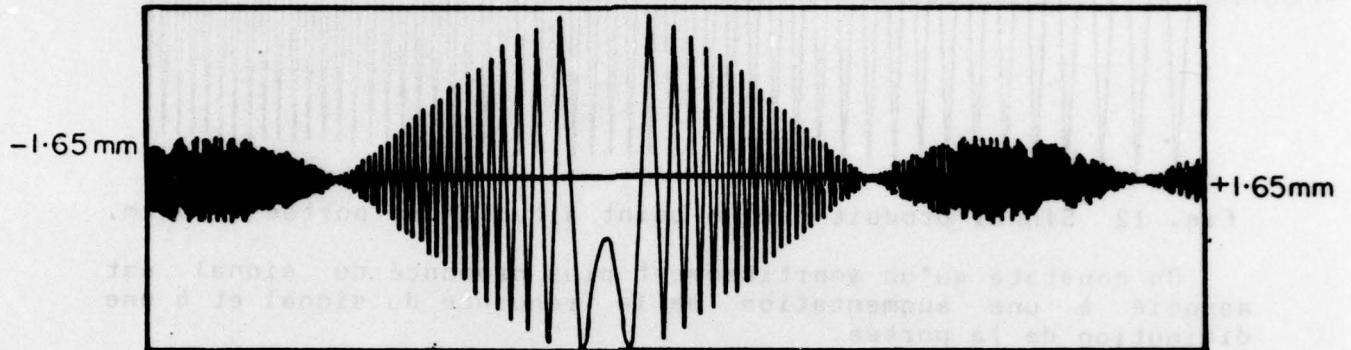


Fig. 9 Signal produit par un point situé à une portée de 3.3 km

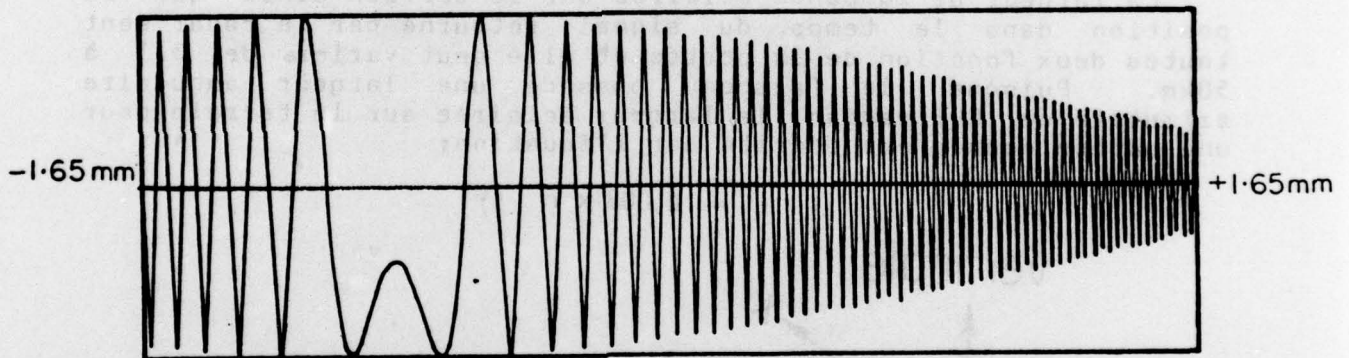


Fig. 10 Signal produit par un point situé à une portée de 13km.

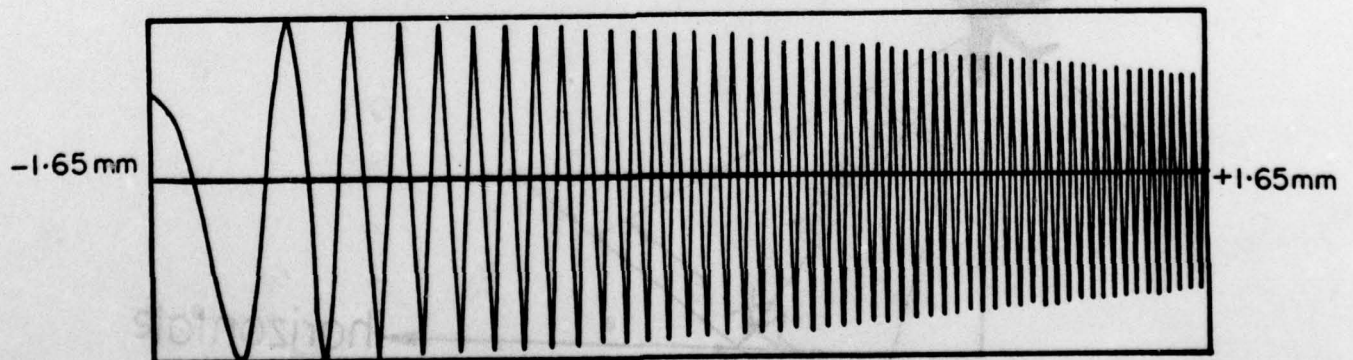


Fig. 11 Signal produit par un point situé à une portée de 25km.

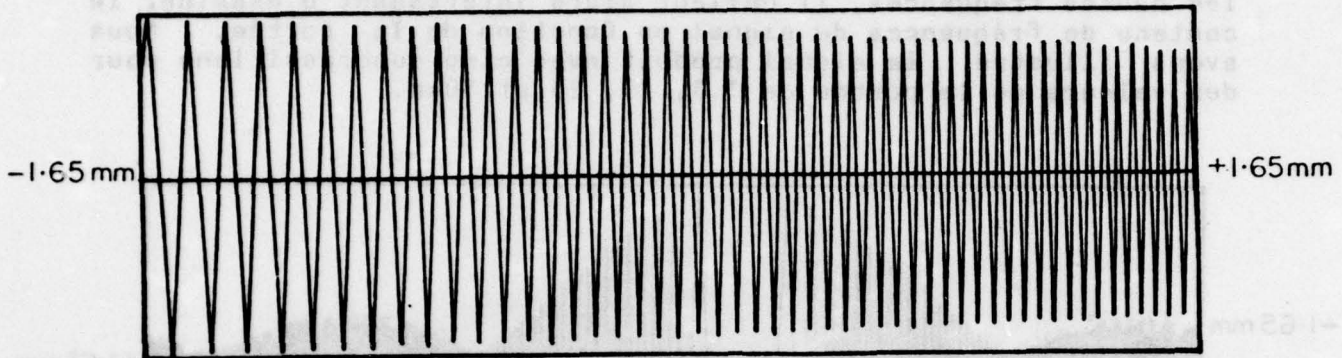


Fig. 12 Signal produit par un point situé à une portée de 50km.

On constate qu'un amortissement plus prononcé du signal est associé à une augmentation de la fréquence du signal et à une diminution de la portée.

POSITION ET LARGEUR AZIMUTALE DES TRACES

La largeur de la bande éclairée sur le terrain ainsi que la position dans le temps du signal retourné par le radar sont toutes deux fonction de la portée et elle peut varier de 3.3 à 50km. Puisque le faisceau possède une largeur angulaire azimutale de .008 radian, la largeur éclairée sur le terrain pour une portée donnée est décrite par l'équation:

$$l = 0.008 \times r \quad (3)$$

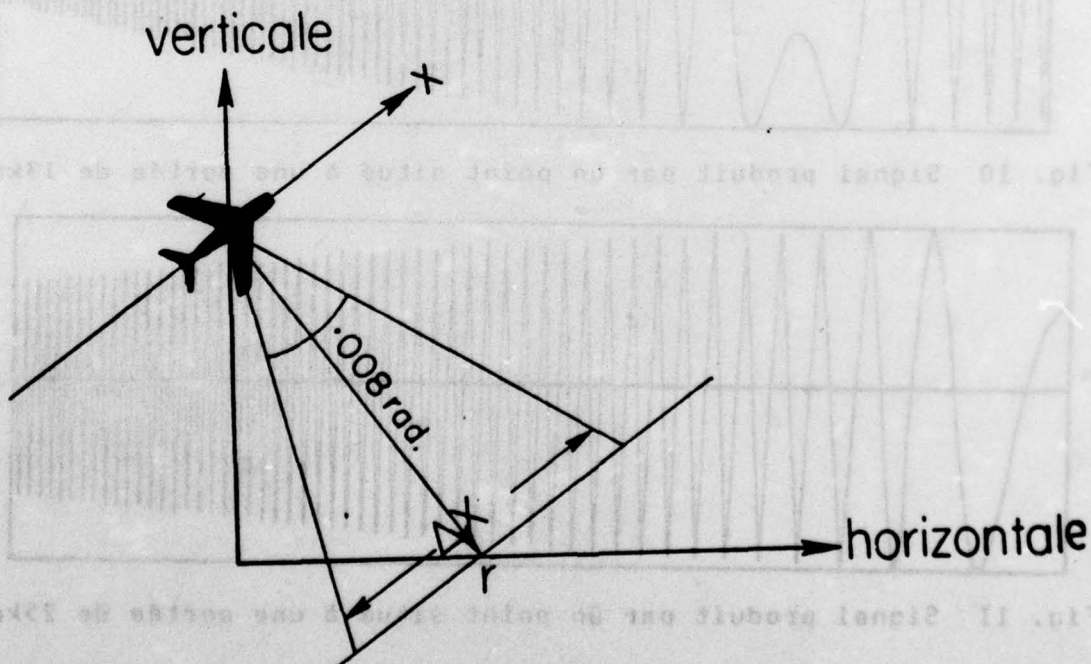


Fig. 13 Cône d'éclairage du radar.

Le point d'azimut 0 et de portée r ne retourne un signal que s'il est éclairé par le faisceau. Si l'on pose que $t=0$ lorsque l'avion croise le point réflecteur, le signal de retour existe entre

$$-\frac{l}{2v} < t < \frac{l}{2v} \quad (4)$$

où v est la vitesse de l'avion (100 m/sec).

Puisque le film se déroule à la vitesse de 1.66 mm/sec et que la position $x=0$ du film correspond à la position $t=0$ de l'avion, ces limites de temps correspondent aux positions:

$$-\frac{1.66 \times l}{2v} < x_f < \frac{1.66 \times l}{2v} \quad (5)$$

Les figures 13, 14 et 15 illustrent quelques exemples du signal à mettre sur film pour différentes portées.

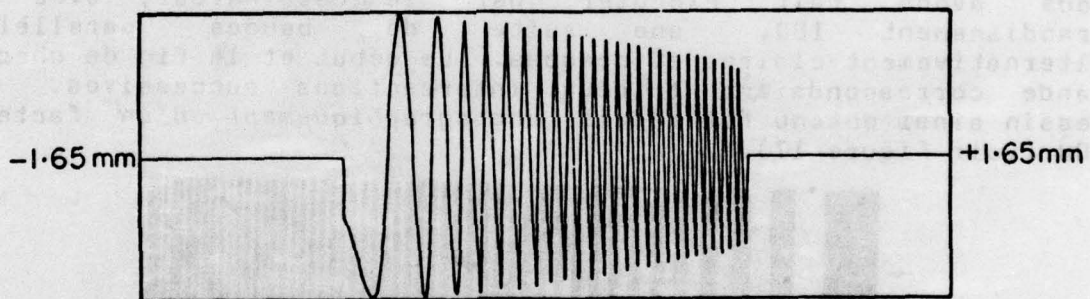


Fig. 14 Signal pour une portée de 13030 m.

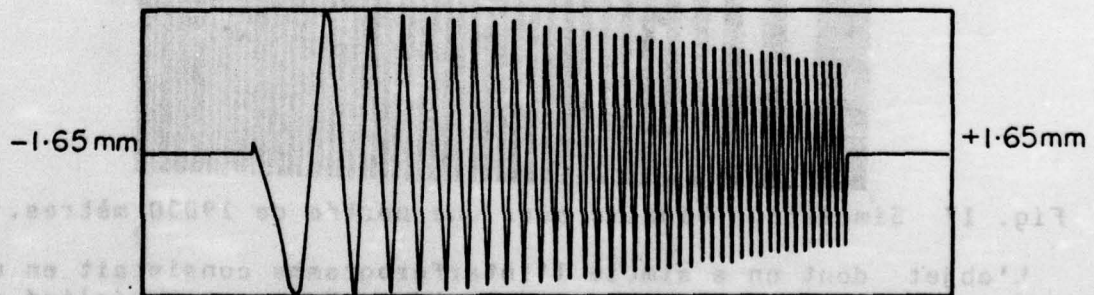


Fig. 15 Signal pour une portée de 16060 m.

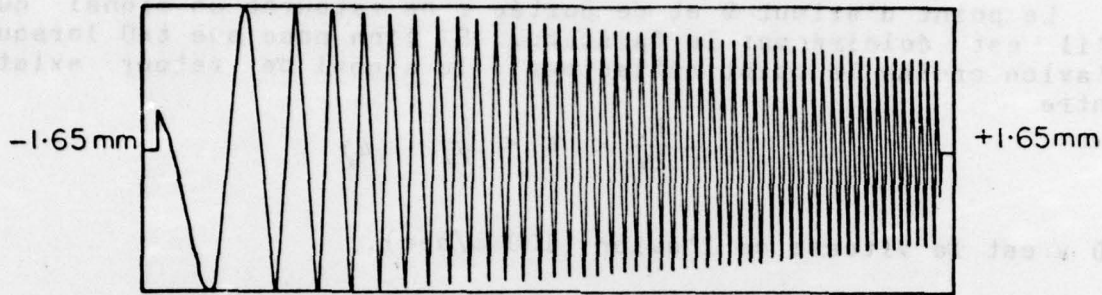


Fig. 16 Signal pour une portée de 24940 m.

SIMULATIONS BINAIRES

Nous avons d'abord réalisé des simulations binaires du signal afin d'obtenir rapidement et à peu de frais un premier instrument de vérification du corrélateur optique. Pour ce faire, nous avons calculé les intersections du signal avec la valeur 0 et nous avons fait exécuter par le dessinateur, avec un grandissement 100, une suite de bandes parallèles alternativement claires et opaques. Le début et la fin de chaque bande correspondaient à deux intersections successives. Le dessin ainsi obtenu fut réduit photographiquement d'un facteur 100 (voir figure 17).

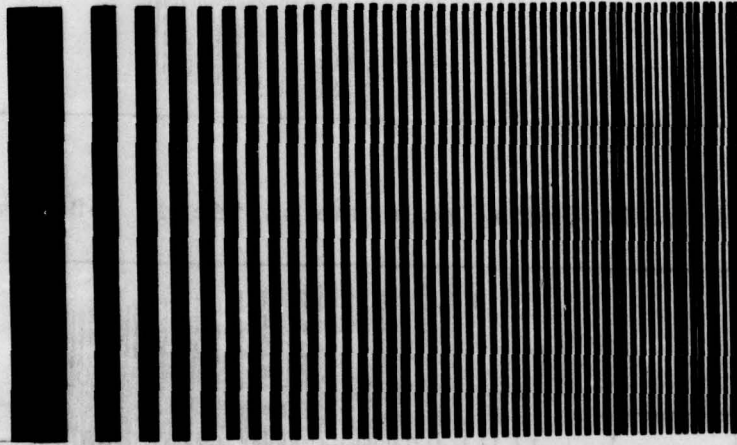


Fig. 17 Simulation binaire pour une portée de 19030 mètres.

L'objet dont on a simulé l'interférogramme consistait en une ligne de points situés à une même portée. Nous avons réalisé des simulations pour cinq valeurs différentes de la portée, soient, 13030, 16060, 19030, 22060 et 24940 mètres.

Notons, en passant, que cette méthode de simulation ne tient pas compte de l'amortissement dû au procédé d'écriture du radar.

SIMULATION AVEC 256 TONS DE GRIS

Nous avons réalisé une simulation plus sophistiquée tenant compte de l'amortissement des oscillations ainsi que de la nature continue des variations du signal. Pour ce faire, nous avons utilisé le microdensitomètre OPTRONICS du CCT. Il peut écrire linéairement 256 niveaux avec une résolution de 25 microns. Les données utilisées pour la construction d'une image doivent être fournies au microdensitomètre sous forme de densité quantifiée en 256 niveaux et la densité optique est définie comme suit

$$D = \log \left(\frac{I_i}{I_t} \right) \quad (6)$$

où:

I_i = intensité lumineuse incidente

I_t = intensité lumineuse transmise

Le microdensitomètre écrit sur du film 2474 de Kodak. Ce film, lorsqu'il est développé dans de bonnes conditions présente un $\gamma = 1$ jusqu'à une densité de 2.3. Il faut donc ajouter au signal variant entre -1 et +1 un fond continu et un facteur d'échelle approprié pour obtenir des densités variant entre 0 et 2.3. Nous devons ensuite prendre le logarithme et quantifier les densités en 256 niveaux (voir figure 18).

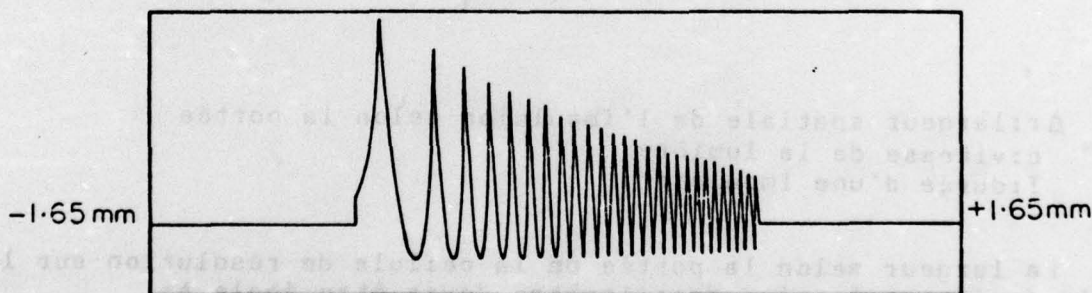


Fig. 18 Densité pour une portée de 13 km.

L'objet choisi pour cette simulation est une ligne formée de 18 points répartis sur 40 positions et espacés de façon à pouvoir évaluer la résolution du système. Ce patron de 40 positions se répète périodiquement avec les valeurs croissantes de la portée.

La figure 19 illustre la disposition des 18 points dans les 40 positions.

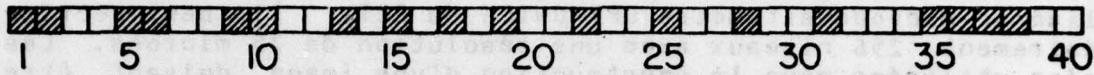


Fig. 19 Disposition des points objet.

Les valeurs de l'intensité calculées, en azimut, à tous les 3.3 microns, seront écrites avec le microdensitomètre à une résolution de 25 microns. Une longueur de 25 microns sur le film produit par le microdensitomètre correspond donc à une longueur de 3.3 microns sur le film produit par le radar. Il faudra donc réduire d'un facteur 7.6.

La largeur, selon la portée, de la cellule de résolution sur le film écrit par le radar est de

$$d_f = \frac{\Delta r}{q} = \frac{cT}{q} \quad (7)$$

où

Δr : largeur spatiale de l'impulsion selon la portée
 c : vitesse de la lumière
 T : durée d'une impulsion

La largeur selon la portée de la cellule de résolution sur le film écrit par le microdensitomètre devra être égale à:

$$d_m = d_f \times 7.6 \quad (8)$$

Ce qui est approximativement égal à 35 fois 25 microns. Il faudra donc répéter l'information azimutale 35 fois pour obtenir le bon facteur d'échelle entre l'azimut et la portée. Une fois le film produit, une photoréduction d'un facteur 7.6 sera effectuée (voir figure 20).

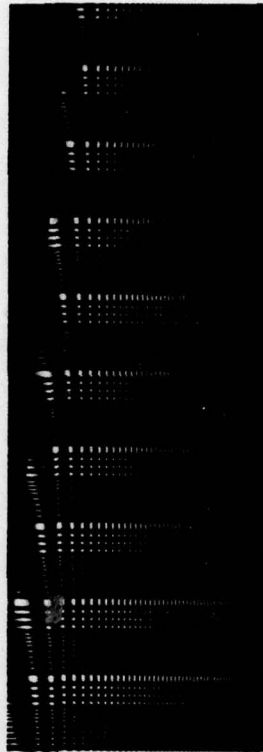


Fig. 20 Simulation en tons de gris

CONCLUSION

Nous avons discuté les caractéristiques des signaux générés par le radar APS-94 modifié et nous avons décrit les techniques utilisées pour simuler ces signaux. Nous avons réalisé de la sorte des simulations binaires pour différentes valeurs de la portée et une simulation en tons de gris où la portée variait de 13030 m à 19030 m. Les résultats des tests effectués à l'aide de ces simulations seront inclus dans un rapport décrivant les différentes vérifications auxquelles le corrélateur a été soumis.

REFERENCES

1. R.T. Lowry, DREO Technical Note no. 74-8, A Feasibility Study for Real Time Optical Correlator for the APS-94D (U).
2. Report on Advanced Optical Design of Radar Correlator, Canadian Instrumentation and Research Ltd. April 1975, D.S.S. contract No. 2SR4-0123.
3. E.B. Felstead, Communication personelle.
4. W.H. Lee and M.O. Greer, Matched Filter Optical Processor Appl. Opt 4 vol.13 p 925.

NON-CLASSIFIE

Security Classification

DOCUMENT CONTROL DATA - R & D (Security classification of title, body of abstract and indexing annotation must be entered when the overall document is classified)		
1. ORIGINATING ACTIVITY Centre de Recherches pour la Défense, Ottawa Quartiers généraux de la Défense Nationale Ottawa, Ontario K1A 0Z4		2a. DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION Non-classifié
		2b. GROUP N11
3. DOCUMENT TITLE Simulations D'Interférogrammes du Radar Motorola APS-94 Modifié (U)		
4. DESCRIPTIVE NOTES (Type of report and inclusive dates) Note technique		
5. AUTHOR(S) (Last name, first name, middle initial) N. BROUSSEAU		
6. DOCUMENT DATE DECEMBRE 1976	7a. TOTAL NO. OF PAGES 20	7b. NO. OF REFS 4
8a. PROJECT OR GRANT NO. 38-80-07	9a. ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S) CRDO NT - 76-32	
8b. CONTRACT NO.	9b. OTHER DOCUMENT NO.(S) (Any other numbers that may be assigned this document)	
10. DISTRIBUTION STATEMENT illimitée - voir liste ci-jointe		
11. SUPPLEMENTARY NOTES	12. SPONSORING ACTIVITY CRDO	
13. ABSTRACT - Non-classifié Il est traité de simulations par données binaires et données à 256 tons de gris d'interférogrammes du radar APS-94 modifié. On a tenu compte de l'amortissement dû à l'intégration produite au moment de l'écriture sur film.		

KEY WORDS

- radar a ouverture synthétique
- simulation de données radar
- traitement optique de données

INSTRUCTIONS

1. **ORIGINATING ACTIVITY:** Enter the name and address of the organization issuing the document.
- 2a. **DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION:** Enter the overall security classification of the document including special warning terms whenever applicable.
- 2b. **GROUP:** Enter security reclassification group number. The three groups are defined in Appendix 'M' of the DRB Security Regulations.
3. **DOCUMENT TITLE:** Enter the complete document title in all capital letters. Titles in all cases should be unclassified. If a sufficiently descriptive title cannot be selected without classification, show title classification with the usual one-capital-letter abbreviation in parentheses immediately following the title.
4. **DESCRIPTIVE NOTES:** Enter the category of document, e.g. technical report, technical note or technical letter. If appropriate, enter the type of document, e.g. interim, progress, summary, annual or final. Give the inclusive dates when a specific reporting period is covered.
5. **AUTHOR(S):** Enter the name(s) of author(s) as shown on or in the document. Enter last name, first name, middle initial. If military, show rank. The name of the principal author is an absolute minimum requirement.
6. **DOCUMENT DATE:** Enter the date (month, year) of Establishment approval for publication of the document.
- 7a. **TOTAL NUMBER OF PAGES:** The total page count should follow normal pagination procedures, i.e., enter the number of pages containing information.
- 7b. **NUMBER OF REFERENCES:** Enter the total number of references cited in the document.
- 8a. **PROJECT OR GRANT NUMBER:** If appropriate, enter the applicable research and development project or grant number under which the document was written.
- 8b. **CONTRACT NUMBER:** If appropriate, enter the applicable number under which the document was written.
- 9a. **ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S):** Enter the official document number by which the document will be identified and controlled by the originating activity. This number must be unique to this document.
- 9b. **OTHER DOCUMENT NUMBER(S):** If the document has been assigned any other document numbers (either by the originator or by the sponsor), also enter this number(s).
10. **DISTRIBUTION STATEMENT:** Enter any limitations on further dissemination of the document, other than those imposed by security classification, using standard statements such as:
 - (1) "Qualified requesters may obtain copies of this document from their defence documentation center."
 - (2) "Announcement and dissemination of this document is not authorized without prior approval from originating activity."
11. **SUPPLEMENTARY NOTES:** Use for additional explanatory notes.
12. **SPONSORING ACTIVITY:** Enter the name of the departmental project office or laboratory sponsoring the research and development. Include address.
13. **ABSTRACT:** Enter an abstract giving a brief and factual summary of the document, even though it may also appear elsewhere in the body of the document itself. It is highly desirable that the abstract of classified documents be unclassified. Each paragraph of the abstract shall end with an indication of the security classification of the information in the paragraph (unless the document itself is unclassified) represented as (TS), (S), (IC), (R), or (U).

The length of the abstract should be limited to 20 single-spaced standard typewritten lines; 7 1/2 inches long.
14. **KEY WORDS:** Key words are technically meaningful terms or short phrases that characterize a document and could be helpful in cataloging the document. Key words should be selected so that no security classification is required. Identifiers, such as equipment model designation, trade name, military project code name, geographic location, may be used as key words but will be followed by an indication of technical context.

