

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



NICE du 16 au 20 MAI 1983

CODES CORRECTEURS EN TRANSMISSION TRES BRUITEE : RESULTATS DE SIMULATIONS EXPERIMENTALES

A. POLI, M.C. GENNERO, J.A. THIONG LY

A.A.E.C.C. LAB, LABORATOIRE L.S.I., UNIVERSITÉ P. SABATIER, 115 ROUTE DE NARBONNE - 31077 TOULOUSE CÉDEX

RESUME

L'optimisation du coût de transmission en milieu fortement bruité ne semble pas complètement acquise : c'est le cas pour les satellites de télécommunication, pour les transmissions sous marines ...

Nous pensons que l'introduction des codes correcteurs peut permettre d'abaisser ce coût.

Nous présentons ici, des résultats expérimentaux obtenus à partir de simulations. Le logiciel mis en œuvre, SITIN-3, utilise des modules de brouillage et de protection de l'information.

Les transmissions simulées sont de types full duplex, ou simplex. Elles utilisent les techniques récentes de "rejet sélectif" avec "reprise en fin".

Le module de brouillage, conçu et réalisé au A.A.E.C.C., modélise différents types de bruits (erreurs isolées, erreurs par paquets, orages magnétiques). Les différents modules de protection de l'information font appel à divers codes correcteurs et à diverses méthodes de décodage : codes de FIRE, codes de REED-SOLOMON, code de GOLAY binaire, décodage selon la technique de MEGGIT, par permutations.

Les simulations, dont nous présentons les résultats, ont porté sur des transmissions d'images numérisées.

SUMMARY

The transmission cost optimization by jammed channel is not yet completely established : that's truthfull for satellite communications or for submarine transmissions.

We think that using error correcting codes is a good technique for minimizing this cost.

We present here several experimental results obtained from software SITIN-3. SITIN-3 uses jamming and information protection subroutines.

The simulated transmission is a full duplex or a simplex one. Recent techniques of selective reject are used in SITIN-3, with "reprise-en-fin".

The jamming part, work out in A.A.E.C.C. lab., modelizes many kinds of random noises (isolated, bursts, magnetic storms).

Several coding and decoding techniques are used in SITIN-3 :

- FIRE, GOLAY and REED-SOLOMON codes,
- MEGGIT technique, permutation decoding.

The simulations, we present here, handle with numerised pictures.



CODES CORRECTEURS EN TRANSMISSION TRES BRUITEE : RESULTATS DE SIMULATIONS EXPERIMENTALES.

I) GENERALITES - INTRODUCTION

Nous présentons dans ce qui suit un logiciel de transmission de données discrètes, en milieu fortement bruité (taux d'erreurs binaires 10^{-2} à 10^{-5}) : *SITIN*. Ce logiciel permet diverses simulations de transmissions du type simplex ou bien duplex.

Nous présentons ici une simulation de transmission par satellite, en duplex. Elle peut s'appliquer également au cas de transmissions sous marines.

La technique de base est décrite dans les travaux du groupe NADIR [4]: c'est la "reprise en fin" des trames erronées.

Des modules d'injection d'erreurs permettent de simuler divers types d'erreurs de transmission.

Une protection contre les erreurs est assurée à partir de codes algébriques.

SITIN est un logiciel modulaire, dont la souplesse permet de couvrir un champs important de simulations, tant pour des images numérisées que pour des textes (Braille abrégé par exemple).

Nous donnons dans ce qui suit une brève présentation des outils théoriques utilisés, une description succincte de la logique de *SITIN*, ainsi que quelques résultats expérimentaux.

II) PRESENTATION DES OUTILS THEORIQUES

L'information binaire est découpée en blocs de longueur fixée. Le codage de chaque bloc ajoute une redondance. Une suite d'un nombre fixé de blocs codés, à laquelle on rajoute un numéro d'ordre, constitue une trame d'information. C'est un volume élémentaire à transmettre.

Technique de transmission :

La technique utilisée dans *SITIN* est du type duplex. Il s'agit d'un dialogue entre un émetteur E et un récepteur R. Il comporte d'abord l'émission séquentielle des trames à transmettre, ainsi que la réception et la gestion (par E) des acquittements fournis par R. La deuxième phase comporte la retransmission éventuelle des trames jugées incorrectes par R. Elle peut se décomposer en plusieurs cycles, chacun d'eux assure la retransmission des trames non acquittées au cycle précédent. La retransmission s'effectue jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de trames à transmettre.

Dès que R reçoit une trame, il émet un message d'acquiescement positif ou négatif selon qu'il la juge correcte ou entachée d'erreurs. L'acquiescement positif est constitué par l'envoi d'un couple d'entiers (n_1, n_2) . Ce sont les numéros qui bornent l'intervalle contenant tous les numéros des trames acceptées depuis le dernier acquiescement négatif. Un acquiescement négatif se traduit par la ré-émission de l'acquiescement positif immédiatement antérieur. E peut ainsi détecter une panne de R, et provoquer alors une interruption de la transmission.

On comprend que le temps d'occupation de la ligne, pour un usager, dépend de multiples paramètres dont la longueur des trames, le taux d'erreurs et la puissance des codes correcteurs.

L'intérêt d'introduire des codes correcteurs est de conduire à une diminution du coût de transmission.

La simulation d'erreurs :

Celle ci se fait par simulation de registres à décalages avec feed-back, avec un aléas dépendant de l'information à transmettre. Les erreurs générées peuvent être au choix, des coupures (bursts) ou des erreurs isolées.

Quatre modules de génération d'erreurs sont dispo-

nibles, dont trois fournissent des erreurs dont la loi d'espacement suit :

- une loi Uniforme $U(64)$: module M1
- une loi Géométrique $G(1/2)$: module M2
- une loi Normale $(n, \sqrt{n}/2)$: module M3

Le module M4 simule des orages magnétiques : basse densité d'erreurs pendant un fort pourcentage du temps, grésillements le reste du temps.

Les codes correcteurs :

Ce sont des codes à longueur fixe (par opposition aux codes convolutionnels par exemple). Trois modules de codage et de décodage sont opérationnels dans *SITIN* :

- Module CC1 : codes de Fire, décodage de Meggit, que nous avons déjà décrits dans [1], [10].
- Module CC2 : code de Golay binaire, décodage par permutations.
- Module CC3 : codes de Reed-Solomon, décodage selon [11]

Le code de Golay binaire utilisé dans CC2 est de longueur 24. C'est l'étendu du code parfait de longueur 23. Le code de Golay binaire étendu est un idéal principal dans une certaine algèbre modulaire.

Ce code possède un important groupe G des symétries internes.

En permutant les composantes d'un mot reçu au moyen d'au plus 14 éléments de G [2], [12], il est possible d'amener les bits erronés dans les positions de redondance. L'algorithme de décodage utilisé dans CC2 sait reconnaître quand l'information est dépourvue d'erreurs. On peut donc corriger toute configuration d'au plus 3 bits erronés parmi les 24 du mot codé.

Le taux de redondance du Golay est de 50 %. Le taux d'erreurs qu'il peut corriger est de $12,5 \cdot 10^{-2}$.

Les codes de Reed-Solomon utilisés dans CC3 sont des codes cycliques qui peuvent également être considérés comme des idéaux dans certaines algèbres modulaires.

Le module CC3 permet l'utilisation de codes (RS) binaires dont la longueur de blocs codés est de la forme $(p-1) \lfloor \log_2 p \rfloor$ (p premier).

Le taux d'erreurs du canal étant donné (τ_0) on ajuste, en entrée de CC3 un paramètre D, ce qui permet au code de corriger statistiquement d'une manière efficace les erreurs de transmission.

L'algorithme utilisé ici consiste à chercher le polynôme localisateur d'erreurs $\sigma(X)$ (algorithme des fractions continues, approximation de Padé) Les racines de $\sigma(X)$ déterminent les positions erronées. La valeur des erreurs est déterminée par un simple schéma de Horner.

III) PRESENTATION ET UTILISATION DE SITIN

Présentation :

SITIN a été développé en Fortran IV. Une version simplifiée existe également au A.A.E.C.C. en Basic sur un TRS 80 (modèle I).

A partir d'un fichier source (image numérisée ou texte), stocké sur disque, d'un jeu de paramètres (cf. utilisation), des modules décrits précédemment, *SITIN* simule une transmission (simplex/duplex) et constitue en sortie les deux fichiers générés aux étapes clés du logiciel (cf. organigramme figure 1) :

- fichier initial brouillé (2)
- fichier initial codé, brouillé, décodé (3)

Ces deux fichiers ainsi que le fichier initial (1) peuvent être visualisés sur imprimante. La comparaison de ces trois fichiers doit permettre un jugement expérimental de la qualité de la protection contre les erreurs.

Dans *SITIN* nous avons brouillé l'information protégée et l'information non protégée, afin de comparer l'effet de la protection. Nous avons donc considéré que

CODES CORRECTEURS EN TRANSMISSION TRÈS BRUITÉE : RESULTATS DE SIMULATIONS EXPERIMENTALES

les deux types d'information transitent par le même canal, ce qui signifie que nous avons du générer les mêmes erreurs aux mêmes positions dans le défilement des bits pour les deux cas considérés.

Dans le cas d'une simulation simplex, et de traitement d'images, SITIN assure un masquage de l'erreur détectée par recopie du bloc de même rang de la ligne précédente.

Dans le cas duplex, la trame erronée sera retransmise.

Outre les trois fichiers constitués en sortie de SITIN on obtient les résultats suivants :

- le taux d'erreurs expérimental : $\tau_e = \frac{e}{M}$
- le rendement de la transmission : $R = \frac{M}{N}$
- le taux d'erreurs résiduelles

où :

N est le nombre de bits du fichier à transmettre
 M est le nombre de bits effectivement transmis
 e est le nombre de bits erronés

Utilisation :

Pour pouvoir utiliser SITIN on doit d'abord disposer d'un fichier (disque), préalablement constitué, contenant les trames à transmettre, sous forme de données discrètes. La notion d'enregistrement logique étant directement liée à la notion de trame (définie plus haut), il est clair que l'on doit savoir quel est le code qui sera utilisé pour la simulation.

SITIN acquiert, ensuite, de manière interactive les paramètres suivants :

- nature du fichier initial (image, texte)
- codage des niveaux de gris (si image)
- choix du code (Fire, Golay, Reed-Solomon)
- longueur du bloc d'information
- nombre de blocs codés par trame
- degré du polynôme générateur (si codes de Fire)
- polynôme générateur (Fire)
- degré et polynôme prémultiplieur (Fire tronqué)
- choix du brouillage
- paramètres pour le calcul du taux d'erreurs théorique

rique

- longueur des erreurs
- polynômes générateur d'erreurs et déclancheur d'erreurs

- paramètre pour la simulation (simplex, duplex)
 - nombre de bits pour le codage du numéro de trame (duplex)

- clés d'édition pour les trois fichiers constitués dans SITIN.

IV) RÉSULTATS

Les résultats que nous présentons dans le tableau ci-contre ont été réalisés dans les conditions suivantes

- * code de Fire
 longueur du mot d'information : 33 bits
 longueur du mot codé : 46 bits
 longueur maximale des erreurs : 7 bits

- * code de Golay binaire
 longueur du mot d'information : 12 bits
 longueur du mot codé : 24 bits
 longueur maximale des erreurs : 4 bits -

Longueur du fichier à transmettre 43,6 kbits

τ_e est le taux d'erreur binaire du canal

τ_h est le taux d'erreurs résiduelles après correction

R est le rendement de la transmission.

- * code de Reed-Solomon (P: 37)
 longueur du mot d'information : 150 bits
 longueur du mot codé : 180 bits, longueur des erreurs : 23 bits.

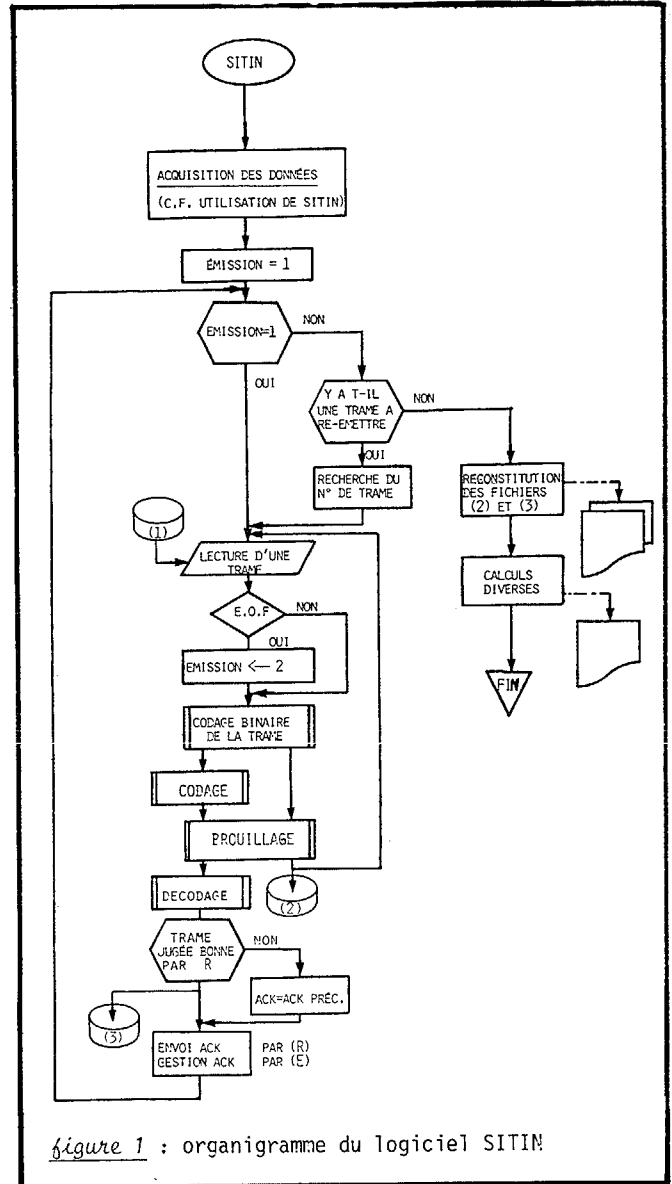


figure 1 : organigramme du logiciel SITIN

code	L (bits)	R (%)	τ_h (%)	simplex	
				R (%)	τ_h (%)
FIRE ($\tau_e=10^{-5}$)	528	68.09	0.00	71.74	0.2
FIRE ($\tau_e=10^{-3}$)	528 612 681	64.52 63.82 60.42	0.00 0.00 0.00	71.74	0.27
GOLAY ($\tau_e=10^{-3}$)	528 720	48.89 48.89	0.12 0.13	50.00	0.51
R. S. ($\tau_e=10^{-3}$)	910	67.90	0.00	83.34	0.1

transmission duplex

simplex



CODES CORRECTEURS EN TRANSMISSION TRES BRUTEE : RESULTATS DE
SIMULATIONS EXPERIMENTALES

V) CONCLUSION

Le but de nos simulations est de minimiser le coût d'une transmission. Dans cette optique, nous avons réalisé un logiciel de simulation de transmissions de type simplex [10]. Nous l'avons complété récemment, par de nouveaux modules de codage (Golay, Reed-Solomon), de décodage (par permutations, polynôme localisateur) et de retransmission (reprise en fin).

Le logiciel obtenu SITIN-3 nous a permis d'obtenir des premiers résultats. Nous allons réaliser maintenant des simulations plus importantes que nous présenterons lors de la conférence. SITIN-3 est exploitable par tout utilisateur possédant un fichier numérisé, sur bande magnétique.

continued fractions"

I.E.E.E. Transactions on information theory
Vol. IT24 n°1 - janvier 1978

(12) J. WOLFMANN

"A permutation coding of the (24,12,8)
Golay code"
I.E.E.E. Information theory
(à paraître : sept 1983)

BIBLIOGRAPHIE

- (1) M. DOLFO "Simulation de transmission d'images iconiques en temps réel, protégées par un code de Fire"
Thèse C.N.A.M. - 1981
- (2) D.M. GORDON "Minimal permutations sets for decoding the binary Golay codes"
I.E.E. Information theory
vol. IT-28, pp 541-543 - mai 1982
- (3) S. HARARI correspondance privée.
- (4) C. HUITEMA, B. VO-QUI, I. VALET
"Transport de masse en point à point à haut débit par satellite : étude et plan d'expérimentation de protocoles"
Projet pilote NADIR - avril 1981
- (5) F.J. Mac WILLIAMS, N.J.A. SLOANE
"The theory of error correcting codes"
Vol. 16, Amsterdam : NORTHOLLAND - 1977
- (6) O. PAPINI "Synthèse des méthodes de décodage"
Mémoire de D.E.A.
Université de Provence - juin 1982
- (7) W.W. PETERSON
"Error correcting codes"
Cambridge, MA : M.I.T. press - 1961
- (8) A. POLI, M.C. GENNERO
"Condensed Braille transmission and error correcting codes"
Colloque international: INFORMATIQUE ET BRAILLE
Toulouse - 1981
- (9) A. POLI " Un logiciel de factorisation de polynômes binaires : FAST 02"
Revue du C.E.T.H.E.D.E.C. (à paraître)
- (10) A. POLI, M.C. GENNERO, F. DELAMOTTE
"Transmission d'images, et codes correcteurs : SITIN-PBD et DOLVRON-1"
Colloque International : traitement du signal et ses applications 'GRETSI'
Nice - juin 1980
- (11) I.S. REED, R.A. SHOLTZ, T.K. TRUONG, L.R. WELCH
"The fast decoding of Reed-Solomon codes using Fermat theoretic transform and