Laboratoire
Codage de Canal

1 BUT DU LABORATOIRE

Le but de ce laboratoire est d'étudier la notion de codage de canal. Le codage de canal consiste en une signature que l'on ajoute sur tout paquet d'information à transmettre. Cela permet de combattre à la fois le bruit de communication et l'interférence inter-symbole amené par le canal. La grande force du codage de canal est de pouvoir détecter les erreurs et de les corriger.

Durée : 4 périodes

2 INTRODUCTION

Ce laboratoire qui se réalise à l'aide d'un petit logiciel maison (CRC_LRC) et de Mathworks Matlab utilise des fichiers qui sont disponible sur le serveur eint20 dans le répertoire suivant (à copier en local) :

\\eint20\IICT\Laboratoires\CNU\Codage de canal

Terminologie (longueur des codes):

k : Nombre de bits d'information

n : Nombre total de bits

m : Nombre de bits de contrôle (n-k)

3 TRAVAIL

3.1 QUESTION PREALABLE

3.1.1 Quelle est la différence entre un codage de source et de canal ?

3.2 CODES DETECTEURS D'ERREUR (CRC)

Le CRC (Cyclique Redundancy Check) est un code polynômial cyclique (qui fait partie des codes blocs linéaires). Les codes CRC ont comme particularité que toutes les combinaisons appartenant au code (mots-code) sont divisibles par un polynôme générateur g(x) de degré m.

La détection d'erreur consiste pour l'émetteur à effectuer un algorithme sur les bits de la trame afin de générer des bits de contrôle, et de transmettre tous ces éléments au récepteur. Il suffit alors au récepteur d'effectuer le même calcul afin de vérifier que les bits de contrôle soient valides.

Rappel de propriétés des codes polynomiaux cycliques :

Propriété 0 : Un code linéaire (n, k) est dit code cyclique si tout décalage cyclique d'un mot code est encore un mot code.

Propriété 1 : Le code polynomial non nul de degré minimal d'un code cyclique (n, k) est de degré n – k.

Propriété 2 : Le code polynomial non nul de degré minimal d'un code cyclique (n, k) divise le polynôme $1 + X^n$

Propriété 3 : Si g(X) est un polynôme de degré n – k et divise $1 + X^n$*, alors g(X) engendre un code cyclique (n, k), g(X) est appelé polynôme générateur. Afin d'engendrer le code on multiplie les polynômes correspondant aux messages d'information par le polynôme générateur.*

Propriété 4 : Les k décalages cycliques du mot code correspondant au polynôme non nul de degré minimal forment une base du code.

Utilisez ce polynôme générateur normalisé (CRC-8) dans le reste de cette section :

$$g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$$

Employez l'application CRC_LRC pour vous aider à répondre aux questions suivantes. Les champs en gras peuvent être modifiés en cliquant sur la souris. On peut par exemple initialiser n'importe quel polynôme générateur.

3.2.1 Calculez le taux d'erreur non-detectée pour ce CRC ? Et si le nombre de bits d'information augmente ? Interprétez.

3.2.2 Quelle est la longueur maximale de salve d'erreurs que ce CRC pourra de sûre toujours détecter ? Plusieurs salves pourront-elles de sûr être détectées ? (Définition d'une salve d'erreur, voir cours, p.73)

3.2.3 Comprendre visuellement à l'aide du programme CRC_LRC comment sont générés les bits de contrôle. Quelle est l'opération mathématique réalisée ? Démontrer avec un exemple.

3.2.4 Avec quelles fonctions logiques peut-on réaliser un codeur de code cyclique ?

3.2.5 Ajoutez quelques erreurs, mais uniquement dans les bits de contrôle. Que constatez-vous par rapport au code correcteur (différence entre code envoyé et code reçu) ? Expliquez pourquoi ? Pensez-vous que c'est un avantage ?

3.2.6 Trouver un cas qui montre que les erreurs ne sont pas détectées.

3.2.7 Dans une transmission ARQ (Automatic Repeat Request), si le CRC permet de détecter une erreur, quelle sera la prochaine étape ?

3.3 CODES CORRECTEURS D'ERREUR

Utilisez le code situé dans le répertoire « Demo detecteur d'erreur » et répondez aux questions suivantes.

3.3.1 Quelle est le type de codage employé dans cette démo (n,k) ?

3.3.2 Quelle est la matrice génératrice ? Retrouvez les codes à l'aide des propriétés de ce type de codage. Est-ce que le code est systématique ?

3.3.3 Quelles sont les capacités de détection (q) et de correction (t) de ce code ? Et le rendement (η) ?

3.3.4 Quel est le débit binaire du fichier sonore juste avant le codage de canal ? Et juste après le codage de canal ?

3.3.5 Lancer la démo. Écoutez le son et analysez les graphes. La correction d'erreur fonctionne–t-elle bien ? Reste-t-il encore des erreurs ? Pourquoi ?

3.3.6 Est-ce que ce codage de canal est efficace pour du son ? Pourquoi ? Quel est le codage de canal utilisé pour les CD audio ? Développez.

4 ANECDOTE

[…] La « théorie de l'information », élaborée et énoncée par l'ingénieur américain Claude Elwood Shannon en 1948, se présente comme un chapitre plutôt austère de la théorie des probabilités. Elle affirme la possibilité paradoxale d'une communication sans erreur malgré des bruits perturbateurs affectant la transmission, pourvu qu'un codage approprié soit employé. Utile, indispensable même aux ingénieurs en tant que cadre conceptuel, elle n'a eu initialement qu'une faible influence directe sur les moyens de communication. Elle a pris de plus en plus d'importance à mesure qu'il devenait possible de réaliser des dispositifs complexes. La radiotéléphonie numérique et les CD, sans parler de l'exploration du système solaire, seraient inconcevables sans les très efficaces procédés de codage qu'a directement suscités la théorie de l'information. […] Le théorème de codage de canal est particulièrement remarquable, montrant que les perturbations du canal limitent le débit d'information possible, mais non la qualité de restitution du message, qui peut être spécifiée par une probabilité d'erreur arbitrairement petite. Les moyens d'obtenir ce résultat n'étaient cependant pas explicités par la théorie et la diminution de la probabilité d'erreur est une propriété asymptotique, exigeant que la longueur du message traité augmente indéfiniment. Alors qu'un tel résultat avait longtemps été cru inaccessible, une probabilité d'erreur négligeable pour un débit d'information proche de la capacité du canal n'a été obtenue qu'en 1993 (le théorème fondamental date de 1948), avec l'invention des turbo-codes par Claude Berrou, Alain Glavieux et Punya Thitimajshima à l'Ecole nationale supérieure des télécommunications de Bretagne. (Source : Gérard Battail, professeur honoraire à l'E.N.S.T.)

5 REFERENCES

- Cours de Communications numériques, Dedieu Hervé, 277 pages, 2006, HEIG-VD.
- Laboratoire de Iulia Popovici.

Auteur : Jérôme Vernez (jerome.vernez@heig-vd.ch)