

PROJET LDPC

author : Léo CHETOT, Jean-Marie GORCE, Sébastien PEYCHET,

editor : Léo CHETOT

Présentation du projet

Le but de ce projet est l'implémentation et la compréhension d'un codec¹ canal de type LDPC. Inventé en 1964 par Robert Gallager et redécouvert en 1996 par David MacKay, les LDPCs ont su trouver largement leur place dans le paysage des télécommunications de la télévision numérique aux communications satellites en passant par le WIFI et plus récemment la 5G².

Le projet sera réalisé en groupe et sera évalué sur la base suivante :

- 📄 Un rapport au format PDF (3 pages max.) répondant aux questions de la section I et de la section III;
- 🔗 L'implémentation du décodeur soft à partir du document [1];

⚠ Vous veillerez à bien respecter les consignes de rendu car une partie de l'évaluation est automatisée.

I ■ Quelques propriétés des LDPCs

Commencer par lire le document [1]. Ce dernier est un tutorial décrivant le fonctionnement de l'algorithme de décodage d'un code LDPC. Il est donc important de bien le lire afin de répondre aux questions suivantes et pour pouvoir implémenter le décodeur (voir section II). De plus, vous vous appuyerez sur le cours pour justifier vos réponses, lorsque cela est pertinent.

QI.1 – Que signifie l'acronyme LDPC? Justifier le nom.

QI.2 – À quel famille de codec appartiennent les codes LDPC?

QI.3 – Comment est construit le graphe de Tanner d'un code LDPC? Que représente alors la matrice de parité?

QI.4 – Le LDPC est un algorithme itératif qui repose sur l'échange de messages entre les noeuds du graphes. Quel est le nombre de message qui sont échangés à chaque itération en fonction des dimensions d'une matrice de parité H de taille (M, N) ?

QI.5 – Comparer la complexité de décodage d'un LDPC avec le décodeur optimal vu en cours pour des mots code $w \in \mathcal{W}$ de N bits et donner l'intérêt du décodeur LDPC.

QI.6 – Quelle différence y a-t-il entre un décodeur LDPC *hard* et *soft*? Expliquer pourquoi il est plus intéressant de considérer un décodeur *soft*?

1. codage et décodage

2. pour les canaux de données seulement, les canaux de contrôle utilisent les codes polaires

QI.7 – (Question ouverte) Les codes LDPC sont sous-optimaux mais réussissent néanmoins à atteindre des taux d'erreur binaire (TEB) très faibles. Dans le cas du décodeur *soft*, proposer une explication à cette observation exploitant le fonctionnement de l'algorithme.

II ■ Implémentation d'un décodeur soft

Vous allez maintenant implémenter le décodeur *soft*. Veillez à bien respecter les consignes car votre implémentation sera testée de façon automatique. **L'évaluation portera sur la validité de votre implémentation, à la fois en terme de correction de mots code erronés mais aussi en terme de qualité de votre implémentation (choix techniques, code commenté et structuré).**

À partir de [1, Section 3.2], implémenter le décodeur *soft*. Pour cela, vous créerez un fichier MATLAB nommé `SOFT_DECODER_GROUPE<i>.m` où *<i>* est le numéro de groupe qui vous est attribué. Ce fichier devra comporter une fonction `SOFT_DECODER_GROUPE<i>(c, H, p, MAX_ITER)` prenant en paramètres :

- *c*, un vecteur colonne binaire de dimension $[N, 1]$;
- *H*, une matrice de parité de dimension $[M, N]$ constituée de `true` et `false` ;
- *p*, un vecteur colonne de dimension $[N, 1]$ tel que *p*(*i*) est la probabilité que *c*(*i*) == 1 sachant qu'on a reçu un certain signal ;
- `MAX_ITER`, un entier strictement positif spécifiant le nombre maximal d'itérations que peut effectuer le décodeur

et retournant

- *c*_{cor} le vecteur colonne binaire de dimension $[N, 1]$ issu du décodage.

III ■ Intégration dans une chaîne de communication

Cette partie se concentre sur l'intégration d'un codec LDPC dans une chaîne de communication standard.

QIII.1 – Faire un schéma de la chaîne de communication comportant un transmetteur, un canal et un récepteur. Vous devez y faire apparaître les éléments suivants :

- l'information envoyée *w* ;
- un bloc de codage canal par LDPC et sa sortie, i.e. mot code $\mathbf{c} = [c_1, \dots, c_N]^T \in \{0, 1\}^N$;
- un bloc de conversion bits/symboles et sa sortie $\mathbf{d} = [d_1, \dots, d_K]^T \in \mathcal{C}^K$ pour une constellation \mathcal{C} ;
- un bloc de canal et sa sortie $\mathbf{z} = [z_1, \dots, z_K]^T \in \mathbb{C}^K$;
- un bloc de décodage canal et sa sortie $\hat{\mathbf{c}} = [\hat{c}_1, \dots, \hat{c}_N]^T$;
- un bloc de récupération de l'information et sa sortie \hat{w} .

QIII.2 – Le décodeur *soft* nécessite de connaître la probabilité *a posteriori* des bits, i.e. $\mathbb{P}_{c_n|\mathbf{z}}(c | \mathbf{z})$. Donner son expression pour un canal AWGN lorsque la constellation utilisée est une BPSK ($d_n \in \{-1, +1\}$) et que les bits sont *a priori* équiprobables.

QIII.3 – (Question ouverte) Proposer un protocole permettant de mesurer le TEB du décodeur LDPC *soft* dans le cadre d'un canal AWGN. Vous veillerez à expliquer vos choix et à les illustrer sous la forme de fonctions dont vous préciserez les entrées et sorties. Par exemple, une fonction `z = awgn_channel(x, variance)` où `x` est le signal en entrée d'un canal AWGN dont le bruit possède une certaine variance et qui retourne une observation bruitée `z` de `x`.

Références

- [1] B. M. J. LEINER, "LDPC Codes – A Brief Tutorial," 2005.