

Éléments d'une chaîne DVB-S2

8 juin 2012

Plan

- 1 Principaux éléments d'une chaîne DVB-S2
- 2 Codes LDPC
- 3 Décodage itératif
- 4 Codes QC-LDPC

Plan

- 1 Principaux éléments d'une chaîne DVB-S2
- 2 Codes LDPC
- 3 Décodage itératif
- 4 Codes QC-LDPC

DVB-S2

Principaux éléments

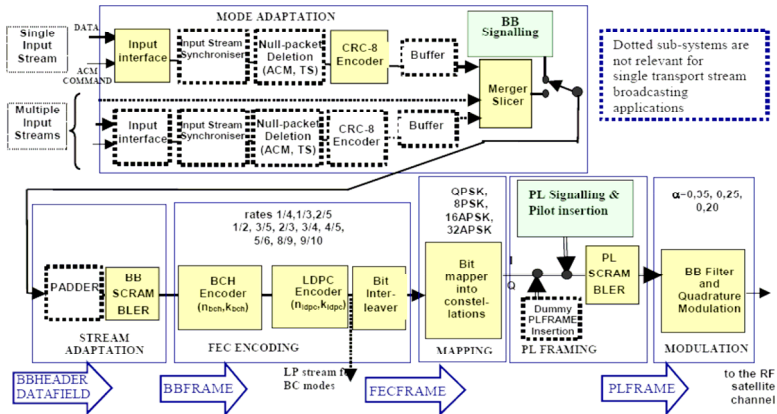


Figure 1: Functional block diagram of the DVB-S.2 System

DVB-S2

Trame "bande de base"

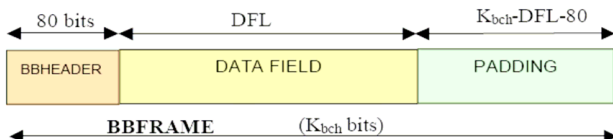


Figure 4: BBFRAME format at the output of the STREAM ADAPTER

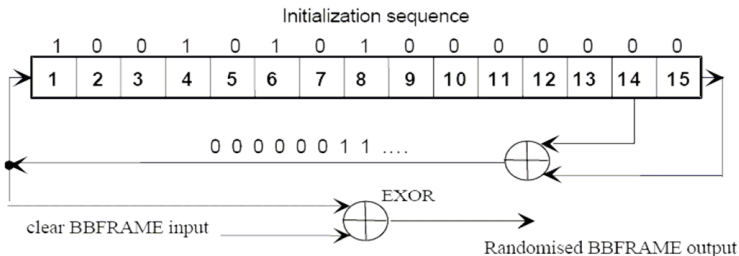


Figure 5: Possible implementation of the PRBS encoder

DVB-S2

Structure Trame Codée

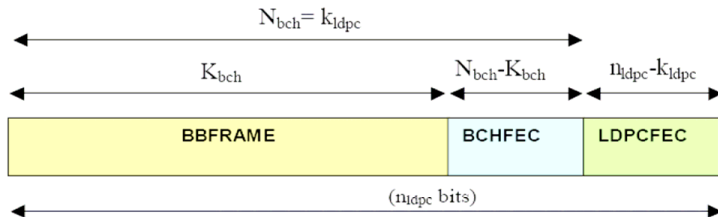


Figure 6: format of data before bit interleaving
 ($n_{ldpc} = 64\,800$ bits for normal FECFRAME, $n_{ldpc} = 16\,200$ bits for short FECFRAME)

DVB-S2

Codage de canal

Table 5a: coding parameters (for normal FECFRAME $n_{ldpc} = 64\,800$)

LDPC code	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block k_{ldpc}	BCH t-error correction	LDPC Coded Block n_{ldpc}
1/4	16 008	16 200	12	64 800
1/3	21 408	21 600	12	64 800
2/5	25 728	25 920	12	64 800
1/2	32 208	32 400	12	64 800
3/5	38 688	38 880	12	64 800
2/3	43 040	43 200	10	64 800
3/4	48 408	48 600	12	64 800
4/5	51 648	51 840	12	64 800
5/6	53 840	54 000	10	64 800
8/9	57 472	57 600	8	64 800
9/10	58 192	58 320	8	64 800

Table 5b: coding parameters (for short FECFRAME $n_{ldpc} = 16\,200$)

LDPC Code identifier	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block k_{ldpc}	BCH t-error correction	Effective LDPC Rate $k_{ldpc}/16\,200$	LDPC Coded Block n_{ldpc}
1/4	3 072	3 240	12	1/5	16 200
1/3	5 232	5 400	12	1/3	16 200
2/5	6 312	6 480	12	2/5	16 200
1/2	7 032	7 200	12	4/9	16 200
3/5	9 552	9 720	12	3/5	16 200
2/3	10 632	10 800	12	2/3	16 200
3/4	11 712	11 880	12	11/15	16 200
4/5	12 432	12 600	12	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	37/45	16 200
8/9	14 232	14 400	12	8/9	16 200
9/10	NA	NA	NA	NA	NA

DVB-S2

Entrelacement

Table 8: Bit Interleaver structure

Modulation	Rows (for $n_{ldpc} = 64\ 800$)	Rows (for $n_{ldpc} = 16\ 200$)	Columns
8PSK	21 600	5 400	3
16APSK	16 200	4 050	4
32APSK	12 960	3 240	5

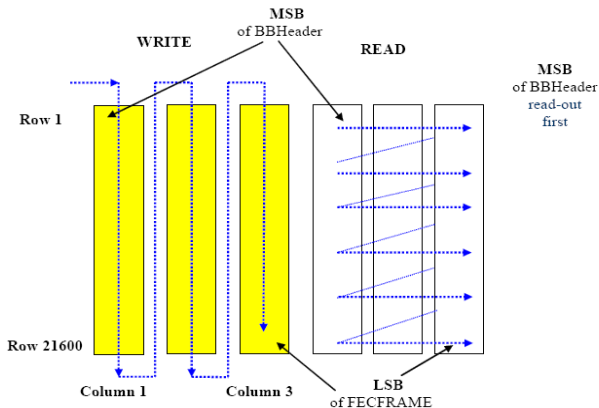
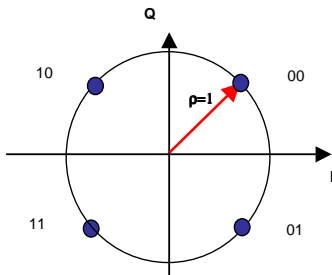


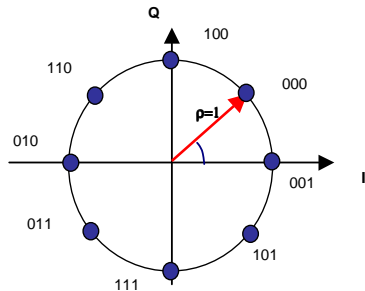
Figure 7: Bit Interleaving scheme for 8PSK and normal FECFRAME length (all rates except 3/5)

DVB-S2

Modulations



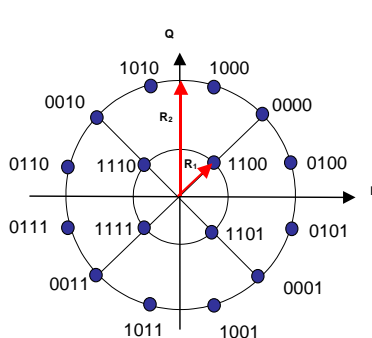
(a) QPSK



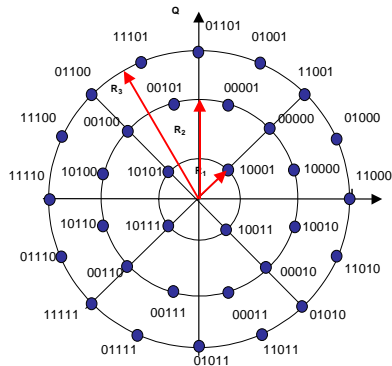
(b) 8-PSK

DVB-S2

Modulations



(c) 16-APSK



(d) 32-APSK

DVB-S2

Modulations

Table 9: optimum constellation radius ratio γ (linear channel) for 16APSK

Code rate	Modulation/coding spectral efficiency	γ
2/3	2,66	3,15
3/4	2,99	2,85
4/5	3,19	2,75
5/6	3,32	2,70
8/9	3,55	2,60
9/10	3,59	2,57

Table 10: optimum constellation radius ratios γ_1 and γ_2 (linear channel) for 32 APSK

Code rate	Modulation/coding spectral efficiency	γ_1	γ_2
3/4	3,74	2,84	5,27
4/5	3,99	2,72	4,87
5/6	4,15	2,64	4,64
8/9	4,43	2,54	4,33
9/10	4,49	2,53	4,30

DVB-S2

Trame Couche Physique

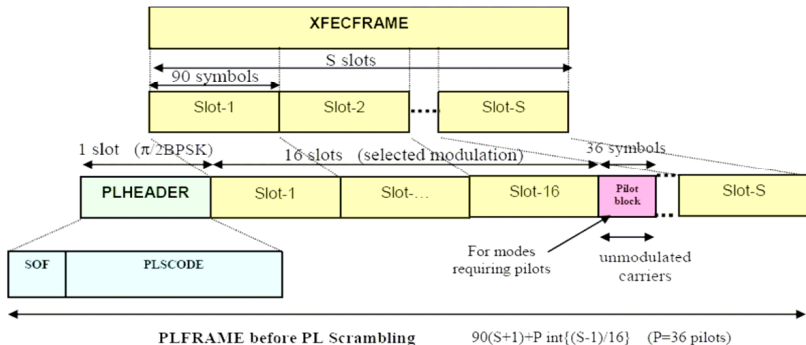


Figure 13: Format of a "Physical Layer Frame" PLFRAME

Table 11: S = number of SLOTS ($M = 90$ symbols) per XFECFRAME

η_{MOD} (bit/s/Hz)	$n_{\text{ldpc}} = 64\,800$ (normal frame)		$n_{\text{ldpc}} = 16\,200$ (short frame)	
	S	η % no-pilot	S	η % no-pilot
2	360	99,72	90	98,90
3	240	99,59	60	98,36
4	180	99,45	45	97,83
5	144	99,31	36	97,30

DVB-S2

Scrambling

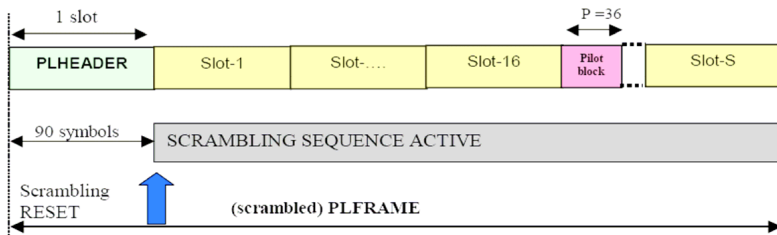
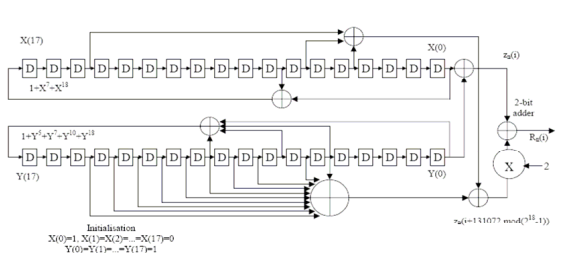


Figure 14: PL SCRAMBLING



DVB-S2

Mise en forme par racine de cosinus surélevés

$$H(f) = 1$$

$$\text{for } |f| < f_N(1-\alpha)$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2}$$

$$\text{for } f_N(1-\alpha)$$

$$H(f) = 0 \text{ for } |f| > f_N(1+\alpha),$$

$$\alpha = 0.2; 0.25; 0.35$$

DVB-S2

Performances

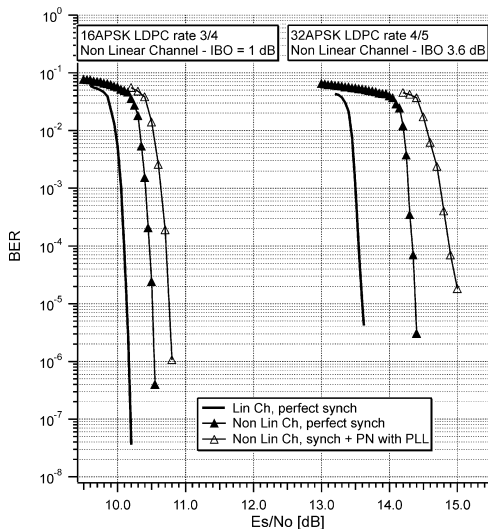
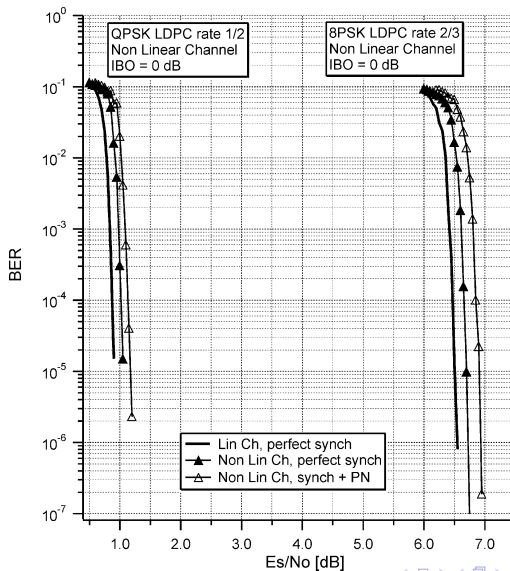


Fig. 24. Comparison of BER curves for 16 APSK 3/4 and 32APSK 4/5 in AWGN and nonlinear channels (with and without synth losses).

DVB-S2

Performances



DVB-S2

Modulations

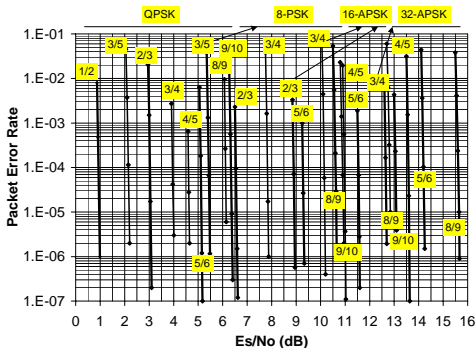
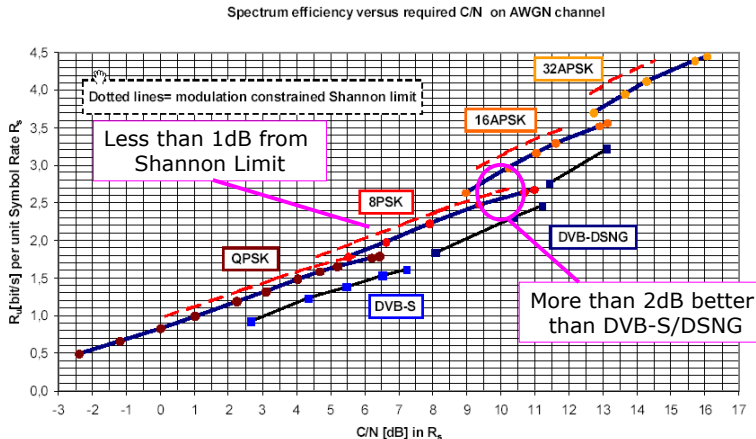


Figure 7. Performance of LDPC+BCH Codes over AWGN Channel, $N=64800$ bits

DVB-S2

Modulations



DVB-S2

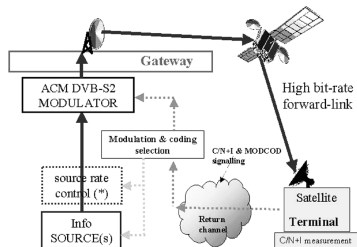
Modulations

Example comparison between DVB-S and DVB-S2 for TV broadcasting

Satellite EIRP (dBW)	51		53.7	
System	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulation & coding	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Symbol rate (Mbaud)	27.5 ($\alpha = 0.35$)	30.9 ($\alpha = 0.0$)	27.5 ($\alpha = 0.35$)	29.7 ($\alpha = 0.25$)
C/N (in 27.5 MHz) (dB)	5.1	5.1	7.8	7.8
Useful bitrate (Mbit/s)	33.8	46 (gain = 36%)	44.4	58.8 (gain = 32%)
Number of SDTV programmes	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Number of HDTV programmes	1-2 MPEG-2 3 - 4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

DVB-S2

Modulations



(*) Source rate control may be directly applied to source(s) or locally at the GTW input or via network traffic control

Plan

- 1 Principaux éléments d'une chaîne DVB-S2
- 2 Codes LDPC
- 3 Décodage itératif
- 4 Codes QC-LDPC

Codes LDPC

Introduction

- 1963 : Gallager, codes LDPC régulier, décodeur A et B
- 1981 : Tanner, codes définis sur les graphes.
- 1995 : MacKay, décodage par BP
- 2001 : Richardson et Urbanke, codes LDPC irréguliers et évolutions de densités.

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Introduction

Définition

$$\mathcal{C}_H = \{\mathbf{c} \in GF(2)^{\times N} \mid H \cdot \mathbf{c}^T = \mathbf{0}\}$$

- H est la matrice de parité du code de taille $M \times N$,
- Si H de rang plein : $R = K/N$ avec $K = N - M$,
- Equations de parité : $\bigoplus_{j: h_{ij} \neq 0} c_j = 0, \quad \forall i = 1 \dots M$,
- H est dite à faible densité si

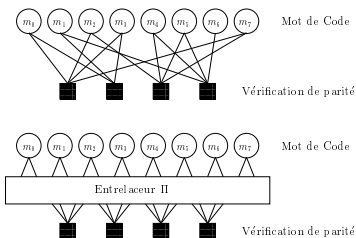
$$\frac{\text{éléments non nuls}}{N.M} \xrightarrow{N \rightarrow +\infty} 0$$

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Représentation

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Matrice de Parité



Graphe bipartite associé dût de Tanner

Graphe de Tanner

- **Noeuds de variables** : associés au bits du mot de codes,
- **Noeuds de parité** : associés au équations de parités,
- **branches** : lien entre noeuds de variables et noeuds de parité.
Un noeud de variable n sera connecté au noeud de parité m si $h_{mn} = 1$ dans la matrice.

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Codes LDPC : profils

Codes LDPC réguliers

- Paramètres : (d_v, d_c) ,
- d_v : nombre de '1' par colonne,
- d_c : nombre de '1' par ligne,
- $R \geq 1 - d_v/d_c$

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Matrice de Parité $(2, d_c)$

Codes LDPC irréguliers

- non régulier : degrés différents possible pour chaque noeud,
- $R \geq 1 - \overline{d_v}/\overline{d_c}$

Plan

- 1 Principaux éléments d'une chaîne DVB-S2
- 2 Codes LDPC
- 3 Décodage itératif**
- 4 Codes QC-LDPC

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Décodage par Propagation de croyance (Belief Propagation, BP)

Décodage itératif des codes LDPC

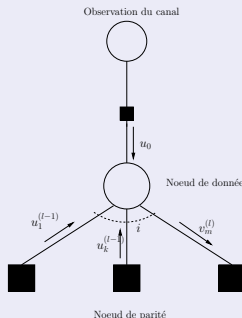
- **Décodage par Maximum de vraisemblance** : trop complexe,
- **Mise en oeuvre d'un algorithme itératif de décodage** : algorithme de propagation de croyances (Belief Propagation, BP) par mise à jour successive de "messages" (croyances) en sortie de noeud de variables et de parité,
- **Hypothèses** : entrelacement parfait
 - ⇒ les messages arrivant à un noeud de variable ou de parité sont considérés comme indépendants
 - ⇒ hypothèse d'**arbre local** qui permet un calcul explicite des messages (probabilités ou log-rapport de probabilités (LLR)) transitant sur les branches du graphe de Tanner associé,
- les messages transitant sur le graphe sont par nature "extrinsèques",
- **Algorithme BP** : algorithme itératif sous-optimal à relativement faible complexité.

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Décodage par Propagation de croyance

Mise à jour des noeuds de variables

les messages considérés sont des LLR $v = \log\left(\frac{p(c=0|\{z\})}{p(c=1|\{z\})}\right)$



$$v_m^{(l)} = u_0 + \sum_{k=1, k \neq m}^i u_k^{(l-1)}, \forall m = 1 \dots i$$

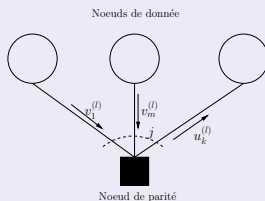
$$u_0 = \log\left(\frac{p(x=0|y)}{p(x=1|y)}\right) = \log\left(\frac{p(y|x=0)}{p(y|x=1)}\right)$$

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Décodage par Propagation de croyance

Mise à jour des noeuds de parité

les messages considérés sont des LLR $u = \log\left(\frac{p(c'=0|\{z'\})}{p(c'=1|\{z'\})}\right)$



$$\tanh \frac{u_k^{(l)}}{2} = \prod_{m=1, m \neq k}^j \tanh \frac{v_m^{(l)}}{2}, \forall k = 1 \dots j$$

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Décodage par Propagation de croyance

Décodage et décision

$$v_{\text{app},n} = u_0 + \sum_{k=1}^i u_k^{(L)}, \forall n = 1 \dots N$$

$$\hat{m}_n = \frac{1 - \text{sign}(v_{\text{app},n})}{2}, \forall n = 1 \dots N$$

Messages initiaux pour différents canaux

- **BEC** : $u_0 \in \{+\infty, -\infty, 0\}$,
- **BSC** : $u_0 = (-1)^{y[n]} \log\left(\frac{1-p}{p}\right)$,
- **Gaussien** : $u_0 = \frac{2}{\sigma_b^2} y[n]$,

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Algorithme BP simplifié : Min-Sum

$$u_k^{(l)} = \left[\prod_{m=1, m \neq k}^j \text{sign}(v_m^{(l)}) \right] \left[\min_{m \neq k} (|v_m^{(l)}|) \right], \forall k = 1 \dots j$$

Algorithme Min-Sum atténué

$$u_k^{(l)} = \alpha_k^{(l)} \left[\prod_{m=1, m \neq k}^j \text{sign}(v_m^{(l)}) \right] \left[\min_{m \neq k} (|v_m^{(l)}|) \right], \forall k = 1 \dots j$$

$0 < \alpha < 1$ est un facteur d'atténuation, éventuellement variable.

Algorithme Min-Sum avec offset

$$u_k^{(l)} = \left[\prod_{m=1, m \neq k}^j \text{sign}(v_m^{(l)}) \right] \left[\max \left\{ \min_{m \neq k} (|v_m^{(l)}|) - \beta, 0 \right\} \right], \forall k = 1 \dots j$$

$0 < \alpha < 1$ est un facteur d'atténuation, éventuellement variable.

Plan

- 1 Principaux éléments d'une chaîne DVB-S2
- 2 Codes LDPC
- 3 Décodage itératif
- 4 Codes QC-LDPC**

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Codes Quasi-cycliques : définitions et propriétés

Définitions

- ① chaque mot de code de taille $N = n \times L$ comportent n sections de L bits,
- ② toute permutation circulaire des mots de codes restreinte à la longueur d'une section est un mot de code.

Représentation

- **Matrice polynomiale** : ces matrices peuvent être représentées par une matrice dite polynomiale dont les éléments sont des polynômes associés à la matrice de permutation,

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & 1 & 0 \\ 0 & & & & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Codes Quasi-cycliques : définitions et propriétés

Exemple :

$$H = \begin{pmatrix} I + P^2 & I + P^4 & I & 0 \\ I + P & P + P^3 & 0 & I \end{pmatrix}$$

Définitions

- **Matrice de base** : on peut associer à la matrice H une matrice de base H_B dont les éléments sont le nombre de monômes à chaque éléments non nul de taille $L \times L$,
- **Ordre de lift/extension/expansion** : on dit que H est obtenue par extension ou "lifting" de H_B d'ordre L .

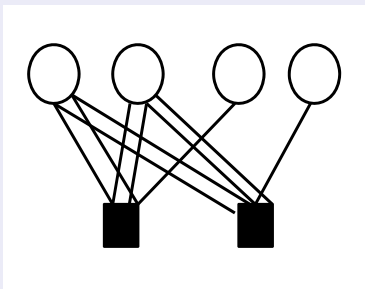
$$H_B = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Codes Quasi-cycliques : définitions et propriétés

Représentation par protographe

- on peut associer un graphe de Tanner à H_B qui représente la description synthétique des connexions de H ,
- le graphe résultant est appelé protographe (projected-graph),



Représentation du graphe projeté (protographe)

Codes Low-Density Parity-Check (LDPC)

Codes Quasi-cycliques : intérêts pratiques

- le codage peut être réalisé de manière linéaire en temps car la matrice génératrice peut être réalisée à l'aide de simples registres à décalage,
- représentation de H simplifiée par utilisation conjointe de la matrice de base et des polynômes associés à l'extension,
- le décodage peut-être réalisé de manière fortement parallélisée
⇒ codes ayant en général un très bon compromis complexité/performance
⇒ de facto, le type de codes utilisés dans les standards