

Codes tordus dont le rang ou la distance minimale est prescrite

Lionel Chaussade, Pierre Loidreau, Félix Ulmer

IRMAR, UMR 6625, Université de Rennes 1

Conférence C2, Mars 2008

Plan

- 1 Introduction
- 2 Théorie de Galois des équations aux différences
- 3 Distance rang prescrite
- 4 Distance minimale prescrite

Plan

- 1 Introduction
- 2 Théorie de Galois des équations aux différences
- 3 Distance rang prescrite
- 4 Distance minimale prescrite

Plan

- 1 Introduction
- 2 Théorie de Galois des équations aux différences
- 3 Distance rang prescrite
- 4 Distance minimale prescrite

Plan

- 1 Introduction
- 2 Théorie de Galois des équations aux différences
- 3 Distance rang prescrite
- 4 Distance minimale prescrite

Notations et construction

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Id} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q^s} & & & & \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \sigma(x) = x^q & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_q & = & (\mathbb{F}_{q^s})^\sigma & \longleftrightarrow & \text{Id} \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \Theta(x) = x^{q_0} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q_0} & = & (\mathbb{F}_q)^\theta & \longleftrightarrow & \theta(x) = x^{q_0}
 \end{array}$$

Notations et construction

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Id} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q^s} & & & & \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \sigma(x) = x^q & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_q & = & (\mathbb{F}_{q^s})^\sigma & \longleftrightarrow & \text{Id} \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \Theta(x) = x^{q_0} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q_0} & = & (\mathbb{F}_q)^\theta & \longleftrightarrow & \theta(x) = x^{q_0}
 \end{array}$$

Notations et construction

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Id} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q^s} & & & & \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \sigma(x) = x^q & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_q & = & (\mathbb{F}_{q^s})^\sigma & \longleftrightarrow & \text{Id} \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \Theta(x) = x^{q_0} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q_0} & = & (\mathbb{F}_q)^\theta & \longleftrightarrow & \theta(x) = x^{q_0}
 \end{array}$$

Notations et construction

$$\begin{array}{ccccccc}
 Id & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q^s} & & & & \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \sigma(x) = x^q & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_q & = & (\mathbb{F}_{q^s})^\sigma & \longleftrightarrow & Id \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \Theta(x) = x^{q_0} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q_0} & = & (\mathbb{F}_q)^\theta & \longleftrightarrow & \theta(x) = x^{q_0}
 \end{array}$$

Notations et construction

$$\begin{array}{ccccccc}
 \begin{array}{c} Id \\ \cap \\ \sigma(x) = x^q \\ \cap \\ \Theta(x) = x^{q_0} \end{array} & \begin{array}{c} \leftarrow \rightsquigarrow \\ \leftarrow \rightsquigarrow \\ \leftarrow \rightsquigarrow \end{array} & \begin{array}{c} \mathbb{F}_{q^s} \\ \cup \\ \mathbb{F}_q \\ \cup \\ \mathbb{F}_{q_0} \end{array} & = & (\mathbb{F}_{q^s})^\sigma & \begin{array}{c} \leftarrow \rightsquigarrow \\ \leftarrow \rightsquigarrow \\ \leftarrow \rightsquigarrow \end{array} & \begin{array}{c} Id \\ \cap \\ \theta(x) = x^{q_0} \end{array}
 \end{array}$$

Notations et construction

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Id} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q^s} & & & & \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \sigma(x) = x^q & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_q & = & (\mathbb{F}_{q^s})^\sigma & \longleftrightarrow & \text{Id} \\
 \cap & & \cup & & & & \\
 \Theta(x) = x^{q_0} & \longleftrightarrow & \mathbb{F}_{q_0} & = & (\mathbb{F}_q)^\theta & \longleftrightarrow & \theta(x) = x^{q_0}
 \end{array}$$

θ -codes

$$\mathbb{F}_q[X, \theta], \quad Xa = \theta(a)X.$$

Définition

Un θ -code est un idéal à gauche de $\mathbb{F}_q[X, \theta]/(f)$ où (f) est bilatère.

$$g = g_0 + g_1X + \dots + g_rX^r \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$$

$$\begin{pmatrix} g_0 & \cdots & g_{r-1} & g_r & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \cdots & \theta(g_{r-1}) & \theta(g_r) & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \theta^{n-r-1}(g_0) & \cdots & \theta^{n-r-1}(g_{r-1}) & \theta^{n-r-1}(g_r) \end{pmatrix}$$

θ -codes

$$\mathbb{F}_q[X, \theta], \quad Xa = \theta(a)X.$$

Définition

Un θ -code est un idéal à gauche de $\mathbb{F}_q[X, \theta]/(f)$ où (f) est bilatère.

$$g = g_0 + g_1X + \dots + g_rX^r \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$$

$$\begin{pmatrix} g_0 & \cdots & g_{r-1} & g_r & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \cdots & \theta(g_{r-1}) & \theta(g_r) & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \theta^{n-r-1}(g_0) & \cdots & \theta^{n-r-1}(g_{r-1}) & \theta^{n-r-1}(g_r) \end{pmatrix}$$

θ -codes

$$\mathbb{F}_q[X, \theta], \quad Xa = \theta(a)X.$$

Définition

Un θ -code est un idéal à gauche de $\mathbb{F}_q[X, \theta]/(f)$ où (f) est bilatère.

$$g = g_0 + g_1X + \dots + g_rX^r \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$$

$$\begin{pmatrix} g_0 & \cdots & g_{r-1} & g_r & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \cdots & \theta(g_{r-1}) & \theta(g_r) & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \theta^{n-r-1}(g_0) & \cdots & \theta^{n-r-1}(g_{r-1}) & \theta^{n-r-1}(g_r) \end{pmatrix}$$

θ -codes

$$\mathbb{F}_q[X, \theta], \quad Xa = \theta(a)X.$$

Définition

Un θ -code est un idéal à gauche de $\mathbb{F}_q[X, \theta]/(f)$ où (f) est bilatère.

$$g = g_0 + g_1X + \dots + g_rX^r \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$$

$$\begin{pmatrix} g_0 & \cdots & g_{r-1} & g_r & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \cdots & \theta(g_{r-1}) & \theta(g_r) & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \theta^{n-r-1}(g_0) & \cdots & \theta^{n-r-1}(g_{r-1}) & \theta^{n-r-1}(g_r) \end{pmatrix}$$

Question : Peut-on contrôler la distance minimale de ces codes?

Lien avec les polynômes tordus

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_1 \theta(y) + a_0 y = 0$$

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_0 y \iff P_L = a_n X^n + \dots + a_0 \text{ (skew)}$$

$$L_1 \circ L_2 \iff P_{L_1} P_{L_2}$$

$$\beta \in \mathbb{F}_{q^s}^*, L(\beta) = 0 \iff (X - \frac{\theta(\beta)}{\beta}) \mid_d P_L$$

$$L(y) = \sum_{k=0}^n y^{p^{ki}} \text{ si } \theta(y) = y^{p^i}$$

⇒ Polynômes linéarisés

Lien avec les polynômes tordus

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_1 \theta(y) + a_0 y = 0$$

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_0 y \iff P_L = a_n X^n + \dots + a_0 \text{ (skew)}$$

$$L_1 \circ L_2 \iff P_{L_1} P_{L_2}$$

$$\beta \in \mathbb{F}_{q^s}^*, L(\beta) = 0 \iff (X - \frac{\theta(\beta)}{\beta}) \mid_d P_L$$

$$L(y) = \sum_{k=0}^n y^{p^{ki}} \text{ si } \theta(y) = y^{p^i}$$

⇒ Polynômes linéarisés

Lien avec les polynômes tordus

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_1 \theta(y) + a_0 y = 0$$

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_0 y \iff P_L = a_n X^n + \dots + a_0 \text{ (skew)}$$

$$L_1 \circ L_2 \iff P_{L_1} P_{L_2}$$

$$\beta \in \mathbb{F}_{q^s}^*, L(\beta) = 0 \iff (X - \frac{\theta(\beta)}{\beta}) \mid_d P_L$$

$$L(y) = \sum_{k=0}^n y^{p^{ki}} \text{ si } \theta(y) = y^{p^i}$$

⇒ Polynômes linéarisés

Lien avec les polynômes tordus

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_1 \theta(y) + a_0 y = 0$$

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_0 y \iff P_L = a_n X^n + \dots + a_0 \text{ (skew)}$$

$$L_1 \circ L_2 \iff P_{L_1} P_{L_2}$$

$$\beta \in \mathbb{F}_{q^s}^*, L(\beta) = 0 \iff (X - \frac{\theta(\beta)}{\beta}) \mid_d P_L$$

$$L(y) = \sum_{k=0}^n y^{p^{ki}} \text{ si } \theta(y) = y^{p^i}$$

⇒ Polynômes linéarisés

Lien avec les polynômes tordus

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_1 \theta(y) + a_0 y = 0$$

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_0 y \iff P_L = a_n X^n + \dots + a_0 \text{ (skew)}$$

$$L_1 \circ L_2 \iff P_{L_1} P_{L_2}$$

$$\beta \in \mathbb{F}_{q^s}^*, L(\beta) = 0 \iff (X - \frac{\theta(\beta)}{\beta}) \mid_d P_L$$

$$L(y) = \sum_{k=0}^n y^{p^{ki}} \text{ si } \theta(y) = y^{p^i}$$

⇒ Polynômes linéarisés

Lien avec les polynômes tordus

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_1 \theta(y) + a_0 y = 0$$

$$L(y) = a_n \theta^n(y) + \dots + a_0 y \iff P_L = a_n X^n + \dots + a_0 \text{ (skew)}$$

$$L_1 \circ L_2 \iff P_{L_1} P_{L_2}$$

$$\beta \in \mathbb{F}_{q^s}^*, L(\beta) = 0 \iff (X - \frac{\theta(\beta)}{\beta}) \mid_d P_L$$

$$L(y) = \sum_{k=0}^n y^{p^{ki}} \text{ si } \theta(y) = y^{p^i}$$

\Rightarrow Polynômes linéarisés

Distance rang

On fixe une base $(\beta_1, \dots, \beta_m)$ de \mathbb{F}_{q^m} sur \mathbb{F}_q .

Definition

Soit $x = (x_1, \dots, x_n) \in (\mathbb{F}_{q^m})^n$, on appelle **rang** de x , le rang de la matrice $X = (x_{ij})$ où $x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} \beta_j$.

Definition

La **distance rang minimale** d'un code $C \subset (\mathbb{F}_{q^m})^n$ est :

$$d_{\text{rang}}(C) = \min_{x \in C^*} \text{rang}(x)$$

$$d_{\text{rang}}(C) \leq d_{\text{hamming}}(C)$$

Distance rang

On fixe une base $(\beta_1, \dots, \beta_m)$ de \mathbb{F}_{q^m} sur \mathbb{F}_q .

Definition

Soit $x = (x_1, \dots, x_n) \in (\mathbb{F}_{q^m})^n$, on appelle **rang** de x , le rang de la matrice $X = (x_{ij})$ où $x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} \beta_j$.

Definition

La **distance rang minimale** d'un code $C \subset (\mathbb{F}_{q^m})^n$ est :

$$d_{\text{rang}}(C) = \min_{x \in C^*} \text{rang}(x)$$

$$d_{\text{rang}}(C) \leq d_{\text{hamming}}(C)$$

Distance rang

On fixe une base $(\beta_1, \dots, \beta_m)$ de \mathbb{F}_{q^m} sur \mathbb{F}_q .

Definition

Soit $x = (x_1, \dots, x_n) \in (\mathbb{F}_{q^m})^n$, on appelle **rang** de x , le rang de la matrice $X = (x_{ij})$ où $x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} \beta_j$.

Definition

La **distance rang minimale** d'un code $C \subset (\mathbb{F}_{q^m})^n$ est :

$$d_{\text{rang}}(C) = \min_{x \in C^*} \text{rang}(x)$$

$$d_{\text{rang}}(C) \leq d_{\text{hamming}}(C)$$

Prescription de la distance rang

Théorème

Soit $g \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$ et L_g l'opérateur associé. Soit $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et $\delta \geq 1$ tels que :

- $\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ des solutions de $L_g(y) = 0$.

Alors pour tout f central de degré au plus n , le code $(g)/(f)$ a une distance rang au moins égale à $\delta + 1$.

Prescription de la distance rang

Théorème

Soit $g \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$ et L_g l'opérateur associé. Soit $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et $\delta \geq 1$ tels que :

$-\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

$-\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ des solutions de $L_g(y) = 0$.

Alors pour tout f central de degré au plus n , le code $(g)/(f)$ a une distance rang au moins égale à $\delta + 1$.

Prescription de la distance rang

Théorème

Soit $g \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$ et L_g l'opérateur associé. Soit $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et $\delta \geq 1$ tels que :

$-\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

$-\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ des solutions de $L_g(y) = 0$.

Alors pour tout f central de degré au plus n , le code $(g)/(f)$ a une distance rang au moins égale à $\delta + 1$.

Prescription de la distance rang

Théorème

Soit $g \in \mathbb{F}_q[X, \theta]$ et L_g l'opérateur associé. Soit $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et $\delta \geq 1$ tels que :

$-\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

$-\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ des solutions de $L_g(y) = 0$.

Alors pour tout f central de degré au plus n , le code $(g)/(f)$ a une distance rang au moins égale à $\delta + 1$.

Algorithme

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 On veut trouver un opérateur ayant pour solutions $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$.

Algorithme

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 On veut trouver un opérateur ayant pour solutions $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$.

Algorithme

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 On veut trouver un opérateur ayant pour solutions $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$.

Casoratien

Soient $y_1, \dots, y_n \in \mathbb{F}_q$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$:

$$\text{Cas}_{y_1, \dots, y_n}(y) = \begin{vmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_n & y \\ \theta(y_1) & \theta(y_2) & \dots & \theta(y_n) & \theta(y) \\ \theta^2(y_1) & \theta^2(y_2) & \dots & \theta^2(y_n) & \theta^2(y) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta^n(y_1) & \theta^n(y_2) & \dots & \theta^n(y_n) & \theta^n(y) \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow L_g = \text{Cas}(\beta, \dots, \beta^{\delta-1}(\beta), \gamma_1, \dots, \gamma_r)$$

Casoratien

Soient $y_1, \dots, y_n \in \mathbb{F}_q$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$:

$$\text{Cas}_{y_1, \dots, y_n}(y) = \begin{vmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_n & y \\ \theta(y_1) & \theta(y_2) & \dots & \theta(y_n) & \theta(y) \\ \theta^2(y_1) & \theta^2(y_2) & \dots & \theta^2(y_n) & \theta^2(y) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta^n(y_1) & \theta^n(y_2) & \dots & \theta^n(y_n) & \theta^n(y) \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow L_g = \text{Cas}(\beta, \dots, \beta^{\delta-1}(\beta), \gamma_1, \dots, \gamma_r)$$

Casoratien

Soient $y_1, \dots, y_n \in \mathbb{F}_q$ linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$:

$$\text{Cas}_{y_1, \dots, y_n}(y) = \begin{vmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_n & y \\ \theta(y_1) & \theta(y_2) & \dots & \theta(y_n) & \theta(y) \\ \theta^2(y_1) & \theta^2(y_2) & \dots & \theta^2(y_n) & \theta^2(y) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta^n(y_1) & \theta^n(y_2) & \dots & \theta^n(y_n) & \theta^n(y) \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow L_g = \text{Cas}(\beta, \dots, \beta^{\delta-1}(\beta), \gamma_1, \dots, \gamma_r)$$

Cacul de la borne

Proposition

On suppose que σ est une puissance de θ . Le degré de la borne, f , de g est plus petit que n si et seulement si

$$L_f = \text{Cas}(\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)) .$$

Algorithme final

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 Calculer le casoratien de ces éléments. S'il est central, on continue, sinon on choisit un autre β
- 4 Compléter la famille $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ pour former un sous- $(\mathbb{F}_q)^\theta$ -espace vectoriel V stable par σ .
- 5 Calculer $L_g = \text{Cas}(V)$.
- 6 Former le θ code correspondant.

On a un θ -code de distance rang $\geq \delta + 1$

Algorithme final

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 Calculer le casoratién de ces éléments. S'il est central, on continue, sinon on choisit un autre β
- 4 Compléter la famille $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ pour former un sous- $(\mathbb{F}_q)^\theta$ -espace vectoriel V stable par σ .
- 5 Calculer $L_g = \text{Cas}(V)$.
- 6 Former le θ code correspondant.

On a un θ -code de distance rang $\geq \delta + 1$

Algorithme final

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 Calculer le casoratién de ces éléments. S'il est central, on continue, sinon on choisit un autre β
- 4 Compléter la famille $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ pour former un sous- $(\mathbb{F}_q)^\theta$ -espace vectoriel V stable par σ .
- 5 Calculer $L_g = \text{Cas}(V)$.
- 6 Former le θ code correspondant.

On a un θ -code de distance rang $\geq \delta + 1$

Algorithme final

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 Calculer le casoratién de ces éléments. S'il est central, on continue, sinon on choisit un autre β
- 4 Compléter la famille $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ pour former un sous- $(\mathbb{F}_q)^\theta$ -espace vectoriel V stable par σ .
- 5 Calculer $L_g = \text{Cas}(V)$.
- 6 Former le θ code correspondant.

On a un θ -code de distance rang $\geq \delta + 1$

Algorithme final

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 Calculer le casoratién de ces éléments. S'il est central, on continue, sinon on choisit un autre β
- 4 Compléter la famille $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ pour former un sous- $(\mathbb{F}_q)^\theta$ -espace vectoriel V stable par σ .
- 5 Calculer $L_g = \text{Cas}(V)$.
- 6 Former le θ code correspondant.

On a un θ -code de distance rang $\geq \delta + 1$

Algorithme final

- 1 Choisir \mathbb{F}_q , $\theta \in \text{Aut}(\mathbb{F}_q)$, s et δ .
- 2 Prendre $\beta \in \mathbb{F}_{q^s}$ et calculer le plus grand n tel que

$\beta, \dots, \theta^{n-1}(\beta)$ soient linéairement indépendants sur $(\mathbb{F}_q)^\theta$.

- 3 Calculer le casoratién de ces éléments. S'il est central, on continue, sinon on choisit un autre β
- 4 Compléter la famille $\beta, \dots, \theta^{\delta-1}(\beta)$ pour former un sous- $(\mathbb{F}_q)^\theta$ -espace vectoriel V stable par σ .
- 5 Calculer $L_g = \text{Cas}(V)$.
- 6 Former le θ code correspondant.

On a un θ -code de distance rang $\geq \delta + 1$

Un exemple détaillé

- 1 \mathbb{F}_4 , $\theta(x) = x^2$, $s = 6$ et $\sigma(x) = x^4$.
- 2 $\beta = \alpha^{3688}$. La famille $\beta, \dots, \theta^7(\beta)$ est linéairement indépendante sur \mathbb{F}_2 .
- 3 Le casoratien de ces éléments est $L_f = X^8 + X^6 + X^2 + 1$ qui est central.
- 4 On prend $\delta = 1$ et on forme le plus petit espace stable par $\sigma(x) = x^4$ contenant β . Le casoratien d'une base de cet espace est : $L_g = X^4 + w^2X^3 + X^2 + X + 1$.
- 5 On obtient un code sur \mathbb{F}_4 qui a pour matrice génératrice :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 \end{pmatrix}$$
- 6 $[8, 4, 4]$ code, c'est un θ -code. Il descend en un $[16, 8, 4]$ code sur \mathbb{F}_2 .

Un exemple détaillé

- 1 \mathbb{F}_4 , $\theta(x) = x^2$, $s = 6$ et $\sigma(x) = x^4$.
- 2 $\beta = \alpha^{3688}$. La famille $\beta, \dots, \theta^7(\beta)$ est linéairement indépendante sur \mathbb{F}_2 .
- 3 Le casoratien de ces éléments est $L_f = X^8 + X^6 + X^2 + 1$ qui est central.
- 4 On prend $\delta = 1$ et on forme le plus petit espace stable par $\sigma(x) = x^4$ contenant β . Le casoratien d'une base de cet espace est : $L_g = X^4 + w^2X^3 + X^2 + X + 1$.
- 5 On obtient un code sur \mathbb{F}_4 qui a pour matrice génératrice :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 \end{pmatrix}$$
- 6 $[8, 4, 4]$ code, c'est un θ -code. Il descend en un $[16, 8, 4]$ code sur \mathbb{F}_2 .

Un exemple détaillé

- 1 \mathbb{F}_4 , $\theta(x) = x^2$, $s = 6$ et $\sigma(x) = x^4$.
- 2 $\beta = \alpha^{3688}$. La famille $\beta, \dots, \theta^7(\beta)$ est linéairement indépendante sur \mathbb{F}_2 .
- 3 Le casoratien de ces éléments est $L_f = X^8 + X^6 + X^2 + 1$ qui est central.
- 4 On prend $\delta = 1$ et on forme le plus petit espace stable par $\sigma(x) = x^4$ contenant β . Le casoratien d'une base de cet espace est : $L_g = X^4 + w^2X^3 + X^2 + X + 1$.
- 5 On obtient un code sur \mathbb{F}_4 qui a pour matrice génératrice :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 \end{pmatrix}$$
- 6 $[8, 4, 4]$ code, c'est un θ -code. Il descend en un $[16, 8, 4]$ code sur \mathbb{F}_2 .

Un exemple détaillé

- 1 \mathbb{F}_4 , $\theta(x) = x^2$, $s = 6$ et $\sigma(x) = x^4$.
- 2 $\beta = \alpha^{3688}$. La famille $\beta, \dots, \theta^7(\beta)$ est linéairement indépendante sur \mathbb{F}_2 .
- 3 Le casoratien de ces éléments est $L_f = X^8 + X^6 + X^2 + 1$ qui est central.
- 4 On prend $\delta = 1$ et on forme le plus petit espace stable par $\sigma(x) = x^4$ contenant β . Le casoratien d'une base de cet espace est : $L_g = X^4 + w^2X^3 + X^2 + X + 1$.
- 5 On obtient un code sur \mathbb{F}_4 qui a pour matrice génératrice :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 \end{pmatrix}$$
- 6 $[8, 4, 4]$ code, c'est un θ -code. Il descend en un $[16, 8, 4]$ code sur \mathbb{F}_2 .

Un exemple détaillé

- 1 \mathbb{F}_4 , $\theta(x) = x^2$, $s = 6$ et $\sigma(x) = x^4$.
- 2 $\beta = \alpha^{3688}$. La famille $\beta, \dots, \theta^7(\beta)$ est linéairement indépendante sur \mathbb{F}_2 .
- 3 Le casoratien de ces éléments est $L_f = X^8 + X^6 + X^2 + 1$ qui est central.
- 4 On prend $\delta = 1$ et on forme le plus petit espace stable par $\sigma(x) = x^4$ contenant β . Le casoratien d'une base de cet espace est : $L_g = X^4 + w^2X^3 + X^2 + X + 1$.
- 5 On obtient un code sur \mathbb{F}_4 qui a pour matrice génératrice :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 \end{pmatrix}$$
- 6 $[8, 4, 4]$ code, c'est un θ -code. Il descend en un $[16, 8, 4]$ code sur \mathbb{F}_2 .

Un exemple détaillé

- 1 \mathbb{F}_4 , $\theta(x) = x^2$, $s = 6$ et $\sigma(x) = x^4$.
- 2 $\beta = \alpha^{3688}$. La famille $\beta, \dots, \theta^7(\beta)$ est linéairement indépendante sur \mathbb{F}_2 .
- 3 Le casoratien de ces éléments est $L_f = X^8 + X^6 + X^2 + 1$ qui est central.
- 4 On prend $\delta = 1$ et on forme le plus petit espace stable par $\sigma(x) = x^4$ contenant β . Le casoratien d'une base de cet espace est : $L_g = X^4 + w^2X^3 + X^2 + X + 1$.
- 5 On obtient un code sur \mathbb{F}_4 qui a pour matrice génératrice :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w^2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & w & 1 \end{pmatrix}$$
- 6 $[8, 4, 4]$ code, c'est un θ -code. Il descend en un $[16, 8, 4]$ code sur \mathbb{F}_2 .

Résultats 1

Codes définis sur \mathbb{F}_8 , $\theta(x) = x^2$.

	$\delta = 1$	$\delta = 2$
\mathbb{F}_8	$[3, 2, 2]_g(3)$	$[3, 1, 3]_g(3)$
\mathbb{F}_{8^2}	$[6, 4, 3]_g(9)$ $[6, 4, 2]_g(3)$	$[6, 2, 3]_g(3)$ $[6, 2, 5]_g(9)$
\mathbb{F}_{8^3}	$[9, 6, 3]_g(54)$ $[9, 6, 4]_g(9)$ $[6, 4, 3](21)$	$[9, 3, 6]_g(54)$ $[6, 2, 5](21)$
\mathbb{F}_{8^4}	$[12, 8, 2]_g(3)$ $[12, 8, 3]_g(63)$ $[12, 8, 4]_g(126)$ $[9, 6, 2](3)$ $[9, 6, 3](45)$	$[12, 4, 3]_g(3)$ $[12, 4, 5]_g(9)$ $[12, 4, 6]_g(54)$ $[12, 4, 7]_g(54)$ $[12, 4, 8]_g(72)$ $[9, 3, 3](3)$ $[9, 3, 5](9)$ $[9, 3, 6](36)$

Résultats 2

Codes définis sur \mathbb{F}_{16} , $\theta(x) = x^4$.

	$\delta = 1$
\mathbb{F}_{16}	$[2, 1, 2]_g(4)$
\mathbb{F}_{16^2}	$[4, 2, 3]_g(16)$
\mathbb{F}_{16^3}	$[6, 3, 2]_g(4)$ $[6, 3, 4]_g(1)$ $[4, 2, 2](12)$ $[4, 2, 3](36)$
\mathbb{F}_{16^4}	$[8, 4, 4]_g(64)$ $[8, 4, 5]_g(192)$ $[6, 3, 4]_g(64)$

Exemples de bons codes

A venir un exemple de code avec de grands paramètres

BCH tordus

Analogie avec les BCH classiques en imposant des facteurs à droite de la forme :

$$X - \alpha, \dots, X - \alpha^\delta$$

Résultats sur \mathbb{F}_8

	$\delta = 1$	$\delta = 2$	$\delta = 3$	$\delta = 4$
\mathbb{F}_{8^2}	[6, 4, 3](18)	[6, 2, 5](12) [6, 3, 4](3)	[6, 2, 5](9) [6, 1, 6](3)	[6, 1, 6](3)
\mathbb{F}_{8^3}	[6, 3, 4](18) [9, 6, 4](18) [9, 6, 3](108)	[9, 3, 7](12) [9, 3, 6](60) [6, 2, 5](18) [9, 4, 6](3) [9, 4, 5](12)	[9, 3, 7](3) [9, 3, 6](24) [9, 1, 9](6) [9, 4, 5](3) [9, 2, 8](6) [9, 2, 6](6)	[9, 2, 6](6) [9, 1, 9](3)
\mathbb{F}_{8^4}	[12, 8, 4](183) [12, 8, 3](132) [9, 6, 3](54)	[9, 5, 4](3) [9, 3, 6](21) [9, 4, 4](6) [9, 3, 5](12) [12, 4, 7](48) [12, 5, 7](12) [12, 4, 6](60) [12, 4, 5](12) [12, 5, 6](21) [12, 6, 4](12) [12, 7, 4](3) [12, 8, 4](72)	[12, 2, 10](9) [12, 5, 6](12) [12, 2, 6](3) [12, 3, 6](6) [12, 3, 8](3) [12, 6, 5](3) [12, 4, 7](9) [12, 5, 5](3) [12, 4, 8](3) [12, 3, 9](18) [12, 1, 12](6) [12, 2, 8](6)	[12, 2, 6](3) [12, 1, 12](3) [12, 3, 6](9) [12, 3, 9](3) [12, 3, 8](6) [12, 2, 8](6) [12, 4, 6](3) [12, 5, 6](3) [12, 2, 10](3)