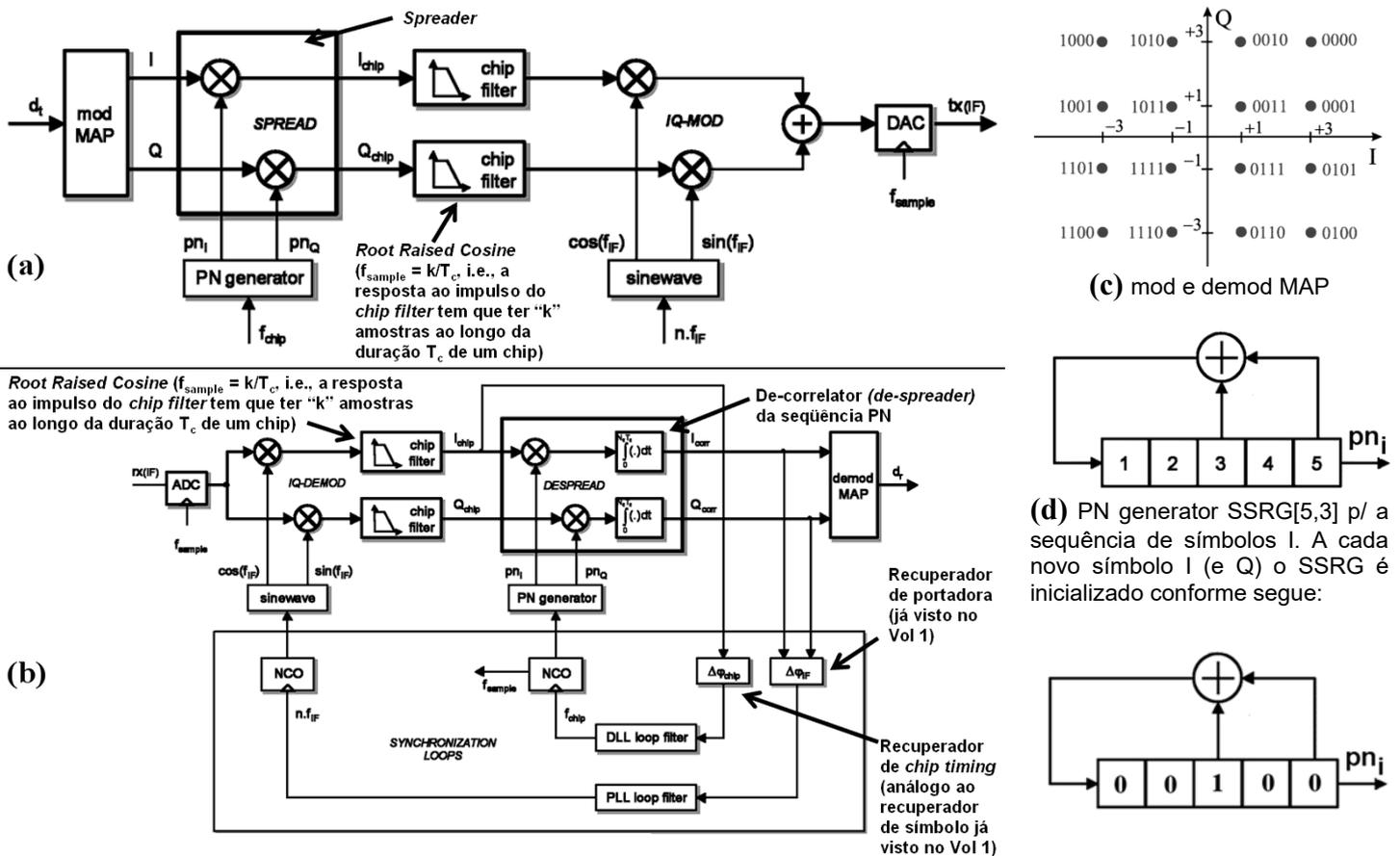


O diagrama na Figura 1 abaixo mostra a etapa de modulação de um sistema de comunicação digital DS-Spread Spectrum 16-QAM:



**Figura 1:** (a) TX DS-Spread Spectrum 16-QAM. (b) RX DS-Spread Spectrum 16-QAM (c) IQ mapper & de-mapper (d) “PN generator” usado no “Spreader” da seqüência de símbolos I em (a).

O sistema utiliza  $N_C = 31$  chips por símbolo IQ e o “de-spreader” do RX é implementado por meio de um *matched-filter* para a seqüência de chips gerada no “spreader” do TX. Sabendo que o sistema não apresenta erros de sincronização nem no recuperador de portadora nem no recuperador de chip timing, pede-se:

- Determine o gráfico da seqüência  $pn_i$  na saída do “PN generator” na Figura 1 (a) para cada símbolo I na entrada do “Spreader” do TX.
- Determine o gráfico da seqüência  $pn_i$  reversa (imagem) da seqüência gerada em a), a ser utilizada no “de-spreader” do RX.
- Determine o balanceamento (nível DC) da seqüência  $pn_i$  gerada em a).
- Determine o gráfico da auto-correlação da seqüência de chips  $pn_i$  gerada no “Spreader” do TX.
- Determine o gráfico da correlação cruzada entre a seqüência de chips  $pn_i$  gerada no “Spreader” do TX e a a seqüência de chips  $pn_i$  gerada no “de-spreader” do RX.
- Dois símbolos consecutivos  $I_1$  e  $I_2$  são gerados no mapper do TX respectivamente pelas palavras binárias “1101” e “0111”. Assumindo que não haja multipercurso nem ruído no canal, determine a saída  $I_{corr}$  do “de-spreader” do RX para estas palavras binárias.

# Solução:

Do enunciado, é dado:

InitState := (0 0 1 0 0)<sup>T</sup> ← Estado inicial do SSRG[5,3]

Nc := 31 ← Numero de chips por símbolo IQ.

Idealmente Nc = 2<sup>L</sup> - 1, L é o tamanho do SSRG.

Ainda, do enunciado, os símbolos I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub> são (vide *mapper* na Fig A) gerados pelas palavras binárias B1<sub>0</sub> := "1101" e B2<sub>0</sub> := "0111", resultando nos seguintes valores para os símbolos I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>:

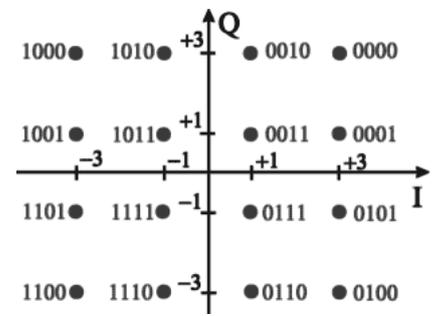


Fig A: *mapper*

I1 = (-3) I2 = (1) ← O parêntese caracteriza que os símbolos são complexos I+jQ, e que estamos apenas utilizando a parte real I p/ efeito de simplificação.

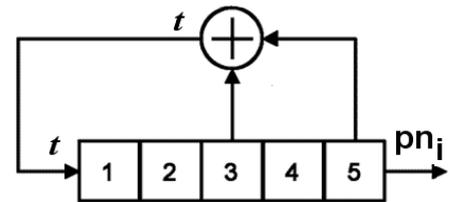


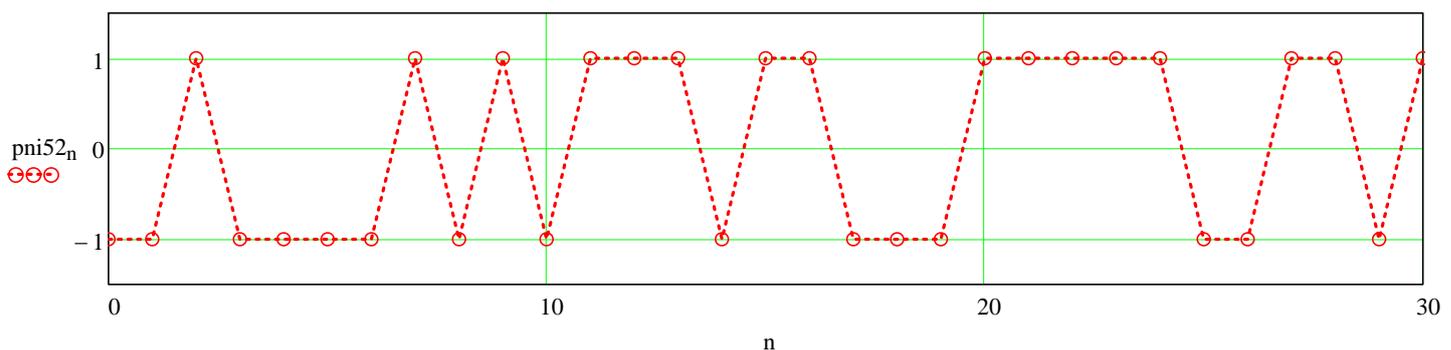
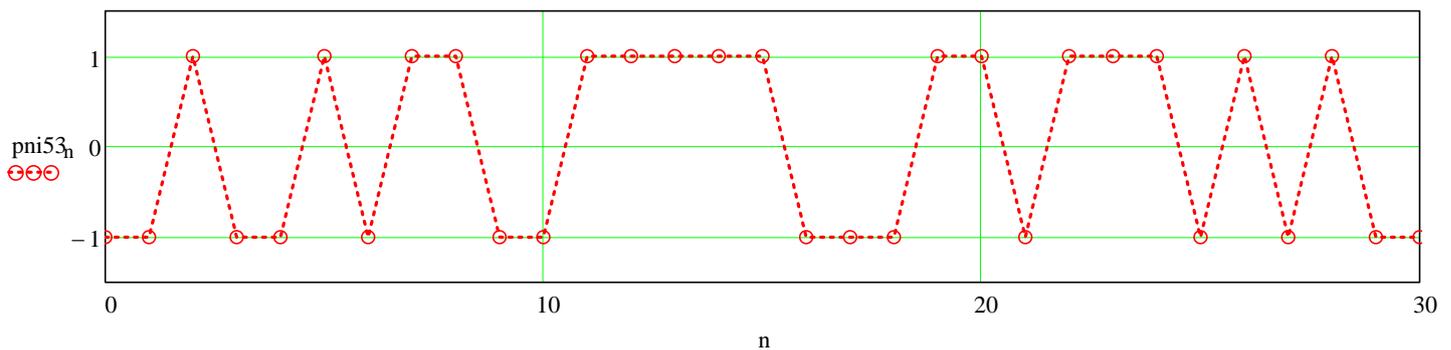
Fig B: SSRG[5,3]

Para gerar as seqüências de *chips* direta **pni53** usada no *spreader* do TX e a reversa **pni52** usada no *de-spreader* do RX, executa-se o seguinte procedimento para cada uma delas:

- 1- Inicializar o SSRG c/ o estado inicial InitState<sup>T</sup> = (0 0 1 0 0). Inicializar contador de *chips* em n=0.
- 2- Calcular a saída *t* da operação ⊕, conforme Fig B acima.
- 3- Armazenar o valor do bit mais à direita do SSRG da Fig B na FIFO (*buffer*) de saída **pni<sub>i</sub>**.
- 4- *Shiftar* o SSRG um bit à direita.
- 5- Atribuir a saída *t* ao bit mais à esquerda do SSRG da Fig B.
- 6- Se n > Nc vá para o passo 7, caso contrário, n = n + 1 e volta ao passo 2
- 7- Substituir todos os "0" por "-1" no *buffer* de saída **pni<sub>i</sub>**. Fim do procedimento.

**a&b)** Os gráficos da seqüências de *chips* direta e reversa assim geradas, resultam em:

n := 0..Nc - 1



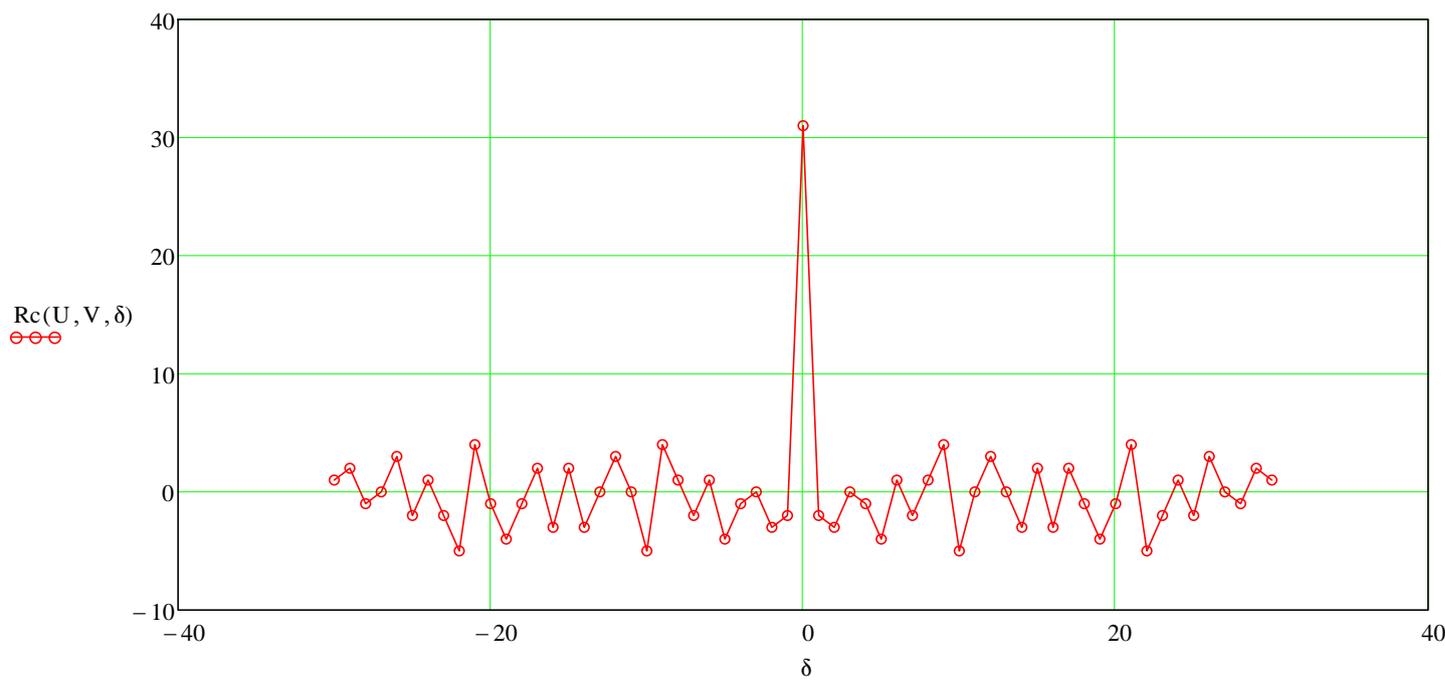
**c)** Nível DC:  $\sum pni53 = 1$

**d)** A correlação  $R_c(\delta)$  entre duas seqüências U e V de mesmo número  $N_c = \text{length}(U) = \text{length}(V)$  de amostras é dada por:

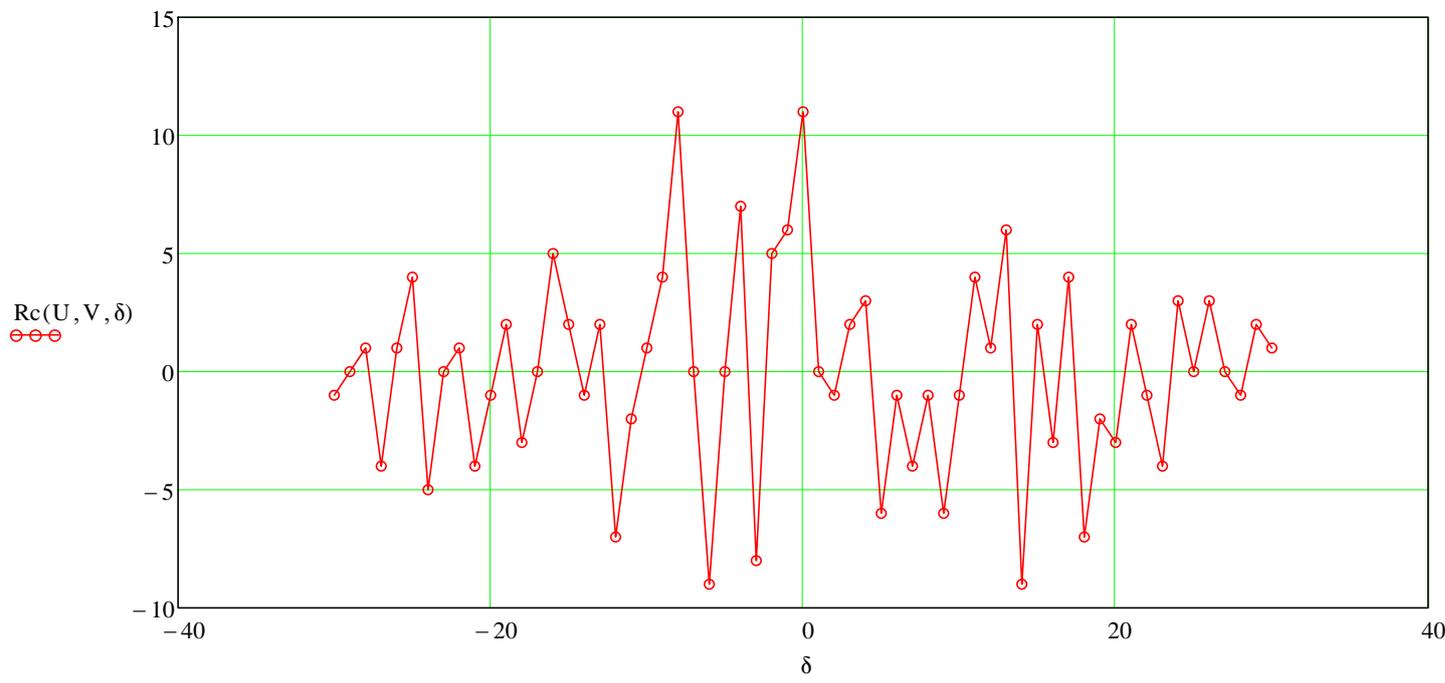
$$R_c(U, V, \delta) := \text{if} \left[ \begin{array}{l} \delta > 0, \quad \sum_{n=0}^{\text{length}(V)-1-\delta} (V_n \cdot U_{n+\delta}), \\ \sum_{n=0}^{\text{length}(U)-1+\delta} (U_n \cdot V_{n-\delta}) \end{array} \right] \quad (1)$$

sendo  $\delta := -(N_c - 1) .. (N_c - 1)$  os limites de deslocamento temporal entre U e V. Note que se  $\delta < 0$ , a equação (1) calcula a correlação fazendo V atrasado de  $\delta$  em relação a U e se  $\delta > 0$  equação (1) calcula a correlação fazendo U adiantado de  $\delta$  em relação a V.

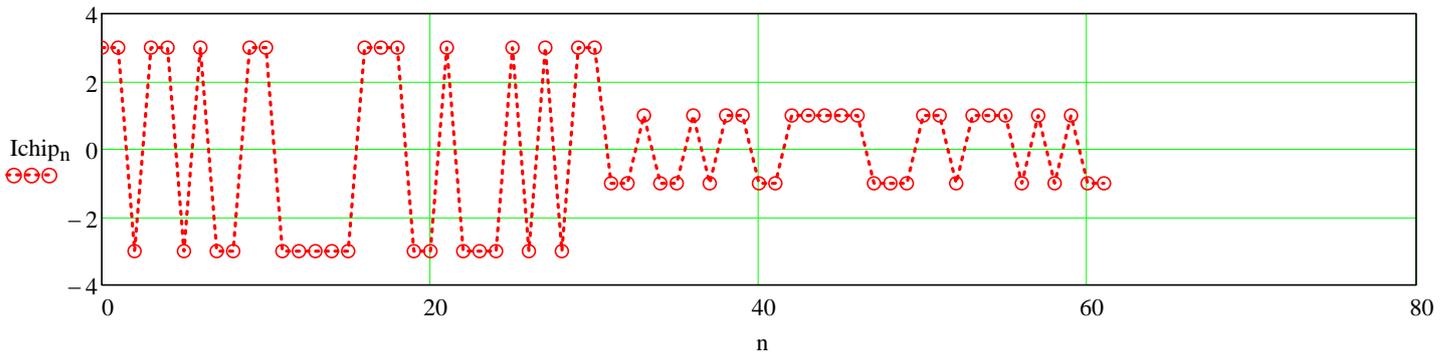
Seja  $U := \text{pni53}$  e seja  $V := U$ . Da equação (1), a função auto-correlação resulta em:



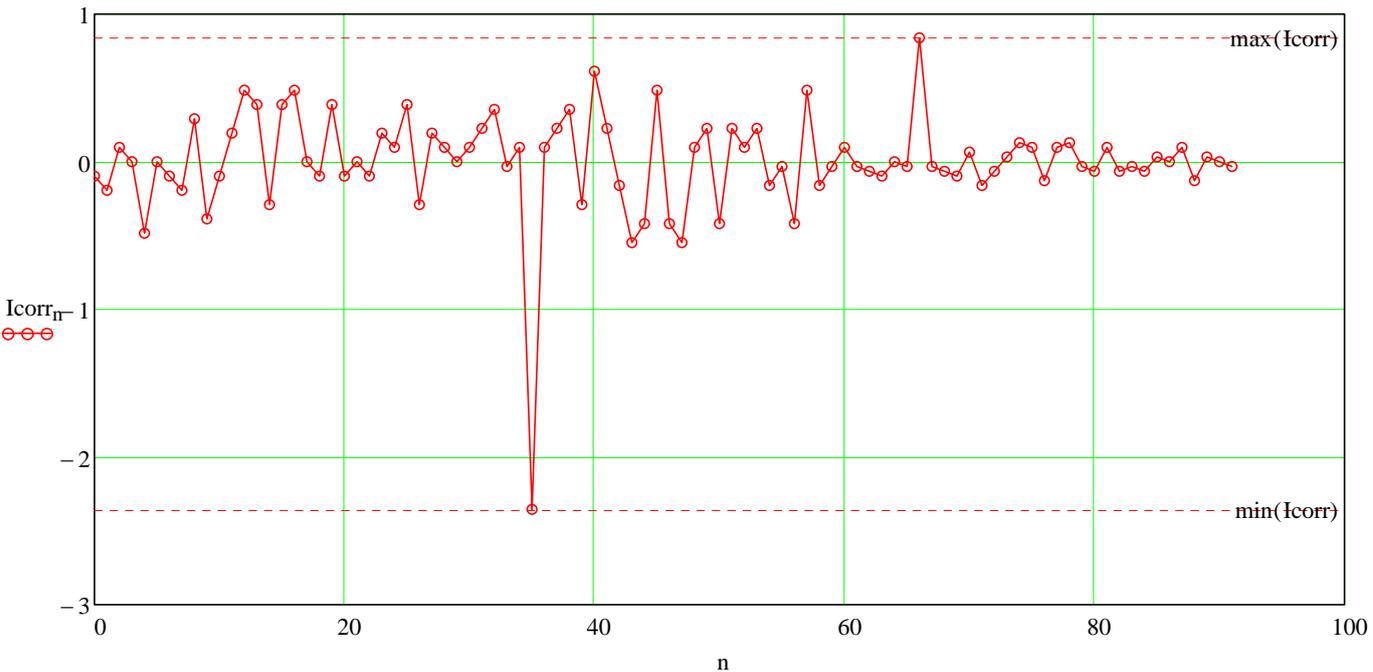
**e)** Da equação (1), com  $U := \text{pni53}$  e  $V := \text{pni52}$  a função de correlação cruzada resulta em:



f) Primeiramente é necessário obter a seqüência  $I_{chip}$  na saída do “spreader” do TX, a qual, em não havendo ruído nem multipercurso no canal, é a própria seqüência  $I_{chip}$  na entrada do “de-spreader” do RX (ver Figura 1 do enunciado).  $I_{chip}$  é obtida do produto da  $pni53$  por  $I1 = (-3)$  ao longo de  $N_c = 31$  chips concatenada com o produto da  $pni53$  por  $I2 = (1)$  ao longo dos próximos  $N_c = 31$  chips. O gráfico da seqüência  $I_{chip}$  assim gerada, resulta em:



Do enunciado, o “de-spreader” do RX é implementado por meio de um *matched-filter* para a seqüência de chips gerada no “spreader” do TX. Portanto, a saída  $I_{corr}$  do “de-spreader” do RX é o resultado da convolução da seqüência  $I_{chip}$  na entrada do “de-spreader” com a resposta ao impulso do *matched-filter* dada pela seqüência reversa (imagem)  $pni52$ . Assim, efetuando a convolução entre as seqüências  $I_{chip}$  e  $pni52$  e normalizando pelo valor  $N_c = 31$ , obtém-se a saída  $I_{corr}$  do “de-spreader”:



$\min(I_{corr}) = -2.355$        $\max(I_{corr}) = 0.839$

Note que o “de-spreader” recuperou uma aproximação dos símbolos  $I1 = (-3)$  e  $I2 = (1)$ . Quanto maior  $L$ , melhor a aproximação.