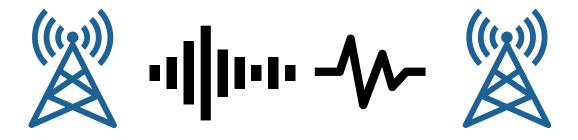
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 1

Αναφορά 1ης Εργασηριακής Άσκησης

«SRRC & ΕΠΙΚΟΙΝΟΝΙΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΖΟΝΗΣ»





♣ Μιχάλης Γαλάνης ₂₀₁₆₀₃₀₀₃₆

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
Έ== Τμήμα Κώδικα	3
(A.1) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΛΜΩΝ SRRC	3
Έ Τμήμα Κώδικα	4
Ανάλυση Κώδικα	4
Διαγράμματα	5
Επεξήγηση Διαγραμμάτων	5
(A.2) M.F KAI ENEPΓΕΙΑΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ	5
Έ Τμήμα Κώδικα	6
Ανάλυση Κώδικα	7
Διαγράμματα	7
Επεξήγηση Διαγραμμάτων	8
(Α.3) ΕΥΡΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	8
Ξ Ανάλυση & Τμήμα Κώδικα	9
Διαγράμματα	9
Επεξήγηση Διαγραμμάτων	10

	(B.1) SRRC & OPOOKANONIKOTHTA	11
	 Τμήμα Κώδικα	
	Ανάλυση Κώδικα	12
ĺ	Διαγράμματα	13
[ξΞ Επεξήγηση Διαγραμμάτων	14
_	(C) ΡΑΜ ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	
	= τμήμα Κώδικα (Κύριο Μέρος)	
	Ανάλυση (Κύριο Μέρος)	
	Τμήμα Κώδικα (Συνάρτηση)	
	Ανάλυση (Συνάρτηση)	17
Į	Διαγράμματα	17
[ξΞ Επεξήγηση	19

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτή την εργαστηριακή άσκηση ασχολούμαστε με την επικοινωνία βασικής ζώνης με διαμόρφωση 2-PAM και αποκομμένους παλμούς Sqare Root Raised Cosine – SRRC.

Για την άσκηση αυτή υπήρχε διαθέσιμη μια εξωτερική συνάρτηση **srrc_pulse** η οποία δημιουργεί αποκομμένους παλμούς SRRC και χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της άσκησης.

Για την εξοικονόμηση κώδικα, δηλώθηκαν στην αρχή του αρχείου .m του matlab κάποιες ανώνυμες συναρτήσεις που καθιστούν πιο εύκολη την αναπαράσταση συναρτήσεων σε διαγράμματα. Η πρώτη συνάρτηση διαχειρίζεται τίτλους στο διάγραμμα και στους άξονές του, ενώ η δεύτερη φροντίζει για τη δομή των διαγραμμάτων. Οι επόμενες 3 απ΄την άλλη, αναλαμβάνουν την απεικόνιση σημάτων αναλόγως εάν είναι συνεχή (c) ή διακριτά (d) και σε γραμμική (plot) ή λογαριθμηκή (semilogy) αναπαράσταση. Τέλος χρήσιμη είναι και η συνάρτηση εύρεσης χρόνου της συνέλιξης.

🔙 Τμήμα Κώδικα

🗎 (Α.1) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΛΜΩΝ SRRC

Ζητήθηκε να κατασκευάσουμε (3) παλμούς SRRC $\varphi(t)$ με διαφορετικές τιμές a, να τους αναπαραστήσουμε σε κοινό διάγραμμα και να παρατηρήσουμε τι συμβαίνει όσο αυξάνουμε την τιμή αυτή.

🔙 Τμήμα Κώδικα

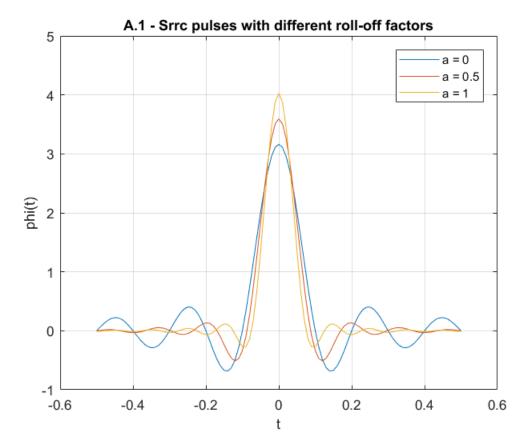
```
% A.1 - Creating pulses of SRRC (Square Root Raised Cosine)%
 %Settings for plotting the diagrams
 r = 2; c = 3; fig = 1; sub_fig = 1;
 %Building up parameters for srrc_pulse function
 T = 0.1; %Nyquist parameter (>0)
 over = 10;
              %Oversampling factor (>0)
 Ts = T/over; %Sampling period (>0)
 A = 5; %Half duration of the pulse (>0)
 a = [0,0.5,1]; %3 Roll-off factors in a vector (0<a<1)
 %Plotting 3 srrc pulses with each roll-off factor in the same diagram
for i=1:length(a)
     %Calling srrc pulse function to store phi and t variables
     [phi, t] = srrc pulse(T, Ts, A, a(i));
    %Plotting phi in t time in a figure with a title and x,y labels
     set_diag_layout(fig, r, c, sub_fig);
    set_diag_labels("A.1 - Srrc pulses with different roll-off factors","t","phi(t)");
     c plot(t, phi);
     grid on;
              %Grid Enabled
     hold on; %Any Next plots are applied in this diagram
 end
 legend('a = 0', 'a = 0.5', 'a = 1')
 hold off; %Stop plotting on the same diagram
```

🔢 Ανάλυση Κώδικα

Αρχικά δημιουργούμε και αρχικοποιούμε τις απαραίτητες μεταβλητές για να μπορούμε να καλέσουμε την **srrc_pulse** έτσι ώστε να κατασκευαστούν οι ζητούμενοι παλμοί. Η μεταβλητή *a* ονομάζεται roll-off factor. Για να υποδηλωθούν οι διαφορετικές τιμές του, έχει οριστεί ένα διάνυσμα με αυτές.

Για την απεικόνηση των παλμών, αρκεί μια **for loop** που διασχίζει το διάνυσμα αυτό και εσωτερικά καλείται η εξωτερική συνάρτηση παραγωγής παλμών και επιστρέφεται ως αποτέλεσμα ο χρόνος t και η συνάρτηση $\phi(t)$. Τέλος, με τη χρήση της εντολής **hold on** μας επιτρέπεται η αναπαράσταση των σημάτων στο ίδιο διάγραμμα.

📠 Διαγράμματα



Επεξήγηση Διαγραμμάτων

Παρατηρώντας το διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνουμε την τιμή του a (rolloff factor) αυξάνεται η μείωση του πλάτους των παλμών όσο αυξάνεται η απόλυτη τιμή του χρόνου (όσο απομακρυνόμαστε από την αρχή των αξόνων). Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι μικρότερες τιμές του a επιτρέπουν μια πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος αλλα ταυτόχρονα αυξάνονται και οι παρεμβολές.

(A.2) Μ.F ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε ο υπολογισμός του μετασχηματισμού Fourier των παλμών του προηγούμενου ερωτήματος και η σχεδίαση της φασματικής πυκνώτητας ενέργειας τους σε γραμμική αλλά και λογαριθμική αναπαράσταση.

🔙 Τμήμα Κώδικα

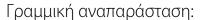
```
% A.2 - Fourier Transformation of previous srrc pulses
        and Display of their Energy Spectrum
 %Setting up time & frequency
 Fs = 1/Ts;
 %Plotting (Linear) Amplitude Spectrums for F.T of the above 3 srrc pulses
 sub fig = sub fig + 1;
for i=1:length(a)
    %Calling srrc_pulse function to store phi and t variables
     [phi, t] = srrc pulse(T, Ts, A, a(i));
     NFFT = 2^nextpow2(length(phi)); %Length of the signal for the F.T
     X = abs(fftshift(fft(phi,NFFT)*Ts)); %F.T (Aligned to center with fftshift)
     f = (-Fs/2) : (Fs/NFFT) : (Fs/2 - Fs/NFFT);
                                               %Frequency Vector
    %Plotting Energy spectrum Linearly
     set diag layout(fig, r, c, sub fig);
     set diag labels("A.2 - Amplitude Spectrum of srrc pulses (Linear)","F [Hz]","|X(F)|^2");
     c_plot(f,X);
     grid on; %Grid Enabled
     hold on;
              %Any Next plots are applied in this diagram
 legend('a = 0', 'a = 0.5', 'a = 1')
 hold off; %Stop plotting on the same diagram
 %Plotting (Logarithmic) Energy Spectrums for F.T of the above 3 srrc_pulses
 sub fig = sub fig + 1;
for i=1:length(a)
    %Calling srrc pulse function to store phi and t variables
     [phi, t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a(i));
     NFFT = 2^nextpow2(length(phi)); %Length of the signal for the F.T
     X = abs(fftshift(fft(phi,NFFT)*Ts)); %F.T (Aligned to center with fftshift)
     f = (-Fs/2) : (Fs/NFFT) : (Fs/2 - Fs/NFFT) ;
                                                %Frequency Vector
    %Plotting Energy spectrum Logarithmically
     set_diag_layout(fig, r, c, sub_fig);
     set diag labels("A.2 - Amplitude Spectrum of srrc pulses (Logarithmic)", "F [Hz]", "log|X(F)|^2");
     c semilogy(f,X);
     grid on; %Grid Enabled
              %Any Next plots are applied in this diagram
     hold on:
 end
 legend('a = 0','a = 0.5','a = 1')
 hold off; %Stop plotting on the same diagram
```

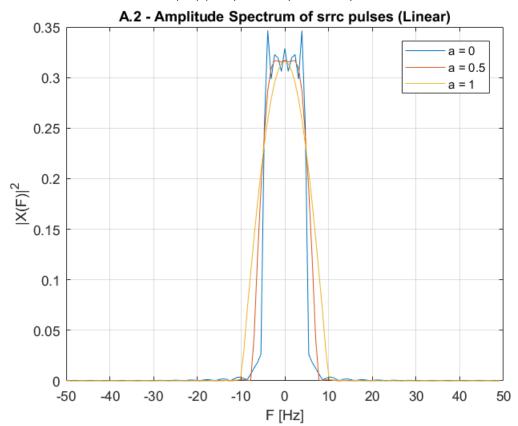
🔢 Ανάλυση Κώδικα

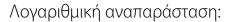
Όπως και προηγουμένως, το αρχικό στάδιο εδώ είναι η δημιουργία της συχνότητας δειγματοληψίας που ισούται με $F_s=rac{1}{T_c}=100 Hz$

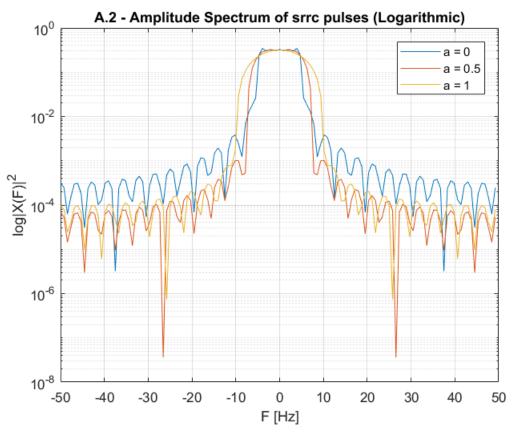
Ανεξαρτήτως αναπαράσταση (γραμμική/λογαριθμική), με μια **for loop** κάθε φορά, αρχικά κατασκευάστηκαν οι παλμοί srrc και αφού δημιουργήθηκε το μήκος NFFT με τη βοήθεια της συνάρτησης **nextpow2** κατασκευάστηκε και το ενεργειακό φάσμα X. Τελευταίο βήμα πριν την αναπαράσταση, είναι ο ορισμός του διανύσματος συχνότητας, το οποίο εκτείνεται στο διάστημα $\left[-\frac{F_s}{2},\frac{F_s}{2}\right]$. Υπενθυμίζεται ότι, η **fft** υπολογίζει το μετασχηματισμό Fourier ένός σήματος, ενώ η **fftshift** μετατοπίζει το συντελεστή μηδενικής συχνότητας στο κέντρο.

Διαγράμματα









Ξ Επεξήγηση Διαγραμμάτων

Παρατηρούμε ότι ενώ τα 3 σήματα είναι τα ίδια, στη λογαριθμική αναπαράσταση βλέπουμε πολλές περισσότερες λεπτομέρειες καθώς αυτή συγκεντρώνεται περισσότερο στις πολύ χαμηλές τιμές τους, κάτι το οποίο η γραμμική απεικόνηση δε μας επιτρέπει (τα σήματα φαίνονται να μηδενίζονται μόλις αυξηθεί η |F| μετά από κάποιο σημείο).

[] (Α.3) ΕΥΡΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Βλέπουμε λοιπόν ότι ιδανικά, ένας παλμός καταλαμβάνει άπειρο μήκος συχνότητας. Για αυτό στο ερώτημα αυτό ζητήθηκε αρχικά να υπολογιστεί το θεωρητικό εύρος φάσματος για κάθε παλμό, και στη συνέχεια να οριστεί μια ευθεία c (δοκιμή δύο τιμών) για την οποία θεωρούμε τιμές των παλμών κάτω από αυτή μηδενικές.

🔜 Ανάλυση & Τμήμα Κώδικα

Στον κώδικα αλλάζουν ελάχιστα πράγματα σε σχέση με πριν. Συγκεκριμένα μέσα στη **for loop** ορίζεται το $BW=\frac{1+a}{2T}$ έτσι ώστε να υπολογιστεί το εύρος φάσματος για κάθε τιμή του a.

$$BW = (1 + a(i))/(2 * T)$$

Επίσης ορίζεται ενδεικτική ευθεία $c=\frac{T}{10^1}=10^{-2}$:

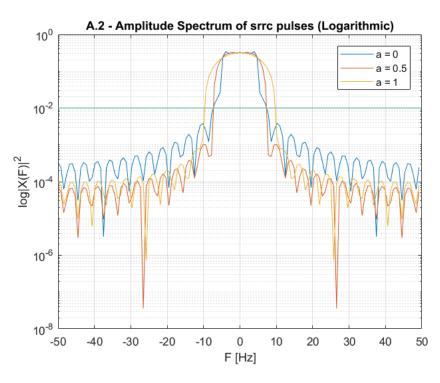
$$C = T / 10^1;$$

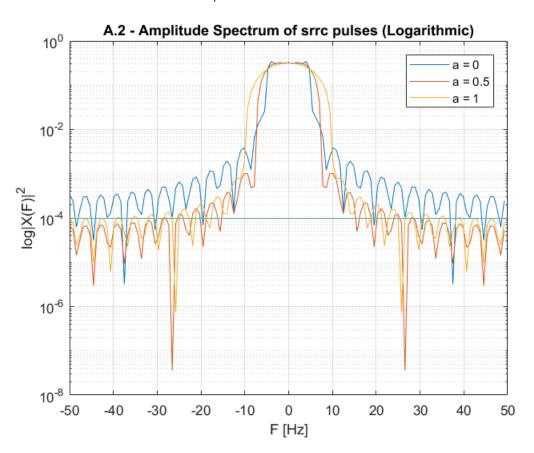
Που αργότερα μετατρέπεται στην $c = \frac{T}{10^3} = 10^{-4}$

$C = T / 10^3;$

Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τα ακόλουθα:

Για την ευθεία $c = 10^{-2}$:





Για την ευθεία $c=10^{-4}$:

Επεξήγηση Διαγραμμάτων

Παρατηρούμε ότι στη πρώτη περίπτωση, ο αποδοτικότερος παλμός είναι αυτός με a=0 ενώ για την ευθεία $c=10^{-4}$ είναι αυτός με a=0.5. Αυτό το γεγονός αποδεικνύει ότι δεν είναι προφανές πιο σήμα είναι το βέλτιστο ως προς το εύρος φάσματος και οτι εξαρτάται από μια ευθεία c_{cutoff} που ορίζουμε εμείς.

Για παράδειγμα, για τη πρώτη ευθεία τα έυρη φάσματος (προσεγγιστικά) είναι

$$BW = [7.31 \quad 7.32 \quad 9.7]$$

Ενώ για τη δεύερη είναι:

$$BW = \begin{bmatrix} 48.7 & 28.1 & 39.1 \end{bmatrix}$$

■ (B.1) SRRC & OP⊖OKANONIKOTHTA

Στην ερώτηση αυτή ζητήθηκε να δημιουργήσουμε παλμούς SRRC $\varphi(t)$ με τις τιμές του a που έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει αλλά και τους ίδιους μετατοπισμένους κατά kT ($\varphi(t-kT)$) προς τα δεξιά και να τους αναπαραστήσουμε αντίστοιχα στο ίδιο διάγραμμα. Ζητήθηκε επίσης να αναπαρασταθεί γραφικά και το γινόμενο τους $\varphi(t)\varphi(t-kT)$. Τέλος έπρεπε να υπολογιστούν οι τιμές των ολοκληρωμάτων των γινομένων και να σχολιαστούν.

🔙 Τμήμα Κώδικα

```
% B.1 - SRRC & ORTHONORMALITY
 $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
 %New excersize, new figure
 r = 4; c = 3; fig = fig+1; sub_fig = 1;
 %Setting up k
 k = [0, 1];
 %For every a value
for i=1:length(a)
     %Calling srrc pulse function to store phi and t variables
     [phi, t] = srrc pulse(T, Ts, A, a(i)); %get phi and t from srrc pulse
     %For every k value
   for j=1:length(k)
        %Calculating Phi moved
        phi_{moved} = [zeros(1, (1/Ts)*k(j)*T) phi(1:end - (1/Ts)*k(j)*T)];
        set_diag_layout(fig, r, c, sub_fig);
        set_diag_labels(['B.1 - SRRC with a = ' num2str(a(i))
                           ' and k = ' num2str(k(j))], 't (s)', 'Phi(t)');
        %Plotting Phi(t) & Phi moved(t) In Same Diagram
        hold on:
        c plot(t, phi);
        c_plot(t, phi_moved);
        hold off;
        sub fig = sub fig + c;
        %Calculating multiplication of Phi & Phi_moved
        mult_phis = phi .* phi_moved;
        %Preparing Graphs
        set_diag_layout(fig, r, c, sub_fig);
        set diag labels(['B.1 - Mutl of Phi(t) & Phi Moved(t) with a = ' num2str(a(i))
                               ' and k = ' num2str(k(j))], "t (s)", "Phi(t)");
        %Plotting Multiplication of Phi(t) & Phi moved(t)
        grid on;
        c plot(t, mult phis);
        sub_fig = sub_fig + c;
        %Calculating Integral (area)
        area = sum(mult phis)*Ts
     sub_fig = sub_fig - 4*c + 1 ;
     hold off:
```

🔢 Ανάλυση Κώδικα

Αρχικά δημιουργούμε ένα διάνυσμα k με τιμές 0 και 1. Αυτή τη φορά έχουμε μια εμφωλευμένη **for loop** ώστε η μια να διατρέχει τις τιμές του k και η άλλη τις τιμές του a. Πιο συγκεκριμένα:

Για κάθε τιμή του a δημιουργούμε ένα παλμό srrc ${\tt phi}$. Για κάθε παλμό srrc δημιουργούμε έναν επιπλέον παλμό ${\tt phi_moved}$ που είναι μετατοπισμένος κατά ${\tt kT}$ και ύστερα τους αναπαριστούμε σε κοινό διάγραμμα. Επίσης για κάθε παλμό srrc ${\tt phi_moved}$ και το ${\tt mult_phis}$ που είναι ουσιαστικά το γινόμενο των ${\tt phi}$ και ${\tt phi_moved}$ και το σχεδιάζουμε σε διαφορετικό διάγραμμα. Παράλληλα με αυτό υπολογίζεται και το εμβαδόν του πολλαπλασιασμένου σήματος, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω:

$$a = 0$$
 και $k = [0 \ 1]$ αντίστοιχα:

area =

0.9798

area =

0.0226
 $a = 0.5$ και $k = [0 \ 1]$ αντίστοιχα:

area =

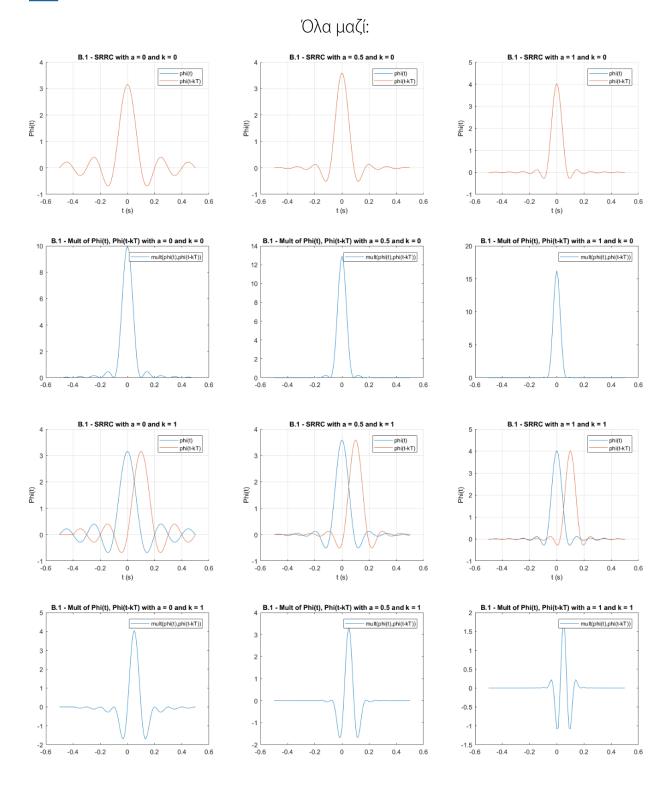
0.9999

-7.2284e-06 a=1 και $k=[0\ 1]$ αντίστοιχα: area = 1.0000

-2.2124e-05

area =

Διαγράμματα



Ξ Επεξήγηση Διαγραμμάτων

Τα διαγράμματα φαίνεται να είναι ορθά. Η πρώτη και η τρίτη σειρά αναπαριστά τους πρωτότυπους και μετατοπισμένους παλμούς SRRC ταυτόχρονα σε κοινό plot . Προφανώς ο ένας παλμός επικαλύπτει τον άλλον στην περίπτωση του k=0. Η δεύτερη και τέταρτη σειρά απ'την άλλη αναπαριστά το γινόμενό τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του matlab τα γινόμενα της δεύτερης σειράς (k=0) έχουν εμβαδόν ίσο με 1. Πράγματι παρατηρούμε οτι καθώς αυξάνεται ο roll-off factor του παλμού, το εμβαδόν αποκτά καλύτερη προσέγγιση. Τα αποτελέσματα του εμβαδού για την περίπτωση του (k=1) οφείλονται στο γεγονός ότι κατά τα γινόμενα $\varphi(t)\varphi(t-kT)$ παράχθηκαν αρνητικά τμήματα τα οποία οσο αυξάνεται το α υπερνικούν το θετικό μέρος.

Ε (C) ΡΑΜ ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Σημείωση: συγχωνεύω το ερώτημα C_1 με το C_2 σε ένα γενικό ερώτημα C γιατί το C_1 είναι αρκετά σύντομο.

Σε αυτό το ερώτημα προσωμοιώνεται ένα PAM σύστημα βασικής ζώνης (χρησιμοποιεί διαμόρφωση 2-PAM όταν μεταφέρει *N* bits).

Ζητήθηκε αρχικά να κατασκευαστεί μια εξωτερική συνάρτηση **bits_to_2PAM(b)** η οποία δέχεται ως όρισμα μια ακολουθία από N bits και εξάγει μια ακολουθία από 2-PAM σύμβολα σύμφωνα με τον κανόνα $0 \rightarrow +1$ και $1 \rightarrow -1$.

Επιθυμητή ήταν επίσης η αναπαράσταση των $X_\delta(t)=\sum_{k=0}^{N-1}X_k\delta(t-kT)$, και $X(t)=X_\delta(t)*\varphi(t)$ καθώς και του $Z(t)=X(t)*\varphi(-t)$.

Ξ Τμήμα Κώδικα (Κύριο Μέρος)

```
b = (sign(randn(N,1)) + 1)/2; %Creating N bits
X seq = bits to 2PAM(b); %Using bits to 2PAM to generate PAM symbols
t Delta = 0 : Ts : ((N + N*(over - 1)) - 1)*Ts; %Defining time for X Delta
X delta = Fs * upsample(X seq,over);
                                          %Inserts zeros in between bits
%Customizing and Plotting X delta
set diag layout(fig, r, c, sub fig);
c plot(t Delta, X delta);
set_diag_labels('C - X-delta',"t (s)","X-Delta");
grid on;
[phi, t] = srrc pulse(T,Ts,A,a); %Gathering SRRC Pulse
%Calculating convolution X
X = conv(X delta, phi)*Ts;
%Customizing and Plotting X
sub fig = sub fig + 1;
set diag layout(fig, r, c, sub fig);
c plot(X conv time, X);
set diag labels('C - X(t): Convolution of X-delta & SRRC Pulse', "t (s)", "Conv");
grid on;
%Calculating Phi(-t)
phi_flipped = fliplr(phi); %Flipping the phi signal
t flipped = -fliplr(t); %Flipping time axis
Z = conv(X,phi flipped)*Ts;
                                             %Calculating convolution Z
Z conv time = t conv(X conv time, t flipped, Ts); %Calculating convolution time
%Customizing and Plotting Z
sub fig = sub fig + 1;
set diag_layout(fig, r, c, [sub_fig, sub_fig+1]);
c_plot(Z_conv_time, Z);
set_diag_labels('C - Z(t): Convolution of X & Phi(-t)',"t (s)","Conv");
grid on;
hold on;
legend('Z(kT)', 'X(kT)');
hold off;
```

📘 Ανάλυση (Κύριο Μέρος)

Θέτουμε roll-off factor ίσο με 0.5 και αριθμός bit μεταφοράς 50. Δημιουργούμε μια τυχαία δυαδική ακολουθία από bits με τη συνάρτηση **sign(randn(N, 1))+1)/2;**.

Υστερα την εισάγουμε ως όρισμα στην bits _to_2PAM(b) οπότε τελικά έχουμε την x_seq που περιέχει σύμβολα 2-PAM (βλ. Ανάλυση (Συνάρτηση) για περισσότερες πληροφορίες). Προσομοιώνουμε αργότερα το σήμα $X_{\delta}(t)$ μέσω της x_Delta. Αυτή χρησιμοποιεί τη συνάρτηση upsample(x_seq, over) του Matlab η οποία «αραιώνει» το σήμα x_seq κατά over φορές (εισάγει μηδενικά μεταξύ των bits). Για την αναπαράσταση του x_Delta χρειάστηκε να ορίσουμε κατάλληλο χρόνο t_delta.

Για τη συνάρτηση X(t) έπρεπε να συνελιχθούν τα σήματα $X_{\delta}(t)$ και $\varphi(t)$. Ο παλμός $\varphi(t)$ εξάχθηκε από τη πιστή **srrc_pulse.** Υπολογίστηκε πρώτα ο χρόνος της συνέλιξης, μετά η ίδια η συνέλιξη με χρήση της **conv** και τελικά απεικονίστηκαν σε συνεχές διάγραμμα.

Επόμενη συνάρτηση για συνέλιξη ήταν η Z(t) όπου αυτή τη φορά χρειαστήκαμε χρονικά αντεστραμμένο παλμό $\varphi(-t)$. Στη περίπτωση αυτή, χρήσιμη ήταν η συνάρτηση matlab **fliplr(A)** η οποία επιστρέφει τον πίνακα τιμών A με αντεστραμμένη σειρά τιμών. Στην περίπτωη μας χρειάστηκε μια φορά για την ίδια τη φ και άλλη μια (με πρόσημο) για τον άξονα του χρόνου. Και πάλι χρειάστηκε υπολογισμός της συνέλιξης και του κατάλληλου χρόνου της πριν αναπαρασταθεί η Z γραφικά.

Τέλος, για να συγκριθούν οι τιμές Z(kT) με τις αντίστοιχες $X_k(t)$ για $k=0,\ldots,N-1$ χρησιμοποιούμε την εντολή stem([0:N-1]*T, X) και προφανώς hold on για να ανήκουν στο ίδιο διάγραμμα.

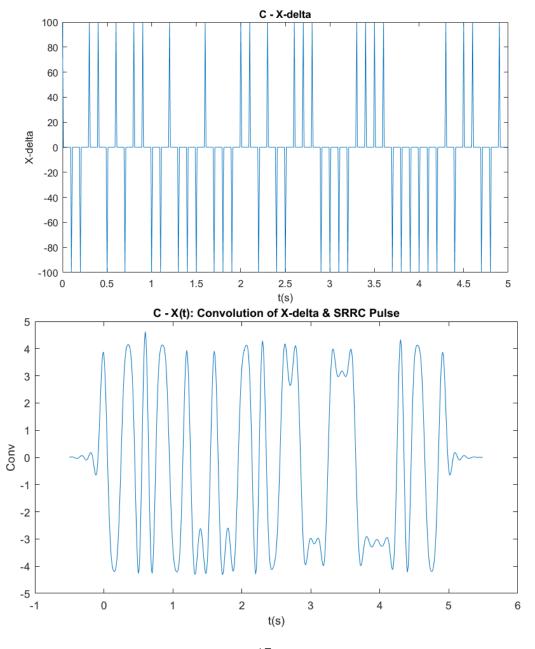
Παρακάτω παραθέτω επίσης και τον κώδικα της συνάρτησης bits_to_2PAM(b):

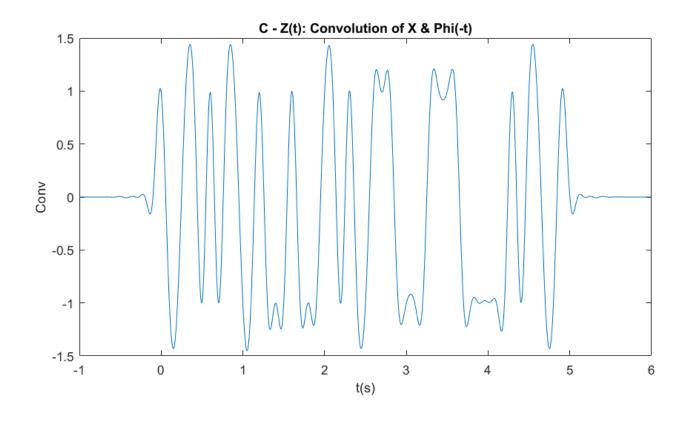
🔙 Τμήμα Κώδικα (Συνάρτηση)

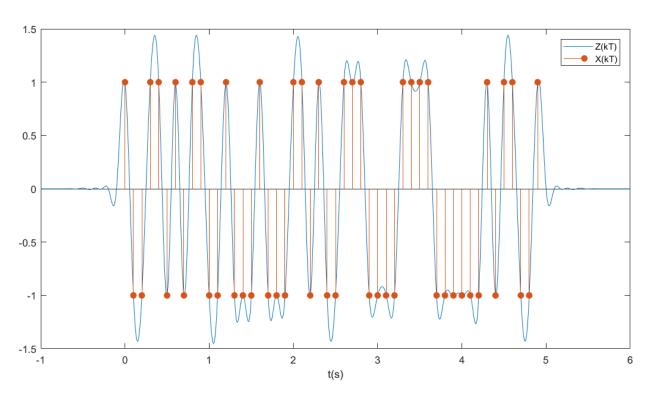
Ε Ανάλυση (Συνάρτηση)

Όπως φαίνεται και στο documentation της **bits _to_2PAM(b)**, αυτή η συνάρτηση δέχεται την ακολουθία b που περιέχει τιμές [0, 1] και επιστρέφει ακολουθία pam_bits που περιέχει τιμές [1 -1]. Ο τρόπος λειτουργίας είναι σχετικά απλός, και περιλαμβάνει τη δημιουργία άδειου vector με το ίδιο μήκος του b (γεμάτος με μηδενικά), τον σειριακό έλεγχο της ακολουθίας b και την αλλαγή τιμής του αντίστοιχου διανύσματος όπου χρειάζεται με τον κανόνα που έχουμε θέσει.

📠 Διαγράμματα







Ξ Επεξήγηση

Το πρώτο διάγραμμα είναι προφανές. Απεικονίζει την τυχαία ακολουθία από σύμβολα PAM. Το δεύτερο και το τρίτο διάγραμμα περιγράφουν τις συνελίξεις των X(t) και Z(t) που αναλύθηκαν νωρίτερα.

Το τέταρτο όμως διάγραμμα παρουσιάζει τη συνέλιξη Z(t) ταυτόχρονα με τη δειγματοληψία της X(t) στα ακέραια πολλαπλάσια της περιόδου του σήματος. Στην ουσία, όλη η διαδικασία που ακολουθήσαμε ήταν μια διαμόρφωση του σήματος και αργότερα η ανάκτησή του.

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται από το γεγονός ότι οι τιμές των X_k ταυτίζονται με αυτές των Z(t).