

שינוי תדר דגימה

המטרה היא שינוי תדר דגימה של האות שכבר נדגם לפני כן.

העלת תדר דגימה

upsampling על-דגימה

לספר

מכניסים בין שתי דגימות $(L-1)$ אפסים

$$x[n] = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$y[n] = \{1, 0, 2, 0, 3, 0, 4, 0\} \quad L=2$$

$$z[n] = \{1, 0, 0, 2, 0, 0, 3, 0, 0, 4, 0, 0\} \quad L=3$$

$$L-1=2 \text{ אפסים}$$

אנחנו רוצים ה-DFT של האות אחר של דגימה?

הצורה של

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n - kL]$$

$$\text{DTFT}\{y[n]\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y[n] e^{-jn\omega}$$

הצורה של DFT

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n - kL] e^{-jn\omega}$$

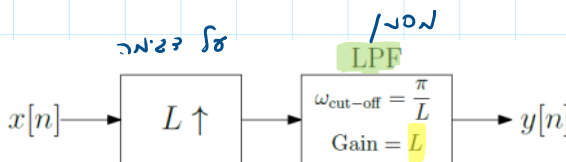
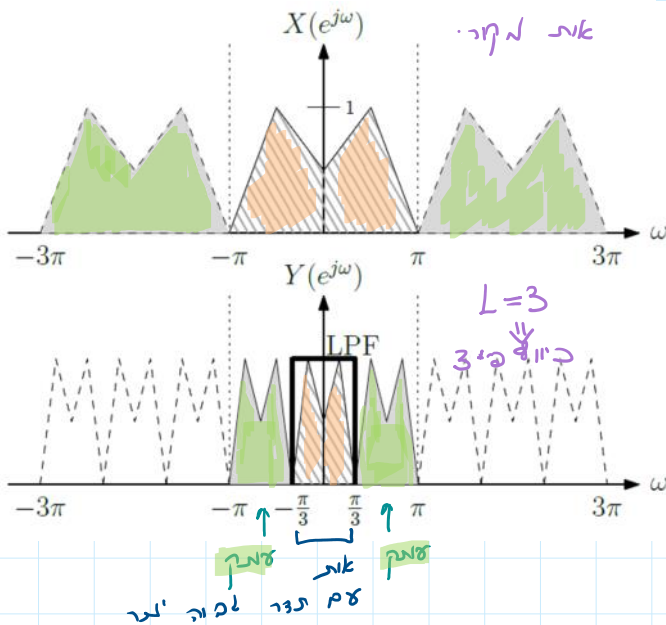
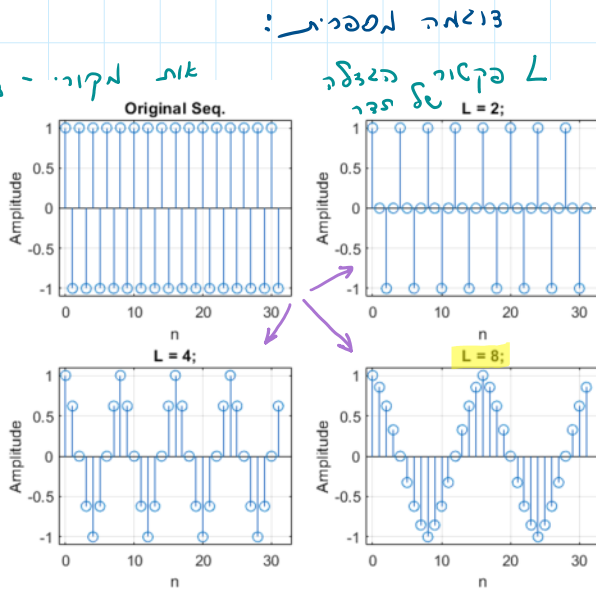
$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[n - kL] e^{-jn\omega}$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] e^{-jkL\omega} = X(e^{j\omega L})$$

$$\delta[n - kL] = \begin{cases} 1 & n = kL \\ 0 & n \neq kL \end{cases}$$

(2) אינטרפולציה - שני הכוונות

הצורה: הגבר L כבי דגם על אנדרה



$$Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega L})$$

$$\omega_y = \omega_x L \Rightarrow \omega_x = \frac{\omega_y}{L}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega_x = \omega_y \cdot \left(\frac{1}{L}\right)$$

הורדת תדר דגימה

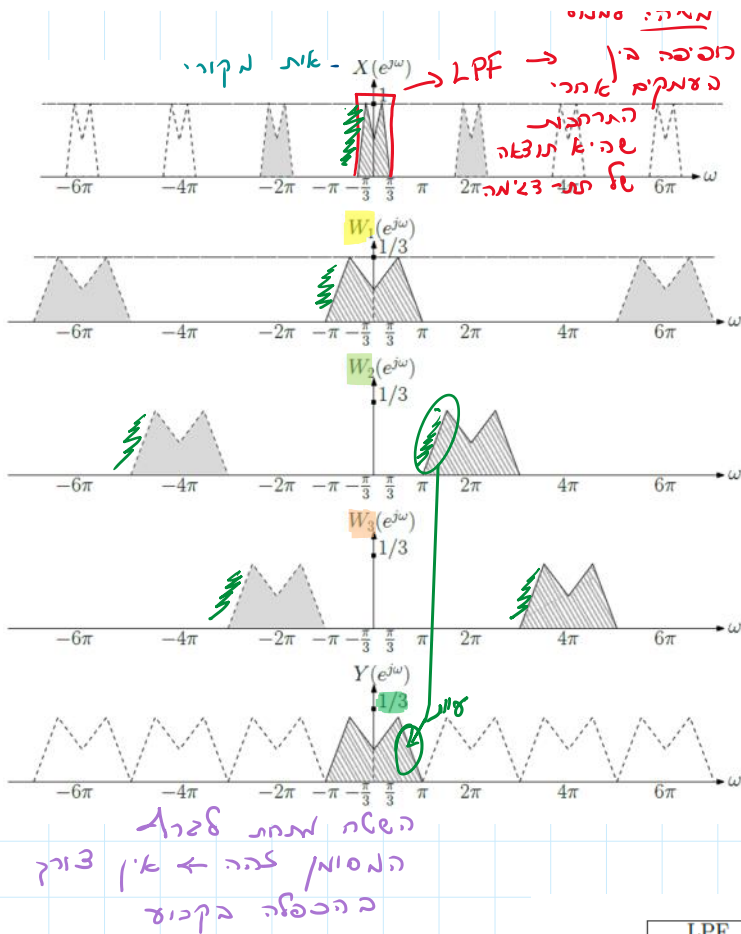
תת-דגימה

$$y[n] = x[Mn] \quad \text{הצורה:}$$

למצוא: ממצא

כופה בין העמקים אחרי

את לקוח - $X(e^{j\omega})$ LPF



הדירה: $y[n] = x[Mn]$

דוגמה: $M=2$

$x[n] = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

$y[n] = \{1, 3, 5\}$

$y[0] = x[0]$

$y[1] = x[2]$

$y[2] = x[4]$

תוצאה של תת-דגימה בעבר

$$Y(e^{j\omega}) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} X(e^{j\frac{1}{M}(\omega-2\pi m)})$$

$M=3$ דוגמה עבר

$$Y(e^{j\omega}) = \frac{1}{3} \sum_{m=0}^2 X(e^{j\frac{1}{3}(\omega-2\pi m)})$$

$$= \frac{1}{3} X(e^{j\omega/3}) + \frac{1}{3} X(e^{j\frac{1}{3}(\omega-2\pi)}) + \frac{1}{3} X(e^{j\frac{1}{3}(\omega-4\pi)})$$

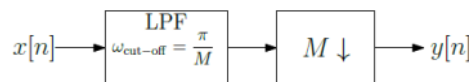
$W_1(e^{j\omega})$ $W_2(e^{j\omega})$ $W_3(e^{j\omega})$

התרחבות פי 3

התרחבות פי 3

התרחבות פי 3

דסימציה



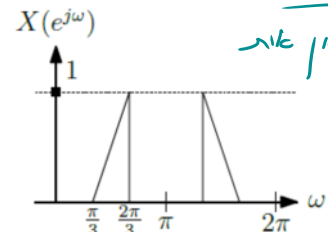
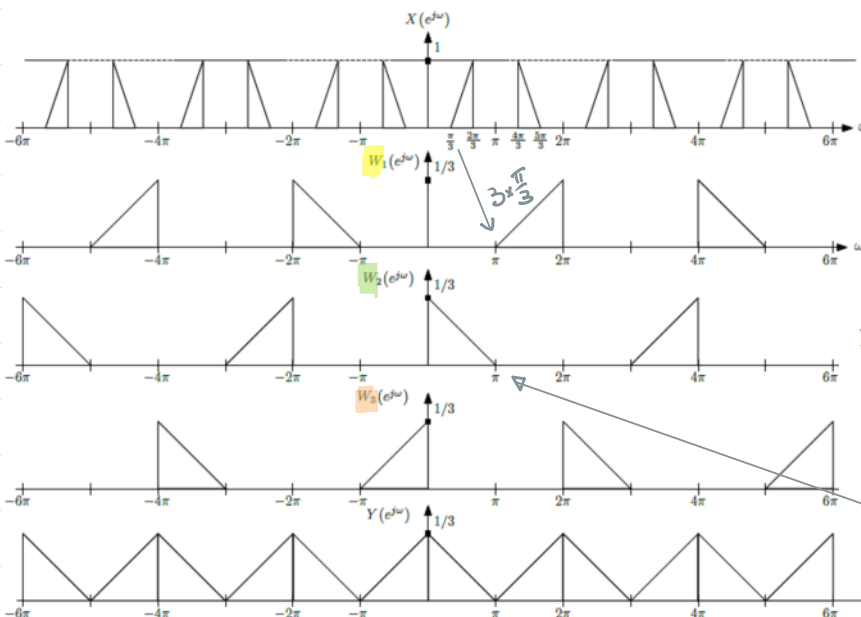
(1) עלוזה, שאת מספיק צר סרט
עפי תת-דגימה

(2) תת-דגימה

הערה: האם בדוגמה
לא היה צריך לסמן,
כי הוא היה כבר
מספיק צר

דוגמה:

נכון את



תת-דגימה עם $M=3$:

$$Y(e^{j\omega}) = \frac{1}{3} \sum_{m=0}^2 X(e^{j\frac{1}{3}(\omega-2\pi m)})$$

$$= \frac{1}{3} X(e^{j\omega/3}) + \frac{1}{3} X(e^{j\frac{1}{3}(\omega-2\pi)}) + \frac{1}{3} X(e^{j\frac{1}{3}(\omega-4\pi)})$$

$W_1(e^{j\omega})$ $W_2(e^{j\omega})$ $W_3(e^{j\omega})$

$W_1: \omega_x = \frac{\omega_y}{3}$ $W_2: \omega_x = \frac{\omega_y}{3} - \frac{2\pi}{3}$

$\omega_y = 3\omega_x$ $\omega_y = 3\omega_x + 2\pi$

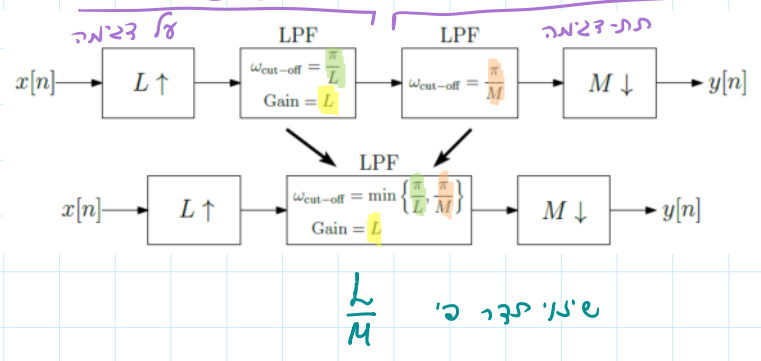
$W_3: \omega_y = 3\omega_x + 4\pi$

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - למסור $\rightarrow 2\pi \cdot M = 6\pi$ את לקוח

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - למספר $\rightarrow 2\pi \cdot M$ ← ω (רדיוס)

שינוי תדר הדגימה

שינוי תדר דגימה במספר רציונלי (הניתן להצגה כמנה של מספרים שלמים)



CD
44,1kHz - ל
שינוי תדר

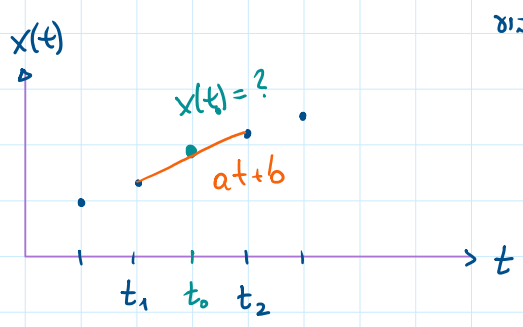
Blue ray
192kHz 8

$44100 = 2^4 \times 3^4 \times 5^2 \times 7^2$
 $192000 = 2^{11} \times 3 \times 5^3$
 $\Rightarrow 192000 = \frac{2^7 \times 5}{3 \times 7^2} \times 44100 = \frac{640}{147} \times 44100$
 $L = 2^7 \times 5 = 640, M = 3 \times 7^2 = 147$

$\frac{192,000}{44,100} = \frac{640}{147}$ ← מספר שלם
 ← מספר שלם
 ← מספר רציונלי

שינוי זמן הדגימה

נכונה: התאוצה עם כמות דגימה T 8 קבוע
 Nyquist + אין תדר דגימה



Linear Interpolation

$x = at + b$
 $t \in [t_1, t_2]$

$\begin{cases} x(t_1) = at_1 + b \\ x(t_2) = at_2 + b \end{cases} \Rightarrow x(t) = x_1 + (t - t_1) \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

הסברה: בעל שילוב השאר
 8 למחשור בתדר דגימה, ביצועים כמותים עבור תדר דגימה קבוע.

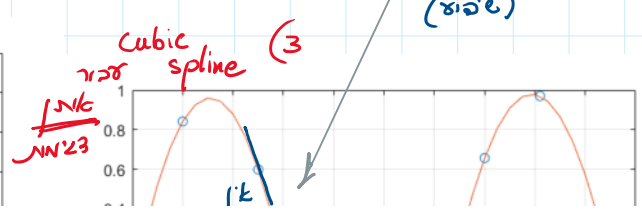
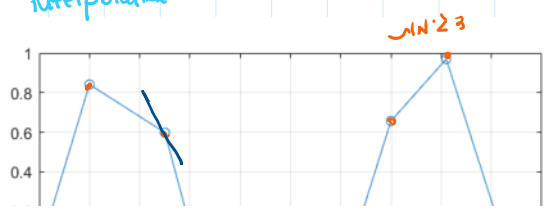
* השיטה לא מתאימה לדגימות של אות בתוספת רעש משמעותי.
 * זה הטיה עבור פקודה plot ב-Matlab (לפי נוסחה) הפקודה לחצות בין נקודות עם קווים ישרים.

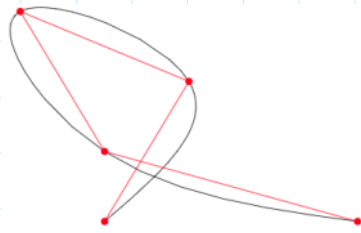
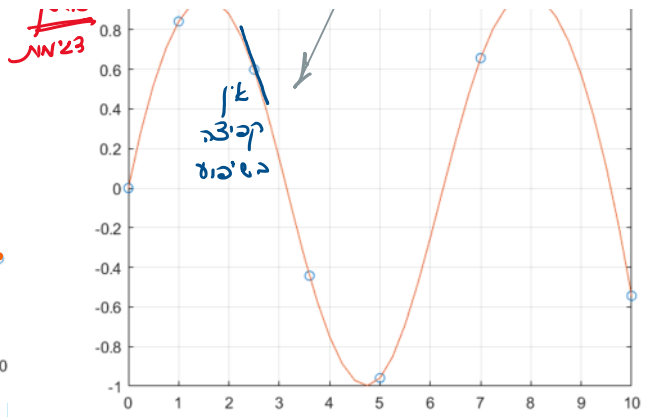
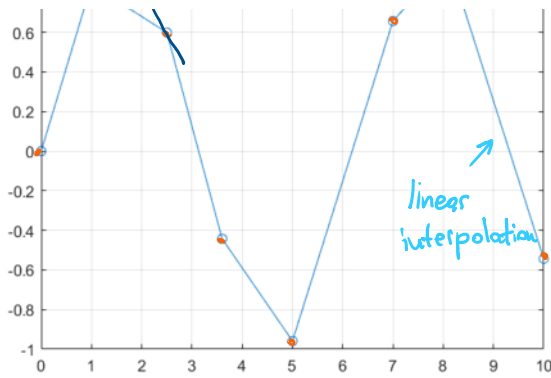
Cubic Spline

(1) דגימה לקויות
 (2) linear interpolation

במקום קו ישרים להשתמש בפולינום לחצות 3

התאמה של
 רציפות נכונה בקצוות הפולינום (שיפוע)





spline - בקרה ב Matlab

הסרה: אם הייתי רוצה לא מושה
למצב של צימוד בעזר אפיק
(במקרה זה יש עיגול)
באופן צמוד למבנה של-23-מה!

Matlab כימים :
LTI מערכת

$$Y(z) = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n_b + 1)z^{-n_b}}{1 + a(2)z^{-1} + \dots + a(n_a + 1)z^{-n_a}} X(z)$$

$$B(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M} = \sum_{k=0}^M b_k z^{-k}$$

$$A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N} = \sum_{k=0}^N a_k z^{-k}$$

$$a_0 = 1$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^N a_k z^{-k}} = \frac{B(z)}{A(z)}$$

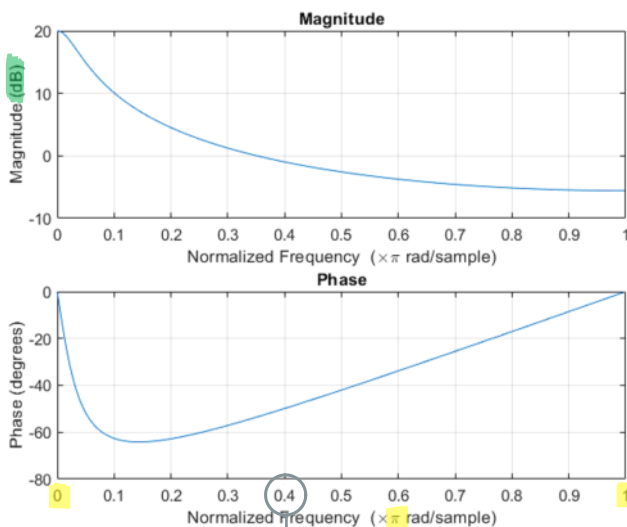
הקצוות למבנה וקצוות לקצוות : a, b
צד אחד.

$$H(z) = \frac{1}{1 - 0.9z^{-1}}$$

$$b = 1$$

$$a = [1 - 0.9]$$

dB (1) כימים



freqz(1, [1 - 0.9])

b a

isminphase(b, a) → true false

<https://www.mathworks.com/help/signal/digital-filter-analysis.html>

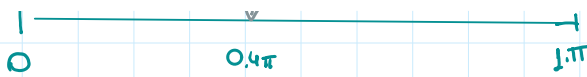
2

0 0.4π 1.0π

← פאזה אפליקציה/פאזה
← קצוות קצוות
← פאזה

abs
angle
freqz
grpdelay
phasedelay

(2)



fvtool

← זמן אמת / אטמוספירה / פאזה

← קבוצה של פאזות

← פאזה

← מרחב קטבים / אפסים

| |
|------------|
| isallpass |
| grpdelay |
| phasedelay |
| phasez |
| unwrap |
| zerophase |
| zplane |

allpass

האם

fir/ir

האם

פאזה עולה

פאזה יורדת

יציב?

| |
|------------|
| isallpass |
| isfir |
| islinphase |
| ismaxphase |
| isminphase |
| isstable |