



---

# ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

---

ΣΕΙΡΑ 2 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΚΕΡΑΙΩΝ  
ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΑΦΙΞΗΣ



ΜΑΙΟΣ 11, 2019

**ΠΑΛΑΣΚΟΣ ΜΑΡΙΟΣ (8492)**

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ – ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

# 1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΤΗ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (MVDR)

(α) Κώδικας matlab -> MVDR.m

(β) Ο ζητούμενος πίνακας με τα στατιστικά στοιχεία φαίνεται παρακάτω:

MVDR	Main Lobe Divergence ( $\Delta\theta_0$ ) [deg]				Null Divergence ( $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ ) [deg]				SINR [dB]			
SNR = 0dB	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std
$\Delta\theta_{min} = 2^\circ$	0	18.21	2.47	3.43	0	2	0.06	0.14	2.33	29.03	27.08	3.53
$\Delta\theta_{min} = 4^\circ$	0	18.89	1.79	2.85	0	2.32	0.04	0.09	9.25	29.03	27.93	2.16
$\Delta\theta_{min} = 6^\circ$	0	15.34	1.43	2.22	0	0.78	0.04	0.05	11.18	29.03	28.31	1.4
$\Delta\theta_{min} = 8^\circ$	0	13.07	1.01	1.78	0	0.54	0.04	0.05	19.03	29.03	28.6	0.91
$\Delta\theta_{min} = 10^\circ$	0	13.57	0.8	1.46	0	0.54	0.03	0.04	24.8	29.03	28.76	0.45
SNR = 5dB	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std
$\Delta\theta_{min} = 2^\circ$	0	18.64	2.24	3.37	0	2.11	0.06	0.13	5.77	29.03	27.16	3.7
$\Delta\theta_{min} = 4^\circ$	0	19.29	1.95	3.06	0	0.93	0.04	0.06	11.09	29.03	27.82	2.21
$\Delta\theta_{min} = 6^\circ$	0	19.96	1.48	2.48	0	1.59	0.04	0.06	19	29.03	28.3	1.4
$\Delta\theta_{min} = 8^\circ$	0	14.49	1.05	1.79	0	0.62	0.04	0.05	21.3	29.03	28.63	0.75
$\Delta\theta_{min} = 10^\circ$	0	12.07	0.75	1.32	0	0.89	0.03	0.04	25.5	29.03	28.76	0.44
SNR = 10dB	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std
$\Delta\theta_{min} = 2^\circ$	0	19.66	2.63	3.69	0	2.01	0.06	0.16	4.24	29.03	26.85	4.03
$\Delta\theta_{min} = 4^\circ$	0	18.57	1.96	3.16	0	2.34	0.05	0.11	12.99	29.03	27.85	2.28
$\Delta\theta_{min} = 6^\circ$	0	16.33	1.45	2.37	0	0.49	0.04	0.05	20	29.03	28.33	1.32
$\Delta\theta_{min} = 8^\circ$	0	15.25	1.12	1.86	0	0.64	0.04	0.05	21.29	29.03	28.61	0.76
$\Delta\theta_{min} = 10^\circ$	0	10.69	0.72	1.24	0	0.42	0.04	0.04	25.7	29.03	28.78	0.39
SNR = 20dB	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std
$\Delta\theta_{min} = 2^\circ$	0	19.7	2.23	3.33	0	2.26	0.06	0.13	6.05	29.03	27.25	3.58
$\Delta\theta_{min} = 4^\circ$	0	19.13	2.05	3.18	0	1.65	0.04	0.08	10.34	29.03	27.85	2.15
$\Delta\theta_{min} = 6^\circ$	0	14.78	1.36	2.22	0	1.48	0.04	0.07	19.3	29.03	28.34	1.35
$\Delta\theta_{min} = 8^\circ$	0	14.35	1.11	1.96	0	0.96	0.04	0.05	19.68	29.03	28.59	0.86
$\Delta\theta_{min} = 10^\circ$	0	11.68	0.73	1.25	0	0.7	0.04	0.05	24.85	29.03	28.78	0.41

(γ) Σχολιασμός Δεδομένων

- Κύριος Λοβός

- Η μέση τιμή της απόκλισης του κύριου λοβού από την κατεύθυνση του επιθυμητού σήματος είναι, σε κάθε περίπτωση, μικρότερη από  $3^\circ$ . Λαμβάνοντας υπόψιν, όμως, ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας δεν είναι «οξύ» στο μέγιστο (αντιθέτως είναι ομαλό), συμπεραίνουμε ότι μια απόκλιση  $3^\circ$  δεν είναι σημαντική.
- Υπάρχουν περιπτώσεις που ο αλγόριθμος στρέφει τον κύριο λοβό προς την ακριβή κατεύθυνση ( $min = 0$ ). Οστόσο, προβληματισμό δημιουργεί το γεγονός ότι κάποιες φορές το σφάλμα είναι πολύ μεγάλο ( $\max(\text{Max}) \cong 20^\circ$ ). Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος δεν πετυχαίνει το στόχο του. Και αυτό μάλιστα δεν εξαρτάται ούτε από το SNR, ούτε από το  $\Delta\theta_{min}$ . Με άλλα λόγια, για οποιαδήποτε επιλογή των SNR και  $\Delta\theta_{min}$ , πάντοτε υπάρχει ένα μεγάλο σφάλμα.
- Η τυπική απόκλιση είναι μικρή (όχι όμως πολύ μικρή) για μικρά  $\Delta\theta_{min}$ . Μπορεί να δημιουργήσει σφάλματα μέχρι και  $6^\circ$  ( $min \pm \sigma$ ), που πρέπει ενδεχομένως να ληφθούν υπόψιν.

- Μηδενισμοί

- Η μέση τιμή της απόκλισης των μηδενισμών από τις πραγματικές τους τιμές είναι μικρότερη των  $0.06^\circ$ . Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ σημαντικό, διότι οι μηδενισμοί είναι «οξείς», με αποτέλεσμα ένα μεγάλο σφάλμα απόκλισης θα οδηγούσε σε σημαντικές παρεμβολές.
- Όπως και στην περίπτωση του κύριου λοβού, και εδώ η βέλτιστη περίπτωση είναι το μηδενικό σφάλμα, ενώ η χειρότερη περίπτωση δεν είναι τόσο προβληματική (όχι συγκριτικά με τις τιμές του Max, αλλά με το συνδυασμό «Max» και «οξύτητας του μεγίστου ή ελαχίστου» ανάλογα με την περίπτωση).

- SINR

- Η μέση τιμή του SINR εξόδου κυμαίνεται στα  $28dB$ , μία τιμή πολύ καλή (δηλαδή το επιθυμητό σήμα λαμβάνεται με ισχύ περίπου 1000 φορές μεγαλύτερη από το άθροισμα ισχύος παρεμβολών και θορύβου) και η τυπική απόκλιση είναι μικρή (μικρότερη από  $4dB$ ).
- Η μέγιστη τιμή φαίνεται να ξεπερνά λίγο τα  $29dB$ , αλλά δεν μπορεί να ξεπεραστεί μεταβάλλοντας ούτε το SNR εισόδου ούτε την ελάχιστη γωνιακή απόσταση δύο σημάτων που λαμβάνονται από την κεραία. Επομένως, το μέγιστο SINR εξαρτάται μάλλον από τον πλήθος των στοιχείων της στοιχειοκεραίας (για κάθε πλήθος M στοιχείων δημιουργείται ένα άνω όριο στο SINR εξόδου).
- Η ελάχιστη τιμή φαίνεται να μην εξαρτάται τόσο από τη SNR, αλλά μάλλον από το  $\Delta\theta_{min}$  (παίρνω τη μέση τιμή του  $SINR_{min}$  για κάθε  $\Delta\theta_{min}$  :

$$\text{Για } \Delta\theta_{min} = 2^\circ, \overline{SINR}_{min} = 4.5dB$$

$$\text{Για } \Delta\theta_{min} = 8^\circ, \overline{SINR}_{min} = 20dB$$

$$\text{Για } \Delta\theta_{min} = 4^\circ, \overline{SINR}_{min} = 10.5dB$$

$$\text{Για } \Delta\theta_{min} = 10^\circ, \overline{SINR}_{min} = 25dB$$

$$\text{Για } \Delta\theta_{min} = 6^\circ, \overline{SINR}_{min} = 17dB$$

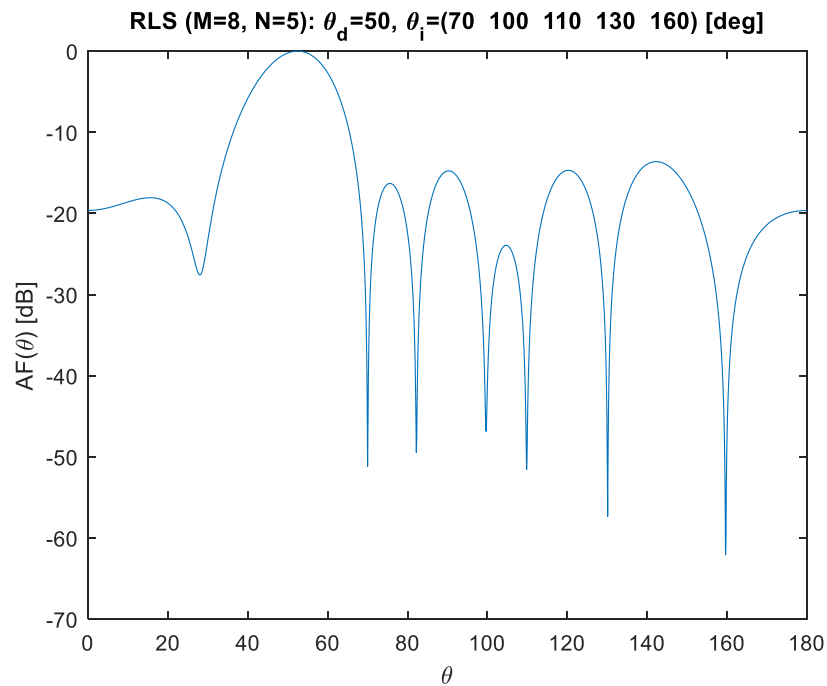
Επομένως είναι εφικτό (σε σπάνιες περιπτώσεις βέβαια) το SINR να είναι μικρότερο από το SNR εισόδου.

- Γενικά

- Αύξηση του  $\Delta\theta_{min}$  βελτιώνει σημαντικά ΟΛΑ τα αποτελέσματα (σφάλματα και SINR). Για  $\Delta\theta_{min} > 4^\circ$ , η βελτίωση γίνεται αισθητή, διότι μικρότερες γωνίες πλησιάζουν τη διακριτή ικανότητα του αλγορίθμου.
- Όσο αφορά τις αποκλίσεις των γωνιών  $\Delta\theta$ , φαίνεται η τυπική απόκλιση να είναι παραπλήσια (λίγο μεγαλύτερη) με την αντίστοιχη μέση τιμή.

## 2. ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΤΗ ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (RLS)

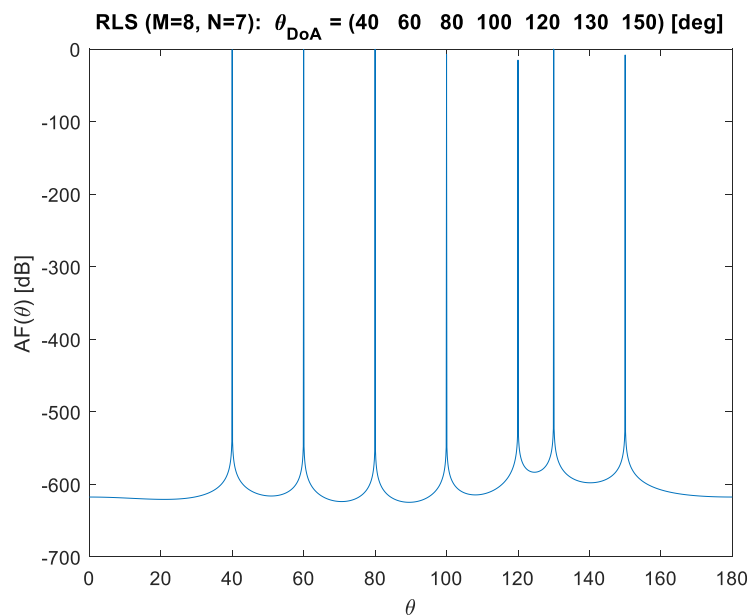
(α) Κώδικας matlab -> RLS.m



(β) RLS:  $(\Delta\theta_0, \Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_5) = (2.4^\circ, 0.1^\circ, 0.4^\circ, 0.4^\circ, 0.1^\circ, 0^\circ)$

## 3. ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΑΦΙΞΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PISARENKO (PHD)

(α) Κώδικας matlab -> PHD.m



(β) Ελάχιστη γωνιακή απόσταση δύο κατευθύνσεων άφιξης – Διακριτική ικανότητα του αλγορίθμου:  
 $resolution = 0.14^\circ$  (πολύ μικρο!)