

Επίδοση ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας υπό την επίδραση παρεμβολών από ραντάρ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων προσομοίωσης από την επιστημονική δημοσίευση “Communications System Performance and Design in the Presence of Radar Interference” των Narueporn Nartasilpa , Ahmad Salim , Daniela Tuninetti, και Natasha Devroye, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 66, NO. 9, SEPTEMBER 2018.

1.Εισαγωγή

Η συνεχώς αυξανόμενη συμφόρηση στο φάσμα καθιστά αναγκαία τη συνύπαρξη συστημάτων επικοινωνίας με άλλες εφαρμογές όπως τα ραντάρ.

Η εργασία αυτή αναπαράγει αποτελέσματα που εξετάζουν πως η περιοδική παρεμβολή από ραντάρ επηρεάζει την απόδοση συστημάτων επικοινωνίας.

2.Μεθοδολογία

2.1 Μοντελοποίηση σήματος

Το λαμβανόμενο στο δέκτη σήμα δίνεται από τη σχέση :

$$Y = \sqrt{S} \cdot X + I \cdot e^{j\theta} + Z$$

Όπου :

- \sqrt{S} είναι το κέρδος του καναλιού
- X είναι το μεταδιδόμενο σύμβολο
- I περιγράφει το λόγο παρεμβολής προς θόρυβο (INR)
- θ είναι η φάση του ραντάρ με $\theta \in (0, 2\pi]$
- Z είναι ο πρόσθετος λευκός Gaussian θόρυβος μηδενικής μέσης τιμής και μοναδιαίας διακύμανσης

Οι τυχαίες μεταβλητές (X, θ, Z) είναι αμοιβαία ανεξάρτητες και το ζεύγος (S, I) είναι ανά πάσα στιγμή γνωστό στον δέκτη. Επομένως η υπό συνθήκη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι:

$$f(y|x, \theta) = \frac{e^{-|y - \sqrt{S}x - Ie^{j\theta}|^2}}{\pi}$$

Επειδή η φάση θ είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στο διάστημα $(0, 2\pi]$ τότε η υπό συνθήκη συνάρτηση κατανομής είναι:

$$f(y|x) = \frac{e^{-|y - \sqrt{S}x|^2}}{\pi} \cdot I_0(2\sqrt{I}|y - \sqrt{S}x|)$$

Όπου I_0 είναι η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και μηδενικής τάξης.

2.2 Ανίχνευση στον δέκτη

2.2.1 Ανιχνευτής μέγιστης πιθανοφάνειας ML

Ο συγκεκριμένος ανιχνευτής για δύο σημεία του αστερισμού x και x_k , θεωρεί ότι στάλθηκε το x όταν πληρείται το κριτήριο για κάθε $k \in [1, M]$:

$$|y - \sqrt{S} x|^2 - 1 - \ln \left(I_0(2\sqrt{I}|y - \sqrt{S}x|) \right) < |y - \sqrt{S} x_k|^2 - 1 - \ln \left(I_0(2\sqrt{I}|y - \sqrt{S}x_k|) \right)$$

Εξετάζουμε δύο περιπτώσεις για το ζεύγος (S, I) :

1. Όταν $I \ll S$ τότε $I_0(z) \cong 1$ επομένως ο ανιχνευτής προσεγγίζεται ως:

$$|y - \sqrt{S}x| < |y - \sqrt{S} x_k|$$

Η παρεμβολή αντιμετωπίζεται σαν Gaussian θόρυβος και προκύπτει ο 'TIN' decoder (Treat Interference as Noise).

2. Όταν $I \gg S$ τότε $I_0(z) \cong e^{|z|}$ επομένως το κριτήριο γίνεται:

$$(|y - \sqrt{S}x| - \sqrt{I})^2 < (|y - \sqrt{S} x_k| - \sqrt{I})^2$$

Δηλαδή αφαιρείται το πλάτος της παρεμβολής και προκύπτει ο 'IC' decoder (Interference Cancellation).

2.2.2 Προσομοιώσεις περιοχών απόφασης σε διαφορετικό περιβάλλον παρεμβολών INR με δεδομένο SNR

Οι αστερισμοί των προσομοιώσεων:

8-PSK: Μέση ενέργεια συμβόλου μοναδιαία με σύνολο 8 σύμβολα συμμετρικά τοποθετημένα πάνω στον μοναδιαίο κύκλο.

16-PAM: Διαμόρφωση πλάτους παλμού με 16 σύμβολα τοποθετημένα στον πραγματικό άξονα.

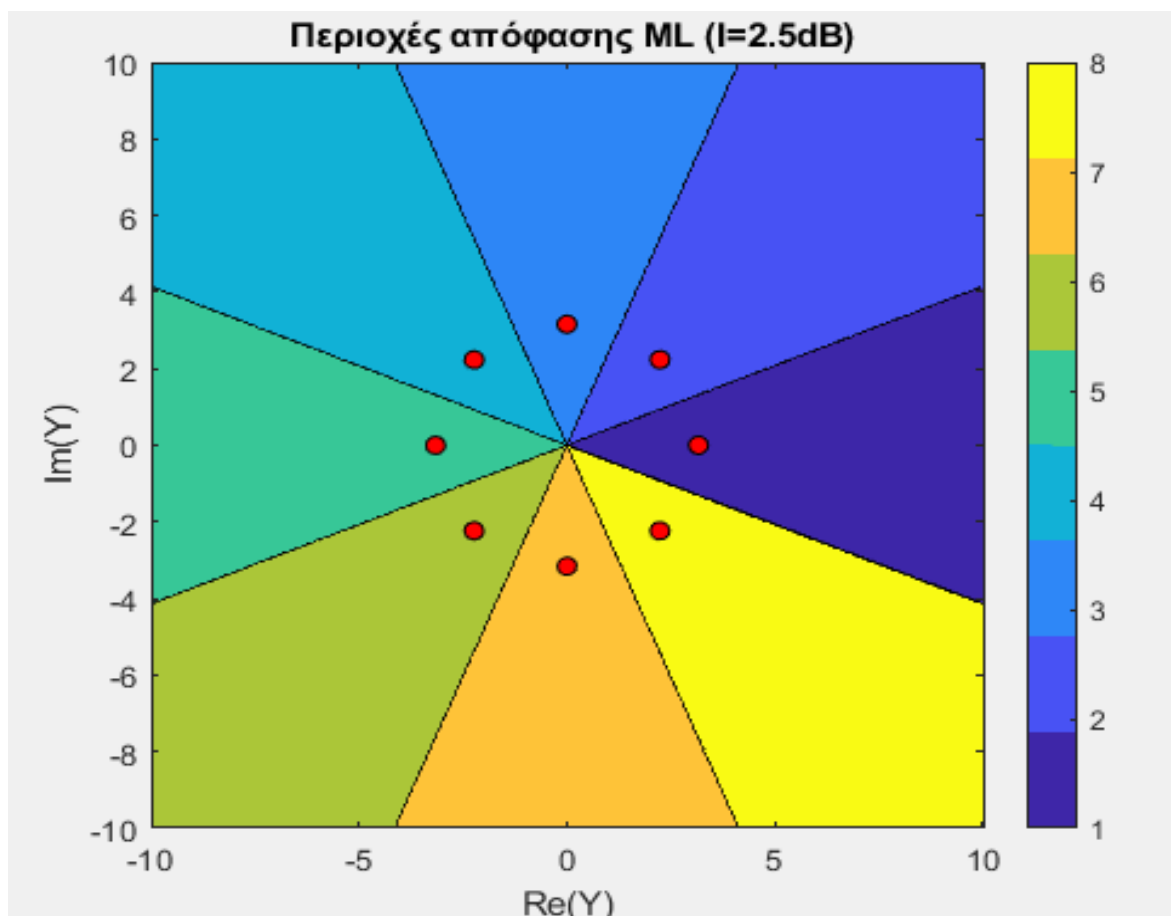
16-PSK: Μέση ενέργεια συμβόλου μοναδιαία με σύνολο 16 σύμβολα συμμετρικά τοποθετημένα πάνω στον μοναδιαίο κύκλο.

16-QAM: Τετραγωνικός αστερισμός ορθογώνιας διαμόρφωσης πλάτους με 16 σύμβολα στο μιγαδικό επίπεδο.

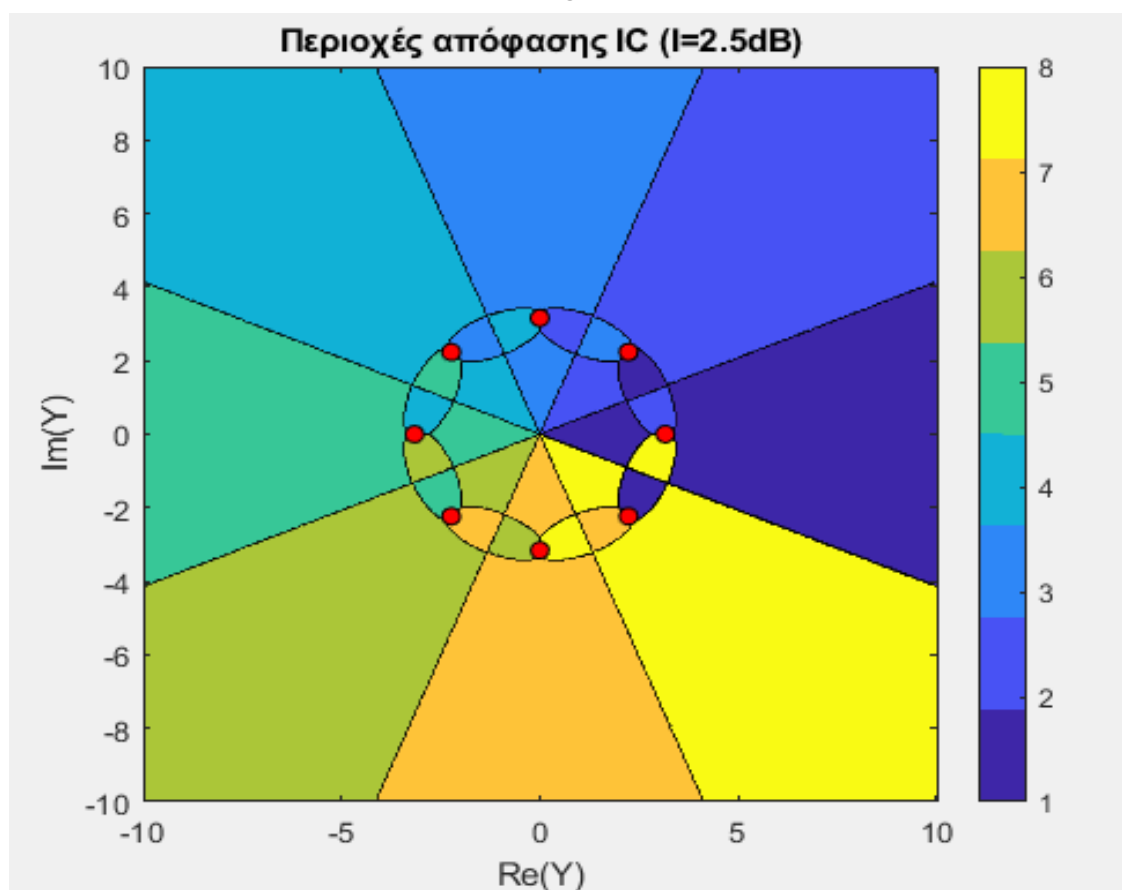
Επιλέχθηκαν τέσσερις στο πλήθος ώστε να συγκριθούν οι επιδόσεις τους σε περιβάλλον υψηλών παρεμβολών ραντάρ.

Στις παρακάτω εικόνες έχουν σχεδιαστεί οι περιοχές απόφασης για τον ML ανιχνευτή (βέλτιστος) χρησιμοποιώντας την πλήρη έκφραση της συνάρτησης Bessel και οι περιοχές απόφασης του IC ανιχνευτή (υποβέλτιστος) για τον 8-PSK αστερισμό σε περιβάλλον θορύβου $S_{dB} = 10$ για διαφορετικές τιμές του I_{dB} (INR).

- Για χαμηλό INR ($I_{dB} = 0.25 * S_{dB}$) οι διαφορές στις περιοχές απόφασης του βέλτιστου (ML) και υποβέλτιστου (IC) παρουσιάζουν εμφανείς διαφορές:

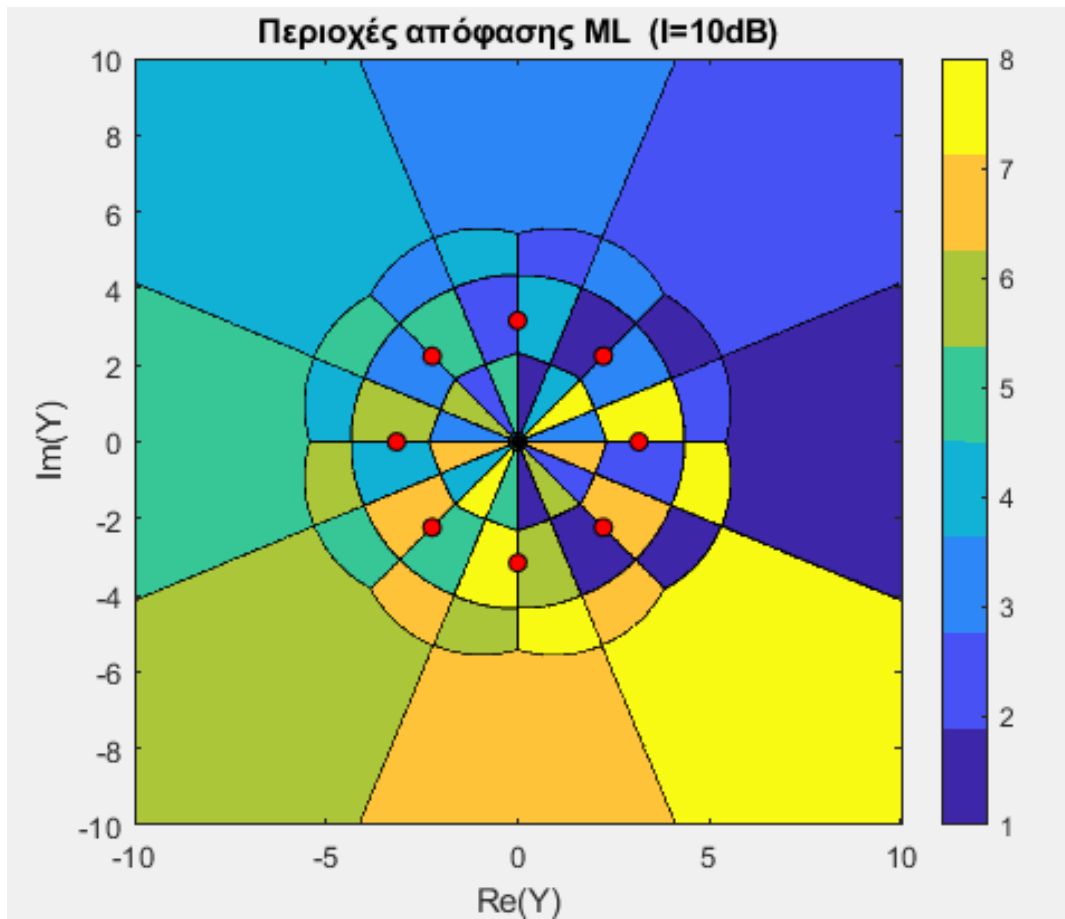


Γράφημα 1: Περιοχές απόφασης ML σε περιβάλλον χαμηλών παρεμβολών για τον 8-PSK

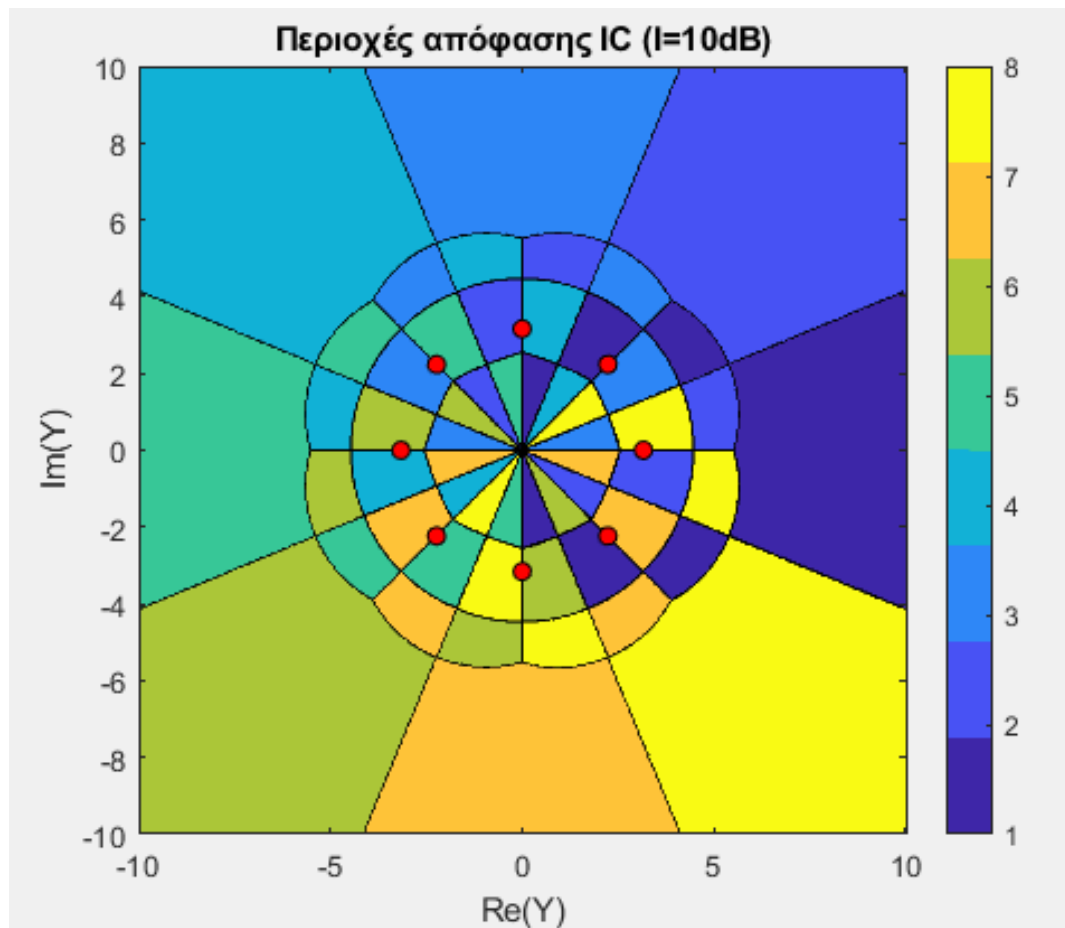


Γράφημα 2: Περιοχές απόφασης IC σε περιβάλλον χαμηλών παρεμβολών για τον 8-PSK

- Για μέτριο INR ($I_{\text{dB}} = S_{\text{dB}}$) οι δύο ανιχνευτές έχουν σχεδόν όμοιες περιοχές απόφασης, με τον υποβέλτιστο να έχει ελαφρώς μεγαλύτερες περιοχές απόφασης. Παρατηρούμε ότι αυξάνεται η πολυπλοκότητα των περιοχών απόφασης και για τους δύο ανιχνευτές:

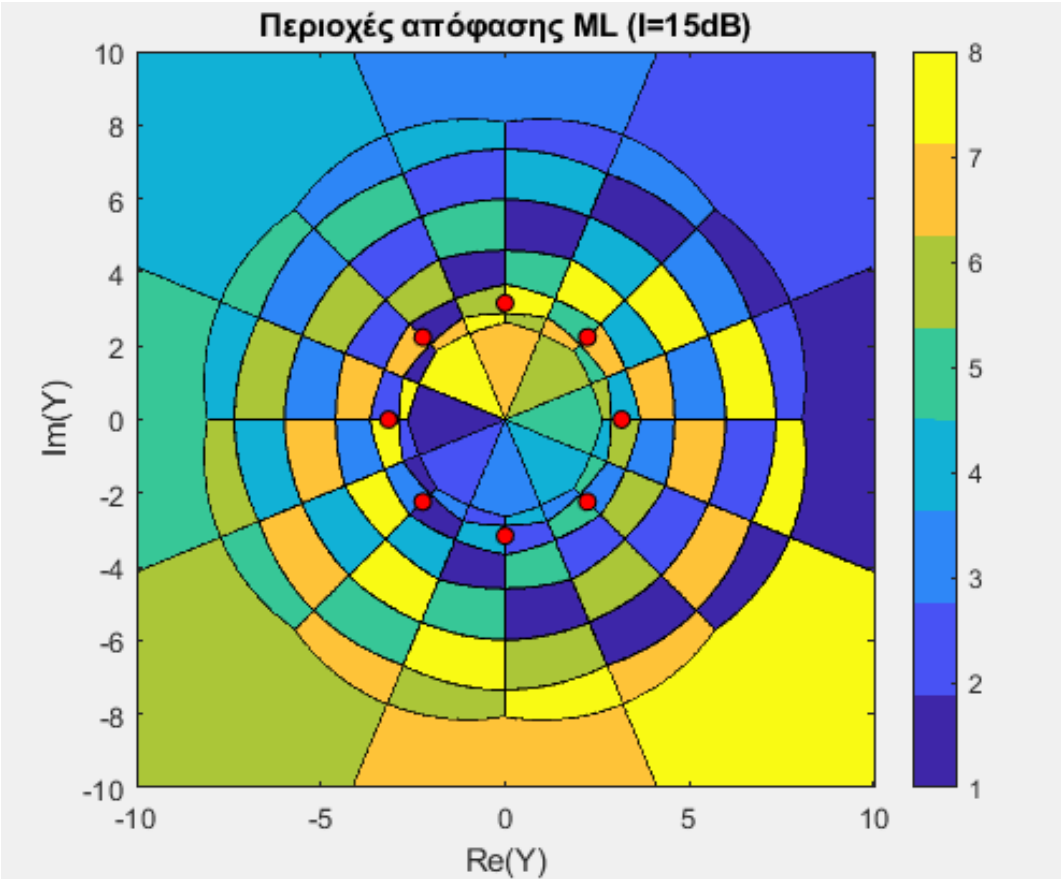


Γράφημα 3:Περιοχές απόφασης ML σε περιβάλλον μεσαίων παρεμβολών για 8-PSK

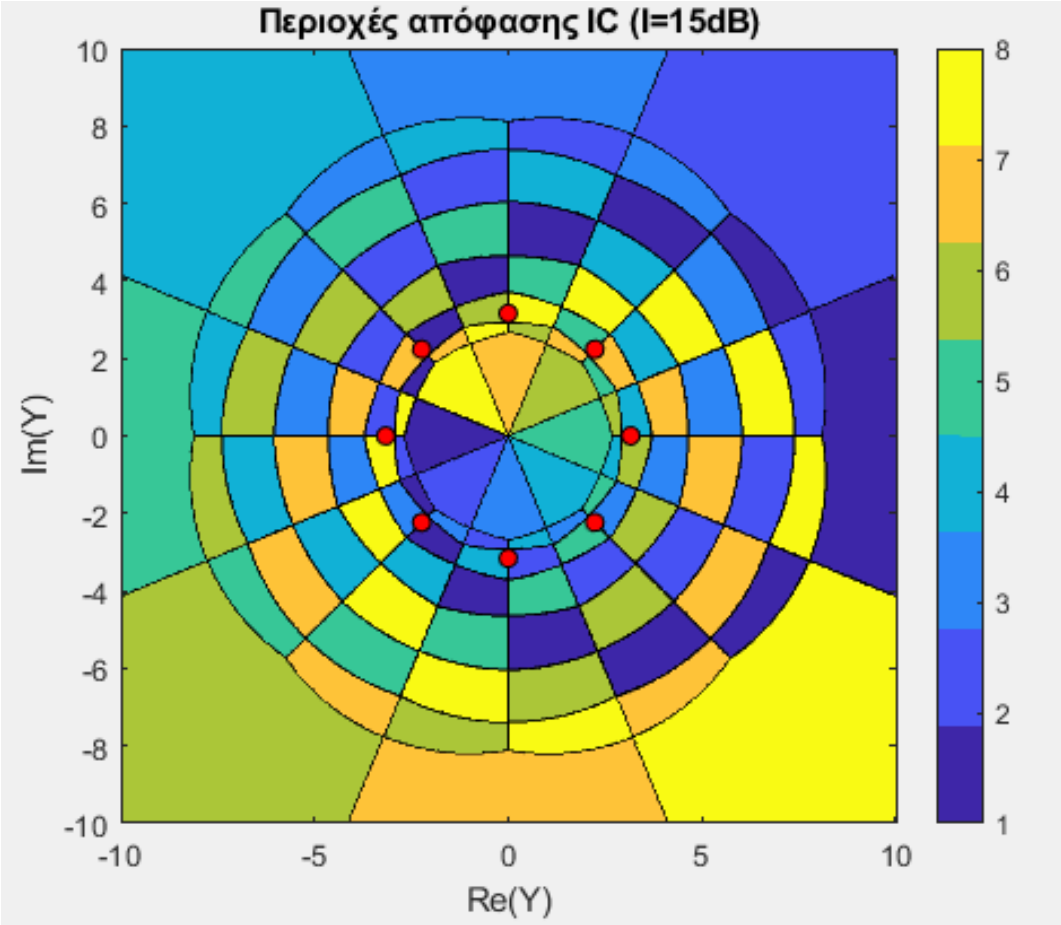


Γράφημα 4:Περιοχές απόφασης IC σε περιβάλλον μεσαίων παρεμβολών για τον 8-PSK

- Για υψηλές τιμές INR ($I_{dB} = 15 \gg S_{dB}$) οι περιοχές απόφασης των δύο ανιχνευτών είναι σχεδόν πανομοιότυπες, που καθιστά τον IC ανιχνευτή αρκετά καλό και πλησιάζει την επίδοση του ML καθώς αυξάνονται οι παρεμβολές:



Γράφημα 5:Περιοχές απόφασης ML σε περιβάλλον υψηλών παρεμβολών για 8-PSK



Γράφημα 6:Περιοχές απόφασης IC σε περιβάλλον υψηλών παρεμβολών για τον 8-PSK

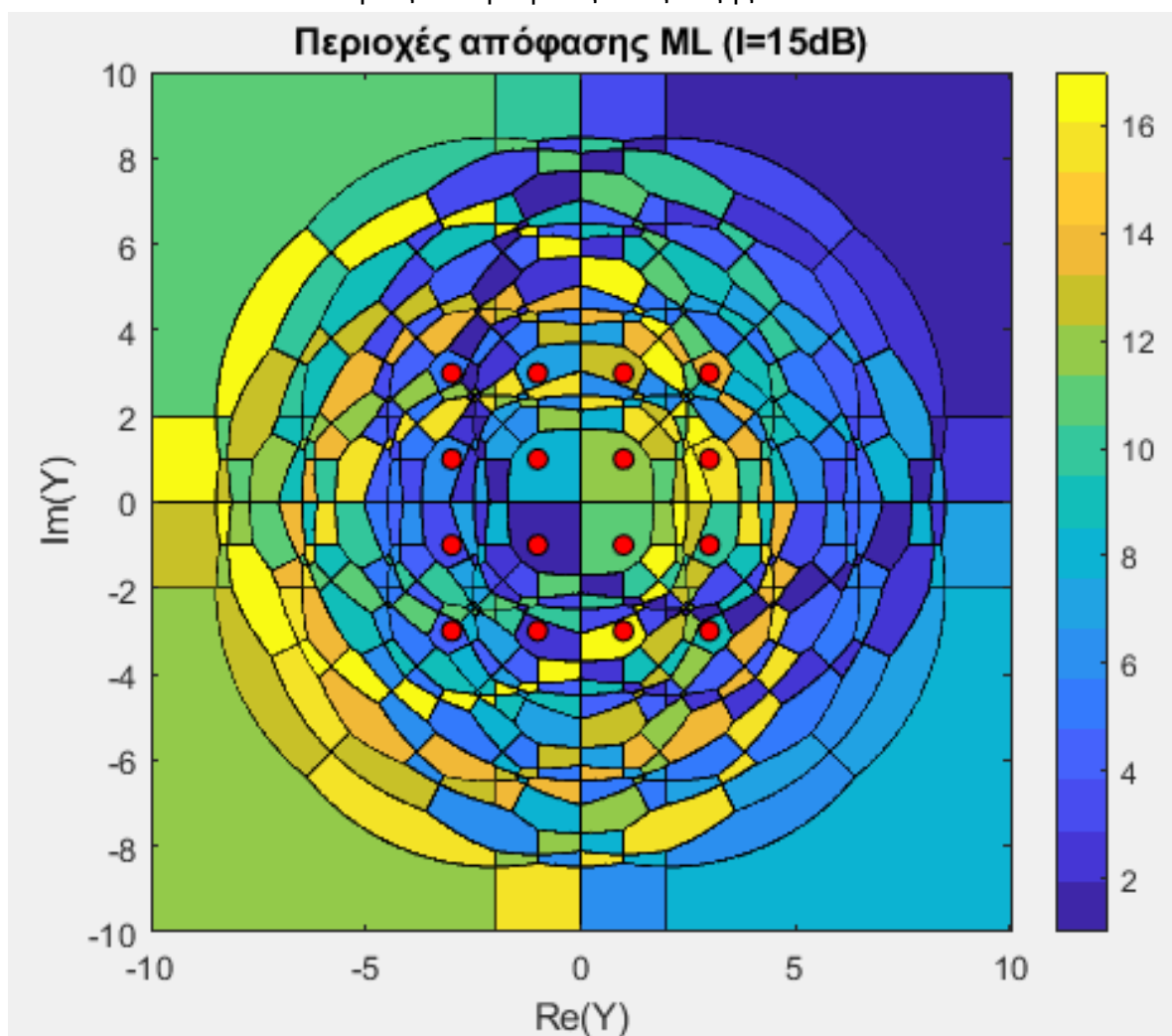
2.3 Ανάλυση SER-Symbol Error Rate

Προκειμένου να αξιολογήσουμε την επίδοση των ανιχνευτών και να τους συγκρίνουμε, θα μελετήσουμε το ρυθμό σφάλματος συμβόλου για τους 3 διαφορετικούς αστερισμούς που προτάθηκαν παραπάνω (16-PSK, 16-PAM, 16-QAM) σε περιβάλλον θορύβου $S_{dB} = 10$ και περιβάλλον παρεμβολών $I_{dB} = 15$.

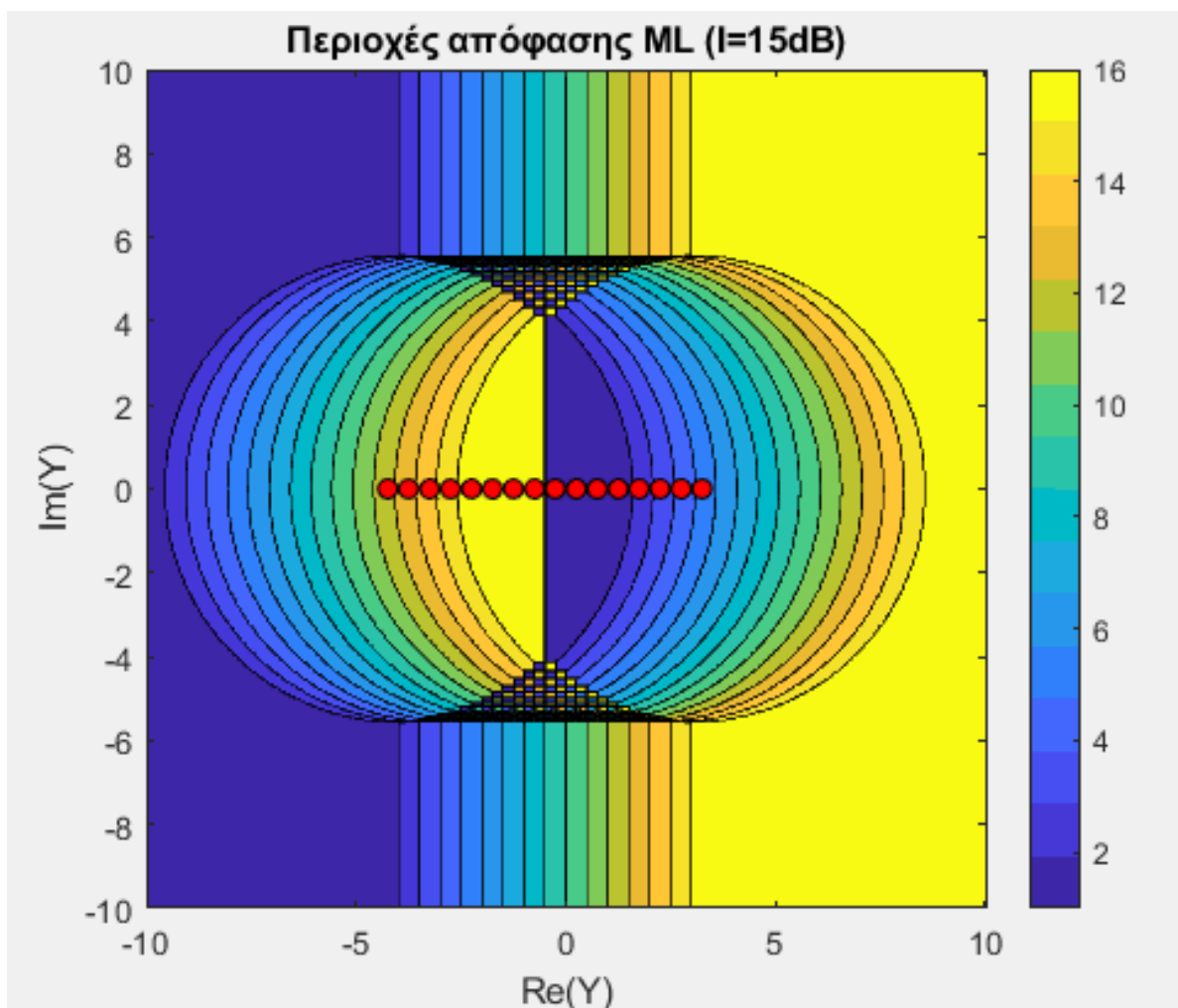
Προκειμένου να υπολογιστεί η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου, θα χρησιμοποιηθεί Monte Carlo προσομοίωση καθώς δεν υπάρχει κλειστός τύπος υπολογισμού της πιθανότητας σφάλματος.

- Για χαμηλές τιμές INR, η πιθανότητα σφάλματος του ML ανιχνευτή έχει άνω όριο την πιθανότητα σφάλματος του 'TIN' ανιχνευτή, λόγω της προσέγγισης που αναφέραμε νωρίτερα.
- Για υψηλές τιμές INR, η πιθανότητα σφάλματος του ML ανιχνευτή έχει άνω όριο την πιθανότητα σφάλματος του 'IC'.

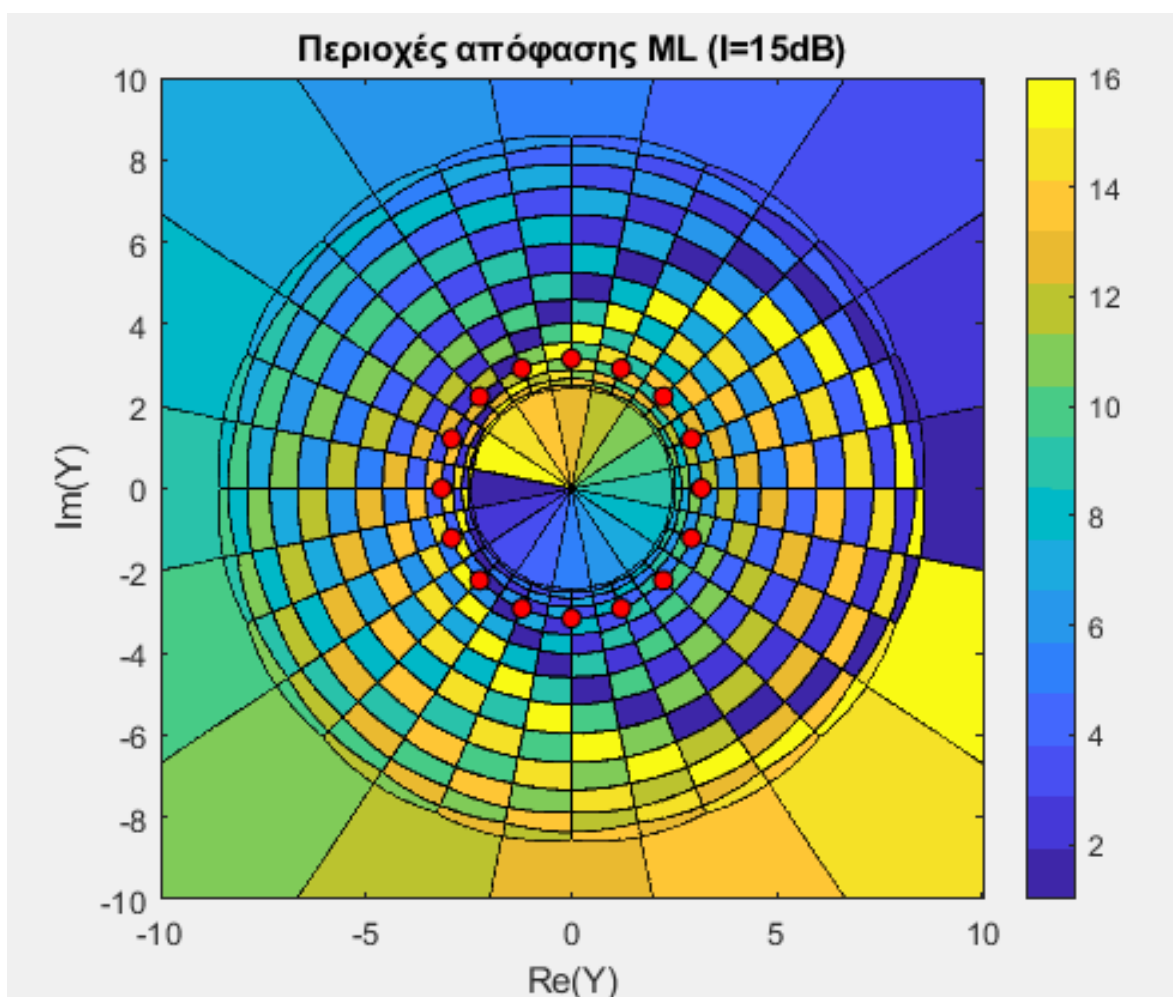
Παρακάτω παρουσιάζονται οι περιοχές απόφασης του βέλτιστου ανιχνευτή ML για τους τρεις αστερισμούς ίδιας τάξης $M=16$:



Γράφημα 7: Περιοχές απόφασης ML σε περιβάλλον υψηλών παρεμβολών για τον 16-QAM



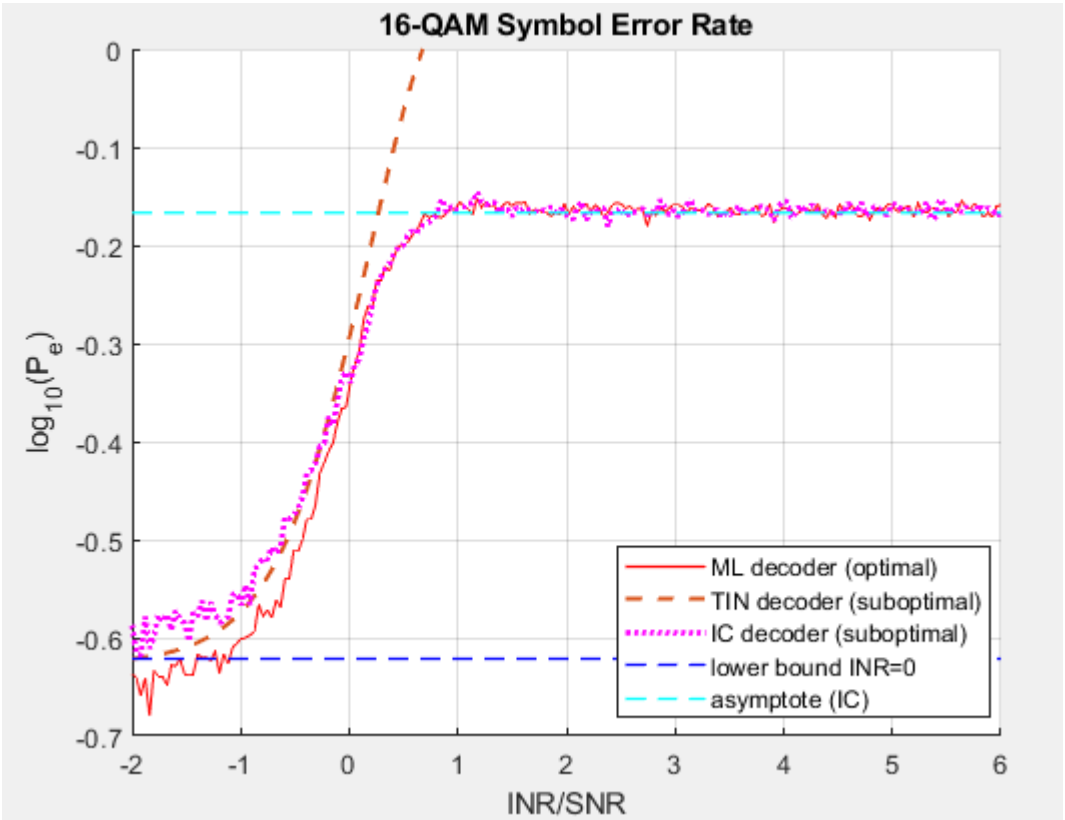
Γράφημα 8: Περιοχές απόφασης ML σε περιβάλλον υψηλών παρεμβολών για τον 16-PAM



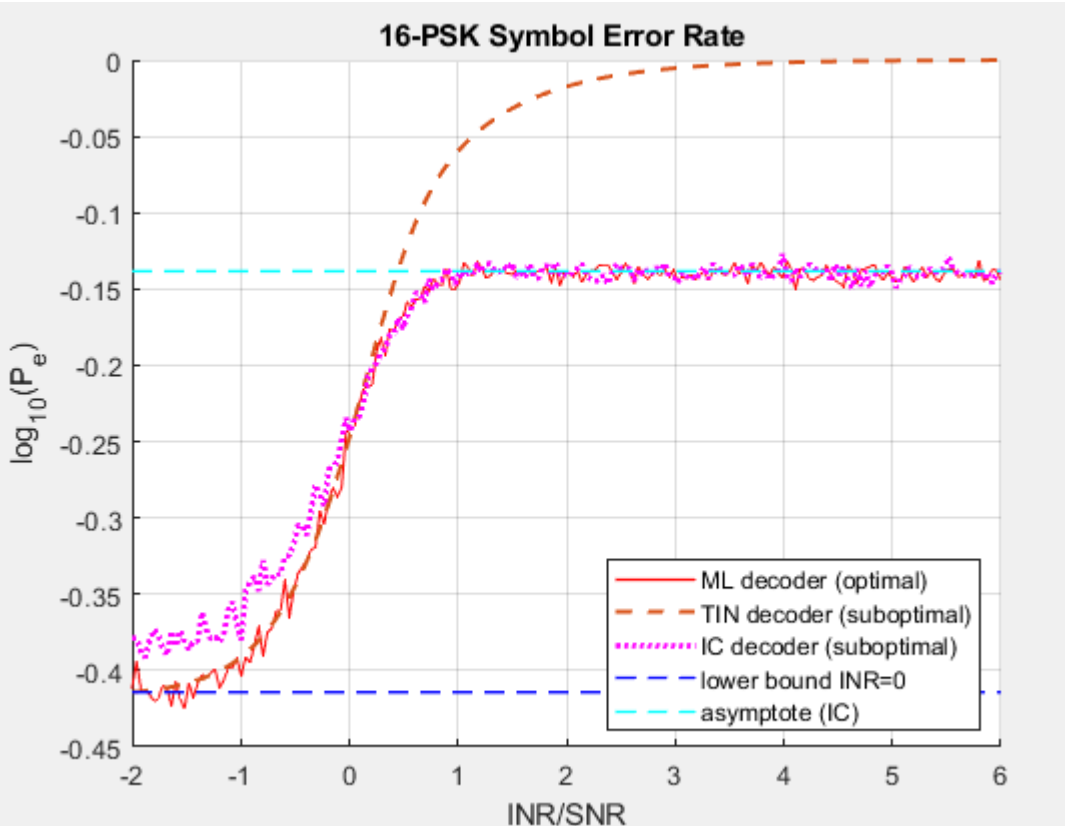
Γράφημα 9: Περιοχές απόφασης ML σε περιβάλλον υψηλών παρεμβολών για τον 16-PSK

2.4 Καμπύλες SER

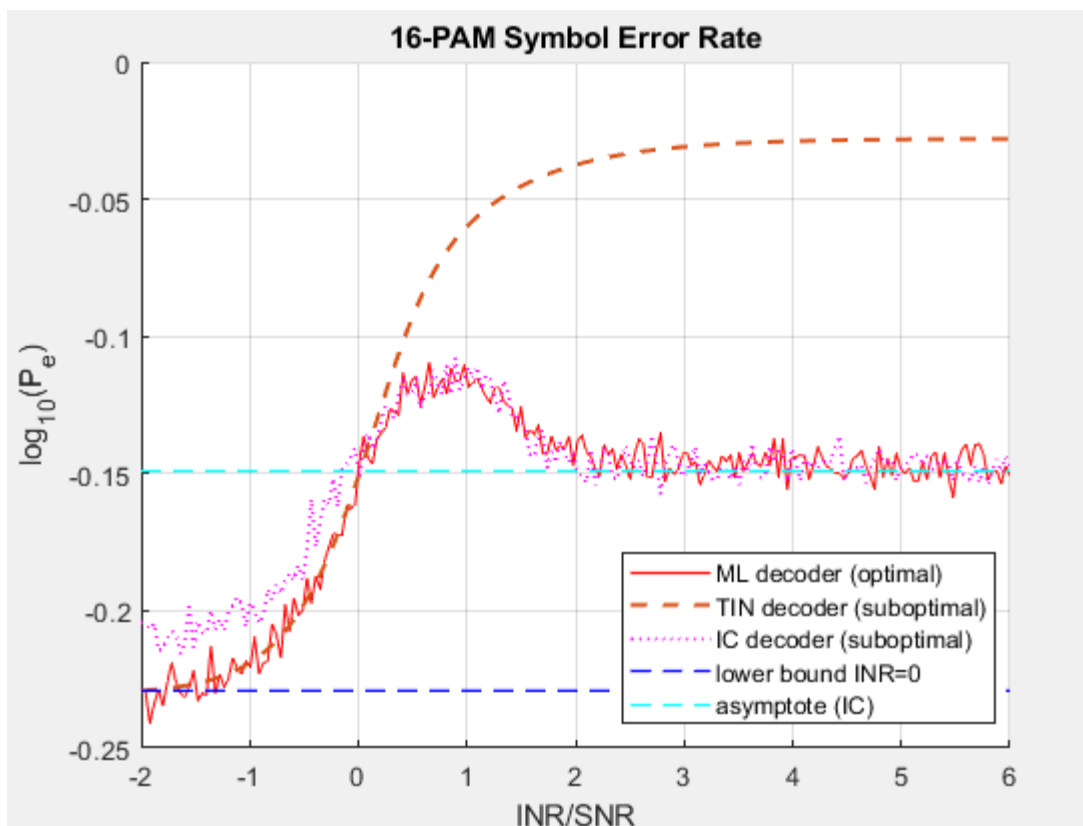
Στα παρακάτω γραφήματα παραστώνται οι καμπύλες SER συναρτήσεως του κανονικοποιημένου INR/SNR για τον κάθε ανιχνευτή. Ο μικρότερος SER παρατηρείται για $I=0$ (χωρίς παρεμβολές). Καθώς αυξάνεται ο λόγος INR, αυξάνεται και το SER ώσπου μεγιστοποιείται. Παρατηρούμε ότι για χαμηλές τιμές INR ο ανιχνευτής ‘TIN’ συμπεριφέρεται βέλτιστα ενώ δεν ισχύει το ίδιο για τον ‘IC’. Αντίθετα, σε υψηλές τιμές INR ο ‘IC’ έχει καλύτερη απόδοση και δεν αποκλίνει από την καμπύλη του ML-οι δύο καμπύλες ταυτίζονται, ακόμα και για μεσαίες τιμές του INR.



Γράφημα 10:Ρυθμός σφάλματος συμβόλου των TIN,ML,IC για τον 16-QAM



Γράφημα 11:Ρυθμός σφάλματος συμβόλου των TIN,ML,IC για τον 16-PSK



Γράφημα 12: Ρυθμός σφάλματος συμβόλου των TIN, ML, IC για τον 16-PAM

2.5 Ανάλυση λειτουργίας και σύγκριση των ανιχνευτών ‘TIN’, ‘ML’, ‘IC’

Η ανάλυση και η σύγκριση των ανιχνευτών βασίζεται σε διαφορετικές παραδοχές ως προς τη φύση και την ισχύ της παρεμβολής, δηλαδή για περιβάλλον υψηλού, μεσαίου και υψηλού INR σε σχέση με το SNR.

- Ο ML ανιχνευτής ανιχνεύει από την ακριβέστερη παρατήρηση του λαμβανόμενου σήματος δεδομένου του μεταδιδόμενου συμβόλου, δηλαδή χωρίς προσεγγίσεις για το INR σε σχέση με το SNR και για όλα τα περιβάλλοντα παρεμβολών ραντάρ. Χρησιμοποιεί την πλήρη συνάρτηση $f(y | x)$ και επιτυγχάνει τη βέλτιστη απόδοση σε όλους τους θορυβώδεις/παρεμβαλλόμενους χώρους, καθώς είναι πιο ακριβής, κάτι που επιβεβαιώνεται από τη μικρή τιμή του SER στις προσομοιώσεις. Η απόδοσή του είναι καλύτερη συγκριτικά με τους ‘TIN’ και ‘IC’ αλλά έρχεται με σημαντικό υπολογιστικό κόστος, καθώς απαιτεί αριθμητικό υπολογισμό της τροποποιημένης συνάρτησης Bessel για κάθε πιθανό σύμβολο που θα σταλεί, κάτι ακόμα δυσχερέστερο όσο αυξάνεται η τάξη του αστερισμού.
- Ο IC ανιχνευτής χρησιμοποιεί προσεγγίσεις της τροποποιημένης συνάρτησης Bessel κατάλληλες για την ασυμπτωτική συμπεριφορά της συνάρτησης κατανομής σε υψηλές τιμές παρεμβολής. Όταν το INR είναι υψηλό, η παρεμβολή κυριαρχεί και είναι δυνατή η αντιμετώπιση της επίδρασής της με αποδοτικές μαθηματικές προσεγγίσεις και συγκλίνει στον ML. Ο IC ανιχνευτής προσφέρει πολύ μικρότερο υπολογιστικό κόστος από τον ML λόγω των προσεγγίσεων, με μηδαμινή απώλεια στην ακρίβεια για $\text{INR} > 10 \text{ dB}$ και διατηρεί την αποδοτικότητα του και για τους τρεις αστερισμούς. Ωστόσο σε χαμηλό INR η απόδοσή του χειροτερεύει αισθητά.
- Ο TIN Ανιχνευτής σε περιβάλλοντα με χαμηλή παρεμβολή ($\text{INR} \ll \text{SNR}$), είναι η πιο απλή υλοποίηση: θεωρεί την παρεμβολή ως πρόσθετο λευκό θόρυβο και δεν απαιτείται η εξειδικευμένη γνώση της, δηλαδή αγνοεί τη δομή της. Αυτή η προσέγγιση απλοποιεί σημαντικά την αποκωδικοποίηση, χρησιμοποιώντας τεχνικές από συστήματα χωρίς παρεμβολή, απαιτώντας τη γνώση τιμών μόνο της Q-function. Αν και αποτυγχάνει να διακρίνει τη δομή της παρεμβολής, αποδίδει εξαιρετικά καλά σε περιβάλλοντα χαμηλής ισχύος παρεμβολής και συγκλίνει στον ML

με πολύ μικρό κόστος υπολογισμών, όπως φαίνεται και από τα τρία γραφήματα του ρυθμού σφάλματος συμβόλου για κάθε αστερισμό(16-PAM, 16-QAM, 16-PSK) επομένως υπάρχει ανθεκτικότητα ως προς τον αστερισμό. Ωστόσο έχει περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, μόνο όταν η παρεμβολή είναι σχεδόν αμελητέα.

2.6 Συμπεράσματα και γενικότερη αξιολόγηση

Από την σύγκριση των ανιχνευτών και την επίδοση τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα παρεμβολών αλλά και των φυσικών περιορισμών του δέκτη ως προς την υπολογιστική ισχύ, συμπεραίνουμε ότι για γνωστά επίπεδα παρεμβολών (INR) στον δέκτη η ανίχνευση μπορεί να γίνει προσαρμοστικά με εναλλαγή στη χρήση μεταξύ των IC και TIN όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο ώστε η ανίχνευση να είναι η βέλτιστη δυνατή.

3. Σχεδίαση Βέλτιστου Αστερισμού

Σε αυτό το κομμάτι στόχος μας είναι να σχεδιάσουμε έναν δισδιάστατο αστερισμό που να εξυπηρετεί το σύστημα σε ποικίλες συνθήκες παρεμβολής ραντάρ. Για να βελτιστοποιήσουμε την λειτουργία του θα επιδιώξουμε α) την μεγιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης των συμβόλων και β) την ελαχιστοποίηση του ρυθμού σφαλμάτων.

3.1 Κριτήρια βελτιστοποίησης και περιορισμοί

Η διαδικασία σχεδίασης βασίστηκε στους παρακάτω περιορισμούς:

Παράμετρος	Περιορισμός
P_e (Symbol Error Rate)	Κάτω από το κατώφλι στόχου
Μέση Ενέργεια	$E_s < 1$
SNR / INR	Σταθερές τιμές ανά σενάριο
Πλήθος συμβόλων (M)	Το μέγιστο δυνατό για το εκάστοτε P_e

Οι προσομοιώσεις καλύπτουν τρία βασικά σενάρια:

- Χαμηλό INR:** Βελτιστοποίηση για υψηλή πυκνότητα πληροφορίας σε AWGN περιβάλλον.
- Υψηλό INR:** Αντοχή σε ισχυρή παρεμβολή (π.χ. κοντά σε ραντάρ, αεροδρόμια, στρατιωτικές βάσεις).
- Πολύ υψηλό SNR & INR:** Καταστάσεις με αυξημένο θόρυβο και αυστηρό κατώφλι σφαλμάτων.

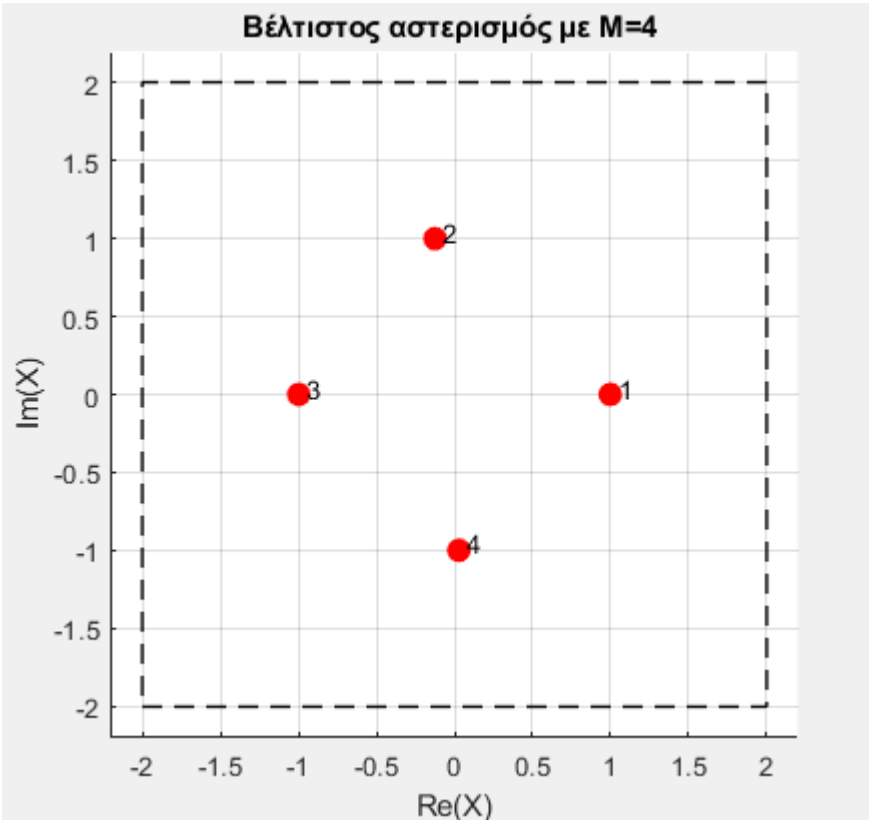
3.2 Μεθοδολογία Σχεδίασης

Η μεθοδολογία σχεδίασης αφορά τον σχεδιασμό γεωμετρίας μιας διαμόρφωσης που να ελαχιστοποιεί το SER και να ικανοποιεί περιορισμούς ως προς τη μέση ισχύ. Επειδή η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου δεν έχει αναλυτική μορφή χρησιμοποιήθηκε και εδώ η προσομοίωση Monte Carlo για ανίχνευση δειγματοληπτούμενων θορύβου και φάσης, και εξαγωγή απόφασης με τον ανιχνευτή ML. Σε κάθε καθεστώς θορύβου και ισχύς παρεμβολών, για δεδομένους περιορισμούς ως προς ισχύ και SER ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης οδηγεί σε έναν αστερισμό με την καλύτερη δυνατή γεωμετρία.

3.3 Σενάρια σχεδίασης

Σενάριο 1: SNR = 15 dB, INR = $0.25 \times \text{SNR}$, $P_e < 10^{-3}$

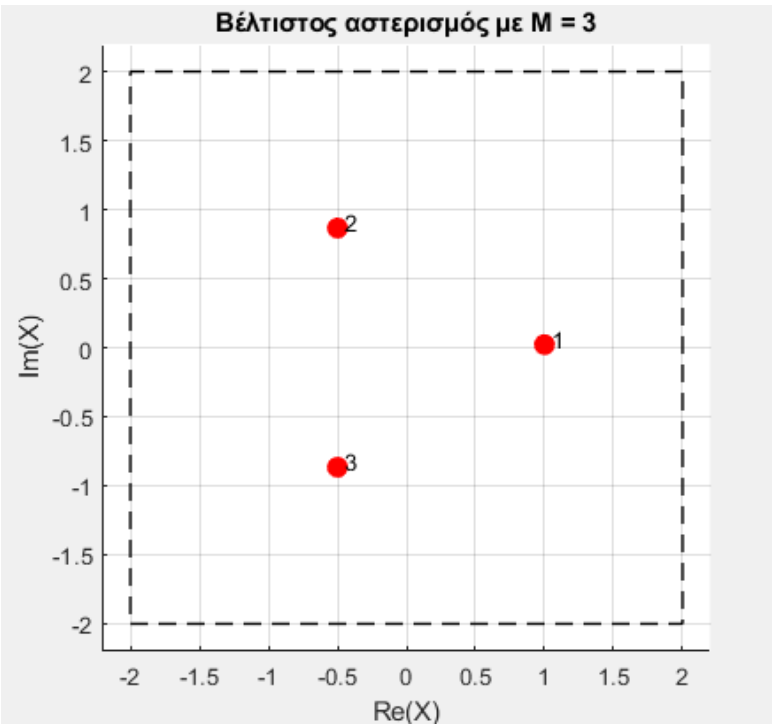
Ο βέλτιστος αστερισμός που προέκυψε ήταν $M = 4$ σύμβολα. Η τοποθέτηση των σημείων ήταν **μη-ομοιόμορφη**, με ελαφριά συγκέντρωση κοντά στο κέντρο $(0,0)$, ώστε να μειωθεί η επιρροή από παρεμβολή και μέση ενέργεια αστερισμού περίπου μοναδιαία (όριο ισχύος):



Γράφημα 13:Βέλτιστος αστερισμός με 4 σύμβολα και $P_e < 10^{-3}$

Σενάριο 2: $SNR = 15\text{ dB}$, $INR = 0.25 \times SNR$, $P_e < 10^{-6}$

Αναζητώντας μέγιστο δυνατό M , ο αλγόριθμος εντόπισε $M = 3$ σύμβολα σε τριγωνική μορφή και προέκυψε ο ίδιος αστερισμός για άνω όριο σφάλματος συμβόλου $P_e < 10^{-5}$. Η κατανομή των σημείων προσαρμόστηκε ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική σύγκλιση, με αποτέλεσμα ακριβέστερα διαχωρίσιμα σύμβολα:

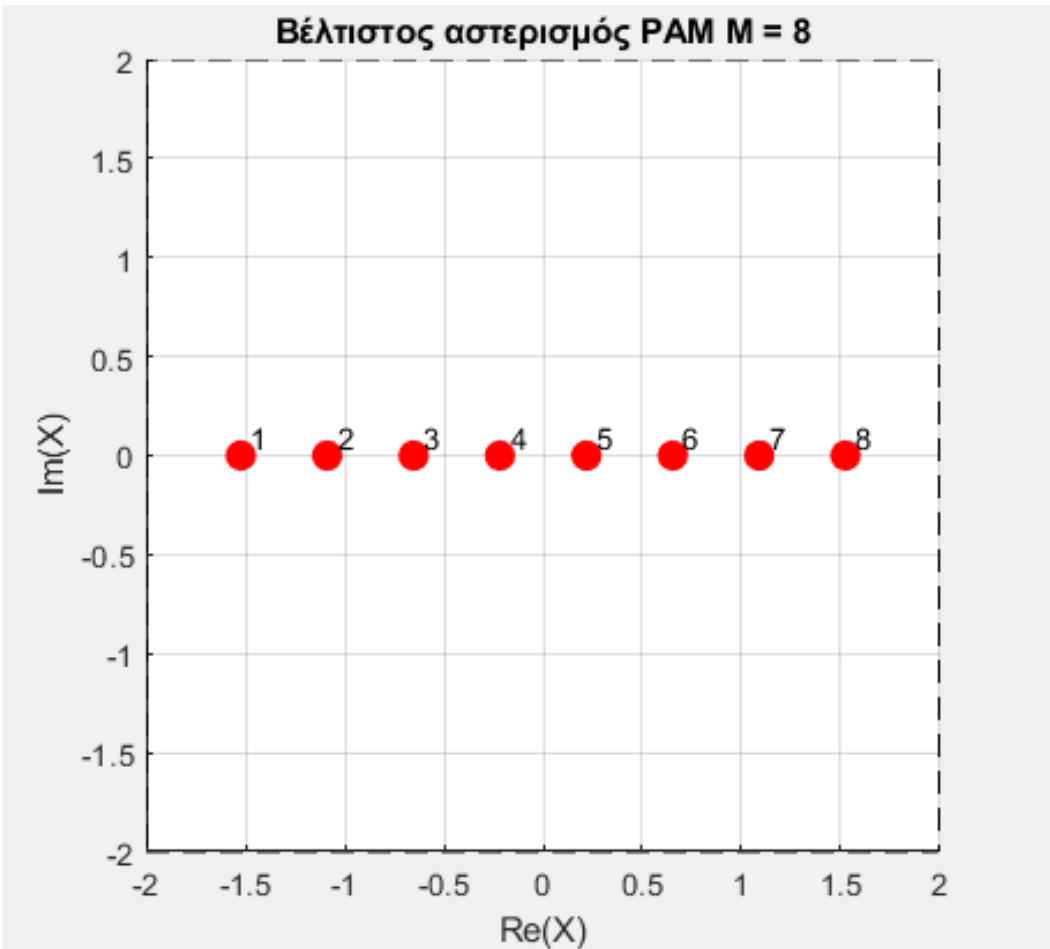


Γράφημα 14:Βέλτιστος αστερισμός με 3 σύμβολα και $P_e < 10^{-6}$

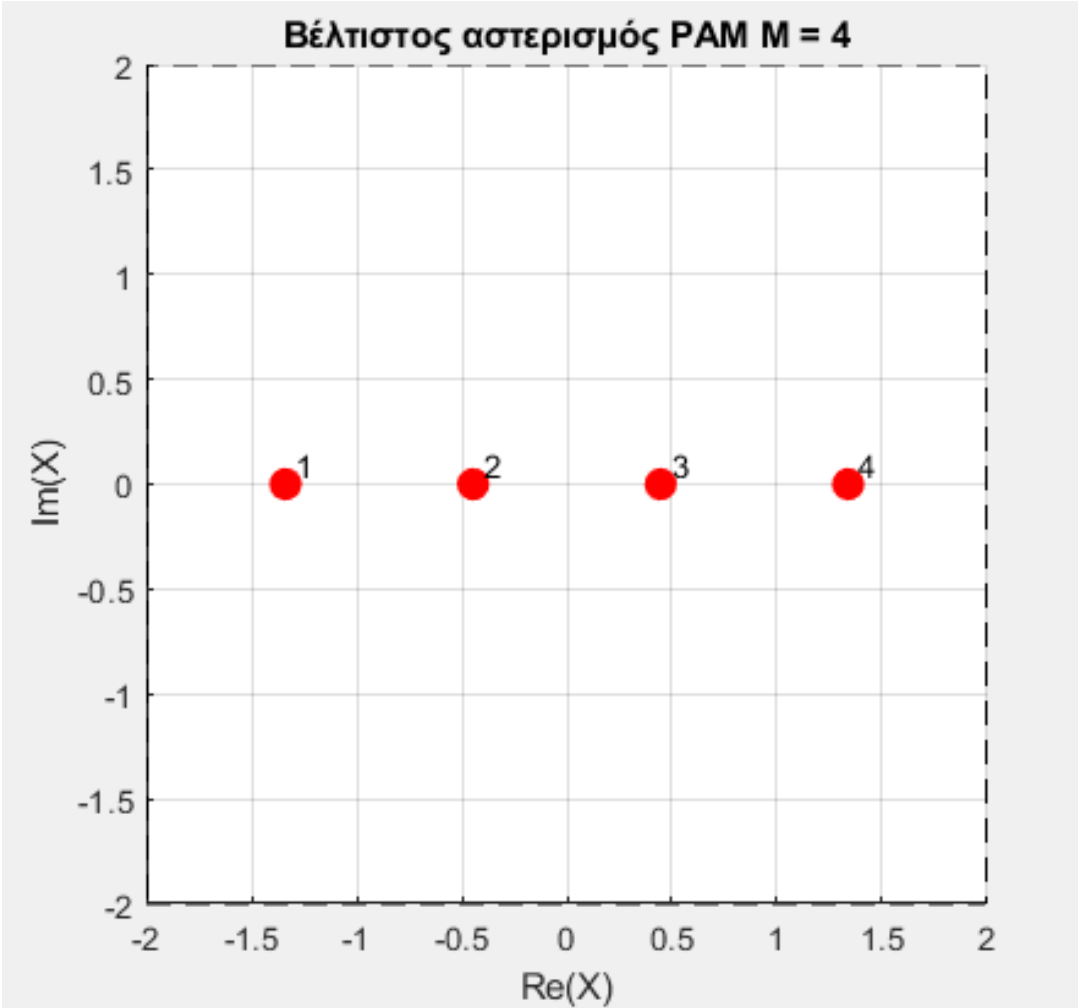
Σενάριο 3: Υψηλό INR (π.χ. $INR = 2 \times SNR$)

Σε υψηλές παρεμβολές, οι αστερισμοί τύπου **PAM** παρουσίασαν αντοχή λόγω του ότι η πληροφορία κωδικοποιείται κυρίως στο **πλάτος**, όχι στη φάση. Αυτό επιβεβαιώνει ότι σε περιβάλλοντα υψηλών παρεμβολών οι προσεγγίσεις του 'IC' παραβλέπουν τη φάση του παλμού ραντάρ και προκύπτει μονοδιάστατη διαμόρφωση στον πραγματικό άξονα. Ο βέλτιστος αστερισμός εδώ ήταν ο παραλλαγμένος **24-PAM** δεδομένου ότι αναζητήσαμε το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης bit (M), με **μη-ομοιόμορφα κατανεμημένα επίπεδα** και έντονη διακριτότητα μεταξύ των εξωτερικών σημείων, γεγονός που οδηγεί σε βελτιωμένο SER. Σε όλες τις παρακάτω προσομοιώσεις ισχύει $I_{dB} = 2S_{dB}$. Σε κάθε περίπτωση, για δεδομένο άνω όριο στην πιθανότητα σφάλματος συμβόλου, αναζητούμε το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή το μέγιστο M:

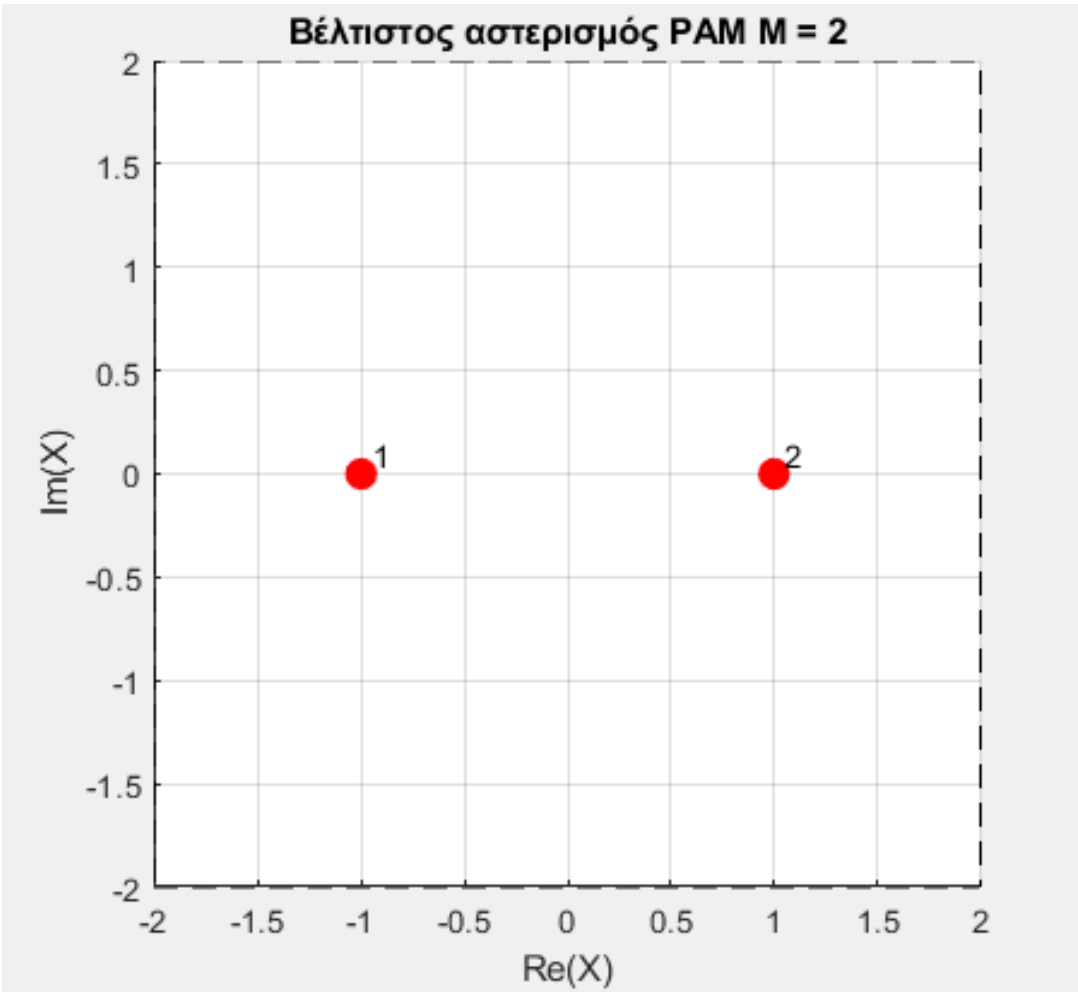
- Για τιμές $S_{dB} = 20$ και συγκεκριμένα άνω όρια στην πιθανότητα σφάλματος συμβόλου, προέκυψαν οι παρακάτω αστερισμοί από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης:



Γράφημα 15: Βέλτιστος αστερισμός για $P_e < 10^{-0.082}$

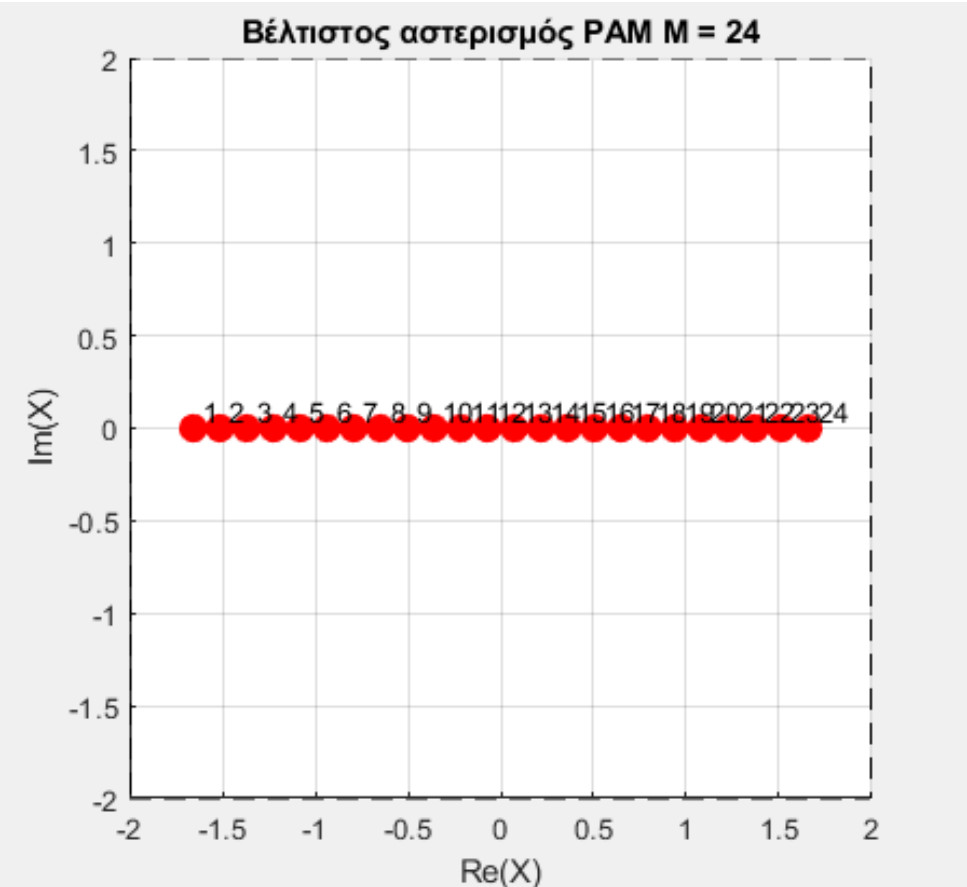


Γράφημα16:Βέλτιστος αστερισμός για $Pe < 10^{-1.15}$

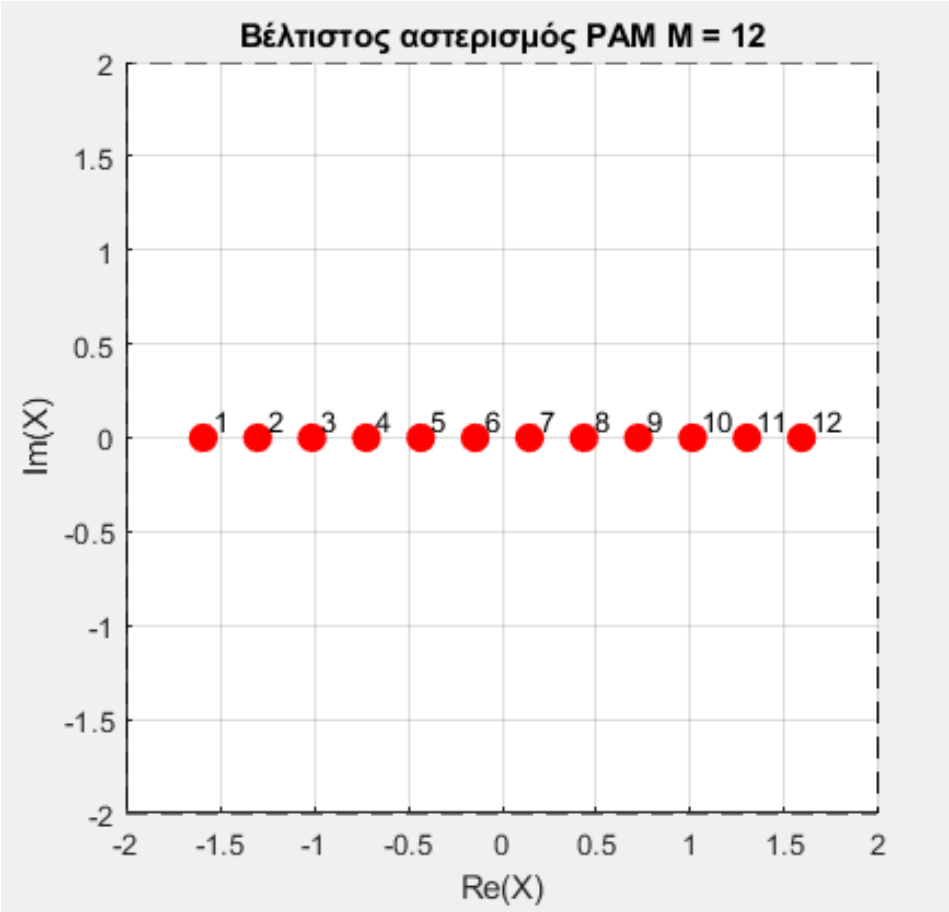


Γράφημα 17:Βέλτιστος αστερισμός για $Pe < 10^{-1.48}$

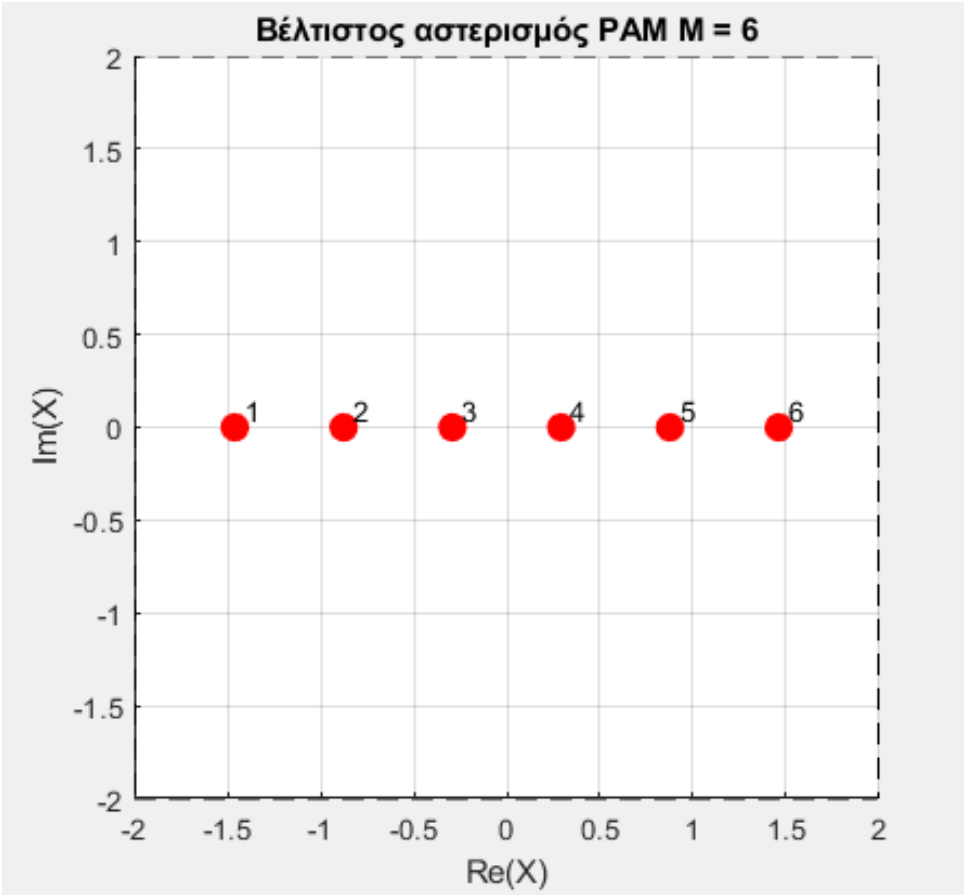
- Για τιμές $S_{dB} = 30$ και τα ίδια άνω όρια στην πιθανότητα σφάλματος συμβόλου:



Γράφημα 18:Βέλτιστος αστερισμός για $\text{Re}<10^{-0.82}$



Γράφημα 19:Βέλτιστος αστερισμός για $\text{Re}<10^{-1.15}$

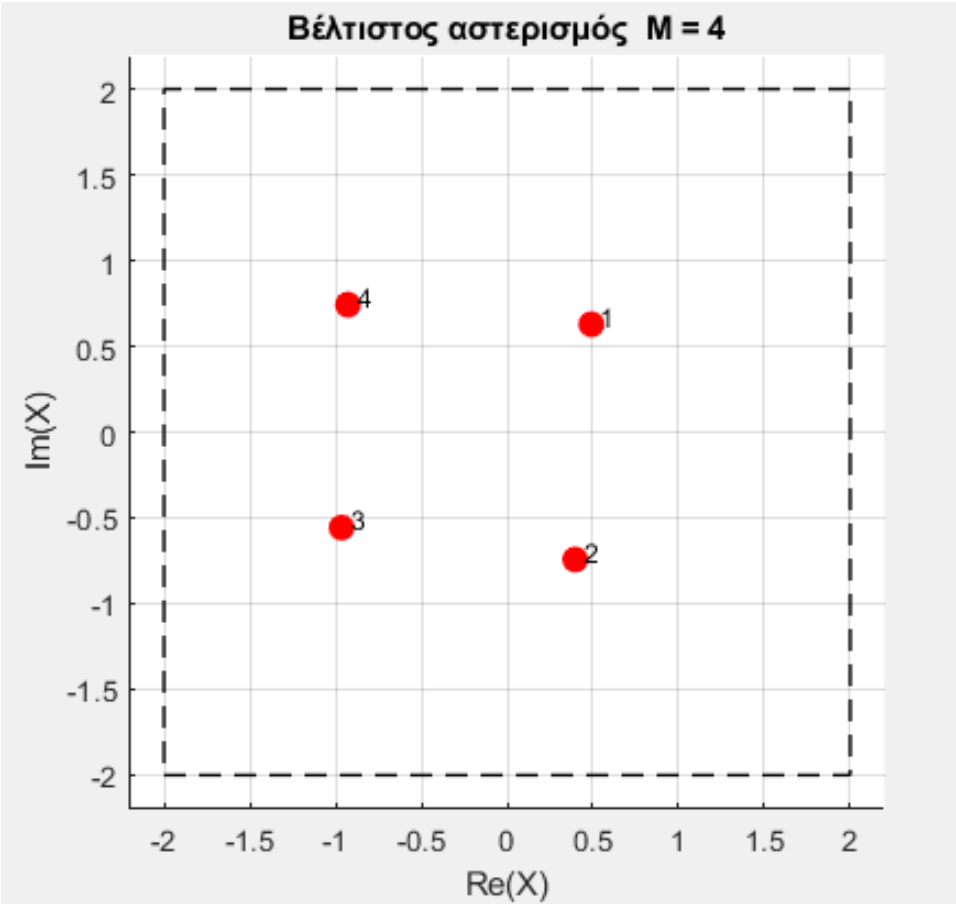


Γράφημα 20:Βέλτιστος αστερισμός για $P_e < 10^{-1.48}$

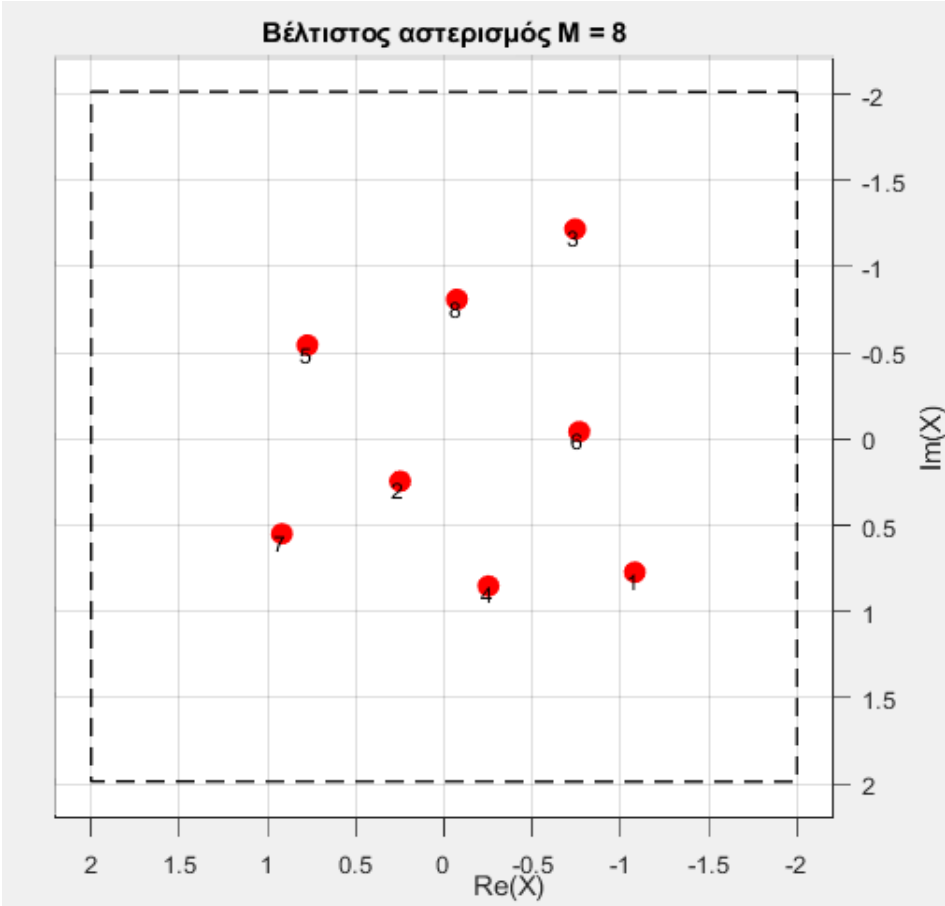
Σενάριο 4: SNR=20dB, διάφορες τιμές INR και συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (M)

Για δεδομένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή τάξη του σχεδιαζόμενου αστερισμού και ένα εύρος τιμών του INR, από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης προέκυψαν οι παρακάτω αστερισμοί (M=4, 8, 16) που επιτυγχάνουν την μικρότερη πιθανότητα σφάλματος συμβόλου. Παρατηρούμε πως πλέον οι αστερισμοί είναι δυσδιάστατοι, δεν είναι ισαπέχοντα τα σημεία τους και υπάρχει αρκετή ασυμμετρία, ώστε να μεγιστοποιούνται οι ελάχιστες αποστάσεις των συμβόλων (στις χαμηλές τιμές INR)

- Για $I_{dB}=5$ (χαμηλή τιμή INR) παρατηρούμε πως πλέον οι αστερισμοί είναι δυσδιάστατοι, δεν είναι ισαπέχοντα τα σημεία τους και υπάρχει αρκετή ασυμμετρία, ώστε να μεγιστοποιούνται οι ελάχιστες αποστάσεις των συμβόλων. Αυτό εξηγεί και την κυψελωτή μορφή των αστερισμών όσο αυξάνεται η τάξη τους.



Γράφημα 21:Βέλτιστος αστερισμός με M=4

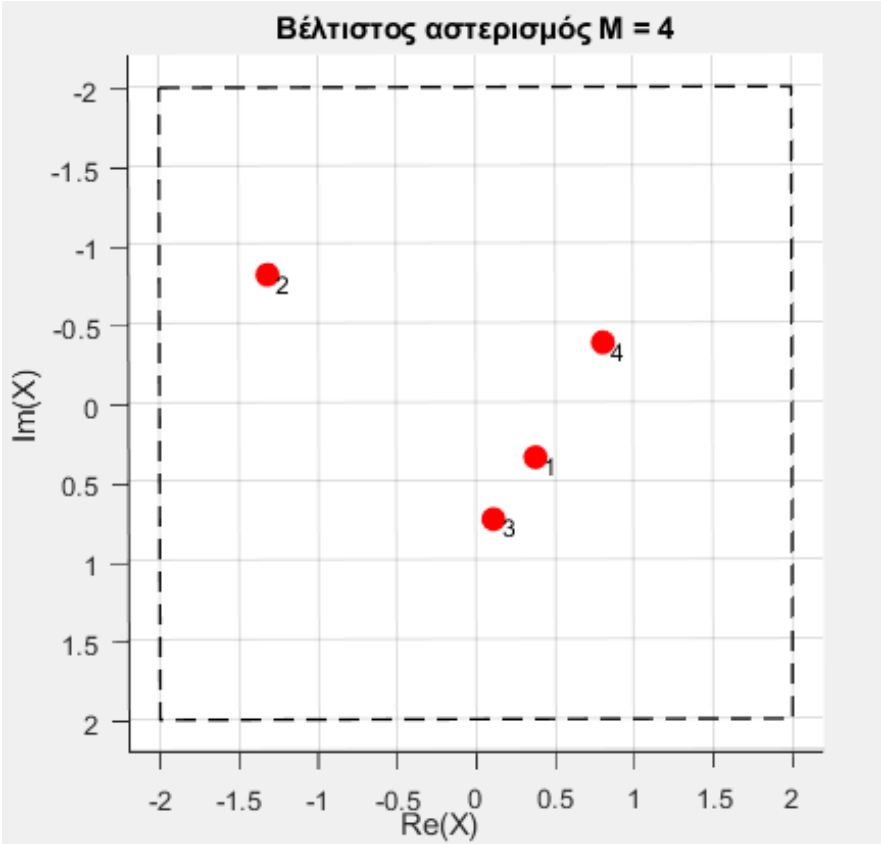


Γράφημα 22:Βέλτιστος αστερισμός με M=8

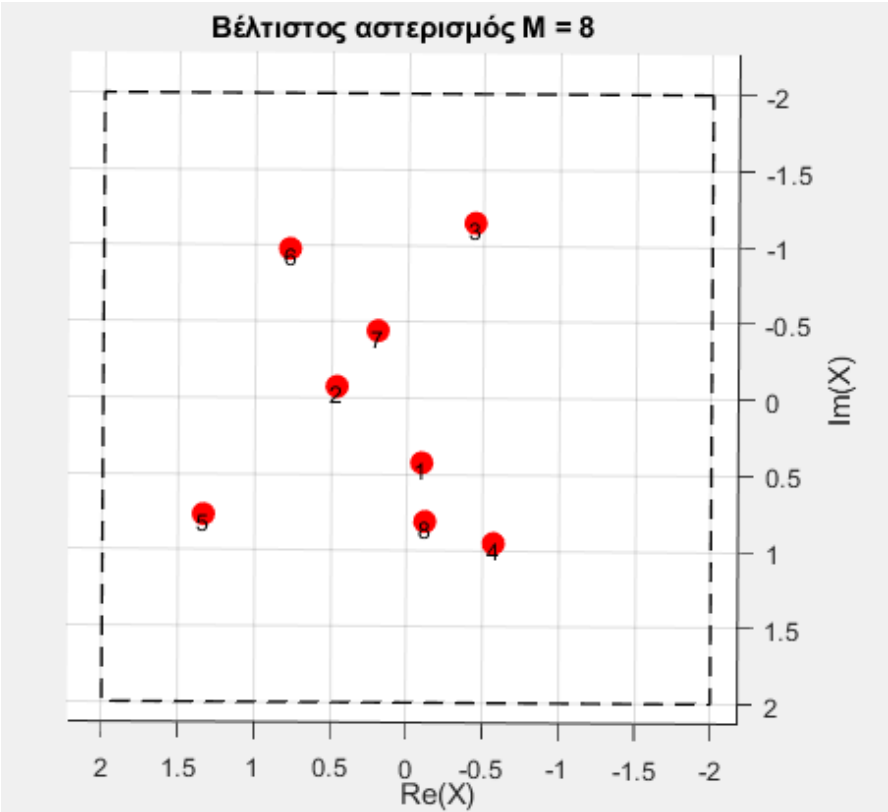


Γράφημα 23:Βέλτιστος αστερισμός με M=16

- Για $I_{dB} = 20$ (μεσαίες τιμές INR) έγινε προσέγγιση του αστερισμού της επιστημονικής εργασίας για M=4:

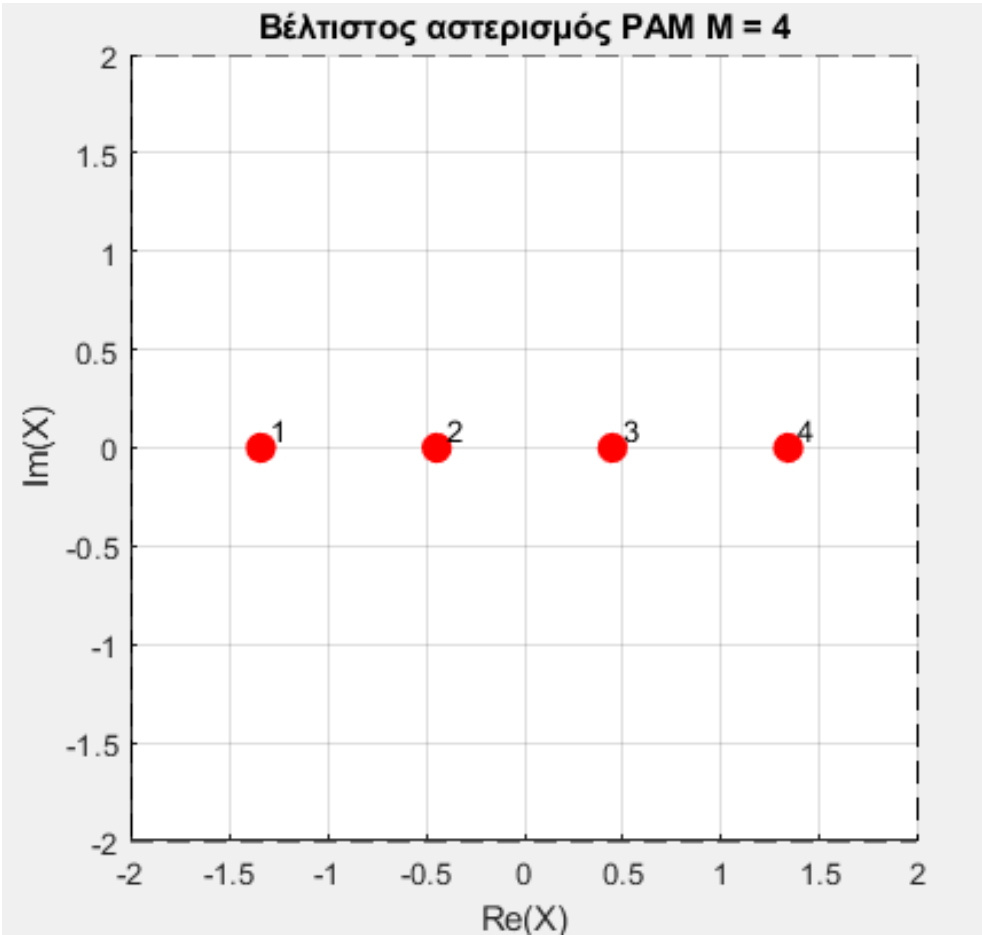


Γράφημα 24:Βέλτιστος αστερισμός (προσέγγιση) με M=4

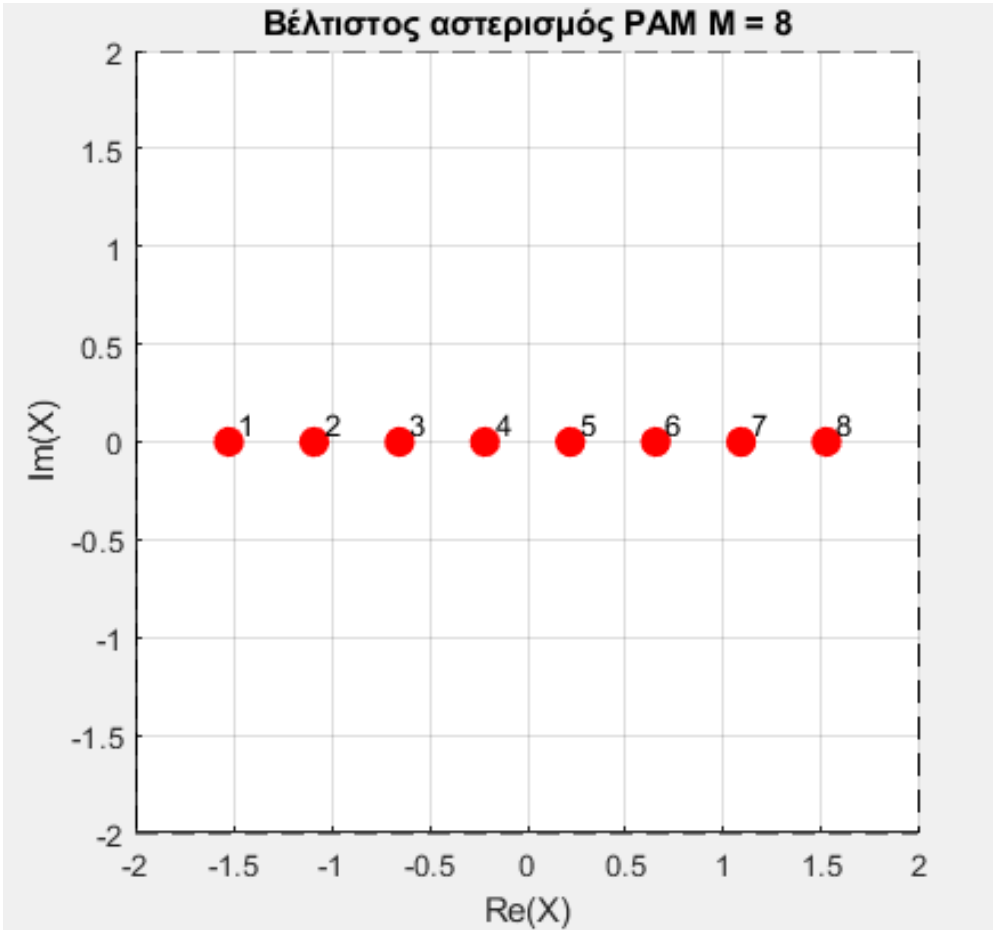


Γράφημα 25:Βέλτιστος αστερισμός (προσέγγιση) με M=8

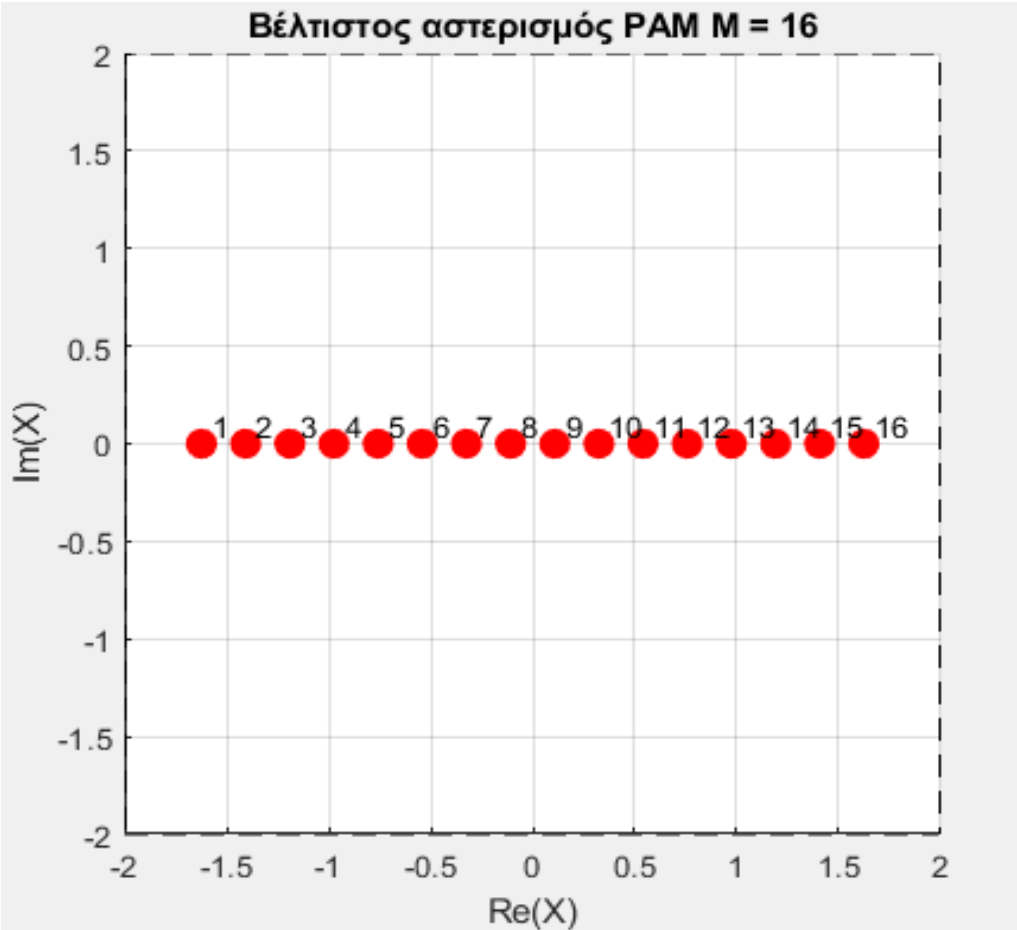
- Για υψηλές τιμές $I_{dB} = 40$ (υψηλές τιμές INR) επειδή κυριαρχεί η παρεμβολή στο λαμβανόμενο σήμα η φασική της πληροφορία αγνοείται και εκφυλίσσεται σε μονοδιάστατη-έτσι προέκυψαν ασύμμετροι M-PAM αστερισμοί με έμφαση στην ελάχιστη απόσταση των σημείων.



Γράφημα 26:Βέλτιστος αστερισμός με M=4



Γράφημα 27:Βέλτιστος αστερισμός με M=8



Γράφημα 28:Βέλτιστος αστερισμός με M=16

4.Αναστοχασμός και τελικά συμπεράσματα

Η μελέτη μας περιλαμβάνει τόσο θεωρητική ανάλυση όσο και αριθμητικές προσομοιώσεις (Monte Carlo) και συγκρίνει τρεις διαφορετικούς ανιχνευτές: ML, IC, TIN σε διαφορετικό καθεστώς παρεμβολής και της στενής σχέσης μεταξύ μορφής της διαμόρφωσης (αστερισμού) και της παρεμβολής. Συνολικά αναδείξαμε την απόδοση ενός συστήματος επικοινωνίας σε περιβάλλον συνύπαρξης με ραντάρ για τους πιο γνωστούς αστερισμούς όπως 8-PSK, 16-PSK, 16-PAM, 16-QAM αλλά και για διαφορετικές γεωμετρίες προσαρμοσμένες σε σχεδιαστικές προδιαγραφές. Τέλος οφείλουμε να υπογραμμίσουμε ότι μέσω των καμπύλων SER για κάθε διαφορετική διαμόρφωση (γραφήματα 10, 11, 12) ότι η επιλογή ανιχνευτή και διαμόρφωσης βασισμένη στο INR είναι καθοριστική για την επίτευξη χαμηλού SER και την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Οδηγίες χρήσης για την εκτέλεση του κώδικα:

Περιλαμβάνονται συνολικά 5 αρχεία .m, καθένα από αυτά αναπαράγει διαφορετικό Table της επιστημονικής εργασίας. Τα αρχεία για τα Table II, IV και τις καμπύλες SER απαιτούν την εγκατάσταση του Global Optimisation Toolbox και Parallel Computing Toolbox για επίτευξη μικρότερου χρόνου εκτέλεσης καθώς στις προσομοιώσεις μας διήρκεσαν αρκετά λεπτά (διαφορετικά δεν θα τρέξει ο κώδικας). Επιπλέον για να προκύψουν όμοιοι αστερισμοί με τους δικούς μας στην βελτιστοποίηση, ενδεχομένως να χρειαστούν περισσότερες από 2 εκτελέσεις του κώδικα για το Table IV.

TELECOM1.m->Αφορά τις περιοχές απόφασης όλων των αστερισμών PSK, QAM, PAM (Table I)

TELECOM2.m->Αφορά τις καμπύλες SER για τους 16-QAM, PSK, PAM

TELECOM3.m->Αφορά το σχεδιασμό αστερισμών για χαμηλό INR (Table II) για SNR=15dB

TELECOM4.m->Αφορά το σχεδιασμό αστερισμών για υψηλό INR (Table III)

TELECOM5.m->Αφορά το σχεδιασμό αστερισμών για $M=4, 8, 16$ (Table IV)