

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ

ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ 1/2
Ημερομηνία παράδοσης: 11/12/2023

1.1. Διδιάστατες Στοιχειοκεραίες

Διδιάστατη στοιχειοκεραία αποτελείται από 16×12 κατακόρυφα δίπολα $\lambda/2$, με τα δίπολα να διατάσσονται τα 16 σε οριζόντιο και τα 12 σε κατακόρυφο άξονα και με τα κέντρα τους σε αποστάσεις d και στους δύο άξονες. Η μέγιστη εκπομπή θέλουμε να είναι στο οριζόντιο επίπεδο και σε γωνία θ ως προς τον άξονα τον κάθετο στο επίπεδο της στοιχειοκεραίας.

(α) Γράψτε ένα κώδικα σε Matlab που να σχεδιάζει το οριζόντιο και το κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας. Απεικονίστε τα δύο διαγράμματα για τις δυνατές τιμές αποστάσεων $d = \lambda/2$ και $3\lambda/4$, καθώς και για γωνίες $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ και 90° (όλους τους παραπάνω συνδυασμούς απόστασης-γωνίας).

(β) Προσπαθήστε να γράψετε ένα κώδικα σε Matlab που να σχεδιάζει ολόκληρο το στερεό ακτινοβολίας. Απεικονίστε το για τις δυνατές τιμές αποστάσεων $d = \lambda/2$ και $3\lambda/4$, καθώς και για γωνίες $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ και 90° (όλους τους παραπάνω συνδυασμούς απόστασης-γωνίας).

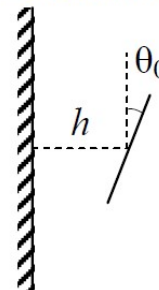
(γ) Υπολογίστε αναλυτικά στις παραπάνω περιπτώσεις (μόνο για $d = \lambda/2$) την κατευθυντικότητα της κεραίας, και με τους δύο τρόπους (όπου αυτό επιτρέπεται). Για διευκόλυνση μπορείτε να γράψετε ένα μικρό κώδικα Matlab για το σκοπό αυτό.

(δ) Υπολογίστε την κατευθυντικότητα υπολογιστικά με βάση τον ορισμό. Υπολογίστε το διπλό ολοκλήρωμα της πυκνότητας ισχύος σε μια σφαίρα με το Matlab, με την πιο απλή δυνατή υπολογιστική τεχνική (π.χ. άθροισμα Riemann σε ένα πυκνό πλέγμα, θεωρώντας τμηματικά σταθερές τιμές πεδίου σε ένα μικρό εμβαδό dS). Συγκρίνετε με τα αποτελέσματα του (γ).

(ε) Σχεδιάστε την κεραία ώστε να λειτουργεί ως ακροπυροδοτική Hansen-Woodyard (με μέγιστο προς τον οριζόντιο άξονα). Σχεδιάστε το στερεό ακτινοβολίας και υπολογίστε αναλυτικά και υπολογιστικά την κατευθυντικότητά της.

1.2. Κεκλιμένο δίπολο

Δίπολο $\lambda/2$ τοποθετείται δίπλα σε κατακόρυφο άπειρο ανακλαστήρα, με το μέσον του να απέχει απόσταση h από αυτόν. Το δίπολο είναι κεκλιμένο κατά γωνία θ_0 , όπως φαίνεται στο σχήμα.



(α) Βρείτε την έκφραση του μακρινού πεδίου σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου.

(β) Σχεδιάστε το κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας (με το Matlab) για τις περιπτώσεις (συνδυασμούς απόστασης-γωνίας) $h = \lambda/4$ και $\lambda/2$ και $\theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ και 90° .

(γ) Για απόσταση $h = \lambda/8$, ποια γωνία θ_0 δίνει ακτινοβολία μέγιστη στο οριζόντιο επίπεδο; (λύστε το παραπάνω υπολογιστικά).

1.3. Σχεδίαση στοιχειοκεραίας με υπολογισμό της αντίστασης εισόδου

(α) Γράψτε ένα μικρό κώδικα Matlab για τον υπολογισμό της αμοιβαίας σύνθετης αντίστασης δύο παράλληλων διπόλων $\lambda/2$ σε απόσταση d . Αναπαράγετε έτσι το γνωστό γράφημά της, συναρτήσει της απόστασης (για αποστάσεις από 0 έως 3λ).

(β) Στοιχειοκεραία αποτελείται από τρία κατακόρυφα παράλληλα δίπολα $\lambda/2$ (τα κέντρα τους βρίσκονται σε οριζόντιο άξονα), σε αποστάσεις $\lambda/4$, από τα οποία μόνο το μεσαίο τροφοδοτείται, ενώ τα άλλα αφήνονται παρασιτικά. Σχεδιάστε το οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας και υπολογίστε τη σύνθετη αντίσταση εισόδου (χρησιμοποιήστε τον κώδικα από το (α)).

(γ) Θεωρήστε ότι οι αποστάσεις των στοιχείων είναι γενικότερα d (όχι $\lambda/4$). Κάντε ένα γράφημα του μέτρου του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο της κεραίας (θεωρήστε σύνδεση σε γραμμή 50 Ω), συναρτήσει της απόστασης d των στοιχείων ($0 \leq d \leq \lambda$). Εντοπίστε έτσι την περιοχή τιμών της απόστασης για την οποία το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης είναι μικρότερο του 0.3.

(δ) Παράλληλα στα τρία δίπολα και σε απόσταση h από αυτά τοποθετείται άπειρος κατακόρυφος ανακλαστήρας. Υπολογίστε και πάλι την αντίσταση εισόδου της κεραίας και κάντε ένα 2D γράφημα (με την surf ή την contour) του μέτρου του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο της κεραίας (θεωρήστε σύνδεση σε γραμμή 50 Ω), συναρτήσει της απόστασης d των στοιχείων ($0 \leq d \leq \lambda$) και της απόστασης h των στοιχείων από τον ανακλαστήρα ($0 \leq h \leq \lambda$). Εντοπίστε έτσι την περιοχή τιμών των d και h για την οποία το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης είναι μικρότερο του 0.3.

1.4. Σχεδίαση ανομοιόμορφης στοιχειοκεραίας με τεχνικές βελτιστοποίησης

Δίνεται γραμμική στοιχειοκεραία N στοιχείων (έστω N άρτιος αριθμός), τοποθετημένων σε ίσες αποστάσεις d στον άξονα z . Η διαφορά φάσης των ρευμάτων δύο γειτονικών στοιχείων είναι σταθερή και ίση με δ , όμως τα πλάτη των ρευμάτων είναι εν γένει διαφορετικά, δηλαδή τα ρεύματα είναι $I_n e^{j\delta}$, όπου I_n τα πλάτη τους (θετικοί πραγματικοί αριθμοί). Θεωρούμε συμμετρική κατανομή πλατών, δηλαδή $I_{N-n+1} = I_n$ και ευρύπλευρη λειτουργία ($\delta = 0$) με $d = \lambda/2$. Η χρήση μη ομοιόμορφης ρευματικής κατανομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη καλύτερης σχέσης πλευρικών προς κύριους λοβούς ή και καλύτερης κατευθυντικότητας. Επιλέξτε $N = 10$ και $\lambda = 1\text{m}$. Θέλουμε να προσδιορίσουμε τα πλάτη I_n , $n=1, \dots, N/2$ για την επίτευξη του απαραίτητου στόχου.

Αν και είναι δυνατή η χρήση μαθηματικών μεθοδολογιών, θα προσπαθήσουμε εδώ να εφαρμόσουμε τις πιο σύγχρονες υπολογιστικές τεχνικές βελτιστοποίησης, μέσω αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Τα βήματα της μεθοδολογίας είναι τα εξής:

- Φτιάξτε μια συνάρτηση Matlab με είσοδο ένα διάνυσμα p (θα είναι το διάνυσμα των παραμέτρων της βελτιστοποίησης $[I_1 \ I_2 \ I_3 \ I_4 \ I_5]$, με 5 αγνώστους σε στοιχειοκεραία 10 στοιχείων, λόγω της συμμετρίας των ρευμάτων), η οποία θα υπολογίζει το μέτρο του παράγοντα της στοιχειοκεραίας, σε καθαρό αριθμό, σε ένα εύρος γωνιών $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ π.χ. ανά μία μοίρα και στη συνέχεια θα δημιουργεί ένα μέτρο που θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε. Για παράδειγμα, αν επιθυμούμε ελαχιστοποίηση των πλευρικών λοβών, μπορούμε να υπολογίσουμε το άθροισμα των μέτρων του παράγοντα στοιχειοκεραίας για γωνίες $0 \leq \theta \leq 70^\circ$ (η τελευταία γωνία βρίσκεται εμπειρικά, βλέποντας τη μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το πλήθος των στοιχείων).
- Χρησιμοποιώντας το έτοιμο εργαλείο βελτιστοποίησης γενετικού αλγορίθμου (ga) του Matlab (είναι μέρος του γενικότερου εργαλείου βελτιστοποίησης optimtool), προσπαθήστε να ελαχιστοποιήσετε το παραπάνω μέτρο. Δώστε στο fitness function το όνομα της συνάρτησης (που θα την έχετε αποθηκεύσει φυσικά σε αρχείο με το ίδιο όνομα), βάζοντας μπροστά το @. Δώστε στο Number of variables τον αριθμό 5. Καθορίστε στα bounds (lower) το διάνυσμα των ελάχιστων τιμών των πέντε μεταβλητών (όλες ίσες με μονάδα,

κάτι που αντιστοιχεί σε ομοιόμορφη στοιχειοκεραία). Για upper bounds δώστε άνω όρια σε όλες τις μεταβλητές ίσα με 3 ή 4. Επιλέξτε στα plots να σας εμφανίζει το Best fitness και ξεκινήστε τη βελτιστοποίηση (Start). Μετά το τέλος, θα σας εμφανίσει το διάγραμμα των βέλτιστων παραμέτρων, το οποίο μπορείτε να κάνετε Export to Workspace. Για καλύτερα αποτελέσματα μπορείτε να αυξήσετε το Population Size (π.χ. από 20 σε 200) και στα Stopping criteria να αυξήσετε το πλήθος των γενεών (π.χ. Generations από 100 σε 1000, Stall generations από 50 σε 500 και Stall time limit από 20 σε 200).

- Κάνοντας Export to Workspace το βέλτιστο σεντ παραμέτρων, απεικονίστε το διάγραμμα ακτινοβολίας για $0 \leq \theta \leq 180^\circ$. Για το σκοπό αυτό μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα αντίγραφο της συνάρτησης που φτιάξατε στο (α) η οποία θα δέχεται σαν είσοδο το διάγραμμα βέλτιστων παραμέτρων και θα ζωγραφίζει (plot) το αποτέλεσμα, είτε σε καρτεσιανή είτε σε πολική τιμή.

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία, υλοποιήστε τις εξής βελτιστοποιήσεις:

(α) Η Fitness function να υπολογίζει και να ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τιμών του μέτρου του παράγοντα της στοιχειοκεραίας για γωνίες $0 \leq \theta \leq \theta_{\max}$, $\theta_{\max} = 70^\circ$. Σχεδιάστε το διάγραμμα ακτινοβολίας και υπολογίστε το ύψος του $1^{ου}$ (και υψηλότερου) πλευρικού λοβού σε σχέση με τον κύριο (σε dB). Παίξτε με τις παραμέτρους του γενετικού αλγορίθμου για να πετύχετε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

(β) Θα διαπιστώσετε ότι μάλλον υπάρχει όριο στο τί μπορείτε να πετύχετε με αυτόν τον τρόπο. Ορίστε ένα διάγραμμα συντελεστών βάρους $w(\theta)$, με $w(0) = 1$ και $w(\theta_{\max}) = w_{\max}$ (με γραμμική μεταβολή) και υπολογίστε το ζυγισμένο άθροισμα των τιμών του μέτρου του παράγοντα της στοιχειοκεραίας για γωνίες $0 \leq \theta \leq \theta_{\max}$, $\theta_{\max} = 70^\circ$. Παίξτε με τις τιμές του w_{\max} (ακόμα και τιμές της τάξης του 20 ή 30) ή με τετραγωνική (quadratic) αντί της γραμμικής μεταβολής των βαρών. Προσπαθήστε να πετύχετε το καλύτερο (χαμηλότερο) δυνατό ύψος πλευρικών λοβών, σε σχέση με τον κύριο (σε dB) και σχεδιάστε το διάγραμμα ακτινοβολίας.

(γ) Ανεξαρτήτως πλευρικών λοβών, βελτιστοποιήστε (μεγιστοποιήστε) την κατευθυντικότητα της στοιχειοκεραίας. Στην περίπτωση ανομοιόμορφης στοιχειοκεραίας, η κατευθυντικότητα δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{kd \left(\sum_{n=0}^{N-1} I_n \right)^2}{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} I_n^* I_m e^{j(n-m)\delta} \frac{\sin(n-m)kd}{n-m}}$$

Υπόδειξη: Μπορείτε αντί του γενετικού αλγορίθμου να χρησιμοποιήσετε οποιοδήποτε άλλη μέθοδο εξελικτικής ή μεταερευτικής (metaheuristic) βελτιστοποίησης, όπως π.χ. οι αλγόριθμοι grey wolf ή jaya. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι νεώτεροι και απλούστεροι και σε πολλές περιπτώσεις πιο γρήγοροι και αποτελεσματικοί. Έτοιμους και πολύ εύχρηστους κώδικες Matlab μπορείτε να βρείτε στο Mathworks, π.χ.

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47258-grey-wolf-optimizer-toolbox>
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74004-jaya-a-simple-and-new-optimization-algorithm>

Αντίστοιχα, μπορείτε να βρείτε σχετικούς κώδικες και σε Python.