Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ ΥΠΕΡ-ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ

Πηγή Παπανικολάου

ΑΕΜ: 10062

Παναγιώτης Καρβουνάρης

ΑΕΜ: 10193

Ιούνιος 2022

Περίληψη

Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων καθώς και η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι ύψιστης σημασίας για τα μελλοντικά συστήματα επικοινωνιών 6ης γενιάς. Με γνώμονα την εμφάνιση πολλά υποσχόμενων εφαρμογών όπως η εικονική και η επαυξημένη πραγματικότητα, το βιομηχανικό διαδίκτυο των αντικειμένων (IIoT), τα ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins), κ.λ.π., οι δυνατότητες των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας πρέπει να επεκταθούν. Αυτό το γεγονός έχει στρέψει το ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια στη διερεύνηση αστερισμών υπερ-υψηλής τάξης δύο διαστάσεων, μέσω των οποίων θα επιτυγχάνονται επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Η χρήση αστερισμών υπερ-υψηλής τάξης δεν έχει εδραιωθεί ακόμα λόγω της δυσκολίας υλοποίησης κατάλληλου ανιχνευτή που μπορεί σε σύντομο χρονικό διάστημα να συγκρίνει τις ευκλείδειες αποστάσεις του λαμβανόμενου συμβόλου με όλα τα σύμβολα του αστερισμού.

Παράλληλα με την επίτευξη υλοποίησης αστερισμών υπερ-υψηλής τάξης, ερευνάται και η χρήση νέων αστερισμών οι οποίοι με βάση τη μορφή τους θα μπορούν να συμβάλλουν στην επίτευξη επικοινωνίας υψηλών ταχυτήτων με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Σε αυτό το πλαίσιο, η εξαγωνική διαμόρφωση QAM (HQAM), υποστηρίζεται ότι είναι μια διαμόρφωση ικανή να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο σε μελλοντικά επικοινωνιακά συστήματα, βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοση τους όσον αφορά τον ρυθμό δεδομένων και την ενεργειακή απόδοση. Συγκεκριμένα, τα σύμβολα ενός αστερισμού HQAM τοποθετούνται στο κέντρο ενός ισόπλευρου εξάγωνου, επιτυγχάνοντας έτσι την πυκνότερη τοποθέτηση συμβόλων στον δισδιάστατο χώρο, γεγονός που συμβάλλει άμεσα στην ενεργειακή αποδοτικότητα των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Σε αυτή την εργασία προτείνουμε έναν δυναμικό τρόπο ανίχνευσης συμβόλων χρησιμοποιώντας έναν κύκλο μεταβαλλόμενης ακτίνας. Έτσι δημιουργώντας μία βάση δεδομένων με τις κατάλληλες ακτίνες κύκλων, οι οποίες προκύπτουν από προεργασία για την εύρεση τους ανάλογα με τις παραμέτρους που μας δίνονται (SNR, dmin), μέσα στους οποίους περιέχεται το σύμβολο που αναζητούμε, καταφέρνουμε να εντοπίσουμε κατευθείαν το επιθυμητό σύμβολο στις περισσότερες περιπτώσεις. Εξαίρεση αποτελούν τα εξωτερικά σύμβολα.

Μέρος Α

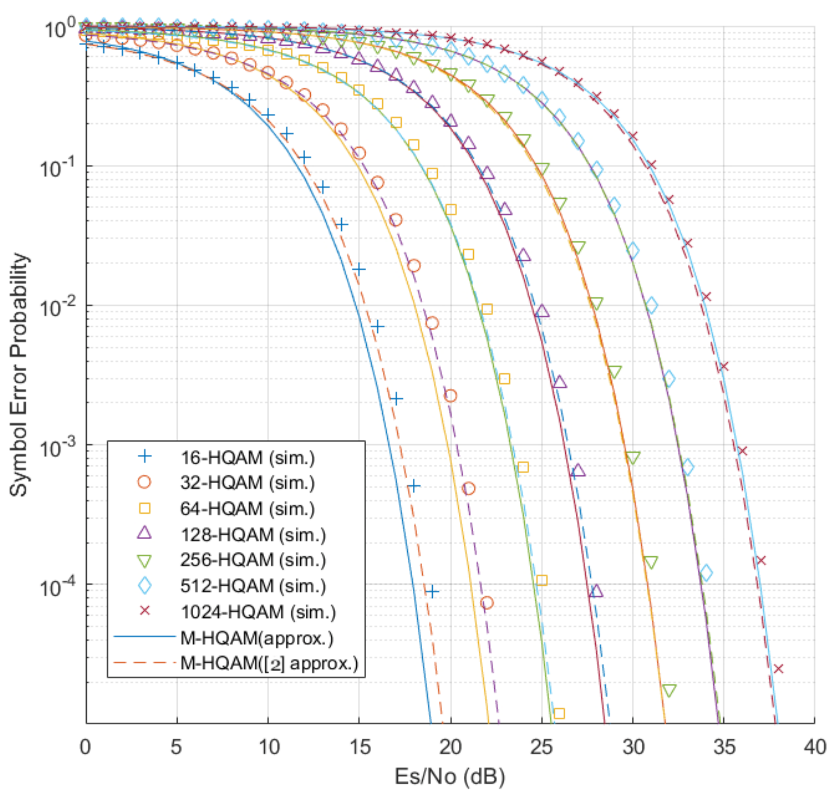
- Προσομοίωση στο Matlab των αστερισμών H-QAM του [1] ώστε να καταλήξουμε στα ίδια συμπεράσματα για την πιθανότητα λανθασμένης ανίχνευσης συμβόλου

Μία από τις σημαντικότερες ποσότητες που χαρακτηρίζουν την επίδοση ενός είδους διαμόρφωσης είναι η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου ή symbol error probability (SEP). Παρόλα αυτά, είναι πολύ δύσκολο να υπολογίσουμε το ακριβές SEP λόγω του πλέγματος του HQAM. Στο [1] παρουσιάζεται μία ακριβής και απλή κλειστή προσέγγιση για το SEP του HQAM όπως και αυστηρά άνω όρια. Επίσης, στο [1], προτείνεται ένας αλγόριθμος ανίχνευσης χαμηλής πολυπλοκότητας.

Σε αυτό το μέρος προσομοιώνουμε το SEP για αστερισμούς HQAM και παράγουμε τα αποτελέσματα του [1] για το SEP και συγκρίνουμε τον προτεινόμενο αλγόριθμο με το MLD (maximum likelihood detection).

1) Αναπαράσταση του SEP για λαμβανόμενο SNR

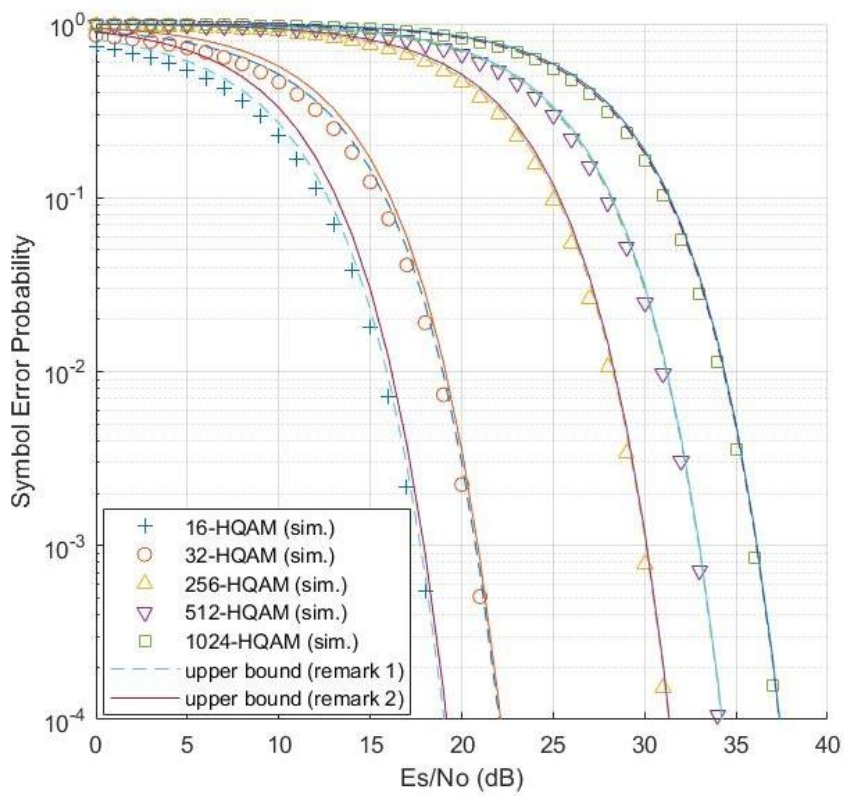
Παράγοντας αστερισμούς M-HQAM στο Matlab καταφέραμε να προσομοιώσουμε το SEP για M=[16 32 64 128 256 512 1024].



Σχήμα 1

Στο Σχήμα 1 συγκρίνουμε το SEP που προτείνεται στο [1] με το SEP που εξάγεται από προσομοίωση και το SEP του [2]. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η μέθοδος που προτείνεται έχει πολύ μικρή απόκλιση από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και άρα είναι έμπιστη. Ακόμα παρατηρούμε πως η προσέγγιση του [2] βρίσκεται πιο κοντά στις προσομοιώσεις για $M \leq 128$ ενώ του [1] για $M \geq 256$.

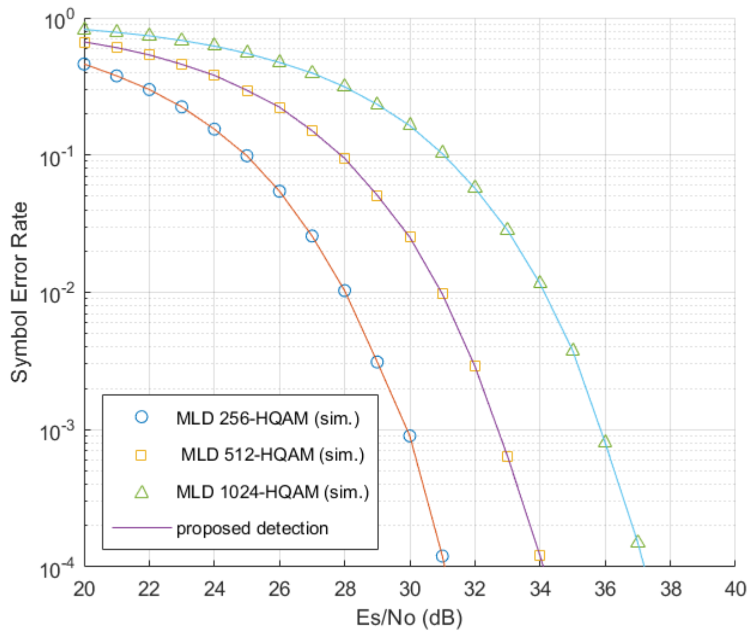
2) *Αναπαράσταση του άνω ορίου για λαμβανόμενο SNR*



Σχήμα 2

Στο Σχήμα 2 συγκρίνουμε τα άνω όρια των remark 1, remark 2 και το SEP που προκύπτει από την προσομοίωση. Παρατηρούμε ότι για μικρά M, για παράδειγμα M=16, το άνω όριο του remark 1 πλησιάζει περισσότερο την προσομοίωση σε σχέση σε το όριο του remark 2. Όμως, για μεγάλα M το άνω όριο του remark 2 προσεγγίζει αυτό του remark 1, σχεδόν ταυτίζονται και έχουμε μια πολύ καλή προσέγγιση του προσομοιωμένου SEP. Αυτό συμβαίνει διότι για αστερισμούς μικρότερης τάξης τα εξωτερικά σημεία είναι συγκρίσιμα με τα εσωτερικά, ενώ για μεγαλύτερους αστερισμούς τα εσωτερικά υπερτερούν κατά πολύ των εξωτερικών [1].

3) Αναπαράσταση του SER χρησιμοποιώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο του [1] για λαμβανόμενο SNR



Σχήμα 3

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η απόδοση του αλγορίθμου ανίχνευσης του [1] σε σύγκριση με τη μέθοδο MLD. Είναι προφανές ότι το ποσοστό σφαλμάτων που συμβαίνουν στον αλγόριθμο του [1] είναι ισοδύναμα με αυτά που συμβαίνουν στην MLD. Οπότε συμπεραίνουμε ότι ο αλγόριθμος ανίχνευσης είναι πολύ αποδοτικός και ταυτίζεται σχεδόν με την MDL.

Τελικώς, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από τις προσομοιώσεις που κάναμε συμφωνούν με αυτά του [1], όπως άλλωστε φαίνεται και από τα σχήματα 1,2,3.

Μέρος Β

- Πρόταση ανίχνευσης συμβόλων για αστερισμούς H-QAM

Καλούμαστε να προτείνουμε έναν νέο τρόπο ανίχνευσης συμβόλων για αστερισμούς HQAM ο οποίος θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για αστερισμούς υψηλότερης τάξης.

Βασική ιδέα είναι αυτή ενός δυναμικού κύκλου, δηλαδή ενός κύκλου με αυξανόμενη ακτίνα και κέντρο το σημείο r, δηλαδή το λαμβανόμενο σύμβολο. Ξεκινώντας με μία πολύ μικρή ακτίνα, σίγουρα πολύ μικρότερη του dmin, σταδιακά αυξάνουμε την ακτίνα αυτή έως ότου περικυκλώσουμε ένα σύμβολο του αστερισμού. Όταν συμβεί αυτό θεωρούμε ότι αυτό το σύμβολο είναι και αυτό που στάλθηκε οπότε το επιστρέφουμε.

Η προσθήκη που μπορούμε να κάνουμε σε αυτό το σκεπτικό είναι πως για συγκεκριμένο SNR και συγκεκριμένη dmin η ακτίνα του κύκλου αυτού μπορεί να καθοριστεί μετά από πλήθος δοκιμών ώστε χρησιμοποιώντας αυτά τα αποτελέσματα να εξάγουμε άμεσα χωρίς καμία σχεδόν σύγκριση το σύμβολο που έχουμε στείλει. Έτσι δημιουργούμε μία βάση δεδομένων για το πρόβλημα εύρεσης ακτίνας για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση με δυναμικό κύκλο μοιάζει πολύ με τον αλγόριθμο ανίχνευσης του [1] και περιγράφεται ως εξής:

Χρησιμοποιούμε τους πίνακες S_x, A_i και Q_i ακριβώς με το ίδιο σκεπτικό. Το R είναι το σύμβολο που λάβαμε και symbols είναι ο αστερισμός.

Input: coordinates of the received symbol, symbols

Output: detected symbol

nearestSymbol <- null

list <- null

arrays Q_i are initialized

x_{it} = dmin/(100 $\sqrt{3}$) and y_{it} = dmin/(100 $\sqrt{3}$)

while $x_{it} \in$ [dmin/(100 $\sqrt{3}$), dmin/ $\sqrt{3}$] and $y_{it} \in$ [dmin/(100 $\sqrt{3}$), dmin/ $\sqrt{3}$] do

etch a circle of radius $R_m = x_{it}$ and center r

bring the tangent lines of the circle R_m parallel to x axis and take the points of intersection with y axis y1, y2

bring the tangent lines of the circle R_m parallel to y axis and take the points of intersection with x axis x1, x2

x = BS(S_x, x1, x2)

```
    if x is not null then
        for x_i in x do
            s_{i,c} = BS(A(:, 2), y1, y2)
            APPEND(list, s_{i,c})
        end for
    end if
    if list is null then
        x_it += dmin/(100 √3) and  y_it += dmin/(100 √3)
    else break
end while
if list is null then
    i <- quadrant of r
    for symbol in Q_i do
        nearestSymbol = MLD(symbol, r)
    end for
end if
if length(list) > 1 then
    for symbol in list do
        nearestSymbol = MLD(symbol, r)
    end for
end if
nearestSymbol = list
return nearestSymbol
```

Στον παραπάνω αλγόριθμο λαμβάνουμε ως κύκλο μέγιστης ακτίνας αυτόν με $R_m = dmin/\sqrt{3}$ που είναι η ακτίνα του περιγεγραμμένου κύκλου του κανονικού εξάγωνου, υποθέτοντας πως αν τον χαράξουμε με κέντρο το r θα περιέχει σίγουρα το σύμβολο το οποίο είναι κέντρο του εξάγωνου που βρίσκεται το r και περιορισμένο αριθμό άλλων συμβόλων, λιγότερων από αυτά που θα περιλάμβανε ο κύκλος με ακτίνα dmin και κέντρο r.

Το ερώτημα που προκύπτει τώρα είναι πως θα επιλέξουμε την ακτίνα του κύκλου που θα κρατήσουμε τελικά για την ανίχνευση μετά από τις δοκιμές που θα κάνουμε για συγκεκριμένες συνθήκες

(SNR, dmin). Μιλώντας για εσωτερικά σύμβολα, για μεγάλα SNR πχ για SNR > 20 μπορούμε να κρατήσουμε τον κύκλο με την μεγαλύτερη ακτίνα που θα εντοπίσουμε. Για μικρότερα SNR ενδέχεται να έχουμε κύκλο μεγάλης ακτίνας και έτσι στον κύκλο να περικλείονται περισσότερα του ενός σημεία (λογικά μέχρι 2). Τότε θα πρέπει να γίνουν οι συγκρίσεις που χρειάζονται και θα εξαχθεί το σύμβολο που έχει την μικρότερη απόσταση από το r.

Για να εντοπίσουμε τα εξωτερικά σημεία χρησιμοποιούμε τον ίδιο τρόπο με του [1].

Βιβλιογραφία

[1] On the Error Analysis of Hexagonal-QAM Constellations, Thrassos Oikonomou et.al, 2022

[2] *] L. Rugini, "Symbol Error Probability of Hexagonal QAM," in IEEE Communications Letters, vol. 20, no. 8, pp. 1523-1526, Aug. 2016.*