

Κατασκευή ραδιοτηλεσκοπίου με τεχνολογία Software Defined Radio για διεπιστημονική προσέγγιση στη διδασκαλία εννοιών ραδιοαστρονομίας

Κωνσταντίνα Μπαλή^{1*}, Ανδρέας Παπαλάμπρου¹, Φώτιος
Πλέσσας²

¹ Αστρονομική Εταιρεία Πάτρας «Ωρίων», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών Πανεπιστημίου Πατρών

² Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

* nadia@nbali.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην κατασκευή ενός ραδιοτηλεσκοπίου βασισμένου σε Software Defined Radio (SDR) και στη συγγραφή εκπαιδευτικού υλικού με σκοπό τη χρήση του στη διδασκαλία του διεπιστημονικού πεδίου της Ραδιοαστρονομίας. Η Ραδιοαστρονομία, αν και κλάδος της Αστρονομίας, είναι ένα σύνθετο τεχνικά επιστημονικό πεδίο στο οποίο διασταυρώνονται κλάδοι των ηλεκτρονικών, της επεξεργασίας σημάτων, του λογισμικού και της αστρονομίας. Σχεδιάζοντας ένα ραδιοτηλεσκόπιο που θα κάνει λήψη, καταγραφή, ανάλυση και επεξεργασία ράδιο-σημάτων με τη βοήθεια των σύγχρονων τεχνολογιών SDR πετυχαίνουμε να αναλύσουμε έννοιες από όλα αυτά τα επιστημονικά πεδία. Η τεχνολογία του SDR βασίζεται σε χρήση λογισμικού που αντικαθιστά μεγάλο μέρος του hardware μέρους ενός δέκτη ραδιοτηλεσκοπίου δίνοντας την ευκαιρία στον χρήστη να πειραματιστεί με τη λήψη και επεξεργασία σήματος όπως δεν ήταν δυνατόν με τους κλασικούς δέκτες. Η κατασκευή του ραδιοτηλεσκοπίου χρηματοδοτήθηκε από το Office of Astronomy for Development (OAD) της International Astronomical Union.

Λέξεις-κλειδιά: ραδιοαστρονομία και STEM, ραδιοτηλεσκόπιο με SDR

1. Εισαγωγή

Στο παρελθόν η επιστήμη της ραδιοαστρονομίας απαιτούσε εξειδικευμένο εξοπλισμό για λήψη σήματος ενώ η μεταφορά του σήματος στον υπολογιστή ήταν μια πολύπλοκη διαδικασία. Σταδιακά ο εξοπλισμός (κάτοπτρο, δέκτης, κλπ.) έγινε λιγότερο δαπανηρός και έτσι όλο και περισσότεροι άνθρωποι ασχολήθηκαν με την επιστήμη και σε πιο ερασιτεχνικό επίπεδο. Σήμερα διατίθενται τα μέσα έτσι ώστε ένας ερασιτέχνης αστρονόμος χωρίς να ξοδέψει πολλά χρήματα να μπορεί να ασχοληθεί με τη ραδιοαστρονομία, χάρη στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών λογισμικού που αντικαθιστούν μέρος του παλιότερου hardware. Στο τέλος της εργασίας στη συζήτηση μεταξύ άλλων στοιχείων για το παρόν έργο παρουσιάζεται ενδεικτικός πίνακας κόστους εξοπλισμού.

Η μεγάλη αλλαγή επήλθε με την εισαγωγή συστημάτων SDR [1], δηλαδή με τη χρήση δεκτών των οποίων τα φυσικά χαρακτηριστικά λήψης μπορούν να μεταβάλλονται μέσω λογισμικού. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι πως έχουμε πλήρη έλεγχο στη λήψη του σήματος και κατ'επέκταση υπάρχουν πολλές δυνατότητες μελέτης, επεξεργασίας των ραδιοσημάτων. Στοχεύοντας στους φοιτητές δημιουργήθηκαν εργασίες εξοικείωσης των φοιτητών με τη ραδιοαστρονομία. Συγκεκριμένα, πέρα από τη γνώση κατά τη μελέτη συγκεκριμένης πηγής εκπομπής ραδιοκυμάτων, όπως ο Ήλιος μελετώνται και σταδιακά εμπεδώνονται μαθηματικές έννοιες για την επεξεργασία σήματος, έννοιες ηλεκτρονικών

καθώς και προγραμματισμού. Επιπλέον, η ικανότητά του συστήματος να λειτουργεί απομακρυσμένα μέσω της διαπαφής δικτύου του θα επιτρέπουν στην ενασχόληση με τη ραδιοαστρονομία να γίνει προσβάσιμη για μαθητές που αντιμετωπίζουν περιορισμούς (όπως η περίοδος της πανδημίας) ή αναπηρίες.

2. Κατασκευή ραδιοτηλεσκοπίου και στοιχεία λήψης σήματος

Στο κείμενο που ακολουθεί, περιγράφεται συνοπτικά η κατασκευή ενός ραδιοτηλεσκοπίου 1.9 μέτρου. Επίσης, παρουσιάζεται ο τρόπος σύνδεσης των επιμέρους τμημάτων και πως μεταφέρεται το σήμα στον προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα βασικά μέρη του ραδιοτηλεσκοπίου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 1. Αντηρίδες, πλέγμα και συνδετήρες για την δημιουργία του κατόπτρου του ραδιοτηλεσκοπίου

Το κάτοπτρο του ραδιοτηλεσκοπίου είναι το τμήμα του ραδιοτηλεσκοπίου που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα να λαμβάνει ασθενή σήματα. Επελέγη η κατασκευή ενός κατόπτρου 1,9 μέτρων ώστε να είναι δυνατή η λήψη όχι μόνο των πολύ ισχυρών ραδιοσημάτων του ηλιακού συστήματος αλλά ενδεχόμενα και λήψη από πιο μακρινές ραδιοπηγές. Το κάτοπτρο του ραδιοτηλεσκοπίου βασίστηκε σε έτοιμο kit [2] και η επιφάνεια του κατόπτρου αποτελείται από πλέγμα για ελαχιστοποίηση βάρους και αντίστασης στον άνεμο. Το πλέγμα είναι ωστόσο λειτουργικά συμπαγές όσον αφορά τη συμπεριφορά των ραδιοκυμάτων.



Εικόνα 2. Η συναρμολόγηση του kit του κατόπτρου απαιτεί ανοιχτό χώρο και την αφιέρωση περίπου μίας ημέρας.

Το feed τοποθετείται στην εστία του κατόπτρου και είναι συντονισμένο στο εύρος συχνοτήτων 1400 έως 1427 MHz. Σκοπός είναι να συνδέσει το κεραιοσύστημα του κατόπτρου με τη γραμμή μεταφοράς, περιορίζοντας τις απώλειες σήματος λόγω της διαφοράς εμπέδησης.

Ο ενισχυτής σήματος χαμηλού θορύβου (LNA – Low Noise Amplifier) έχει σκοπό την ενίσχυση του σήματος που λαμβάνεται τόσο επειδή η στάθμη του σήματος από τις ραδιοπηγές του σύμπαντος είναι χαμηλή αλλά και προκειμένου να αντισταθμίσει τις απώλειες από τη γραμμή μεταφοράς (καλώδιο). Ο ενισχυτής τοποθετείται το δυνατόν πιο κοντά στο κάτοπτρο, μετά το feed, καθώς έτσι ενισχύεται το δυνατόν καθαρότερο και ισχυρότερο σήμα.

Τα ποιοτικά καλώδια και οι ποιοτικοί σύνδεσμοι είναι πολύ σημαντικοί για τον περιορισμό των απωλειών σήματος. Χρησιμοποιήθηκαν ποιοτικά καλώδια υψίσυχνων εφαρμογών και μεταλλικοί σύνδεσμοι SMA.



Εικόνα 3. Feed κατόπτρου

Ο συλλέκτης ραδιοκυμάτων συνδέεται μέσω καλωδίων με τον ενισχυτή σήματος.

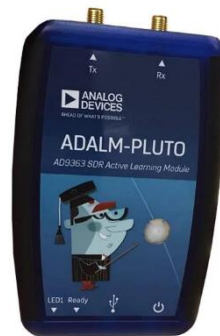


Εικόνα 4. Ενισχυτής σήματος χαμηλού θορύβου



Εικόνα 5. Το συναρμολογημένο κεραιοσύστημα με τοποθετημένο feed

Η καρδιά του συστήματος είναι ο SDR δέκτης ADALM PLUTO. Ο δέκτης βασίζεται στο ολοκληρωμένο chip πομποδέκτη Analog Devices AD9363—και το FPGA Xilinx Zynq Z-7010. Καλύπτει το εύρος λήψης 325 MHz έως 3.8 GHz, διαθέτει 12-bit αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή και διαθέτει API's για Matlab, Simulink, GNU Radio, C, C++ και Python. Διαθέτει θύρα USB με την οποία γίνεται η λήψη του σήματος σε υπολογιστή.



Εικόνα 6. Δέκτης SDR ADALM PLUTO

Η τελική σύνδεση όλων των επιμέρους τμημάτων για την τελική λειτουργία του ραδιοτηλεσκοπίου απεικονίζεται παρακάτω. Προς το παρόν, η στρέψη του ραδιοτηλεσκοπίου προς τον στόχο γίνεται χειροκίνητα.



Εικόνα 7. Ραδιοτηλεσκόπιο σε πλήρη λειτουργία για καταγραφή ραδιοκυμάτων από τον ήλιο.

Ο συντονισμός του δέκτη για τη λήψη σήματος πραγματοποιείται εντός της προστατευόμενης ζώνης των 1420 MHz για τη ραδιοαστρονομία η οποία περιλαμβάνει τη γραμμή των 21 εκατοστών του υδρογόνου.

3. Εκπαιδευτική χρήση

Στο πλαίσιο του project που χρηματοδοτήθηκε, όσον αφορά την αγορά των υλικών, από το Office of Astronomy for Development της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης εγκαθιδρύθηκε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Αναπτύσσονται δοκιμαστικές εργαστηριακές ασκήσεις οι οποίες θα αξιολογηθούν από τους φοιτητές ώστε να φτιαχτεί ένα τελικό πακέτο εργασιών που θα βασίζονται σε ένα παρόμοιο kit και θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεπιστημονική διδασκαλία της ραδιοαστρονομίας και των τεχνικών επιστημών που την υποστηρίζουν. Η δομή των ασκήσεων έχει την παρακάτω μορφή:

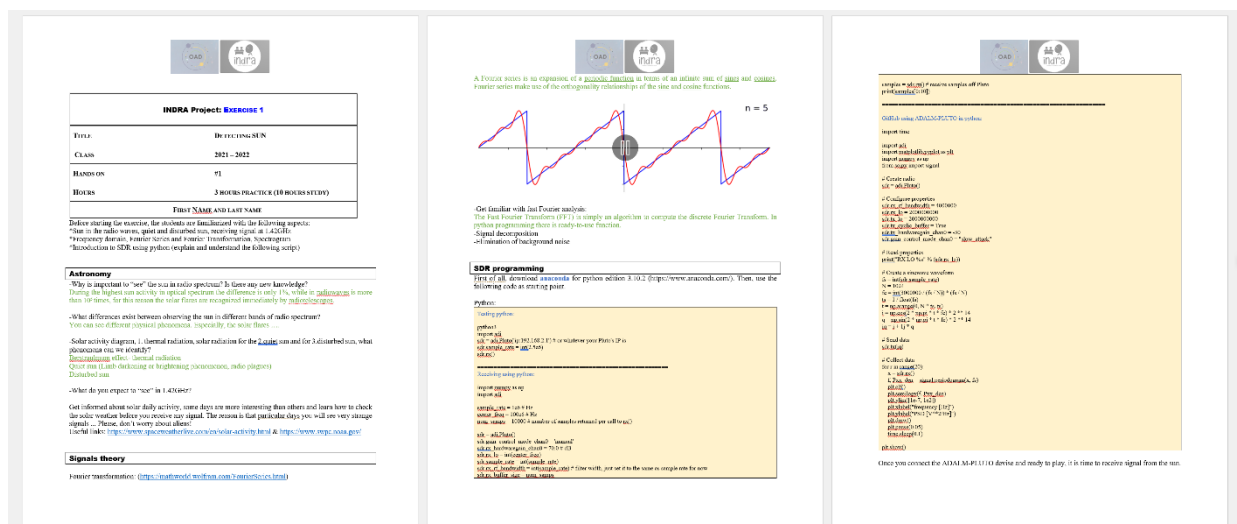
Μέρος Α ραδιοαστρονομία [3-5]

Μέρος Β τηλεπικοινωνιακά ηλεκτρονικά

Μέρος Γ μαθηματική επεξεργασία σήματος [6] και

Μέρος Δ προγραμματισμός

Το μέρος Α αποσκοπεί στην κατανόηση των αστρονομικών και φυσικών εννοιών που σχετίζονται με τα ουράνια αντικείμενα που παρατηρούνται. Το Μέρος Β αποσκοπεί στην κατανόηση των φυσικών χαρακτηριστικών του δέκτη και της διαδικασίας λήψης σήματος. Το μέρος Γ αποσκοπεί στην κατανόηση των βασικών αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία σήματος στη ραδιοαστρονομία ενώ το Μέρος Δ στην χρήση προγραμματισμού για να ολοκληρωθούν όλες οι παραπάνω διεργασίες.



Εικόνα 8. Η πρώτη εργασία προς υλοποίηση από τους φοιτητές

Συζήτηση

Το project συνέπεσε με την πανδημία COVID και η αξιολόγηση των δοκιμαστικών ασκήσεων θα πραγματοποιηθεί κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023 που έχουμε πλέον διά ζώσης διδασκαλία στα ελληνικά Πανεπιστήμια. Ως αποτέλεσμα από την δοκιμαστική διαδικασία αναμένουμε μετρήσιμα αποτελέσματα για την απόδοση των φοιτητών και τη βοήθεια που έλαβαν μέσω του υλικού που αναπτύχθηκε για τη βελτίωση και εξοικείωση με έννοιες της ραδιοαστρονομίας, ηλεκτρονικών, μαθηματικών και προγραμματισμού. Θα χρησιμοποιηθούν ερωτηματολόγια καθώς και τεστ πολλαπλών επιλογών για να αποτιμήσουμε τις δεξιότητες και τις γνώσεις που αποκτήθηκαν.

Πίνακας 1: έξοδα του πρότζεκτ

Αντικείμενο που αγοράστηκε	Ποσό
SDR (Nooelec SAWbird)	48.85€
Lernmodul PlutoSDR - Analog	180.63€
Antenna [1]	492.29€
mini pc	378.9€
Other expenses	200€
Total	~1300€

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα το Office of astronomy for development OAD - IAU για τη χρηματική υλοστήριξη ιδιαίτερος για την κατασκευή του ραδιοτηλεσκοπίου.

Αναφορές

- [1] Wyglinski, A. M., et al. (2018). Software-defined radio for engineers, Artech House.
[2] www.rfhamdesign.com/products/parabolicdishkit

[3] Γιάννη Χ. Σειραδάκη (2009), «Εισαγωγή στη ραδιοαστρονομία», Πλανητάριο Θεσσαλονίκης

[4] Lashley, J. (2010). The Radio Sky and how to Observe it, Springer.

[5] Burke, B. F., et al. (2019). An introduction to radio astronomy, Cambridge University Press.

[6] <https://www.wolfram.com/mathematica/>