

Dopplerjevo slikanje Rimske ceste s programom HDSDR

Program HDSDR je SDR (Software Defined Radio) sprejemnik, ki lahko uporablja različne analogne vmesnike in deluje v družini operacijskih sistemov Windows. Mi uporabljamo HDSDR v operacijskem sistemu WindowsXP. Kot analogni vmesnik uporabljamo USB DVB-T ključek s čipom RTL2832.

V operacijskem sistemu Windows vmesnik z RTL2832 potrebuje najprej inštalacijo namenskega USB gonilnika na nizki ravni "zadig_xp.exe". Isti gonilnik na nizki ravni uporabljajo številni različni programi.

Vse prikazane meritve smo opravili s programom HDSDR inačica "2.75 Beta2", ki ga dobimo v obliki inštalacije za okolje Windows. Za uporabo RTL2832 potrebuje HDSDR še dodatni gonilnik "ExtIO_RTL2832.dll", ki ga je treba prepisati v mapo inštalacije HDSDR.

HDSDR vsebuje FFT spektralni analizator za vhodni visokofrekvenčni signal, različne demodulatorje za različne modulacije in dodaten FFT spektralni analizator za demodulirani zvočni signal. Slednji je napeljan tudi na zvočno kartico računalnika, da ga lahko poslušamo preko slušalk ali zvočnikov.

Od vseh opisanih funkcij uporabljamo za Dopplerjevo slikanje le FFT spektralni analizator za visokofrekvenčni signal. Različni demodulatorji nam lahko kvečjemu pomagajo poiskati izvore motenj ter poiskati protiukrepe. Spektralni analizator prikaže izmerjeno jakost spektra v logaritemski (decibelski) skali na dva načina: kot graf frekvence in kot waterfall (časovni slap), kjer jakost opisuje barvna lestvica.

Za sprejem vodikove črte Rimske ceste je smiselno nastaviti osrednjo frekvenco RTL2832 natančno na frekvenco mirujočega vodikovega atoma 1420.406MHz in frekvenco vzorčenja I/Q A/D pretornika na 1.44MHz. Čip RTL2832 sicer zmore tudi višje frekvence vzorčenja vse do 3.2MHz, ampak to pri opazovanju Rimske ceste ni potrebno niti koristno, saj samo povečuje obremenitev računalnika in količino sprejetih motenj! V programu HDSDR ne smemo pozabiti izključiti različnih samodejnih regulacij ojačanja (AGC), ki so sicer privzeto vključene v običajnem radijskem sprejemniku, a uničujejo rezultat meritev z radioteleksopom!

Žal sedanja inačica programa HDSDR (še) ne omogoča umerjanja spektralnega analizatorja. Na prikazanem spektru ostane vidna valovitost analognega sita za preprečevanje prekrivanja vzorčenega spektra (anti-

aliasing filter) pred A/D pretvornikom. Ta valovitost gre do +/-0.5dB v osrednjih dveh tretjinah spektra in hitro upade preko 3dB na robovih. To je sicer odličen rezultat za analogno sito, ampak v radioteleskopu omejuje naše meritve na osrednji 1MHz preučevanega spektra.

Program HSDR omogoča različno velike FFT pretvorbe. Glede na programske omejitve faktorja povprečenja in v izogibanju motnjam se je v radioteleskopu izkazala najučinkovitejša FFT pretvorba velikosti $2^{14}=16384$, ki meri spekter visokofrekvenčnega signala z ločljivostjo $B=87.9\text{Hz}$ (resolution bandwidth). Rezultat FFT pretvorbe v 16384 točkah se najprej povpreči že za prikaz na zaslону prenosnega računalnika širine 1280 točk, kar vnaša faktor povprečenja približno 13. Dodatno povprečenje s faktorjem 2048 vključimo v samem programu enakovredno zelo ozkemu video situ.

Skupni N v Dickejevi enačbi je torej $N=13 \cdot 2048=26624$, faktor zmanjšanja šuma $\sqrt{N}=163$. Običajna "trava" spektralnega analizatorja je visoka okoli 10dB v logaritemski skali. Opisano povprečenje zniža višino "trave" šuma na okoli 0.06dB. Za primerjavo, najmočnejši signal vodikove črte Rimske ceste doseže 4dB, šibkejši kraki komaj 0.5dB.

Za razliko od nekaterih drugih programov HSDR dovoljuje poleg visokih faktorjev povprečenja tudi zelo počasen waterfall (spektralni slap) v trajanju več ur čez cel zaslon računalnika. Dopplerjevo slikanje Rimske ceste praktično izvedemo tako, da anteno počasi vrtimo v izbrani ravnini galaksije s Pythonovo skripto "mlekar.py". Začetek meritve in čas vrtenja antene skrbno izberemo tako, da pregledamo čim večji del Rimske ceste.

Glede na naklon ravnine Rimske ceste 62.8 stopinje iz naših zemljepisnih širin ne moremo videti celotne galaksije. V ravnini galaksije lahko na smiselni višini nad obzorjem vidimo le lok, ki začenja na galaktični dolžini približno 350 stopinj (-10 stopinj) in se zaključuje na galaktično dolžini približno 250 stopinj.

Opisano meritev moramo začeti ob tisti uri dneva, ko je začetna točka meritve najvišje nad južnim obzorjem (azimut 180 stopinj). Meritev moramo zaključiti natančno ob tisti uri, ko bo končna točka meritve spet najvišje nad južnim obzorjem. Končno ni vseeno, katera točka na galaktičnem ekvatorju je začetna in katera končna. Anteno moramo vrteti v takšni smeri, da bo galaktični lok med meritvijo čim višje na nebu.

Praktično to pomeni, da začnemo pri galaktični dolžini -10 stopinj, nadaljujemo po loku galaktičnega ekvatorja in meritev zaključimo pri galaktični dolžini 250 stopinj čez približno 12 ur! Hkrati predstavlja teh 12 ur ravno primeren čas za opisane faktorje povprečenja meritev. Pri izbiri loka

meritve je treba seveda upoštevati lokalne ovire, ki senčijo pogled antene v določenih smereh kot tudi lokalne radijske motilce, ki kazijo meritve.

Program HDSDR lepo opremi waterfall prikaz s časovnimi značkami. Hkrati Pythonova skripta "mlekar.py" zapisuje položaj antene v galaktičnem, nebesnem in lokalnem koordinatnem sistemu skupno s časovnimi značkami ob vsakem premiku. Iz obeh lahko jasno razberemo, katera točka slapa (waterfall) ustreza kateri točki v glaksiji.

Zaslon prenosnega računalnika je sicer premajhen, da bi lahko zabeležil celotno Dopplerjevo sliko Rimske ceste. V ta namen poženemo še program "Chronolapse", ki redno shranjuje slike namizja računalnika v brezizgubni obliki ".png". Končno Dopplerjevo sliko Rimske ceste dobimo z obrezovanjem in lepljenjem posameznih sličic v programu "IrfanView".

Običajno zlepimo skupaj pet sličic za celotno 12-urno potovanje po ravnini Rimske ceste. Časovnim značkam HDSDR seveda dodamo oznake galaktične dolžine ali širine, imena nebesnih orientirjev in mogoče še znane radijske motnje na sliki, da jih kdo ne bi slučajno zamešal za veljavne signale.

* * *