

Predlog nove tehnike sledenja izvoru signala

Peter Miklavčič¹, Tomaž Javornik², Boštjan Batagelj¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

²Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

E-pošta: peter.miklavcic@fe.uni-lj.si

A new signal source tracking technique proposal

In this paper we present a novel approach in signal source tracking techniques which is theoretically applied to lobe switching and the monopulse principle. In the beginning, the main families of current signal source tracking techniques are shortly presented, namely step- and smart-track, lobe switching (sequential lobing), conical scanning and coherent monopulse operation by using an antenna group or a multimode antenna. Receiver block diagrams are also presented, for known methods as well as for the proposed three-lobe monopulse operation. Lobe switching is explained as a discretized version of conical scanning and in the case of two-dimensional operation, based on the conical scanning nomenclature, the pyramid scanning term is proposed (triangular pyramid scanning in the case of proposed three-lobe technique).

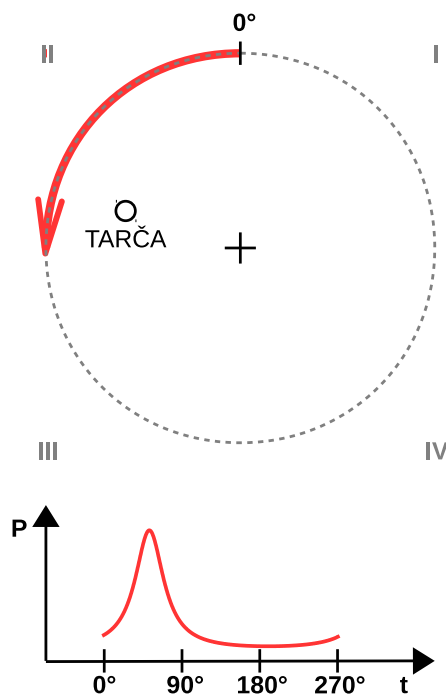
1 Uvod

Z različnimi tehnikami sledenja izvoru signala [1, 2, 3, 4, 5, 6] je iz prostorsko odvisne fizikalne veličine smernega diagrama možno izluščiti dvodimenzijsko informacijo odklona vpadnega signala od referenčne smeri (ponavadi smeri glavnega snopa uporabljene antene oziroma antenske skupine). S pridobljeno informacijo je možno popravljati smer sprejema in s tem ohranjati zmogljivost zveze in/ali slediti smeri izvora (v radarski tehniki se uporablja izraz namerjanje tarče [1]). Sledenje izvoru signala se poleg radarske tehnike in satelitskih komunikacij uporablja tudi pri sistemih navigacije in pozicioniranja, kot npr. ILS (ang. *Instrument Landing System*), za vzdrževanje povezav med premikajočimi se vozlišči terenskih radijskih omrežij, za vzdrževanje (ali celo kot dodatno fizično zaščito) komunikacijskega kanala z letalniki, ipd.

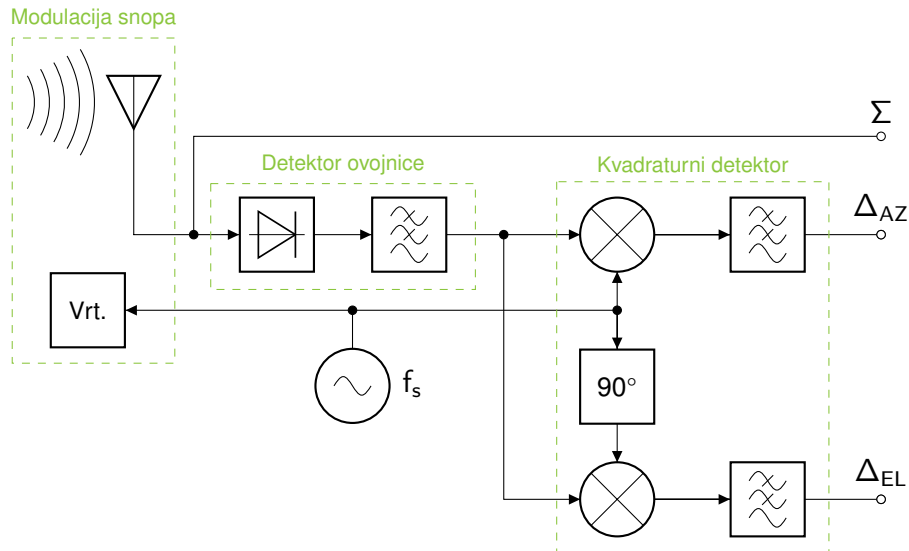
2 Tehnike sledenja izvoru

Najpreprostejše tehnike sledenja izvoru so izvedene s fizičnim premikanjem celotne antene in tipanjem moči [1, 6, 7]. Pri antenah, namenjenih izključno sledenju, se spleča tipati izrazitejši minimum, kot pri lovu na lisico. Tak princip se uporablja npr. v radarski tehniki ali pri napravah za odkrivanje (ponavadi neželenih) oddajnih naprav. Če pa je sistem namenjen prenosu informacij, se med delovanjem išče maksimum za optimalen sprejem.

Pri satelitski televiziji se npr. uporabljata komercialna standarda DiSEqC in USALS, ki omogočata komunikacijo med sprejemnikom in aktivno anteno za ugotavljanje grobe lokacije na podlagi sprejemanih satelitov (za predvidevanje smeri zelenega satelita) ter končno namerjanje s tipanjem moči sprejetega signala (ang. *step-track*), tudi v kombinaciji s predvidevanjem (ang. *smart-track*). Ta družina tehnik je danes večinoma izvedena v programskem delu. Sam princip sledenja ne zahteva posebnih anten (kvečjemu motorizirane podstavke), s čimer je omogočeno grobo, a poceni namerjanje velikega števila anten (npr. satelitska televizija, internet). Za hitrejše popravke in/ali natančnejše sledenje pa obstajajo tehnike sledenja, ki zahtevajo svojevrstne izvedbe anten in sprejemnih verig. Glavne so predstavljene v naslednjih poglavjih, medtem ko bolj eksotičnih, kot je npr. hibrid med stožčastim skeniranjem in monopulzno tehniko *conoscan* [8], članek ne zajema.



Slika 1: Pri stožčastem skeniranju antena z vrtečim se snopom skanira prostor okoli tarče, iz maksimuma sprejete moči signala pa sistem določi njeno smer.



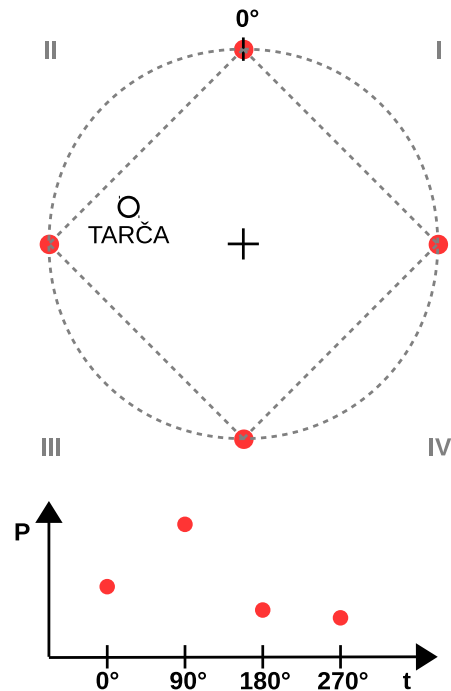
Slika 2: Blokovni načrt sprejemnika pri tehniki stožčastega skaniranja. Kadar je tarča namerjena (v osi stožca), je amplituda konstantna in signala razlike sta nič. f_s je frekvenca skaniranja oziroma vrtenja snopa.

2.1 Stožčasto skaniranje

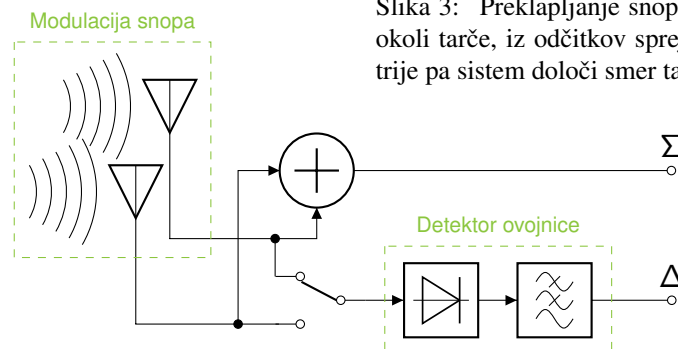
Stožčasto skaniranje (ang. *conical scanning*) vrta od referenčne smeri odklonjen snop (kot je prikazano na sliki 1), ki v prostoru okoli tarče opisuje stožec [1, 4, 8]. Kadar je tarča v osi stožca (namerjena), je odčitana moč v celotni periodi konstantna, sicer pa doseže maksimum, ki določa smer tarče. Vrtenje snopa je lahko izvedeno električno ali mehansko. Blokovni načrt sprejemnika je na sliki 2.

2.2 Preklapljanje snopov

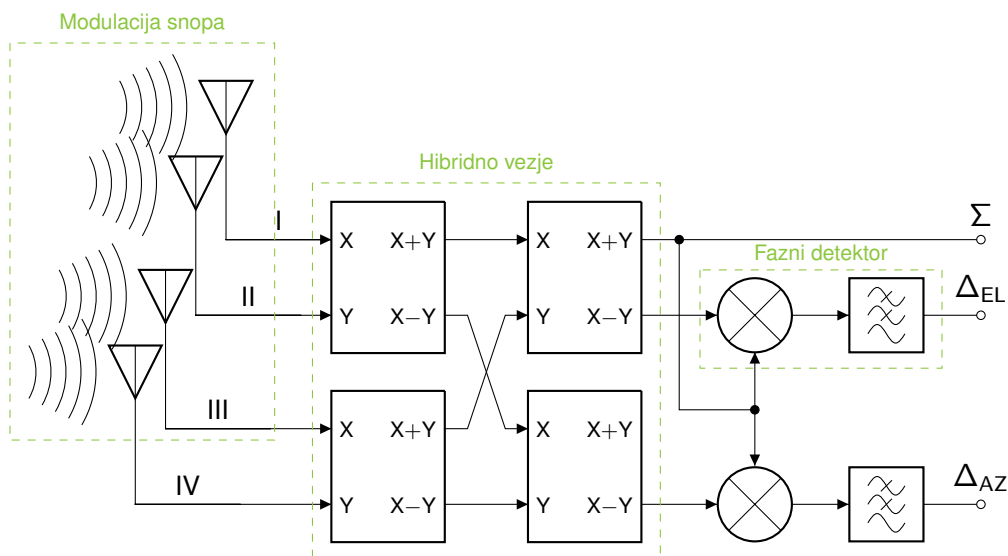
Preklapljanje snopov (ang. *lobe switching*, tudi *sequential lobing*) je tehnika, ki primerja odčitke sprejete moči z od referenčne smeri odklonjenih snopov [1, 3, 4, 8]. Za dvodimenzijsko sledenje se uporabljajo štiri (kot je prikazano na sliki 3), z uporabo štirih anten, sevalnikov ali stanj antenske skupine [1, 4]. Ko je tarča namerjena, so vsi odčitki enaki in razlik ni. Dvodimenzijsko preklapljanje snopov je diskretizirana različica zveznega stožčastega skaniranja in se lahko analogno imenuje *piramidno skaniranje*. Blokovni načrt sprejemnika za namerjanje v eni dimenziji je na sliki 4.



Slika 3: Preklapljanje snopov diskretno skanira prostor okoli tarče, iz odčitkov sprejete moči signala in geometrije pa sistem določi smer tarče in potreben popravek.



Slika 4: Blokovni načrt sprejemnika pri preklapljanju snopov v eni dimenziji. Kadar je tarča namerjena (v ravnini točno med antenama), sta odčitka moči enaka. Za dvodimenzijsko delovanje sta potrebna dva taka sprejemnika (tehnika s štirimi snopi) ali trije sevalniki z enim sprejemnikom (predlagana tehnika s tremi snopi).



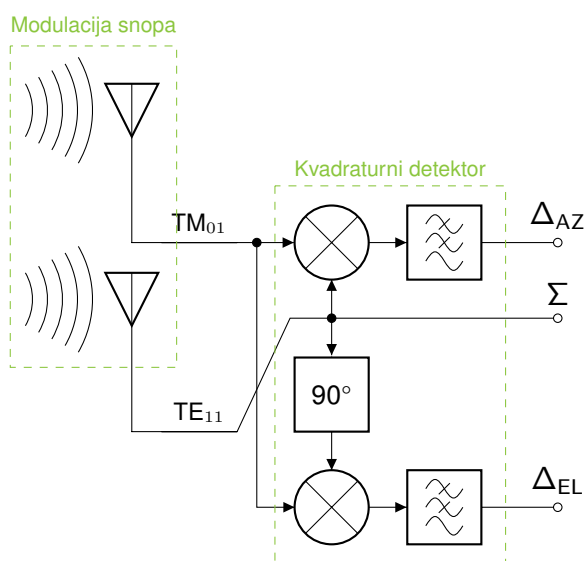
Slika 5: Blokovni načrt sprejemnika pri monopulzni tehniki s skupino štirih anten.

2.3 Monopulzni princip

Vsem do sedaj opisanim tehnikam je skupno to, da za detekcijo oziroma potrebno obdelavo signalov potrebujejo določen čas, kar je omejitev pri najhitrejših tarčah in pri dosegljivi ločljivosti (npr. radarskega) sistema. Tudi hitra električna izvedba stožčastega skaniranja ali preklapljanja snopov še ni končna omejitev tehnik sledenja, pač pa obstaja še realnočasovni monopulzni princip, ki s koherentnim sprejemom in fazno interferometrijo med dvema ali več sevalniki oziroma antenami v trenutku določi smer izvora, vsa potrebna obdelava pa je analogno seštevanje in odštevanje, s čimer se oblikujejo ustrezne oblike snopov za signale vsote in razlike [1, 2, 3, 9, 8]. Izraz monopulzni princip prihaja iz področja radarske tehnike, saj omogoča detekcijo tarče v trenutku oziroma iz enega samega odboja radarskega impulza, s čimer se povečajo

zmogljivosti radarskih sistemov [8].

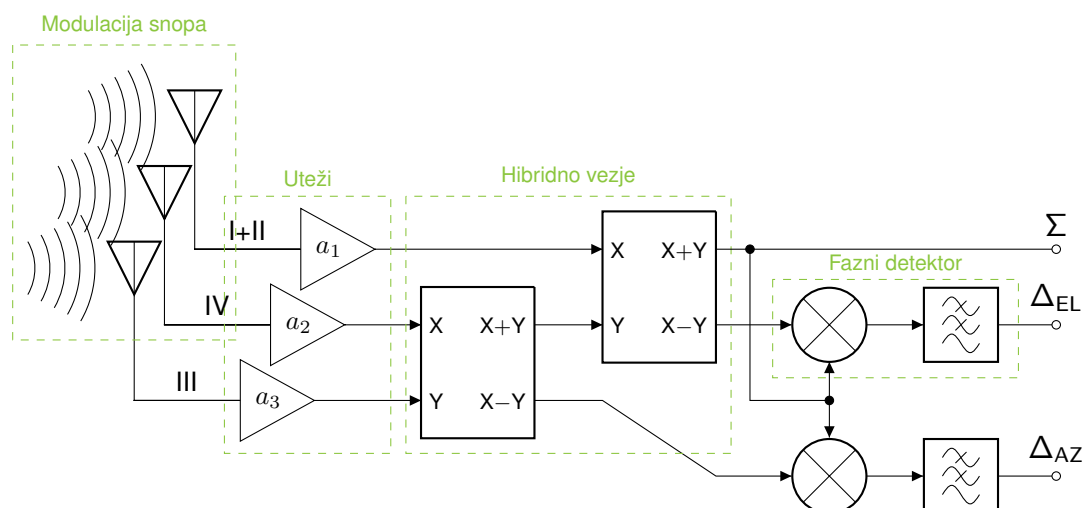
Za doseganje raznolikosti smernih diagramov v istem časovnem trenutku imajo monopulzne antene več ločenih sevalnikov oziroma so sestavljene kot skupine (ponavadi) štirih anten [1, 3, 9]. Potrebna obdelava je prikazana na blokovnem načrtu na sliki 5. Skupaj s hibridnim vezjem za obdelavo signalov so take monopulzne antene nepraktične za poceni oziroma masovno izdelavo. Izvedene so lahko tudi kot večrodovna antena (ang. *multi-mode antenna*), pri kateri so neodvisno vzbujani rodovi s primernimi smernimi diagrami za monopulzno delovanje [1, 2, 8]. Take antene so že kompaktnije, v primeru krožno polariziranih signalov pa je možna še dodatna poenostavitev, saj je informacija o smeri tarče že prostorsko-časovno modulirana v sprejetem kvadraturnem signalu razlike s signalom vsote kot referenco [10, 5]. Take antene so lahko kompaktne, cenejše in primernejše za masovno izdelavo [5], kar je razvidno tudi iz enostavnejšega blokovnega načrta na sliki 6.



Slika 6: Blokovni načrt sprejemnika pri monopulzni tehniki z dvorodovno anteno s krožno polarizacijo.

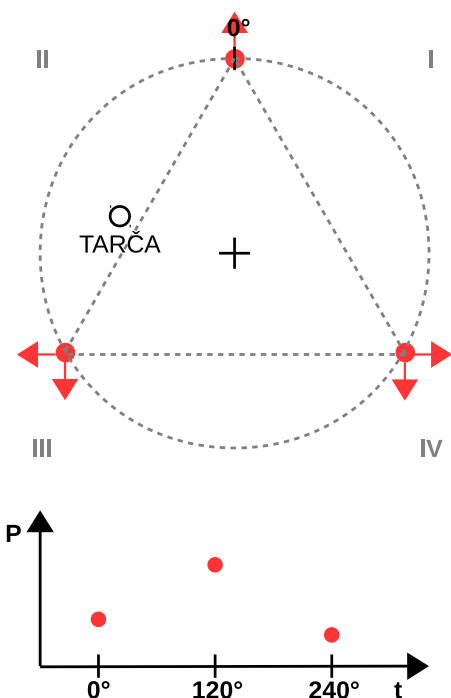
3 Predlog nove metode

Tako pri obstoječih izvedbah metode preklapljanja snopov, kakor pri monopulzni tehniki z antensko skupino so za dvodimenzijsko sledenje v obstoječi literaturi uporabljene štiri antene (snopi) ali več. Ker gre matematično gledano za iskanje točke v ravnini, so za dvodimenzijsko lociranje potrebne meritve samo v treh nekolinearnih točkah (triangulacija). To pomeni možnost poenostavitve tehnik preklapljanja snopov (sliki 8 in 4) in tudi monopulzne (slika 7) z uporabo le treh anten, sevalnikov, stanj antenske skupine oziroma v splošnem treh snopov. Ker je na koncu za motoriziran popravek ponavadi potrebna informacija v kartezičnem sistemu, je potrebno upoštevati transformacijo točk oziroma uteži pri seštevanju vektorjev tako da so simetrični oziroma v vsoti enaki nič. Na sliki 8 je skica namerjanja s tremi točkami in označeno kartezično informacijo posameznih točk. Z večanjem števila točk narašča ločljivost, a hitrost skaniranja upada.



Slika 7: Blokovni načrt sprejemnika pri predlagani monopulzni tehniki s skupino treh anten. Operacije seštevanja in odštevanja morajo biti ustrezno utežene za transformacijo v kartezični sistem.

Klasične tehnike s štirimi snopi ostajajo zanimiv kompromis med ločljivostjo in hitrostjo, saj v primeru glede na tri kljub daljši meritvi odpade transformacija v kartezični sistem (enostavnejša obdelava).



Slika 8: Predlagana tehnika sledenja s triangulacijo točke v ravnini. Na sliki je označeno, informacije katere kartezične smeri nosi posamezna točka trikotnika.

4 Zaključek

Na podlagi obstoječih metod sledenja izvoru signala in preproste matematike ter geometrije v koherentni in nekoherentni različici predstavljena nova, ki za sledenje uporablja samo tri snope namesto obstoječih metod s štirimi, kar omogoča kompaktnejšo izdelavo na račun dodatne

obdelave za potrebno transformacijo. V naslednjem koraku predlagamo prototipiranje in praktičen preizkus predlaganih sistemov - preklapljanja treh snopov oziroma monopulznega s tremi snopi.

Zahvala

Raziskovalni program št. P2-0246 je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna. Zahvala gre tudi Univerzitetni ustanovi ing. Lenarčič Milana za raziskovalno štipendijo.

Literatura

- [1] R. B. Dybdal: Antenna Tracking, *Antenna Engineering Handbook*, str. 42-12, 2007
- [2] J. S. Cook in R. Lowell: The Autotrack System, *The Bell System Technical Journal*, št. 4, str. 1283-1307, 1963
- [3] G. J. Hawkins, David J. Edwards in J. McGeehan: Tracking Systems for Satellite Communications, *IEE Proceedings F - Radar and Signal Processing*, št. 5, str. 393-407, 1988
- [4] J. H. Cook Jr in W. K. Dishman: An Improved Scanning Automatic Tracking Antenna for Telemetry Applications, *International Telemetry Conference Proceedings*, 1989
- [5] P. Miklavčič: Optimizacija preprostega monopulznega antenskega sevalnika za primarno gorišče globokega zrcala, 2017, <http://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=94823>
- [6] P. Miklavčič: Tehnike sledenja izvoru signala, *Zbornik 23. seminarja radijske komunikacije, 31. januar-2. februar 2018*
- [7] W. Gawronski in E. M. Craparo: Antenna Scanning Techniques for Estimation of Spacecraft Position, *Aerospace Conference Proceedings 2*, str. 2-2, 2002
- [8] S. M. Sherman in D. K. Barton: Monopulse Principles and Techniques, 2. izd., Norwood: Artech House, 2011
- [9] E. Kornaros, S. Kabiri in F. De Flaviis: A Novel Model for Direction Finding and Phase Center With Practical Considerations, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 65, št. 10, str. 5475-5491, 2017
- [10] M. Vidmar: Sestavljanje krožne polarizacije, 1994, <http://lea.hamradio.si/~s53mv/archive/a167.pdf>