

Izboljšanje dobitka BoR-monopolnih anten z algoritmom Diferencialne Evolucije

Marko Radović, Peter Kitak, Gorazd Lešnjak, Peter Planinšič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, Maribor, Slovenija

E-pošta: marko.radovic@student.um.si

The Gain Enhancement of BoR-Monopole Antennas using Differential Evolution Algorithm

Abstract. *Two electrically thick body BoR monopole antennas are proposed with enhanced antennas gain performances. Both antennas are designed above infinite ground plane, fed with coaxial cable and to operate in frequency range from 0.3 GHz to 1.2 GHz. Voltage standing wave ratio and realized gain characteristics are observed and studied. The enhancement was obtained using optimization with Differential Evolution (DE) algorithm. Proposed antennas have better gain performances in comparison to reference conical cylindrical antenna. Results obtained for second antenna show improved impedance bandwidth performances in the upper part of frequency band in comparison to reference antenna.*

1 Uvod

Zanimanje za razvoj in izboljšanje rotacijsko simetričnih kompaktnih anten traja že več kot četrto stoletje [1], [2]. Današnje širokopasovne in ultra - široko-pasovne antene UWB (*Ultra-Wide Band*), z visokimi in vedno višjimi nosilnimi frekvencami, pogosto uporabljajo kompaktne in majhne antene na tiskanem vezju ali celo antene, integrirane v visokofrekvenčnem čipu. Vendar so kompaktne antene, z majhnimi dimenzijami in fizično robustne rotacijsko simetrične antene, še vedno zelo atraktivne, zaradi njihovih neusmerjenih sevalnih karakteristik, dobrega dobitka in drugih lastnosti. Primerne so za zahtevna okolja, kot so moderne brezžične komunikacije pri avtomobilih in vojaških komunikacijah. Primer takšnih robustnih in simetričnih anten so antene oblikovane z vrtenjem profila- BoR-antene (*Body of Revolution*).

Analizo in sintezo električno debelih BoR-anten so podali Djordjević, Dragović in Popović v prispevku [2]. Predstavili so metodo analize in snovanja teh anten s pomočjo računalnika. Svojo metodo so potrdili z eksperimentalnimi rezultati. Med primeri njihovih anten je BoR- antena, imenovana cilindrično-konična monopolna antena, ki smo jo v našem delu vzeli kot referenčno in poimenovali Referenčna antena.

Drugi pristop k oblikovanju BoR-monopolnih anten je bila metoda za oblikovanje in izboljšanje lastnosti UWB-anten s profilom "naključne hoje" (*random walk profile*), ki jo je predstavil Zhao v prispevku [3]. Nizko-

profilno UWB monopolna antena z obliko obrnjenega klobuka – IHA (*Inverted Hat*), pa je Zhao predstavil v [4]. Oblikovana je bila za delo v frekvenčnem področju od 50 MHz do 2 GHz, ki bi bila primerna za majhna brezpilotna zračna plovila. V prispevku [5] je isti avtor uporabil genetske algoritme – GA (*Genetic Algorithms*) za optimizacijo nizkoprofilne UWB-IH- monopolne antene. Miniature kompaktne osno-simetrične resonančne lečne antene za Ka-frekvenčni pas so opisane v literaturi [6]. Celovit pregled širokopasovnih in UWB anten za brezžične aplikacije je podan v literaturi [7]. Metode analize in aplikacije nizkoprofilnih naravnih in metamaterialnih anten je podan v [8].

Moderne stohastične, bio-zasnovane optimizacijske metode, omogočajo učinkovito optimizacijo kompleksnih nelinearnih problemov in so bile pogosto uporabljene za optimizacijo različnih vrst anten. Pregled uporabe evolucijskih algoritmov (EA) za antene in razširjanje valovanj je bil narejen v [9].

Eden od popularnih bio-zasnovanih algoritmov iz družine Evolucijskih Algoritmov (EA) je algoritem Diferencialne Evolucije (DE). V naši študiji oblikovanja BoR-monopolnih anten smo uporabili klasični algoritem DE, [10], kombiniran z uporabo modeliranja in analiziranja anten s programskim orodjem za reševanje 3D-problemov elektromagnetike, imenovan WIPL-D Pro [11]. WIPL-D Pro omogoča hitro in natančno analizo prevodnih in/ali dielektričnih/prevodnih struktur. Klasični DE je znan kot zelo enostaven in učinkovit. Prav tako so BoR-antene relativno enostavne za analizo in oblikovanje. Kljub temu je bila motivacija naše študije raziskati, ali je mogoče doseči nadaljnja izboljšanja oblikovanja BoR-anten z uporabo (klasične) DE.

Predlagali smo dva nova tipa električno debelih BoR-monopolnih anten, BoR-model₁ and BoR-model₂. Oblikovali smo ju s primerjavo njihovih električnih karakteristik (dobitek) s karakteristiko Referenčnega modela (antene). Geometrijo trojno eliptične IH-antene, ki jo je predstavil Zhao v [3], smo uporabili za oblikovanje geometrije antene BoR-model₁. Drugo anteno BoR-model₂ smo zasnovali na osnovi geometrije optimirane UWB BoR monopolne antene #2, ki jo je prav tako predstavil Zhao, in sicer v prispevku [4]. Vse antene smo modelirali v orodju WIPL-D Pro v11, s predpostavko, da so narejene iz električno idealnega prevodnika in impendančno prilagojene na koaksialni kabel 50 Ω.

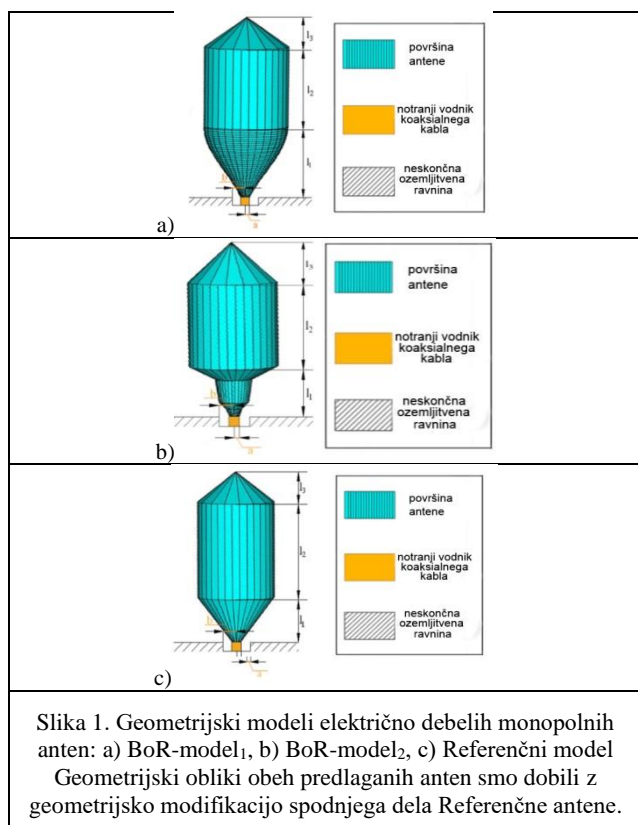
Analizo smo izvajali v frekvenčnem območju od 0,3 GHz do 1,2 GHz. Simulacije dobitka obeh novih predlaganih monopolnih anten kažejo izboljšanje dobitka v frekvenčnem pasu od 0,45 GHz do 1,1 GHz, Rezultati za napetostno razmerje stojnega vala – VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) izkazujejo izboljšanje. Tudi za impendanco pasovno ujemanje pri anteni BoR-model2 vidimo izboljšanje v zgornjem delu frekvenčnega pasu in sicer od 0,9 GHz do 1,15 GHz.

2 Metodologija in rezultati

2.1 Geometrijske oblike modelov anten

Slika 1 prikazuje, da vse tri antene (BoR-model₁, BoR-model₂, in Referenčni model) sestavljajo trije geometrični deli dolžin l_1 , l_2 in l_3 . Polmer srednjega cilindričnega dela pri vseh antenah označimo z R . Referenčna antena (model) je sestavljena iz dveh področij in cilindra.

Modifikacijo geometrijske oblike obeh predlaganih anten v primerjavi z Referenčno anteno smo naredili le v spodnjem delu, ki je povezan na koaksialno linijo. Vse tri antene smo modelirali kot nameščene pravokotno nad neskončno ozemljitveno ravnino in napajane preko koaksialnega kabla s karakteristično impendanco 50Ω . Geometrijski modeli vseh treh anten zmodelirani s programskim orodjem WIPL-D Pro so bili izdealni iz idealnega prevodnega materiala. Polmer a na sliki 1 je notranji polmer koaksialnega kabla in sicer znaša 3.1 mm, zunanji polmer b pa znaša 7.59 mm, za vse tri antene.



2.2 Kratek opis algoritma DE

Algoritem Diferencialne Evolucije sta prva predlagala Storn in Price v članku [10], ki je pozneje postal zelo opazno, popularno in močno optimizacijsko orodje v inženirstvu iz družini evolucijskih algoritmov [12]. Do danes je bilo predlagano mnogo izboljšav klasičnega algoritma DE [13].

Osnovni princip algoritma DE je sledeč. Je stohastični, na populaciji zasnovan algoritem za globalno optimizacijo nelinearnih, ne-odvodljivih, šumnih in ravnih funkcij z več parametri (spremenljivkami), z omejitvami in mnogimi lokalnimi minimumi. Prične z uniformnim naključnim naborom kandidacijskih rešitev iz izvedljivega iskalnega volumna. V vsaki iteraciji, to je generaciji algoritma, izvaja enake računske korake kot standardni Evolucijski Algoritem (EA). Vendar se DE znatno razlikuje od GA v tem, da mutira osnovni vektor, to je sekundarne starše s skaliranimi razlikami pomembnih članov trenutne generacije. To lastnost imenujemo samo-referencirana mutacija. Medtem ko EA in nekateri Genetični Algoritmi (GA) zahtevajo adaptacijo vsake spremenljivke pri iteracijah, kanonični DE zahteva le adaptacijo enojnega skalirnega faktorja za vse spremenljivke. V nasprotju od mnogih EA tehnik, je osnovni DE zelo enostaven algoritem, katerega implementacija zahteva le nekaj vrstic kode v katerem koli standardnem programskem jeziku, kot je na primer Matlab, ki smo ga uporabili v našem primeru (slika 2). Dodatno, osnovni DE zahteva le tri kontrolne parametre, skalirni faktor, prečno hitrost in velikost populacije (slika 3). Toda presenetljivo, DE se zelo dobro obnaša pri optimiranju objektivne funkcije z več spremenljivkami v smislu končne natančnosti, računske hitrosti in robustnosti.

Kot smo omenili, smo pri konstrukciji prvega geometrijskega dela dveh novih anten, izhajali iz idej, ki jih je predstavil Zhao za konstrukcijo profila IH-antene in BoR-monopolne antene. Profili prvega dela predlaganih in referenčne antene so prikazani na sliki 4.

Za oblikovanje profila prvega geometrijske oblike prvega dela antene BoR-model₁, smo uporabili profil, ki je podoben profilu trojne-eliptične IH-antene, ki ga lahko matematično opišemo kot:

$$y = \frac{R}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi n t}{l_1} \right) \quad (1)$$

Kjer spremenljivka t pripada intervalu $[0, R]$, faktor n pa izberemo tako, da dobimo $y = a$ pri $t = R$. Izraz za n je:

$$n = \frac{l_1}{\pi R} \left(\arccos \frac{2a}{R} - 1 \right) \quad (2)$$

2.3 Oblikovanje in optimizacija anten z algoritmom DE

Proces optimizacije oblike obeh novih anten smo izvajali z iskanjem štirih optimalnih geometrijskih

parametrov oziroma dimenzij R , l_1 , l_2 in l_3 , da bi dosegli izboljšano obnašanje novih anten. Dobljeni rezultati dimenzij za obe novi anteni in referenčno anteno so podani v tabeli 1.

Dobitek antene je definiran kot razmerje med referenčno gostoto moči P isotropičnega vira in gostote moči P_{di} v določeni smeri opazovanja. Običajno se podaja v dBi [14]:

$$G_{dBi} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{di}}{P} \right) \quad (3)$$

V reševanju našega optimizacijskega problema z algoritmom DE smo spreminjali štiri geometrijske parametre antene l_1 , l_2 , l_3 , in R , da bi maksimirali dobiček antene G_{dBi} v opazovanem frekvenčnem področju v primerjavi z referenčno anteno (modelom). V algoritmu DE smo minimizirali kriterijsko funkcijo, ki je bila obratno sorazmerna vsoti absolutne vrednosti razlik ojačenja obravnavane novo oblikovane in Referenčne antene, v 31 točkah.

Za vsako dobljeno novo anteno smo opazovali tudi napetostno razmerje stojnega vala VSWR, ki je merilo odbite moči, ki potuje nazaj k oddajniku po priključenem kablu zaradi neprimerne prilagoditve karakteristične impedance kabla na vhodno impedanco antene. VSWR zapišemo kot [14]:

$$VSWR = \left(\frac{V_{max}}{V_{min}} \right) \quad (4)$$

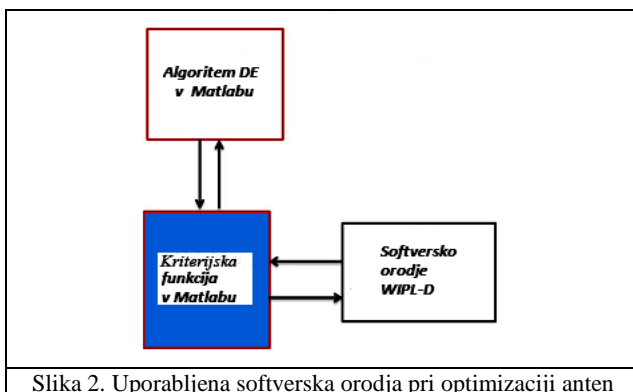
kjer sta V_{max} in V_{min} maksimalna in minimalna amplituda napetosti stojnega valovanja na napajalnem kablu. Dobra prilagoditev (ujemanje) je pri vrednosti približno 1.2. V primeru popolne prilagoditve je ta vrednost 1. Povezavo VSWR z impedancami lahko zapišemo z izrazom [15]:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (5)$$

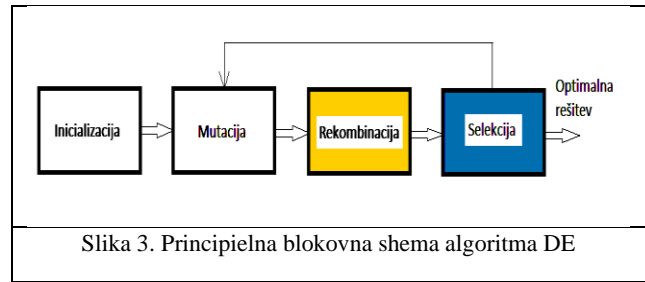
kjer je Γ napetostni refleksijski koeficient na vhodnem priključku antene. Definiran je kot:

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (6)$$

kjer je Z_{in} vhodna impedanca antene in Z_0 karakteristična impedanca napajalnega kabla (prenosne linije). V primeru popolnega ujemanja je Z_{in} enaka Z_0 (v našem primeru 50Ω). Potem je vrednost Γ enaka 0 in VSWR enaka 1. VSWR je povezana s kompleksnim frekvenčno odvisnim S-parametrom S_{11} , ki je enak refleksijskemu koeficientu Γ in je običajno narisano v Smithovem diagramu [15].



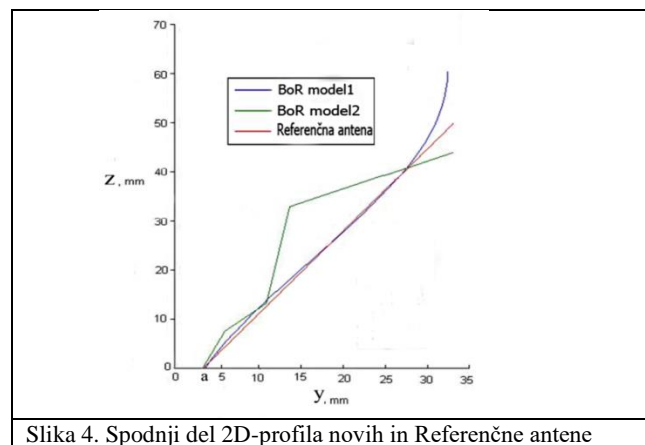
Slika 2. Uporabljena softverska orodja pri optimizaciji anten



Slika 3. Principielna blokovna shema algoritma DE

Tabela 1. Optimirani parametri anten z DE

Parameter	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	R (mm)
BoR-model ₁	60,62	72,61	23,55	32,41
BoR-model ₂	44,12	80,67	34,24	33,00
Referenčni model	50,00	87,00	3,00	33,00



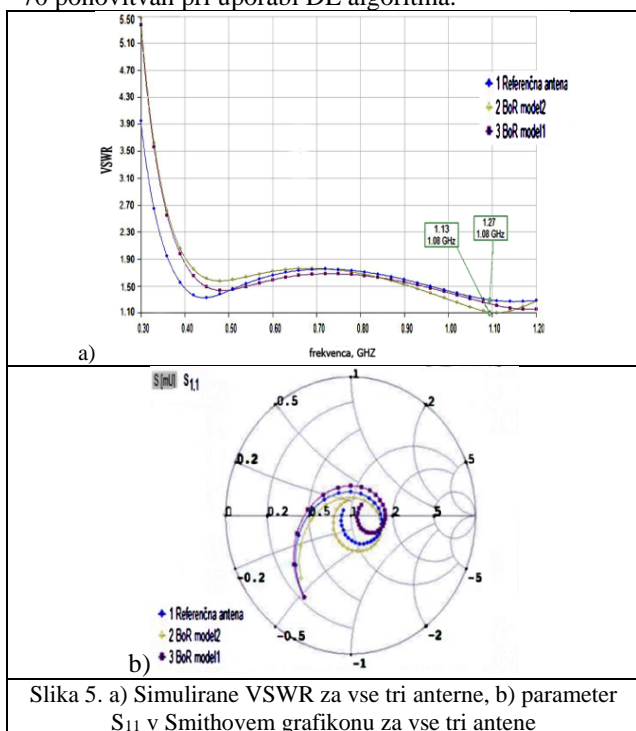
Slika 4. Spodnji del 2D-profila novih in Referenčne antene

2-D profil prvega geometričnega dela antene BoR-model₂ je sestavljen iz štirih segmentov, podobno kot optimirana antena #2, ki jo je predlagal Zhao. V optimizacijskem procesu UWB IH-monopolne antene predlagatelja Zhao, so linijski segmenti 2D-profila odvisni od njihove dolžine in kota. V našem primeru optimizacije 2D-profila antene BoR-model₂ se je ta izvajale le vzdolž z-osi, prikazano na sliki 4.

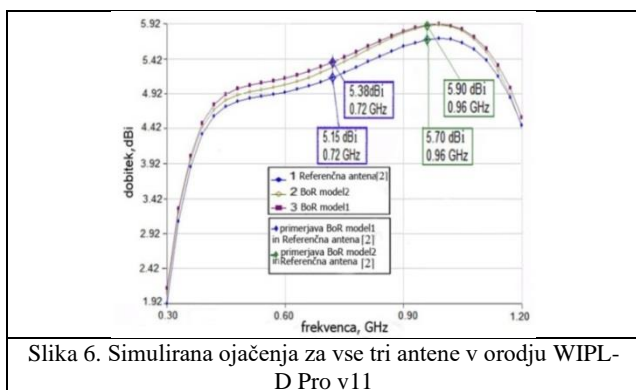
Dve predlagani novi anteni in Referenčno anteno smo simulirali v orodju 3D EM Solver WIPL-D Pro v11. Rezultati VSWR v frekvenčnem področju od 0,3 GHz do 1,2 GHz so za vse tri antene prikazani na sliki 5, VSWR v kartezičnih koordinatah, kompleksni parameter S_{11} pa v Smithovem grafikonu. Opazimo lahko, da se graf antene BoR-model₁ skoraj popolnoma prekriva z grafom Referenčne antene. Izboljšanje pasovne impedančne karakteristike antene BoR-model₂ je razvidno v zgornjem delu frekvenčnega območja, 0,9 GHz to 1,15 GHz. Maksimalno doseženo izboljšanje impedančne karakteristike za BoR-model₂ je 12,39% pri frekvenci 1,08 GHz in je označeno na sliki 5 z zelenim markerjem.

Slika 6 prikazuje simulirane rezultate ojačenja v istem frekvenčnem področju, za vse tri antene. Opazimo lahko, da imata obe predlagani anteni izboljšano dobiček v primerjavi z Referenčno anteno, kar je bil osnovni namen naše optimizacije z algoritmom DE.

To je evidentno v frekvenčnem pasu 0,45 GHz do 1,1 GHz, manj pa v preostalem frekvenčnem pasu. Optimirani parametri za obe novi BoR anteni so pridobljeni na PC AMD FX(tm)-8300 8-jedrni procesor (64 bitni proceser) 3,3 GHz 8, GB RAM v 14 urah po 70 ponovitvah pri uporabi DE algoritma.



Slika 5. a) Simulirane VSWR za vse tri antene, b) parameter S_{11} v Smithovem grafikonu za vse tri antene



Slika 6. Simulirana ojačenja za vse tri antene v orodju WIPL-D Pro v11

3 Zaključek

Z algoritmom DE smo oblikovali dve novi električno debeli BoR-monopolni anteni, BoR-model₁ and BoR-model₂. Elektromagnetne simulacije smo naredili za obe novi anteni in Referenčno anteno, v frekvenčnem območju 0,3 GHz to 1,2 GHz. Rezultati simulacije v predlaganem frekvenčnem pasu in konfiguraciji so pokazali izboljšanje dobitka obeh novih anten v primerjavi z referenčno. To je jasno razvidno v frekvenčnem območju 0,45 GHz to 1,1 GHz. Dobili smo tudi izboljšano impendančno prilagoditev antene BoR-model₂ v frekvenčnem področju 0,9 GHz to 1,15 GHz, v primerjavi s kanonično-cilindrično referenčno anteno.

ZAHVALA: Avtorji se zahvaljujejo prof. dr. Igorju Tičarju in prof. dr. Dušanu Gleichu za podporo.

Literatura

- [1] M. G. Andreasen, "Scattering from bodies of revolution", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 1965, 13, (2), pp. 303–310.
- [2] A. R. Djordjević, M. B. Dragović, B. D. Popović, "Analysis of Electrically thick antennas of revolution", Proc of 3rd ICAP, Norwich, April 1983, pp. 31–35
- [3] J. Zhao, T. Peng, T. C.-C. Chen, J. L. Volakis, "Low-profile ultra-wideband inverted-hat monopole antenna for 50 MHz–2 GHz operation", *Electronics Letters*, 2009, vol. 45, no 3, pp. 142-144, July 2011, pp. 3295–3296
- [4] J. Zhao, D. Psychoudakis, C.-C. Chen, J. L. Volakis, "Ultra-wideband performance optimization of a body-of-revolution monopole antenna", IEEE (APSURSI) Int. Sym. Antennas Propag., 2008, Spokane, WA
- [5] J. Zhao, D. Psychoudakis, C.-C. Chen, and J. L. Volakis, Design Optimization of a Low-Profile UWB Body-of-Revolution Monopole Antenna, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 12, December, 2012, pp. 5578-5586.
- [6] A. Rolland, M. Ettorre, A. V. Boriskin, L. L. Coq, and R. Sauleau, Axisymmetric Resonant Lens Antenna With Improved Directivity in Ka-Band, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, 2011, pp. 37-40.
- [7] R. Cicchetti, E. Miozzi, and O. Testa, Wideband and UWB Antennas for Wireless Applications: A Comprehensive Review, *International Journal of Antennas and Propagation*, Volume 2017, Article ID 2390808, 45 pages, Hindawi Publishing Corporation, <https://doi.org/10.1155/2017/2390808>
- [8] H. Nakano, *Low-Profile Natural and Metamaterial Antennas: Analysis Methods and Applications*, Wiley, 2016.
- [9] S. K. Goudos, C. Kallialakis, and R. Mittra, Evolutionary Algorithms Applied to Antennas and Propagation: A Review of State of the Art, *International Journal of Antennas and Propagation*, Volume 2016, Article ID 1010459, 12 pages, Hindawi Publishing Corporation, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1010459>
- [10] R. Storn, K. Price, "Differential Evolution: A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces", *J. Global Optimization*, 1997, vol. 11, no 44, pp. 341-359.
- [11] Wipl-d Pro v11 simulator "Wipl-dpro 3D electromagnetic solver for fast and accurate analysis of arbitrary metallic and dielectric/magnetic structures", <http://www.wipl-d.com/products.php?cont=wipl-d-pro>, accessed July 2015.
- [12] G. C. Onwubolu, B. V. Babu, *New Optimization techniques in Engineering*, Springer, 2004.
- [13] D. Swagatam S. S. Mullick, and P. N. Suganthan, "Recent Advances in Differential Evolution – An Updated Survey", *Swarm and Evolutionary Computation*, February 2016
- [14] T. Manning, *Microwave Radio Transmission Design Guide*, Artech House, 2006.
- [15] C. A. Balanis, *Antenna Theory. Analysis and Design*. Wiley-Interscience, 2005.