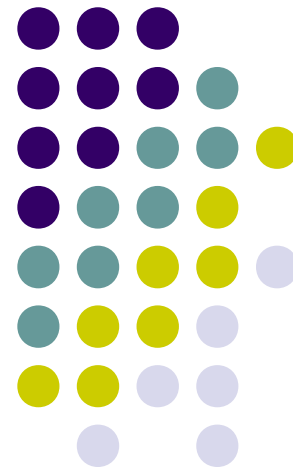


EKONOMIČNA RASPODELA SNAGA U MIKROMREŽAMA – DEO II: METODA REŠAVANJA PROBLEMA

Jordan Radosavljević, Miroljub Jevtić
Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici
Srbija



Uvod

- Za rešavanje problema ekonomične raspodele snaga u mikromrežama, u literaturi se može naći više pristupa, od determinističkih do heurističkih metoda.
- Polazeći od matematičkog modela problema ekonomične raspodele snaga, koji je opisan u prvom delu rada (“Ekonomična raspodela snaga u mikromrežama – deo I: formulacija problema”), u ovom radu je za rešavanje problema ekonomične raspodele snaga u mikromrežama predložen harmonijski algoritam.
- Predloženi algoritam je testiran na tipičnoj mikromreži koja sadrži više različitih DG i radi u uslovima otvorenog tržišta električne energije.



Harmonijski optimizacioni algoritam



- Harmonijski algoritam je muzički baziran metaheuristički optimizacioni algoritam
- Inspirisan je shvatanjem da je cilj muzike dostizanje savršene harmonije.
- Potraga za savršenom harmonijom u muzici je analogna procesu nalaženja optimalnog rešenja u optimizacionom algoritmu
- Proces traženja savršene harmonije u muzici prilagođava se pravilima optimizacionog pretraživačkog algoritma, i tako nastaje harmonijski pretraživački algoritam.
- Harmonijski algoritam ima tri komponente:
 - 1) Korišćenje harmonijske memorije,
 - 2) Podešavanje deonice
 - 3) Randomizacija



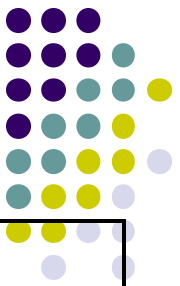
- Korišćenje harmonijske memorije je analogna izboru naboljih (best-fit) individua u genetičkom algoritmu. Time se obezbeđuje da najbolje harmonije budu prenesene u novu harmonijsku memoriju. Da bi se harmonijska memorija efikasnije koristila pridružuje joj se parametar r_{accept} , kojim se definiše opseg prihvata harmonijske memorije.
- Druga komponenta u harmonijskom algoritmu je podešavanje deonice koja je određena propusnim opsegom b_{range} i stepenom podešavanja deonice r_{pa} . U praksi se koristi linearno podešavanje, tako da se ima:

$$x_{new} = x_{old} + b_{range} \cdot \varepsilon$$

gde je x_{old} postojeća deonica ili rešenje u harmonijskoj memoriji, a x_{new} je nova deonica nakon akcije podešavanja deonice.

- Treća komponenta harmonijskog algoritma je randomizacija, koja ima ulogu da poveća raznolikost (diverzitet) rešenja. Randomizacija omogućava da se istraže različite varijacije rešenja u širem opsegu i tako dobije globalni optimum.

Pseudo kod harmonijskog algoritma za rešavanje problema ekonomične raspodele snaga u mikromreži.



begin

Definisanje problema ekonomične raspodele: OF $f(\mathbf{x})$, $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_d)^T$, ograničenja, optimizacioni modeli DG, podaci o potrošnji, itd.

Generisanje inicijalnih harmonija (slučajni izbor početnih rešenja)

Definisanje stepena podešavanja deonice (r_{pa}), granica deonica i propusnog opsega

Definisanje parametra r_{accept}

while ($t <$ *Maksimalan broj iteracija*)

Izračunavanje snage razmene

Evaluacija objektivne funkcije za sve tekuće harmonije

Generisanje novih harmonija prihvatanjem najboljih harmonija

Podešavanje deonica da bi se dobile nove harmonije (rešenja)

if ($rand > r_{accept}$), *slučajan izor jedne postojeće harmonije*

else if ($rand > r_{pa}$), *slučajno podešavanje deonice u okviru zadatih granica*

else *generisanje novih harmonija primenom randomizacije*

end if

Prihvatanje novih harmonija (rešenja) ukoliko su bolja

end while

Nalaženje najboljeg tekućeg rešenja

End

Test primer



- Opisani postupak određivanja ekonomične raspodele snaga u mikromreži primenom harmonijskog algoritma je realizovan u programskom paketu MATLAB 2011b.
- Primenjen je na mikromreži koja sadrži pet različitih DG, i to MT, FC, DEA, WT i PV.
- Obnovljivi izvori, tj. WT i PV u svakom trenutku rade sa maksimalnim raspoloživim snagama,
- Ostali DG, tj. MT, FC i DEA proizvode snagu u okviru zadatih granica u skladu sa zahtevima centralnog kontrolnog uređaja (MGCC) mikromreže, prema algoritmu ekonomične raspodele snaga
- Sva električna energija koju proizvode DG u mikromreži se upotrebljava za zadovoljenje lokalne potrošnje, a višak (ukoliko postoji) se izvozi u napojnu SN mrežu
- Napojna mreža se ponaša kao sistem beskonačne snage i može razmenjivati energiju sa mikromrežom bez ograničenja po maksimalnoj i minimalnoj snazi

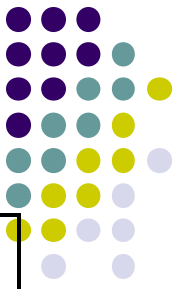
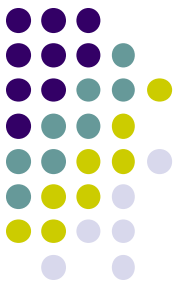


Tabela 1. Podaci o DG u mikromreži

MT	<p>Tip: CGT301-302; $P_{nom} = 300$ kW;</p> <p>Karakteristika stepena iskorišćenja:</p> <p>$P_{MT} = [90 \quad 120 \quad 150 \quad 180 \quad 210 \quad 240 \quad 270 \quad 300]$ kW;</p> <p>$\eta_{MT} = [33.6 \quad 35.4 \quad 37.5 \quad 39.0 \quad 39.7 \quad 40.2 \quad 40.5 \quad 40.0]$ %</p> <p>$C_{fuel} = 1.5$ €/ct/kWh; $IC = 1200$ €/kW; $i=7\%$; $n=10$ god.; $AP=7884$ kWh/kW;</p>
FC	<p>Tip: PEM FC; $P_{nom} = 300$ kW; $V_0=0.9$ V; $V_{Pnom}=0.6$ V;</p> <p>$C_{fuel} = 1.5$ €/ct/kWh; $IC = 4000$ €/kW; $i=7\%$; $n=10$ year; $AP=7884$ kWh/kW;</p>
DEA	<p>Tip: MDJW 410 T6; $P_{nom} = 369$ kW;</p> <p>Funkcija potrošnje goriva:</p> <p>$P_{DEA} = [92.5 \quad 184.5 \quad 276.75 \quad 369.0]$ kW;</p> <p>$Fuel_{DEA} = [29.5 \quad 51.9 \quad 74.8 \quad 100.9]$ L/h</p> <p>$C_{fuel} = 0.6$ €/L; $IC = 500$ €/kW; $i=7\%$; $n=10$ god.; $AP=4380$ kWh/kW;</p>
WT	<p>Tip: Vestas V44/600 kW; $P_{nom} = 600$ kW; $v_{ci}=4$ m/s; $v_{nom}=16$ m/s; $v_{co}=20$ m/s;</p> <p>$IC = 1600$ €/kW; $i=7\%$; $n=10$ year; $AP=3504$ kWh/kW;</p> <p>Na slici 1 prikazani su podaci o brzini vetra za izračunavanje snage WT.</p>
PV	<p>Tip: SW 250 mono; $P_{nom} = 250$ kW; $P_{STC} = 250$ W; $\gamma = -0.0045$ °C⁻¹; $T_{NOCT} = 46$ °C;</p> <p>$IC = 6000$ €/kW; $i=7\%$; $n=20$ year; $AP=1300$ kWh/kW;</p> <p>Na slici 1 su podaci o temperaturi i solarnoj iradijaciji za izračunavanje snage PV izvora</p>



Slika 1. Podaci o brzini vetra, temperaturi i solarnoj iradijaciji na lokaciji mikrormeže

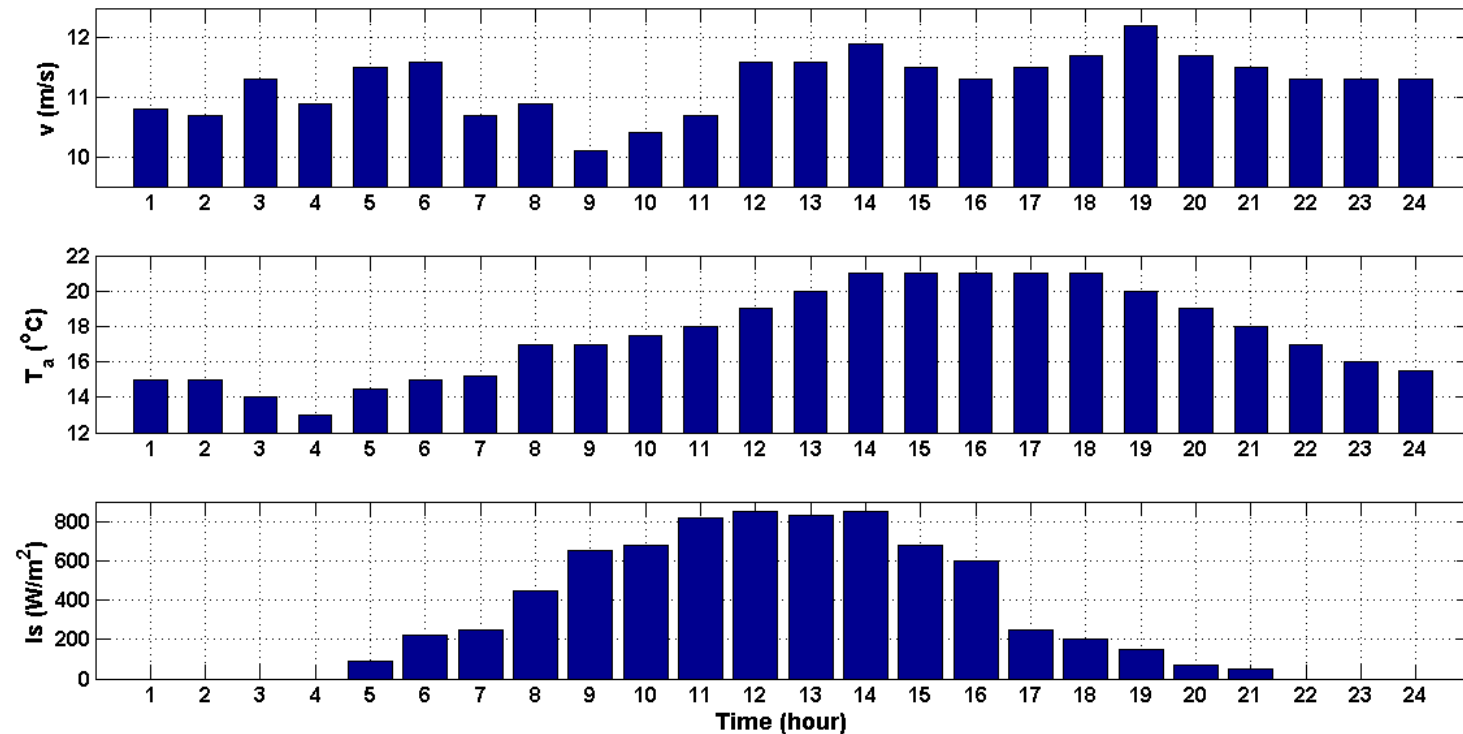




Tabela 2. Granične snage DG i koeficijenti cene električne energije iz DG

Tip	Min Snaga (kW)	Max Snaga (kW)	a_i (€ct/kWh ²)	b_i (€ct/kWh)	c_i (€ct/h)
MT	90	300	0.0018	2.63	811
FC	30	300	0.0062	1.62	2204
DEA	0	369	0.0065	12.41	1177
WT	0	600	0	6.50	0
PV	0	250	0	43.57	0

Na osnovu podataka o DG u Tabeli 1, primenom optimizacionih modela DG datih u prvom delu rada (“Ekonomična raspodela snaga u mikromrežama – deo I: formulacija problema”), izračunati su koeficijenti cene električne energije iz pojedinih DG, koje su prikazani u Tabeli 2

Tabela 3. Podaci o snazi potrošnje u mikromreži i tržišnoj ceni električne energije



Čas	Snaga potrošnje (kW)	MP (€/kWh)		
		Slučaj A	Slučaj B	Slučaj C
1	480	1.4	2.8	3.5
2	480	1.4	2.8	3.5
3	600	1.4	2.8	3.5
4	600	1.4	2.8	3.5
5	720	2.8	5.6	7
6	720	2.8	5.6	7
7	840	2.8	5.6	7
8	840	2.8	5.6	7
9	960	2.8	5.6	7
10	960	2.8	5.6	7
11	1080	4.2	11.2	12.6
12	1080	4.2	11.2	12.6
13	1200	4.2	11.2	12.6
14	1200	4.2	11.2	12.6
15	1080	4.2	11.2	12.6
16	840	2.8	5.6	7
17	840	2.8	5.6	7
18	960	2.8	5.6	7
19	1080	4.2	11.2	12.6
20	1080	4.2	11.2	12.6
21	960	2.8	5.6	7
22	840	2.8	5.6	7
23	720	2.8	5.6	7
24	600	1.4	2.8	3.5

Analizirani slučajevi

- U opisanom scenariju rada mikromreže, problem ekonomične raspodele snaga je razmatran za tri karakteristična slučaja, i to:

Slučaj A: tržišna cena električne energije je niska

Slučaj B: tržišna cena električne energije je srednja

Slučaj C: tržišna cena električne energije je visoka (ima realnu vrednost).

Ova tri slučaja su analizirana kako bi se ispitalo uticaj različitih nivoa tržišne cene električne energije na troškove za električne energije koje plaćaju potrošači u mikromreži.



Tabela 4. Optimalno rešenje za slučaj A.

Vreme (h)	Snaga (kW)						Troškovi (€/h)
	MT	FC	DEA	WT	PV	Napoj na mreža	
1	90	30	0	252	0	108	62.85
2	90	30	0	246	0	114	62.57
3	90	30	0	279	0	201	65.94
4	90	30	0	257	0	223	64.80
5	90	95	0	291	23	221	81.75
6	90	95	0	296	56	183	95.19
7	90	95	0	246	63	346	99.65
8	90	95	0	257	109	289	118.88
9	90	95	0	215	153	407	138.53
10	90	95	0	230	159	386	141.51
11	300	208	0	246	187	139	160.74
12	300	208	0	296	192	84	163.84
13	300	208	0	296	187	209	166.98
14	300	208	0	314	190	188	168.54
15	300	208	0	291	156	125	149.67
16	90	95	0	279	140	236	132.09
17	90	95	0	291	61	303	100.63
18	90	95	0	302	49	423	99.57
19	300	208	0	332	38	202	103.92
20	300	208	0	302	18	252	95.46
21	90	95	0	291	13	471	84.20
22	90	95	0	279	0	376	75.20
23	90	95	0	279	0	256	71.84
24	90	30	0	279	0	201	65.94
Ukupni troškovi (€/h)							2570.29

U slučaju A, kada je tržišna cena energije relativno niska, najveći deo potrošnje u mikromreži pokriva se snagom iz napojne mreže, naročito u periodima sa malim i srednjim nivoima snage potrošača.

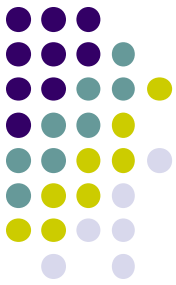


Tabela 5. Optimalno rešenje za slučaj B.



U slučaju B, tržišna cena energije je na srednjem nivou i znatno je veća negu u slučaju A.

Najveći deo potrošnje u mikromreži se napaja iz MT i FC. U periodima kada je snaga potrošača na srednjem nivou, kada je tržišna cena energije na srednjoj vrednosti (5.4 €/ct/kWh), višak energije koju proizvode DG se izvozi iz mikromreže ka napojnoj mreži.

Vreme (h)	Snaga (kW)						Troškovi (€/h)
	MT	FC	DEA	WT	PV	Napoj na mreža	
1	90	95	0	252	0	43	64.10
2	90	95	0	246	0	49	63.90
3	90	95	0	279	0	136	68.48
4	90	95	0	257	0	158	67.66
5	300	300	0	291	0	-194	80.04
6	300	300	0	296	23	-232	92.41
7	300	300	0	246	56	-69	101.44
8	300	300	0	257	63	-126	119.07
9	300	300	0	215	109	-8	142.02
10	300	300	0	230	153	-29	144.41
11	300	300	0	246	159	47	164.55
12	300	300	0	296	187	-8	163.79
13	300	300	0	296	192	117	175.66
14	300	300	0	314	187	96	175.78
15	300	300	0	291	190	33	152.52
16	300	300	0	279	156	-179	130.81
17	300	300	0	291	140	-112	101.22
18	300	300	0	302	61	8	103.52
19	300	300	0	332	49	110	112.17
20	300	300	0	302	38	160	107.19
21	300	300	0	291	18	57	89.51
22	300	300	0	279	13	-39	77.82
23	300	300	0	279	0	-159	71.10
24	90	95	0	279	0	136	68.48
Ukupni troškovi (€/h)							2637.65

Tabela 6. Optimalno rešenje za slučaj C.



U slučaju C, tržišna cena energije je znatno veća, u odnosu na prethodna dva slučaja. Sada su MT i FC angažovani sa maksimalnim snagama u periodima sa srednjim i visokim nivoima snage potrošača u mikromreži. Pored toga, višak energije se izvozi u napojnu mrežu u najvećem delu dana.

Vreme (h)	Snaga (kW)						Troškovi (€/h)
	MT	FC	DEA	WT	PV	Napoj na mreža	
1	242	152	0	252	0	-165	63.79
2	242	152	0	246	0	-160	63.63
3	242	152	0	279	0	-73	68.82
4	242	152	0	257	0	-50	68.15
5	300	300	0	291	23	-194	77.33
6	300	300	0	296	56	-232	89.16
7	300	300	0	246	63	-69	100.47
8	300	300	0	257	109	-126	117.30
9	300	300	0	215	153	-8	141.91
10	300	300	0	230	159	-29	144.00
11	300	300	15	246	187	32	165.19
12	300	300	15	296	192	-23	163.66
13	300	300	15	296	187	102	177.28
14	300	300	15	314	190	81	177.12
15	300	300	15	291	156	19	152.97
16	300	300	0	279	140	-179	128.30
17	300	300	0	291	61	-112	99.65
18	300	300	0	302	49	8	103.64
19	300	300	15	332	38	96	113.70
20	300	300	15	302	18	145	109.41
21	300	300	0	291	13	57	90.30
22	300	300	0	279	0	-39	77.27
23	300	300	0	279	0	-159	68.87
24	242	152	0	279	0	-73	68.82
Ukupni troškovi (€/h)							2630.75

Slika 2. Karakteristika konvergencije harmonijskog algoritma pri rešavanju problema ekonomske raspodele snaga u mikromreži

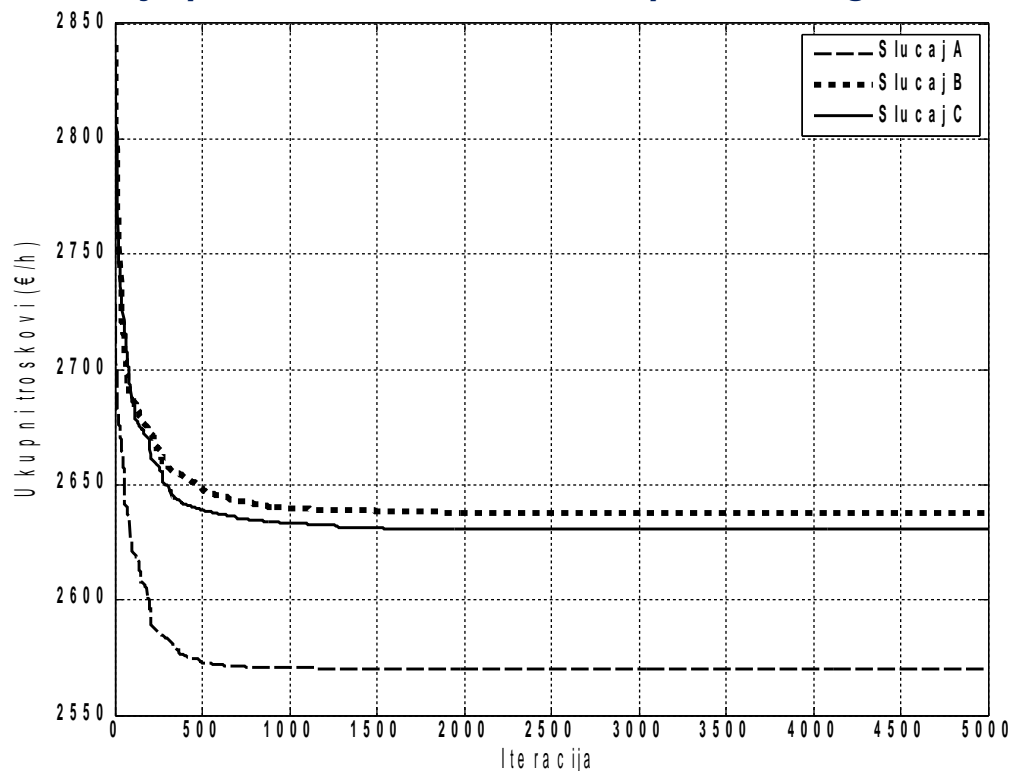
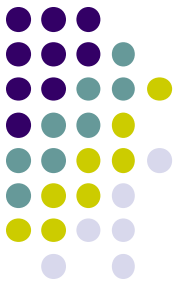


Tabela 7. Poređenje harmonijskog algoritma sa drugim heurističkim algoritmima pri rešavanju problema ekonomske raspodele snaga u mikromreži

	PSO	GSA	GA	Harmonijski algoritam
Broj iteracija	100	200	50	5000
Trajanje proračuna (s)	27.81	52.01	36.73	21.13



Zaključak

- U radu je pokazana primena harmonijskog optimizacionog algoritma za ekonomičnu raspodelu snaga u mikromrežama sa različitim tipovima DG.
- Rezultati dobijeni u test primeru pokazuju da predloženi postupak daje globalna optimalna rešenja za sva tri analizirana slučaja.
- Pokazano je da harmonijski algoritam ima bolje performanse pri rešavanju ovog problema nego druge heuristične optimizacione metode kao što su GA, PSO i GSA