حل مسئله توزیع اقتصادی بار به صورت بلادرنگ با روش شبکه های عصبی Hopfield و مقایسه آن با روش کلاسیک

[1] امیر محمدی، [1,2] محمد هادی ورهرام،

amir1361mohammadi@yahoo.com, varahram@sharif.edu

[1,2] دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، [1,2] دانشگاه صنعتی شریف

کلمات کلیدی: شبکه عصبی Hopfield ، توزیع اقتصادی بار، روش کلاسیک

چکیده

در این مقاله دو روش ، شبکه عصبی Hopfield و روش λ برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار با ۳، ۶ و ۲۰ واحد نیروگاهی در نظر گرفته و با هم مقایسه شده اند. زمان لازم برای CPU ، برای حل مسئله توزیع قتصادی این دو سیستم مشخص شده است . نشان داده شده است که برای حل مسئله توزیع اقتصادی به صورت بلادرنگ ، روش شبکه های عصبی Hopfield کارآمدتر است و این بدین معنی است که سرعت رسیدن به پاسخ با افزایش واحدهای نیروگاهی در روش ، شبکه عصبی Hopfield به مراتب بیشتر است.

مقدمه

توزیع اقتصادی بار همواره از یک جایگاه مهم در صنعت برق برخوردار بوده است. هدف توزیع اقتصادی بار در سیستم قدرت این است که بهترین ترکیب را از توان خروجی ژنراتورها بگونه ای بدست آورد که هزینهٔ کلی سوخت کاهش یابد و در عین حال یکسری قیود ارضا شوند. روشهای متداول برای حل مسئلهٔ توزیع اقتصادی بار عبارتند از : روش λ ، روش گرادیان ، روش نقطهٔ کار بهینه و غیره . عیب عمدهٔ این روشها این است که با بزرگتر شدن سیستم قدرت ، زمان مورد نیاز برای محاسبه به شدت افزایش می یابد و این روشها نمی توانند به سرعت به تغییرات بار پاسخ دهند. بنابراین با استفاده از این روشهای کلاسیک نمی توان به صورت بلادرنگ (on line) توزیع اقتصادی سیستمهای قدرت واقعی را انجام داد.

در سالهای اخیر روش شبکهٔ عصبی Hopfield برای حل مسئلهٔ توزیع اقتصادی بار مورد استفاده قرار گرفته است. از زمانی که Hopfield مدلش را در سال ۱۹۸۲ و۱۹۸۴ [1] پیشنهاد کرده تا کنون ، شبکه های عصبی Hopfield در زمینه های مختلف و بسیاری مورد استفاده قرار گرفته اند. مخصوصاً در مسائل بهینه سازی ، شبکه های عصبی Hopfield نشان داده اند که توانایی های فوق العاده ای دارند و می توانند در یک زمان معقول جواب مسائل مشکل بهینه سازی را بیابند. به طور کلی شبکه های عصبی از تجربیاتشان درس می گیرند و ویژگی هایی که دارند آنها را در حل دقیق و سریع مسائل حتی با وجود نویز و اطلاعات ناقص ، یاری می کند. رهیافت حل مسائل توزیع اقتصادی توسط شبکه های عصبی Hopfield به این صورت است که ابتدا تابع هدف مسئله توزیع اقتصادی به همراه قیود به یک تابع انرژی ، E ، به نام تابع انرژی Hopfield تبدیل می شود. سپس این تابع انرژی توسط یک فرایند تکراری و توسط دینامیکHopfield ، مینیمم می گردد. مدل Hopfield معمولی برای توصیف رابطهٔ بین ورودی و خروجی هایش از تابع Sigmoid استفاده می کرد . تابع Sigmoid یک تابع اشباع پذیر است. این مدل از نقاط ضعف بسیاری برخوردار است که برخی از آنها به قرار زیر اند[2]:

۱- زمان مورد نیاز برای حل مسائل طولانی است و این به خاطر ذات تکرار پذیر بودن این روش است.

۲-جوابهایی که برای مسائل توزیع اقتصادی با این روش بدست آمده ممکن است به خاطر وجود پدیدهٔ اشباع در تابع Sigmoid نادرست باشد.

۳- انتخاب ضرایب وزن دهنده توسط روش سعی و خطا صورت می گیرد که این هم کار سخت و طاقت فرسایی است.

و....

برای فائق آمدن بر این مشکلات در سال ۱۹۹۷ ، C.T.Su

[1] روشی را پیشنهاد می کند که برای ارتباط بر قرار کردن بین ورودی و خروجی نرونها به جای تابع Sigmoid از یک تابع خطی استفاده می کند.این روش نیاز به تکرار ندارد و به طور قابل توجهی زمان محاسبات را کاهش می دهد.عیب عمده' این روش آن است که تلفات خط را در بر نمی گیرد. در سال ۲۰۰۰ همین نویسنده [4] کارش را با لحاظ کردن تلفات خط انتقال، ادامه می دهد. در سال ۲۰۰۳ ، Farooqi , Jain , Niazi [2] روش پیشنهاد شده در مرجع ۶ را بگونه ای اصلاح کردند که در کل الگوریتم کارآمدتری بدست آید. در این مقاله ما از نتایج کار این گروه بیشتر استفاده خواهیم کرد.

۲- روش شبکه عصبی Hopfield :

تابع هدف را به صورت زیر بیان می نمایم

(۱)

$$F = \sum_{i=1}^{n} (a_i + b_i \times P_i + c_i \times P_i^2)$$

که a_i , b_i , c_i ضرایب تابع هزینه' ژنراتور iام ، n تعداد واحدها و P_i توان خروجی ژنراتور iام می باشند. هدف در توزیع اقتصادی این است که تابع هزینه حداقل شوند و در عین حال قیود زیر ارضا گردند.

قید توازن

$$\sum_{i=1}^{n} P_i - P_D - P_L = 0 \qquad (۲)$$

که

P_L : تلفات خط انتقال

P_D : تقاضای بار

P_i : توان تولیدی ژنراتور iام می باشند.

این قید تضمین می کند که مجموع توانی که همه ژنراتورها تولید می کنند باید یکجا مصرف شود.این امر برای ثابت ماندن فرکانس سیستم قدرت لازم است.

تلفات خط از رابطه زیر بدست می آید.

$$P_L = \sum_{i=1}^{n} B_i P_i^2 \qquad (۳)$$

که B_i ضرایب تلفات خط انتقال می باشد.

قید محدوده مجاز ژنراتور

این قید به ما می گوید که هر ژنراتور تنها می تواند در یک محدوده مشخص توان تولید کند یعنی

$$P_{imin} \le P_i \le P_{imax}$$

مشخصه دینامیکی هر نرون شبکه عصبی Hopfield توسط معادله دیفرانسیل زیر توصیف می شود.[5]

$$\frac{dU_i}{dt} = \sum T_{ij} V_j + I_i \qquad (۴)$$

که

U_i: ورودی نرون iام

T_{ij}: نشان دهنده رابطه (اتصال) بین خروجی نرون jام با ورودی نرون iام می باشد.

I_i: ورودی نرون iام که از بیرون به آن اعمال می شود.

V_j : خروجی نرون jام

تابع انرژی در شبکه عصبی Hopfield به صورت زیر تعریف می شود.[5]

$$E = \left(\frac{-1}{2}\right) \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} T_{ij} V_i V_j - \sum_{i=1}^{n} I_i V_j \qquad (۵)$$

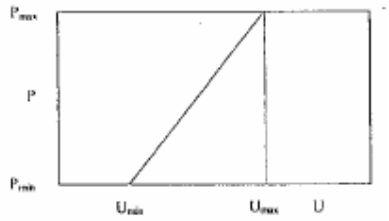
مشتق زمانی تابع انرژی منفی است و این نشان می دهد که فرایند محاسباتی در نهایت به سمت یک عدد معین همگرا خواهد شد[2] .

برای حل مسائل توزیع اقتصادی ، تابع انرژی را با توجه به پارامترهای شبکه به صورت زیر تعریف می کنیم.[2]

(۶)

$$E = \frac{A}{2} \left[(P_D + P_L) - \sum_{i=1}^{n} P_i \right]^2 + \frac{B}{2} \sum_{j=1}^{n} \left(a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \right) + \frac{C}{2} P_L$$

که ضرایب A , B , C ضرایب وزن دهنده هستند. یعنی اهمیت نسبی هر کدام از جملات معادله (۶) را نشان می دهند. مدلی که برای ورودی – خروجی هر کدام از نرونها انتخاب شده همانند شکل زیر است.



شکل۱ مدل ورودی _ خروجی

با توجه به آنکه U_i ورودی نرون iام است، U_{imin} کران پایین برای ورودی نرون iام و U_{imax} کران بالا برای ورودی نرون iام می باشد.

می توان نشان داد که مشخصه دینامیکی هر نرون شبکه عصبی Hopfield با توجه به پارامترهای سیستم قدرت به صورت زیر قابل تعریف است [2].

$$\frac{dU_i}{dt} = A P_m - \left(\frac{B}{2}\right).(b_i + 2 c_i P_i) - \frac{C}{2} I_{Li0} \qquad (۷)$$

که P_m قید توازن توان است و به صورت زیر قابل بیان می باشد.

$$P_m = \left(P_D + P_{L0} - \sum_{j=1}^{n} P_j\right) \qquad (۸)$$

و I_{Li0} نمو تلفات واحد iام با تولید P_{i0} می باشد. یعنی

$$I_{Li0} = \frac{\partial P_L}{\partial P_i}\bigg|_{P_i=P_{i0}} \qquad (۹)$$

می توان نشان داد که تولید واحد iام در طول زمان به صورت زیر می باشد[2]

$$P_i(t) = [P_i(0) - P_i(\infty)]\, e^{-(B C_i k_{1i}) t} + P_i(\infty) \qquad (۱۰)$$

$$P_i(\infty) = \frac{A P_m - \left(\frac{B}{2}\right) b_i - (C I_{Li0})/2}{B c_i} \qquad (۱۱)$$

$$P_m = \frac{P_D + P_{L0} + \sum_{i=1}^{n} [(B b_i/2 + C I_{Li0}/2)/(B c_i)]}{1 + \left(\frac{A}{B}\right) \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{c_i}\right)} \qquad (۱۲)$$

معادله (۱۱) بهترین توان تولیدی را می دهد و بنابراین جواب مسئله توزیع اقتصادی می باشد.

سوالی که اکنون مطرح است این است که ضرایب وزن دهنده A , B , C را چگونه باید انتخاب کنیم. در این مقاله برای بدست آوردن ضرایب وزن دهنده از تکنیک ارائه شده در مرجع [2] استفاده می کنیم. انتخاب ضرایب وزن دهنده A , B ,C یک گام بسیار مهم در حل مسائل توزیع اقتصادی با استفاده از روش شبکه های عصبی می باشد.ضریب وزن دهنده A که مربوط به قید توازن توان است بالاترین اولویت را در بین سایر ضرایب وزن دهنده دارا می باشد. اگر A خیلی کوچک انتخاب شود جواب مسئله توزیع اقتصادی به هزینه سوخت پایین و در عین حال عدم توازن توان بزرگ منجر می گردد. با توجه به این که ضریب وزن دهنده B را معمولا ۱ در نظر می گیرند. ضریب وزن دهنده A از معادله زیر بدست می آید.[2]

$$A \geq \frac{\Delta F_T}{P_m^2} \qquad (۱۳)$$

که ΔF_T تغییر در هزینه کل سوخت می باشد. در نهایت ضریب وزن دهنده C از رابطه زیر بدست می آید.

$$C = 2 A P_m \qquad (۱۴)$$

الگوریتم شبکه عصبی Hopfield [2]

الگوریتم روش پیشنهاد شده به صورت زیر است

گام ۱) دادههای زیر را وارد کنید

P_D : تقاضای بار

N : تعداد واحدها

P_{imin} , P_{imax} : کرانهای بالا و پایین توان تولیدی ژنراتور

A , B , C : ضرایب وزن دهنده

a_i, b_i, c_i : پارامترهای تابع هزینه سوخت

U_{max} , U_{min} : پارامترهای مدل نرون

ε_1: تلرانس تقاضای بار

ε_2 : تلرانس همگرایی جواب

گام ۲) حدس اولیه برای توان هر واحد را انجام دهید. و قرار دهید $k = 0$ و $c = 0$

گام ۳) P_L یا تابع تلفات را با استفاده از مقادیر حدس اولیه و با توجه به رابطه (۳) تعیین کنید . سپس نمو تلفات σP_i / σP_L را بدست آورید.

گام ۴) با استفاده از معادله (۱۲) ، P_m را بدست آورید. $P_i^k(\infty)$ را برای هر واحد با استفاده از معادله (۱۱) تعیین کنید.

گام ۵) اکنون قرار دهید $C = 2 A P_m$.

گام ۶) برسی کنید آیا هیچ کدام از واحدها از محدوده تولیدیشان خارج شده اند یا نه ؟ اگر بله به گام ۷ بروید و اگر نه به گام ۸ بروید

گام ۷) (a) برای هر واحدی که از محدوده مجاز تولیدی اش خارج شده با استفاده از رابطه (۱۰) زمان t را بدست آورید (در حقیقت t بدون بعد است و یک متغیر فرضی به حساب می آید)

(b) بر مبنای مقداری که برای t ، بدست آوردید ، واحدی را که زودتر از همه به محدوده کرانش می رسد را شنا سایی کرده و توان تولیدی آن واحد را برابر با مقدار کرانش قرار دهید (P_{imax} یا P_{imin}) .

(c) سپس واحدی که از همه زودتر به مقدار کرانش می رسد را از لیست واحهای موجود حذف کنید.

(d) اختلاف بین دیماند کل بار و توان واحد حذف شده را محاسبه کرده و حاصل را به عنوان دیماند کل بار جدید در نظر بگیرید.

(e) به گام ۴ بروید.

گام ۸) آیا شرط توازن توان زیر برقرار است

$$\left| P_D + P_L - \sum_{i=1}^{n} P_i^k \right| < \epsilon_2$$

اگر بله به گام ۹ بروید والا به گام ۳ بروید.

گام ۹) آیا شرط زیر برای تمام واحد ها بر قرار است

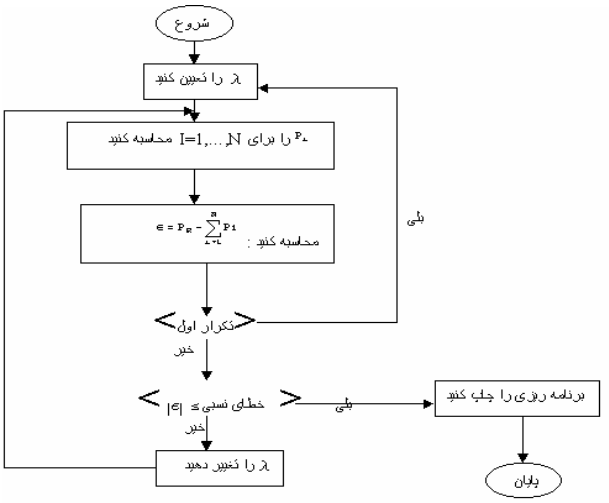
$$\left| P_i^{(k-1)} - P_i^k \right| < \epsilon_2$$

اگر بله به گام ۱۰ بروید والا $k = k + 1$ و به گام ۳ بروید.

گام ۱۰) توقف محاسبات و نشان دادن نتایج

۴- روش کلاسیک حل مسئله توزیع اقتصادی بار

از بین تمام روشهای کلاسیک که برای توزیع اقتصادی بار استفاده می شود ما روش λ را انتخاب می کنیم. الگوریتم این روش به صورت زیر است.



۵- اعمال روشهای شبکه عصبی Hopfield و روشهای کلاسیک بر چند نمونه از سیستم قدرت:

برای انجام مقایسه بین این دو روش که در فوق به آن اشاره شده سه نمونه از سیستمهای قدرت در نظر گرفته شده اند.

مثال ۱) سیستمی شامل سه واحد نیروگاهی با توابع هزینه زیر[۶]

واحد۱

$H_1=312.5+8.25\ P_1 +0.005\ P_1^2$

$50 \leqslant P_1 \leqslant 250$ MW

Cost=1.05 $/MBtu

واحد۲

$H_2=112.5+8.25\ P_2 +0.005\ P_2^2$

$5 \leqslant P_2 \leqslant 150$ MW

Cost=1.217 $/MBt

واحد۳

$H_3=50+8.25\ P_3+0.005\ P_3^2$

$15 \leqslant P_1 \leqslant 100$ MW

Cost=1.1831 $/MBtu

ماتریس تلفات مانند زیر است.

$$B = \begin{bmatrix} 1.36255*10^{-4} & 1.753*10^{-5} & 1.8394*10^{-4} \\ 1.753*10^{-5} & 1.5448*10^{-4} & 2.82765*10^{-4} \\ 1.8394*10^{-4} & 2.82765*10^{-4} & 1.6147*10^{-3} \end{bmatrix}$$

کل تقاضای بار سیستم MW ۱۹۰می باشد.
اولین کاری که باید انجام دهیم تعیین ضرایب وزن دهنده است. فرض کنید آنچه برای قید توازن توان لازم است عددی کمتر از MW 0.0001 باشد. یعنی
برای بدست آوردن ΔF_T (تغییرات کل سوخت) واحد با بزرگترین نمو هزینه را در نظر می گیریم.

$\Delta F_T = 8.25\ P_m + 0.005\ P_m^2 =$
$8.25*(0.0001)+0.005(0.0001)^2$
$= 8.25 * 10^{-4}$ $/h

با قرار دادن ΔF_T در معادله (۱۳) ، A به صورت زیر بدست می آید.

$A \geq 82500$

$$\left| P_D + P_L - \sum_{i=1}^{n} P_i^k \right| < 0.0001$$

همانطور که قبلاً هم گفتیم B=1 و در نتیجه C به صورت زیر بدست می آید.

$C=2*A*P_m$.

پارامترهای دیگر را به صورت زیر در نظر می گیریم.

$U_{min} = -0.5$
$U_{max} = 0.5$

$\varepsilon_1 = 0.0001$ MW
$\varepsilon_2 = 0.0001$ MW

حدس اولیه که برای توان می زنیم به صورت زیر است

$P_1 = 400$ MW, $P_2 = 300$ MW , $P_3 = 200$ MW

نتایج محاسبات در جدول زیر آمده است.

واحد	روش تکـــــرار landa	روش Hopfield
P1	147.9134	147.3155
P2	33.6992	30.9504
P3	15	36.9712
cputime	0.952	0.13

مثال ۲) سیستمی شامل ۶ واحد نیروگاهی را در نظر می گیریم که اطلاعات آن در زیر آمده است[۶]
تلفات را صفر در نظر می گیریم.

حل: با حل این مسئله نتایج به صورت زیر بدست آمده است.

واحد	a_i	b_i	c_i	P_{mini}	P_{maxi}
۱	1122	1584	0.00312	150	600
۲	620	15.7	0.00388	100	400
۳	156	15.94	0.00964	50	200
۴	950	13.414	0.002641	140	590
۵	560.5	14.174	0.003496	110	440
۶	560.5	14.147	0.003496	110	440

تلفات را صفر در نظر می گیریم.

واحد	روش landa	روش Hopfield
P1	289.6927	289.8456
P2	251.2887	251.4118
P3	88.6929	88.7425
P4	590	590
P5	440	440
P6	140	140
CPU time	1.0014	0.28

مثال ۳) سیستمی شامل ۲۰ واحد نیروگـاهی را در نظـر مـی گیریم که اطلاعات آن در زیر آمده است[4] .

unit	ai	bi	ci	Pmin	Pmax
1	1000	18.19	0.00068	150	600
2	970	19.26	0.00071	50	200
3	600	19.80	0.0065	50	200
4	700	19.1	0.005	50	200
5	420	18.1	0.00738	50	160
6	360	19.26	0.00612	20	100
7	490	17.14	0.00790	25	125
8	660	19.92	0.00813	50	150
9	765	18.27	0.00522	50	200
10	770	18.92	0.00573	30	150
11	800	16.62	0.0048	100	300
12	970	16.76	0.00310	150	500
13	900	17.36	0.00850	40	160
14	700	18.70	0.00511	20	130
15	450	18.7	0.00398	25	185
16	370	14.26	0.07120	20	80
17	480	19.14	0.0089	30	85
18	680	18.92	0.00713	30	120
19	700	18.47	0.00622	40	120
20	850	19.79	0.00773	30	100

ماتریس تلفات را بدست می‌آوریم[۴] .

	روش λ	روش Hopfield
P1	517.1491	600
P2	200	200
P3	95.5036	128.2082
P4	79.2636	93.5516
P5	116.3054	105.4371
P6	60.1438	65.1234
P7	104.6475	111.9861
P8	113.4341	111.8526
P9	111.6333	96.6337
P10	117.6308	73.9705
P11	146.3991	100
P12	278.4798	294.0099
P13	124.1705	112.9202
P14	49.7991	20
P15	120.3374	104.2639
P16	36.8844	34.5926
P17	61.1253	65.8470
P18	80.8281	79.1816
P19	107.9963	95.2625
P20	50.7215	44.1808
cputime	1.2	0.33

سیستم برای توزیع اقتصـادی بـه دو روش کلاسـیک و شـبکه عصبی Hopfield (H.N.N) در جدول فوق داده شده است همانطور که ملاحظه می شود با بزرگتر شـدن سیسـتم، روش کلاسیک کارآمدی خود را از دست می دهد و زمان مورد نیـاز برای محاسبه به شدت افزایش مـی یابـد ولـی در مـورد روش

شبکه عصبی Hopfield با افزایش واحد ، زمان مورد نیاز برای محاسبات زیاد دست خوش تغییر نمی شود. می توان نشان داد که برای سیستمی با ۲۴۰ واحد، متوسط زمان لازم برای CPU برای حل مسئله توزیع اقتصادی به روش شبکه عصبی Hopfield (H.N.N) حدود ۱۰۰۰ بار سریعتر از روش کلاسیک است[7]

در مسائل فوق فرض شده که سرعت CPU 750 MHz می باشد.

۶) نتیجه گیری

در این مقاله ، نشان داده شده که روش شبکه عصبی Hopfield (H.N.N) نسبت به روشهای کلاسیک حل مسائل توزیع اقتصادی کارآمدتر و سریعتر است و می تواند برای محاسبات توزیع اقتصادی به صورت بلادرنگ (On line) درسیستم قدرت مورد استفاده قرار گیرد.

این بدین معنی است که سرعت رسیدن به پاسخ با افزایش واحدهای نیروگاهی در روش ، شبکه عصبی(H.N.N) Hopfield به مراتب بیشتر است

مراجع

1-J.H.Park , " Y.S.Kim , I.K.Eom , K.Y.Lee , "Economic load dispatch for piecewise quadratic cost function using Hofpield Neural Network " IEEE trans. Vol. 8 august 1993

2-M.R.Farooqi , P.Jain , K.R.Niazi " Using Hopfield Neural Network for economic dispatch of power system" IEEE 2003

3-C.T.Su and G.J.Chiou , "A fast computation Hopfield Method to economic dispatch of power system " IEEE Trans. On power system 1997

4-C.T.Su , C.T.Lin , "New approach with a Hopfield modeling framework to economic dispatch", IEEE Tran. On Power System ,Vol 15 ,2000

5-Kishan Mehrotra, Chilukuri.K.Mohan and Sanjay Ranka "Elements of artificial neural networks " Penram international publishing (India) 1997

6-"Power , Generation, Operation & Control written by Allen.J.Wood and Bruce.F.Wollenburg, T.Yalcinoz , M.J.Short "

7-Large-Scale economic dispatch using an improved Hopfield Neural Network " IEEE , Vol. 144 No.2 March 1997improved Hopfield Neural Network " IEEE , Vol. 144 No.2 March 1997