

Տ.Ա. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՏԱՐՐԵՐԻ ՁԵՐՄԱՅԻՆ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ
ԷՎՈԼՅՈՒՑԻՈՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Առաջարկված է ինտեգրալ սխեմաների (ԻՄ) տարրերի ջերմային տեղաբաշխման մեթոդ՝ հիմնված Էվոլյուցիոն ալգորիթմի վրա: Մշակվել է տեղաբաշխման Էվոլյուցիոն ալգորիթմի հետազոտման ծրագրային միջոց, որի իրագործումը ցույց է տվել առաջարկված մեթոդի արդյունավետությունը ջերմային դաշտի համահարթեցման տեսանկյունից:

Առանցքային բառեր. ինտեգրալ սխեմա, ջերմային տեղաբաշխում, Էվոլյուցիոն ալգորիթմ:

Ներածություն: ԻՄ-երի ինտեգրման անշեղ աճը հանգեցնում է դրանց հետագա զարգացման դանդաղեցմանը՝ պայմանավորված ի հայտ եկող տեխնոլոգիական և ֆունկցիոնալ մի շարք գործոններով: Համաձայն կիսահաղորդչային արդյունաբերության ասոցիացիայի կանխատեսումների՝ ԻՄ-երի զարգացման հիմնական խոչընդոտներից են [1]՝

- տեսակարար էներգասպառման աճը,
- աշխատանքային ջերմաստիճանների աճը,
- կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա մեծ ջերմային զրադիենտի առկայությունը:

Քանի որ ԻՄ-երի ջերմային հուսալիությունը խիստ կախված է աշխատանքային ջերմաստիճանից [2], իսկ վերջինս, իր հերթին, մեծապես կախված է տարրերի տեղաբաշխումից, ապա նրանց հուսալիության բարձրացման տեսանկյունից խիստ կարևորվում է տարրերի ջերմային տեղաբաշխման խնդիրը: Վերջինս հնարավորություն է տալիս ջերմային դաշտի համահարթեցման ճանապարհով փոքրացնել ջերմային զրադիենտը, ինչի հետևանքով նվազում է առավելագույն ջերմաստիճանով լրկալ տեղամասերի ջերմաստիճանը, և դրանով իսկ բարձրանում է հուսալիությունը: Ջերմային տեղաբաշխման մեթոդները ջերմային դաշտի համահարթեցման խնդիրը լուծում են երկու փուլով [3-5]՝

• նախնական տեղաբաշխում՝ հիմնված մոտավոր և արագագործ ալգորիթմների վրա,

• վերջնական տեղաբաշխում կամ օպտիմալացում, երբ կիրառելով բազմակի ալգորիթմներ, լավարկվում է նախնական տեղաբաշխումը՝ հաշվի առնելով նախորդ փուլում հաշվի չառած մյուս պարամետրերը:

ԻՄ-երի տարրերի նախնական ջերմային տեղաբաշխման ալգորիթմները կարելի է բաժանել երկու հիմնական դասերի [5, 6].

- մասնատման վրա հիմնված ալգորիթմներ,
- մատրիցների վրա հիմնված ալգորիթմներ:

Մասնատման վրա հիմնված ալգորիթմների հիմքում ընկած է տարրերի նախնական դասակարգումը՝ ըստ նրանց հզորությունների, տեղաբաշխման տարածքում, դրանց հետագա հնարավորինս հավասարաչափ ցրմամբ, որոշակի էվրիստիկ ընթացակարգերի օգտագործմամբ: Այսպիսի մոտեցումը, տարրերի մեծ քանակի դեպքում հանգեցնում է էվրիստիկ անորոշությունների և տեղաբաշխման որակի անկման:

Ներկայումս հայտնի մատրիցային ալգորիթմները, տեղաբաշխում կատարելիս, շարժվում են հստակ նախանշված քայլերի հերթականությամբ, որը միշտ տալիս է միննույն ելքային արդյունքը նույն մուտքային տվյալների դեպքում: Այսպիսի մոտեցումներից են ռեկուսիվ մասնատման և տեղաբաշխման վրա հիմնված ալգորիթմները [7]: Դրանց թերությունն այն է, որ որոշակի քանակի խտեղացիաներ կատարելուց հետո ալգորիթմը հանգեցնում է որոշակի լոկալ օպտիմումի, այսինքն՝ չի դիտարկում ստացված արդյունքից հնարավոր ավելի լավ տեղաբաշխման առկայությունը: Այս ալգորիթմները ձգտում են՝ տարրերի հստակ սահմանված եղանակով տեղաբաշխման միջոցով հասնելու լոկալ տեղամասում գումարային էներգասպառման մինիմումի, բայց չեն դիտարկում ընդհանուր արդյունքը:

Սույն հոդվածում ներկայացվում է ԻՄ-երի ջերմային դաշտի լավարկման էվոլյուցիոն ալգորիթմը: Մշակված ալգորիթմը դասվում է մատրիցների վրա հիմնված ալգորիթմների շարքը: Այն կիրառելի է նախնական տեղաբաշխման փուլում միայն ջերմային պարամետրերի դիտարկմամբ, իսկ մյուս պարամետրերը հաշվի առնելով՝ կարելի է տեղաբաշխման լավարկում կատարել օպտիմալացման փուլում:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: ԻՄ-երի տարրերի տեղաբաշխման խնդիրը կարելի է ներկայացնել տրված քանակությամբ սյուներ և տողեր պարունակող մատրիցում յուրաքանչյուր տարրի հնարավոր դիրքը որոշելու խնդրի տեսքով: Այդպիսի մոտեցումը ճշգրիտ է ռեգուլյար կառուցվածքների դեպքում, ինչպիսիք են փականային մատրիցների վրա կառուցված ԻՄ-երը: Տարաչափ տարրերի դեպքում, ինչպիսիք են ստանդարտ տարրերի գրադարանների հիման վրա նախագծվող ԻՄ-երի տարրերը, խնդիրը կարելի է ներկայացնել որպես կոպիտ տեղաբաշխման խնդիր՝ տրված $m = k \cdot p$ քանակությամբ տարրերը m դիրքեր պարունակող $k \cdot p$ չափսի մատրիցում տեղակայելով, պայմանով, որ նախնական տեղաբաշխումից հետո՝ լեգալացման փուլում, կկատարվի փոխ-

ծածկումներ առաջացնող տարրերի վերադասավորում: Այսպիսով, ջերմային տեղաբաշխման խնդիրը կարելի է ձևայնացնել և բերել մատրիցային տեսքի:

Վերոնշյալ մատրիցային մոտեցումը հայտնի է որպես մատրիցային սինթեզի խնդիր (ՄՄԽ), որը կոմբինատոր օպտիմալացման խնդիր է [7]: Եթե տեղաբաշխվող տարրերի հզորությունները ներկայացնենք որպես դրանց արժեքներին համապատասխանող թվերի զանգված, ապա ՄՄԽ-ի նպատակն է տրված թվերի ցուցակից սինթեզել այնպիսի մատրից, որ նրա տրված չափսի յուրաքանչյուր ենթամատրիցի ներսի տարրերի գումարը չունենա տրված որոշակի արժեքից մեծ արժեք [7]: Ընդհանուր առմամբ, ՄՄԽ-ի մաթեմատիկական ձևակերպումը հետևյալն է. տրված է ամբողջ տիպի t, m, n ոչ բացասական թվերի ցուցակ $m \times n$ չափսի՝ $X_0, X_1, \dots, X_{m \times n - 1}$, անհրաժեշտ է սինթեզել այնպիսի մատրից տրված թվերի ցուցակից, որ նրա յուրաքանչյուր $t \times t$ չափսի ենթամատրից լինի նվազագույնը [7]: Տեղաբաշխման որակի չափանիշը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ՝

$$F = \max_{j \in E} \sum_{i \in \Omega_j} P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

որտեղ E -ն ենթամատրիցների ինդեքսների բազմությանն է, j -ն՝ հերթական ենթամատրիցի ինդեքսը, Ω_j -ն՝ հերթական ենթամատրիցը, i -ն՝ ենթամատրիցի հերթական տարրը, P_i -ն՝ հերթական տարրի հզորությունը:

Ապացուցված է, որ $t \geq 2$ դեպքում ՄՄԽ-ն NP լրիվ խնդիր է [7]:

Խնդրի նման բարդության հաղթահարման նպատակով մշակվել է էվոլյուցիոն ալգորիթմ: Այն բաղկացած է հետևյալ հիմնական փուլերից՝

1. մուտքային սերնդի պոպուլյացիայի գեներացում,
2. խաչասերում,
3. մուտացիա,
4. սելեկցիա,
5. $|F_p - F_c| < \varepsilon$ պայմանի ստուգում և տեղի չունենալու դեպքում՝ վերադարձ փուլ 2 - ին, հակառակ դեպքում՝ անցում փուլ 6-ին,
6. ավարտ:

Այստեղ F_p -ն և F_c -ն նպատակային ֆունկցիայի արժեքներն են համապատասխանաբար նախորդ և ընթացիկ խտրացիաների ընթացքում, իսկ ε -ը նախագծողի կողմից տրվող գործակից է:

Ստորև դիտարկված են ներկայացված փուլերում լուծվող խնդիրները.

1. Մուտքային սերնդի գեներացում: Որպես էվոլյուցիոն ալգորիթմի մուտքային՝ նախնական սերունդ, կարող է հանդիսանալ պատահական ձևով տարրերի դասավորություն ունեցող կամ այլ ալգորիթմով ստացված մատրիցների զանգվածը:

2. Խաչասերում և մուտացիա: Առաջարկվող ալգորիթմում խաչասերման և մուտացիայի փուլերը համատեղված են և հանդիսանում են միևնույն ընթացակարգի երկու հաջորդական բաղադրիչները: Որպես առաջին բաղադրիչ հանդես է գալիս խաչասերման փուլը, որը նպաստում է հաջորդ սերնդի որակի լավացմանը, իսկ որպես երկրորդ բաղադրիչ՝ մուտացիայի փուլը, որը որոշակի պատահականության կիրառմամբ նպաստում է լոկալ օպտիմումից խուսափելուն: Խաչասերման նպատակով, որպես հաջորդ սերնդի ծնող առանձնակներ, կարող են հանդիսանալ այն 2 մատրիցները, որոնց t^* չափսի ենթամատրիցների համար F գործակիցը ամենափոքրն է: Ընտրված մատրիցների համար կատարվում են հետևյալ գործողությունները.

- հաշվարկվում է բոլոր t^* չափսերի ենթամատրիցների տարրերի գումարը՝ $P_{\Omega_j} = \sum_{i \in \Omega_j} P_i \quad j \in E$,

- հաշվարկված արժեքների հիման վրա ընտրվում են ամենամեծ և ամենափոքր տարրերի գումարային արժեք ունեցող ենթամատրիցները՝ $\Omega_{max}, \Omega_{min}$,

- կատարվում է Ω_{max} և Ω_{min} մատրիցների համապատասխանաբար ամենամեծ և ամենափոքր տարրերի փոխատեղում մի մատրիցից մյուսը:

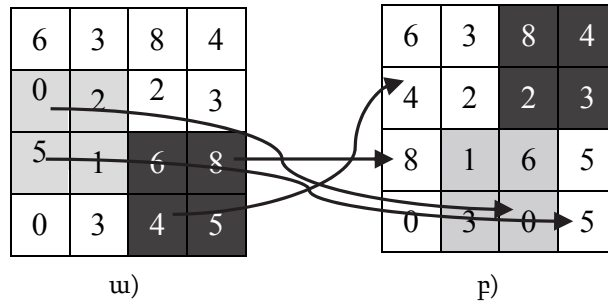
Լոկալ օպտիմումից խուսափելու նպատակով ամենամեծ և ամենափոքր տարրերի փոխատեղումը մի մատրիցից մյուսը կատարվում է ոչ թե անմիջականորեն միմյանց հետ, այլ պատահական ձևով, ինչն էլ հենց հանգեցնում է տեղաբաշխման մուտացիայի: Այդ նպատակով կատարվում են հետևյալ գործողությունները.

- Ω_{max} -ի ամենամեծ էներգասպառում ունեցող տարրը (max) պատահական կերպով տեղափոխվում է Ω_{min} -ի որևէ տարրի տեղը, պայմանով, որ նա չի զբաղեցնի Ω_{min} -ի ամենափոքր էներգասպառում ունեցող տարրի տեղը:

- Համանման գործողությունը կատարվում է նույն Ω_{min} ամենափոքր արժեքով տարրի հետ (min), պայմանով, որ նա չի զբաղեցնի նախորդ կետում տեղափոխված max-ի նախորդ դիրքը:

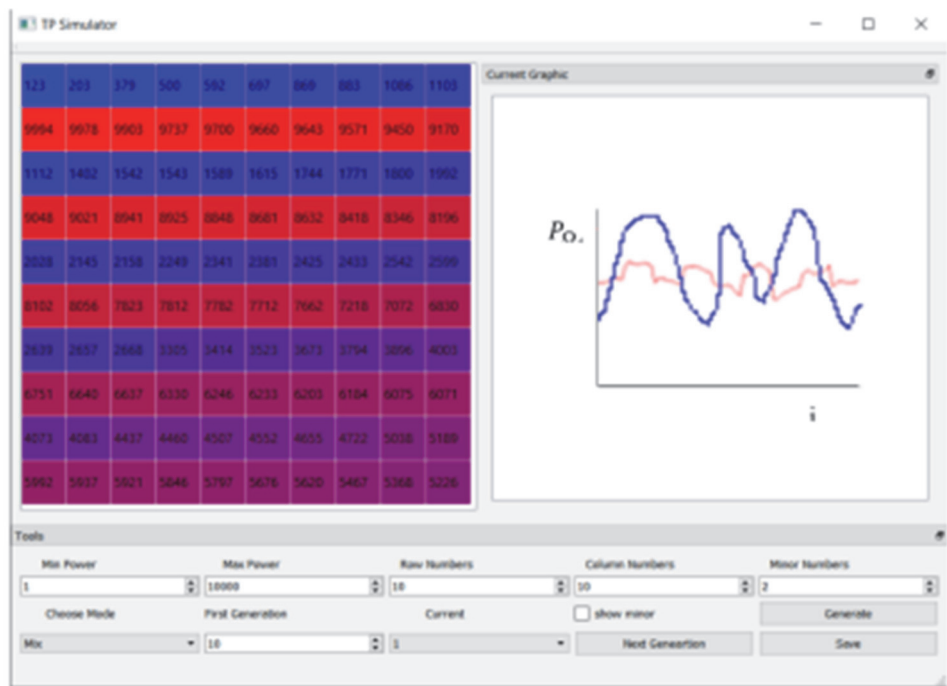
3. Մեկեկցիա: Ստացված նոր մատրիցների սերնդից յուրքանյուրի համար հաշվարկվում է (1) նպատակային ֆունկցիան: Եթե ստացված արժեքը ավելի փոքր է լինում, քան նախորդ սերնդի ծնող մատրիցներից գոնե մեկինը, ապա այդ մատրիցը ավելացվում է հաջորդ սերնդի ծնողային մատրիցների ցուցակում, որում այլևս չի ներառվում նպատակային ֆունկցիայի առավել մեծ արժեք ունեցող մատրիցը:

Ալգորիթմի աշխատանքի մեկ իտերացիան բերված է նկ. 1-ում:



Նկ. 1. Էվոլյուցիոն ալգորիթմի մեկ քայլը՝
 ω -բաց գույնով նշված է $\Omega_{\min}$, մուգ գույնով՝ $\Omega_{\max}$ - մատրիցի վիճակը մեկ իտերացիայից
 հետո

Հետազոտության արդյունքները: Մշակված ալգորիթմի հետազոտության համար առաջարկվել և իրագործվել է հետազոտական ծրագիր: Ծրագրի աշխատանքային պատուհանը ներկայացված է նկ.2-ում: Մշակված ծրագրի նպատակն է ջերմային տեղաբաշխման էվոլյուցիոն ալգորիթմի արդյունավետության հետազոտումը՝ կախված դիտարկվող մատրիցի չափից, լոկալ ենթամատրիցների չափից և իտերացիաների քանակից:



Նկ. 2. Տեղաբաշխման ծրագրային միջոցի աշխատանքային պատուհանը

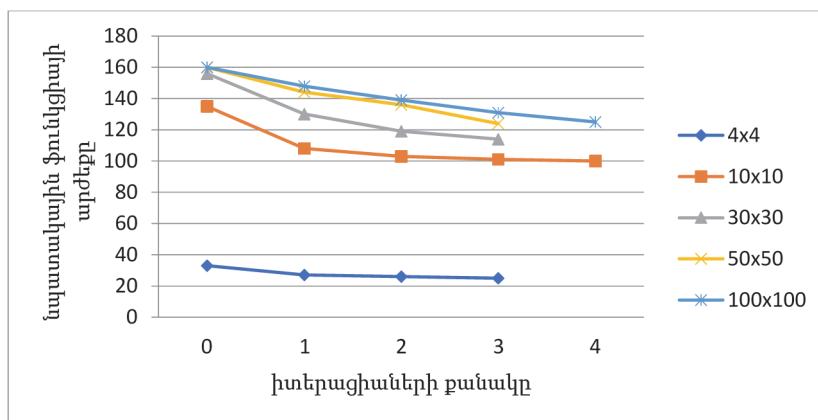
Մշակված ծրագրային միջոցի ինտերֆեյսը բաղկացած է երեք հիմնական աշխատանքային տիրույթներից: Քանի որ ծրագրային միջոցի նպատակն է հետազոտել մշակված ալգորիթմը, ապա նրա գործիքների շարքում ընդգրկվել են կամայական թվերի գեներատորի մուտքին փոխանցվող պարամետրերի ընտրման միջոցներ և գեներտիկ ալգորիթմի մուտքային պարամետրերի փոխանցման միջոցներ, որոնք տեղակայված են **“Tools”** հատվածում: Դրանց հիման վրա ծրագրային միջոցը գեներացնում է կամայական տեղաբաշխմամբ մուտքային սերունդը: **“Current Graphic”** տիրույթում ներկայացված է ընթացիկ պահին աշխատանքային պատուհանի ձախ մասում ցույց տրվող մատրիցի ենթամատրիցների տարրերի գումարների կախվածությունը նրանց ինդեքսներից: Մուգ գույնով ներկայացված է մինչ ալգորիթմի աշխատանքը եղած վիճակը, իսկ բացով՝ ալգորիթմի մի քանի իտերացիաներից հետո ստացված արդյունքը: Ալգորիթմի հետազոտման արդյունքները բերված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

Հետազոտական ծրագրի միջոցով ստացված տվյալները

Մուտքային զանգվածի տարրերի էներգասպառ- ման հնարավոր նվազագույն և առավելագույն արժեքները	Մուտքա- յին սերնդի մատրից- ների քանակը	Մուտքային սերնդի մատրիցի չափսերը	Ենթա- մատ- րիցի չափ- սերը	Յուրաքանչյուր հաջորդ սերնդի գեներացված մատրիցների առավելագույն քանակը	Լավարկման չափանիշի փոփոխու- թյունը սկզբնական և վերջնական սերունդների միջև	Իտերա- ցիա- ների քա- նակը
1-10	10	4x4	2x2	4	33...25	3
1-10	10	10x10	4x4	16	135...100	4
1-10	10	30x30	4x4	16	156...114	3
1-10	10	50x50	4x4	16	160...124	3
1-10	10	100x100	4x4	16	158...118	3

Ինչպես երևում է աղ. 1-ից, մշակված ալգորիթմը 3-4 իտերացիաների արդյունքում լավարկում է մուտքային սերնդի մատրիցների տեղաբաշխումը 23...32%-ով: Նպատակային ֆունկցիայի արժեքի փոփոխությունը հաջորդող իտերացիաների ընթացքում բերված է նկ. 3-ում:



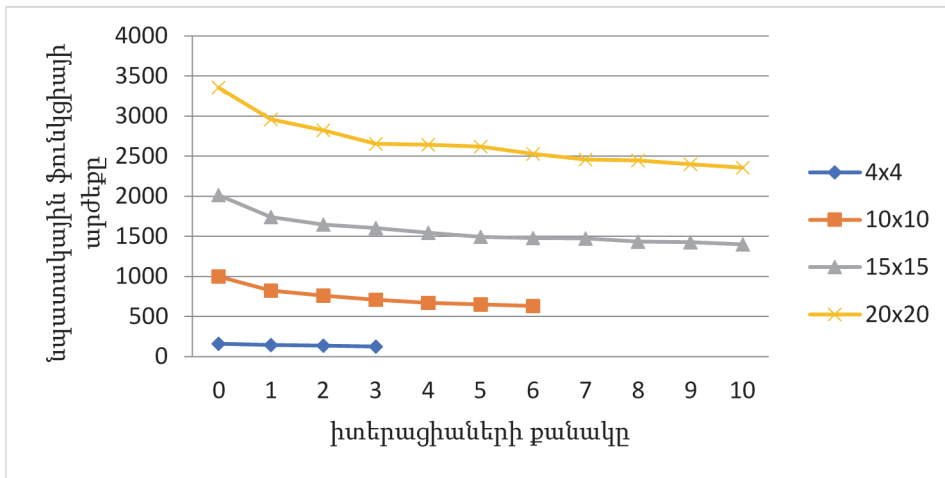
Նկ. 3. Նպտակային ֆունկցիայի փոփոխությունը իտերացիաների ընթացքում տարբեր չափսերի մատրիցների դեպքում

Ինչպես երևում է գրաֆիկներից, նպտակային ֆունկցիայի արժեքը կայունանում է 3...4 իտերացիայից հետո՝ անկախ մատրիցների չափսերից: Կատարվել են նաև փորձարկումներ՝ պահպանելով մուտքային մատրիցի չափսերը և տվյալների բազմությունը, փոփոխելով ենթամատրիցների չափսերը: Փորձարկումները կատարվել են 50x50 չափսի մատրիցի վրա, արդյունքները պատկերված են նկ.4-ում և աղ.2-ում:

Աղյուսակ 2

Հետազոտական ծրագրի միջոցով ստացված տվյալները 50x50 չափսի մատրիցների դեպքում

Մուտքային գանգվածի տարրերի էներգասպառման հնարավոր նվազագույն և առավելագույն արժեքները	Մուտա-քային սերնդի մատրիցների քանակը	Ենթամատրիցի չափսերը	Յուրաքանչյուր հաջորդ սերնդի գենե-րացված մատրիցների առավելագույն քանակը	Լավարկման չափանիշի փոփոխությունը սկզբնական և վերջնական սերունդների միջև	Իտերացիաների քանակը
1-10	10	4x4	16	160...124	3
1-10	10	10x10	100	1000...632	6
1-10	10	15x15	225	2014...1399	10
1-10	10	20x20	400	3357...2357	10



Նկ. 4. Ալգորիթմի իտերացիաների ընթացքը 50x50 չափսի մատրիցների և համապատասխան չափսերի ենթամատրիցների դեպքում

Բերված արդյունքներից երևում է, որ ենթամատրիցների չափսերը մեծացնելու եղանակով հնարավոր է հասնել 30...37% լավարկման:

Եզրակացություն: Առաջարկվել է ԻՄ-երի տարրերի ջերմային տեղաբաշխման մեթոդ, որը հիմնված է էվոլյուցիոն ալգորիթմի վրա: Իրագործվել է ծրագրային միջոց, որով հետազոտվել է մշակված ալգորիթմը: Փորձարկումները ցույց են տվել, որ մուտքային մատրիցների համեմատ ելքային մատրիցներում տեղաբաշխումը 23...32% հնարավոր է լավարկել 3...4 իտերացիայից հետո, իսկ միևնույն մատրիցի չափսերի դեպքում ենթամատրիցների չափսերի մեծացմամբ հնարավոր է հասնել 30...37%-ով ավելի լավ արդյունքների: Հետևաբար, կարելի պնդել, որ մշակված ալգորիթմը կատարում է ԻՄ-ի ջերմային դաշտի համահարթեցում: Այն հնարավոր է ներդնել գոյություն ունեցող ԻՄ-երի ավտոմատացված նախագծման համակարգերում՝ որպես նախնական ջերմային տեղաբաշխման ենթահամակարգ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS).- 2010, 2015.
2. Մելիքյան Վ.Շ., Հարությունյան Ա.Գ., Գևորգյան Ա.Ա. Միկրոէլեկտրոնային սխեմաների ֆիզիկական նախագծման մեթոդներ.- Երևան: Ճարտարագետ, 2015.- 257 էջ:
3. Sherwani N.A. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Intel Corporation.- Kluwer Academic Publishers, 2007.-572 p.
4. Tsai C.H., Kang S.M. Cell-level placement for improving substrate thermal distribution // IEEE Transactions on Computer-Aided Design. - 2000. - Vol. 19, №2. -P. 253-266.

5. **Арутюнян А.Г.** Повышение тепловой надежности интегральных схем на этапе размещения элементов // Вестник ГИУА. Серия “Моделирование, оптимизация, управление.”- Ереван, 2008.- Выпуск 11, том 2.- С. 22-34.
6. **Lee K.K., Paradise E.J., Lim S.K.** Thermal-driven Circuit Partitioning and Floorplanning with Power Optimization // Georgia Institute of Technology by KK Lee. - 2003. -P. 7.
7. **Chu C.C.N., Wong D.F.** A Matrix Synthesis Approach to Thermal Placement // IEEE Trans on Comp.- Aided Design.- Nov. 1998.- VOL.17, No.11. – P. 1166-1174.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22. 02. 2018:

Т.А. ГАСПАРЯН

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА НАЧАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Предложен метод теплового размещения логических ячеек комбинационных схем, основанный на эволюционных алгоритмах. Разработан программный инструмент для исследования эволюционного алгоритма размещения, реализация которого продемонстрировала эффективность предложенного метода с точки зрения выравнивания теплового поля.

Ключевые слова: интегральная схема, тепловое размещение, эволюционный алгоритм.

T.A. GASPARYAN

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF EVOLUTION ALGORITHM FOR THE INITIAL THERMAL PLACEMENT OF INTEGRATED CIRCUIT CELLS

A method for the initial placement of cells of integrated circuits based on the evolution algorithms is proposed. A software tool has been developed for investigating the placement evolution algorithm, the implementation of which has demonstrated the effectiveness of the proposed method in terms of leveling the heat field.

Keywords: integrated circuit, thermal placement, evolution algorithm.