

**ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ, ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ,
ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ**

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ ԵՎ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

ՀՏԴ 004.932:529.254

Ն.Ա. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ռ.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

**SLIC ՍՈՒՊԵՐՓԻԶՍԵԼԱՅԻՆ ՍԵԳՄԵՆՏԱՎՈՐՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ
ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ CIEDE2000 ԳՈՒՆԱՅԻՆ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՆԱՁԵՎԻ
ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

Պատկերների սուպերֆիքսելային սեգմենտավորման արդյունքում ստացվում են փոքր քանակությամբ իմաստալից սեգմենտներ՝ սուպերֆիքսելներ, որոնք սեգմենտավորման հետագա փուլերում փոխարինում են փիքսելներին՝ բեռնաթափելով ալգորիթմի աշխատանքը: Ուսումնասիրվել է SLIC ալգորիթմը [1]: Առաջարկվել է ալգորիթմի ձևափոխում, որտեղ գունային տարբերության հաշվարկի CIE76 բանաձևը փոխարինվում է ավելի կատարելագործված CIEDE2000-ով [2]:

Առանցքային բառեր. սեգմենտավորում, սուպերֆիքսելներ, SLIC, K-means, CIEDE2000, գունային տարբերություն:

Ներածություն: Պատկերների սեգմենտավորումը գործընթաց է, երբ պատկերը մասնատվում է իմաստային մեկնաբանության ենթակա չհատվող ռեգիոնների: Ամեն մի փիքսելը, նախօրոք սահմանված նմանության չափանիշների հիման վրա, դասվում է որոշակի սեգմենտի: Պատկերների սեգմենտավորման մեթոդներից է սուպերֆիքսելային սեգմենտավորումը: Սուպերֆիքսելը տրված հատկանիշների արժեքներով իրար մոտ գտնվող փիքսելների հավաքածու է: Սուպերֆիքսելային սեգմենտավորման արդյունքում պատկերը նկարագրող իմաստաբանական միավորը փիքսելից մեկ մակարդակ վեր է բարձանում՝ դառնալով սուպերֆիքսել: Այս խմբավորումը արդյունավետ է սեգմենտավորման հետագա փուլերի համար, քանի որ արդյունքում մշակման մյուս փուլերը ավելի փոքր քանակի ու ավելի իմաստալից օբյեկտների հետ են աշխատում: Պատկերների սեգմենտավորումն օգտագործվում է օբյեկտների և դրանց եզրագծերի փնտրման, օբյեկտների ճանաչման, պատկերում առաջնային և հետին պլանների օբյեկտները տարանջատելու և շատ այլ խնդիրներում: Տվյալ աշխատանքում ուսումնասիրվել է սուպերֆիքսելային սեգմենտավորման SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) ալգորիթմը [1]: Վերջինիս հիմքում ընկած է K-means կլաստերավորման ալգորիթմը [3]: Փիքսելների բաշխումը կատարվում է տարածական և գունային հատկանիշների տարածություններում: Տարածական հեռավորությունը հաշվարկվում է հարթության երկու կետերի միջև հե-

ռավորության բանաձևով (3): Գունային հեռավորությունը հաշվարկվում է CIE76 գունային տարբերության բանաձևով (2): Մենք առաջարկում ենք գունային տարբերությունը հաշվարկել CIEDE2000 բանաձևով [2]: Աշխատանքի շրջանակներում մշակվել է ծրագիր, որն իրականացնում է SLIC ալգորիթմը՝ օգտագործելով CIEDE2000 բանաձևը (4): Արդյունքները փորձարկվել են նկարների սեգմենտավորման համար Բերքլիի համալսարանի կողմից տրամադրված փորձարարական հավաքածուի վրա [4]: Փորձերը ցույց են տվել, որ մեր մոտեցման կիրառման արդյունքում սուպերփիքսելներն ունենում են ավելի կանոնավոր եզրեր, և 70% դեպքերում առաջարկվող լուծումն առավել ճշգրիտ է համընկեցնում սուպերփիքսելի եզրագիծերը նմուշային օրինակում համապատասխան սեգմենտի եզրագծերին:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Սեգմենտավորման մեթոդներից շատերի դեպքում օգտագործվում է պատկերի փիքսելների կավարը: Վերջինում յուրաքանչյուր փիքսել մշակման արդյունքում դասվում է որևէ սեգմենտի: Նման մոտեցմամբ են աշխատում սեգմենտավորման ալգորիթմների մեծ մասը: Սակայն տեսարանի ներկայացման տեսանկյունից այս մոտեցումը բնական չէ: Առաջադրված խնդիրն է պատկերը սեգմենտների բաժանելու գործընթացը: Այդ խնդիրը լուծելու համար իմաստալից է օգտագործել ոչ թե առանձին փիքսելները, այլ դրանց որոշակի հատկանիշներով միավորված տարածաշրջանները, որոնք կոչվում են սուպերփիքսելներ: Այս պարագայում սեգմենտավորման ալգորիթմի հետագա փուլերն օգտագործում են սուպերփիքսելները, ինչն ապահովում է մի շարք առավելություններ.

- Այս մեթոդը հաշվարկային տեսանկյունից ավելի արդյունավետ է, քանի որ մշակվող հարյուր հազարավոր փիքսելները փոխարինվում են մի քանի հարյուր սուպերփիքսելներով:
- Սուպերփիքսելները ընկալման տեսանկյունից ավելի իմաստալից են: Ամեն մի սուպերփիքսել համապարփակ միավոր է, որը պարունակում է այնպիսի փիքսելներ, որոնք ունեն նման հատկանիշներ՝ գույն, տեքստուրա, դիրք և այլն:

Սուպերփիքսելային սեգմենտավորումը նախնական մշակման փուլ է, որի արդյունքում ստացված սուպերփիքսելները սեգմենտավորման հետագա փուլերում միավորվում են իրար հետ՝ կազմելով վերջնական իմաստալից սեգմենտներ:

SLIC ալգորիթմը: Պատկերների սեգմենտավորումը կարելի է դիտարկել որպես պատկերի փիքսելների կլաստերավորման խնդիր: Կլաստերավորման ալգորիթմներից սեգմենտավորման համար կիրառելի է K-means ալգորիթմը [3], որը խտեբացիոն մեթոդով բաշխում է փիքսելները K կլաստերների միջև: SLIC ալգորիթմը [1] հիմնված է K-means կլաստերավորման ալգորիթմի վրա: Սակայն այն իր հերթին մտցնում է որոշ սահմանափակումներ.

- Փնտրման տարածքը սահմանափակվում է սուպերփիքսելի չափին հարաբերական մեծությամբ:
- Մտցվում է հեռավորության կշիռ գաղափարը, որը հաշվարկվում է տարածական և գունային հատկանիշների տարածությունում՝ նմանության հիման վրա:
- Տրամադրվում է սուպերփիքսելների չափը ղեկավարելու հնարավորություն:

Ալգորիթմի աշխատանքի համար նրան տրվում է կավար, որը սահմանում է սուպերփիքսելների ցանկալի չափը և քանակը: Կավարը ներկայանում է S քայլի մեծությամբ պարամետրի միջոցով: Սուպերփիքսելների կոմպակտությունը տրվում է m պարամետրի միջոցով, որի էմպիրիկ օպտիմալ արժեքն է 20: Պատահական ընտրվող կենտրոնները տեղաշարժվում են դեպի 3×3 հարևանության մեջ ամենացածր գրադիենտի արժեք ունեցող կետը, որպեսզի չհայտնվեն եզրի վրա: Որպես հատկանիշներ ընտրվում են գույնը՝ $L^*a^*b^*$ գունային տարածությունում և դիրքը $(l_i, a_i, b_i, x_i, y_i)^T$: Ենթադրենք՝ սուպերփիքսելի չափերն են $S \times S$: Ամեն մի փիքսել հաշվարկվում է իր հեռավորությունը միայն այն կենտրոնից, որին շրջափակող $2S \times 2S$ ուղղանկյան մեջ ինքը գտնվում է: Հեռավորությունը տրվում է (3) բանաձևով:

$$D_s = d_{lab} + \frac{m}{S} d_{xy}, \quad (1)$$

$$d_{lab} = \sqrt{(l_i - l_j)^2 + (a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2}, \quad (2)$$

$$d_{xy} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}: \quad (3)$$

Այն փիքսելները, որոնք չեն գտնում իրենց համապատասխանող կենտրոնը, վերագրվում են մոտակա կլաստերի կենտրոնին՝ օգտագործելով միացված բաղադրիչների ալգորիթմը:

Առաջարկվող մոտեցումը: SLIC ալգորիթմում գունային հեռավորության հաշվարկը իրականացվում է 1976 թվականին CIE (TC 1-29) հանձնաժողովի կողմից հրատարակված CIE76 բանաձևով (2): Այստեղ օգտագործվում է $L^*a^*b^*$ գունային տարածությունը, որում գույնի պարամետրերից մեկի արժեքի փոփոխումը ընկալման տեսանկյունից համաչափ է գույնի փոփոխմանը: 1994 թվականին նույն հանձնաժողովը հրատարակեց CIE94 բանաձևը, որն ուղղում էր ընկալողական համաչափության խնդիրները՝ մնալով $L^*a^*b^*$ գունային տարածությունում: Տարբերությունը հաշվարկվում է $L^*c^*h^*$ գունային տարածությունում: Համապատասխան բաղադրիչները հաշվարկվում են $L^*a^*b^*$ տարածությունում: Սակայն այս մոտեցումը պատշաճ մակարդակով չլուծեց առաջադրված խնդիրը, և 2000 թվականին CIE

հանձնաժողովը 5 ուղղում մտցրեց CIE94-ի մեջ և հրատարակեց CIEDE2000 բանաձևը (4) [2]: Ուղղումները ներառում էին՝

- երանգի պտույտի R_T գործակիցը, որը լուծում է հ բաղադրիչի 275 արժեքում կապույտ ռեգիոնի առաջացման խնդիրը,
- կոմպենսացնում է չեզոք գույները,
- կոմպենսացնում է լուսավորությունը (S_L),
- կոմպենսացնում է գունայնությունը (S_C),
- կոմպենսացնում է երանգը (S_H):

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}, \quad (4)$$

$$C_1^* = \sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}}, C_2^* = \sqrt{a_2^{*2} + b_2^{*2}}, \Delta L' = L_2^* - L_1^*, \bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2}, \bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2},$$

$$a'_1 = a_1^* + \frac{a_1^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right), a'_2 = a_2^* + \frac{a_2^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right),$$

$$\bar{C}' = \frac{C'_1 + C'_2}{2}, \Delta C' = C'_2 - C'_1, C'_1 = \sqrt{a'^2_1 + b_1^{*2}}, C'_2 = \sqrt{a'^2_2 + b_2^{*2}}:$$

$$h'_1 = \text{atan2}(b_1^*, a'_1) \bmod 360^\circ, h'_2 = \text{atan2}(b_2^*, a'_2) \bmod 360^\circ:$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_2 - h'_1 & |h'_1 - h'_2| \leq 180^\circ \\ h'_2 - h'_1 + 360^\circ & |h'_1 - h'_2| > 180^\circ, h'_2 \leq h'_1, \\ h'_2 - h'_1 - 360^\circ & |h'_1 - h'_2| > 180^\circ, h'_2 > h'_1: \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C'_1 C'_2} \sin\left(\frac{\Delta h'}{2}\right),$$

$$\bar{H}' = \begin{cases} \frac{h'_1 + h'_2 + 360^\circ}{2} & |h'_1 - h'_2| > 180^\circ \\ \frac{h'_1 + h'_2}{2} & |h'_1 - h'_2| \leq 180^\circ, \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ),$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L} - 50^\circ)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50^\circ)^2}}, S_C = 1 + 0.045\bar{C}', S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T,$$

$$R_T = -2 \sqrt{\frac{\overline{C'}^7}{\overline{C'}^7 + 25^7}} \sin \left[60^\circ \cdot \exp \left(- \left[\frac{\overline{H'} - 275^\circ}{25^\circ} \right]^2 \right) \right],$$

$$k_L = k_C = k_H = 1, K_1 = 0.045, K_2 = 0.015:$$

Վերը նշված օպտիմալացումները հաշվի առնելով՝ տվյալ աշխատանքում առաջարկվել է գունային տարածությունում տարբերության հաշվարկի համար օգտագործել CIEDE2000 բանաձևը՝ ներկայումս կիրառվող CIE76-ի փոխարեն:

Հետազոտության արդյունքները: Աշխատանքի շրջանակներում մշակվել է SLIC սուպերփիքսելային սեգմենտավորման ալգորիթմի ձևափոխված տարբերակ, որը CIE76-ի փոխարեն օգտագործում է CIEDE2000 գունային տարբերության հաշվարկի բանաձևը: Վերջինս գույները տարբերակելիս հաշվի է առնում ընկալողական համաչափությունը և մի շարք այլ գործոններ, որոնք թերի էին հին բանաձևում: Արդյունքում՝ մշակվել է ծրագիր, որն իրականացնում է SLIC ալգորիթմի մեր առաջարկած ձևափոխումը: Բնօրինակ և փոփոխված ալգորիթմների ծրագրերը գրվել են C++ լեզվով, Windows օպերացիոն համակարգի համար: Ծրագրերը փորձարկվել են նկարների սեգմենտավորման համար Բերքլիի համալսարանի տրամադրած փորձարարական հավաքածուի վրա [4]: Փորձերի արդյունքները ցույց են տվել, որ ալգորիթմի առաջարկվող ձևափոխումը 70% դեպքերում ավելի ճշգրիտ է գտնում սուպերփիքսելների եզրերը (նկ. 1): Ճշգրտությունը ստուգելու համար ստացված սուպերփիքսելների եզրագծերը համեմատվել են վերջնական սեգմենտավորման՝ նմուշային հանդիսացող սեգմենտների եզրագծերի հետ: Պատկերի սուպերփիքսելային սեգմենտավորման դեպքում կարևոր չափանիշ է համարվում սուպերփիքսելների եզրագծերում տատանումների բացակայությունը: Սա հանգեցնում է սուպերփիքսելների միաձևության, ինչը կարևոր պահանջ է սեգմենտավորման խնդրում: Փորձարկման արդյունքներում ստանում ենք, որ մեր կողմից առաջարկվող ալգորիթմի փոփոխությունը հանգեցնում է պատկերում սուպերփիքսելների եզրագծերի հարթեցմանը: Այս արդյունքը գրանցվել է փորձերի 95%-ի դեպքում:



Նկ. 1. Փորձնական արդյունքները. սյուները ձախից աջ. 1.պատկերի բնօրինակը, 2. Պատկերի նմուշային սեգմենտավորումը, 3. SLIC ալգորիթմի կիրառումը CIE76 բանաձևի կիրառմամբ, 4. SLIC ալգորիթմի կիրառումը CIEDE2000 բանաձևի կիրառմամբ

Եզրակացություն: Ամփոփելով փորձի արդյունքները, կարող ենք ասել, որ աշխատանքում առաջարկվող մոտեցումը որակական տեսանկյունից կատարելագործում է SLIC ալգորիթմը՝ արդյունքում գտնելով սուպերփիքսելներ, որոնց եզրերն ավելի հարթ են ու դեպքերի մեծ մասում ավելի մոտ են նմուշային սեգմենտավորման եզրերին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Slic superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods /**R. Achanta, A. Shaji, K. Smith, et al** // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.-2012.-Vol. 34, No. 11.- P. 2274-2281.
2. **Sharma G., Wu W., Dalal E.** The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations // Color Research & Applications.-2005.-Vol. 30, No. 1.-P.21-30.
3. **MacQueen J.** Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations // Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. - Berkeley, University of California Press,1967.-Vol. 1.- P.281-297.
4. **Martin D., Fowlkes C., Tal D., Malik J.** A Database of Human Segmented Natural Images and Its Application to Evaluating Segmentation Algorithms and Measuring Ecological Statistics // Proc. Eighth IEEE Int'l Conf. Computer Vision.-2001.-Vol. 2.- P.416 - 423.

Н.А. АЙРАПЕТЯН, Р.Г. АКОБЯН

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА СУПЕРПИКСЕЛЬНОЙ
СЕГМЕНТАЦИИ SLIC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРМУЛЫ
ЦВЕТОВОГО РАЗЛИЧИЯ CIEDE2000**

Суперпиксельная сегментация изображений строит небольшое количество схожих с точки зрения восприятия сегментов, называемых суперпикселями, которые заменяют пиксели, тем самым облегчая нахождение сегментов в следующих стадиях. Исследуется алгоритм SLIC. Предлагается заменить формулу вычисления разности цветов CIE76 на более усовершенствованную CIEDE2000.

Ключевые слова: сегментация, суперпиксели, пересегментация, SLIC, K-means, CIEDE2000, цветовая разность.

N.A. HAYRAPETYAN, R.G. HAKOBYAN

**IMPROVING THE SLIC SUPERPIXEL SEGMENTATION ALGORITHM
USING THE CIEDE2000 COLOR-DIFFERENCE FORMULA**

The superpixel segmentation of an image creates a small number of perceptually uniform segments called superpixels, substituting the pixels, and thus easing the process of segmentation at the next stages. The Simple Linear Iterative Clustering (SLIC) algorithm that uses the CIE76 formula for color-difference computation is studied. It is proposed to use the computationally more evolved and sophisticated CIEDE2000 formula to enhance the SLIC.

Keywords: segmentation, superpixels, oversegmentation, SLIC, Simple Linear Iterative Clustering, K-means, CIEDE2000, color-difference.

UDC 541.124.2

G.H. KIRAKOSYAN, V.G. KHACHATURYAN, L.G. KIRAKOSYAN

**MODELING AND DESIGN OF A DC MOTOR WITH A PID CONTROLLER
BY MATLAB SOFTWARE**

A new method for modeling, analysis and control of the PID controller by MATLAB software is presented.

Keywords: DC motor, controller, Proportional Integral Derivative (PID), velocity, angle, script file.

Introduction. Photovoltaic array installations are becoming more prevalent around the world. Each of these solar parks has an expected lifetime of 20 – 25 years, and it is vital to maximize the power generating potential during the daily service. The accumulation of dust particles and debris on the surface of photovoltaic (PV) panels affects the performance negatively, the same way as on a cloudy day. This is