

(19) REPUBLIKA SRBIJA

(12) Patentni spis

(11) 55002 B1



ZAVOD ZA
INTELEKTUALNU SVOJINU
BEOGRAD

(51) Int. Cl
G 06 T 3/40 (2006.01)
H 04 N 1/40 (2006.01)
H 04 N 9/04 (2006.01)

(21) Broj prijave: **P-2012/0574**
(22) Datum podnošenja prijave: **26.12.2012.**
(43) Datum objavljivanja prijave: **29.08.2014.**
(45) Datum objavljivanja patenta: **30.11.2016.**
(30) Međunarodno pravo prvenstva:

(73) Nosilac patenta:
RT-RK D.O.O.,
Narodnog Fronta 23a,
21000 Novi Sad, RS

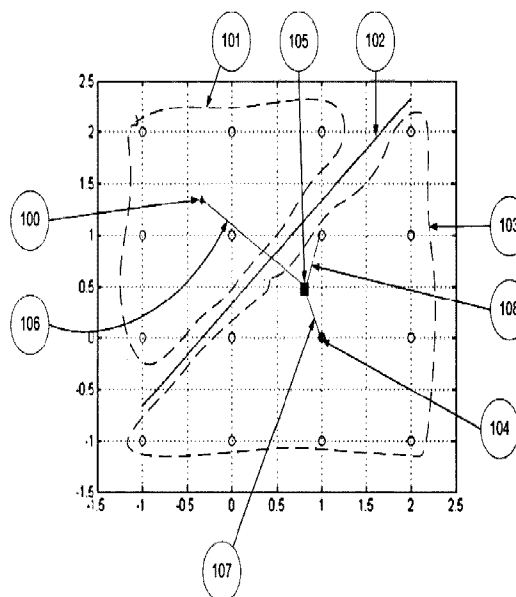
(72) Pronalazači:
TEMERINAC, Miodrag, dr.; LUKAČ, Željko;
LUKIĆ, Nemanja; POKRIĆ, Maja, dr.

(54) Naziv: **METOD ZA INTERPOLACIJU
SLIKE SA OČUVANJEM IVICA ZA
PROIZVOLJAN FAKTOR SKALIRANJA**

(51) Int. Cl
G 06 T 3/40 (2006.01)
H 04 N 1/40 (2006.01)
H 04 N 9/04 (2006.01)

(57) Apstrakt:

Metod za interpolaciju slike sa očuvanjem ivica za proizvoljan faktor skaliranja uvodi novi metod za interpolaciju slike sa osnovnom idejom da se očuvaju ivice u slici. Metod se sastoji od dva koraka. U prvom koraku se vrši podela originalnih tačaka u maksimalno dve grupe (100, 103) tačaka sličnosti, i određuje se kojoj grupi pripada tačka (105) interpolacije (interpolirana tačka), a u drugom koraku se radi interpolacija korišćenjem gravitacionog algoritma isključivo na osnovu vrednosti tačaka grupe kojoj pripada tačka (105) interpolacije.



RS 55002 B1

Области технике на коју се проналазак односи

Проналазак припада пољу обраде слике у мултимедијалним системима, са посебним освртом на технике за интерполацију слике са очувањем ивица.

Ознака према међународној класификацији патената (МКП) је: **H04N 9/04, H04N 1/40.**

Технички проблем

Технике за интерполацију слике пружају побољшање квалитета резолуције, и оне представљају неизоставни део у поступку обраде слике. У мултимедијалним системима суочавамо се са проблемом приказивања слика у различитим форматима, на различитим излазним уређајима, са различитим резолуцијама. У медицинским и сателитским поступцима обраде и анализе слике захтева се добра резолуција. Методе интерполације које се примењују у тим случајевима могу бити супер-резолуција, скалирање слике, одабирање, зумирање, проширење и увећање слике. Кључни проблем поступка интерполације слике јесте како извршити интерполацију слике, при чему ивице остају очуване за произвољан фактор скалирања, односно проналазак непознате вредности пиксела слике, која се интерполира, у тачкама које не припадају координатној мрежи оригиналне слике. Под одређеним претпоставкама, ове непознате вредности могу бити адекватно процењене на основу познавања вредности пиксела слике и позиције тачке интерполације у координатној мрежи оригиналне слике.

Постоје различити алгоритми интерполације који су се нашли у практичној примени. Неки типични алгоритми јесу: *"sample and hold"* (најближи сусед) , билинеарна интерполација и *"Lai"* алгоритам који ставља акценат на побољшање квалитета интерполације на ивицама.

Проблеми који постоје у до сада описаним алгоритмима везани су континуирано за постизање што бољег начина за интерполацију текуће слике. Проналазак уводи нов начин интерполације тачака у два корака: груписање околних тачака у две групе сличности њихових вредности уз придруживање тачке у којој се интерполише ближеј групи, и интерполацију користећи само тачке из одабране групе сличности уз тежишта која се одређују аналогно закону гравитационог привлачења.

Стање технике

На основу досадашњих истраживања у даљем тексту приказана су нека од заштићених решења са освртом на разлике у односу на постојећи проналазак.

Патентна пријава US2007/0091188 објављена 26. априла 2007. године под називом *"Adaptive classification scheme for CFA image interpolation"* од стране компаније *"STMicroelectronics"*

се односи на генерално сличну технику интерполације међутим, проналазак се разликује по начину поделе на групе сличности/регионе и начину одређивања коефицијената интерполације (поступак и формуле).

Патент US6263120 објављен 17. јула 2001. године под називом *"Image data interpolation processing method"* од стране компаније *"Sharp Kabushiki Kaisha"* говори о још једном начину интерполације слике међутим, разликује се по начину одабира коефицијената за интерполацију. Такође овај патент говори о примени различитих врста интерполација на различитим регионима у слици.

Патент US7796191 објављен 14. септембра 2010. године под називом *"Edge-preserving vertical interpolation"* од стране компаније *"NVIDIA Corporation"* односи се на методу интерполације, међутим, не спомиње метод издвајања региона као ни специфичан прорачун коефицијената интерполације у складу са проналаском.

Патент US7286721 објављен 23. октобра 2007. године под називом *"Fast edge-oriented image interpolation algorithm"* од стране компаније *"Leadtek Research Inc."* односи се на област обраде слике, води рачуна о ивицама у слици и говори о различитим интерполацијама над различитим регионима у слици. Проналазак се разликује од постојећег патента јер уноси новину у начину сортирања тачака у две групе, и такође уноси нов начин прорачуна интерполационих коефицијената.

Патентна пријава EP1113389 A2 објављена 4. јула 2001. године под називом *"Method and apparatus for image interpolation"* од стране компаније *"STMicroelectronics, Inc."* односи се на поступак интерполације, међутим, као у претходним случајевима, не спомиње се раздвајање тачака у регионе, као ни прорачун коефицијената интерполације на начин на који предлаже проналазак.

Научни рад под називом *"Edge Preserving Interpolation of Digital Images Using Fuzzy Inference"* објављен 9. јула 1997. године, говори о методи интерполације раздвајањем тачака на регионе и коришћењем два типа интерполације. Проналазак се разликује у начину поделе тачака у регионе сличности и специфичном прорачуну интерполационих коефицијената, и тежишта.

Научни рад под називом *"Advanced edge-preserving pixel-level mesh data-dependent interpolation technique by triangulation "* објављен 27. октобра 2011. године, говори о интерполацији слике са очувањем ивица, међутим, као и у претходним случајевима није споменута подела пиксела и прорачун тежишта.

Патент US5054100 објављен 01. октобра 1991. године под називом *"Pixel interpolator with edge sharpening"* од стране компаније *"Eastman Kodak Company"* описује поступак интерполације међутим, начин метода одређивања група сличности није споменута.

Научни рад под називом *"Adaptive image scaling based on local edge directions"*, објављен јуна 2010. од стране аутора Yen-Tai Lai, Chao-Feng Tzeng и Hung-Chu Wu, Cheng Kung Универзитета на Тајвану, предлаже алгоритам за интерполацију са очувањем ивица, али се разликује у начину одабира коефицијената интерполације.

Патентна пријава GB2487241 A објављена 17. јануара 2011. године под називом *"Feature Aligned Interpolation Using Colour Components"* од старане компаније *"Sony Corporation"* предлаже метод за интерполацију, где се интерполација врши помоћу дводимензионалних филтара на основу детектоване оријентације карактеристика слике на позицији пиксела који се интерполира. Метод се састоји од детекције активности слике, односно различитости пиксела, детекције оријентације карактеристике слике, на пример детекције угла на слици, и интерполације. Предложени проналазак врши сортирање тачака оригиналне слике у две групе и одређивање тежишта у обе групе тачака. Након тога се врши прорачун интерполационих коефицијената по "гравитационом закону".

Излагање суштине проналаска

Проналазак представља нови алгоритам за интерполацију слике. Задатак проналаска јесте да очува ивице у слици (оштрину) приликом поступка интерполације и самим тим да очува природни изглед слике уз могућност имплементације на платформама са ограниченим ресурсима. Алгоритам узима у обзир оригиналне вредности суседних тачака у региону око тачке интерполације. Метода интерполације коју проналазак предлаже састоји се од два корака. У првом кораку се тачке оригиналне слике сортирају у две групе сличних тачака, а затим се дефинише линија раздвајања (граница) између ове две групе (региона) и одређују се тежишта у обе групе понаособ. Припадност тачке у којој се врши интерполација једној од две наведене групе, се одређује тако да се узима она група сличности до које је растојање између тежишта и тачке интерполације мање.

У другом кораку проналазак предлаже нов начин интерполације базиран на тзв. гравитационом (енг. "gravity") закону, по аналогији са законом гравитације, где се одређују коефицијенти интерполације који су обрнуто сразмерни квадратима растојања тачке у којој се врши интерполација и оригиналних тачака са познатим вредностима које припадају изабраној групи сличности. Претпоставка је да минимална величина интерполираног региона износи $V_i=2$, а проучавани регион мора бити исте величине или већи $V_c=2,4,\dots$.

Слику можемо дефинисати као 2-D координатну мрежу тачака, димензија $V \times H$, са координатама (v,h) . У координатној мрежи се свакој тачки (пикселу) придружује тројка вредности $I_0(v,h,c)$. Прве две компоненте $(v=1,2,\dots,V$ и $h=1,2,\dots,H)$ представљају координате тачке у слици, док

са компонентом c ($c=1,2,\dots,C$) су означене вредност слике у тачки (v,h) . Монохроматске (црно-беле) слике имају само једну компоненту ($C=1$), док слике у боји имају три компоненте ($C=3$) које могу бити или црвена-зелена-плава (R,G,B) компонента или осветљај са две хроматске компоненте (Y,C_r,C_b). Претпоставља се да опсег ових компоненти је између 0 и 1. Промена величине слике дефинише се преко два фактора скалирања, вертикалног S_v и хоризонталног S_h . Затим, интерполирана слика $I_i(p,q,c)$ ће имати координатну мрежу са $P*Q$ тачака ($p=1,\dots,P$ и $q=1,\dots,Q$) при чему су $P=S_v*(V-1)+1$ and $Q=S_h*(H-1)+1$. Приликом поступка интерполације величина координатне мреже нове слике не мора одговарати величини оригиналне слике, односно координате тачака се не морају подударати са координатама тачака у оригиналној слици. Циљ проналаска јесте одређивање вредности интерполиране слике $I_i(p,q,c)$ на начин да се прво тачке оригиналне слике сортирају специфичним поступком у две групе сличности, затим се одређују коефицијенти интерполације по аналогији са гравитационим законом (енг. "gravity law").

Кратак опис слика проналаска

Слика 1 илуструје предложени поступак интерполације где су кружићима приказани положаји тачака у којима су познате вредности слике I_0 , а квадратићем је приказан положај тачке у којој се рачунају интерполиране вредности – тачке интерполације. Слика 1 показује пример за $V_c=4$ и $V_i=2$.

Детаљан опис проналаска

Проналазак предлаже нови алгоритам за интерполацију слике са идејом очувања ивица у слици. Први корак јесте препознавање група 101, 103 тачака сличности у оквиру слике и интерполација вредности слике коришћењем само дела оригиналних тачака у зависности од позиције тачке 105 интерполације (интерполиране тачке). Прво се идентификују групе 101, 103 тачака сличности у контекст региону и одређује гранична линија 102 раздвајања између ових група, тако да се за сваку групу одреде тежишта 100, 104. Затим се тачка 105 интерполације смешта у ону групу сличних тачака чије је тежиште ближе тачки 105 интерполације. На крају се врши интерполација коришћењем оригиналних тачака из региона интерполације које припадају овој групи сличних тачака. Проналазак предлаже коришћење алгоритма интерполације базираног на гравитационом закону, при чему су коефицијенти интерполације инверзно пропорционални квадратима растојања 108 тачке 105 интерполације од оригиналних тачака.

За одређивање групе 101 тачака сличности и групе 103 тачака сличности, по критеријуму сличности, посматра се регион околних тачака (B_c), а за интерполацију се посматра један, мањи, под-регион (B_i) који се издваја из B_c региона ($B_i \leq B_c$).

Препознавање група 101,103 тачака сличности, заснива се на сортирању улазних вредности слике у контекстном региону- B_c и тражења максималне разлике између две суседне вредности. У првом кораку врши се сортирање улазних вредности 2D матрице у матрицу величине $B_c \cdot B_c$, као што је описано изразом 1. Затим се врши сортирање независно за сваку компоненту боје, описано изразом 2, и проналази се низ одговарајућих индекса $n_c(k)$. Максимална разлика вредности у слици $D_{c,\max}$ идентификује се проналажењем одговарајућег фактора $k_{c,\max}$, као што је приказано у изразу 3.

$$S((v-1) \cdot B_c + h, c) = I_{in}(v, h, c) \quad v = 1, \dots, B_c \quad h = 1, \dots, B_c \quad (1)$$

$$S_c(n) = S(n_c(k), c) \quad k = 1, \dots, B_c \cdot B_c \quad (2)$$

$$n_c(k) : S(n_c(k), c) \leq S(n_c(k+1), c)$$

$$k_{c,\max} : D_{c,\max} = |S_c(k_{c,\max}, c) - S_c(k_{c,\max} + 1, c)| = \max_{k=1, \dots, B_c \cdot B_c - 1} \{S_c(k, c) - S_c(k+1, c)\} \quad (3)$$

На крају, компонента боје са највећом вредношћу разлике у слици дефинише индекс раздвојања између две групе 101, 103 тачака сличности у слици и два низа оригиналних индекса n_1 и n_2 за сваку групу, као што је представљено изразом 4. Координате свих посматраних тачака су дефинисане изразом 5 као и одговарајући низови у комплексном облику у складу са правилом сортирања датим у изразу 1.

$$k_{\max} = k_{c_m, \max} : D_{\max} = D_{c_m, \max} = \min_{c=1, \dots, C} \{D_{c, \max}\}$$

$$n_1(k) = n_{c_m}(k) \quad k = 1, \dots, k_{\max} \quad (4)$$

$$n_2(k) = n_{c_m}(k_{\max} + k) \quad k = 1, \dots, B_c \cdot B_c - k_{\max}$$

$$d((v-1) \cdot B_c + h, c) = h - B_c / 2 + i \cdot (v - B_c / 2) \quad v = 1, \dots, B_c \quad h = 1, \dots, B_c \quad (5)$$

Тежиште 100 прве групе 101 тачака сличности и тежиште 104 друге групе 103 тачака сличности дефинисана су изразом 6. На Слици 1 приказан је пример груписања тачака у две групе 101, 103 тачака сличности, са тежиштима 100 прве групе 101 тачака сличности и тежиштем 104 друге групе 103 тачака сличности, затим гранична линија 102 раздвајања, растојање 108 тачке 105 интерполације од оригиналне тачке, затим растојањима 106, 107 тачке 105 интерполације од тежишта 100 прве групе 101 и тежишта 104 друге групе 103 тачака сличности. Изразом 7 дефинисана је припадност једној од две поменуте групе на основу најмањег растојања до тежишта. Растојање 108 тачке 105 интерполације од оригиналне тачке је само један од примера растојања између тачке 105 интерполације и оригиналне тачке (на Слици 1 има 16 оваквих

примера растојања) и растојање 108 тачке 105 интерполације од оригиналне тачке сугерише у изразу 7 кроз dh и dv параметре.

$$d_1 = \frac{\sum_{k=1}^{k_{\max}} d(n_1(k))}{k_{\max}} \quad d_2 = \frac{\sum_{k=1}^{k_{\max}} d(n_2(k))}{B_c \cdot B_c - k_{\max}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{група 101} \quad \text{ако} \quad & |d_1 - (dh + i \cdot dv)| < |d_2 - (dh + i \cdot dv)| \\ \text{група 103} \quad \text{ако} \quad & |d_1 - (dh + i \cdot dv)| \geq |d_2 - (dh + i \cdot dv)| \end{aligned} \quad (7)$$

Важно је такође, одредити којој групи припадају четири тачке из региона интерполације. Оне су позициониране у средини региона од интереса, па су њихови индекси у сортираном низу изражени изразом 8. Укрштање са листом индекса из две групе, приказано изразом 4, користиће се за алокацију тачке 105 интерполације у изразу 9. То значи да L_1 интерполационе (оригиналне) тачке припадају првом региону сличних тачака, а L_2 припадају другом региону сличних тачака.

$$n_i = \left[\frac{B_c \cdot (B_c - 1)}{2}, \frac{B_c \cdot (B_c - 1)}{2} + 1, \frac{B_c \cdot (B_c + 1)}{2}, \frac{B_c \cdot (B_c + 1)}{2} + 1 \right] \quad (8)$$

$$\begin{aligned} u_1 = n_i \cap n_1 = \{u_1(k); k = 1, \dots, L_1\} \quad & L_1 + L_2 = B_i \cdot B_i \\ u_2 = n_i \cap n_2 = \{u_2(k); k = 1, \dots, L_2\} \quad & 0 \leq L_1 \leq B_i \cdot B_i, 0 \leq L_2 \leq B_i \cdot B_i \end{aligned} \quad (9)$$

Доношење одлуке које ће се тачке користити у поступку интерполације укључује два корака. У првом кораку који је описан изразом 10 се испитује да ли је одвајање у две групе 101, 103 тачака сличности, могуће или не. Уколико је одвајање могуће, прелази се на други корак који је описан такође изразом 10, али и изразом 11, након чега се четири тачке интерполације распореде у две групе тачака сличности. На основу израза 9, доноси се одлука на основу мање вредности растојања 106, 107 тачке 105 интерполације од тежишта 100 прве групе 101 тачака сличности и тежишта 104 друге групе 103 тачака сличности.

$$\begin{cases} L = 4 & u = n_i, \quad L_1 = 0 \vee L_2 = 0 \vee |d_1 - d_2| < d_{\min} \vee D_{\max} < D_{\min} \\ \text{други корак} & \text{иначе} \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} L = L_1 & u = u_1, \quad |d_1 - (dh + i \cdot dv)| < |d_2 - (dh + i \cdot dv)| \\ L = L_2 & u = u_2, \quad |d_1 - (dh + i \cdot dv)| \geq |d_2 - (dh + i \cdot dv)| \end{cases} \quad (11)$$

Уколико први корак покаже да одвајање у две групе није могуће, тада се корак одлуке прескаче и интерполација се ради над само једном групом тачака. То се дешава када се све четири тачке налазе у истој групи на основу израза 9, када је удаљеност између тежишта, што је дато изразом 6 испод предефинисаног минималног растојања d_{\min} , и када је максимална разлика вредности слике

између два суседна пиксела у сортираном низу, у изразу 4, испод предефинисаног минималног растојања D_{\min} .

На основу донете одлуке о групи тачака које ће се користити у поступку интерполације, проналазак уводи још једну новину у прорачуну новог сета коефицијената интерполације за L активних тачака интерполације. У даљем тексту описан је прорачун новог сета коефицијената интерполације.

На основу гравитационог закона, коефицијенти су обрнуто сразмерни квадрату растојања од тачака које се користе за интерполацију, на основу израза 12. Растојања су дефинисана изразом 13 и константа K се може добити нормализацијом коју дефинише израз 14 .

$$w(p) = \frac{K}{d_i(p)^2} \quad p = 1, \dots, L \quad (12)$$

$$d_i(p) = |d(u(p)) - (dh + i \cdot dv)| \quad p = 1, \dots, L \quad (13)$$

$$\sum_{p=1}^L w(p) = 1 \Rightarrow K = \frac{\prod_{p=1}^L d_i(p)^2}{\sum_{q=1}^L \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq q}}^L d_i(p)^2} \quad (14)$$

Комбинацијом израза 12 и 13 добијамо интерполационе коефицијенте изражене изразом 15. Интерполација у финалном кораку је приказана изразом 16.

$$w(p) = \frac{\prod_{r=1}^L d_i(r)^2}{\sum_{q=1}^L \prod_{\substack{r=1 \\ r \neq q}}^L d_i(r)^2} \quad p = 1, \dots, L \quad (15)$$

$$d_i(p)^2 \approx |\operatorname{Re}\{d(u(p)) - (dh + i \cdot dv)\}| \cdot |\operatorname{Im}\{d(u(p)) - (dh + i \cdot dv)\}| \quad (16)$$

У случају једне тачке интерполације ($L=1$), три коефицијента интерполације једнаки су нули и четврти има вредност један која одговара "sample-and-hold" интерполацији.

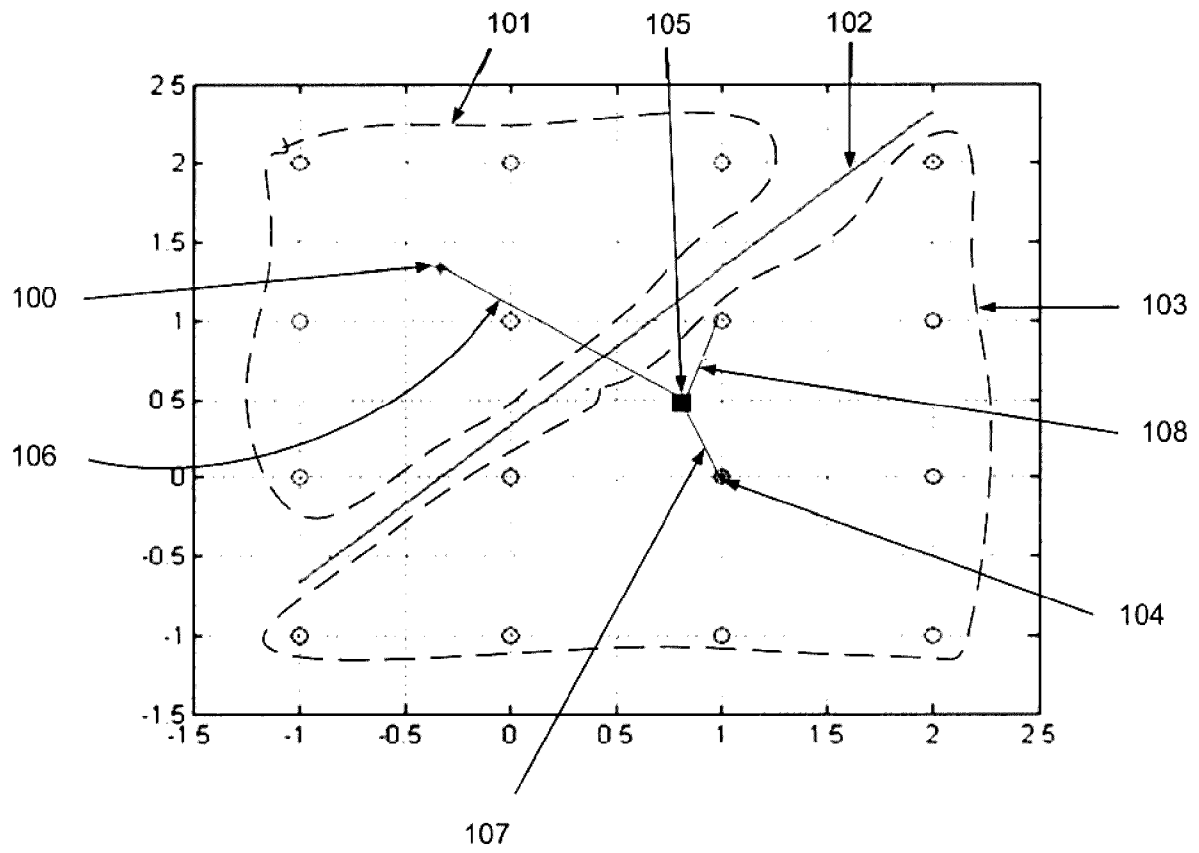
Начин индустријске или друге примене проналаска

Проналазак покрива поље обраде слике у мултимедијалним системима, уводећи нов начин интерполације слике. Проналазак може такође бити примењен у медицинским и сателитским поступцима обраде слике.

Патентни захтеви

1. Метод за интерполацију слике са очувањем ивица за произвољан фактор скалирања, **карактерисан тиме** да се састоји из два корака где се у првом кораку врши груписање околних тачака из познате слике у највише две групе (101,103) тачака сличности, по критеријуму сличности вредности њихових компоненти боја, и одређује припадност тачке (105) интерполације једној од те две групе (101,103) тачака сличности, а у другом кораку се врши интерполација коришћењем тачака само из групе тачака којој припада тачка (105) интерполације .
2. Метод дефинисан према захтеву 1, при чему се груписање околних тачака из познате слике у две групе (101,103) тачака сличности, врши тако да се за сваку компоненту боја, вредности сортирају по величини и у листи сортираних вредности се одређује највећа разлика између две суседне вредности, чиме се тачке из сортиране листе поделе у две групе (101,103) тачака сличности.
3. Метод дефинисан према захтеву 1 и 2, где се у случају слике у боји, када има више компоненти боја, бира сортирана листа где је разлика између суседних вредности у сортираној листи највећа.
4. Метод дефинисан према захтевима од 1 до 3, при чему се припадност тачке (105) интерполације једној од две групе (101,103) тачака сличности са познатим вредностима, одређује на основу тога које је мање од два растојања (106,107) тачке (105) интерполације од тежишта (100) прве групе (101) тачака сличности и тежишта (104) друге групе (103) тачака сличности.
5. Метод дефинисан према захтевима од 1 до 4, где уколико се растојања (106,107) тачке (105) интерполације од тежишта (100) прве групе (101) тачака сличности и тежишта (104) друге групе (103) тачака сличности, занемарљиво разликују, за интерполацију се бирају све тачке из обе групе (101,103) тачака сличности, односно формира се само једна група.
6. Метод дефинисан према захтевима од 1 до 5, при чему се интерполација израчунава само на основу тачака са познатим вредностима из изабране групе по аналогији са законом гравитације, где су интерполациони коефицијенти обрнуто пропорционални растојању тачке (105) интерполације, према свим тачкама само из одабране групе.

7. Метод дефинисан према захтевима од 1 до 6, при чему се за одређивање две групе (101,103) тачака сличности, по критеријуму сличности користи један регион околних тачака (V_c), а за интерполацију се користи један, мањи, под-регион (V_i) који се издваја из V_c региона ($V_i \leq V_c$).



Слика 1.