ISSN 0002-306X. ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. 2020. Հ. LXXIII, N3.

ՀՏԴ 621.391 ՌԱԴԻՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Ս.Գ. ԳՈՄՑԱՆ

ԵՐԿՉԱՓ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄԱԿՆԻՇԱՎՈՐՈՒՄԸ ԹՎԱՅԻՆ ՋՐԱՆԻՇՈՎ՝ ԲԱՐԵՓՈԽՎԱԾ ՎԵՅՎԼԵՏՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Դիտարկվել են տվյալների անվտանգության, ինֆորմացիայի պաշտպանության, հեղինակային և ինտելեկտուալ սեփականության իրավունքների, տվյալների գաղտնիության պահպանման խնդիրները, որոնց լուծումներից մեկն է դրանց մակնիշավորումը լոգոտիպով: Մշակվել է լիֆտինգ-սխեմայով արագ վեյվլետ-ձևափոխությամբ իրականացվող երկչափ պատկերի մեջ թվային ջրանիշի ներդրման ալգորիթմ, որը կիրառում է պատկերների միաձուլման մեթոդ ադիտիվ մեխանիզմով: Ալգորիթմում օգտագործվել են MATLAB միջավայրում լիֆտինգ-սխեմայով նախապես բարեփոխված LS-bior2.6 և LS-cdf2.6 բիօրթոգոնալ վեյվլետները: Ալգորիթմի արդյունավետությունը գնահատվել է մակնշված պատկերի ազդանշան/աղմուկ հարաբերությամբ և վերականգնված ջրանիշի առավելագույն սխալանքով՝ ներդրման գործակցի տարբեր արժեքների դեպքում:

Առանցքային բառեր. թվային ջրանիշ, լիֆտինգ-սխեմա, բիօրթոգոնալ վեյվլետ, տրոհման և վերականգնման վեյվլետ-զտիչներ, մոտարկող և մանրամասնող վեյվլետ-գործակիցներ:

Ներածություն: Համացանցի ներկայիս լայն հնարավորությունները թույլ են տալիս դյուրին և շատ արագ մուտք գործել իֆորմացիայի այս կամ այն աղբյուրը: Սակայն դա իր հերթին վտանգում է տվյալների անվտանգությունը, և առաջանում է ինֆորմացիայի պաշտպանության անհրաժեշտություն: Հեղինակային իրավունքների, ինտելեկտուալ սեփականության իրավունքների կամ տվյալների գաղտնիության պահպանման խնդիրները մեծ ուշադրության էին արժանանում դեռ վաղ ժամանակաշրջանում և մնում են արդիական առ այսօր:

Թվային տվյալների աուտենտիֆիկացման և անօրինական օգտագործման պաշտպանության արդյունավետ միջոց է դրանց մակնշումը թվային ջրանիշներով (ԹՋՆ): Ներկայումս գոյություն ունեն ԹՋՆ-ի տվյալներում ներդրման տասնյակ մեթոդներ: Հիմնական պահանջները, որոնք ներկայացվում են ԹՋՆ-ին, հուսալիությունն է և կայունությունը ինֆորմացիայի վրա տարատեսակ ներգործությունների նկատմամբ, այսինքն այն պետք է լինի աննկատ և կայուն՝ ազդանշանների մշակման հիմնական գործողությունների հանդեպ: Այդ ալգորիթմները հիմնված են ԹՋՆ-ի՝ պատկերի այնպիսի տիրույթներում ներդրման վրա, որոնց նկատմամբ մարդու աչքը այնքան էլ զգայուն չէ, ուստի և ներդրումն էլ դառնում է աննկատ:

Վեյվլետ-ձևափոխությունը տվյալ գործընթացում լայն կիրառում է ստացել անցյալ դարի 90-ական թվականներից և ունի մի շարք առավելություններ մյուս մեթոդների համեմատ.

• լուծաչափման տարբեր աստիճաններով հաճախականային ենթատիրույթների բաժանումը դարձնում է ԹՋՆ-ի միաձուլումը առավել արդյունավետ՝ ըստ բոլոր չափորոշիչ պարամետրերի, քանզի կարելի է ընտրել ենթատիրույթներից առավել նպատակահարմարը,

• ԹՋՆ-ի ներդրումը բարձր հաճախականային (ԲՀ) ենթատիրույթում թույլ է տալիս ապահովել աննկատությունը, քանի որ մանրամասնող գործակիցները ինֆորմացիա են պարունակում պատկերի սահմանների, սուր եզրերի և մակերևույթների անհամասեռության մասին, որոնց նկատմամբ մարդու աչքը զգայուն չէ, սակայն այդ գործակիցները ավելի զգայուն են աղմուկների նկատմամբ, ուստի կա ԹՋՆ-ի աղավաղման մեծ վտանգ,

• լոգոտիպի ներդրումը ցածր հաճախականային (ՑՀ) ենթատիրույթում ապահովում է պատկերի կայունությունը կապուղում առաջացող աղմուկների նկատմամբ և ԹՋՆ-ի ավելի ճշգրիտ վերականգնում, սակայն խնդիրներ են առաջանում աննկատության և ինֆորմացիայի վրա տարատեսակ ներգործությունների նկատմամբ կայունության առումով,

• ստորակարգված դեկոմպոզիցիայի շնորհիվ կրճատվում է հաշվարկային գործողությունների քանակը:

Աշխատանքի նպատակն է իրականացնել դասական վեյվլետ-զտիչների տարրական մոդիֆիկացիա՝ ըստ Սվելդենսի բարելավման լիֆտինգ-սխեմայի [1,2], ինչը հնարավորություն կտա կառուցել ճշգրիտ վերականգնման վեյվլետ-բազիսներ և թույլ կտա առավել արդյունավետ իրականացնել երկչափ պատկերների մակնշումը թվային ջրանիշով:

Խնդրի դրվածքը: Ըստ Վ.Սվելդենսի, եթե հայտնի է $\left[H(z), G(z) \text{ և } \widetilde{H}(z), \widetilde{G}(z)\right]$ ՑՀ և ԲՀ տրոհման և վերականգնման բիօրթոգոնալ զտիչների քառյակը, ապա ճշգրիտ վերականգնում կարելի է իրականացնել նաև $\left[H'(z), G(z) \text{ և } \widetilde{H}(z), \widetilde{G}'(z)\right]$ զտիչներով, որտեղ.

$$H'(z) = H(z) - G(z)P(z^{-2}),\ \widetilde{G}'(z) = \widetilde{G}(z) + \widetilde{H}(z)P(z^{2}): \quad (1)$$

Այստեղ $H'(z)$ և $\widetilde{G}'(z)$-ը զտիչներ են, որոնք բարեփոխվել են մեկ այլ P զտիչի միջոցով: $P(z^2)$-ը դիտարկվում է որպես բարեփոխող վերջավոր հաջորդականություն (օրինակ՝ Լորանի բազմանդամ): $\left[H(z), G(z) \text{ և } \widetilde{H}(z), \widetilde{G}(z)\right]$ բիօրթոգոնալ զտիչների անցումը բարեփոխված $\left[H'(z), G(z) \text{ և } \widetilde{H}(z), \widetilde{G}'(z)\right]$ բիօրթոգոնալ զտիչների կոչվում է լիֆտինգի առաջնային տարրական քայլ:

Եթե բարեփոխման ենթարկվեն $G(z)$ և $\tilde{H}(z)$ զտիչները, ապա ազդանշանի ճշգրիտ վերականգնում կարելի է իրականացնել նաև $[H(z), G^{'}(z)$ և $\tilde{H}^{'}(z), \tilde{G}(z)]$ զտիչներով: Դա կոչվում է լիֆտինգի երկակի քայլ: Այդ դեպքում.

$$G^{'}(z) = G(z) - H(z)Q(z^2),\ \tilde{H}^{'}(z) = \tilde{H}(z) + \tilde{G}(z)Q(z^{-2}), \qquad (2)$$

որտեղ $Q(z^2)$- Լորանի բազմանդամն է:

MATLAB միջավայրում իրականացվել է bior2.6 և cdf2.6 բիօրթոգոնալ վեյվլետների բարեփոխումը, ընդ որում, բարեփոխման են ենթարկվել տրոհման և վերականգնման բոլոր չորս զտիչները: Այդ նպատակով որոշվել են լիֆտինգ-զտիչներին համապատասխանող առաջնային և երկակի քայլերի նորմավորված օպտիմալ արժեքները, ընտրվել է Լորանի բազմանդամի աստիճանը, հաշվարկվել են վեյվլետների տրոհման և վերականգնման ՑՀ և ԲՀ զտիչների գործակիցները:

LS-bior2.6 բարեփոխված վեյվլետի զտիչները ներկայացվում են հետևյալ տեսքով.

$$\begin{gathered}H(z) = -0.006905z^5 + 0.01381z^4 + 0.04696z^3 - 0.1077z^2 - 0.1699z + 0.4475 + \\ + 0.9667z^{-1} + 0.4475z^{-2} - 0.1699z^{-3} - 0.1077z^{-4} + 0.04696z^{-5} + \\ + 0.01381z^{-6} - 0.006905z^{-7},\end{gathered}$$

$$G(z) = 0.3536z - 0.7071 + 0.3536z^{-1},$$

$$\tilde{H}(z) = 0.3536 + 0.7071z^{-1} + 0.3536z^{-2},$$

$$\begin{gathered}\tilde{G}(z) = 0.006905z^6 + 0.01381z^5 - 0.04696z^4 - 0.1077z^3 + 0.1699\,z^2 + 0.4475z - \\ - 0.9667 + 0.4475z^{-1} + 0.1699z^{-2} - 0.1077z^{-3} - 0.04696z^{-4} + 0.01381z^{-5} + \\ + 0.006905z^{-6}:\end{gathered}$$

LS-cdf2.6 բարեփոխված վեյվլետի համար ստացվել են.

$$H(z) = 0.3536z + 0.7071 + 0.3536z^{-1},$$

$$\begin{gathered}G(z) = -0.006905z^5 - 0.01381z^4 + 0.04696z^3 + 0.1077z^2 - 0.1699z - 0.4475 + \\ + 0.9667z^{-1} - 0.4475z^{-2} - 0.1699z^{-3} + 0.1077z^{-4} + 0.04696z^{-5} - \\ - 0.01381z^{-6} - 0.006905z^{-7},\end{gathered}$$

$$\begin{gathered}\tilde{H}(z) = -0.006905z^6 + 0.01381z^5 + 0.04696z^4 - 0.1077z^3 - 0.1699\,z^2 + 0.4475z + \\ + 0.9667 + 0.4475z^{-1} - 0.1699z^{-2} - 0.1077z^{-3} + 0.04696z^{-4} + 0.01381z^{-5} - \\ - 0.006905z^{-6},\end{gathered}$$

$$\tilde{G}(z) = 0.3536 + 0.7071z^{-1} + 0.3536z^{-2}:$$

Պատկերի մակնիշավորում իրականացնելիս հիմք ենք ընդունել ԹՋՆ-ի ներկառուցման աղիտիվ (գծային) և միաձուլման ալգորիթմները [3]: Առաջին դեպքում ԹՋՆ-ն ներկայացվում է թվային հաջորդականության տեսքով, որը ներմուծվում

է մակնշվող պատկերի ընտրված հաշվանքների բազմության մեջ [3-6]: Ալգորիթմը կոչվում է ադիտիվ, քանի որ ներդրումն իրականացվում է՝ համաձայն հետևյալ գծային բանաձևի.

$$Z'(m,n) = Z(m,n)(1 + \alpha \cdot W_i), \qquad (3)$$

որտեղ $Z(m,n)$-ը նախնական պատկերի ընտրված բազմությունն է, որում պետք է ներդրվի ԹՋՆ-ն, $Z'(m,n)$-ն՝ ներդրումից հետո փոփոխված բազմությունը, W_i-ն՝ ԹՋՆ-ի թվային հաջորդականությանը, α-ն՝ ներդրման գործակիցը ($0 \le \alpha \le 1$):

ԹՋՆ-ի առանձնացումը մակնշված պատկերից ընդունման կետում իրականացվում է հետևյալ կերպ.

$$W_i'' = \frac{Z''(m,n) - Z(m,n)}{\alpha \cdot Z(m,n)}, \qquad (4)$$

որտեղ $Z''(m,n)$-ը մակնշված պատկերի բազմությունն է, որից դուրս է հանվելու W_i'' հաջորդականությունը:

Երկրորդ դեպքում ԹՋՆ-ն մեկ այլ պատկեր է, որի չափսերը ավելի փոքր են, քան մակնշվողինը [3,7-9]: Ներդրումից առաջ այն ձևափոխվում է որևէ կերպ՝ նախնական պատկերին համապատասխան: Միաձուլման ալգորիթմների առավելությունն այն է, որ ԹՋՆ-ն նույնպես պատկեր է (օրինակ՝ ֆիրմայի լոգոտիպը) և ոչ թե պատահական թվերի հաջորդականություն: Այդ դեպքում հնարավոր են թաքնված հաղորդագրության որոշ աղավաղումներ, քանի որ մարդու աչքը, այնուամենայնիվ, կարող է ճանաչել այն: Բացի այդ, լոգոտիպի առակայությունը հանդիսանում է սեփականության իրավունքների առավել համոզիչ ապացույց, քան պատահական հաջորդականությունը:

Առաջարկվող ալգորիթմը համակցված մեթոդ է, որն իրականացվում է պատկերների միաձուլման եղանակով, սակայն պատկերի ներկառուցումը կոնտեյների մեջ կատարվում է ադիտիվ մեխանիզմով՝ համաձայն (3)-ի: Ինչպես մակնշվող, այնպես էլ ներդրվող պատկերները նախ փոխակերպվում են նույն չափսերի քառակուսի կիսատոն պատկերների՝ ներդրումը առավել արդյունավետ դարձնելու նպատակով: Ներդրումից առաջ երկուսն էլ ենթարկվում են լիֆտինգ վեյվլետ-ձևափոխության (ԼՎՁ): Արդյունքում՝ պատկերները տրոհվում են ցածր և բարձր հաճախականային (ՑՀ և ԲՀ) ենթատիրույթների, իսկ դրանց վեյվլետ-գործակիցները կպարունակեն բարեփոխված մոտարկող և մանրամասնող բաղադրիչներ մատրիցի բոլոր ուղղություններով՝ ուղղահայաց, հորիզոնական և անկյունագծային: Լոգոտիպը կարող է ներդրվել բնօրինակ պատկերի (ԲՊ) ինչպես բոլոր, այնպես էլ ընտրված ենթատիրույթների գործակիցների մեջ: Նպատակահարմար համարվեց լոգոտիպը ներդնել ՑՀ ենթատիրույթի մեջ՝ մոդիֆիկացնելով այդ տիրույթի մոտարկող գործակիցները ԹՋՆ-ի մոտարկող գործակիցներով:

ՑՀ ենթատիրույթի ընտրությունը պայմանավորված է նրանով, որ այնտեղ կենտրոնացված է ազդանշանի էներգիայի մեծ մասը, և հնարավոր է ապահովել պատկերի կայունությունը կապուղում առաջացող աղմուկների նկատմամբ և ԹՋՆ-ի ավելի ճշգրիտ վերականգնումը, իսկ աննկատությունը կարող է ապահովվել ներդրման գործակցի համապատասխան արժեքով: Մշակվող մոդելում ձևափոխությունն իրականացվել է տրոհման առաջին մակարդակով, քանի որ, ինչպես արդեն ապացուցվել է, այդ դեպքում վերականգնման սխալանքը կստացվի ավելի փոքր: Կրճատվում է նաև հաշվարկային ժամանակը, ինչը պայմանավորված է ավելի քիչ քանակությամբ գործակիցների որոշմամբ: Ներդնման գործընթացը ավարտելուց հետո իրականացվում է հակառակ ԼՎՁ՝ արդյունքում ստանալով մակնշված պատկեր (ՄՊ): Մակնշված պատկերից ԹՋՆ-ի առանձնացման համար կատարվում է ՄՊ-ի ուղիղ միամակարդակ ԼՎՁ այդ նույն բարեփոխված վեյվլետով, որն օգտագործվել է ներդրման գործընթացում: Մշակված մոդելի ալգորիթմը ներկայացված է նկ.1-ում և ներառում է հետևյալ քայլերը.

Ներդրման ալգորիթմ.

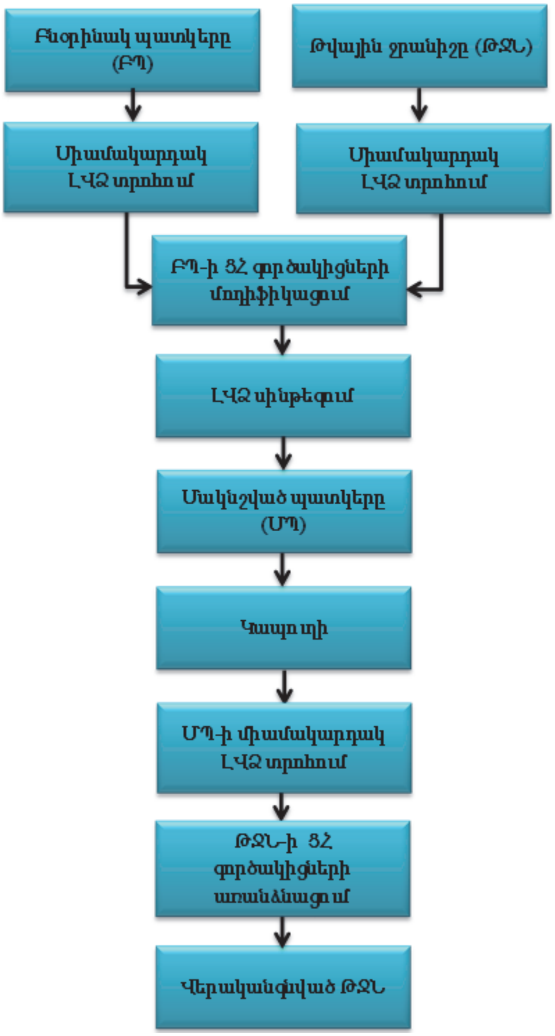
1. Միամակարդակ ԼՎՁ-ի կիրառում կիսատոն բնօրինակ պատկերի (ԲՊ) նկատմամբ և դրա cA_i ցածր հաճախականային մոտարկող և cD_i բարձր հաճախականային մանրամասնող գործակիցների հաշվարկ: Լիֆտինգ-սխեմային համապատասխան՝ այդ գործընթացն իրականացվում է l[k] և L[k] բարեփոխող զտիչների կիրառմամբ՝ երկակի տարրական քայլով (նկ.2,ա):

2. Նմանատիպ միամակարդակ ԼՎՁ-ի կիրառում կիսատոն թվային ջրանիշի (ԹՋՆ) նկատմամբ և դրա cA_j ցածր հաճախականային մոտարկող և cD_j բարձր հաճախականային մանրամասնող գործակիցների հաշվարկ:

3. ԲՊ-ի միայն մոտարկող $LL_{\text{ԲՊ}}$ գործակիցների մոդիֆիկացում ԹՋՆ-ի $LL_{\text{ԹՋՆ}}$ մոտարկող գործակիցներով, որն իրականացվում է հետևյալ աղիտիվ բանաձևին համապատասխան.

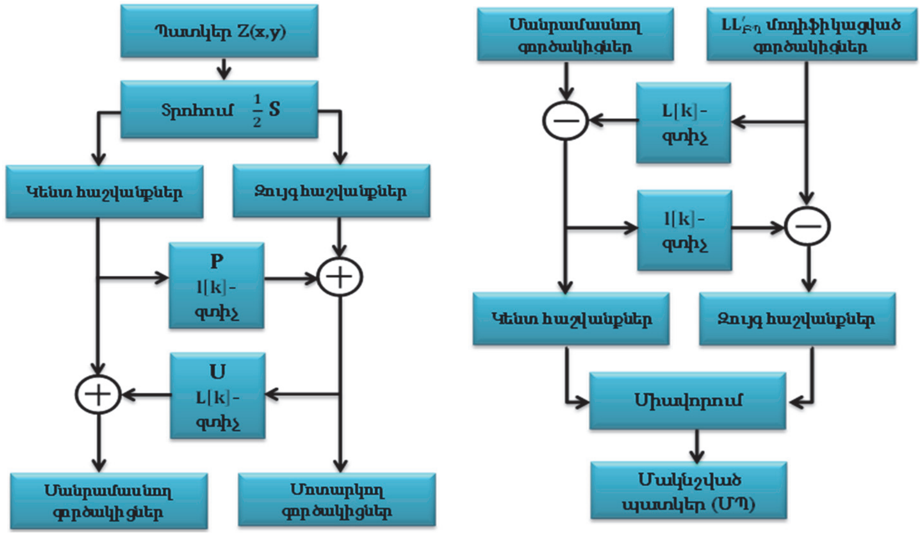
$$LL'_{\text{ԲՊ}} = LL_{\text{ԲՊ}} + \alpha \cdot LL_{\text{ԹՋՆ}} \text{ ։} \tag{5}$$

ԹՋՆ-ի ներդրման α գործակցի արժեքներից են կախված ՄՊ-ի որակն ու կայունությունը արտաքին ներգործությունների նկատմամբ և այնպիսի կարևոր չափորոշիչ պարամետրերը, ինչպիսիք են ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը, վերականգնման սխալանքը, կորելյացիայի գործակիցը: Մշակված մոդելում ներդրման գործակցի արժեքը ամրակցված չէ: Այն կարելի է ադապտիվ փոփոխել և հարմարեցնել մակնշվող պատկերի տեղային առանձնահատկություններին, ինչը թույլ կտա ջրանիշը դարձնել ավելի աննկատ և կայուն:



Նկ.1. ԹՋՆ-ի ներդրման և առանձնացման ալգորիթմը՝ ԼՎՁ-ի կիրառմամբ

4. $LL'_{ԲՊ}$ մոդիֆիկացված գործակիցների հիման վրա հակադարձ ԼՎՁ-ի իրականացում և մակնշված պատկերի սինթեզում: Հակադարձ ԼՎՁ-ն իրականացվում է նկ.2,բ-ում ներկայացված ալգորիթմով:



ա) բ)

Նկ.2. Պատկերի միամակարդակ ԼՎՁ-տրոհման (ա) և սինթեզման (բ) սխեմաներ

<u>Առանձնացման ալգորիթմ.</u>

1. Ընդունման կետում մակնշված պատկերի նկատմամբ միամակարդակ ուղիղ ԼՎՁ-ի կիրառում և տրոհում՝ ՑՀ մոտարկող և ԲՀ մանրամասնող գործակիցների՝ նկ.2,ա-ին համապատասխան:

2. Մակնշված պատկերի $LL_{ՄՊ}$ ՑՀ գործակիցներից ԹՋՆ-ի մոտարկող գործակիցների առանձնացում՝ հետևյալ աղիտիվ հավասարմանը համապատասխան.

$$LL''_{ԹՋՆ} = \frac{LL_{ՄՊ} - LL_{ԲՊ}}{\alpha}: \qquad (6)$$

3. ԹՋՆ-ի վերականգնում $LL''_{ԹՋՆ}$ մոտարկող գործակիցներով:

ԹՋՆ-ի ներդրման և առանձնացման արդյունավետությունը գնահատելու համար գոյություն ունեն մի շարք չափորոշիչ պարամետրեր, որոնցից օգտագործվել են.

1. Ազդանշան/աղմուկ հարաբերության գագաթային արժեքը, որը թույլ է տալիս գնահատել բնօրինակ և մականշված պատկերի տարբերությունը.

$$PSNR = 10\log_2 \frac{(2^B - 1)\cdot N}{\sum_{i=1}^{N}(X_{ԲՊ\,i} - X_{ՄՊ\,i})^2}, \qquad (7)$$

որտեղ N-ը պատկերի պիքսելների քանակն է, B-ն՝ կիսատոն պատկերի պայծառության առավելագույն արժեքը (B, բիթ/պիքսել), $X_{ԲՊ\,i}$-ն՝ բնօրինակ պատկերի պիքսելների քանակը, $X_{ՄՊ\,i}$-ն՝ մականշված պատկերի պիքսելների քանակը: Մականշված պատկերը համարվում է թույլատրելի որակով, եթե $PSNR \geq 28 \ldots 30$ *դԲ* [3]:

2.Կոռելյացիայի նորմավորված գործակիցը, որը թույլ է տալիս գնահատել W նախնական և W″ վերականգնված ջրանիշների նույնականությունը.

$$\delta = \frac{W''W}{\|W''\|\cdot\|W\|}: \quad (8)$$

δ-ի թվային արժեքները ընկած են [0;1] սահմաններում: δ-ի մեկին մոտ լինելը վկայում է, որ առանձնացված ԹՋՆ-ն մեծ հավանականությամբ կհամընկնի ներդրվողի հետ:

3. ԹՋՆ-ի վերականգնման առավելագույն սխալանքը, որը գնահատում է նախնական և վերականգնված լոգոտիպի պիքսելների տարբերության բացարձակ արժեքը.

$$\max ERR = \max\Big(abs\big(W''(m,n) - W(m,n)\big)\Big): \quad (9)$$

Հետազոտության արդյունքները: Որպես մակնշվող պատկեր դիտարկվել է մատնահետքի JPEG ֆորմատի նկարը ('fingerprint.jpg'), որը պետք է մակնշվի Հայաստանի զինանշանով ('gerb.jpg'): Օգտագործվել են լիֆտինգ-սխեմայով բարեփոխված LS-bior2.6 և LS-cdf2.6 վեյվլետները: Համեմատության համար նույն ալգորիթմով իրականացվել է նաև Հաարայի ձևափոխությունը (haart2), որն իր պարզության և արդյունավետության շնորհիվ լայն կիրառություն է գտել պատկերները թվային ջրանիշերով մակնշելիս [7,9,10]: Փորձարկվել են $\alpha = 0.001$; 0.005; 0.01; 0.05; 0.1; 0.5; 0.7 արժեքները, և յուրաքանչյուր դեպքում հաշվարկվել են մակնշված պատկերի որակը գնահատող գագաթային ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը, ԹՋՆ-ի վերականգնման ճշտության և կորելյացիայի չափորոշիչ պարամետրերը:

Ալգորիթմին համապատասխան MATLAB միջավայրում մշակվել է ծրագիր, որի համառոտ նկարագրությունը բերված է նկ.3,ա-ում, իսկ նկ.3,բ և 3,գ-ում ներկայացված են համապատասխանաբար PSNR և maxEER կախվածությունները α-ի տարբեր արժեքներից՝ բարեփոխված LS-bior2.6, LS-cdf2.6 վեյվլետների և Հաարայի ձևափոխության կիրառմամբ:

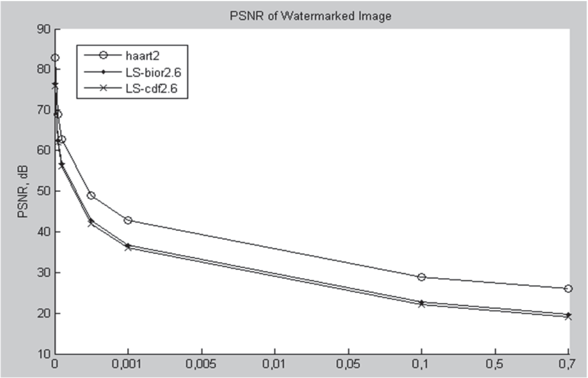
Ինչպես տեսնում ենք, երեք դեպքում էլ մակնշված պատկերի ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը ստացվում է նույն կարգի: Այն բավականին մեծ է սահմանված 28 ... 36 *դԲ* արժեքներից, ինչի շնորհիվ էլ ԹՋՆ-ն բացարձակ անտեսանելի է ՄՊ-ի վրա (նկ.4,ա): Սակայն ներդրման գործակցի մեծացման հետ մեկտեղ՝ PSNR-ի արժեքը ընկնում է և, երբ այն նվազում է 28 *դԲ*-ից, ջրանիշը տեսանելի է դառնում մատնահետքի վրա (նկ.4,բ): Դա համապատասխանում է $\alpha = 0.5$ և 0.7 արժեքներին: α-ի թվային արժեքները հաստատուն մեծություններ չեն, դրանք կախված են մակնշվող պատկերի և ջրանիշի որակից, տեսակից, դրանց չափսերից, ինչպես նաև վեյվլետ-տրոհման մակարդակից և մոդիֆիկացմանը ենթակա վեյվլետ-

գործակիցներից (ՑՀ կամ ԲՀ)։ Այդ իսկ պատճառով մշակված ալգորիթմում α-ն ֆիքսված չէ, և հնարավորություն կա՝ այն հարմարեցնելու մշակվող պատկերներին։

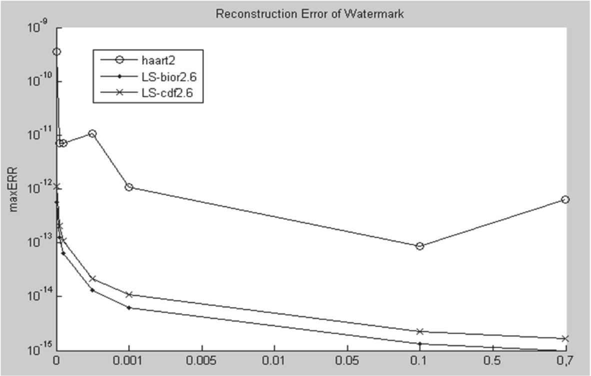
ա)

```
>>LS = liftwave('bior2.6');
>> [LLorig,LHorig,HLorig,HHorig] = lwt2(A,LS);
>> [LLw,LHw,HLw,HHw] = lwt2(B,LS);
>> LLwatermarked = LLorig+0.001*LLw;
>> C=ilwt2(LLwatermarked,LHorig,HLorig,HHorig,LS);
>> [LLr,LHr,HLr,HHr]=lwt2(C,LS);
>> LLmarked = (LLr-LLorig)./0.001;
>> peaksnr=psnr(A,C)
peaksnr =
  76.6879
err=max(max(abs(LLmarked-LLw)))
err =
  5.6000e-13
```

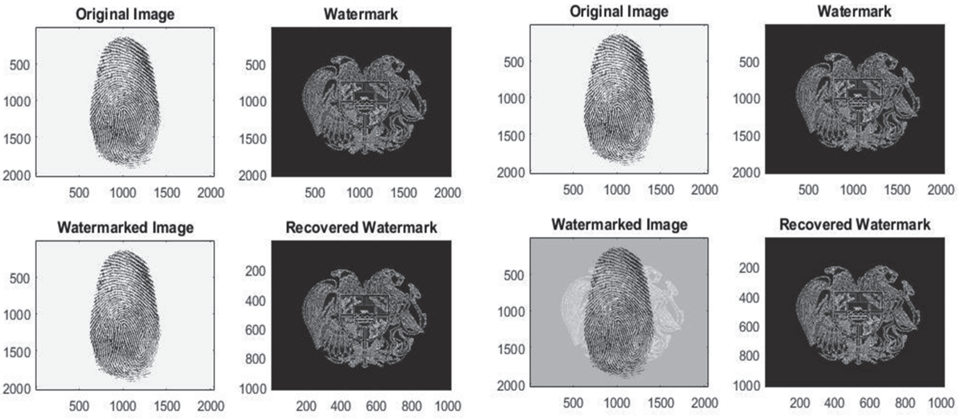
բ)



գ)



Նկ.3. Պատկերի մակնիշավորման ծրագիրը (ա), ազդանշան/աղմուկ հարաբերության (բ) և վերականգնման սխալանքի (գ) կախվածությունները ներդրման գործակցի արժեքներից



ա) բ)

Նկ.4. ԹՋՆ-ի տեսանելիությունը ՄՊ-ի վրա ներդրման գործակցի 0,001 (ա) և 0,5 (բ) արժեքների դեպքում

Թեև PSNR-ի տեսանկյունից Հաարայի վեյվլետ-ձևափոխությունը (ՀՎՁ) փոքր-ինչ գերազանցում է բարեփոխված LS-bior2.6, LS-cdf2.6 վեյվլետներով ստացված արժեքներից, սակայն այն զիջում է դրանց ջրանիշի վերականգնման գործընթացում, ապահովելով վերականգնման սխալանքի երկու կարգ փոքր արժեքներ (նկ.3,գ)։ Այս հանգամանքը վկայում է մեր կողմից մշակված ԹՋՆ-ի ներդրման ալգորիթմի արդյունավետության մասին։

Ակնառու է նաև այն փաստը, որ վերականգնման սխալանքները նվազում են α-ի մեծացման հետ մեկտեղ, իսկ ազդանշան/աղմուկ հարաբերության արժեքները ավելի լավն են ստացվում α-ի փոքր մեծությունների դեպքում։

Քանի որ maxERR-ը ստացվել է բավականին փոքր, ապա δ կորելյացիայի գործակիցը բոլոր դեպքերում էլ հավասար եղավ մեկի, ուստի դրա արժեքները չեն ներկայացվել։

Եզրակացություն: Մշակվել է պատկերների՝ ջրանիշով մակնիշավորման նոր ալգորիթմ, որը կիրառում է արագ վեյվլետ-ձևափոխություն լիֆտինգ-սխեմայով և պատկերների միաձուլման մեթոդ՝ ադիտիվ մեխանիզմով։ Ալգորիթմի արդյունավետությունը գնահատվել է այնպիսի չափորոշիչ պարամետրերով, ինչպիսիք են մակնշված պատկերի ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը և վերականգնված ջրանիշի առավելագույն սխալանքը։ ԼՎՁ-ի իրականացումը տրոհման առաջին մակարդակով ապահովում է վերականգնման սխալանքի ավելի փոքր արժեքներ, և կրճատվում է հաշվարկային ժամանակը, ինչը պայմանավորված է ավելի քիչ քանակությամբ վեյվլետ-գործակիցների որոշմամբ։ Բացի դա, ալգորիթմի արդյունավետությունը բարձրացնում է LS-bior2.6 և LS-cdf2.6 բարեփոխված վեյվլետների կիրառումը։ Համեմատության համար ԹՋՆ-ի ներդրման ալգո-

րիթմն իրականացվել է նաև Հաարայի ձևափոխությամբ: Արդյունքները վկայում են, որ թեև այն արդյունավետ է մակնշված պատկերի որակի տեսանկյունից, սակայն զիջում է ԼՎՁ-ին ջրանիշի ճշգրիտ վերականգնման հարցում: Ներդրման գործակցի ճիշտ ընտրության դեպքում մշակված ալգորիթմը կարող է ապահովել ԹՁՆ-ի վերականգնման սխալանքից մոտ երկու կարգով ավելի փոքր արժեքներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Sweldens W.** The Lifting Scheme: A new philosophy in biorthogonal wavelet constructions/A.F. Laine and M. Unser, editors//Wavelet Applications in Signal and Image Processing III, Proc. SPIE 2569. - 1995. – P.68-79.
2. **Sweldens W.** The lifting scheme: A custom-design construction of diortogonal wavelets//Appl. Comput. Harmon.Anal. - 1996 - Vol.3, №2. - P.186-200.
3. **Грибунин В., Оков И., Туринцев И.** Цифровая стеганография. –М.: Солон Пресс, 2002.– 272с.
4. **Nicchiotti G., Ottaviano E.** Non-invertible statistical wavelet watermarking//Proc. of the 9th European Signal Processing Cong. European Association for Signal Processing.- Island of Rhodes, Greece, Sept.,1998. - P.2289-2292.
5. **Podilchuk C.I., Zeng W.** Digital image watermaking using visual models//IEEE J. on Selected Areas in Communications. - 1998. - Vol.16. - P.525-539.
6. DWT-based technique for spatiofrequency masking of digital signatures / **M. Barni, et al** // Proc. of the 11th SPIE Annual Symp. Electronic Imaging ‘‘99” Security and Watermaking of Multimedia Contents. - San Jose, CA, 1999. – Vol. 3657. - P.31-39.
7. **Chae J.J., Mukherjee D., Manjunath B.S.** A robust embedded data from wavelet coeffcients//Proceedings of SPIPE, Electronic Imaging, Storage and Retrieval for Image and Video Database. - 1998. - Vol.3312. - P.208-317.
8. **Kundur D., Hatzinakos D.** A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion //Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. -1997.- Vol.1.- P.544-547.
9. **Shanmugaprabha S., Malmurugan N.** A new robust image watermaking scheme based on DWT with SVD//International Journal. - 2014. - P.16-21.
10. **Xia X.-G., Boncelet C.G., Arce G.R.** Wavelet transform based watermark for digital images//Optics Express. - 1998. - №3. - P.497-502.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 19.03.2020:

С.Г. ГОМЦЯН

МАРКИРОВКА ДВУМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЦИФРОВЫМ ВОДЯНЫМ ЗНАКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛУЧШЕННЫХ ВЕЙВЛЕТОВ

Рассмотрены задачи, связанные с безопасностью данных, защитой информации, авторских прав и прав интеллектуальной собственности, а также конфиденциальностью данных, одним из решений которых является их маркировка логотипом. Разработан алгоритм введения цифрового водяного знака в двумерное изображение на основе быстрого вейвлет-преобразования по лифтинг-схеме, использующий метод слияния изображений аддитивным механизмом. В алгоритме использовались по лифтинг-схеме предварительно улучшенные в среде MATLAB биортогональные вейвлеты LS-bior2.6 и LS-cdf2.6. Эффективность алгоритма была оценена отношением сигнал/шум маркированного изображения и максимальной ошибкой восстановления водяного знака при различных значениях коэффициента внедрения.

Ключевые слова: цифровой водяной знак, лифтинг-схема, биортогональный вейвлет, вейвлет-фильтры разложения и восстановления, аппроксимирующие и детализирующие вейвлет-коэффициенты.

S.G. GOMTSYAN

MARKING TWO-DIMENSIONAL IMAGES WITH A DIGITAL WATERMARK USING IMPROVED WAVELETS

The problems associated with data security, protection of information, copyrights and intellectual property rights, as well as data confidentiality are considered, one of the solutions of which is their marking with a logo. An algorithm has been developed for embedding a digital watermark into a two-dimensional image based on the fast wavelet-transform according to the lifting-scheme, using the method of image fusion with the additive mechanism. The algorithm has used the biorthogonal wavelets LS-bior2.6 and LS-cdf2.6 previously improved in the MATLAB environment according to the lifting-scheme. The efficiency of the algorithm was estimated by the signal-to-noise ratio of the marked image and the maximum error of the watermark restoration at various values of the embedding coefficient.

Keywords: digital watermark, lifting-scheme, biorthogonal wavelet, decomposition and reconstruction wavelet-filters, approximating and detailing wavelet-coefficients.