

A 05.13.05  
7-50

ՀՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱՎԱԴԵՄԻԱՅԻ ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱՅԻ  
ԵՎ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Պետրոսյան Գրիգոր Ալեքսանդրի

ԱՄԲՈՂՋԱԹԻՎ ԱՐԱԳ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ՆՐԱՆՑ  
ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԹՎԱՅԻՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՄԵՋ

Ե.13.05 «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրերի  
համալիրներ» մասնագիտությամբ

Տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2006

---

---

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

Григор Александрович Петросян

**БЫСТРЫЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЕ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИХ  
ПРИМЕНЕНИЕ В ОБРАБОТКЕ  
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.05

“Математическое моделирование. численные методы и комплексы  
программ”.

Ереван 2006

Ատենախոսության բեման հաստատվել է Հայաստանի պետական  
ճարտարագիտական համալսարանում

Գիտական ղեկավար ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր Յ. Գ. Սարուխանյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր  
պրոֆեսոր Յ.Բ.Մարանջյան


տեխ. գիտ. թեկնածու Ս.Վ.Մարկոսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի պետական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2006թ. հունիսի 30-ին, ժամը 15.00-ին ՀՀ  
ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտի  
037 «Մաթեմատիկական կիրառական և ինֆորմատիկա»  
մասնագիտական խորհրդի նիստում, հետևյալ հասցեով՝ 0014, Երևան,  
Պ.Սևակի 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2006թ. մայիսի 30-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական  
քարտուղար, ֆիզ. մաթ. գիտ. թեկնածու  Մ.Ե. Հարությունյան

Тема диссертации утверждена в Государственном инженерном  
университете Армении

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук А. Г. Саруханян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук,  
профессор Г.Б.Маранджян  
кандидат тех. наук М.В.Маркосян

Ведущая организация: Ереванский государственный университет

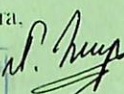
Защита состоится 30 июня 2006г. в 15.00 часов на заседании  
специализированного совета 037 “Математическая кибернетика и  
информатика” Института проблем информатики и автоматизации НАН  
РА по адресу: 0014, Ереван, ул. П.Севака 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИА НАН РА.

Автореферат разослан 30-го мая 2006г.

Ученый секретарь специализированного совета,  
к. ф. м. н.



 М.Е. Арутюнян  
2505-2006

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՅԱՆՐԱՎԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

### Աշխատանքի հրատապությունն ու արդիականությունը

Թվային ազդանշանների ու պատկերների մշակման խնդիրներում,  
մասնավորապես սեղմման, գտման, ճանաչման, կողավորման, ջրանշման  
և այլ խնդիրներում, լայն կիրառություն ունեն մշակման սպեկտրալ  
մեթոդները, որոնք հիմնված են դիսկրետ օրթոգոնալ ձևափոխությունների  
վրա (Ֆուրյեի, Հադամարի, սինուսային և կոսինուսային, Հարի և այլ  
ձևափոխություններ): Այդ ձևափոխությունները, բացառությամբ Հադամարի  
ձևափոխությունից, պահանջում են սահող կետով գործողություններ:

Թվային պատկերների և թվային տեսա-պատկերների գունային  
բաղադրիչները որպես կանոն պահպանվում են ամբողջաթիվ տեսքով:  
Սակայն քանի որ վերոհիշյալ ձևափոխությունները մեծամասամբ  
օգտագործում են գործողություններ սահող կետով թվերի հետ,  
անհրաժեշտություն է ծագում անցնել սահող կետով գործողությունների:  
Իսկ սահող կետով թվերի հետ աշխատանքն ունի հետևյալ բացասական  
կողմերը.

- Սահող կետով թվերը՝ եզակի ճշտությամբ (float) և կրկնակի  
ճշտությամբ (double), գրավում են համապատասխանաբար 4 և 8  
բայթ հիշողության տիրույթ, իսկ մուտքային պատկերների  
բաղադրիչները մեծամասամբ գրավում են 1 բայթ հիշողության  
տիրույթ:
- Սահող կետով թվերի հանրահաշիվը ավելի բարդ է  
իրականացման տեսակետից և համակարգերի մեծ մասում սահող  
կետով թվերի հետ գործողությունները կատարվում են ավելի  
դանդաղ, քան ամբողջաթիվ թվերի հետ: Չնայած այն բանին, որ  
վերջին տարիներին լայն տարածում են սկսում գտնել  
ազդանշանների մշակման համար նախատեսված արագագործ  
պրոցեսորներ, որոնք իրենց մեջ պարունակում են ներդրված  
պրոցեսոր նախատեսված սահող ստորակետով թվաբանության  
համար (օրինակ՝ Texas Instruments TMS32C30), ամբողջաթիվ  
հանրահաշիվը նախընտրելի է տվյալների հոսքային մշակման  
համակարգերում (օրինակ՝ SIMD ճարտարապետությամբ  
համակարգերում):
- Սահող կետով թվերի ներկայացման համար օգտագործվում են  
վերջավոր քանակությամբ բիթեր, որն առիթ է սխալանքների  
առաջացմանը՝ խոչընդոտելով սահող կետով թվերով աշխատող

ձևափոխությունների կիրառմանը անկորուստ սեղմումների բնագավառում:

Ի նկատի ունենալով վերոհիշյալ նկատառումները, անհրաժեշտություն է առաջանում սինթեզել այնպիսի օրթոգոնալ ձևափոխություններ, որոնք կունենան դասական ձևափոխությունների լավագույն հատկությունները (էներգիայի կուտակում, արագ ալգորիթմ, պարզ իրականացում) և կաշխատեն ամբողջ թվերի տիրույթում:

Ատենախոսության նպատակն է մշակել դասական օրթոգոնալ դիսկրետ սինուսոիդալ ձևափոխությունների ամբողջաթիվ, քվանտավորված և ամբողջ-ամբողջ տարբերակները, նրանց համապատասխան արագագործ ալգորիթմները և ստեղծել թվային պատկերների և ազդանշանների մշակման ծրագրային համակարգ: Ատենախոսության նպատակների մեջ է մտնում նաև վերոհիշյալ ձևափոխությունների փորձնական կիրառումները պատկերների մշակման մի քանի խնդիրներում, ինչպիսիք են սեղմման և ջրանշման խնդիրները:

Հետազոտման օբյեկտներ են դասական դիսկրետ սինուսոիդալ ընտանիքի օրթոգոնալ ձևափոխությունները:

#### Հետազոտման մեթոդները

Ատենախոսության մեջ օգտագործվում են մատրիցային հանրահաշվի և արագ ձևափոխությունների ալգորիթմների մշակման մեթոդները, ինչպես նաև տվյալների հոսքային մշակման համար նախատեսված MMX և SSE տեխնոլոգիաները:

#### Արդյունքների նորությունը

Մշակվել է 2" կարգի Ֆուրյեի, չորս տիպի կոսինուսային և սինուսային ամբողջաթիվ, Հաարի բլոկային և Հաարի վեյվլետային ամբողջաթիվ ձևափոխությունների սերման ընթացակարգը:

Մշակվել է 2" կարգի Հաարի և Հադամարի բլոկային, ինչպես նաև Հաարի վեյվլետային քվանտավորված արագ ձևափոխությունների ալգորիթմները, որոնք հնարավորություն են տալիս անկախ մուտքային տվյալների երկարությունից, սպեկտրալ տիրույթում ձևափոխության բաղադրիչները ստանալ մինույն միջակայքում:

Մշակվել է վերոհիշյալ բոլոր ձևափոխությունների ամբողջ-ամբողջ տարբերակները, որոնք հնարավորություն են տալիս հաճախականային

տիրույթում ամբողջաթիվ բաղադրիչներ ստանալով՝ անսխալ վերականգնել մուտքային տվյալները:

Ստեղծվել է ծրագրային գրադարան, որն իր մեջ ընդգրկում է վերոհիշյալ բոլոր ձևափոխությունները:

Ամբողջաթիվ 2-րդ տիպի կոսինուսային ձևափոխության օգտագործմամբ մշակվել է JPEG տիպի ծրագրային համակարգ (IntegerJPEG):

#### Ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը

Ամբողջաթիվ ձևափոխությունների հիման վրա ստեղծված ֆունկցիաների գրադարանը կարող է օգտագործվել թվային ազդանշանների մշակման տարբեր ասպարեզներում ինչպես փորձագիտական, այնպես էլ գործնական նպատակներով: Ամբողջաթիվ ձևափոխությունների օպտիմալացված տարբերակները, որոնք աչքի են ընկնում տվյալների մշակման արագությամբ կարող են լայն կիրառություն գտնել թվային պատկերների և ազդանշանների մշակման այնպիսի խնդիրներում, որտեղ հույժ կարևոր է տվյալների մշակման արագությունը:

Նկատենք նաև, որ ձևափոխությունների սերման գործիքը հնարավորություն է տալիս ստանալ այդ ձևափոխությունների մատրիցների տեսքերը, որոնք կարող են օգտագործվել փորձագիտական նպատակներով (օրինակ՝ ցածր մակարդակի ծրագրավորման լեզուներով իրականացման համար):

Բացի այդ, պատկերների սեղմման և ջրանշման խնդիրներում ամբողջաթիվ ձևափոխությունների կիրառմամբ ստացված փորձնական արդյունքները կարող են հետաքրքրություն ներկայացնել պատկերների մշակման մեջ զարգացում ապրող այդ ուղղություններում:

#### Ներդրումներ

Մշակված է ծրագրային փաթեթ, որը հնարավորություն է տալիս իրականացնել ամբողջաթիվ, քվանտավորված և ամբողջ-ամբողջ ձևափոխություններ, ստանալ այդ ձևափոխությունների համապատասխան մատրիցների տեսքերը: Ձևափոխություններից մի քանիսը փորձարկված և ներդրված են ARM Cluster համակարգում:

Ատենախոսական աշխատանքի մի մասը կատարվել է «ՀՀ Պետական գիտական հաշվողական համակարգի ստեղծում» նպատակային ծրագրի շրջանակներում:

Պաշտպանությանը ներկայացվում են հետևյալ դրույթները

- 2" կարգի Ֆուրյեի, չորս տիպի կոսինուսային և սինուսային, Չաարի բլոկային և վեյվլետային ամբողջաթիվ ձևափոխությունների սերման ընթացակարգերը:
- 2" կարգի Չաարի և Չաղամարի բլոկային, Չաարի վեյվլետային ինչպես նաև պսեվդո-կոսինուսային քվանտավորված արագ ձևափոխությունների ալգորիթմները:
- 2" կարգի Ֆուրյեի, չորս տիպի կոսինուսային և սինուսային, Չաարի և Չաղամարի բլոկային, ինչպես նաև Չաարի վեյվլետային ձևափոխությունների ամբողջ-ամբողջ տարբերակների ստացման ընթացակարգերը:
- Ստեղծված է ծրագրային գրադարան վերոհիշյալ ձևափոխությունների փորձարկման և այդ ձևափոխությունների մատրիցների սերման համար:
- Ամբողջաթիվ JPEG ծրագրաշարը (Integer JPEG)
- Ամբողջաթիվ ձևափոխություններից մի քանիսի իրականացումները MMX և SSE տեխնոլոգիաների միջոցով, ինչը կարևոր է տվյալների հոսքային մշակման ժամանակ:

Ստացված արդյունքների ապրոբացիան

Աշխատանքի հիմնական դրույթներն ու արդյունքները զեկուցվել են ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտի և Չայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի Չաշվողական համակարգերի ծրագրային և մաթեմատիկական ապահովման ամբիոնի սեմինարներում:

Աշխատանքի արդյունքները ներկայացվել են նաև հետևյալ միջազգային գիտաժողովներում՝ «Կոմպյուտերագիտություն և ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաներ» (CSIT 2005, Երևան 2005), «Spectral Methods and Multirate Signal Processing» (Լատվիա, Ռիգա 2005) և «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ» միջազգային երիտասարդական գիտաժողով (Երևան 2005) :

Հրապարակումներ

Ատենախոսության թեմայով հրապարակված են 8 գիտական աշխատանք, որոնց ցանկը բերված է սեղմագրի վերջում:

Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 զլխից, եզրահանգումից, օգտագործված գրականության ցանկից և հավելվածից: Աշխատանքի ծավալը առանց հավելվածի կազմում է 105 էջ:

**ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ներածության մեջ հիմնավորված են թեմայի հրատապությունն ու արդիականությունը, հետազոտության նպատակն ու հիմնական խնդիրները, ձևակերպված են ուսումնասիրման օբյեկտը և մեթոդները:

Առաջին գլխում հակիրճ նկարագրված են օրթոգոնալ սինուսոիդալ ընտանիքի ձևափոխությունները և նրանց արագ տարբերակները: Ինչպես նաև ներկայացված են վերոհիշյալ ձևափոխությունների մատրիցների ֆակտորացումների ընթացակարգերը նոսր ամբողջաթիվ մատրիցների և պտույտների<sup>1</sup> միջոցով:

Երկրորդ գլխում քննարկվում են առաջին գլխում քննարկված դասական դիսկրետ ձևափոխությունների (Ֆուրյե, կոսինուսային, սինուսային) ամբողջաթիվ, ամբողջ-ամբողջ (վերականգնելի) և քվանտավորված տարբերակները: Ներկայացված են նաև այդ բոլոր ձևափոխությունների փորձնական արդյունքները և կատարված է նրանց և դասական ձևափոխությունների համեմատական վերլուծություն:

Այս գլխում քննարկվում են ամբողջաթիվ ձևափոխություններով համակարգերի հատկությունները: Ինչպես նաև քննարկվում են թվային ազդանշանների մշակման ասպարեզում ֆիքսված ստորակետով թվաբանություն (fixed point arithmetic) օգտագործող համակարգերի հակտությունները, սխալանքի չափը, որն առաջ է գալիս ազդանշանների մշակման փորձնական համակարգերում, այդ սխալների ազդեցությունները վերջնական ազդանշանի վրա և դրանց դեմ պայքարի մեթոդները:

Տրված տասական կոտորակի համար , որը բաղկացած է d թվերից, ճշտությունը հավասար է  $\pm 0,5 \times 10^{-d}$  : Եթե ներկայացնենք նույն թիվը B բիթերի օգնությամբ, ճշտությունը հավասար կլինի  $\pm 0,5 \times 2^{-B}$  : Որպեսզի պահպանենք նույն ճշտությունը անհրաժեշտ է՝  $0,5 \times 10^{-d} = 0,5 \times 2^{-B}$ , այսինքն  $B = d \log_2^{10} \cong 3,3d$  բիթ:

<sup>1</sup> պտույտ - երկչափ իրական մատրիցներ, որոնք իրականացնում են կետի պտույտ հարթության մեջ:

Օրինակ՝ եթե ցանկանում ենք տասական  $0.234560$  թիվը ներկայացնենք նույն ճշտությամբ, անհրաժեշտ է  $3.3 * 5 = 17$  թիվ:

Եվ քանի որ համակարգի բիթերի քանակը անմիջական ազդեցություն է ունենում համակարգի արտաադրողականության վրա, աշխատանքում փորձ է արված գնահատել համակարգի կախվածությունը մուտքային տվյալների երկարությունից և համակարգի ճարտարապետությունից:

Սկստենք նաև, որ ֆիքսված ստորակետով համակարգերում թվերի ներկայացման ավելի փոքր միջակայքի պատճառով զուևարման և բազմապատկման գործողությունների ժամանակ գերլցումների հավանականությունը ավելի մեծ է:

Չետևաբար ֆիքսված ստորակետով համակարգի էֆեկտիվությունը ուղղակիորեն կախված է բազմապատկումների և զուևարումների քանակից, ուստի քննարկենք մի քանի գործիքներ, որոնք թույլ են տալիս նվազեցնել գործողությունների քանակը:

Սահմանում.  $N$ -րդ կարգի  $A = (a_{n,m})$  մատրիցը կոչվում է լիֆթինգ մատրից, եթե այն բավարարում է նշված պայմաններին.

$$a_{n,m} = \begin{cases} s, & \text{երբ } n=i \text{ և } m=j \\ 1, & \text{երբ } n=m \\ 0, & \text{հակառակ դեպքերում} \end{cases}, \quad 0 \leq n, m \leq N-1, \quad s \neq 0:$$

Լիֆթինգ քայլը, որն իրենից ներկայացնում է լիֆթինգ մատրիցի և վեկտորի արտադրյալ, կարող է հաշվարկվել՝ օգտագործելով միայն մեկ բազմապատկում և մեկ զուևարում: Ենթադրենք  $x$ -ը և  $y$ -ը  $N$  երկարության վեկտորներ են և  $y = L_{s,j}(s) * x$ , ապա կարող ենք գրել՝

$$y(i) = x(i) + s * x(j) \text{ և } y(k) = x(k) \quad k \neq i:$$

Չայտնի է, որ որպեսզի  $A$  իրական մատրիցը ներկայացվի լիֆթինգ և ամբողջաթիվ մատրիցների արտադրյալի տեսքով, անհրաժեշտ է և բավարար, որ նրա դետերմինանտը լինի ամբողջ թիվ :

Օգտվելով վերոհիշյալից ցույց է տրվել, որ առաջին գլխում նկարագրված սինուսիդալ ձևափոխությունները կարելի է ներկայացնել նոսր ամբողջաթիվ մատրիցների և լիֆթինգ մատրիցների արտադրյալի տեսքով:

Այնուամենայնիվ, այս մոտեցումը սովորաբար պահանջում է  $O(N^2)$  լիֆթինգ մատրիցներ և, հետևաբար, աչքի չի ընկնում իր արագությամբ: Ցույց է տրվել, որ ավելի նպատակահարմար է ձևափոխության մատրիցները ֆակտորացնել ամբողջաթիվ մատրիցների և երկչափ իրական մատրիցների միջոցով: Իսկ վերոհիշյալ երկչափ մատրիցները կարելի է արտահայտել լիֆթինգ մատրիցների միջոցով՝ օգտվելով ստորև բերված պնդումից.

Լեմմա 1: Եթե երկչափ  $A$  մատրիցի դետերմինանտը հավասար է  $\pm 1$ -ի՝  $|A| = \pm 1$ , ապա այն կարելի է ֆակտորացնել 3 լիֆթինգ մատրիցների արտադրյալի միջոցով.

$$|A| = 1 \text{ դեպքում՝}$$

$$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ d-1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a-1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$|A| = -1 \text{ դեպքում՝}$$

$$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1-d & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a+1 & 1 \end{bmatrix}:$$

Իսկ առաջին գլխում նկարագրված ձևափոխությունների համար ցույց է տրված, որ նրանց մատրիցները ֆակտորացվում են այնպիսի նոսր մատրիցների, որոնք պարունակում են  $\pm 1$  դետերմինանտ ունեցող երկչափ մատրիցներ: Նշենք, որ այդ երկչափ մատրիցները երկու հիմնական տիպի են, որոնք ունեն հետևյալ ներկայումները՝

$$R_1 = \begin{bmatrix} \cos \sigma & -\sin \sigma \\ \sin \sigma & \cos \sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \cos \sigma - 1 & -\sin \sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\sin \sigma \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \cos \sigma - 1 & 1 \end{bmatrix},$$

կամ

$$R_2 = \begin{bmatrix} \cos \sigma & \sin \sigma \\ \sin \sigma & -\cos \sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \sigma & -\sin \sigma \\ \sin \sigma & \cos \sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{\cos \sigma - 1}{-\sin \sigma} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\sin \sigma \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{\cos \sigma - 1}{-\sin \sigma} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Ամփոփելով կարելի է ասել, որ առաջին գլխում նկարագրված բոլոր ձևափոխությունների մատրիցները կարելի է ֆակտորացնել նույն ամբողջաթիվ մատրիցների և երկչափ իրական մատրիցների միջոցով, որոնք իրենց հերթին ֆակտորացվում են լիֆթինգ մատրիցների միջոցով:

Տրամաբանական է, որ ֆակտորացման արդյունքում ստացված երկչափ արձատային մատրիցներին տալով, որոշակի հատկություններ, հնարավոր է դառնում այդ հատկությունը տարածել ամբողջ ձևափոխության մատրիցի վրա: Եվ այդ առումով երկրորդ գլխում առաջարկվել են 3 դասի ձևափոխություններ:

Այս գլխի երկրորդ մասում քննարկվում է ամբողջաթիվ ձևափոխությունների ընտանիքը, որն առաջանում է այդ ձևափոխությունների մատրիցների ֆակտորացման արդյունքում ստացված լիֆթինգ մատրիցների փոխարինումով իրենց մոտավոր ամբողջաթիվ տարբերակներով:

$$R_1 \cong \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ rb(\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -rb(\sin \sigma) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ rb(\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}) & 1 \end{bmatrix}.$$

կամ

$$R_2 \cong \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ rb(\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -rb(\sin \sigma) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ rb(\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

որտեղ  $rb(s)$  գրելաձևը նշանակում է  $s$  իրական թվի մոտարկում  $\frac{\beta}{2^z}$  տեսքի թվով, որտեղ  $\lambda$ -ն և  $\beta$ -ն ամբողջ թվեր են:

Սինուսոիդալ ձևափոխությունների մեծ մասը աչքի են ընկնում էներգիայի կուտակման բարձր ցուցանիշներով: Բլոկային ձևափոխություններում էներգիայի մեծ մասը կուտակվում է գլխավոր բաղադրիչում (principal

component), և բլոկի չափերին զուգընթաց մեծանում է գերլցման հավանականությունը: Այս խնդիրը լուծելու համար նպատակահարմար է հաճախականային տիրույթում ձևափոխության բաղադրիչները՝ կախված իրենց կրած էներգիայի չափից, քվանտավորվեն և բոլորը բերվեն մեկ մասշտաբի:

Գլխի երրորդ մասում քննարկվում են ամբողջաթիվ քվանտավորված ձևափոխությունների ընտանիքը, որոնք հնարավորություն են տալիս անկախ մուտքային տվյալների երկարությունից, սպեկտրալ տիրույթում ձևափոխության բաղադրիչները ստանալ միննույն միջակայքում:

Ընդհանրապես ձևափոխության գործակիցները պահանջում են անվերջ քանակությամբ բիթեր մուտքային տվյալների ամբողջական վերականգնման համար, իսկ մի շարք ասպարեզներում ձևափոխության գործակիցները կլորացվում են կամ կտրվում (truncate), որը առիթ է հանդիսանում սխալների առաջացմանը և ազդում է համակարգի արդյունավետության վրա: Այս խոչընդոտներն հաղթահարվում են այսպես կոչված ամբողջ-ամբողջ ձևափոխությունների միջոցով:

Գլխի չորրորդ մասում քննարկվում է ամբողջ-ամբողջ ձևափոխությունների ընտանիքը, որոնք հնարավորություն են տալիս ձևափոխության ամբողջաթիվ գործակիցներ ստանալով, վերականգնել սկզբնական ազդանշանը առանց որևէ կորստի:

Լեմմա 2: Եթե երկչափ ձևափոխության մատրիցի դետերմինանտը հավասար է 1 կամ -1, ապա 2x2 կարգի ուղիղ և հակադարձ ամբողջ-ամբողջ ձևափոխությունները կարող են որոշվել հետևյալ կերպ՝

$\det(H) = 1$  դեպքում ուղիղ և հակադարձ ձևափոխությունները համապատասխանաբար որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$T = x_1 + Q\left(\frac{1+c}{d}x_0\right), \quad y_1 = Q(dT) - x_0, \quad y_0 = T - Q\left(\frac{1-b}{d}y_1\right),$$

$$T = y_0 + Q\left(\frac{1-b}{d}y_1\right), \quad x_0 = Q(dT) - y_1, \quad x_1 = T - Q\left(\frac{1+c}{d}x_0\right):$$

$det(H) = -1$  դեպքում ուղիղ և հակադարձ ձևափոխությունները համապատասխանաբար որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$T = x_1 - Q\left(\frac{1-c}{d} x_0\right), \quad y_1 = Q(dT) + x_0, \quad y_0 = T - Q\left(\frac{1-b}{d} y_1\right),$$

$$T = y_0 + Q\left(\frac{1-b}{d} y_1\right), \quad x_0 = y_1 - Q(dT), \quad x_1 = T + Q\left(\frac{1-c}{d} x_0\right),$$

որտեղ  $Q(x)$ -ը մոտավորեցման օպերատոր է, որը փոխարինում է  $x$  իրական թիվը ամենամոտ ամբողջ թվով:

Քանի որ սինուսոիդալ ձևափոխությունները ֆակտորացվում էին նոսր ամբողջաթիվ մատրիցների և երկչափ իրական մատրիցների միջոցով, որոնց դետերմինանտները հավասար են  $\pm 1$ , ապա նրանց բոլորի համար կարելի է սահմանել ամբողջ-ամբողջ ձևափոխություններ:

**Երրորդ գլխում** նկարագրված է ամբողջաթիվ ձևափոխությունների հիման վրա ստեղծած ծրագրաշարը, որը բաղկացած է նախորդ գլուխներում նկարագրված արագ, ամբողջաթվային, քվանտավորված և ամբողջ-ամբողջ ձևափոխություններից: Նկարագրված է նաև ծրագրաշարի մաս հանդիսացող ձևափոխությունների սերման գործիքը, որը հնարավորություն է տալիս ստանալ նախորդ գլուխներում նկարագրված բոլոր ձևափոխությունների մատրիցների տեսքերը: Բացի այդ տրված են MMX և XMM տեխնոլոգիաների կիրառմամբ IDCT-II և QWT ձևափոխությունների իրականացման փորձնական արդյունքները: Նկարագրված է նաև IDCT-II կիրառմամբ այսպես կոչված ամբողջաթվային JPEG ալգորիթմը և տրված են համեմատականներ դասական JPEG ալգորիթմի հետ: Գլխի վերջին մասում նկարագրված է թվային ջրանշման ասպարեզում IDCT-II կիրառման մեկ ընթացակարգ և բերված են այդ կիրառության փորձնական արդյունքները:

Աղյուսակ 1-ում բերված է MMX տեխնոլոգիայով երկրորդ տիպի դիսկրետ կոսինուսային ձևափոխության իրականացումների ժամանակային տվյալները իրական և ամբողջաթիվ տարբերակների համար:

Աղյուսակ 2-ում բերված են Lena.bmp 256x256 պատկերի վրա կատարված սեղմման (Lossless) փորձարկումների արդյունքները:

Աղյուսակ 1

	Processor tick IMG*DCT	Processor tick DCT* IMG *DCT <sup>T</sup>
DCT-II (double)	2080	4167
DCT-II with MMX (float)	302	566
IDCT-II with MMX	188	423

8x8 չափերով մեկ բլոկի իրականացման տևողությունները

Աղյուսակ 2

	MSE	PSNR	Comp. Ratio
DCT-II (double)	5.79	32.88	4.78
DCT-II with MMX (float)	5.79	32.88	4.78
IDCT-II with MMX	6.07	32.32	4.54

Lena.bmp 256x256 պատկերի վրա կատարված փորձարկումների

արդյունքները

### Յիմնական արդյունքներն ու եզրահանգումները

Ստացվել է <sup>2</sup> կարգի Ֆուրյեի, չորս տիպի կոսինուսային և սինուսային ամբողջաթիվ, Չաարի բլոկային և վեյվլետային ամբողջաթիվ ձևափոխությունների սերման ընթացակարգերը:

Ստացվել է <sup>2</sup> կարգի Չաարի և Չադամարի բլոկային, ինչպես նաև Չաարի վեյվլետային քվանտավորված արագ ձևափոխությունների ալգորիթմները, որոնք հնարավորություն են տալիս անկախ մուտքային տվյալների երկարությունից, սպեկտրալ տիրույթում ձևափոխության բաղադրիչները ստանալ միևնույն միջակայքում:

Մշակվել է վերոհիշյալ բոլոր ձևափոխությունների ամբողջ-ամբողջ տարբերակները, որոնք հնարավորություն են տալիս հաճախականային տիրույթում ամբողջաթիվ բաղադրիչներ ստանալով՝ անսխալ վերականգնել մուտքային տվյալները:

Ստեղծվել է ծրագրային գրադարան, որն իր մեջ ընդգրկում է վերոհիշյալ բոլոր ձևափոխությունները և հնարավորություն է տալիս ստանալ այդ ձևափոխությունների մատրիցների տեսքերը, որոնք կարող են օգտագործվել փորձագիտական նպատակներով (օրինակ՝ ցածր մակարդակի ծրագրավորման լեզուներով իրականացման համար):

Ամբողջաթիվ 2-րդ տիպի կոսինուսային ձևափոխության օգտագործմամբ մշակվել է ամբողջաթվային JPEG ծրագրային համակարգ (IntegerJPEG):

- [1.] Պետրոսյան Գ. Ամբողջ-ամբողջ դիսկրետ կոսինուսային ձևափոխություն, ՀՊԵՀ հոբելյանական ուսանողական գիտաժողով, 28-30 ապրիլ, Երևան-2003թ., էջ. 156-158:
- [2.] Петросян Г., Сарухян А. Факторизация DCT-II с помощью разреженных матриц и лифтинг матриц. Новые информационные технологии в образовании. Ереван 2005. ст. 180-184.
- [3.] Petrosyan G.A., Sarukhanyan H.G. IDCT-II And Realization Using MMX Technology, Information Technologies and Management (ASCIS). No. 3, Yerevan 2004, p 38-43.
- [4.] Պետրոսյան Գ. Ամբողջաթվային սինուսոիդային ձևափոխություններ, Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր, հատոր 1, համար 3, Երևան-2004թ., էջ. 414-418,
- [5.] Petrosyan G. Some Watermarking Methods Using IDCT-II. CSIT. Yerevan 2005. p. 321-324.
- [6.] Պետրոսյան Գ. Զրանջանների կիրառումը թվային պատկերների պաշտպանության համար IDCT-II օգնությամբ, «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ» միջազգային երիտասարդական գիտաժողով, Երևան 2005, էջ.170-174.
- [7.] Petrosyan G., Sarukhanyan H., Agayan S., Astola J. Robustness Testing of Some Watermarking Methods Using IDCT-II, Proceedings of The 2005 International TICSP Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing, Riga, Latvia, 2005, p. 89-95.
- [8.] Петросян Г. Программный пакет генерации целых преобразований. Математические вопросы кибернетики и вычислительной техники, том 25, Ереван 2006, ст. 57-63.

05.02.2013

Григор Александрович Петросян

## БЫСТРЫЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ОБРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

### РЕЗЮМЕ

Работа посвящена разработке целочисленных, квантизированных и "целое-целое" версий классических ортогональных преобразований и их применению в области обработки цифровых изображений.

Получены следующие результаты:

- Разработаны алгоритмы генерации целочисленных преобразований Фурье, косинусные и синусные преобразования четырех типов, блочные и вейвлетные преобразования Хаара порядка  $2^n$ .
- Разработаны и реализованы алгоритмы быстрых квантизированных блочных преобразований Хаара и Адамара, а также вейвлет-преобразования Хаара. При этих преобразованиях уровни исходных и спектральных компонент идентичны.
- Для вышеупомянутых преобразований разработаны варианты типа "целое - целое", позволяющие точное восстановление исходных данных.
- Разработана библиотека функций, включающая все упомянутые выше преобразования. Функции библиотеки также позволяют генерировать матрицы преобразований, с помощью которых можно получить оптимизированные версии программ с использованием архитектуры конкретных процессоров.
- На основе идеологии целочисленных преобразований разработан пакет IntegerJPEG, по аналогии стандарта JPEG для обработки изображений.

Grigor A. Petrosyan  
FAST INTEGER TRANSFORMS  
APPLICATIONS

стандарта JPEG MM  
стандарта JPEG MM  
стандарта JPEG MM

- [1.] Պետրոսյան Գ. Ամբողջ-ամբողջ դիսկրետ կոսինուսային ձևափոխություն, ՀՊԵՀ հոբեյանական ուսանողական գիտաժողով, 28-30 ապրիլ, Երևան-2003թ., էջ. 156-158:
- [2.] Петросян Г., Сарухян А. Факторизация DCT-II с помощью разреженных матриц и лифтинг матриц. Новые информационные технологии в образовании. Ереван 2005. ст. 180-184.
- [3.] Petrosyan G.A., Sarukhanyan H.G. IDCT-II And Realization Using MMX Technology, Information Technologies and Management (ASCIS). No. 3, Yerevan 2004, p 38-43.
- [4.] Պետրոսյան Գ. Ամբողջաբլային սինուսիդային ձևափոխություններ, Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրագրեր, հատոր 1, համար 3, Երևան-2004թ., էջ. 414-418,
- [5.] Petrosyan G. Some Watermarking Methods Using IDCT-II. CSIT. Yerevan 2005. p. 321-324.
- [6.] Պետրոսյան Գ. Ջրանշանների կիրառումը թվային պատկերների պաշտպանության համար IDCT-II օգնությամբ, «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ» միջազգային երիտասարդական գիտաժողով, Երևան 2005, էջ.170-174.
- [7.] Petrosyan G., Sarukhanyan H., Agayan S., Astola J. Robustness Testing of Some Watermarking Methods Using IDCT-II, Proceedings of The 2005 International TICSP Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing, Riga, Latvia, 2005, p. 89-95.
- [8.] Петросян Г. Программный пакет генерации целых преобразований. Математические вопросы кибернетики и вычислительной техники, том 25, Ереван 2006, ст. 57-63.

05.02.2013

Григор Александрович Петросян

**БЫСТРЫЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЕ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В  
ОБРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**РЕЗЮМЕ**

Работа посвящена разработке целочисленных, квантизированных и "целое-целое" версий классических ортогональных преобразований и их применению в области обработки цифровых изображений.

Получены следующие результаты:

- Разработаны алгоритмы генерации целочисленных преобразований Фурье, косинусные и синусные преобразования четырех типов, блочные и вейвлетные преобразования Хаара порядка  $2^n$ .
- Разработаны и реализованы алгоритмы быстрых квантизированных блочных преобразований Хаара и Адамара, а также вейвлет-преобразования Хаара. При этих преобразованиях уровни исходных и спектральных компонент идентичны.
- Для вышеупомянутых преобразований разработаны варианты типа "целое – целое", позволяющие точное восстановление исходных данных.
- Разработана библиотека функций, включающая все упомянутые выше преобразования. Функции библиотеки также позволяют генерировать матрицы преобразований, с помощью которых можно получить оптимизированные версии программ с использованием архитектуры конкретных процессоров.
- На основе идеологии целочисленных преобразований разработан пакет IntegerJPEG, по аналогии стандарта JPEG для сжатия изображений.

Grigor A. Petrosyan

FAST INTEGER TRANSFORMS AND  
APPLICATIONS IN DIGITAL IMAGE

ՀՀ Ազգային գրադարան



NL1694837