**Metode de prelucrare digitală a imaginilor video**

Teză destinată obţinerii

titlului ştiinţific de doctor inginer

la

Universitatea “Politehnica” din Timişoara

în domeniul **Inginerie Electronică și Telecomunicații**

de către

**Ing. Ionut Alexandru Mirel**

Conducător ştiinţific: Prof.univ.dr.ing. Virgil Tiponuț

Referenţi ştiinţifici: Prof.univ.dr. ing. Liviu Goraș

Prof.univ.dr. ing. Gavril Toderean

Prof.univ.dr. ing. Corneliu Toma

Ziua susţinerii tezei: 12 iulie 2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Automatică | 8. Inginerie Industrială |
| 2. Chimie | 9. Inginerie Mecanică |
| 3. Energetică | 10. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 11. Ştiinţa şi Ingineria Materialelor |
| 5. Inginerie Civilă | 12. Ingineria sistemelor |
| 6. Inginerie Electrică  | 13. Ingineria energetică |
| 7. Inginerie Electronică şi Telecomunicaţii  | 14.Calculatoare și tehnologia informației |

Universitatea „Politehnica” din Timişoara a iniţiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoştinţelor şi rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul şcolii doctorale a universităţii. Seriile conţin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susţinute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timişoara, 2006

Această publicaţie este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicaţii, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustraţiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare şi permisiunea pentru utilizare obţinută în scris din partea Universităţii „Politehnica” din Timişoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timişoara, Bd. Republicii 9,

tel. 0256 403823, fax. 0256 403221

e-mail: editura@edipol.upt.ro

# Cuvânt înainte

Lucrarea de față este rodul unei activități de peste 15 ani a autorului în domeniul elaborării și implementării de algoritmi pentru procesarea imaginilor în circuite ASIC (**A**pplication **S**pecific **I**ntegrated **C**ircuit), respectiv SOC (**S**ystem **o**n **C**hip) in diverse companii de renume din domeniu. Din motive de confidențialitate, algoritmii și structurile propuse pe parcursul lucrării reprezintă variante modificate ale soluțiilor originale dezvoltate de autor. Variantele originale ale acestor algoritmi sunt implementate în receptoare de televiziune digitală produse de firme de prestigiu, cum ar fi Sony, LG, Samsung, Philips, Toshiba sau Vizio.

Lucrarea prezintă într-o manieră unitară procesările spațiale majore ale unui lanțul de prelucrare video, oferind soluții de procesare paralelă eficiente, care să permită migrarea acestora de pe platformele SoC din receptoare de TVD în platformele mobile.

Cercetarea s-a concentrat pe reducerea spațială a zgomotelor, rescalarea imaginilor, accentuarea fronturilor, procesarea culorilor, precum și pe tehnici de super-rezoluție spațială. Pentru toate aceste funcționalități s-au propus soluții personale cu o calitate îmbunătățită a procesării, care să permită realizarea unor structuri de procesare paralelă a imaginilor. Algoritmii prezentați au fost implementați pe platforme concrete de SoC produse în serie mare.

# Generalități privind stadiul tehnologic actual

Televiziunea s-a bucurat de o dezvoltare deosebită încă din momentul introducerii variantei comerciale a sistemelor analogice alb-negru în anul 1934. Introducerea receptoarelor color 20 de ani mai tîrziu, a produs o dezvoltare explozivă a acesteia, redefinind-o ca factor social cu un impact major asupra vieții nostre cotidiene.

Se poate afirma că televiziunea este cea care a stimulat nevoia societății de a avea acces la informație tot mai complexă, conducând la revoluția informațională la care asistăm în prezent.

Nevoia crescândă de informație a atras după sine dezvoltarea continuă a capacității și performanțelor sistemelor de achiziție, de stocare, de transmisie-recepție și de vizualizare a informației.

Dezvoltarea sistemelor de comunicație în general și a internetului în special, au produs o migrație a semnificației termenului de “informație electronică”, care cu doar zece ani în urmă se referea mai mult la informația cu caracter scris. În prezent, conceptul de “informație” presupune un conținut audio-vizual extrem de complex, din care doar o mică parte este reprezentată de informația scrisă propriu-zis.

Un element determinant în explozia informațională îl constituie tranziția la distribuția în format digital a informației analogice de orice fel. În cadrul acestui proces evolutiv, tranziția televiziunii analogice la format digital constituie o etapă naturală care permite apariția unui număr nelimitat de aplicații legate de utilizarea informației audio-vizuale.

Nevoia de informație a societății s-a manifestat prin necesitatea de a accesa orice fel de informație în orice moment. S-au dezvoltat astfel tehnologiile de stocare a informației pe servere virtuale și transmisiile video digitale prin rețele mobile sau prin internet. Nu mai sunt de noutate transmisiile prin internet sau pe rețele mobile a filmelor (YouTube, Netflix, Hulu, etc.), a emisiunilor de știri, sau pur și simplu a video-chaturile cotidiene. Au devenit de natură cotidiană jocurile interactive pe internet cu conținut grafic extrem de bogat (XBOX, WII, Playstation, etc.) , sau a programelor de televiziune interactivă.

Asistăm astfel la o nouă paradigmă în care, după ce televiziunea a modificat semificația conceptului de “informație”, nevoia de informație a societății a ajuns să redefinească conceptul de televiziune.

Evoluția explozivă la care asistăm a fost condiționată de fiecare dintre elementele lanțului de distribuție a informației către consumatorul cotidian. Acest macro sistem pornește de la creșterea performanțelor sistemelor de achiziție și continuă cu creșterea capacității de stocare a informației, urmată de dezvoltarea performanțelor sistemelor de transmisie-recepție și respectiv a dispozitivelor de decodare-procesare și vizualizare a informației rezultate.

Și în cazul sistemelor de procesare video asistăm la sinergii extrem de interesante, care reflectă tendințe de convergență a tehnicilor specifice platformelor fixe cu cele dedicate platformelor mobile.

Pe de o parte, este clar că în primul rând datorită dimensiunilor mari ale ecranelor, receptoarele de televiziune digitală (TVD - **t**ele**v**iziune **d**igitală) vor continua să reprezinte pentru consumatori punctul central de receptare a informației audio-vizuale. În acest sens, producătorii de receptoare TVD vor persista în eforturile de implementare a unor algoritmi de procesare tot mai performanți. Reducerea costurilor de producție pentru circuitele ASIC în care sunt implementați algoritmii de procesare a imaginilor, concomitent cu perfecționarea tehnologiilor de fabricație a panourilor de afișaj (LCD, plasmă, iar mai recent OLED – **O**rganic **LED**) a condus la introducerea în masă a receptoarelor de televiziune digitală în viața cotidiană a consumatorilor.

În mare, la ora actuală, funcțiile de bază din receptoarele de TVD de pe piață sunt comparabile ca și performanță, iar diferențele care apar vizează funcționalități speciale, cum ar fi tehnicile de super-rezoluție, a metodelor avansate de procesare stereoscopică (3D), sau a rescalării imaginilor pentru ecranele cu rezoluții 4K.

În paralel, asistăm la adoptarea unor funcționalități considerate pînă nu demult ca fiind specifice doar platformelor mobile sau calculatoarelor personale. Astfel, integrarea abilității de conectare directă la internet a transformat deja receptoarele TVD în unități centrale pentru toate activitățile cotidiene, permițând pe lângă vizionarea transmisiilor TV și accesarea directă a paginilor de internet pentru citirea paginilor de internet sau pentru vizionarea transmisiilor video de tip streaming Netflix sau YouTube. Integrarea aplicațiilor de socializare Skype, Facebook, Twitter, împreună cu camere video, a transformat televizoarele în centre de comunicație pentru întreaga familie. Multe dintre receptoarelor TVD actuale au renunțat la sistemele de operare de tip RTOS și rulează sisteme de operare de tip Android care permit rularea de aplicații până nu demult prezente doar pe calculatoare personalesau pe telefoane celulare.

În același timp, datorită creșterii dimensiunilor ecranelor de afișaj, asistăm la o migrare tot mai pronunțată a arhitecturilor de procesare performantă de imagini, specifice receptoarelor TVD, înspre platformele portabile. Noua generație de procesoare video, este definită de procesoare grafice cu capacități de calcul crescute cu un consum coborât de putere.

În acest context, companii de procesoare grafice, cum ar fi AMD, Nvidia sau Qualcomm încearcă să-și adapteze procesoarele cu Shadere la noile cerințe de performanță și consum redus.

În paralel cu reutilizarea tehnologiei de Shadere, noi abordări, bazate pe procesoare reconfigurabile cu arhitecturi paralele și consum redus, devin tot mai competitive. Datorită capacității impresionante de calculul, acestea permit portarea rapidă a algoritmilor de procesare de imagini, fără a parcurge etapele anevoioase specifice tehnologiei ASIC. Multe dintre aceste procesoare operează deja în produse portabile, cum ar fi iPAD, Kindle sau în telefoane SmartPhone produse de Samsung sau Huawei.

Din punctul de vedere al tehnicilor de procesare a imaginilor, numitorul comun al tuturor tendințelor actuale este legat de creșterea performanțelor de procesare în paralel cu scăderea consumului de putere - toate pentru un cost cât mai mic de producție.

Aparent, acest deziderat este relativ ușor de atins, având în vedere experiența vastă acumulată deja în receptoarele TVD existente.

Realitatea este însă diferită, în special pentru că cele mai multe soluții dezvoltate pentru circuite ASIC au fost concepute pentru echiparea receptoarelor de TVD staționare. Pentru acestea, criteriul determinant de acceptare nu este legat de consum redus, ci de costul circuitului ASIC final, respectiv de integrarea a cât mai multor funcționalități în măști de siliciu cu arie minimă.

În acest sens, creșterea rezoluției imaginilor de intrare și de ieșire, împreună cu presiunea de integrare a tot mai multor funcționalități, au condus la necesitatea operării circuitelor ASIC în salve de date cu frecvențe de ceas de peste 2 GHz. Pentru aceste frecvențe, chiar și reducerea sub 20 nm a dimensiunilor conexiunilor logice nu poate să amelioreze decât parțial constrângerile severe de consum specifice dispozitivelor mobile.

Din punctul de vedere al blocurilor de procesare a imaginilor, impedimentul major în portarea directă din ASIC pe platforme mobile este legat de arhitectura secvențială a lanțului de procesare video. Procesarea secvențială este omni-prezentă în procesoarele implementate în ASIC, fiind o consecință a integrării treptate a blocurilor de procesare și a protocoalelor de validare extrem de stricte din tehnologia ASIC.

Ciclul de producție al unui SoC, de aproximativ 6 luni, este foarte agresiv, și presupune procese de testare extrem de riguroase și meticuloase. Astfel, validarea unui bloc funcțional necesită în medie cinci luni: câte 30 de zile pentru testarea fiecărui algoritm, urmată de un minimum de 3 luni pentru testarea implementării în porți logice. Blocurile funcționale sunt apoi organizate în macro-blocuri, a căror testare se efectuează pe sisteme de accelerare dedicate. Chiar și așa, generarea unei singure imagini de ieșire prin simularea funcționalității chipului final, necesită peste 24 de ore. Procesul trebuie repetat până când toate eventualele erori sunt rezolvate. În paralel cu procesul de testare, echipe dedicate de ingineri lucrează la routingul final. Având în vedere că un procesor tipic de video conține peste 10 milioane de porți logice, procesul de rutare necesită cel puțin 30 de zile, arareori fiind acceptate modificări ale blocurilor validate anterior. Această situație nu permite decât modificări incrementale între versiuni succesive, ceea ce a condus ca în timp arhitecturile să se dezvolte mai mult orizontal, accentul fiind pus pe optimizarea ariei blocurilor validate deja.

##

## Motivația

# Motivația cercetării

Cercetarea prezentată urmărește pe de-o parte elaborarea de noi algoritmi care să conducă la optimizarea performanțelor de calitate a procesării din receptoarele de TVD. Pe de altă parte, se urmărește ca aceeași algoritmi să îndeplinească constrângerile necesare pentru a putea fi cu ușurință pe dispozitivele mobile.

După cum s-a arătat în fig. 1.2, respectiv 1.3, cele două clase de procesare întâlnite în cadrul prelucrărilor de imagini sunt procesările cu componentă temporală (sau simplu procesări temporale), respectiv procesările cu componentă spațială (sau simplu procesări spațiale).

În mod curent, procesările temporale cele mai frecvente sunt legate de deîntrețeserea imaginilor (DI – **D**e**i**nterlacing), respectiv de conversia ratei de cadre (FRC – **F**rame **R**ate **C**onversion).

Sursele video întrețesute au constituit până nu demult formatul de bază pentru majoritatea transmisiilor TV, datorită reducerii la jumătate a benzii de date originale. Introducerii standardelor H.264 a permis o dezvoltare masivă a distribuției de conținut video în format progresiv prin internet, La ora actuală în afară de transmisiile terestre care încă nu au migrat total spre standardul digital, practic toate sursele video (Blu-Ray) sau internet sunt în format progresiv compresat.

Această conjunctură a fost primită extrem de favorabil de industria de echipamente mobile, și a condus la excluderea procesoarelor masive de deîntrețesere din telefoane mobile și tablete.

Situația este diferită în cazul procesării FRC, datorită necesității de a afișa corect imaginile provenind de la camerele video instalate în dispozitivele mobile. Rata de cadre a camerelor video este de 15 sau 30 HZ, iar rate de cadre a ecranelor LCD este de 60 Hz. Astfel, rata tipică de conversie urmărită este de 2x sau 4x.

Datorită complexității algoritmilor de FRC, aceștia nu au putut fi portați ca atare de pe platformele de TVD pe procesoarele din tablete sau SmartPhone, astfel că soluțiile prezente în echipamentele mobile produc rezultate mediocre.

Același devans tehnologic se poate observa și pentru procesările spațiale, care chiar dacă nu necesită aceeași arie de implementare, constituie o componentă esențială în prelucrarea imaginilor.

În prezent, nici măcar cele mai avansate tablete (iPad2 sau Samsung Galaxy), sau Smartphone (iPhone sau Sony Xperia), nu oferă decât funcționalități de scalare în timp real a imaginilor, iar restul funcționalităților specifice (reducerea spațială a zgomotelor, corecția culorilor și a contrastului, respectiv accelerarea tranzițiilor) fiind implementate doar ca opțiuni de procesare off-line.

#### Scopul cercetării

Se poate așadar concluziona că pe de-o parte, evoluția cerințelor de pe piața dispozitivelor mobile a devansat arhitecturile de procesoare video din circuite ASIC. Asistăm la eforturi concertate ale producătorilor de SoC pentru a adapta arhitecturile și algoritmii existenți în TVD la cerințele de consum ale pieței de dispozitive mobile.

Această stare de fapt a constituit de altfel și inspirația acestei lucrări, al cărui scop primar este de a oferi soluții de procesare performantă pentru receptoarele de TVD. S-a urmărit totodată ca aceleași soluții existente în circuitele ASIC din receptoarele TVD curente, să permită și portarea pe platforme mobile. În acest sens, lucarea își propune să prezinte într-o manieră unitară procesările spațiale majore din lanțul de prelucrare video și soluții care să permită migrarea acestora de pe platformele SoC în cele mobile.

Structurile propuse sunt caracterizate de procesare puternic paralelizată, în vederea satisfacerii constrîngerilor de consum redus, arii logice și cicli de execuție minimi, specifice arhitecturilor paralele din procesoarele utilizate în platformele mobile.

În același timp, soluțiile descrise încearcă să satisfacă în continuare cerințele de calitate înaltă specifice procesării din receptoarele de TVD.

Figura 1.4. prezintă variantele posibile de implementare a etajelor de procesare spațială atît pe platforme mobile, cât și pe SoC de TVD.

Figura. 1.4.(a), prezintă structura clasică de procesare secvențială din majoritatea SoC pentru TVD. Liniile de memorie evidențiate în figură sunt necesare pentru procesările spațiale pe direcție verticală și afectează cel mai mult bugetul de arie final. Se poate observa că structura secvențială necesită două blocuri masive de memorii de linii, divizate între scalarea polifazică și blocul de accentuare a fronturilor.

 Soluțiile propuse în fig. 1.4. (b) și (c) realizează reducerea ariei finale prin restructurarea structurilor secvențiale în structuri paralele, care să permită astfel reutilizarea eficientă a memoriilor de linii dispersate între diversele blocuri cu funcționalități de procesare verticală.

Ideea de bază în structurarea paralelă a etajelor de procesare este ca semnalele de ieșire ale fiecărui modul să fie prezentate ca variații relativ la imaginea de intrare. Exprimarea variațională a procesărilor permite un control mult mai simplu al efectelor introduse de fiecare funcționalitate în parte, precum și o implementare mult mai eficientă a algoritmilor. Astfel, numărul de biți alocați diverselor etape de procesare poate fi micșorat substanțial dacă informația prelucrată reprezintă doar variații locale.

Pe lângă avantajul numărului redus de linii de memorie, structurile paralele permit o reducerea suplimentară a ariei prin facilitarea accesului la funcționalitățile comune din diversele blocurilor de procesare implicate în prelucarea pixelilor de imagine.

Din punctul de vedere al calității procesării, structura prezentată în fig. 1.4.(b) este mai costisitoare decât cea din fig. 1.4.(c), dar prezintă avantajul unei implementări mai simple. Totodată, poziționarea blocului de scalare înaintea celor de amplificare a tranzițiilor și a culorilor, conduce la tranziții mai netede și mai puțin zgomotoase.

Din acest motiv, structura (b) este preferabilă pentru procesări mai pretențioase, specifice cerințelor pentru receptoarele TVD de înaltă calitate.

Paralelismul total al structurii din fig. 1.4.(c) prezintă avantaje determinante pentru implementarea în sisteme cu arhitecturi paralele, specifice dispozitivelor mobile.

Chiar dacă nu prezintă aceleași performanțe de calitate a procesării imaginilor, costul foarte mic și abilitatea de a executa majoritatea operațiilor de convoluție într-un număr minim de cicli, sunt factori esențiali în acceptarea unei asemenea soluții în tablete sau dispozitive SmartPhone.



Fig . Structurile de procesare secvențială (a) (clasică) și paralele (b,c) (propuse)

# Structura lucrării

Lucrarea de față își propune găsirea unor soluții eficiente și de înaltă calitate a procesărilor spațiale majore dintr-un lanț de prelucrare de imagini.

Se analizează performanțele soluțiilor existente și se propun variante îmbunătățite care să permită procesarea paralelă a imaginilor prin tehnici spațiale.

Cercetarea se concentrează mai întîi pe funcționalitățile esențiale de procesare spațială: reducerea spațială a zgomotelor, rescalarea imaginilor, accentuarea fronturilor și procesarea culorilor. Pentru acestea se propun diverse metode de îmbunătățire a calității de procesare, în contextul în care soluțiile propuse să ofere costuri minime de implementare.

De asemenea, se propun mai multe soluții eficiente de funcționalități care să permită o departajare a procesoarelor de imagini din punctul de vedere al calității imaginilor. Aceste funcționalități nu sunt prezente decât arareori în SoC pentru TVD, dar sunt responsabile de acel plus de calitate care reprezintă diferența dintre un sistem de înaltă calitate și unul de calitate medie. În acest sens, lucrarea se concentrează pe tehnici de corecție a amplificării tranzițiilor de pe canalul de luminanță funcție de conținutul de culoare, pe controlul culorilor funcție de accelerarea fronturilor de luminanță, respectiv pe tehnici fezabile de super-rezoluție.

Avantajele structurii paralele propuse sunt prezentate în contextul abilității sistemului final de a-și ajusta automat capacitățile de procesare a imaginilor la surse video de calitate extrem de diversă. În acest sens, se analizează abilitatea sistemului final de a produce îmbunătățiri vizibile ale imaginilor procesate, fără introducerea de distorsiuni suplimentare prin amplificarea zgomotelor sau a aliasingului.

S-au analizat performanțele soluțiilor existente și s-au propus variante personale cu o calitate îmbunătățită a procesării, care să permită realizarea unor structuri de procesare paralelă a imaginilor.

Cercetarea s-a concentrat pe funcționalitățile esențiale de procesare spațială precum: reducerea spațială a zgomotelor, rescalarea imaginilor, accentuarea fronturilor, procesarea culorilor precum și pe tehnici de super-rezoluție spațială.

Algoritmii prezentați reprezintă pe de-o parte contribuții teoretice prin elementele de noutate aduse, dar în același timp reprezintă și contribuții aplicative, prin faptul că au fost implementați pe platforme concrete de SoC produse în serie mare.

Pentru ușurința lecturii, lucrarea a fost structurată conform ierarhiei dintr-un lanț de procesare secvențială.

Pentru fiecare funcționalitate analizată s-au determinat limitările cele mai importante, elaborându-se soluții eficiente de eliminare a acestora. Conceptul de structură paralelă propus a fost evidențiat pentru fiecare funcționalitate în parte, împreună cu detalierea modificărilor algoritmice și de implementare necesare.

Performanțele algoritmilor propuși au fost ilustrate prin procesarea unor imagini selectate. Rezultatele obținute au demonstrat că performanțele algoritmilor propuși îndeplinesc, și de cele mai multe ori depășesc, cerințele de calitate superioară impuse procesărilor dintr-un receptor TVD.

În același timp, s-a arătat că structurile paralele propuse satisfac constrângerilor de consum de putere și de arie logică reduse, precum și de număr minimi de cicli de execuție, specifice arhitecturilor paralele din procesoarele utilizate în platformele mobile.

Toate soluțiile fac parte din receptoare de TVD performante produse de firme de prestigiu precum: Sony, LG, Samsung, Toshiba sau Vizio.

Totodată s-au propus mai multe soluții eficiente de funcționalități care să permită o departajare a procesărilor de imagini din punctul de vedere al calității imaginilor generate. În acest sens, lucrarea se concentrează pe tehnici de corecție a amplificării tranzițiilor de pe canalul de luminanță funcție de conținutul de culoare, pe controlul culorilor funcție de accelerarea fronturilor de luminanță, respectiv pe tehnici fezabile de super-rezoluție.

Avantajele structurii paralele propuse sunt prezentate în contextul abilității sistemului final de a-și ajusta automat capacitățile de procesare a imaginilor la surse video de calitate extrem de diversă. În acest sens, se analizează abilitatea sistemului în varianta finală de a produce îmbunătățiri vizibile ale imaginilor procesate, fără introducerea de distorsiuni suplimentare datorate amplificării zgomotelor sau a aliasingului.

#### Capitolul 2

Capitolul 2 prezintă cîteva soluții ale autorului pentru reducerea și controlul eficient prin metode spațiale a zgomotelor din imagini.

Algoritmii propuși se concentrează pe aspectul procesării spațiale a zgomotelor celor mai des întîlnite în practică, adică pe măsurarea zgomotelor analogice, respectiv pe filtrarea zgomotelor analogice și de compresie. Soluțiile propuse au în vedere structura de procesare paralelă necesară implementării acestora atît în circuite SoC, cât și pe platforme reprogramabile din dispozitive mobile.

În final, se propune o structura extrem de eficientă pentru reducerea spațială a zgomotelor. Soluția propusă oferă pe lîngă un cost al implementării extrem de redus, o calitate a procesării imaginilor net superioară structurilor de procesare spațială curent implementate în majoritatea SoC pentru TVD.

Variante ale structurilor elaborate sunt deja implementate în SoC din receptoare de TVD performante produse de firme de prestigiu cum ar fi Sony, LG, Toshiba sau Samsung.

#### Capitolul 3

Capitolul 3 prezintă cîteva soluții ale autorului pentru sinteza filtrelor de scalare polifazică a imaginilor.

Problema sintezei filtrelor digitale polifazice este prezentată ca o problemă care, în vederea asigurării unui optim între performanțele spațiale (răspuns la impuls) și performanțele în frecvență (răspunsul în amplitudine) necesită o analiză în paralel a caracteristicilor de filtrare în ambele domenii de reprezentare.

Se popune o metodă de atenuare a amplitudinii oscilațiilor tranzitorii introduse în decursul procesului de scalare a imaginilor.

Performanțele algoritmilor propuși sunt evaluate prin compararea rezultatelor procesării unor imagini de test specifice, cu soluții de scalare cunoscute, cum ar fi filtrele Lanczos [1], [2] sau ferestrele Hamming.

Variante ale filtrelor sintetizate cu algorimii propuși, precum și variante ale structurilor corespunzătoare, sunt deja implementate în SoC din receptoare de TVD performante produse de firme de prestigiu cum ar fi Sony, LG, Toshiba sau Samsung.

#### Capitolul 4

Capitolul 4 tratează problematica amplificării detaliilor și a accelerării fronturilor imaginilor în prezența zgomotelor. Cercetarea a fost determinată de necesitatea găsirii unor soluții care să ofere o calitate superioară de procesare pentru un cost mult redus al implementării atât pentre circuite SoC din receptoare de TVD, cât și pentru arhitecturile paralele din componența dispozitivelor mobile.

 Se propun o serie de soluții algoritmice, care să permită controlul performant al amplificării detaliilor și al accelerării fronturilor în prezența zgomotelor.

Astfel, se prezintă un algoritm de amplificare adaptivă și izotropică a tranzițiilor, bazat pe operator *ȘOC* modificat. O variantă a algoritmului este parte a unei propuneri de brevet de invenție [3].

Pentru asigurarea imunității la zgomote, se propune o metodă de control adaptiv al factorului de amplificare a tranzițiilor care să permită minimizarea efectelor de aliere.

 Totodată, autorul propune un algoritm original de atenuare a distorsiunilor introduse de supracreșterile datorate accelerării fronturilor, precum și o metodă eficientă de control al amplificării tranzițiilor bazată pe informația regională de luminanță. Legat de aceasta, se prezintă o soluție optimală de separare a detaliilor de muchii în vederea controlului adaptiv și selectiv al amplificării amplitudinii tranzițiilor.

 Pentru minimizarea distorsiunilor de culoare, se propune un algoritm de control al amplificării tranzițiilor de luminanță bazat pe informația de crominanță.

Pentru implementarea algoritmilor descriși, se propune o structură de procesare paralelă, care să permită implementarea eficientă atât în circuite SoC din receptoare de TVD, cât și pe dispozitive mobile.

Versiuni ale algoritmilor elaborați sunt implementate în receptoare TVD de serie performante fabricate de firme de prestigiu, cum ar fi: Sony, Samsung, Philips, LG, Toshiba sau Vizio.

#### Capitolul 5

Capitolul 5 prezintă cîteva dintre soluții eficiente de departajare a calității de procesare a imaginilor. Aceste funcționalități nu sunt prezente decât arareori în SoC pentru TVD, dar sunt responsabile de acel plus de calitate care reprezintă diferența dintre un sistem de înaltă calitate și unul de calitate medie.

În acest sens, se propun soluții personale algoritmice și de implementare pentru:

* procesarea eficientă a culorilor
* controlul amplificării tranzițiilor de luminanță funcție de conținutul de culoare
* restaurarea rezoluției originale a semnalului video printr-o metodă de super-rezoluție spațială.
* controlul nivelului de zgomot de-a lungul lanțului de procesare video

În acest context se prezintă o structură paralelă de concepție originală, care permite reutilizarea informației de culoare între blocuri funcționale, oferind pe lângă un cost mult redus al implementării și avantajul unei procesări mult mai flexibile și de calitate mai ridicată.

Se elaborează totodată un algoritm original pentru controlul adaptiv al amplificării culorilor și al tranzițiilor din imagini, bazat pe detecția conținutului regional de culoare și de luminanță.

 De asemenea autorul a elaborat un algoritm original pentru controlul adaptiv al amplificării tranzițiilor de luminanță funcție de conținutul regional de culoare.

O altă cercetare originală inițiată de autor este legată de problematica restaurării rezoluției originale a semnalului video printr-o metodă de super-rezoluție spațială. Se propune o soluție neiterativă și extrem de eficientă, pentru eliminarea efectelor de împrăștiere a tranzițiilor din imagini. Se demonstrează analitic că soluția propusă permite îmbogățirea componentelor spectrale din imaginea finală peste frecvențele limită din imaginea originală.

O primă versiune a algoritmului propus face obiectul unei propuneri de brevet de invenții [4] și a fost implementată în întreaga serie de receptoare TVD produse de firmele LG, Philips și Vizio.

Soluția a fost prezentată de compania LG la târgul de bunuri electronice de consum de la Berlin (IFA) în 2010, ca și componentă specială a receptoarelor produse de aceasta. Compania a decis în premieră să aduge la meniul de control al tuturor receptoarelor TVD de medie și înaltă calitate a facilității de “Super-rezoluție”. Cîteva fotografii cu prezentarea algoritmului de la IFA, respectiv cu meniul de control din receptoarele LG, sunt incluse în ANEXA 3.

În finalul capitolului se evaluează performanțele și interacțiilor dintre toate funcționalitățile descrise pe parcursul lucrării. Acest pas final este facilitat de abilitatea de interconectare paralelă a tuturor structurilor analizate.

În finalul acestui capitol, autorul abordează într-o manieră originală problema includerii în paralel cu restul funcționalităților analizate, a blocului de reducere a zgomotelor. Structura rezultată permite controlul adaptiv și pe pixel al nivelului de corecție funcție de conținutul de zgomot din imagine.

Imaginile rezultate prezintă o imunitate remarcabilă la zgomote, și în același timp au un conținut ridicat de detalii.

#### Capitolul 6

Capitolul 6 conține concluziile cercetării și sintetizează în rezumat contribuțiile personale ale autorului. Se prezintă totodată câteva imagini relevante pentru calitatea procesărilor finale, precum și o trecere în revistă a domeniilor de aplicabilitate ale cercetării efectuate.

#### Anexe și referințe bibliografice

Lucrarea este însoțită de trei anexe conținând coeficienții filtrelor și tabelelor de căutare utilizate pe parcursul cercetării. De asemenea, pentru ușurința lecturii, au fost incluse în anexe și demonstrații teoretice, respectiv relații matematice intermediare.

Pe parcursul prezentării au fost citate 158 de referințe bibliografice incluse în lista de referințe bibliografice din finalul lucrării.