

UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 004.382.76: 004.932:77(043)

ZOREA Pinchas

**EVALUAREA CALITĂȚII PERCEPUTE A IMAGINII
PENTRU SMARTFONURI CU CAMERA FOTO ÎNCORPORATĂ**

Specialitatea 232.02 – Tehnologii, produse și sisteme informaționale

Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice

CHIȘINĂU, 2018

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului Informatică al Universității de Stat din Moldova.

Conducători științifici:

BRAGARU Tudor, doctor în economie, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova;

PALADI Florentin, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

Referenți oficiali:

COSTAȘ Ilie, doctor habilitat în informatică, profesor universitar, Academia de Studii Economice a Moldovei;

CHIRIȚA Arcadi, doctor în științe fizice, cercetător științific coordonator, Universitatea de Stat din Moldova.

Componența Consiliului Științific Specializat:

BOLUN Ion, președinte, doctor habilitat în informatică, profesor universitar, Academia de Studii Economice a Moldovei;

ARNAUT Vsevolod, secretar științific, doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova;

GAINDRIC Constantin, doctor habilitat în informatică, profesor universitar, membru corespondent al Academiei de Științe a Moldovei, Institutul de Matematică și informatică;

CĂPĂTÂNĂ Gheorghe, doctor în științe tehnice, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova;

ANDRIEȘ Ion, doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova;

KOSOLAPOV Samuel, doctor în științe biologice, Ort Braude College of Engineering, Israel.

Susținerea tezei va avea loc la 14 februarie 2018, ora 13:30, în ședința Consiliului Științific Specializat D 30.232.02-01 în cadrul Universității de Stat din Moldova, str. A. Mateevici 60, Chișinău, MD-2009, Republica Moldova.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Universității de Stat din Moldova și pe pagina web a C.N.A.A. (www.cnaa.md).

Autoreferatul a fost expediat la 12 ianuarie 2018.

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat
ARNAUT Vsevolod, dr., conf.univ.



Conducători științifici:

BRAGARU Tudor, dr., conf.univ.



PALADI Florentin, dr.hab., prof.univ.



Autor:
ZOREA Pinchas



© Zorea Pinchas, 2018

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța problemei evaluării calității percepute a imaginii. În ultimul timp, smartfonurile au devenit dispozitive primare de achiziționare și de afișare a fotografiilor pentru mulți consumatori. Vânzătorii de smartfonuri se străduiesc să îmbunătățească capacitățile camerelor foto încorporate și ale dispozitivelor de afișare pentru a asigura calitatea fotografiilor și a videoclipurilor capturate. Calitatea înaltă a imaginilor stimulează preferințele pentru smartfonuri ale consumatorilor în momentul achiziționării lor. La rândul său, această predilecție afectează modelele populare utilizate de consumatori, cum ar fi partajarea imaginilor și a videoclipurilor (*Instagram, Facebook etc.*). În Figura 1 sunt prezentate exemple de dispozitive mobile cu camera foto încorporată: smartfonuri, tablet, phablet PC etc., utilizate la procesarea imaginilor. Numărul de imagini și de clipuri video de înaltă rezoluție (HD) achiziționate și afișate de smartfonuri continuă să crească într-un ritm foarte rapid. Potrivit unor estimări [1], deja mai mult de jumătate din fotografiile și videoclipurile digitale sunt realizate de smartfonuri și numărul lor continuă să crească din zi în zi în mod exponențial.

Ca urmare a utilizării unui număr tot mai mare de smartfonuri cu camera foto încorporată în calitate de medii digitale de fotografiere și vizualizare a apărut necesitatea de a prezice calitatea percepută a acestor imagini. Astăzi, cea mai obișnuită și pe larg răspândită modalitate de a determina calitatea imaginii sau a videoclipului constă în efectuarea unor experimente/teste vizuale (HVTs) pentru a solicita opinia observatorilor. Însă, aceste teste/experimente sunt costisitoare, necesită mult timp și o infrastructură specială (laboratoare speciale), din care cauză HVTs sunt puțin acceptabile în practică. Mai mult ca atât, evaluarea calității imaginii în baza HVTs necesită un etalon de referință/comparare, care, în multe cazuri, pur și simplu nu există.



Fig.1. Exemple de dispozitive de procesare a imaginilor având încorporată camera foto.

Cum se face testarea calității imaginii în industrie?

- Utilizând metrici cu referință completă sau redusă;
- Procesul este costisitor și durează;
- Rezultatele sunt necesare imediat (pentru a scurta „Timpul ieșirii pe piață”).

Cum se face testarea calității imaginii în mediul academic/cercetare?

- Utilizând metrici cu referință completă;
- Abordarea algoritmilor noi comparativ cu versiunile vechi;
- Rezolvarea distorsiunilor cunoscute (zgomot, blur gaussian, artefacte JPEG etc.);
- Disponibilitate suficientă de timp, nu sunt produse comercializate;
- Testele sunt efectuate în condiții controlate (ținte de testare, lumină, distanță etc.).

Dacă în rezultatul testării vânzătorul A obține scorul 5, iar vânzătorul B – scorul 2, cine poate spune care scor este corect? Astfel, este necesar un proces alternativ pentru:

- Utilizarea metricilor standard de evaluare a calității imaginii în întreaga industrie;
- Corelarea rezultatelor obiective cu percepția calității imaginii de către om;
- Utilizarea de către consumatori a unei scale valorice simple de evaluare (1-5 „stele”).

Pentru a rezolva această problemă, în teză este propus un nou model de previziune a calității imaginii percepute de către utilizatori/PIQ, sunt prezentate principiile și metodele de evaluare a calității imaginii utilizând instrumentul software VIQET, folosit de grupul de experți video VQEG de la Institutul inginerilor electricieni și electroniști (IEEE) de pe lângă ISO OSI (International Organization for Standardization for Open System Interconnection) pentru evaluarea calității pe TV cu ecrane mari.

Relevanța și importanța problemei abordate. Producătorii și vânzătorii de smartfonuri se străduiesc să diferențieze smartfonurile prin performanțele camerei încorporate și livrarea calității imaginilor capturate. Problema rezidă în faptul că pentru evaluarea PIQ pentru smartfonuri, phablet și tablet PC-uri încă mai sunt utilizate metodele învechite, dezvoltate pentru televizoare cu ecrane de dimensiuni mari. Au fost efectuate mai multe cercetări privind evaluarea calității percepute a imaginii PIQ fără referință/NR, în rezultatul cărora sunt propuse noi modele de evaluare și un nou proces bazat pe utilizarea statisticilor scenelor naturale [2], pe măsurarea impactului parametrilor de aparență asupra PIQ pentru ecranele telefonului mobil [3] sau a impactului a trei atribute ale calității imaginii (coloritate, contrast și luminozitate) [4]. Însă, niciunul dintre modelele existente nu s-a dovedit a fi fiabil, nu răspunde cerinței ca procedura privind predicția obiectivă a calității percepute a imaginii să fie una simplă și eficientă.

Prezenta lucrare oferă o nouă procedură de evaluare PIQ pentru dispozitive mobile cu display mic și cameră de fotografiat încorporată (așa ca *smartfonuri, phablet, tablet-PC* și altele

similare), axată pe noi tehnologii. De asemenea, noul model ajută furnizorii de smartfonuri să îmbunătățească calitatea imaginii și experiența de fotografiere a utilizatorilor de smartfonuri prin feedbackul imediat cu privire la noii algoritmi dezvoltați pentru a îmbunătăți attributele IQAs. Chiar dacă evaluarea de către ființele umane a calității imaginii în timp real, fără referință, este o judecată subiectivă. Dezvoltarea unui model care să simuleze această percepție rămâne a fi o provocare pentru specialiștii din industrie și pentru teoreticieni. Cercul calității imaginii prezentat în Figura 2 descrie situația reală din industria prelucrării imaginilor cu specificarea operațiilor înlocuite de noul model.

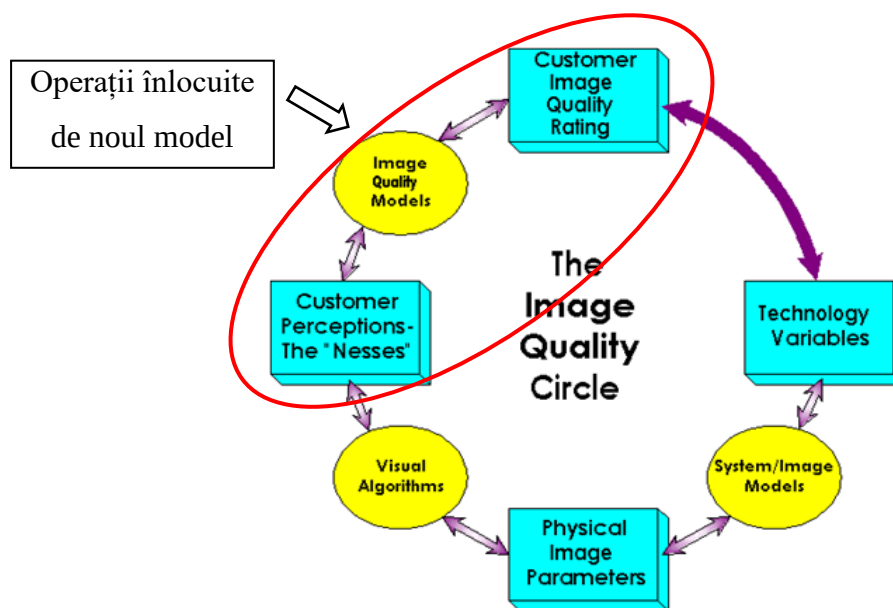


Fig.2. Cercul calității imaginii [2].

Scopul principal al prezentei cercetări este de a dezvolta un nou model fiabil și un nou cadru de evaluare a calității imaginii fără referință (non-referință, NR) în industria de smartfonuri pentru prezicerea calității percepute a imaginii de către utilizatorii de smartfonuri, bazată pe aplicația software (SW) VIQET, ceea ce permite a scurta timpul de evaluare a calității și a reduce costul resurselor.

Pentru atingerea scopului au fost formulate următoarele obiective:

- Analiza situației în domeniul metodelor de evaluare NR a calității imaginii.
- Formularea cerințelor pentru o procedură simplă, fiabilă și eficientă de predicție a calității percepute a imaginii PIQ.
- Identificarea celor mai importante attribute de calitate (IQAs) care fac imaginea mai „plăcută” pentru utilizatorii de smartfonuri.
- Investigarea relației dintre attributele standarde IQAs și criteriile de calitate în VIQET.

- Elaborarea unui nou model de extragere a criteriilor de calitate VIQET din IQAs standarde.
- Experimente/teste vizuale și analiza statistică a rezultatelor.
- Evaluarea performanțelor noului model conform recomandărilor VQEG pentru îmbunătățirea lui în baza analizei comparative cu rezultatele HVTs.
- Elaborarea unei soluții și a unui model complex de evaluare a PIQ atât pentru experți, cât și pentru non-experti, care nu necesită cheltuieli.

Metodologia cercetării constă în abordarea duală a obiectului cercetării ținându-se cont, în primul rând, de metodele care iau în considerare măsurarea statistică sau matematică (*de exemplu, extracția caracteristicilor obiective ale imaginii*) și, în al doilea rând, de metodele care iau în considerare caracteristicile subiective în urma testelor vizuale. În această abordare se iau în considerare valorile IQAs oferite de VIQET cu încorporarea HVTs, adică extragerea caracteristicilor de imagine de VIQET utilizând caracteristicile HVTs.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute. Odată cu cele mai recente evoluții în procesarea digitală a imaginilor în camerele digitale și pe ecranele smartfonurilor și utilizarea lor pe scară largă pentru a capta fotografii și clipuri video a fost deschis un nou orizont de investigare a calității imaginii. În special, calitatea percepută a fotografiilor capturate de smartfonuri/PIQ nu poate fi evaluată din cauza că lipsesc imagini de referință. Noul model de evaluare a calității imaginii fără referință/NR oferă imediat un scor al calității imaginii.

Importanța teoretică și valoarea practică a investigației. Prezenta lucrare descrie modul de extragere a noilor criterii de calitate implementate în VIQET din a IQAs standarde pentru a putea estima media scorurilor MOS în HVTs. De asemenea, noul model diploid explică relația dintre valorile IQAs standarde și VIQET, demonstrează cum se transformă unele în altele pentru a obține cel mai fiabil MOS. La rândul său, MOS calculat prezice calitatea imaginii percepută de către oameni. Valoarea practică a noii abordări este că modelul propus îmbunătățește modelul de evaluare IQ existent în industria de smartfonuri prin automatizarea și înlocuirea unor proceduri.

Indiscutabil, testarea subiectivă, efectuată de oamenii care evaluează calitatea imaginilor, este metoda cea mai exactă pentru evaluarea calității percepute a imaginii, deoarece reflectă adevărata percepție umană. Însă, după cum s-a menționat mai sus, aceste evaluări sunt consumatoare de timp și costisitoare. În plus, evaluările nu pot fi efectuate în timpul real de utilizare a smartfonurilor. Prin urmare, semnificația noii metode de evaluare a calității percepute a imaginii fără referință, realizată cu VIQET, care poate prezice PIQ, este incontestabilă. Mai mult,

după cum a fost demonstrat în lucrare, această predicție corelează bine cu evaluarea subiectivă cerută în industria de procesare a imaginilor.

În teză se propune o evaluare a calității obiective NR pentru imaginile captate de smartfonuri, bazată pe VIQET. Schema noii abordări propuse este prezentată în Figura 3.

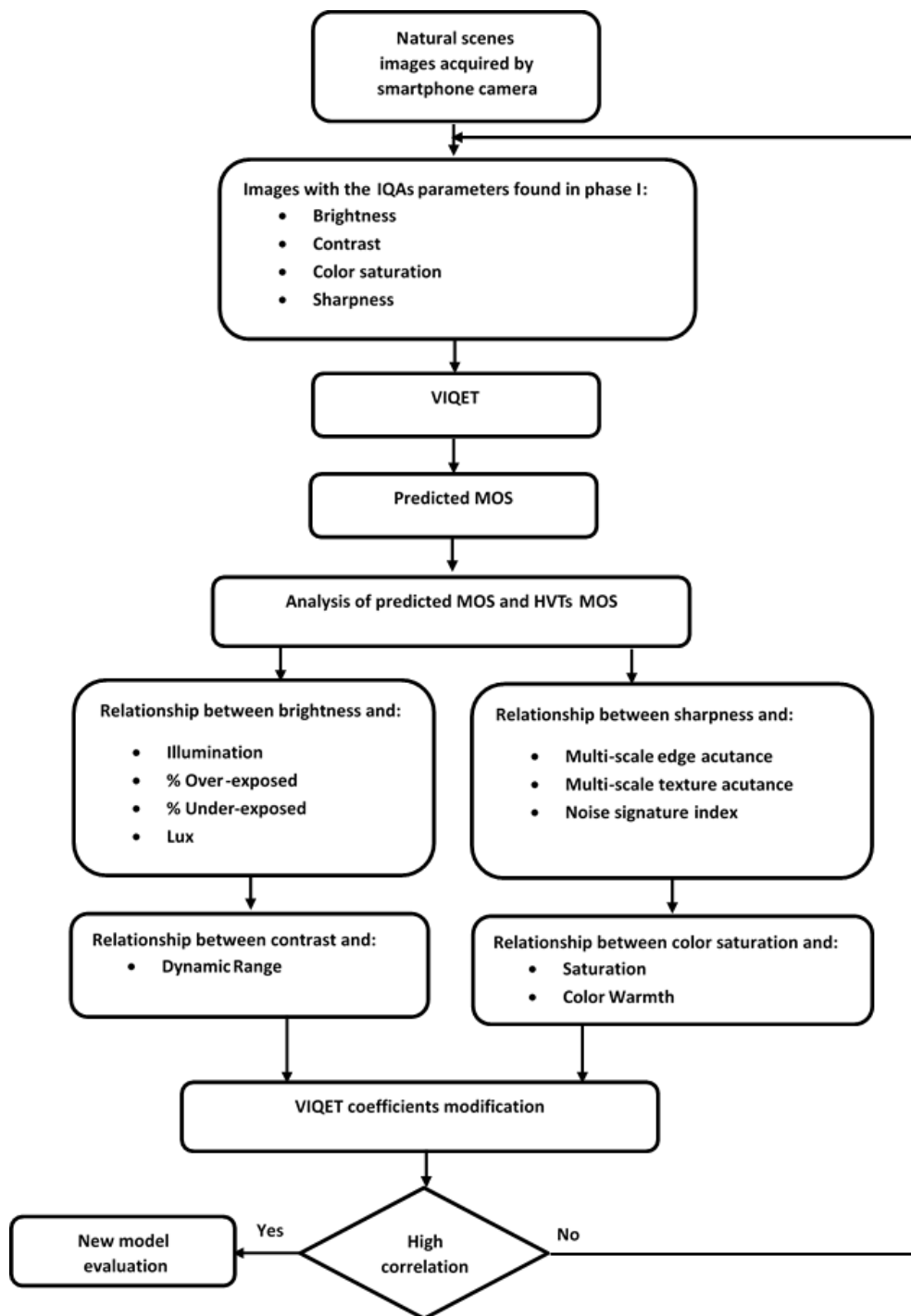


Fig.3. Diagrama fluxului de evaluare a calității imaginii.

Noul model diploid de evaluare a PIQ poate fi utilizat de către producătorii de smartfonuri și de către furnizori pentru a scurta timpul de lansare pe piață sau de către orice alți experți în

domeniul calității imaginii, inclusiv experți din mediul academic, pentru a reduce timpul și costul procesului de evaluare a PIQ pentru smartfonuri cu ecrane mici de înaltă rezoluție în comparație cu procesul bazat pe multiple teste fizice umane.

Problemă științifică importantă soluționată în acest studiu rezidă în elaborarea unei noi abordări și a unui nou cadru de evaluare a calității percepute a imaginii, ce constă în extragerea noilor IQAs, implementate în instrumentul VIQET cu scopul de a prezice calitatea imaginii percepută de utilizatorii de smartfonuri, din IQAs standarde, folosite în televizoare cu ecrane mari. Noua cercetare este axată pe display-uri mici HD în diverse condiții de observare.

Principalele rezultate științifice promovate spre susținere:

- Noul procedeu de abordare a calității percepute bazat pe modelul diploid;
- Extragerea criteriilor IQ implementate în VIQET din IQAs standarde (*luminozitate, contrast, saturația culorilor și claritate*);
- Calibrarea criteriilor IQAs obținută prin multiple experimente vizuale, care au oferit o vastă bază de date pentru analiză;
- Evaluarea PIQ cu VIQET.

Rezultatele au fost implementate în „Ort Braude College of Engineering” (Israel) și utilizate cu succes de către studenții de la specialitatea „Inginerie electronică” în proiectele lor de prelucrare a imaginilor. Precizia și fiabilitatea soluțiilor propuse au fost examinate și evaluate conform cerințelor înaintate de organizațiile internaționale de standardizare, de Uniunea Internațională a Telecomunicațiilor (UIT) și grupul VQEG [3].

Aprobarea rezultatelor cercetării. Rezultatele științifice de bază, obținute de către autor și reflectate în prezenta lucrare, au fost publicate, raportate și discutate în cadrul următoarelor conferințe științifice de rang internațional: „*Mathematics & Information Technologies: Research and Education*” (MITRE-2015), Chișinău, Republica Moldova; *The 2-nd International Conference on Information Technologies, Systems and Networks (ITSN-2017)*, Chișinău, Republica Moldova; *VQEG Conference – Los Gatos (CA, USA, 2017)* și la Conferința națională *11th Interdisciplinary Research Conference Ort Braude College of Engineering (2015)*.

Publicații: rezultatele prezentate în teză au fost publicate în 7 lucrări științifice, inclusiv 4 în reviste de cercetare și 3 în materialele unor conferințe naționale și internaționale, dintre care 5 fără coautori.

Structura și volumul tezei: teza este scrisă în limba engleză, culeasă la calculator și constă din introducere, trei capitole, concluzii generale și recomandări. Teza conține 101 surse

bibliografie, este expusă pe 107 pagini text de bază, care conțin 66 figuri, 30 tabele și finalizează cu 5 anexe.

Cuvinte-cheie: atribute de calitate a imaginii (IQAs), teste vizuale umane (HVTs), calitatea imaginii (IQ), evaluare obiectivă a IQ, evaluare subiectivă a IQ, model de referință complet (FR), model de referință redus, modelul non-referință (NR), calitatea percepută a imaginii (PIQ), scor mediu al opiniilor (MOS).

CONȚINUTUL TEZEI

În lucrare a fost dezvoltată o nouă procedură, bazată pe un nou model diploid de evaluare subiectivă a calității imaginii prin HVTs și de evaluare obiectivă a calității imaginii efectuată cu VIQET. Scorurile obținute în urma evaluărilor subiective și obiective a calității imaginii au fost analizate pentru a determina, dacă creșterea atributelor calității imaginii ar duce la îmbunătățirea calității imaginii percepute de utilizator.

O caracteristică unică a procedurii propuse constă în capacitatea de a încorpora metricile existente de calitate a imaginii cu referință completă, adoptate și implementate în noul model destinat pentru ecranele smartfonurilor.

Evaluările metricilor au fost confirmate de corelarea rezultatelor experimentale obiective și subiective. Au fost investigate, de asemenea, strategiile de extindere a experimentelor subiective care pot să economisească mult timp și resurse pentru experimentele subiective.

Teza constă din introducere și trei capitole.

În **Introducere** sunt descrise scopul și obiectivele cercetării, fiind redată situația actuală a evaluării PIQ în industria de smartfonuri. De asemenea, sunt specificate principalele proceduri de evaluare obiectivă și subiectivă a calității imaginii prin diferite metode, inclusiv modelele cu referință totală, cu referință redusă și fără referință.

În **Capitolul I „Analiza situației privind calitatea imaginii smartfonurilor”** se face o introducere cuprinzătoare a metodelor de evaluare a calității imaginii în industria respectivă și în mediul academic. Diagrama prezentată în *Figura 4* ilustrează metricile de calitate percepută a imaginii de pe smartfonuri. Procesul de evaluare a IQ se desfășoară, mai întâi, în laboratoarele vânzătorilor de către experți în calitatea imaginii, apoi este efectuată evaluarea subiectivă a IQ prin experimente vizuale, caz în care observatorii nu sunt experți în calitatea imaginii.

Acest proces a fost descris foarte bine în „Cercul calității imaginii” [6]. În timpul procesului de dezvoltare a noilor IQAs, experții evaluează calitatea în laboratoare prin examinări vizuale cu referire la original, comparând o imagine cu alta. După ce atributele sunt aprobate, urmează evaluarea subiectivă a calității prin multiple teste HVTs, în scopul de a măsura „gusturile” consumatorilor de smartfonuri privind calitatea percepută – PIQ.

Evaluarea obiectivă a calității imaginii este o metodă computațională de predicție a calității percepute a imaginilor pe baza modelului diploid. Acest model obiectiv de calitate a imaginii prezice calitatea imaginii percepută de către un observator mediu. Modelul oferă o corelație puternică între observațiile subiective și metricile obiective de calitate; această corelație este esențială atunci când se elaborează o nouă metrică obiectivă.

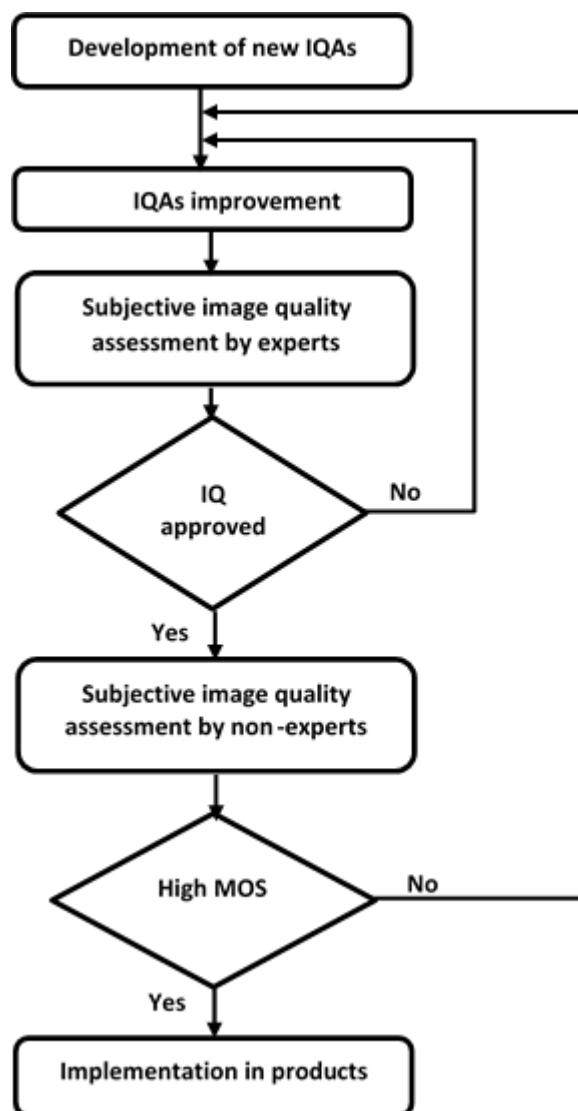


Fig.4. Procesul actual de evaluare a calității imaginii în industria smartfonurilor [7].

Evaluarea subiectivă a calității imaginii este cea mai sigură metodă de evaluare a calității percepute a imaginii. Ea este realizată prin teste subiective HVTs, dat fiind că în majoritatea aplicațiilor multimedia utilizatorii finali sunt persoane fizice. În HVTs, unui grup de persoane „non-experti” i se cere să-și exprime opinia cu privire la calitatea unor imagini. În scopul efectuării unei testări subiective a calității imaginii, care ar furniza rezultate fiabile, de către UIT și VQEG au fost propuse mai multe standarde internaționale. Unele dintre aceste standarde internaționale au fost prezentate succint în acest capitol.

Există trei modele de evaluare a calității imaginii (model cu referință completă la original, model cu referință redusă, model fără referință), inițial proiectate pentru ecrane mari și alte dispozitive de afișare (*de exemplu, televizoare, proiectoare*), folosite pe larg în industria de prelucrare a imaginii. Aceste modele sunt prezentate în *Figura 5* și în *Figura 6*. Prezenta cercetare este axată pe **modelul fără referință NR**, care este cel mai potrivit în cazul smartphoneurilor.

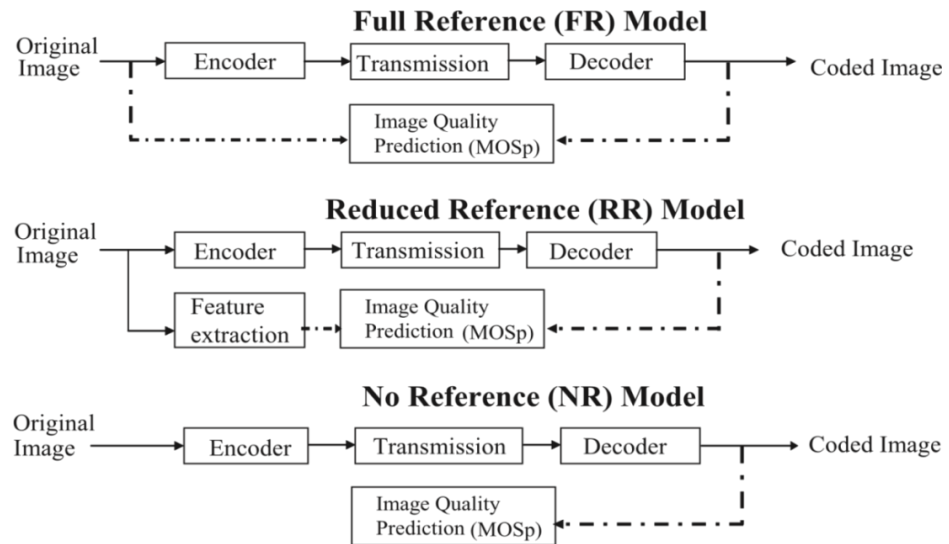


Fig.5. Modele de evaluare a calității imaginii [7].

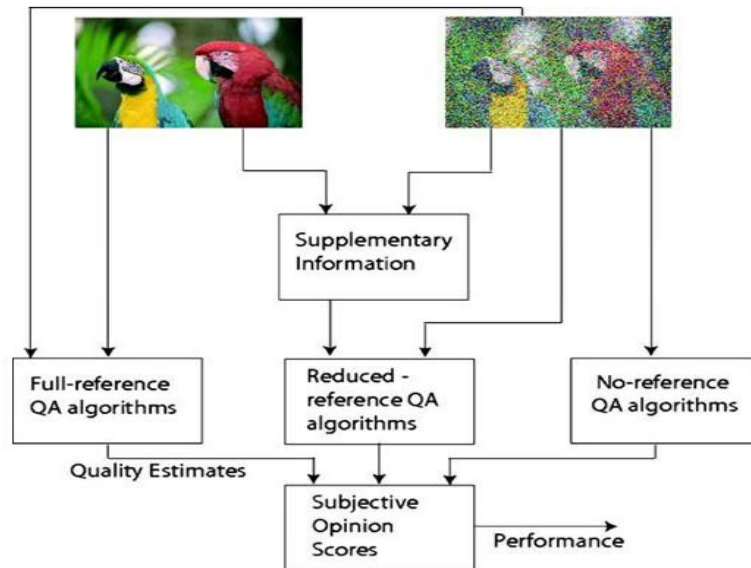


Fig.6. Schema fluxului de evaluare subiectivă a calității imaginii [7].

Modelul cu referință completă este util pentru evaluarea calității imaginilor distorsionate și necesită imagini de referință. Această metodă este utilizată în cele mai multe cazuri de evaluare a calității. Cu toate acestea, în multe cazuri de aplicații în timp real imaginile de referință nu sunt disponibile, astfel încât metricile FR nu sunt utile pentru asemenea aplicații.

Modelul cu referință redusă [8] necesită doar informații parțiale ale imaginilor de referință pentru a prezice calitatea vizuală a imaginilor distorsionate. Această metodă este folosită ca substitut al metodei FR, în cazul lipsei unei imagini ideale de referință. De exemplu, în cazul dezvoltării unei noi caracteristici IQ, aceasta este comparată cu imaginea originală în afara noii caracteristici IQ, pentru a vedea dacă există sau nu o îmbunătățire a IQ.

Modelul fără referință la original nu necesită nicio imagine de referință pentru a evalua calitatea unei imagini distorsionate și este cunoscută ca metodă NR [8]. În multe aplicații de timp real imaginea de referință nu este disponibilă. În așa cazuri, abordarea calității de tip „evaluare oarbă”, în care un observator poate evalua calitatea unei imagini distorsionate fără a folosi orice imagine de referință, este unica soluție. Cu toate acestea, dezvoltarea unor metrici obiective de măsurare NR a calității este dificilă din cauza caracteristicilor sistemului vizual uman (HVS) care, în mare parte, este subiectiv. Ca urmare, se ajunge la concluzia că o evaluare NR a calității poate fi fiabilă doar în cazul în care sunt disponibile cunoștințele anterioare despre distorsionarea imaginii [9]. Prezenta cercetare se concentrează pe această metodă NR.

Noul model non-referință de evaluare a calității imaginii – rezultat al prezentei investigații – prevede o nouă soluție de evaluare NR a calității imaginii. Cercetările privind metricile NR sunt încă într-o stare incipientă, comparativ cu cercetările privind metricile FR și RR. Însă, datorită marelui potențial practic în aplicații în timp real în cazurile când imaginea de referință lipsește, metricile NR capătă o mare semnificație. Cercetarea privind măsurătorile NR este la o etapă foarte preliminară, în comparație cu cercetarea privind metricile FR și RR. Cu toate acestea, cercetării privind valorile NR a început să i se acorde o atenție deosebită datorită potențialului mare al acestor valori de a fi utilizate în aplicații în timp real, în timp ce imaginea de referință lipsește. Metoda de evaluare NR este foarte utilă în cazul încărcării/descărcării extensive de zi cu zi a imaginilor pe/de pe smartfonuri. Evaluarea calității imaginii bazată pe compararea imaginii ideale de referință cu imaginea distorsionată este o sarcină ușoară pentru experții IQ și observatorii non-experti, pe când NR este o problemă mai dificilă în proiectarea metricilor obiective [10, 11], dat fiind că lipsesc imaginile de referință cu care acestea pot fi comparate.

În **Capitolul II „Evaluarea calității percepute a imaginii”** sunt luate în atenție metricile de calitate percepută a imaginii și procesul de calibrare a parametrilor VIQET. Lucrările au fost efectuate în două faze:

Faza I: În cadrul unor HVTs cu grupuri de observatori, în fiecare experiment (*evaluarea subiectivă a calității imaginii*), au fost identificate atributele ce contribuie la perceperea calității imaginii și la determinarea nivelului optim al parametrilor fiecărui atribut.

Faza II: Crearea și analiza unui set de imagini prelucrate pe baza atributelor de calitate a imaginii, selectate pentru a fi utilizate ca intrări în efectuarea celor 10 teste vizuale cu participarea a 98 de observatori (în timp ce UIT recomandă 24 de observatori) și analizând aceleași imagini cu VIQET. Au fost analizate scorurile HVTs și VIQET. Apoi, în urma analizei scorurilor, au fost calibrate criteriile calității utilizate în VIQET, prezentate în *Tabelul 1*. Odată ce VIQET are noi parametri de calitate a imaginii, se realizează noi teste vizuale și întregul proces se repetă din nou în cicluri cu 10 observatori. Obiectivul urmărit a fost de a obține cea mai mare corelare între scorurile HVTs și valorile oferite de VIQET.

Tabelul 1. VIQET categorii de calitate a imaginii

Caracteristici privind calitatea imaginii	Scor	Diapazon
Precizie multiscală marginală	12.14	Mai mare este mai bună
Indicele de imunitate la zgomot	99.39	0 – 589
Saturația	123.41	0 reprezintă B&W a imaginii
Luminozitatea	92.00	0 – 255
Intervalul dinamic	106.72	Reprezintă nivelurile lui Gary

Evaluarea subiectivă a calității imaginii

Pentru ca observatorii să poată descoperi diferite probleme de calitate, ar trebui utilizată o gamă largă de imagini cu un set mare de atribute IQ. Pentru a realiza acest lucru, imaginile au fost alese ținându-se cont de recomandările VQEG: fotografii cu 10 conținuturi naturale de imagine captate de camera de smartfon în rezoluția nativă de 1920x1200 pixeli. Ulterior aceste 10 imagini au fost utilizate ca referință. Fiecare imagine originală a fost procesată prin adăugarea atributelor IQ (*luminozitate, contrast, culoare și claritate*), astfel încât conținutul general al testelor include 4 grupuri de imagini prelucrate și 1 – imagine de referință.

Conținuturile testelor au fost elaborate în conformitate cu recomandările VQEG [5]. Acestea au fost atent selectate pentru a reprezenta o gamă largă de situații și cereri pentru imagini. De asemenea, la alegerea conținutului imaginii au fost luate în considerare recomandările standardelor foto-spațiale ale Asociației Internaționale a Industriei Imagistice (I3A). Fiecare imagine originală a fost procesată în scopul de a crește valorile atributelor de calitate a imaginii: *luminozitate, contrast, claritate și saturație a culorilor*. Conținutul testelor vizuale și analiza VIQET includ 50 de imagini a diferitelor scene (5 imagini ale fiecărei scene), prezentate în *Figurile 7 - 10*.



Fig. 7. Imagini de zi în exterior (peisaje, oameni).

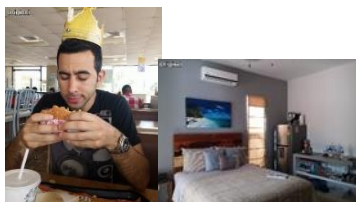


Fig. 8. Imagini de interior.

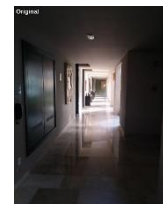


Fig. 9. Imagini de interior cu iluminare din spate.



Fig. 10. Imagini de exterior, noaptea.

Imaginile din *Figurile 7, 8, 9 și 10* au fost selectate drept conținut de test pentru evaluarea subiectivă a calității imaginii. Imaginile din *Figura 7* („clădire”, „lac”, „taxi” și „om”) sunt exemple de imagini-peisaje orășenești de zi în exterior la aer liber.

Imaginile din *Figura 8* („rege” și „cameră”) sunt exemple de imagini de interior fără iluminare din spate, ca fotografii de zi realizate în interior cu iluminare naturală. În acest caz, obiectele principale sunt luminate.

Imaginea „hala” din *Figura 9* este un exemplu al scenei de zi de interior cu iluminare din spate/de o parte – de la geam sau ușă. În acest caz, obiectele principale sunt umbrite.

Imaginile din *Figura 10* („apus de soare”, „bar” și „avion”) sunt exemple de imagini de noapte în afara încăperilor, cu o cantitate considerabilă de negru în fotografie, spațiul fiind clar și foarte bine luminat. Camera foto trebuie să măsoare corect lumina, astfel încât pe imagine să fie observabile persoanele, din care cauză umbrele sunt absolut întunecate.

Evaluarea IQ cu diferite atribute de calitate

Pentru a măsura contribuția atributelor de calitate clasice ale imaginii (*luminozitate, contrast, saturația culorilor și claritate*) la calitatea percepută a imaginii, au fost preparate ca conținut de bază pentru testare 10 imagini ale unor scene naturale, care reprezintă *imagini de exterior/interior iluminate în condiții de zi/de noapte*. Numărul stabilit de 50 de imagini de testare este rezonabil pentru evaluarea IQ într-un timp experimental de aproximativ 10-15 minute (*10 secunde pentru*

fiecare imagine în parte cu o scurtă pauză de vot). Acest lucru a încurajat observatorii selectați să opereze cu testele de evaluare a calității imaginii. Acest proces a fost desfășurat conform recomandării ITU-R BT.500-13 [9]. Un exemplu al unei imagini de test original, cu diferite niveluri ale IQAs clasice adăugate, este prezentat în *Figura 11*.

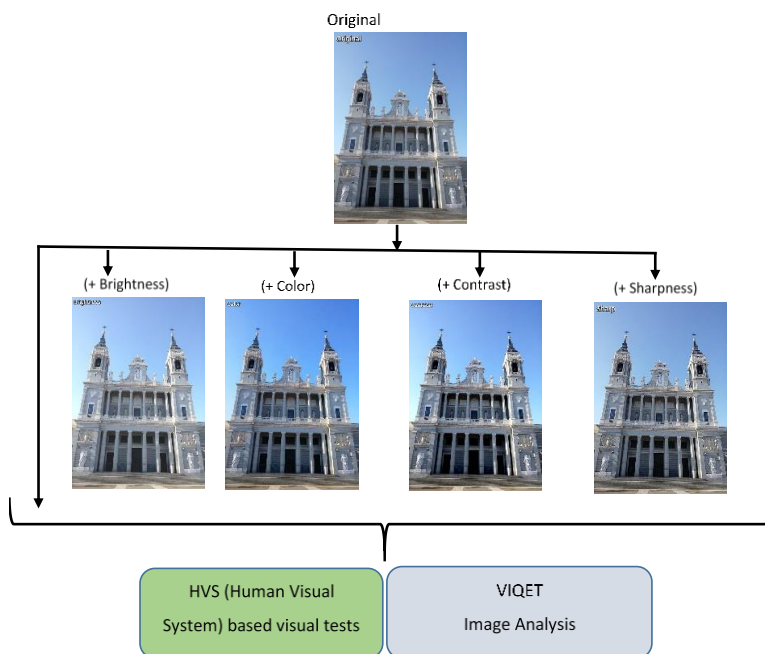


Fig.11. Exemplu de prelucrare a unei imagini de test.

PIQ comparativ cu VIQET analiza imaginii

Această parte a studiului începe cu o analiză a imaginilor selectate ca conținut de testare pentru HVTs cu instrumentul de evaluare a calității VIQET și potrivit cerințelor de proiectare, urmate de o descriere detaliată a procedurilor de proiectare și dezvoltare a unui model obiectiv de evaluare a calității imaginii. Acest nou model este format din două părți: modul în care attributele de calitate a imaginii influențează preferințele observatorilor în HVTs și analiza imaginii cu VIQET.

Luminozitatea, contrastul, saturația culorilor și claritatea sunt luate ca principale atribute de calitate a imaginii, deoarece acestea sunt cele mai vizibile în imagini. Varierea atributelor de calitate a imaginii îmbunătățește sau degradează calitatea vizuală percepută a unei imagini. Relația dintre calitatea imaginii și nivelul de creștere/degradare a valorii atributelor de calitate depinde de conținutul imaginii. Rezultatele indică faptul că vizibilitatea calității imaginii este puternic dependentă de attributele IQ adăugate la imagine.

Evaluarea calității percepute folosind HVTs

La acest experiment a participat un număr mare de persoane, bărbați și femei, non-experti (în sensul că observatorii nu sunt evaluatori profesioniști, cu experiență). Toate persoanele au avut vedere normală sau corectată la normal. Fiecare observator a vizualizat imaginile propuse în ordinea aleatorie pe un ecran de smartfon, 10 seturi a câte 5 imagini fiecare (*original*, + *luminozitate*, + *contrast*, + *saturație*, + *claritate*). Figura 12 ilustrează testele vizuale și procesul de analiză a imaginii cu VIQET.

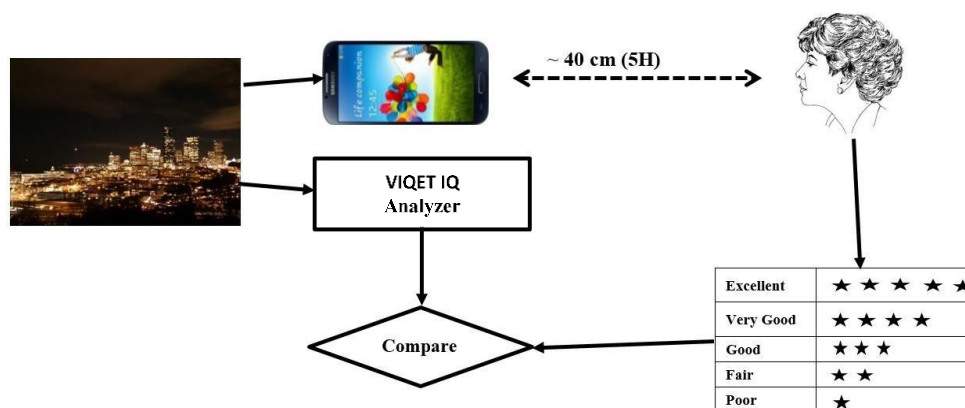


Fig.12. Procesul testării vizuale a IQ și analiza comparativă cu VIQET.

Apoi, fiecare observator a evaluat calitatea imaginii percepută de el/ea în Categoria de Rating Absolut (ACR) pe scara de 5 puncte, așa cum este prezentat în Figura 13 (corespunzătoare calității percepute ca „excelentă”, „bună”, „echitabilă”, „slabă” și „foarte slabă”).

Excellent	★ ★ ★ ★ ★
Very Good	★ ★ ★ ★
Good	★ ★ ★
Fair	★ ★
Poor	★

Fig.13. Baremul de notare/clasament

Mediul în care au fost efectuate experimentele a fost stabilit conform recomandării ITU-R BT.500-13 [9]. Înaintea testului oficial observatorii au fost rugați să evalueze câteva exemple de imagini pentru a se familiariza cu scala de notare și cu navigarea imaginilor.

Evaluarea calității imaginii cu VIQET

VIQET este un instrument software open source, conceput pentru a evalua calitatea obiectivă, fără a se face referință la originalul fotografiilor.

- VIQET este disponibil la adresa: www.GitHub.com/VIQET/.
- Programul de instalare pe desktop poate fi descărcat de la adresa: <https://github.com/VIQET/VIQET-Desktop/releases/>.
- Codul sursă poate fi găsit la adresa: <https://github.com/VIQET/VIQET-Desktop/>.

În scopul de a realiza evaluarea calității, VIQET necesită un set de fotografii efectuate cu dispozitivul testat. Urmează estimarea mediei generale a scorurilor oferite (MOS) pentru acest dispozitiv, bazată pe scorurile individuale MOS ale imaginii din set. MOS estimat pentru fiecare fotografie se bazează pe o serie de caracteristici de calitate a imaginii și pe statistici extrase din fotografia de test. Maparea caracteristicilor extrase din MOS se bazează pe studii psihofizice, efectuate pentru a crea un set mare de fotografii și valorile de calitate subiective asociate (MOS).

Studiile au fost folosite pentru a învăța o mapare a caracteristicilor cantitative pentru MOS. MOS estimat de VIQET se încadrează într-un interval de la 1 până la 5, unde 1 corespunde unui rating de calitate scăzută și 5 corespunde calității excelente. În *Figura 14* este prezentat un exemplu de histogramă RGB, iar în *Figura 15* un exemplu de hartă a clarității, ambele obținute cu VIQET.



Fig.14. Exemplu de histogramă RGB obținută cu VIQET.



Fig.15. Exemplu de hartă a clarității obținută cu VIQET.

Tabelul 1 (prezentat la pagina 13) demonstrează un exemplu de atribute de calitate a imaginii pentru caracteristicile cantitative, obținute cu VIQET.

Evaluarea obiectivă a IQ cu VIQET

MOS estimate pentru fiecare fotografie se bazează pe o serie de caracteristici de calitate a imaginii și pe statisticile extrase din fotografia de test. Aceleași imagini utilizate în faza I de evaluare a IQ prin HVT au fost necesare și pentru evaluarea IQ cu VIQET, pentru a analiza fiecare imagine în parte și a obține scorurile de calitate.

În **Capitolul III „Noul model de evaluare a performanțelor”** sunt descrise evaluarea performanței și validarea noului model propus. Comparând scorurile de calitate a imaginii percepute date de observatori în timpul HVTs cu scorurile calculate de VIQET ca rezultate ale

noului model, obținem segmentele de împrăștiere a calității percepute a imaginii vis-à-vis de calitatea imaginii prezise, prezentate în *Figura 16*.

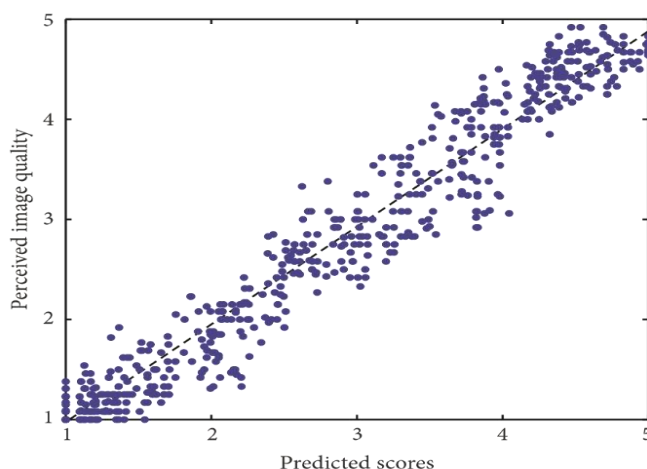


Fig.16. Calitatea percepută a imaginii și scorurile prezise [9].

Evaluarea performanței noului model

Pentru a evalua performanța modelului propus de evaluare a calității, în prezenta cercetare au fost urmate procedurile standard ale VQEG [5] de evaluare a performanțelor. Standardul a fost dezvoltat pentru a calcula eroarea de predicție între modelul matematic și scorurile subiective (opiniile observatorilor). Potrivit [5], performanța unui model obiectiv de calitate se caracterizează prin trei atribute de predicție: *acuratețe/precizie*, *monotonie*, *consistență*.

Acuratețea este abilitatea de a prezice distorsiunile dintre MOS și MOSp. Într-un caz ideal, relația dintre MOS și MOSp este de așteptat să fie liniară. *Figura 17* ilustrează relațiile ipotetice dintre MOS și MOSp a două modele. Modelul I este mai precis decât Modelul II, deoarece mai multe evaluări ale imaginii sunt mai aproape de linia dreaptă.

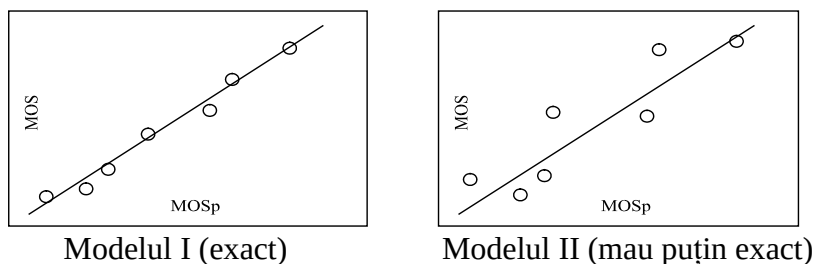


Fig.17. Două modele ipotetice cu precizie de predicție diferită [9].

Monotonia indică gradul în care previziunile modelului sunt în acord cu importanța relativă a ratingurilor subiective de calitate, adică între testul subiectiv și modelul obiectiv al variațiilor de calitate a imaginii. Ca exemplu: observatorii oferă scoruri imaginii A cu mai multe niveluri diferite de compresie, caz în care calitatea imaginii devine mai bună atunci când nivelul de compresie este minim.

Un model obiectiv monotonic ar trebui să dea același rezultat, dar poate să nu urmeze tendința, chiar dacă acestea sunt matematic echivalente. *Figura 18* ilustrează relațiile ipotetice dintre MOS și MOSp a două modele. Modelul I are o corelație Pearson mai bună decât Modelul II, dar prezice fals degradarea calității imaginii în două evenimente, atunci când evaluatorii văd, de fapt, o îmbunătățire a calității imaginii. Prin urmare, în ceea ce privește monotonia, Modelul II este mai bun decât Modelul I.

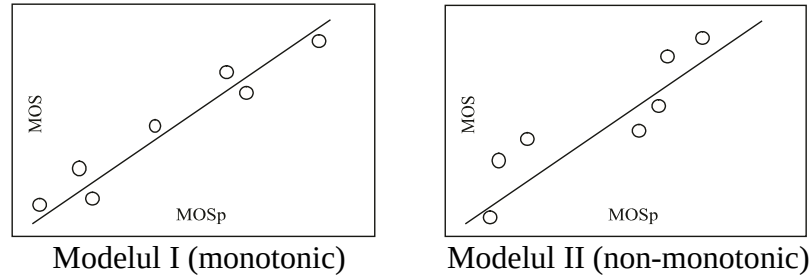


Fig.18. Două modele ipotetice cu monotonie de predicție diferită [9].

Consistența este gradul în care modelul menține precizia de predicție în intervalul tuturor tipurilor de imagini sau pentru un subset de imagini. Un model obiectiv ar trebui să funcționeze mai bine pe o gamă largă de imagini de testare cu eroare de predicție minimă. În *Figura 19* sunt prezentate două modele ipotetice cu MOS și MOSp și, în ceea ce privește consistența, Modelul I este mai consistent decât Modelul II.

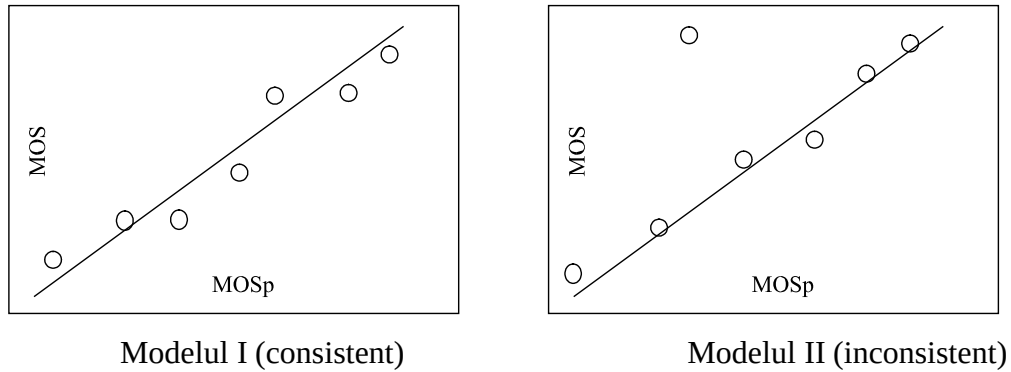


Fig. 19. Două modele ipotetice cu consistență de predicție diferită [9].

În continuare sunt expuse succint metricile de evaluare a performanțelor recomandate de VQEG [3] pentru modelul obiectiv de evaluare a calității.

Metrica 1 – Coeficientul de Corelație Pearson (CC) dintre obiectivul MOSp și scorurile subiective MOS. MOSp este media scorurilor de predicție, care sunt ieșiri din modelul obiectiv (adică, matematic), în timp ce MOS este scorul mediu al evaluărilor HVTs. Acest coeficient oferă o evaluare a preciziei predicției, care poate fi definit ca:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (MOS(i) - \overline{MOS}) (MOS_p(i) - \overline{MOS_p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (MOS(i) - \overline{MOS})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (MOS_p(i) - \overline{MOS_p})^2}},$$

unde: i – indicele probei imaginii, N – numărul total de probe.

Coeficientul de corelație Pearson este utilizat pentru a măsura puterea asocierii liniare între cele două variabile. Cazul în care valoarea coeficientului de corelație $r = 1$ înseamnă o corelație pozitivă perfectă, iar valoarea coeficientului de corelație $r = -1$ înseamnă o corelație negativă, imperfectă. De exemplu, am putea folosi acest test pentru a afla dacă înălțimea și greutatea oamenilor sunt corelate (*cu cât persoana este mai înaltă, cu atât greutatea ei este mai mare, experimentele fiind susceptibile*).

Cerințe pentru coeficientul de corelație Pearson:

- scala de măsurare trebuie să fie un interval sau un raport;
- variabilele ar trebui să fie distribuite aproximativ în mod normal;
- asocierea dintre variabile ar trebui să fie liniară;
- nu trebuie să existe date omise/valori aberante.

Metrica 2 – Coeficientul Spearman al corelației rangului de ordine (SROCC) între calitatea obiectivă MOSp și scorurile subiective MOS. Este considerat ca măsură a monotoniei de predicție și este definit prin:

$$SROCC = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (MOS(i) - MOS_p(i))^2}{N(N^2 - 1)}.$$

Monotonia de predicție este gradul de acord între valorile testului subiectiv și ale modelului obiectiv în ceea ce privește semnul schimbării calității imaginii.

Metrica 3 – raportul Outlier (OR) reprezintă numărul de „puncte aberante” în totalul punctelor N . Se consideră ca măsură de consistență a predicției, care poate fi definită prin ecuația:

$$OR = \frac{\text{Total number of outliers}}{N},$$

unde un outlier este un punct pentru $|MOS(i) - MOS_p(i)| > 2 \times \sigma(MOS(i))$, iar $\sigma(MOS(i))$ reprezintă deviația standard a scorurilor individuale asociate cu proba i a imaginii. Scorurile individuale sunt distribuite aproximativ în mod normal și, prin urmare, dublul valorii σ reprezintă intervalul de încredere de 95%.

Metrica 4, eroarea medie absolută (MAE), este cantitatea utilizată pentru a măsura modul în care previziunile apropiate sunt conforme cu eventualele rezultate. MAE între MOSp obiective și scorurile MOS subiective este calculată prin formula:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |MOS(i) - MOS_p(i)|.$$

Valoarea medie a erorii absolute se află pe aceeași scară ca și datele măsurate. Acest lucru este cunoscut ca „măsură de precizie dependentă de scară” și, prin urmare, ea nu poate fi folosită pentru a face comparații între serii de date pe scări diferite.

Metrica 5 – eroarea medie pătratică (*RMSE*) între *MOS_p* obiective și scorurile subiective *MOS* este calculată prin formula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(MOS(i) - MOS_p(i) \right)^2}.$$

Metricile 4 și 5 sunt considerate ca măsură a preciziei predicției.

Calcularea scorului așteptat al PIQ

Noul model de evaluare IQ realizat în lucrare este prezentat în detaliu în Capitolul II, iar evaluarea modelului este prezentată în Capitolul III. Principalele livrabile ale cercetării includ formulele de calcul ale atributelor calității imaginii, cadrul de evaluare și codul sursă al software-ului VIQET.

Cadrul de evaluare descrie modul de extragere a valorilor parametrilor IQ și de furnizare a *MOS_p* (*MOS* anticipat) de către VIQET.

Atributele de calitate din VIQET pot obține orice valoare din gama:

- acutanță pe muchii multiple (*M*), între 0 – 255;
- indexul zgomotului (*N*), între 0 – 590;
- saturația culorii (*C*), între 0 – 255;
- iluminare (*I*) – domeniul, între 0 – 255;
- interval dinamic (*D*), între 0 – 255.

Modelul de evaluare a calității imaginii este dat în formula de mai jos. Coeficienții ponderați (*A_m*, *A_n*, *A_c*, *A_i* și *A_d*) au fost construiți aplicând regresia liniară a evaluării calității imaginii rezultate din HVTs și VIQET [12,13]. Coeficienții ponderați sunt propuși pentru a forma o mai bună calitate percepută a imaginii. Pentru a obține un model de evaluare a calității unei singure imagini ar trebui să fie aplicată această formulă.

Formula reprezintă cele cinci criterii de IQ măsurate prin VIQET. Fiecare criteriu IQ a fost înmulțit cu coeficientul respectiv, care a fost obținut prin regresia liniară a rezultatelor obținute în HVTs și VIQET:

$$MOS_p = \frac{M_i}{M_{max}} A_m + \frac{N_i}{N_{max}} A_n + \frac{C_i}{C_{max}} A_c + \frac{I_i}{I_{max}} A_i + \frac{D_i}{D_{max}} A_d,$$

unde: *M_{max}*, *N_{max}*, *C_{max}*, *I_{max}* și *D_{max}* reprezintă valorile maxime ale criteriilor IQ măsurate prin VIQET; *A_m*, *A_n*, *A_c*, *A_i* și *A_d* – coeficienții IQ pentru fiecare criteriu IQ. Indicele coeficienților și valorile acestora:

- A_m – acutanță pe muchii multiple, valoare = 3,04;
- A_n – indice de semnal de zgomot, valoare = 1,01;
- A_c – saturație de culoare, valoare = 1,22;
- A_i – iluminare, valoare = 1,12;
- A_d – interval dinamic, valoare = 1,84.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI GENERALE

Prezenta cercetare propune ***un nou cadru de predicție a calității percepute a imaginii*** pentru smartfonuri. Noul cadru este compus dintr-o procedură HVT și o evaluare cu ***aplicația software VIQET***. O altă aplicare directă a rezultatelor poate fi în rețelele sociale [14], de ex.: Facebook, Instagram, Snapchat etc.

VIQET este un instrument open source de evaluare obiectivă fără referință a calității fotografiilor, conceput pentru a evalua calitatea fotografiilor utilizatorilor. Pentru a realiza evaluarea calității fotografiilor VIQET necesită un set de fotografii de pe dispozitivul testat. Apoi estimează o marjă de securitate MOS de ansamblu pentru acest dispozitiv, în baza scorului individual per imagine din set. În lucrare sunt prezentate în detalii și analizate procesele, instrumentele, modelele, atributele IQAs pentru evaluarea subiectivă a calității imaginii prin HVTs și pentru evaluarea obiectivă a calității imaginii pe baza analizei VIQET:

- Corelațiile dintre rezultatele măsurărilor obiective și perceptuale au indicat că valorile MOS, MSE, PSNR dau performanțe excelente de predicție în cele mai multe cazuri (atât în ceea ce privește corelarea, cât și variația acesteia).
- Analizele statistice ale rezultatelor au fost efectuate pentru a verifica dacă creșterea atributelor de calitate a imaginii ar duce la o îmbunătățire a calității imaginii percepute de utilizator.
- Rezultatele sunt utile pentru industria de telefonie mobilă, acestea făcând să se înțeleagă mai bine beneficiul concret al consolidării atributelor de calitate a imaginii. Modelul de evaluare a calității propus s-a dovedit a fi util și pentru jurnale, care compară și realizează ratinguri ale noilor modele de smartfonuri.
- O caracteristică bună a soluției propuse este capacitatea de a încorpora valorile existente de calitate a imaginii pentru metoda cu referință completă fără a le modifica. Sau, cercetarea a implementat cadrul de previziune a calității pentru display-uri mici de smartfonuri folosind cadrul existent de evaluare și predicție a calității imaginii pentru ecrane mari.

- Atributele calității imaginii care au fost evaluate sunt luminozitatea, contrastul, saturația culorilor și claritatea, dar posibilitățile cadrului propus nu este limitat la acestea. Toate evaluările metrice au fost susținute prin corelarea rezultatelor obiective cu cele ale experimentelor subiective.
- Suplimentar, în cadrul studiului au fost investigate strategiile de extindere a experimentelor subiective cu metoda de ajustare de bază, care, este de așteptat, va economisi mult timp și resurse pentru experimentele subiective. Dintr-un punct de vedere mai larg, domeniul de cercetare definit inițial a fost pe deplin acoperit de cercetările prezentate în lucrare, toate obiectivele de cercetare fiind cu succes realizate. Cadrul propus de evaluare a calității imaginii a fost realizat pentru display-uri de smartfonuri, dar, cu mici modificări, ar putea fi adaptat cu ușurință la alte tipuri de display-uri.
- Noua abordare oferită și rezultatele obținute în cadrul investigației pot fi cu succes utilizate pentru predicția calității percepute a imaginii.

Cercetări viitoare

Cercetările efectuate au fost axate pe evaluarea calității imaginilor statice pe baza a patru atribute ale IQ. Aceste cercetări pot continua având ca subiect materiale video HD. Calitatea imaginii percepute a video live este o nouă provocare în domeniul de evaluare a calității imaginii. Cele mai recomandate atribute de calitate pentru viitoarele cercetări ar putea fi:

- calitatea conversiei ratei cadrelor;
- limitările lățimii de bandă;
- video compresia/decompresia;
- artefacte de mișcare și multe altele.

De asemenea, din moment ce instrumentul VIQET pentru analiza imaginii este o aplicație open source, versiunea curentă poate fi recomandată ca punct de plecare pentru a o îmbunătăți și extinde asupra altor atribute IQ și pentru evaluarea obiectivă a calității imaginii.

REFERINȚE

(toate referințele web au fost accesate la 2.01.2018)

1. The statistical portal. <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphoneusers-worldwide/>.
2. Sheikh H.R., Bovik A.C., Cormack L.K. No-Reference Quality Assessment Using Natural Scene Statistics: JPEG2000, IEEE Transactions on Image Processing, vol.14, no.11, pp.1918-1927, December 2005. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.7315&rep=rep1&type=pdf>.
3. Gong R., Xu H. Impacts of appearance parameters on perceived image quality for mobile-phone displays, Optik, vol.125, no.11, pp.2554–2559, 2014. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402613014599>.
4. Hyesung J., Choon W.K. Perceived image quality assessment for color images on mobile displays, SPIE 9395, 2015. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9395/1/Perceived-image-quality-assessment-for-color-images-on-mobile-displays/10.1117/12.2083824.short>.
5. Video quality experts group (VQEG). Final report from the VQEG on the validation of objective models of video quality assessment, FR-TV Phase II. <https://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/projects/frtv-phase-ii/frtv-phase-ii.aspx>.
6. Engeldrum P.G. image quality modeling: Where Are We? In: Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference (Savannah, Georgia, Apr. 1999), Society for Imaging Science and Technology, pp.251–255. <http://www.imaging.org/site/PDFS/Papers/1999/PICS-0-42/1037.pdf>.
7. Sheikh H.R., Bovik A.C., Cormack L.K. No-Reference Quality Assessment Using Natural Scene Statistics: JPEG2000, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 4, no.11, pp.1918-1927, December 2005. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.7315&rep=rep1&type=pdf>.
8. Liu X., Pedersen M., Hardeberg J.Y. CID: IQ - A New Image Quality Database. In: International Conference on Image and Signal Processing (Cherbourg, Normandy, France, 2014). https://www.ansatt.hig.no/mariusp/publications/Liu2014_ICISP.pdf.
9. Majumder A., Gopi M. Modeling Color Properties of Tiled Displays. Computer Graphics Forum 24, 2 (2005), pp.49–163. <http://www.ics.uci.edu/~majumder/docs/CGF05.pdf>.

10. Wang Z., Bovik A. C. Modern image quality Assessment. Synthesis Lectures on Image, Video, & Multimedia Processing, Morgan & Claypool, San Rafael, Calif, USA, 2006. <http://www.morganclaypool.com/doi/abs/10.2200/S00010ED1V01Y200508IVM003>.
11. Parvezsazzad Z.M. and others. No-Reference image quality Assessments for JPEG2000 based on spatial features. PhD thesis, University of Toyama, Department of Systems Science and Engineering, March 2008. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596508000209>.
12. Zorea P. Perceived image quality prediction based on image quality attributes extraction. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 2, February 2017, p.1303-1312 ISSN 2229-5518, <https://www.ijser.org/researchpaper/Perceived-image-quality-prediction-based-on-image-quality-attributes-extraction.pdf>.
13. Zorea P. Modeling and predicting perceived image quality by smartphone users, International Conference Mathematics & information technologies (MITRE), 2015, p.102 ISBN 978-9975-71-678-9
14. Zorea P., Paladi F., Bragaru T. Prediction of perceived image quality by mobile devices users. In: Moldavian Journal of the Physical Sciences, vol.17, 2018 no.1-2

LISTA ARTICOLELOR PUBLICATE LA SUBIECTUL TEZEI

1. Zorea P., Paladi F., Bragaru T. *Image quality improvement based on the prediction theory*. In: Proceedings of ITSN-2017 International Conference on Information Technologies, Systems and Networks 2017, Chisinau, Republic of Moldova, 17-18 Oct. 2017. Edited by Veacheslav Perju. Chisinau: ULIM, 2017, pp.325-337. ISBN 978-9975-3168-5-9
2. Zorea P., Paladi F., Bragaru T. *Prediction of perceived image quality by mobile devices users*. In: Moldavian Journal of the Physical Sciences, 2018, vol.17, no.1-2.
3. Zorea P. *New approach for modeling perceived Image Quality by Smartphone users*. The 11th Interdisciplinary Research Conference Ort Braude College of Engineering, 2015. ISBN 978-965-7468-01 http://www.braude.ac.il/files/conferences/2015/ResearchConference15/Program_and_Book_of_Abstracts1.pdf.
4. Zorea P. *Modeling and predicting perceived image quality by smartphone users*. International Conference Mathematics & information technologies (MITRE), 2015, p.102. ISBN 978-9975-71-678-9
5. Zorea P. *Perceived image quality prediction based on image quality attributes extraction*. In: International Journal of Scientific & Engineering Research, 2017, vol.8, Issue 2, February, pp.1303-1312 ISSN 2229-5518 <https://www.ijser.org/onlineResearchPaperViewer.aspx?Perceived-image-quality-prediction-based-on-image-quality-attributes-extraction.pdf>.
6. Zorea P. *New model for evaluation perceived image quality by Smartphone users*. In: Studia Universitatis Moldaviae, 2015, no.2 (82), pp.90-97 ISSN 1857-2073, ISSN online 2345-1033 http://studiamsu.eu/wp-content/uploads/15.p.90-97_82.pdf.
7. Zorea P. *Prediction of smartphones' perceived image quality by SW evaluation tool*. In: Studia Universitatis Moldaviae, 2016, no.7 (97), pp.170-180 ISSN 1857-2073, ISSN online 2345-1033 http://studiamsu.eu/wp-content/uploads/29.p.170-180_97.pdf.

SUMMARY

of PhD thesis “*Assessment of perceived image quality for smartphones with embedded camera*”
Specialty 232.02 – *Information Technologies, Products and Systems*,
presented by Pinchas ZOREA, Moldova State University, Chisinau, 2018
to obtain the title of doctor in the Technical Sciences

Thesis structure: The thesis contains Introduction, 3 chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 101 titles. The main text amounts to 107 pages, includes 66 figures, 30 tables, 37 formulas, and 5 appendixes. The obtained results of the thesis were published in 7 scientific papers.

Keywords: human visual test (HVT), perceived image quality (PIQ), image quality attributes (IQAs), mean opinion score (MOS), objective/subjective image quality assessment, video quality experts group (VQEG), VQEG image quality evaluation tool (VIQET).

Aim of research is to develop a new no or zero (NR) reference subjective quality assessment model and framework that would enable the smartphones industry prediction of the PIQ.

The objectives of thesis include the design of NR subjective and objective image quality metrics based on extensive visual tests experiments and evaluation by SW tool VIQET that measure the perceived image quality of smartphones users.

Scientific novelty and originality of the obtained results is reflected in a new approach which predicts the PIQ by extraction of the classic, objective IQAs (*brightness, contrast, color saturation and sharpness*) to new subjective IQ criteria that evaluated by VIQET. This is a new assessment process based on a new diploid model, which aims to predict how the smartphones users perceived image quality.

Important scientific solved problem consists in elaborating a new diploid model for PIQ assessment that describes how to extract the standard IQAs which used in large screens TVs into new IQAs of SW tool VIQET. This can be used by smartphone producers and vendors in order to shorten „time to market”, or by any image quality experts, including in the academia in order to reduce time and cost of PIQ assessment process of smartphones with small HD displays in comparison to the process that based on many human physical tests.

Theoretical significance is supported by analyzing, specifying and defining the theoretical principles and new PIQ criteria which implemented in the SW tool VIQET in order to predict the expected MOS in HVTs. The new model determines the relationship between the standard IQAs values and the VIQET PIQ criteria.

Applicative value of the work is determined by the developed model, which has huge potential for smartphone industry and users in reducing significantly the time and cost of PIQ assessment.

Implementation of results: the obtained results are used in „Ort Braude College of Engineering” in Israel, and can further be used by students and researchers in image processing. Also, an Israeli company (ASI – Applied Spectral Imaging Ltd.) evaluated the PIQ framework and found the benefits of PIQ framework for IQ improvement of images taken by medical spectral imaging system.

ADNOTAREA

tezei de doctorat

„Evaluarea calității percepute a imaginii pentru smartfonuri cu camera foto încorporată”
Specialitatea 232.02 – Tehnologii informaționale, produse și sisteme,
prezentată de Pinchas ZOREA, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, 2018
pentru obținerea titlului de doctor în științe tehnice

Structura tezei: Teza constă din introducere, 3 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie (101 titluri). Textul de bază este expus pe 107 pagini, incluzând 66 figuri, 30 tabele, 37 formule și 5 anexe. Rezultatele obținute au fost publicate în 7 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: test vizual uman (HVT), calitate percepută a imaginii (PIQ), atribute de calitate a imaginii (IQAs), media scorurilor de opinie (MOS), evaluare obiectivă/subiectivă a calității imaginii, grup de experți în domeniul calității imaginii (VQEG), instrumentar VQEG de evaluare a calității imaginii (VIQET).

Scopul cercetării constă în dezvoltarea unui nou cadru și model de evaluare subiectivă a calității imaginii fără referință la original (NR), care ar permite industriei de smartfonuri predicția PIQ.

Obiectivele tezei includ proiectarea metricilor subiective și obiective de calitate a imaginii fără referință la original NR, în baza unor multiple teste vizuale experimentale și evaluării cu instrumentarul VIQET, care permite măsurarea PIQ de către utilizatorii de smartfonuri.

Noutatea științifică și originalitatea rezultatelor se reflectă în noua abordare a predicției PIQ prin extragerea noilor criterii subiective de calitate evaluate cu instrumentarul VIQET din atributele clasice de calitate IQAs (*luminozitate, contrast, saturație de culoare și claritate*). Acesta reprezintă un nou proces de evaluare bazat pe un nou model diploid, care urmărește să prezică modul în care utilizatorii de smartfonuri percep calitatea imaginilor.

Problema științifică importantă soluționată constă în elaborarea unui nou model diploid de evaluare a PIQ, care descrie cum pot fi extrase noile IQAs, folosite de instrumentarul VIQET din IQAs standarde, folosite pentru televizoare cu ecrane mari. Acest lucru poate fi utilizat de către producătorii și furnizorii de smartfonuri pentru a scurta „timpul ieșirii pe piață” sau de către orice alți experți și cercetători, inclusiv din mediul academic, pentru a reduce timpul și costul procesului de evaluare a calității percepute pentru smartfonuri cu ecrane mici de înaltă rezoluție (HD) comparativ cu multiplele teste fizice.

Semnificația teoretică este susținută de analiza, specificarea, definirea principiilor teoretice și a noilor criterii PIQ, implementate în VIQET pentru previziunea valorii medii așteptate MOS în HVT. Noul model stabilește relația dintre valorile IQAs standarde și criteriile utilizate în VIQET.

Valoarea aplicativă este determinată de noul model elaborat, ce are un potențial solid pentru industria și utilizatorii de smartfonuri în ce privește reducerea semnificativă a timpului și a costurilor de evaluare a PIQ.

Implementarea rezultatelor: rezultatele obținute sunt utilizate în Ort Braude College of Engineering (Israel) și pot fi utilizate cu succes de către studenți și cercetători în domeniul procesării imaginilor. Compania israeliană (ASI-Applied Spectral Imaging Ltd.), de asemenea a evaluat noua metodă PIQ și a constatat avantajele acesteia în îmbunătățirea imaginii calității în sistemele medicale spectrale.

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы «Оценка воспринимаемого качества изображения для мобильных устройств со встроенной камерой»,

Специальность 232.02 – Информационные технологии, системы и продукты

представленной господином Пинхас ЗОРЯ,

Государственный Университет Молдавии, Кишинев, 2018

на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Структура работы: Диссертация состоит из введения, трех глав, общих выводов и рекомендаций, библиографии, включающей 101 название. Основной текст представлен на 107 страниц, включая 66 рисунков, 30 таблиц, 37 формул и 5 приложений. Полученные результаты были опубликованы в 7 научных статьях.

Ключевые слова: визуальный тест, осуществлённый человеком (HVT), воспринимаемое качество изображения (PIQ), атрибуты качества изображения (IQAs), среднее значение оценок (MOS), объективная/субъективная оценка качества изображения, экспертная группа по качеству видео (VQEG), инструмент VQEG для оценки качества изображения (VIQET).

Цель исследования заключается в разработке новой модели субъективной оценки качества, без ссылки на оригинал NR, которая позволит производителям смартфонов прогнозировать PIQ.

Задачи исследования включают разработку субъективных и объективных NR показателей качества на основе множества визуальных экспериментальных тестов и оценки при помощи программного приложения VIQET, позволяющий измерять воспринимаемое пользователями смартфонов качество изображения.

Научная новизна и оригинальность результатов состоит в разработке нового подхода к прогнозированию PIQ, который позволяет извлечь классические объективные IQAs (*яркость, контраст, насыщенность цвета и резкость*), в новых IQAs критериях, используемых в VIQET. Это новый процесс оценки, основанный на новой диплоидной модели, целью которой является предсказание того как пользователи смартфонов воспринимают качество изображения.

Важной научной задачей решенной в исследовании является разработка новой диплоидной модели оценки PIQ, описывающей как извлечь новые IQAs инструмента VIQET из стандартных IQAs, используемые для больших телевизионных экранов. Это может использоваться производителями и поставщиками смартфонов для сокращения времени выхода на рынок, или любыми экспертами PIQ, в том числе в академических кругах, для сокращения времени и снижения стоимости оценки PIQ для смартфонов с малыми экранами высокой четкости (HD) в сравнение с ручным процессом на основе множества визуальных тестов, осуществляемых людьми.

Теоретическая значимость работы подтверждается анализом и определением теоретических принципов и новых критериев PIQ, внедрённых в программном приложении VIQET для прогнозирования ожидаемой MOS в HVT. Новая модель определяет взаимосвязь между стандартными значениями IQAs и критериями IQ VIQET.

Практическая применимость работы определена разработанной моделью, которая имеет огромный потенциал для индустрии и пользователей смартфонов, заключающийся в сокращении времени и снижении стоимости оценки PIQ.

Внедрение результатов: полученные результаты используются в «Ort Braude College of Engineering» (Израиль) и может быть успешно использована студентами и исследователями в области обработки изображений. Израильская компания (ASI - Applied Spectral Imaging Ltd.) также оценила новый метод PIQ и нашла преимущества для улучшения IQ визуализации изображений в медицинских спектральных системах.

ZOREA PINCHAS

**ASSESSMENT OF PERCEIVED IMAGE QUALITY FOR
SMARTPHONES WITH EMBEDDED CAMERA**

Specialty 232.02 – Information technologies, products and systems

Abstract of the PhD Thesis in Technical Sciences

Aprobat spre tipar: 10.01.2018	Formatul hârtiei 60×84 1/16
Hârtie offset. Tipar offset.	Tiraj 50 ex.
Coli de tipar: 2.0	Comanda nr. 102

Centrul Editorial-Poligrafic al USM
str. A. Mateevici 60, Chişinău MD-2009, Republica Moldova