

LIME: Low-light Image Enhancement via Illumination Map Estimation

Îmbunătățirea imaginii în condiții de lumină scăzută prin estimarea hărții de iluminare

Visan Ionut

341C4

1. Introducere

Când se captează imagini în condiții de lumină scăzută, imaginile suferă adesea de vizibilitate scăzută. Pe lângă **degradarea esteticii** vizuale a imaginilor, această calitate slabă poate, de asemenea, să degenereze în mod semnificativ performanța multor algoritmi multimedia și de viziune computerizată care sunt proiectați în principal pentru intrări de înaltă calitate. Vom propune o metodă simplă, dar eficientă de îmbunătățire a imaginii în condiții de lumină scăzută (LIME). Mai concret, **iluminarea fiecărui pixel** este mai întâi estimată individual prin găsirea **valorii maxime** în canalele R, G și B. Mai mult, rafinăm harta de iluminare inițială impunând o structură anterioară asupra acesteia, ca hartă de iluminare finală. Având harta de iluminare bine construită, îmbunătățirea poate fi realizată în consecință. Experimentele pe o serie de imagini cu lumină scăzută sunt prezente pentru a dezvălui eficacitatea LIME-ului nostru și a arăta superioritatea acestuia față de mai multe state-of-the-art în ceea ce privește îmbunătățirea calității și eficienței.

Imaginile de înaltă vizibilitate reflectă **detalii** clare ale scenelor țintă, care sunt esențiale pentru multe tehnici bazate pe viziune, cum ar fi **object tracking** și **object detection**. Însă, imaginile surprinse în condiții de lumină scăzută au vizibilitate scăzută. Calitatea vizuală a imaginilor surprinse în condiții de lumină scăzută este abia satisfăcătoare și dăunează performanței algoritmilor care sunt proiectați în principal pentru intrări/ imagini de înaltă vizibilitate.

Amplificarea directă a imaginii cu lumină scăzută este probabil cea mai intuitivă și mai simplă modalitate de a readuce vizibilitatea regiunilor întunecate.

Dar, această operație dă naștere unei alte probleme, să spunem că regiunile relativ luminoase ar putea fi **saturate** și, astfel, pierderea detaliilor corespunzătoare.

Metoda propusă se încadrează în categoria bazată pe **Retinex**, concentrându-se pe estimarea hărții de iluminare pentru îmbunătățirea imaginilor cu lumină scăzută.

Se utilizează un algoritm bazat pe **Multiplii Lagrange Augmentați (ALM)** pentru a rezolva exact problema de rafinare, în timp ce un alt algoritm accelerat este proiectat pentru a reduce intensiv costurile computaționale.

2. Strategii

Strategiile de egalizare a histogramei pot evita problema de mai sus forțând imaginea de ieșire să se încadreze în **intervalul [0,1]**. Mai mult, metodele variaționale urmăresc îmbunătățirea performanței HE prin impunerea unor termeni de **regularizare** diferiți pe histogramă. De exemplu, îmbunătățirea contextuală și variațională a contrastului încearcă să găsească o mapare histogramă care acordă atenție diferențelor mari de nivel de gri, în timp ce lucrarea realizează îmbunătățiri prin căutarea unei **reprezentări stratificate** a diferențelor histogramelor 2D. Cu toate acestea, în natură, ele se concentrează pe îmbunătățirea contrastului în loc să exploateze cauzele reale de iluminare, având riscul de supra- sau sub-amplificare.

O altă soluție este **corecția Gamma** care este o operație neliniară asupra imaginilor. Principalul dezavantaj este că operația neliniară a corecției Gamma este efectuată pe fiecare pixel în mod individual, fără a lua în considerare relația unui anumit pixel cu vecinii săi și, astfel, poate face rezultatele îmbunătățite **vulnerabile** și incompatibile vizual cu scenele reale.

În teoria Retinex, ipoteza dominantă este că imaginea poate fi descompusă în doi factori, de exemplu reflectanța și iluminarea. Încercările timpurii bazate pe Retinex, cum ar fi Retinex la scară unică (**SSR**) și Retinex la scară multiplă (**MSR**), tratează reflectanța ca rezultatul final îmbunătățit, care deseori pare nenatural. Metoda propusă încearcă să sporească contrastul, păstrând în același timp naturalitatea iluminării. Deși previne o îmbunătățire excesivă a rezultatelor, în experimentele noastre, are performanțe mai puțin impresionante decât metoda noastră în ceea ce privește atât eficiența, cât și calitatea vizuală.

Astfel s-a propus o metodă de ajustare a iluminării prin **fuzionarea unor derivari multiple** ale hărții de iluminare estimate, care ofera o performanță este în mare parte promițătoare. Dar, din cauza orbirii structurii de iluminare, metoda

poate pierde realismul regiunilor cu texturi bogate. O alta lucrare a propus un model pentru estimarea simultană a reflectantei și iluminării. Cu acestea doua estimate, imaginea țintă poate fi îmbunătățită prin **manipularea iluminării**.

3. Implementare

Metoda folosită aparține categoriei bazate pe Retinex, care intenționează să îmbunătățească o imagine cu lumină scăzută prin estimarea hărții sale de iluminare (**illumination map**). Este de remarcat faptul că, spre deosebire de metodele tradiționale bazate pe Retinex, care descompun o imagine în reflectantei și componente de iluminare, metoda noastră estimează doar un factor, să spunem iluminarea, care micșorează multimea variantelor soluției și reduce costul de calcul pentru a ajunge la rezultatul dorit. Harta de iluminare este mai întâi construită prin găsirea **intensității maxime** a fiecărui pixel în canalele **R, G și B**. Apoi, exploatăm structura iluminării pentru a **rafina harta** de iluminare.

Modelul problemei este similar cu cel al descompunerii intrinseci a imaginii, care încearcă să descompună intrarea în două componente. Totuși, scopul descompunerii intrinseci a imaginii este de a recupera componenta de reflectare și cea de umbră (shading) din imaginea dată. Rezultatul dorit este să ne amintim conținutul vizual al **regiunilor întunecate** și să păstrăm realismul vizual. Unii cercetători au observat nerealismul utilizării reflectanței ca rezultat îmbunătățit și au încercat să proiecteze iluminarea modificată. Putem vedea că rezultatul dorit al îmbunătățirii este obținut prin combinarea, din nou, a **componentelor descompuse**.

```
function [I, Ti, Tf] = LIME(L, vals_lambda, vals_sigma, vals_gamma)
```

Intrări:

L: Imaginea cu iluminare redusă (imaginea de intrare).

vals_lambda: Parametrul de regularizare.

vals_sigma: Deviația standard a kernelului Gaussian pentru greutatea texturii.

vals_gamma: Parametrul de ajustare pentru intensitatea hărții de culori.

Ieșiri:

I: Imaginea îmbunătățită.

Ti: Valorile maxime în canalele R, G, B ale imaginii de intrare.

Tf: Soluția ecuației liniare, folosită pentru ajustarea texturii.

Funcția prelucrează imaginea cu iluminare redusă (L) pentru a obține o imagine îmbunătățită (I). Calculează valorile maxime în canalele R, G, B (T_i), calculează greutatea texturii (w_x, w_y), rezolvă o ecuație liniară (T_f) și ajustează intensitatea hărții de culori.

```
function [retx, rety] = computeTextureWeights(fin, sigma)
```

Intrări:

fin: Imaginea de intrare.

sigma: Deviația standard a kernelului Gaussian.

Ieșiri:

retx: Greutăți de textură pe axa x.

rety: Greutăți de textură pe axa y.

Această funcție calculează greutatea texturii bazate pe imaginea de intrare și filtrarea Gaussiană pe ambele axe x și y.

```
function OUT = solveLinearEquation(IN, wx, wy, lambda)
```

Intrări:

IN: Imaginea de intrare.

wx: Greutăți de textură pe axa x.

wy: Greutăți de textură pe axa y.

lambda: Parametrul de regularizare.

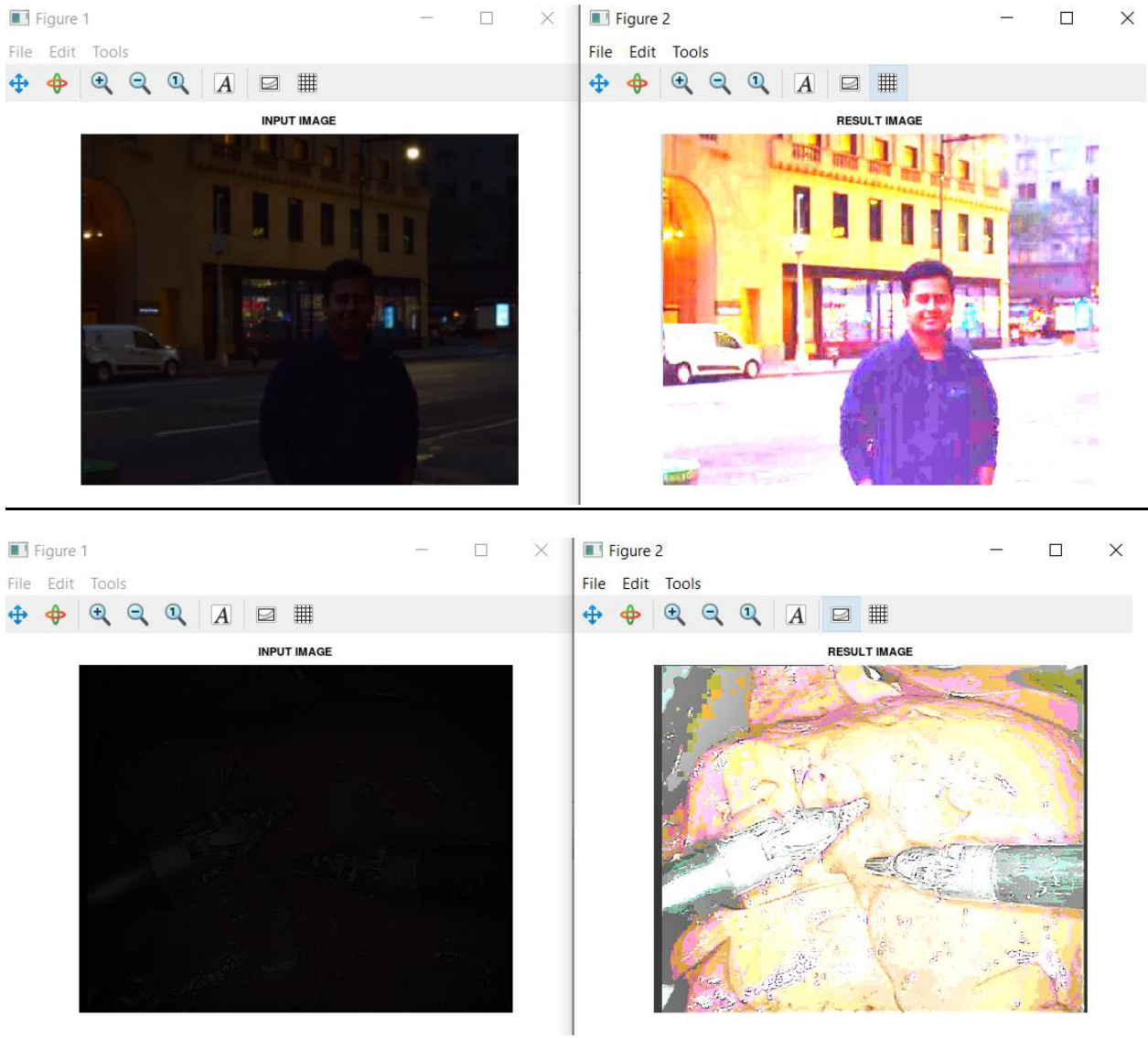
Ieșiri:

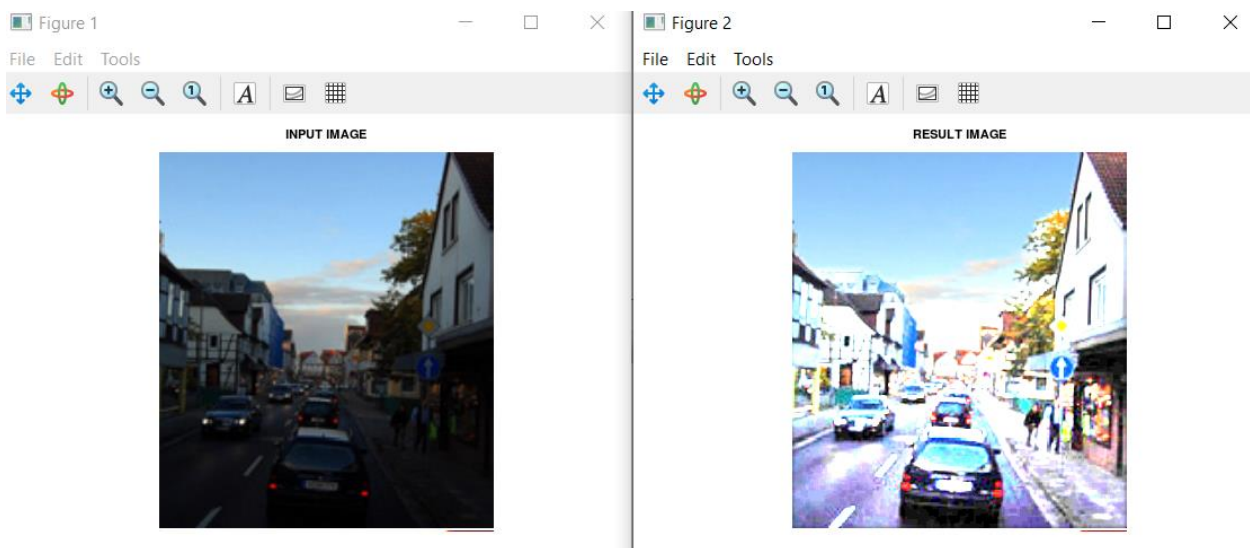
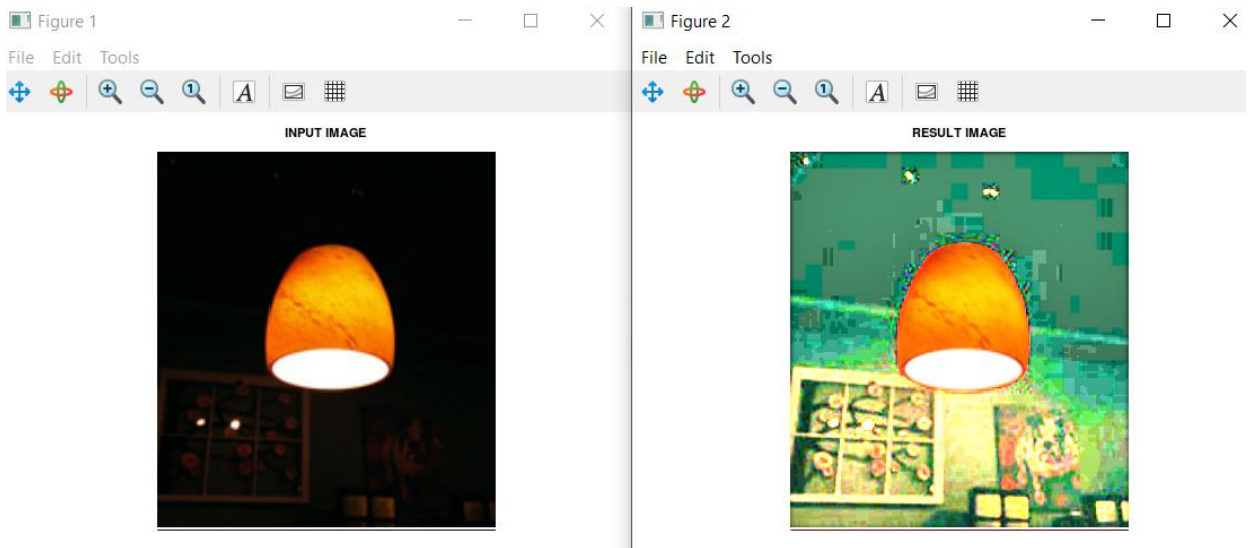
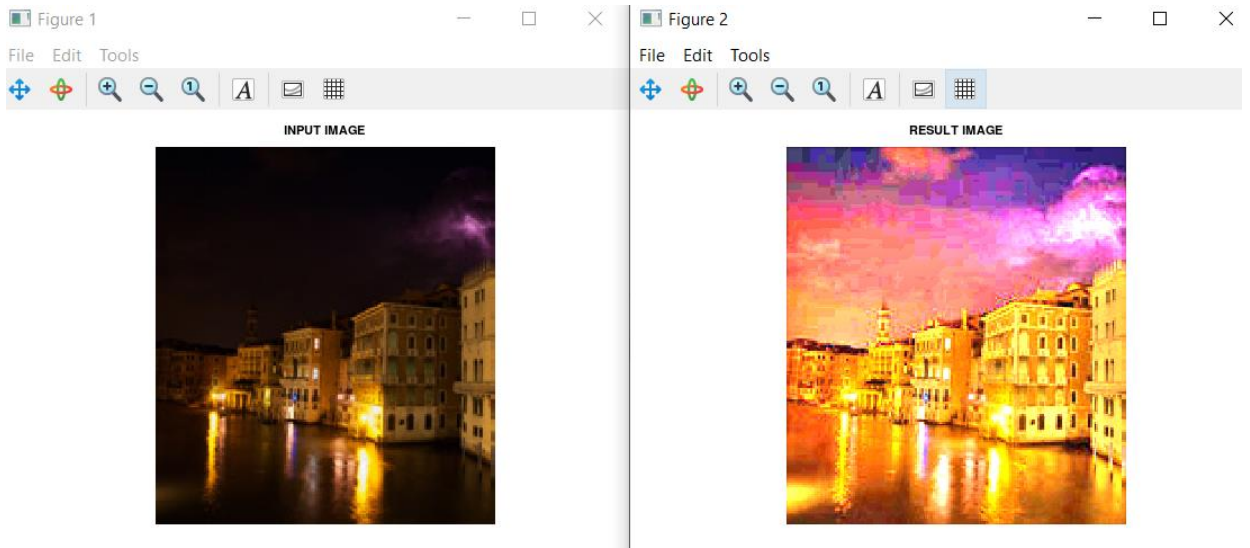
OUT: Imaginea îmbunătățită.

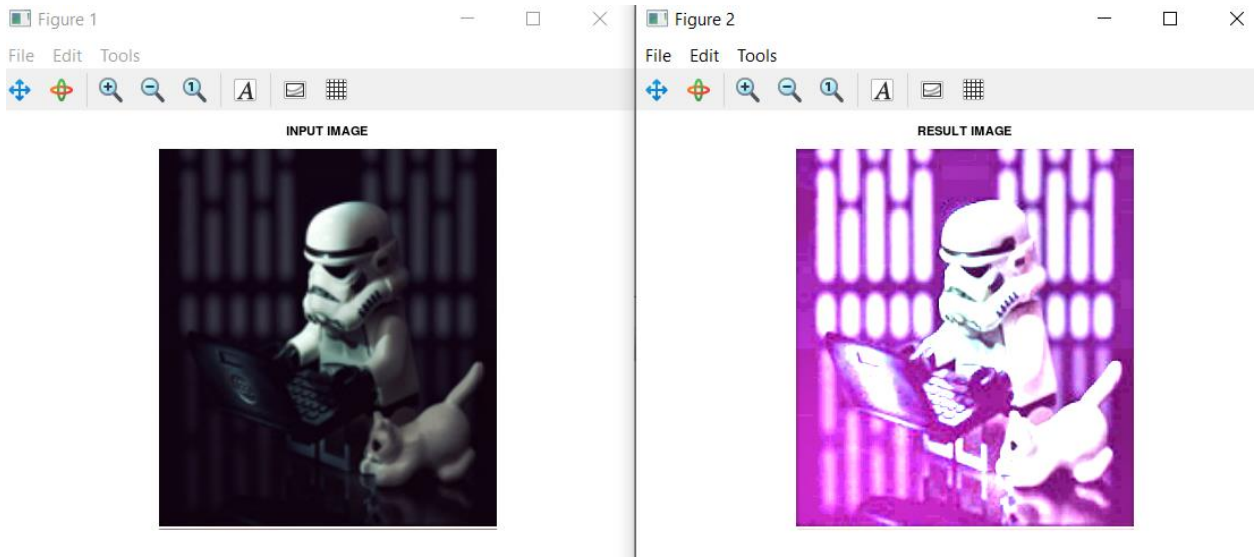
Această funcție rezolvă o ecuație liniară folosind metoda iterativă a gradientului conjugat preconditionat. Implică crearea de matrice pentru sistemul liniar, încorporarea greutăților texturii și aplicarea factorizării incomplete Cholesky (dacă

este disponibilă). Soluția este apoi aplicată fiecărui canal de culoare al imaginii de intrare.

4. Rezultate







5. Avantaje și Dezavantaje ale folosirii LIME

Avantaje:

1. Simplu și Eficient

Metoda LIME oferă o soluție simplă, dar eficientă, pentru îmbunătățirea imaginilor în condiții de lumină scăzută. Procesul de estimare a hărții de iluminare și ajustare a imaginii se realizează într-un mod care **nu implică complexitate excesivă**.

2. Performanță Îmbunătățită

LIME demonstrează o performanță îmbunătățită față de mai multe alternative de ultimă generație în ceea ce privește **îmbunătățirea calității** și eficienței imaginilor în condiții de lumină scăzută. Acest lucru poate contribui la îmbunătățirea performanței algoritmilor de viziune computerizată care depind de intrări de înaltă calitate.

3. Adaptabilitate la Diferite Strategii

Metoda propusă este generală și se adaptează la diferite strategii de ponderare a structurii. Acest aspect face ca LIME să fie **versatil** și să poată fi utilizat într-o varietate de scenarii și aplicații.

Dezavantaje:

1. Potențial de Saturare în Zone Luminoase

Ca și alte metode de îmbunătățire a imaginilor cu lumină scăzută, există riscul ca regiunile relativ luminoase să fie **saturate** în timpul procesului de amplificare a vizibilității zonelor întunecate. Acest lucru poate duce la **pierderea detaliilor** corespunzătoare și la o calitate vizuală compromisă în aceste regiuni.

2. Limitări ale Metodei Bazate pe Retinex

Deși metoda se încadrează în categoria bazată pe Retinex, există limitări asociate cu descompunerea într-un singur factor, în acest caz, estimarea iluminării. Alte abordări bazate pe Retinex au fost propuse pentru tratarea simultană a reflectanței și iluminării, iar acestea pot obține rezultate **mai naturale în anumite condiții**.

6. Metode de îmbunătățire

Aceste metode adiționale pot fi integrate în proiectul LIME pentru a personaliza și îmbunătăți rezultatele în funcție de necesități specifice sau preferințe ale utilizatorului.

Corecție Gamma:

Definiție:

Corecția Gamma este o tehnică de **ajustare a contrastului și a luminozității** în funcție de o transformare neliniară a intensităților pixelilor, utilizând o funcție de putere. În esență, **modifică relația** dintre intensitatea luminii de intrare și intensitatea luminii de ieșire.

în contextul LIME:

Adăugarea corecției Gamma la rezultatul LIME poate ajusta **nivelul global de luminozitate și contrast al imaginii îmbunătățite**, oferind un control suplimentar asupra aspectului final al imaginii.

Egalizarea Histogramelor

Definiție:

Egalizarea histogramelor este o tehnică de prelucrare a imaginilor care **redistribuie** intensitățile pixelilor pentru a obține o distribuție mai uniformă a intensităților în imagine.

în contextul LIME:

Egalizarea histogramelor aplicată asupra rezultatului LIME poate îmbunătăți distribuția contrastului și a intensităților în **întreaga imagine**, contribuind la claritate și echilibru vizual.

Filtru Bilateral

Definiție

Filtrul bilateral este o metodă de filtrare a imaginilor care ține cont atât de **similaritatea spațială**, cât și de cea a **intensităților pixelilor** pentru a realiza o atenuare a artefactelor fără a sacrifica muchiile.

în contextul LIME:

Adăugarea unui filtru bilateral în post-procesarea rezultatului LIME poate contribui la atenuarea artefactelor și la îmbunătățirea detaliilor într-o imagine îmbunătățită de LIME, menținând în același timp **muchii bine definite**.

Adaptare Automată a Luminozității

Definiție:

Adaptarea automată a luminozității este o tehnică care ajustează **automat** nivelul global de luminozitate al unei imagini în funcție de conținutul specific al acesteia.

în contextul LIME:

Integrarea adaptării automate a luminozității în procesul LIME poate asigura că întreaga imagine beneficiază de o lumină **îmbunătățită, adaptată** la condițiile specifice ale scenei, fără a supraexpune sau subexpune anumite regiuni.

Compensare a Umbrelor

Definiție:

Compensarea umbrelor se referă la procesul de **reducere a efectelor** negative ale umbrelor într-o imagine, îmbunătățind vizibilitatea detaliilor din acele regiuni întunecate.

în contextul LIME:

Compensarea umbrelor poate interveni în post-procesarea imaginii îmbunătățite de LIME pentru a **atenua** umbrele excesive și a menține detaliile în regiunile întunecate, contribuind astfel la o reprezentare vizuală mai echilibrată.

7. Compararea performanței cantitative pe setul de date HDR în termeni de LOE

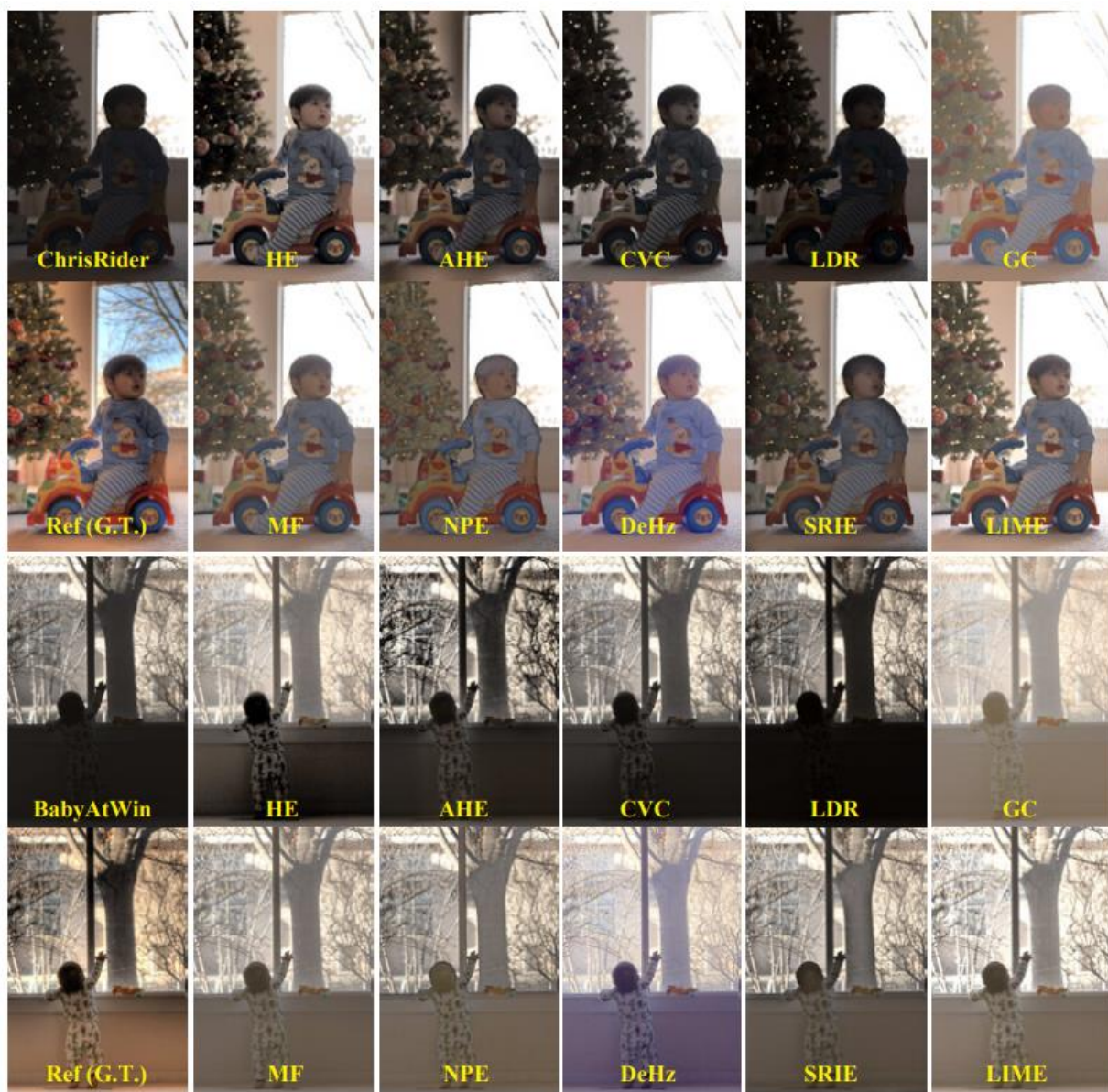
LOE are un factor de 10^3 .

HDR (High Dynamic Range): HDR se referă la o tehnică de imagistică care capturează și afișează o gamă mai largă de niveluri de luminozitate decât metodele de imagistică **standard**.

LOE (Low-light Image Enhancement): Îmbunătățirea imaginilor capturate în condiții de iluminare redusă. Scopul este de a îmbunătăți vizibilitatea și calitatea imaginilor realizate în situații în care iluminarea este **insuficientă**.

Method	BabyAtWin	BabyOnGrass	ChrisRider	FeedingTime	HighChair	LadyEating	PianoMan	SantaHelper	Ave. LOE
HE	4.536	4.492	2.433	3.117	3.127	3.395	3.759	3.652	3.564
AHE	3.481	2.471	2.127	2.098	1.919	2.648	2.591	2.907	2.530
GC	4.518	4.496	2.430	3.101	3.141	3.401	3.755	3.645	3.561
CVC	4.549	4.488	2.557	3.132	3.148	3.402	3.823	3.695	3.599
LDR	4.501	4.500	2.509	3.120	3.134	3.401	3.775	3.670	3.572
MF	3.626	2.838	2.124	2.005	2.291	2.749	3.113	3.145	2.736
NPE	3.811	4.489	3.191	3.183	3.401	3.250	3.872	3.773	3.621
DeHz	4.591	4.527	2.854	3.114	3.227	3.408	3.837	3.732	3.661
SRIE	4.133	4.224	2.770	3.047	3.201	3.196	3.233	3.497	3.413
LIME	3.263	2.356	1.945	2.091	2.330	2.305	2.513	2.352	2.394

Valorile LOE ale tuturor competitorilor pe setul de date HDR. Din aceste numere, observăm că LIME-ul nostru îi **depășește** semnificativ pe ceilalți. În următoarea comparație vizuală putem observa că rezultatele obținute cu LIME sunt mai plăcute vizual și mai aproape de referințe decât celelalte.



8. Concluzii

În această lucrare, am implementat o metodă **eficientă** pentru a îmbunătăți imaginile cu lumină scăzută. Cheia pentru îmbunătățirea luminii scăzute este cât de bine este estimată harta de iluminare. Modelul de netezire dependent de structură a fost dezvoltat pentru a îmbunătăți consecventa iluminării. Am proiectat doi algoritmi: unul poate obține soluția optimă exactă a problemei țintă, în timp ce celălalt rezolvă alternativ problema aproximativă cu o economie **semnificativă** de timp. În plus, modelul nostru este general pentru diferite strategii de **ponderare** (structură). Rezultatele experimentale au relevat

avansul metodei noastre în comparație cu mai multe alternative de ultimă generație. Este pozitiv că tehnica noastră de îmbunătățire a imaginii în condiții de lumină scăzută poate **alimenta** multe aplicații bazate pe viziune, cum ar fi detectarea marginilor, potrivirea caracteristicilor, recunoașterea și urmărirea obiectelor, cu intrări de vizibilitate ridicată și, astfel, să le **îmbunătățească performanța**.

9.Referințe

[1] Xiaojie Guo, Member, IEEE, Yu Li, Member, IEEE, and Haibin Ling, Member, IEEE, “LIME: Low-light Image Enhancement via Illumination Map Estimation”

[2] <https://octave.sourceforge.io/>

[3] Nicholas J. Higham, “Cholesky factorization”