

25 GODINA LOKALNIH BINARNIH DESKRIPTORA (LBP) TEKSTURE ¹

Marija Delić ² Ljubo Nedović ³ Nebojša Ralević ⁴

Sažetak. Tekstura predstavlja jednu od osnovnih karakteristika objekata i često se u praksi koristi za identifikaciju klase kojoj objekat pripada. Analiza i reprezentacija tekstura, odnosno ekstrakcija deskriptora koji dobro opisuju posmatranu teksturu jedan je od glavnih problema u oblastima računarske vizije i prepoznavanja oblika. Lokalni binarni deskriptori (LBP deskriptori) predstavljaju teorijski veoma jednostavan metod za analizu teksture digitalnih slika, koji je u praksi pokazao izvanredne rezultate. Razvoj ove klase deskriptora počeo je 1996. godine i od tada beleži ekspanziju modela koji su prilagođeni različitim primenama. Ovaj rad predstavlja deo istraživanja autora u oblasti LBP deskriptora, kao i iscrpan pregled najvažnije literature i modela koji se ističu svojim performansama.

AMS klasifikacija (2010): 03E75, 68U10

Ključne reči: deskriptor, analiza teksture, lokalni binarni kodovi, LBP

1. Uvod

Analiza teksture je veoma značajna u raznim aspektima računarske obrade i analize slike, a posebno se njen značaj u literaturi ističe u procesima klasifikacije i segmentacije slika. Da bi ovi procesi bili uspešni, u smislu velike pouzdanosti i efikasni, u smislu vremenski ograničenog izvršavanja, neophodni su dobri deskriptori teksture. Prisustvo onoga što nazivamo pojmom teksture registrovano je na najrazličitijim tipovima slika, od multispektralnih satelitskih do mikroskopskih podataka, stoga je upotreba deskriptora koji se razvijaju u svrhe analize ovih podataka veoma široka. Klasifikacija koja se zasniva na deskriptorima teksture ima razne oblasti primene, kao što su analize medicinskih slika i dokumenata, satelitskih slika, prepoznavanje objekata, analiza izraza i pokreta lica, analiza biometrijskih podataka, itd. Publikacije [1, 2, 3, 4] pružaju opsežan pregled metoda zasnovanih na teksturi i njihovu primenu u različitim oblastima nauke. Pojava tekstura u proizvoljnoj prostornoj rezoluciji, različitim rotacijama, skaliranju i raznim uslovima osvetljenja inspirisala

¹Autori se zahvaljuju na finansijskoj podršci Departmanu za opšte discipline u tehnicu, Fakulteta tehničkih nauka, u okviru projekta "Teorijska i primenjena matematika u tehničkim i informatičkim naukama".

²Departman za opšte discipline u tehnicu, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, e-mail: marijadelic@uns.ac.rs

³Departman za opšte discipline u tehnicu, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, e-mail: nljubo@uns.ac.rs

⁴Departman za opšte discipline u tehnicu, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, e-mail: nralevic@uns.ac.rs

je mnoga istraživanja čiji je cilj bio razvijanje deskriptora teksture koji su invarijantni na jedno ili više navedenih svojstava. Izazov je definisati deskriptor teksture koji je visoko diskriminativan (u smislu mogućnosti razlikovanja klasa objekata), efikasan, da se može izdvojiti uz niske troškove i da omogućava izvršavanje klasifikacije u realnom vremenu. Uloženi su mnogi istraživački napor da bi se prevazišle navedene poteškoće u izdavanju ovih karakteristika. Takvi procesi uglavnom predstavljaju balansiranje između visokokvalitetnog opisa i male računarske složenosti modela, što je sumirano u istraživanju o predstavljanju tekstura [5].

2. LBP deskriptori teksture

Lokalni binarni deskriptori (LBP) predstavljaju teorijski jednostavan pristup, koji je u praksi dao izvanredne rezultate. Osnovna ideja LBP modela je da se svakom pikselu dodeljuje lokalni binarni kod, koji nosi statističke osobine intenziteta i položaja piksela, a pored toga i informacije o prostornoj strukturi teksture, poziciji i međusobnom prostornom odnosu piksela iz posmatrane okoline. Uprkos jednostavnoj ideji koja stoji iza ovog modela, pomenuti deskriptor pokazao se kao veoma diskriminativan i kroz godine prerasta u jedan od najistaknutijih deskriptora teksture, čija familija sadrži mnoštvo modifikacija inicijalnog modela sa najrazličitijim primenama u praksi. LBP deskriptori poznati su kao izuzetno opisni nosioci osobina teksture, dok su istovremeno računarski efikasani, laki za implementaciju i primenu. Uvođenje LBP modela, u publikacijama [6] i [7] označio je početak razvoja LBP metodologije. Ove publikacije praćene su rotaciono invarijantnom verzijom modela [8] i predlogom razmatranja samo uniformnih kodova [9], što je dalo osnovu za razvoj velikog broja modifikacija LBP klase deskriptora koji su se pojavili u prethodne dve decenije. Veoma bliski osnovnom LBP deskriptoru su Improved LBP (ILBP) [10] and Median Binary Pattern (MBP) [11], koji se od LBP-a razlikuju samo u vrednosti praga (eng. threshold value). Neki modeli uopštavanja LBP modela fokusiraju se na poboljšanje diskriminativne moći i invarijantnosti na prisutnost šuma na slici koristeći različite nivoe kodiranja, kao što su Local Ternary Pattern (LTP) [12] i Local Quinary Pattern (LQP) [13], ili razmatrajući unapred definisan broj jednako udaljenih pragova za razdvajanje binarnih klasa - Shift LBP (SLBP) [14]. Mnogi drugi modeli pokušavaju da obuhvate karakteristike tekstura različitim uzorkovanjem posmatranih kodova ili razlaganjem razlika iz lokalne okoline na komponente. Što se tiče moći diskriminacije izdvajanja karakteristika teksture, važni modeli uključuju Completed LBP (CLBP) [15] koji lokalne razlike rasčlanjuje na dve komponente (znak i magnitudu), Extended LBP (ELBP) [16] koji kombinuje u jednoj karakteristici tri LBP strukture, formirane na osnovu prostornog položaja i intenziteta centralnog piksela i njegovih suseda, kao i na osnovu međusobnog odnosa susednih piksela koji se nalaze na različitoj udaljenosti i u odgovarajućem pravcu i Dominant LBP (DLBP) [17] koji obuhvata osobine teksture koristeći najčešće ponavljane kodove. Klasični LBP je osetljiv na degradaciju slike, poput šuma i zamagljenja, što je inspirisalo niz studija posvećenih povećanju njegove invarijantnosti na pomenute osobine. U ovom pravcu važni primeri uključuju Fuzzy LBP (FLBP) [18], Local Phase

Quantization (LPQ) [19], Noise Tolerant LBP (NTLBP) [20], Noise Resistant LBP (NRLBP) [21] and Robust LBP (RLBP) [22]. Opsežna uporedna studija koja je predstavljena u [23], obuhvata 32 LBP modela i 8 modela baziranih na neuronskim mrežama (CNN approaches), predstavlja Median Robust Extended LBP (MRELBP) [24] kao jedan od najboljih deskriptora. Ovaj deskriptor objedinjuje veliku diskriminativnu moć sa izraženom snažnom invarijantnošću na prisutan šum i promene u rotaciji, obuhvata makro i mikro teksturalne informacije dok zadržava nisku računarsku složenost svojstvenu LBP modelima.

U većini predloženih LBP metoda koristi se razmatranje suseda koji su raspoređeni na kružnici odgovarajućeg poluprečnika, uglavnom zbog svojstva invarijantnosti na rotaciju. Međutim, postoje primene u kojima ovo svojstvo nije najvažnije, a neke druge informacije dobijaju na značaju. Eliptično susedstvo ispitano je u publikaciji [25], gde je predložen Elliptical Binary Pattern, dok su u publikaciji [13] razmatrane razne modifikacije uzorkovanja susedstva.

Sveobuhvatan pregled razvijenih LBP metoda i širok spektar njihovih primena može se naći u publikacijama [3, 23, 26].

2.1. α LBP deskriptori

Podfamilija klase LBP deskriptora, nazvana α LBP, kombinuje ideju LBP modela sa osnovnim pojmovima iz teorije fazi skupova. Predložen je generalni pristup za razmatranje okoline piksela kao fazi skupa i formirajući odgovarajuće α -rezove dobijamo različite kodove koji nose karakteristike okoline. Ovakav metod može se kombinovati sa više nivoa kodiranja, binarnim [27], ternarnim, kvinarnim, itd [28].

Okolina piksela opisuje se kao fazi skup tako što se formira preslikavanje iz sivih vrednosti piksela u interval $[0, 1]$, ovo se postiže uvođenjem regije fazi prelaza $(-f, f)$, gde parametar f zavisi od sadržaja slike. Uvođenje ovog parametra bitna je karakteristika α LBP klase deskriptora, jer se njime definiše oblast oko vrednosti praga (eng. threshold) koja rezultira mekšom dihotomizacijom. Naime, male varijacije oko vrednosti praga ne utiču na razdvajanje klasa ('0' i '1'), pa će granica između njih biti glatkija. Motivisani primerima iz literature koji razmatraju formiranje više kodova za jednu okolinu piksela, uvodimo metod koji za svaku okolinu formira broj kodova u skladu sa brojem razmatranih suseda. Dodeljujući vrednostima iz okoline piksela ulogu praga dobijamo detaljniju i sveobuhvatniju informaciju o prostornim relacijama i odnosima intenziteta iz okoline. Svaka okolina doprinosi histogramu sa nekoliko kodova, odnosno njima odgovarajućih binova sa različiti doprinosima histogramu (detaljnije u [28]).

Predloženi metod podrazumeva mogućost adaptacije za različite vrste kodiranja. U okviru istraživanja [27, 28], implementirali smo i testirali binarnu, ternarnu i kvinarnu verziju modela na tri baze slika i uporedili dobijene rezultate sa nekoliko značajnih metoda koje se u literaturi istuču svojim performansama. Detaljan pregled rezultata i modela prikazan je u [27, 28], gde se može videti da predložena klasa pokazuje izuzetne rezultate pri klasifikaciji različitih vrsta slika i da uprkos jednostavnosti modela i neuporedivo manjoj računarskoj složenosti može parirati metodama koje su zasnovane na mašinskom učenju.

Modifikaciju ovog modela, autori su uključili u još istraživanja, koja su

predstavljena u [29, 30] gde se može videti da se metod pored klasifikacije lako uklapa i u druge primene, kao što je segmentacija digitalnih slika.

3. Zaključak

Posle više od 20 godina od svog početka, LBP nisu samo jednostavni deskriptori, već predstavljaju temelje istraživanja u oblasti lokalnih deskriptora slika. Mnogo novih varijanti je predloženo kako bi se poboljšalo svojstvo invarijantnosti na šum, zamagljenje i kontrast u slikama, zatim snaga diskriminacije i kako bi se što bolje odgovorilo na različite zahteve primene. Iako su prvenstveno predloženi za analizu teksture, danas se LBP metode uspešno primenjuju u mnogim različitim problemima, uključujući dinamičko prepoznavanje, analizu pokreta, daljinsko očitavanje i prepoznavanje otisaka prstiju, itd.

Literatura

- [1] M. Tuceryan and A. K. Jain, "Texture analysis," in *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*, pp. 235–276, World Scientific, 1993.
- [2] M. Mirmehdi, *Handbook of Texture Analysis*. Imperial College Press, 2008.
- [3] M. Pietikäinen, A. Hadid, G. Zhao, and T. Ahonen, *Computer Vision Using Local Binary Patterns*. Springer, 2011.
- [4] L. Nanni, A. Lumini, and S. Brahmam, "Survey on LBP based texture descriptors for image classification," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, pp. 3634–3641, 2012.
- [5] L. Liu, J. Chen, P. Fieguth, G. Zhao, R. Chellappa, and M. Pietikäinen, "From BoW to CNN: Two decades of texture representation for texture classification," *International Journal of Computer Vision*, vol. 127, no. 1, pp. 74–109, 2019.
- [6] T. Ojala, M. Pietikäinen, and D. Harwood, "Performance evaluation of texture measures with classification based on kullback discrimination of distributions," in *Pattern Recognition, 1994. Vol. 1-Conference A: Computer Vision & Image Processing., Proceedings of the 12th IAPR International Conference on*, vol. 1, pp. 582–585, IEEE, 1994.
- [7] T. Ojala, M. Pietikäinen, and D. Harwood, "A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 1, pp. 51–59, 1996.
- [8] M. Pietikäinen, T. Ojala, and Z. Xu, "Rotation-invariant texture classification using feature distributions," *Pattern Recognition*, vol. 33, no. 1, pp. 43–52, 2000.
- [9] T. Ojala, M. Pietikäinen, and T. Mäenpää, "Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 7, pp. 971–987, 2002.

- [10] H. Jin, Q. Liu, H. Lu, and X. Tong, "Face detection using improved LBP under bayesian framework," in *Image and Graphics (ICIG'04), Third International Conference on*, pp. 306–309, IEEE, 2004.
- [11] A. Hafiane, G. Seetharaman, and B. Zavidovique, "Median binary pattern for textures classification," in *International Conference Image Analysis and Recognition*, pp. 387–398, Springer, 2007.
- [12] X. Tan and B. Triggs, "Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions," *Analysis and Modeling of Faces and Gestures*, pp. 168–182, 2007.
- [13] L. Nanni, A. Lumini, and S. Brahmam, "Local binary patterns variants as texture descriptors for medical image analysis," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 49, no. 2, pp. 117–125, 2010.
- [14] G. Kylberg and I.-M. Sintorn, "Evaluation of noise robustness for local binary pattern descriptors in texture classification," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, vol. 2013, no. 1, p. 17, 2013.
- [15] Z. Guo, L. Zhang, and D. Zhang, "A completed modeling of local binary pattern operator for texture classification," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 19, no. 6, pp. 1657–1663, 2010.
- [16] L. Liu, L. Zhao, Y. Long, G. Kuang, and P. Fieguth, "Extended local binary patterns for texture classification," *Image and Vision Computing*, vol. 30, no. 2, pp. 86–99, 2012.
- [17] S. Liao, M. W. Law, and A. C. Chung, "Dominant local binary patterns for texture classification," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 18, no. 5, pp. 1107–1118, 2009.
- [18] D. K. Iakovidis, E. G. Keramidas, and D. Maroulis, "Fuzzy local binary patterns for ultrasound texture characterization," in *International Conference Image Analysis and Recognition*, pp. 750–759, Springer, 2008.
- [19] V. Ojansivu, E. Rahtu, and J. Heikkila, "Rotation invariant local phase quantization for blur insensitive texture analysis," in *2008 19th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 1–4, IEEE, 2008.
- [20] A. Fathi and A. R. Naghsh-Nilchi, "Noise tolerant local binary pattern operator for efficient texture analysis," *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, no. 9, pp. 1093–1100, 2012.
- [21] J. Ren, X. Jiang, and J. Yuan, "Noise-resistant local binary pattern with an embedded error-correction mechanism," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 10, pp. 4049–4060, 2013.
- [22] J. Chen, V. Kellokumpu, G. Zhao, and M. Pietikäinen, "RLBP: Robust local binary pattern," in *British Machine Vision Conference, BMVC*, 2013.

- [23] L. Liu, P. Fieguth, Y. Guo, X. Wang, and M. Pietikäinen, “Local binary features for texture classification: Taxonomy and experimental study,” *Pattern Recognition*, vol. 62, pp. 135–160, 2017.
- [24] L. Liu, S. Lao, P. W. Fieguth, Y. Guo, X. Wang, and M. Pietikäinen, “Median robust extended local binary pattern for texture classification,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25, no. 3, pp. 1368–1381, 2016.
- [25] S. Liao and A. C. Chung, “Face recognition by using elongated local binary patterns with average maximum distance gradient magnitude,” in *Asian Conference on Computer Vision*, pp. 672–679, Springer, 2007.
- [26] S. Brahmam, L. C. Jain, L. Nanni, A. Lumini, *et al.*, *Local Binary Patterns: New Variants and Applications*. Springer, 2014.
- [27] M. Delić, J. Lindblad, and N. Sladoje, “ α LBP—a novel member of the local binary pattern family based on α -cutting,” in *Image and Signal Processing and Analysis (ISPA), 2015 9th International Symposium on*, pp. 13–18, IEEE, 2015.
- [28] M. Delic, “Local binary patterns based on α -cutting approach,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 29, no. 4, 2020.
- [29] M. Delić, L. Nedović, and E. Pap, “Extended power-based aggregation of distance functions and application in image segmentation,” *Information Sciences*, vol. 494, pp. 155–173, 2019.
- [30] N. Ralević, M. Delić, and L. Nedović, “Aggregation of fuzzy metrics and its applications in image segmentation,” *Submitted for publication*.