

Primjena DCT kompresije na slikama u IoT sistemima

Nevena Jeftenić
Funkcija Informativnih tehnologija
Mtel a.d. - Telekom Srpske
Banja Luka, Republika Srpska, BiH
nevena.jakovljevic@mtel.ba

Tamara Rašić
Funkcija Informativnih tehnologija
Mtel a.d. - Telekom Srpske
Banja Luka, Republika Srpska, BiH
tamara.rasic@mtel.ba

Sažetak — Kroz integraciju senzora, softvera i bežične konekcije u svakodnevne aktivnosti, Internet of Things (IoT) stvara inteligentne ekosisteme čija se primjena neizbježno uvlači u sva životna polja, uključujući pametne gradove, poljoprivredu, zdravstvo i proizvodnju. Takvi sistemi često koriste sliku i video zapis kao izvor informacija za mašinsko učenje i analizu, neophodnu za detekciju anomalija, nadzor sigurnosti, prepoznavanje lica, optimizaciju saobraćaja, i u našem slučaju, praćenja aktivnosti pčela u košnici. S obzirom da digitalna slika sadrži veliku količinu podataka koji se prenose kroz digitalni sistem obrade, neophodno je efikasno riješiti izazove prenosa istih unutar IoT mreža ograničenih resursa. Osnovni cilj istraživanja predstavljenog u ovom radu je pokazati da se primjenom DCT kompresije nad slikom može višestruko smanjiti količina podataka, istovremeno zadržavajući kvalitet slike koji je potreban za dalju primjenu. Za procjenu kompresije, DCT je primjenjen nad JPG slikama koje se dobijaju sa kamera pametnih pčelarskih sistema, korišćenjem Python programskog jezika sa OPENCV i NumPy bibliotekama. Slike su izdvojene iz javno dostupnih datasetova. Analiza je obuhvatila primjenu DCT kompresije sa 6 definisanih nivoa kvaliteta (engl. quality level) – 1, 5, 20, 50, 80 i 100, čime je pokriven opseg koji omogućava procjenu odnosa kompresije i kvaliteta slike. Očekivano, najniži faktor kvaliteta na izlazu daje slike sa najmanjom veličinom, ali istovremeno najnižim kvalitetom. Međutim, značajno je da se već sa umjerenim faktorom 20 postiže ozbiljna optimizacija – pet puta manje podataka uz zadovoljavajući kvalitet slike za dalji rad. Optimalan rezultat se postiže uz faktor 80, sa kojim dobijamo 2 puta manje podataka i izlaznu sliku na kojoj razlike u kvalitetu, u odnosu na originalnu, nisu vidljive golim okom.

Gljučne riječi— DCT, quality factor, IoT, Python.

I. UVOD

Poznato je da su pčele, kao najvažniji oprašivači u bio ekosistemu, ključne za održavanje života kakvog poznajemo. Međutim, u posljednjih nekoliko decenija, bilježi se sve veći pad pčelinjih kolonija širom svijeta. Tema nestanka pčela je složena i u naučnim krugovima se uglavnom naziva Sindrom kolapsa kolonija (eng. Colony Collapse Disorder - CCD). Naučne studije pokazuju da na gubitak pčelinjih kolonija utiče nekoliko faktora – izloženost pesticidima, biotski faktori, nedostatak hrane, elektromagnetna polja i klimatske promjene [1].

U nastojanju da se shvati ponašanje pčela i spriječi njihov dalji nestanak, razvijeni su razni sistemi za nadzor košnica. Takvi sistemi su obično bazirani na mikroracunarima, sensorima i kamerama za video snimanje [2].

S obzirom da su pčelinjaci najčešće locirani van domašaja stabilnog napajanja i snažnog internet signala, sisteme za nadzor košnice možemo svrstati u ograničene IoT ekosisteme. Prvo, ovi sistemi obično imaju ograničen prostor za skladištenje podataka na internim memorijama ili SD karticama. Učestalo generisanje slika na kameri brzo dovodi do popunjavanja dostupnog memorijskog prostora. Generisani podaci se najčešće prenose bežičnim putem do servera ili clouda. Takav prenos podataka je nepouzdan i spor. Na kraju, sistemi za nadzor košnica se uglavnom napajaju baterijama, a prenos podataka je jedan od procesa koji troši najviše energije [3].

Kada kamera generiše sliku, zapravo se generiše datoteka značajne veličine (do nekoliko MB), što je u direktnom konfliktu sa navedenim ograničenjima sistema u pogledu skladištenja, brzine obrade i prenosa. Da bi se prevazišao ovaj konflikt, neophodno je uvođenje kompresije slike. Smanjivanjem veličine datoteke, istovremeno rješavamo sva tri problema: skraćuje se vrijeme rada prilikom prenosa podataka, čime se štedi energija baterije, povećava se brzina slanja podataka i na kraju, omogućava se duže čuvanje podataka na samom uređaju.

Kompresija slika dobijenih nadzorom košnica, stoga ne predstavlja samo mogućnost, već ključan kompromis koji garantuje pouzdanu i ekonomičnu funkcionalnost sistema za praćenje košnica.

II. DISKRETNNA KOSINUSNA TRANSFORMACIJA

A. Diskretna kosinusna transformacija (DCT)

Transformaciono kodovanje predstavlja ključni dio savremenih sistema za obradu slike i videa. Ono se zasniva na iskorištavanju visoke korelacije među susjednim pikselima u slici, kao i među pikselima u uzastopnim video-frejmovima, kako bi se originalni prostorni podaci mapirali u transformisane, nekorelisane koeficijente. Na taj način smanjuje se entropija i postiže efikasnija kompresija u okviru izvorno koda. Diskretna kosinusna transformacija, je često korištena u savremenim sistemima za kompresiju jednodimenzionalnih signala poput bioimpedanse, ali i slike i videa [1].

DCT transformacija uklanja međusobnu zavisnost među pikselima, pa se koeficijenti nakon transformacije mogu odvojeno i efikasnije kompresovati. Definicija jednodimenzionalne (1-D) DCT niza dužine N data je kao [4]:

$$C(u) = \alpha(u) \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right], \quad (1)$$

$u=0,1,2,\dots,N-1$, a inverzna transformacija je data kao:

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} \alpha(u) C(u) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right], \quad (2)$$

$$x=0,1,2,\dots,N-1.$$

U jednačini (1) i (2), α je definisano kao:

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & u=0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & u \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Prvi koeficijent DCT transformacije, za $u=0$:

$$C(u=0) = \sqrt{\frac{1}{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \quad (4)$$

predstavlja prosječnu vrijednost sekvenice uzorka i naziva se DC koeficijent, dok se svi ostali nazivaju AC koeficijenti.

Kosinusne funkcije koje se koriste u DCT-u formiraju ortogonalni skup baznih funkcija, što znači da su međusobno nezavisne: množenje različitih funkcija praćeno sumiranjem daje nulu, dok množenje funkcije sa samom sobom daje konstantnu vrednost. Ove funkcije omogućavaju reprezentaciju signala kao kombinaciju nezavisnih komponenti različitih frekvencija.

Cilj ovog rada je ispitivanje efikasnost primjene DCT-a na slikama, pa je analizu potrebno primjeniti na dvodimenzionalni proctor (2-D). Dvodimenzionalni DCT predstavlja direktno proširenje jednodimenzionalnog slučaja i dat je sa:

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v)C(u,v) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right], \quad (5)$$

$$u, v=0,1,2,\dots,N-1$$

Inverzna transformacija je definisana kao:

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v)C(u,v) \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right], \quad (6)$$

$$x, y=0,1,2,\dots,N-1$$

Važno je istaći da se dvodimenzionalne bazne funkcije mogu generisati množenjem horizontalno orijentisanih jednodimenzionalnih baznih funkcija sa vertikalno orijentisanim skupom istih funkcija, čime se potencijalno olakšava implementacija istih.

B. Osnovne osobine DCT-a od značaja za primjenu u obradi slike

U nastavku je dat pregled (uz primjere) nekih osobina DCT-a koje su od posebnog značaja za primjenu u obradi slika:

- Dekorelacija: Glavna prednost transformacije slike je uklanjanje redundantnosti između susjednih piksela, čime se dobijaju nekorelisani transformacioni koeficijenti koji se mogu nezavisno kodirati. Mala vrijednost autokorelacije nakon primjene DCT-a ukazuje da DCT ima vrlo dobre dekokorelacione osobine.
- Kompaktnost energije: DCT efikasno koncentriše energiju slike u mali broj koeficijenata, što omogućava odbacivanje koeficijenata male vrijednosti bez vidljivog gubitka kvaliteta kompresovane slike. Ova osobina je naročito izražena kod visoko korelisanih slika, kod kojih je većina energije sadržana u oblasti niskih frekvencija.
- Separabilnost: Osobina separabilnosti omogućava da se 2-D DCT izračuna primjenom uzastopnih 1-D DCT operacija po redovima i kolonama slike. Time se značajno smanjuje složenost i povećava efikasnost proračuna, a isti princip važi i za inverznu DCT transformaciju.
- Simetrija: DCT ima osobinu simetrije jer su operacije po redovima i kolonama funkcionalno identične. Ova osobina omogućava da se matrica unaprijed izračuna i koristi u obradi slike, čime se značajno povećava računaska efikasnost.
- Ortogonalnost: Ortogonalnost DCT-a omogućava da se inverzna transformacija dobije jednostavnim transponovanjem transformacione matrice. Time se, uz dobre dekokorelacione osobine, dodatno smanjuje složenost i povećava efikasnost proračuna.

C. Implementacija algoritma

Algoritam za primjenu DCT kompresije je modelovan korišćenjem Python programskog jezika verzije 11, sa dodatnim OpenCV i NumPy bibliotekama. OpenCV je biblioteka za obradu slike, dok NumPy omogućava primjenu

matematičkih funkcija i operacija nad nizovima, odnosno matricama, koje predstavljaju slike. U okviru OpenCV implementacije korišćena je standardna JPEG matrica kvantizacije. Matrica nije modifikovana, već je automatski skalirana prema faktoru kvaliteta, čime je osigurana kompatibilnost sa IoT uređajima. Analiza je izvođena na slikama izdvojenih iz javno dostupnih skupova podataka koji se nalaze na web stranici <https://data.mendeley.com/datasets/8gb9r2yhfc/6>. Za potrebe ovog istraživanja odabrani su uzorci snimljeni pri stabilnim uslovima dnevnog osvetljenja. Fokus je stavljen na dnevni ciklus aktivnosti pčela, kada je gustina saobraćaja na ulazu u košnicu najveća, a potreba za prenosom vizuelnih informacija najučestalija.

Algoritam smo primijenjivali na slike košnice dimenzija 1920×1080, uzimajući u obzir 6 različitih vrijednosti nivoa kvaliteta – 1, 5, 20, 50, 80 i 100. Nivo kvaliteta predstavlja kontrolnu varijablu koja utiče na nivo kvantizacije unutar DCT kompresije. Visoka vrijednost nivoa kvaliteta smanjuje korake kvantizacije, čime se obezbjeđuje da DCT koeficijenti koji nose informacije o finim detaljima ostanu sačuvani. Niska vrijednost ovog parametra povećava korake kvantizacije, čime se većina koeficijenata visokih frekvencija svodi na nulu. Rezultat je slika koja zadržava samo dominantne, niskofrekventne komponente koje čine osnovne obrise slike, ali zauzima minimalan prostor jer se nastali nizovi nula efikasno kompresuju. Tako dobijena slika se poredi sa originalnom, a osnovni kriterijum pri procjeni prihvatljivosti kompresije bila je upotrebnost slike za dalji rad, koja se, u ovom slučaju, ogleda u mogućnosti precizne detekcije pčela. Prihvatljivim su smatrane one slike kod kojih kvantizacija ne uzrokuje stapanje objekata ili gubitak oštine ivica.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

Analiza je rađena na četiri slike košnice snimljene u prirodnom ambijentu. Ključna razlika među slikama se odnosi na varijaciju u gustini pčela, a pored toga, primijećuje se i razlika u boji same košnice. Sve slike su dimenzija 1920×1080 piksela, a veličine 907 KB, 1 020 KB, 1 085 KB i 1 093 KB.

U prvoj fazi istraživanja rađena je analiza uticaja nivoa kvaliteta na veličinu datoteke. Posmatrajući rezultate iz tabele I, može se zaključiti da su nivo kvaliteta i stepen kompresije obrnuto srazmjerne veličine. Najniži nivo kvaliteta omogućava najveći stepen kompresije tj. izlaznu sliku najmanje veličine, i obrnuto.

Tabela I: Prikaz veličine kompresovanih JPEG slika u zavisnosti od nivoa kvaliteta (Q = 1–100) za testnu sliku košnice A. Ulazna slika ima veličinu 907 KB.

Nivo kvaliteta	Veličina ulazne slike [KB]	Veličina izlazne slike [KB]	Procenat kompresije [%]
1	907	30.85	96.60
5		60.20	93.36
20		184.76	79.63
50		276.21	69.55
80		433.41	52.21
100		1199.44	—

Isti zaključak se donosi i na osnovu rezultata dobijenih za preostale tri slike uključene u analizu, a koji su prikazani u tabelama II, III i IV.

Tabela II: Prikaz veličine kompresovanih JPEG slika u zavisnosti od nivoa kvaliteta (Q = 1–100) za testnu sliku košnice B. Ulazna slika ima veličinu 1020 KB.

Nivo kvaliteta	Veličina ulazne slike [KB]	Veličina izlazne slike [KB]	Procenat kompresije [%]
1	1 020	38.20	96.25
5		73.14	92.83
20		212.20	79.20
50		313.88	69.23
80		488.62	52.09
100		1353.04	—

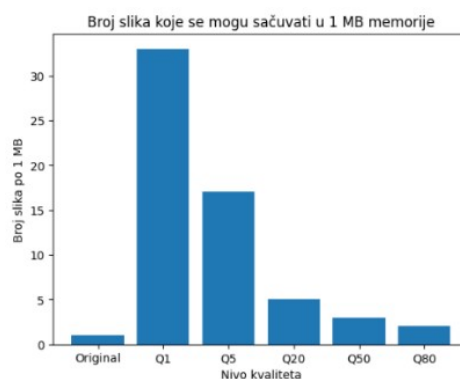
Tabela III: Prikaz veličine kompresovanih JPEG slika u zavisnosti od nivoa kvaliteta (Q = 1–100) za testnu sliku košnice B. Ulazna slika ima veličinu 1085 KB.

Nivo kvaliteta	Veličina ulazne slike [KB]	Veličina izlazne slike [KB]	Procenat kompresije [%]
1	1 085	45.2	95.83
5		81.7	92.47
20		230	78.80
50		341.56	68.52
80		525.32	51.58
100		1476.28	—

Tabela IV: Prikaz veličine kompresovanih JPEG slika u zavisnosti od nivoa kvaliteta (Q = 1–100) za testnu sliku košnice B. Ulazna slika ima veličinu 1093 KB.

Nivo kvaliteta	Veličina ulazne slike [KB]	Veličina izlazne slike [KB]	Procenat kompresije [%]
1	1 093	45.57	95.83
5		82.34	92.47
20		232.36	78.74
50		344.39	68.49
80		529.97	51.51
100		1487.50	—

Dobijene rezultate za košnicu A smo iskoristili da analiziramo značaj primjene kompresije u povećanju efikasnosti skladištenja digitalnih slika. Ista analiza je primjenjena i na rezultate ostalih košnica. U nastavku je dat grafik koji jasno pokazuje koliko se slika može sačuvati u 1 MB memorije u zavisnosti od nivoa kompresije:



Slika 1. Zavisnost broja slika koje se mogu pohraniti u 1 MB memorije od nivoa kvaliteta (Q = 1–80) pri primjeni DCT kompresije na testnoj slici košnice A.

Dok originalna slika omogućava pohranu približno jedne slike po 1 MB memorije, umjereni nivoi kompresije (20–50) omogućavaju pohranu 3–5 puta većeg broja slika uz prihvatljiv gubitak kvaliteta. Ekstremni nivoi kvaliteta ne pružaju memorijsku efikasnost i nisu praktični za primjenu. Stoga je kompresija neophodna u sistemima za obradu i arhiviranje velikih količina slikovnih podataka.

U drugoj fazi je bilo neophodno ustanoviti u kojoj mjeri postignuta ušteda memorijskog prostora utiče na stepen degradacije kompresovane slike.

Slike 2 i 3 prikazuju originalnu sliku košnice A i izlazne slike dobijene primjenom različitih nivoa kvaliteta. Već se na osnovu subjektivne vizuelne procjene može zaključiti da, ukoliko želimo da zadržimo kvalitet slike u pogledu jasnoće detalja, nivo kvaliteta mora da bude visok. Ukoliko je nivo kvaliteta nizak, i rekonstruisana slika će bi lošijeg kvaliteta.



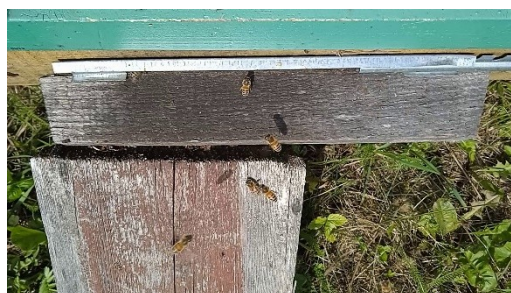
Slika 2. Originalna slika košnice A korištena kao referenca za evaluaciju uticaja DCT kompresije na veličinu slike.



Slika 3. Poređenje kompresovanih verzija slike pri različitim nivoima kvaliteta (Q); niže vrijednosti q uzrokuju blokovske artefakte i gubitak oštine, dok više vrijednosti zadržavaju bolju vizuelnu vjernost uz smanjenu veličinu slike.

Postavljanje parametra kvaliteta na nisku vrijednost (1 ili 5) neizbježno dovodi do pojave izraženih artefakata na izlaznoj slici. Umjereni faktor 20 daje rekonstruisanu sliku zadovoljavajućeg vizuelnog kvaliteta, uz smanjenje veličine za skoro pet puta u odnosu na original. Faktorom 80 se postiže dva puta manje podataka i izlazna slika na kojoj razlike u kvalitetu, u odnosu na originalnu, nisu vidljive golim okom.

Slike od 4 do 9 predstavljaju uporedni prikaz originalnih i kompresovanih slika košnica B, C i D. Njima se dodatno potvrđuje uniformnost izloženih rezultata, kao i dosljednost prethodno izvedenih zaključaka o efikasnosti primijenjene transformacije.



Slika 4. Originalna slika košnice B korištena kao referenca za evaluaciju uticaja DCT kompresije na veličinu slike.



Slika 5. Poređenje kompresovanih verzija slike pri različitim nivoima kvaliteta (Q); niže vrijednosti q uzrokuju blokovske artefakte i gubitak oštine, dok više vrijednosti zadržavaju bolju vizuelnu vjernost uz smanjenu veličinu slike.



Slika 6. Originalna slika košnice C korištena kao referenca za evaluaciju uticaja DCT kompresije na veličinu slike.



Slika 7. Poređenje kompresovanih verzija slike pri različitim nivoima kvaliteta (Q); niže vrijednosti q uzrokuju blokovske artefakte i gubitak oštine, dok više vrijednosti zadržavaju bolju vizuelnu vjernost uz smanjenu veličinu slike.



Slika 8. Originalna slika košnice D korištena kao referenca za evaluaciju uticaja DCT kompresije na veličinu slike.



Slika 9. Poređenje kompresovanih verzija slike pri različitim nivoima kvaliteta (Q); niže vrijednosti q uzrokuju blokovske artefakte i gubitak oštine, dok više vrijednosti zadržavaju bolju vizuelnu vjernost uz smanjenu veličinu slike.

Dalje, kako bi se eliminisala subjektivnost posmatrača i dobili precizni podaci o očuvanju informacija na slici, u završnoj fazi se pristupilo objektivnoj analizi pomoću

matematičkih metrika. Dok subjektivna procjena verifikuje praktičnu upotrebu kompresovanih slika za dalji rad nad njima, objektivne metrike kao što su PSNR (*engl.* Peak Signal-to-Noise Ratio) i SSIM (*engl.* Structural Similarity Index Measure) matematički procjenjuju u kojoj mjeri primijenjena kompresija utiče na stepen degradacije ključnih detalja na slici.

A. PSNR

Parametar PSNR mjeri odnos između maksimalne snage signala i snage šuma nastalog usljed kvantizacije, a izračunava se pomoću sledeće formule:

$$PSNR = 10 \log \frac{(L-1)^2}{\frac{1}{M} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]^2} \quad (7)$$

gdje $L-1$ predstavlja maksimalni mogući intenzitet piksela.

Proizvod $\frac{1}{M} \frac{1}{N}$ označava ukupan broj piksela na slici, a $f(x,y)$ i $\hat{f}(x,y)$ predstavljaju vrijednosti piksela originalne i kompresovane slike na istim pozicijama [6].

PSNR se izražava se u decibelima (dB), a tipične vrijednosti ovog parametra se najčešće kreću u rasponu od 20 do 50 dB, gdje 50 dB označava skoro savršenu sliku. Vrijednosti ispod 25 dB ukazuju na vidljive degradacije.

B. SSIM

SSIM metrika simulira ljudsku vizuelnu percepciju oslanjajući se na činjenicu da neke informacije imaju manju važnost od drugih pri vizuelnoj obradi slike u ljudskom mozgu. Suština SSIM metrike se zasniva na činjenici da digitalne slike karakteriše visok stepen prostorne redundanse, što podrazumijeva da su vrijednosti pojedinačnih piksela u snažnoj korelaciji sa svojim okruženjem, te se mogu dobro predvidjeti na osnovu susjednih elemenata. Zbog ove međuzavisnosti, pojedinačni piksel nosi malu količinu informacija, što omogućava efikasnu kompresiju bez bitnog narušavanja percepcije cjelokupne strukture [6].

Sam proces izračunavanja SSIM indeksa realizuje se poređenjem tri ključne komponente, a to su intenzitet osvijetljenja, kontrast i struktura slike. Umjesto analize kompletne slike, postupak se primjenjuje na blokovima od 8×8 piksela, čime se omogućava precizna detekcija degradacije nastale prilikom rekonstrukcije slike. Konačni rezultat se dobija objedinjavanjem ovih parametara u jedinstvenu vrijednost tj. indeks, na idući način:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (8)$$

gdje su μ_x i μ_y srednje vrijednosti osvijetljenja, σ_x i σ_y standardne devijacije, odnosno kontrast, a σ_{xy} kovarijansa za slike x i y .

Rezultat se uvijek kreće u rasponu od 0 do 1 i predstavlja ocjenu kvaliteta usklađenu sa subjektivnim ljudskim doživljajem. Što je vrijednost bliža jedinici, to je kompresovana slika vizuelno sličnija originalu.

Rezultati proračuna navedenih metrika za ispitivani set slika košnica, prikazani su u tabelama V-VIII.

Tabela V: Vrijednosti SSIM i PSNR parametara za različite nivoe kvaliteta (Q) kompresovanih slika – košnica A.

Košnica A	Nivo kvaliteta	SSIM	PSNR
	1	0.5968	19.69 dB
	5	0.7715	22.48 dB
	20	0.9191	28.04 dB
	50	0.9714	33.01 dB
	100	0.9992	49.04 dB

Tabela VI: Vrijednosti SSIM i PSNR parametara za različite nivoe kvaliteta (Q) kompresovanih slika – košnica B.

Košnica B	Nivo kvaliteta	SSIM	PSNR
	1	0.5655	20.66 dB
	5	0.7596	23.28 dB
	20	0.9173	28.82 dB
	50	0.9708	33.89 dB
	100	0.9991	49.95 dB

Tabela VII: Vrijednosti SSIM i PSNR parametara za različite nivoe kvaliteta (Q) kompresovanih slika – košnica C.

Košnica C	Nivo kvaliteta	SSIM	PSNR
	1	0.6145	19.15 dB
	5	0.7857	21.94 dB
	20	0.9251	27.59 dB
	50	0.9743	32.37 dB
	100	0.9880	35.68 dB

Tabela VIII: Vrijednosti SSIM i PSNR parametara za različite nivoe kvaliteta (Q) kompresovanih slika – košnica D.

Košnica D	Nivo kvaliteta	SSIM	PSNR
	1	0.6129	19.17 dB
	5	0.7847	21.83 dB
	20	0.9250	27.56 dB
	50	0.9741	32.31 dB
	100	0.9881	35.64 dB

Dobijene vrijednosti PSNR i SSIM parametara u potpunosti su u korelaciji sa subjektivnom vizuelnom procjenom, potvrđujući da pad vrijednosti ovih indeksa prati uočljivu degradaciju detalja na slici kroz različite nivoe kompresije.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavili smo metodu kompresije podataka koja se temelji na dvodimenzionalnoj DCT, a primjenjuje na slike koje se dobijaju sa kamera pametnih pčelarskih sistema.

Eksperimentalni rezultati potvrđuju da su nivo kvaliteta i stepen kompresije obrnuto srazmjerne veličine, pri čemu niži nivoi kvaliteta omogućavaju značajnu uštedu memorijskog prostora, ali uz izraženu degradaciju vizuelnih detalja. Objektivne metrike PSNR i SSIM pokazuju visoku korelaciju

sa subjektivnom vizuelnom procjenom, čime se potvrđuje njihova pouzdanost u evaluaciji kvaliteta kompresovanih slika. Poseban doprinos predstavlja identifikacija "optimalne tačke" na nivou kvaliteta $Q=50$, gdje se postiže prosječna ušteda prostora od približno 69%, uz zadržavanje visokog vizuelnog integriteta ($SSIM > 0.97$ i $PSNR \sim 33$ dB). Dobijeni rezultati ukazuju da je primjena kompresije neophodna u sistemima za obradu i arhiviranje velikih količina slikovnih podataka, uz pažljiv izbor parametara kvaliteta u skladu sa zahtjevima konkretne primjene.

Dosljednost ovih rezultata dokumentovana je kroz uporedne prikaze za četiri analizirane košnice (A, B, C i D), čime je dokazano da metod zadržava uniformnost i stabilnost na čitavom testnom setu slika.

Predložena metoda DCT kompresije predstavlja perspektivno rješenje za upravljanje i prenos podataka u sistemima koji se prvenstveno oslanjaju na vizuelni nadzor pčelinjaka.

Ipak, ograničenja predloženog pristupa primarno se manifestuju pri niskim nivoima kvaliteta $Q < 20$, gdje dolazi do izražene pojave artefakata. Iako ovakva kompresija nudi uštedu prostora veću od 90%, ona uzrokuje gubitak sitnih detalja, što može negativno uticati na algoritme za automatsko brojanje pčela ili detekciju varoe. Takođe, istraživanje je ograničeno na uslove stabilnog dnevnog osvjetljenja, dok performanse sistema u uslovima ekstremno niskog osvjetljenja ili pri upotrebi infracrvenih kamera ostaju predmet budućih ispitivanja.

Pored toga, budući rad će biti usmjeren na razvoj adaptivnih matrica kvantizacije koje bi se dinamički prilagođavale sadržaju slike te na taj način različito tretirale pozadinu košnice u odnosu na same pčele.

Zahvalnica

Autori izražavaju zahvalnost prof. dr Mitru Simiću sa Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci za diskusiju u toku eksperimentalnog rada, kao i prilikom pisanja članka.

REFERENCE

- [1] M. Simić and T. J. Freeborn, "Discrete Cosine Transform-based Data Compression of Bioimpedance with Embedded Hardware," 24th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, March 2025.
- [2] G. Singh and A. Rana, "Honeybees and colony collapse disorder: understanding key drivers and economic implications," Indian National Science Academy, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/389138949_Honeybees_and_colony_collapse_disorder_understanding_key_drivers_and_economic_implications.
- [3] V. Starčević, M. Simić, V. Risojević and Z. Babić, "Integrated video-based bee counting and multi-sensors platform for remote bee yard monitoring," 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA, March 2022.
- [4] O. Anwar, "Smart beehive monitoring for remote regions," Ph.D. dissertation, Dept. Electron. Eng., 2022, pp. 31–33. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/365265478_Smart_beehive_monitoring_for_remote_regions
- [5] S. A. Khayam, "The Discrete Cosine Transform (DCT): Theory and Application," March 10th 2003.

- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital image processing," 2nd Edition, 2002