

Zajem podvodne žive slike – optimizacije za zajem čim boljše slike

Damir Deželjin

Univerza na Primorskem

Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije Koper

Glagoljaška 8, 6000 Koper

damir.dezeljin@dezo.org

Povzetek

Prispevek opisuje projekt načrtovanja, razvoja in postavitve podvodne digitalne kamere pri piranskem Rtu Madona. Podvodna kamera z optičnim kablom je bila razvita v okviru ISMO Interreg IIIA SLO-IT projekta (vodji dr. V. Malačič in dr. B. Čermelj), ki so ga izvajali do junija 2008 na Morski biološki postaji Piran (MBP), enoti Nacionalnega inštituta za biologijo (NIB). Kamera je bila kasneje predvsem programsko dopolnjena, vpeljane so bile tudi dopolnitve na podvodnem ohišju in ozemljitvi.

Poudarek prispevka je na metodah za doseg »čim lepše« slike, vključno z nastavitvijo digitalne kamere za zajem optimalne slike in post-procesiranjem zajete slike.

Ključne besede

digitalna kamera, podvodna slika, krmiljenje digitalne kamere, obdelava digitalne slike, ISMO Interreg IIIA SLO-ITA

1. Uvod

Prikaz žive slike na svetovnem spletu danes v večini primerov ne predstavlja težave. Na tržišču je mogoče dobiti veliko število splošno namenskih digitalnih kamer, ki nudijo možnost zajema slike in direktnega prikaza na svetovnem spletu. Večina teh kamer je namenjena zajemu slike v normalnih pogojih. Ti so:

- Dostopnost električnega napajanja,
- dostopnost komunikacijskega vmesnika kot npr. ethernet ali brezžično omrežje,
- zadovoljivi svetlobni pogoji oz. možnost dodatnega osvetljevanja,
- normalni obratovalni pogoji vključno z vlažnostjo in temperaturo okolice,
- omejena kvaliteta zajete slike. To vključuje eno ali več sledečih: ostrina, resolucija slike in barvna globina.
- Omejen eksplozijski čas zajema slike.

V primeru potrebe po zajemu slike v posebnih pogojih je potrebno poseči po namenskih rešitvah, kar vključuje:

- Uporabo zmogljivejših digitalnih kamer,
- uporabo namenske optike oz. objektiva,
- uporaba posebnih ohišij,
- itn.

Prikaz podvodne žive slike na svetovnem spletu je specifična zahteva in ni pokrita z obstoječimi sistemi široke uporabe. Takšen sistem pa mora zajemati rešitve sledečih problemov:

- Posebni pogoji namestitve kamere, ki zaradi dejstva, da je kamera potopljena pod vodo, onemogočajo oz. otežujejo kasnejši dostop do kamere in ponastavljanje le-te,
- električno napajanje,
- prenos podatkov;
- kvaliteta slike vključujoč osvetljenost in ostrino slike.

Pri vsem tem je potrebno upoštevati tudi dolgoročni namen uporabe sistema, ki poleg nujenja slike širši javnosti zavzema tudi uporabo zajetih digitalnih slik oz. sekvence Ir-teh v raziskovalne namene ter za stalen monitoring morja.

Digitalna kamera je nameščena v namensko izdelano INOX ohišje, to pa je potopljeno pod morsk gladino pri piranskem Rtu Madona.

Za zagotovitev električnega napajanja in komunikacijo s kamero sta potopljeno ohišje kamere in video kontrolni center na kopnem povezana s kablom. Pri realizaciji povezave je bila posebna pozornost posvečena preprečevanju galvanskega električnega toka, ki bi lahko povzročil korozijo ohišja, priključkov kabla in kabla samega. Zato je podatkovni vod realiziran z optičnim vlaknom, električni napajalni sklop pa je popolnoma galvansko ločen od električnega napajanja na kopnem.

Za zagotavljanje zadostne električne moči ob čim manjšem električnem toku med kopnim in kamero, se uporablja 48 V enosmerne napajalne napetosti.

Komunikacijski kanal med digitalno kamero in kontrolnim centrom na kopnem je dvosmeren. Realiziran je preko enega samega več-modnega (ang. multi-mode) optičnega vlakna. Dvosmernost je dosežena z uporabo dveh različnih valovnih dolžin svetlobnega snopa – ene za pošiljanje podatkov (RX), druga za sprejemanje podatkov (TX).

Za dodatno proti-korozivno zaščito INOX ohišja je poskrbljeno z pritrjenim cink protektorjem.

Za zajem slike skrbi Basler Scout, digitalna industrijska kamera z ročno nastavljenim objektivom. Gre za kamero, kompatibilno z GigE Vision standardom. Ta je bil zasnovan leta 2006 za potrebe priklopa in krmiljenja visokozmogljivih industrijskih kamer. Standard predpisuje uporabo ethernet komunikacijskega vmesnika, sama komunikacija pa temelji na IP UDP protokolu.

Kamera ima poleg vseh standardnih funkcij sodobnih digitalnih kamer še 4 programske nastavljive vhodno/izhodne priključke. Ti so namenjeni krmiljenju dodatnih naprav kot npr. krmiljenje avtomatskega objektiva.

Ena osnovnih zahtev projekta je neprekinjen zajem podvodnih slik. To vključuje tudi zajem nočne slike. V ta namen je v INOX ohišju vgrajenih 12 S-LED diod. Te diode je mogoče daljinsko krmiliti preko enega od prej omenjenih krmilnih izhodov digitalne kamere.

Preostanek tega prispevka je posvečen zajemu, obdelavi in prikazu zajete slike na svetovnem spletu.

V 2. poglavju so navedeni potrebni pogoji za zajem kvalitetne in atraktivne slike. Preostanek poglavja pa podaja teoretično ozadje zajema slike – optiko.

V 3. poglavju je opisan zajem slike vključno s fizično priključitvijo podvodne kamere, programsko opremo za krmiljenje kamere ter nastavitvami osvetljenosti slike.

V 4. poglavju je opisano barvna korekcija zajete slike.

Na koncu je razmislek o možnih izboljšavah trenutnega sistema zajemanja podvodne slike.

2. Kader, optika in optične nastavitve podvodne kamere

Osnovni namen postavitve podvodne kamere v zaščitenem morskem pasu Rta Madona (piranska punta) je zajem podvodne slike in prikaz le-te širši javnosti. Zajete slike morajo biti primerne za raziskovalne namene in izvajanje stalnega monitoringa morja, posledično mora slika biti atraktivna, obenem pa reprezentativna za okolje kjer se kamera nahaja.

2.1 Kader

Zagotoviti atraktivnost slike ni trivialna naloga, saj gre za subjektivno percepcijo gledalca. Prav tako ne obstaja točna formulacija kdaj je slika atraktivna. Knjiga [5] navaja, da je čar atraktivne slike kompozicija predstavljenih objektov. Za slednjo pa piše: »Kompozicija je harmonična ureditev oblike, prostora in barv v okviru zajete slike«.

Reprezentativnost slike se enostavneje zagotovi s samo postavitvijo kamere v naravno okolje zajema slike. Pri tej pa je potrebno upoštevati, da je podvodna kamera postavljena v specifično okolje, podvrženo okoljskim vplivom, kot so morski tokovi, valovanje, ki je posebej izrazito zaradi nizke globine morja, obraščenost z morskimi organizmi in okoliški živež. Dodatno je kamera podvržena človeškemu faktorju, ki vključuje načrtovano redno čiščenje obraščenosti objektiva, kakor tudi nenačrtovane obiske radovednih potapljačev ter morebitnemu ribolovu iz obale. Zato je bila okolica kamere predruščena, kot sledi:

- Iz okoliškega kamenja je bilo postavljeno ležišče ohišja kamere, ki je tudi prekrito s kamenjem.
- V kader kamere je bilo postavljenih nekaj kamnov. Na kamne in prilagojeno okolico so se hitro naselili morski organizmi. Tako je kader kamere postal reprezentativen za zaščiteni območje Rta Madona.

Ob upoštevanju dejstva, da gre za fiksno postavitve kamere, je omenjena preureditev kadra kamere osnova za zagotavljanje atraktivnosti zajete slike. Drugi dejavniki vključujejo ostrost slike,

zadostno osvetljenost, kakor tudi realne barve slike. Vsa ta področja so vpisana v nadaljevanju tega prispevka.

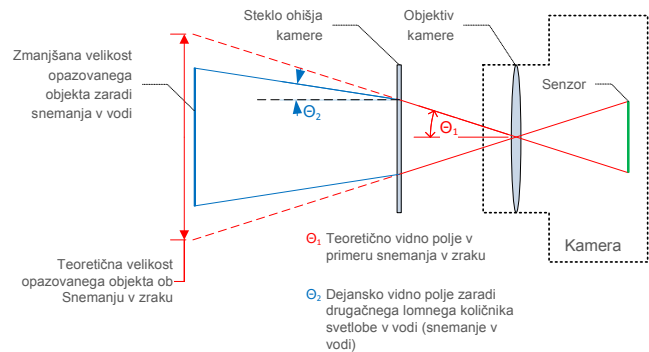
2.2 Optika – osnove

Kamera je opremljena z 8 mm objektivom s fiksno goriščno razdaljo – *Megapixel Fixed Focal Length Lens NT56-786*.

Osnovne karakteristike objektivom so:

- Goriščna razdalja: 8.00 mm
- Zaslonka: f/1,4–f/16
- Delovno območje: 100 mm – ∞
- FOV pri 0,5” senzorju: 42,50°

Navedena vrednost FOV (ang. *Field of View*) velja za snemanje v zraku. V našem primeru je vrednost nekoliko manjša, kar prikazuje spodnja slika [8].



Slika 1: Spremenjeno vidno polje zaradi snemanja v vodi.

Zgornja slika prikazuje zmanjšano vidno polje snemanja v vodi, v primerjavi s snemanjem v zraku. Zmanjšano vidno polje je posledica zmanjšane faze hitrosti svetlobe v vodi ali drugače povedano, voda je »optično gostejša snov« od zraka in ima posledično tudi višji lomni količnik svetlobe. Zmanjšanje vidnega polja lahko izračunamo po Snell-ovem zakonu [9] z uporabo formule:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

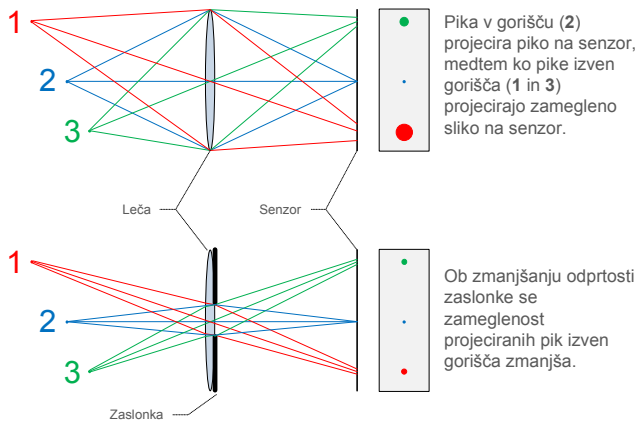
V formuli θ_1 predstavlja polovico vidnega polja kamere v zraku, θ_2 predstavlja polovico vidnega polja kamere v vodi, n_1 je lomni količnik svetlobe v zraku, n_2 pa lomni količnik svetlobe v vodi.

Vrednost zaslonke, v literaturi večkrat poimenovane kot število f [17] (ang. *f-number*) predstavlja razmerje med goriščno razdaljo objektiva in odprtostjo zaslonke, kot sledi:

$$N = \frac{f}{D}$$

Tu f predstavlja goriščno razdaljo objektiva, D pa premer odprtosti zaslonke. Po dogovoru se vrednost zaslonke označuje kot $f/\#$, kjer $\# = N$ iz zgornje formule. Drugače povedano število f predstavlja odprtost zaslonke. Manjše kot je število f , bolj je zaslonka odprta. Posledično na senzor za zajem slike v danem časovnem intervalu vpade več svetlobe, kar pa omogoča krajši čas zajema slike oz. čas ekspozicije (ang. *shutter time*) kot pri bolj zaprti zaslonki.

Odprtost zaslonke pa vpliva tudi na jasnost projiciranja objektov v kadru objektivu, a izven gorišča le-tega, na senzor. To prikazuje sledeča slika:



Slika 2: Vpliv odprtosti zaslonke na jasnost projiciranja objektov izven gorišča objektivu na senzor.

Kot je razvidno iz slike, zaprtost zaslonke vpliva na jasnost projiciranja objektov izven gorišča objektivu oz. na t.i. globinsko ostrino [10, 16]. Bolj kot je zaslonka zaprta, večja je globinska ostrina na senzor projicirane slike. Po drugi strani priprta zaslonka zmanjša osvetljenost senzorja. To pa posledično poveča potreben čas za zajem kvalitetne oz. dovolj svetle slike.

Opisana dejstva pomenijo, da sta nastavitvi časa ekspozicije in odprtosti zaslonke povezani in je potrebno izbrati pravilno ravnotežje glede na želen rezultat. Primer prikazujeta spodnji sliki.



Slika 3: Prikaz odvisnosti odprtja zaslonke na globinsko ostrino (avtor: Jim Henderson).

Leva slika – zaslonka: f2.9 / ekspozicija: 1/250 s;
 Desna slika – zaslonka: f20 / ekspozicija: 1/4 s.

2.3 Dejanske optične nastavitve

Kamera je bila prvič potopljena v zaščitenem območju Rta Madona 18. aprila 2008 in je delala neprekinjeno do 20. decembra 2008, ko je bila dvignjena iz morja zaradi nujno potrebnih vzdrževalnih del – sanacija korozije ohišja.

Drugoten namen dviga kamere je bilo korigiranje optičnih nastavitvev ročno upravljanega objektivu. Do tedaj zajete slike so bile namreč v povprečju pretemne oz. za dovolj svetlo sliko ob

normalnem vremenu oz. svetlosti je bil zahtevan ekspozicijski čas predolg. To je, zaradi stalnega premikanja objektov v kadru kamere, povzročilo zajem meglene slike.

Zaradi manjka sredstev, ob snovanju podvodne kamere, ni bil predviden niti rezervni napajalni sistem. Obstoječi napajalni sistem pa je fiksno nameščen na piranskem Rtu Madona. To je onemogočilo pripravo in preizkus nastavitvev objektivu na kopnem in je bilo potrebno čakati na vnovično potopitev kamere, ki je bila predvidena za konec januarja 2010.

23. januarja 2010 je bilo vse nared za vnovično potopitev kamere. Potapljač je najprej dvignil napajalno-podatkovni kabel na čoln. Po priklopu kamere je sledil test prenosa podatkov. Temu je sledila ponastavitev in test optike. Za to opravilo pa smo bili časovno omejeni zaradi bližajoče se nevihte. Tako smo nastavili sledeče:

- Obroček za nastavitev vrednosti zaslonke objektivu je obrnjen približno za četrtino od popolne odprtosti, torej najmanjšega f števila, proti največjemu f številu,
- povečava (ang. *zoom*) je na najmanjši možen,
- ostrina je bila nastavljena na površju, tako da so bili objekti oddaljeni približno 4 ali več metrov od ohišja videti ostro.

Tako spremenjene nastavitve so v povprečju pripomogle k bolj svetlim slikam pri približno isti osvetlitvi in enakim časom ekspozicije. Žal pa so spremembe poslabšale globinsko ostrino slike. Vseeno kamera s takšnimi nastavitvami obratuje še danes, septembra 2011.

3. Zajem slike

3.1 Tehnične značilnosti kamere

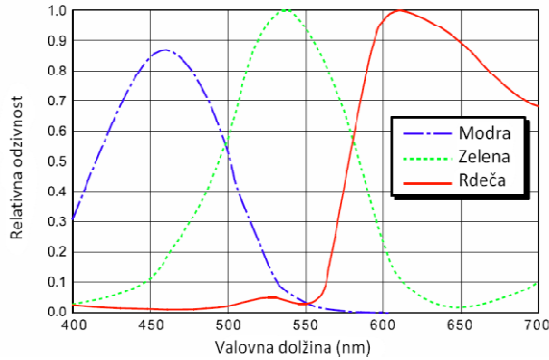
Za zajem slike je uporabljena industrijska kamera Basler Scout scA1000-30gc sledečih karakteristik [2]:

Velikost senzorja (D x V [pike])	1032 x 778
Tip senzorja	Sony ICX204 AL/AK (CCD z zaporednim vzorčenjem)
Optična velikost	1/3"
Velikost pike	4.65 μm x 4.65 μm
Maksimalna hitrost zajema pri najvišji ločljivosti	31 slik/sekundo
Podatkovno vodilo	Fast Ethernet oz. Gigabit Ethernet
Barvna kodiranje zajete slike	Mono 8 (= DCAM Mono 8) Bayer BG 8 (= DCAM Raw 8) Bayer BG 16 (= DCAM Raw 16) Bayer BG 12 Packed YUV 4:2:2 Packed YUV 4:2:2 (YUYV) Packed
Napajalna napetost in poraba energije	+12 do +24 VDC poraba: 3.0 W pri 12 V
V/I vrata	2 opto-ločena vhoda 4 opto-ločeni izhodi

Tabela 1: Tehnične značilnosti kamere.

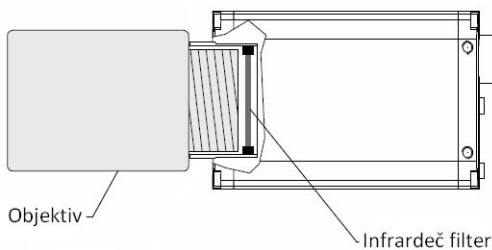
Kamera lahko obratuje v temperaturnem razponu med 0°C in 50°C, pri relativni vlažnosti med 20% in 80%.

Sledeča slika prikazuje spektralni barvni odziv CCD senzorja:



Slika 4: Spektralni barvni odziv CCD senzorja.

Iz grafa barvne odzivnosti CCD senzorja je videti, da senzor zaznava tudi infrardečo svetlobo, torej svetlobo valovnih dolžin nad 700 nm. Zmožnost zajema infrardeče svetlobe je v nekaterih primerih uporabna za zajem slike pri nizki osvetlitvi, saj širše »vidno območje kamere« ob enem pomeni svetlejšo sliko. Žal tako zajeta slika ni skladna s sliko oz. barvami, ki jih vidi človeško oko. Zato, kakor tudi zaradi absorpcije svetlobe višjih valovnih dolžin (rdeče in infrardeče) v vodi, možnost zajema IR svetlobe ni uporabljena in je med objektivom in CCD senzorjem nameščen infrardeč filter.



Slika 5: Kamera – infrardeč filter.

3.2 Priključitev kamere

Uporabljena kamera je skladna z GigE Vision standardom. Gre za namensko razvit standard za priklop in komunikacijo z visokozmogljivimi industrijskimi kamerami. Vodilo pri zasnovi standarda je bilo zagotoviti [1]:

- Prenos podatkov s hitrostjo do 1000 Mbit/s,
- priklop skladnih naprav do razdalje 100 m z uporabo standardnih, široko dostopnih mrežnih priključkov in kablov CAT5e in CAT6,
- kompatibilnost s standardno ethernet aktivno mrežno opremo kot so mrežna stikala, usmerjevalniki, ethernet medijski pretvorniki, itd.

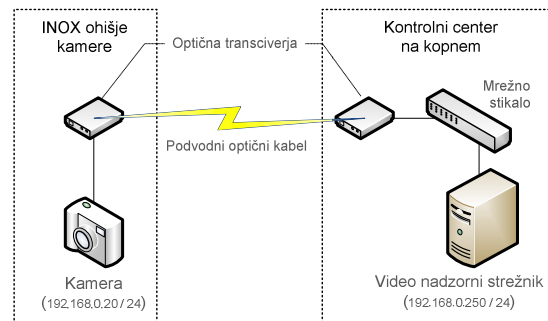
- Standardiziran vmesnik, ki omogoča razvoj mrežnih video aplikacij zasnovanih okoli osnovne, arhitekturne odjemalca / strežnika.

GigE Vision sestoji iz štirih sklopov:

- GigE Vision nadzorni protokol (ang. *GigE Vision Control Protocol – GVCP*) je namenjen nadzoru in spreminjanju nastavitvev naprav. GVCP uporablja UDP mrežni protokol za komunikacijo.
- GigE Vision pretočni protokol (ang. *GigE Vision Stream Protocol – GVSP*) definira uporabljene podatkovne tipe in način prenosa slike preko GigE vmesnika z uporabo UDP mrežnega protokola.
- GigE način iskanja naprav (ang. *GigE Device Discovery Mechanism*) definira način detekcije priklopljenih z GigE kompatibilnih mrežnih naprav ter dodeljevanja IP mrežnih naslovov omenjenim napravam.
- XML opisna datoteka naprave, skladna s shemo GenICam programskega vmesnika. Omenjena datoteka mora vključevati vse potrebne podatke za dostop do nastavitvev in za prenos slike iz kompatibilnih naprav.

Na kopnem je nameščen namenski video nadzorni strežnik, ki skrbi za nastavitve kamere, zajem in prenos slike, obdelavo le-te ter prenos obdelane slike v podatkovno skladišče in na internet.

Strežnik je s kamero povezan preko namenske ethernet mrežne povezave. Ta sestoji iz mrežnega stikala, na katerega je priključen video nadzorni strežnik. Na isto stikalo je priključen medijski pretvornik iz 100BASE-T hitrega etherneteta na eno samo večmodno (ang. *multi-mode*) optično vlakno, preko katerega dvosmerna komunikacija poteka z uporabo različnih valovnih dolžin svetlobe, za pošiljanje (TX) in prejemanje (RX) podatkov. Omenjeno optično vlakno je speljano do INOX ohišja podvodne kamere. Tam je priključeno na enak medijski pretvornik, ta pa na 100BASE-T vmesnik Basler Scout kamere.



Slika 6: Komunikacijski kanal med kamero in video nadzornim strežnikom.

Kameri in video nadzornemu strežniku sta dodeljena statična IPv4 mrežna naslova iz omrežja 192.168.0.0 z 24 bitno masko omrežja (maska: 255.255.255.0). Ta naslova sta:

- Kamera: 192.168.0.20;
- Strežnik: 192.168.0.250.

3.3 Zajem slike – programska oprema

Ob snovanju sistema postavitve podvodne kamere v zaščiteni območje Rta Madona so za delovanje kamere bile določene sledeče zahteve:

- Zajemanje, obdelava slike in skladiščenje oz. prenos slike na internet morajo potekati avtomatično,
- kamera mora zajemati sliko visoke ločljivosti (1024 x 768),
- slika se mora v času zadostne osvetlitve (podnevi) osveževati nepretrgoma vsaj na nekaj sekund, v času nezadostne osvetlitve, torej ko je potrebno vklopiti vgrajene LED diode, (ponoči) je dovolj, da se slika osvežuje vsakih nekaj minut,
- sistem mora omogočati oddaljen nadzor nastavitve kamere. Podobno mora biti omogočen ročni zajem slike iz oddaljenega računalnika (npr. iz omrežja Zavod RS za varstvo narave).

Tako je bila zasnovana rešitev temelječa na arhitekturi odjemalec / strežnik. Pri tej strežnik skrbi za komunikacijo s kamero (nadzor in zajem slike), odjemalec pa za post-procesiranje zajete slike. Dodatno odjemalec lahko proži vklop LED osvetlitve, kakor tudi nastavlja ekspozicijski čas ter ostale relevantne parametre pri zajemu slike. Komunikacija med strežnikom in odjemalcem(-i) je realizirana z uporabo CORBA-e.

CORBA [7] je standard, definiran s strani OMG (ang. *Object Management Group*), ki omogoča komunikacijo med različnimi programi, ki tečejo na enem ali več računalnikih. Splošneje gledano lahko rečemo, da CORBA nudi programom RPC (ang. *Remote procedure call*) zmožnosti. To je, omogoča programom izvajanje funkcij v drugem naslovnem prostoru.

Osnova vsakega programa, ki temelji na arhitekturi odjemalec / strežnik, je dobro definiran funkcijski vmesnik. Ta je v CORBI definiran v t.i. IDL jeziku (ang. *Interface definition language*).

Sledi osnovni vmesnik za delo s podvodno kamero, ki ga implementira strežnik (vmesnik je napisan v IDL jeziku):

```
module i_Cam {
    typedef sequence<octet> i_Data;

    interface i_CamControl {
        void HeartBeat();

        unsigned long GetImgWidth();
        unsigned long GetImgHeight();

        unsigned long GetExposureTime();
        void SetExposureTime(in unsigned long a_time);

        boolean GetLine1Status();
        void SetLine1Status(in boolean a_status);

        i_Data Snap();
    }; // interface i_CamControl
}; // module i_Cam
```

Programska koda 1: Strežniški vmesnik za delo s kamero.

Sledi opis posameznih funkcij kamerinega strežniškega vmesnika:

- *HeartBeat()* – Vzdrževanje komunikacije s kamero. Kamera v vsakem danem trenutku komunicira le z eno napravo (enim IP naslovom). Druga naprava lahko prevzame komunikacijo le po 30 sekundah, odkar kamera ni dobila nobenega mrežnega paketa od zadnje naprave s katero je komunicirala. Drugače povedano s periodičnim klicem *HeartBeat()* funkcije si strežnik zagotovi ekskluzivno komunikacijo s kamero.
- *GetImgWidth()* – Vrne trenutno nastavljeno širino zajema slike v pikah.
- *GetImgHeight()* – Vrne trenutno nastavljeno višino zajema slike v pikah.
- *GetExposureTime()* – Vrne trenutno nastavljen ekspozicijski čas zajema slike v ms.
- *SetExposureTime()* – Nastavi ekspozicijski čas zajema slike na željeno vrednost ms.
- *GetLine1Status()* – Vrne trenutno stanje LED osvetlitve (1 – vklopljeno, 0 – izklopljeno).
- *SetLine1Status()* – Vklopi oz. izklopi LED osvetlitev.
- *Snap()* – Zajame sliko.

3.4 Format zajete slike – YUV422

Poglavje 3.1 *Tehnične značilnosti kamere*, navaja spisek barvnih kodiranj slike, ki jih podpira Basler Scout kamera. Med vsemi podprtimi formati je, zaradi dobre podpore v različnih grafičnih programih (npr. ImageMagick) in zaradi enostavnosti evalvacije osvetljenosti, za prenos slike bil izbran *YUV 4:2:2 Packed* format.

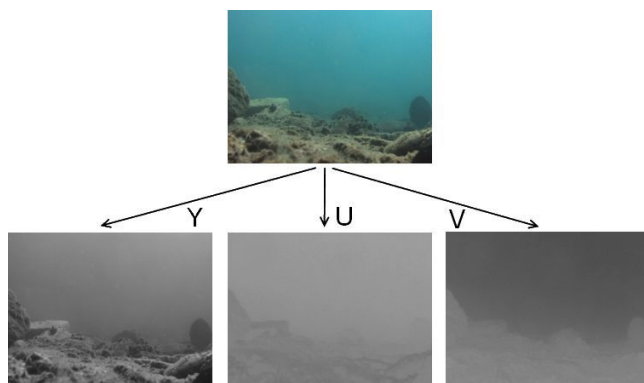
YUV [11, 13] kodiranje oz. barvni prostor je bil iznajden za potrebe prikaza video signala na analogni televiziji. Osnovni problem, ki ga je bilo potrebno rešiti, je bila možnost predvajanja istega TV signala tako na črno-belih kot barvnih TV sprejemnikih. Tako je bilo definirano YUV kodiranje kot skupek enega kanala svetilnosti (Y) in dveh kanalov barvnosti oz. razlike barv (U in V). Y kanal je dejansko črno-bela predstavitev opazovane slike. Y komponenta posamezne slikovne točke je otežen seštevek rdeče (R), zelene (G) in modre (B) komponente iste slikovne točke. Preostali dve komponenti, torej U in V, sta razliki modre (B) komponente in svetilnosti (Y) slikovne točke ter rdeče (R) komponente in svetilnosti slikovne točke. Sledi matematični zapis pretvorbe iz RGB barvnega prostora v YUV barvni prostor:

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 * R + 0,587 * G + 0,114 * B \\ U &= 0,492 * (B - Y) = -0,147 * R - 0,289 * G + 0,436 * B \\ V &= 0,877 * (R - Y) = 0,615 * R - 0,515 * G - 0,100 * B \end{aligned}$$

Analogno z zgornjim sledi pretvorba iz YUV barvnega prostora v RGB barvni prostor:

$$\begin{aligned} R &= Y + 1,140 * V \\ G &= Y - 0,394 * U - 0,581 * V \\ B &= Y + 2,032 * U \end{aligned}$$

Slika 7 prikazuje dekompozicijo barvne slike po Y, U in V kanalih YUV barvnega prostora.



Slika 7: YUV dekompozicija barvne slike.

Človeško oko omogoča omejeno zaznavanje barvnih nians, obenem pa je zelo občutljivo na natančnost osvetljenosti slike. Upoštevajoč navedeno je možno zmanjšati natančnost prestavitve barv in s tem zmanjšati potrebni prostor za hranjenje slike. To lastnost izkorišča kodiranje YUV 4:2:2, ki omogoča stiskanje slike 3:2 ob, za človeško oko, relativno neopazni izgubi informacije. Gre za to, da se po dve zaporedni piki slike predstavi z dvema vrednostima Y komponente in po eno vrednostjo vsake od U in V komponent. To je skupaj 4 bajte pri uporabi 8 bitne natančnosti po komponenti. V RGB barvnem prostoru sta dve zaporedni piki predstavljeni z po dvema bajtoma za vsako barvo. To je skupaj 6 bajtov pri uporabi 8 bitne natančnosti po barvi.

To prikazuje sledeča tabela, kjer je vsaka vrstica dolga 4 bajte in predstavlja dve zaporedni točki slike. V tabeli črka K predstavlja zaporedno število pike v sliki.

Dve zaporedni piki (32 bitov = 4 bajte)			
U (K+1)	Y (K+1)	V (K+1)	Y (K+2)
U (K+3)	Y (K+3)	V (K+3)	Y (K+4)
U (K+5)	Y (K+5)	V (K+5)	Y (K+6)
...

Tabela 2: Predstavitev YUV 4:2:2 kodiranja.

Prvi dve piki slike, ki jo opisuje zgornja tabela bi tako v RGB barvnem prostoru matematično izrazili kot:

- Prva pika (RGB₁):

$$R_1 = Y_{(K+1)} + 1,140 * V_{(K+1)}$$

$$G_1 = Y_{(K+1)} - 0,394 * U_{(K+1)} - 0,581 * V_{(K+1)}$$

$$B_1 = Y_{(K+1)} + 2,032 * U_{(K+1)}$$
- Druga pika (RGB₂):

$$R_2 = Y_{(K+2)} + 1,140 * V_{(K+1)}$$

$$G_2 = Y_{(K+2)} - 0,394 * U_{(K+1)} - 0,581 * V_{(K+1)}$$

$$B_2 = Y_{(K+2)} + 2,032 * U_{(K+1)}$$

3.5 Korekcija ekspozicijskega časa (osvetlitve)

Kodiranje slike v YUV 4:2:2 formatu omogoča enostavno oceno osvetljenosti slike z upoštevanjem le Y komponente. Osvetljenost slike bi najenostavneje ocenili z izračunom povprečja jakosti vseh pik Y komponente. Tako izračunano povprečje bi nam dalo le grobo informacijo o osvetljenosti slike.

Miha Drenik je [4] osvetljenost slike natančneje določil z upoštevanjem nelinearnosti zaznavanja Y komponente. Ugotovil je, da se funkcija jakosti Y komponente ob upoštevanju 8 bitne natančnosti le-te, torej 256 vrednosti prelomi pri vrednosti 192. Vrednosti Y-na nad 192 se ustrezno obteži s sledečo enačbo:

$$Y_{>192} = 192 + (10 * (Y - 192))$$

Ob upoštevanju zgornje ugotovitve je Drenik implementiral korekcijo ekspozicijskega časa kot sledi iz spodnjega odseka C++ programske kode. Ključni deli programske kode so komentirani:

```
// The *p represents the YUV 4:2:2 encoded image
// buffer.
unsigned char *p=(unsigned char *)m_YUVimgBuffer_p;
unsigned int e=0;

// The image buffer contains the image data encoded in
// YUV 4:2:2 format. This means every second byte
// starting with the second one of the stream
// represents the Y channel. This is why the i=1 on
// input and it is increased by 2 on each loop
// interaction.
int numOfY = 0

for (int i=1; i<m_imgLen; i+=2) {
    if (p[i] <= 192) {
        e += p[i];
    } else {
        e += 192 + (10 * (p[i]-192));
    }
    numOfY = i;
}

double f = 128.0 / avgY;
unsigned int t1 = m_cam_sp->GetExposureTime();

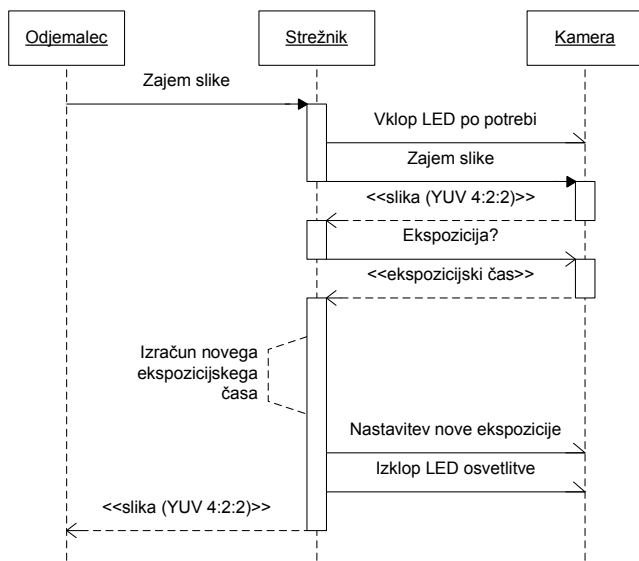
// The magic numbers (128.0/124.0) and (128.0/132.0)
// represent the margins of optimal image
// luminiscence. These numbers were defined by
// multiple trials.
if (
    ((f > (128.0/124.0)) && (t1 < EXPOSURE_MAX))
    || ((f < (128.0/132.0)) && (t1 > EXPOSURE_MIN))
) {
    unsigned int t2 = t1 * f;
    if (t2 < EXPOSURE_MIN) t2=EXPOSURE_MIN;
    if (t2 > EXPOSURE_MAX) t2=EXPOSURE_MAX;
    m_cam_sp->SetExposureTime(t2);
    // ... first sna pand night vision handling ...
}
```

Programska koda 2: Korekcija ekspozicije glede na Y komponento.

Večtedenski testi so potrdili, da zgornja programska koda dokaj optimalno nastavlja ekspozicijski čas pri zajemu slike.

Ko izračunan t_2 doseže vrednost maksimalne dolžine ekspozicije, torej $EXPOSURE_MAX$, se pri zajemu slike začne uporabljati tudi v INOX ohišje vgrajena LED osvetlitev.

3.6 Sekvenčni diagram zajema slike



Slika 8: Sekvenčni diagram zajema slike.

Zgornji sekvenčni diagram prikazuje potek zajema slike in povezanih opravil, kot je upravljanje z LED osvetlitvijo in korekcija ekspozicijskega časa zajema slike. Sledi podroben opis:

- Odjemalec sproži proceduro za zajem slike s klicem *Snap()* vmesnika.
- V primeru, da je lokalno hranjen ekspozicijski čas daljši od maksimalnega možnega ($EXPOSURE_MAX$), strežnik vklopi LED osvetlitev,
- strežnik sproži zajem slike,
- strežnik prebere nastavev ekspozicijskega časa iz kamere in ga shrani lokalno,
- strežnik izračuna morebitno korekcijo ekspozicijskega časa in po potrebi nov ekspozicijski čas nastavi v kameri,
- strežnik po potrebi izklopi LED osvetlitev,
- strežnik vrne zajeto sliko odejamcu.

4. Obdelava slike – barvna korekcija

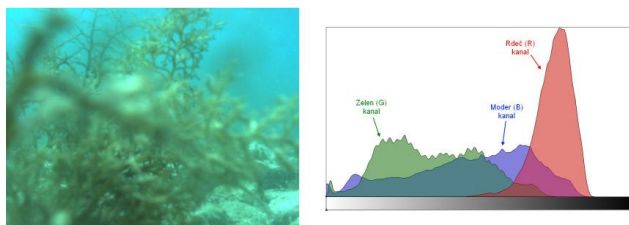
Slika, zajeta iz podvodne kamere je surova (RAW) oz. neobdelana. Zajem neobdelanih slik je značilen za industrijske kamere. To možnost omogoča tudi večina kamer višjega cenovnega razreda. Velja namreč, da neobdelana slika nosi vso informacijo, ki jo je zajel slikovni senzor. Taka slika je primerna za uporabo v industrijskih aplikacijah, za računalniški vid, kakor tudi za druge računalniške obdelave.

Z računalniško obdelavo se lahko izboljša človeško vizualno dojetje slike [15]. V ta namen se najpogosteje izvajajo sledeče obdelave:

- Korekcija osvetlitve in kontrasta slike,
- korekcija barv in določitev ravnovesja beline (ang. *white balancing*),
- dodajanje posebnih učinkov kot npr. t.i. sepia učinek.

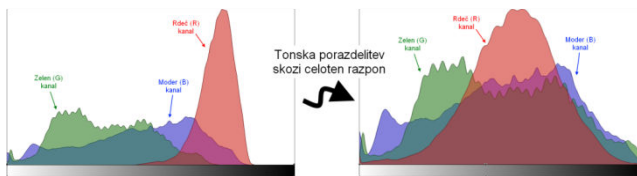
Ob predpostavki, da je za primerno osvetlitev podvodne slike že poskrbljeno (podrobnosti so opisane v poglavju 3.5 *Korekcija ekspozicijskega časa (osvetlitve)*), pride, za potrebe predstavitve slike javnosti, v poštev korekcija barv in z njo določitev ravnovesja beline.

Pri korekciji barv se velikokrat uporablja histogram slike. Gre za histogram, ki grafično prikaže tonsko distribucijo digitalne fotografije. Večina računalniških programov za obdelavo digitalnih fotografij omogoča tako prikaz histograma barvne slike, kakor tudi prikaz histograma posameznega barvnega kanala – torej, v primeru RGB barvnega prostora, histograma rdeče, zelene in modre barve [3, 14]. V nadaljevanju je prikazana neobdelana slika zajeta s podvodno kamero in odgovarjajoči histogrami.



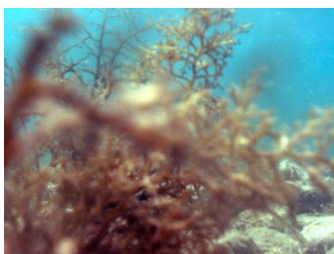
Slika 9: Izvirna / surova slika (levo) in odgovarjajoči RGB histogram (desno).

Za večino slik velja, da je njihova predstavitev na zaslonu oz. natisnjena slika videti najboljše, če tonska porazdelitev slike uporablja celoten razpon med svetlim in temnim ekstremom (skrajno levi in skrajno desni rob zgoraj prikazanega histograma). Posledično lahko vizualno predstavitev slike izboljšamo s porazdelitvijo tonov posamezne barve skozi celoten razpon, kot to prikazuje sledeča slika.



Slika 10: Histograma izvirne slike (levo) in tonsko porazdeljene slike (desno).

S porazdelitvijo barvnih tonov dobimo sledečo tonsko korigirano sliko:



Slika 11: Tonsko usklajena slika.

Tonsko korigirana slika je prijetnejša na pogled. Pri tem je potrebno opozoriti, da gre za subjektivno mnenje avtorja tega prispevka. Tako bi drugemu opazovalcu lahko bolj ugajala drugače tonsko usklajena slika.

S podobnim problemom se je ukvarjal tudi Miha Drenik v [4]. Za korekcijo barv je Drenik uporabil programski paket *ImageMagick*, ki pa v njegovem delu ni premogel funkcije avtomatske tonske porazdelitve barv vhodne slike. Za doseg le-te je moral uporabiti več zaporednih operacij, kar se je izkazalo kot preveč časovno potratno. Tako je korekcijo barv implementiral z množenjem posameznega barvnega RGB kanala s fiksnim faktorjem, ki jih je prej določil z analizo več tisoč slik. Faktorji so:

$$R_{kanal} = 1,9$$

$$G_{kanal} = 0,8$$

$$B_{kanal} = 0,8$$

Po barvni korekciji izvorne slike z uporabo navedenih fiksnih korekcijskih faktorjev dobimo spodnjo sliko. Drenik meni, da barve tako dobljene slike predstavljajo zadovoljiv približek dejanskih barv snemanega kadra:



Slika 12: Barvno korigirana slika z uporabo fiksnih R, G in B korekcijskih faktorjev.

Površna ocena časovne potratnosti Drenikove implementacije korekcije barv kaže vsaj enkratno pohitritev procesiranja. Pri omenjenem algoritmu gre namreč za trikratno množenje matrike s konstantami, medtem ko pri avtomatski tonski uskladitvi slike je potrebno za vsak barvni kanal najprej izračunati histogram, nato pa matriko kanala pomnožiti z nelinearno funkcijo, dobljeno iz histograma.

Merite hitrosti obdelave ene slike z zadnje dostopnim programskim paketom *ImageMagick v6.7.2-5*, (ta implementira tudi avtomatsko tonsko uskladitev barv) na računalniku s procesorjem *Intel Xeon E5345 2.33 GHz*, je dala sledeče rezultate:

- Avtomatska tonska uskladitev: $0,147s$
- Korekcija barv z fiksnimi faktorji: $0,061s$

Izbrani fiksni korekcijski faktorji, kjer je R bistveno večji kot G in B, so tudi v skladu z dejstvom, da se rdeči svetlobni spekter hitreje absorbira v vodi kot svetloba s krajšo valovno dolžino [5, 6].

5. Sklep

Postavitev podvodne kamere v območju naravnega spomenika Rta Madona, pri piranski panti je bila del ISMO Interreg IIIA SLO-IT projekta, ki ga je vodila Morska biološka postaja piran (MBP – <http://www.mbss.org/>), enota Nacionalnega inštituta za biologijo.

Postavitev kamere je, kljub vsem napredkom, katerih je bil deležen segment računalniškega vida in z njo povezan segment industrijskih digitalnih kamer, predstavljala nemajhen zalogaj časa in iznajdljivosti vpletenih. O tem je več piše v poglavju 1 Uvod.

Trenutno kamera neprestano dela. Slika le-te je dostopna na <http://buoy.mbss.org/>. Vseeno je možnih še veliko izboljšav kot npr.:

- Trenutna programska oprema prilagaja ekspozicijski čas le po zajemu slike. To povzroči, da prva zajeta slika, po bistveni spremembi svetilnosti, ni zajeta pri optimalni ekspoziciji. Potrebno bi bilo implementirati neprestano korekcijo ekspozicije.
- Video nadzorni strežnik trenutno korigira le ekspozicijski čas zajema slike. Kamera omogoča spreminjanje še nekaterih drugih parametrov, kot so ang. *gain* in ang. *black level*. Dobro bi bilo preveriti kako spreminjanje teh parametrov vpliva na kvaliteto zajete slike in po potrebi implementirati ustrezen algoritem za dinamično prilagajanje omenjenih parametrov.
- Trenutna implementacija programske opreme osvežuje sliko na internetu vsakih 5 sekund. Glede na to, da kamera omogoča bistveno hitrejši zajem slike bi bilo dobro razmisliti o implementaciji pretočnega videa iz podvodne kamere.
- Kljub osvetlitvi je nočna slika pretemna in torej neuporabna. Potrebno bi bilo preučiti možne izboljšave.

6. Reference

- [1] AIA. GigE Vision Standard [online] – opis standarda; dostopno na naslovu: <http://www.machinevisiononline.org/> (1. sep 2011).
- [2] Basler AG. User's Manual for GigE Vision Cameras, document number: AW000119. Basler AG, 2011.
- [3] Cambridge in Colour. Digital Photography Tutorials [online priročnik] – razni prispevki; dostopno na naslovu <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials.htm> (1. sep 2011).

- [4] M.Drenik. Programska koda za nastavljanje ekspozicije podvodne kamere ter korekcijo barv zajete digitalne slike. September 2009.
- [5] F.Frey in P.Tzimoulis. Camera Below: The Complete Guide to the Art and Science of Underwater Photography. Association Press, New York, 1968.
- [6] S.Gietler. Underwater Photography Guide [online knjiga]; dostopno na naslovu: <http://www.uwphotographyguide.com/> (1. sep 2011).
- [7] M.Henning in S.Vinoski. Advanced CORBA Programming with C++. Addison-Wesley Professional, 1999.
- [8] S.Israel. How to Choose a Lens [online članek] – dostopno na naslovu: <http://www.1stvision.com/elearning/How-to-choose-a-lens.pdf> (1. sep 2011).
- [9] R.Kladnik. Visokošolska fizika. Del 3: Valovni pojavi, akustika in optika. Državna založba Slovenije, Ljubljana, 1989.
- [10] H.M.Merklinge. Ins & Outs of Focus [online knjiga]; dostopno na naslovu: <http://www.trenholm.org/hmmer/> (1. sep 2011).
- [11] K.Nassau. Color for Science, Art and Technology. Elsevier, cop., Amsterdam, 1998.
- [12] NIB, MBP – razni avtorji. ISMO Interreg IIIA SLO-IT projekt – tehnična dokumentacija [online zbirka tehnične dokumentacije] – dostopno na naslovu ftp://ftp.mbss.org/pub/ISMO/teh_dokumentacija/ (1. sep 2011).
- [13] C.Poynton. YUV and Luminance Considered Harmful [online članek] – dostopno na naslovu: http://www.poynton.com/PDFs/YUV_and_luminance_harmful.pdf (1. sep 2011).
- [14] Razni avtorji. e-Fotografija [online revija] – razni članki; dostopno na naslovu <http://www.e-fotografija.si/> (1. sep 2011).
- [15] P.Rogelj. Računalniški vid – prosojnice s predavanj. 2010.
- [16] Wikipedia. Depth of field [online]; dostopno na naslovu: http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field (1. sep 2011).
- [17] Wikipedia. Aperture [online]; dostopno na naslovu: <http://en.wikipedia.org/wiki/Aperture> (1. sep 2011).