

Ana Gavrovska

UVOD U SAVREMENE VIDEO TEHNOLOGIJE I SISTEME

Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet
Akademska misao
Beograd 2021.

Ana Gavrovska

UVOD U SAVREMENE VIDEO TEHNOLOGIJE I SISTEME

Recenzenti

Dr Marko Barjaktarović

Dr Zoran Čiča

Izdavači

Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Akadska misao, Beograd

Odlukom Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta broj 1389/4 od 15.11.2021. godine ova knjiga je odobrena kao udžbenik na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

Štampa

Akadska misao, Beograd

Tiraž

200 primeraka

ISBN 978-86-7466-908-2

Mesto i godina izdanja: Beograd, 2021.

Predgovor

Komunikacija putem video signala je od izuzetnog interesa u savremenom dobu. Video služi za prenos vizuelne informacije i njegova upotreba kao dopadljivog medijskog sadržaja je veoma značajna za krajnje konzumente istog, ali i za inženjere elektrotehnike i računarstva. Produkcija video materijala se poslednjih godina višestruko povećala, čemu su doprinele, između ostalog, i internet tehnologije i težnja za osvajanjem novih tržišta. Smatra se da će uskoro udeo video prenosa prevazići osamdeset procenata ukupnog telekomunikacionog saobraćaja, pa zato video tehnologije zauzimaju posebno mesto u oblasti telekomunikacija i multimedije.

Knjiga *Uvod u savremene video tehnologije i sisteme* je udžbenik koji je namenjen studentima koji slušaju predmete Video tehnologije i sistemi i Video sistemi, ali i druge srodne predmete za koje je potrebno osnovno znanje iz ovih oblasti na osnovnim akademskim studijama na Elektrotehničkom fakultetu

Univerziteta u Beogradu, bez obzira na usmerenje. Ova knjiga može poslužiti i studentima drugih fakulteta, kao i inženjerima koji su zainteresovani za rad sa savremenim video tehnologijama. S obzirom na sve veću popularnost video sadržaja, materijal u ovom udžbeniku je izložen tako da obuhvati neke od osnovnih, ali i savremenih termina koji se koriste u video sistemima, digitalnoj televiziji, razvoju softverskih i hardverskih rešenja, servisa i aplikacija, kao i u video inženjerstvu uopšte. Knjiga može biti zanimljiva i čitaocima koji nemaju dovoljno tehničkog znanja, a žele da se upoznaju sa važnim aspektima videa. Kako čitalac može biti neiskusni u ovoj oblasti, jednostavan način prezentovanja sadržaja je bio jedan od primarnih zadataka autora.

Imajući u vidu primarni cilj ovog udžbenika, a to je da se čitalac osposobi za osnovno razumevanje video tehnologija i sistema, odabrana su poglavlja koja doprinose sagledavanju videa, njegove primene i značaja video komunikacije. Naime, u ovoj knjizi su odabrana poglavlja koja ne uzimaju u obzir specifičnost konkretnog video sistema zbog postojeće raznovrsnosti, ali sa druge strane pružaju opšta znanja i osvrt na neke konkretne primere. Na primer, televizijski standardi su važni za poznavanje video osnova, pa je zbog toga posebna pažnja posvećena nekim od njih.

Video signal se smatra zahtevnim signalom za obradu, prenos, skladištenje i analitiku. Kvalitet ovog signala u velikoj meri određuje i razvoj video sistema, ali i razvoj sistema zasnovanih na informaciono-komunikacionim tehnologijama generalno. Video sistemi za svoj osnovni cilj imaju prenos signala od momenta snimanja kamerom do reprodukcije video sadržaja na ekranu. Sam signal se može smatrati kompleksnim. Video zahteva više resursa za obradu, prenos i skladištenje u odnosu na tzv. skalarne podatke. Svedoci smo da i video sadržaj vremenom postaje sve kompleksniji zahvaljujući savremenim video tehnologijama. Građivo razmatrano u knjizi je

predstavljeno kroz odabrane delove oblasti koja svakodnevno postaje bogatija za nove tehnologije i standarde.

Knjiga sadrži deset poglavlja, koje omogućavaju efikasno upoznavanje sa nekim od značajnih tema iz oblasti videa. Uložen je trud kako bi knjiga bila korisna za čitaoce sa različitim nivoom predznanja sa jednostavnim pratećim ilustracijama koje bi omogućile razumljivost materije.

Prvo poglavlje je posvećeno osnovnom razumevanju video i televizijskih sistema, slike i video signala, kao i koncepta sinhronizacije. Biće ukratko pomenuti različiti načini video prenosa.

Drugo poglavlje razmatra vizuelni sistem čoveka i osnovne aspekte percepcije koji se smatraju relevantnim za razvoj video tehnologija. Opisani su neki od osnovnih pojmova u ovoj oblasti, poput onih koji se odnose na rezoluciju slike i videa. Dobro je poznata direktna veza između načina vizuelne percepcije i upotrebe video kamere, pa je dat kratak osvrt na najčešće korišćene tehnologije senzora slike u praksi.

Treće poglavlje obuhvata pojmove relevantne za razumevanje videa u boji, odnosno kolor videa. Karakteristika standardnog posmatrača, kolor prostor i kolor gamut, odnosno gama, samo su neki od termina koji se koriste. Objašnjene su osnove za razumevanje lumentnog i hrominentnog signala, dijagrama hromatičnosti i komponentnog i kompozitnog videa. Kako bi se čitalac zainteresovao i za neka savremena tumačenja boje, pomenuti su i pojedini konkretni pristupi u radu sa kolor videom.

U četvrtom poglavlju razmatran je tzv. video tok (*workflow*) u komunikacionim i računarskim mrežama. Osnovi produkcije i postprodukcije se koriste u profesionalnim televizijskim centrima i filmskoj industriji, ali i kod manje profesionalnih pristupa. Predstavljeni su uređaji za ocenu kvaliteta videa i neki od standardnih video interfejsa, dok je posebno istaknut serijski prenos

podataka. Dat je i kratak osvrt na video servere, skalabilnost video sistema i na neke od formata za razmenu podataka poput MXF (*Material Exchange Format*) formata. Na kraju video toka obavlja se reprodukcija audiovizuelnog sadržaja.

Peto poglavlje knjige je posvećeno osnovnim principima video kodovanja i kompresije, pojmu video frejma, MPEG (*Motion Picture Experts Group*) strimu i formatu odmeravanja koji je jedan od važnih video (meta)podataka. Nakon toga, razmatrane su osnove programskog - PS (*Program Stream*), prenosnog ili transportnog strima - TS (*Transport Stream*), enkapsulacije generičkog strima - GSE (*Generic Stream Encapsulation*) i DVB (*Digital Video Broadcasting*) paketa.

U šestom poglavlju samo su pomenuti neki od važnijih standarda za video kodovanje (MPEGx, H.26x, VPx), za potrebe osnovnog razumevanja rada sa video sadržajem. Naveden je i primer jednog od popularnih i relativno novih standarda - AV1, kako bi se omogućilo upoznavanje i sa aktuelnim tehnologijama video prenosa putem interneta.

Sedmo poglavlje daje pregled nekih od važnijih primena video tehnologija kroz tradicionalne i savremene video sisteme. Objasnjeni su neki od televizijskih sistema, sistema zasnovanih na prenosu pomoću internet protokola (IP - *Internet Protocol*) i radu (računarstvu) u oblaku (*cloud*), sistema za video konferenciju i sistema za video nadzor. Svedoci smo novih predstava realnosti u video produkciji, uvođenja savremenih standarda za video prenos, zatim, razvoja industrijskih video sistema, popularizacije novih tehnologija za OTT (*over-the-top*) sisteme, kinematografiju, industriju video igara, što sve ukazuje na značaj video tehnologija.

U osmom poglavlju opisane su neke od tradicionalnih i savremenih displej tehnologija za potrebe prikazivanja video sadržaja, što jednako utiče i na razvoj prijemnih uređaja i kvalitet doživljaja kod gledaoca.

Deveto poglavlje objašnjava razliku između subjektivne i objektivne ocene video kvaliteta, gde se tradicionalne i savremene metrike za objektivnu evaluaciju kvaliteta mogu jednostavno koristiti zahvaljujući postojećim softverskim implementacijama. Objašnjeni su neki od primera metrika za evaluaciju video kvaliteta, nastanka distorzija i načina kontrole bitskog protoka pri video prenosu.

Na kraju, u desetom poglavlju, dat je kratak uvod u jednu od popularnih krosplatformskih biblioteka - FFmpeg (*Fast Forward MPEG*). Ova krosplatformska biblioteka se može koristiti za različite namene, među kojima je i implementacija nekih od tradicionalnih i savremenih video standarda, u kombinaciji sa različitim programskim okruženjima. Ona daje i mogućnost testiranja video kodovanja, kontrole video saobraćaja, analize video podataka, procene video kvaliteta, pa je zbog svega navedenog odabrana kao primer alata koji se može koristiti za video testiranja i eksperimentalnu upotrebu radi unapređivanja znanja iz ove oblasti.

Posebnu zahvalnost dugujem recenzentima ovog udžbenika na korisnim sugestijama i podršci pri izradi ovog udžbenika, prof.dr Marku Barjaktaroviću i prof.dr Zoranu Čiči. Ovom prilikom se zahvaljujem svojim profesorima, pre svega prof.dr Irini Reljin, svojim saradnicima, posebno kolegi Milanu Milivojeviću, i svojim studentima sa kojima je bilo neizmerno zadovoljstvo raditi dugi niz godina i koji su mi ukazali na potrebu za jednim ovakvim udžbenikom.

Autor

Beograd, septembar 2021. godine

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. VIDEO SISTEM I KONCEPT PRENOSA VIZUELNOG SADRŽAJA.....	2
1.2. SLIKA I VIDEO SADRŽAJ.....	5
1.3. VIDEO I TELEVIZIJSKI SIGNAL.....	11
1.4. PRENOS VIDEO I TELEVIZIJSKOG SIGNALA	18
2. VIZUELNA PERCEPCIJA I KAMERA	23
2.1. VIZUELNI SISTEM ČOVEKA I OSNOVE VIZUELNE PERCEPCIJE.....	24
2.2. REZOLUCIJA SLIKE I VIDEA.....	29
2.3. VIDEO KAMERA.....	34
3. VIDEO U BOJI I LUMINENTNI I HROMINENTNI SIGNAL	41
3.1. RGB KOLOR PROSTOR I LUMINANSA	42
3.2. KARAKTERISTIKE STANDARDNOG POSMATRAČA I XYZ PROSTOR.....	44
3.3. DIJAGRAM HROMATIČNOSTI.....	49

3.4.	ODVAJANJE LUMINENTNE I HROMINENTNE KOMPONENTE I KOLOR PROSTORI	54
3.5.	KOMPONENTNI I KOMPOZITNI VIDEO	59
3.6.	PRIMERI RAZMATRANJA BOJE I KOLOR TEHNOLOGIJA ZA VIDEO I TELEVIZIJSKE SISTEME	64
3.6.1	POVEĆANJE DIMENZIONALNOSTI KOLORA	64
3.6.2	REPRODUKCIJA BOJE I PROŠIRENJE KOLOR GAMUTA.....	66
3.6.3	KOLOR GAMUT I REC. 2020.....	70
4.	VIDEO TOK U KOMUNIKACIONIM I RAČUNARSKIM MREŽAMA	73
4.1.	OSNOVI PRODUKCIJE I POSTPRODUKCIJE	74
4.2.	UREĐAJI ZA OCENU VIDEO KVALITETA.....	81
4.3.	NELINEARNO EDITOVANJE VIDEO SADRŽAJA - MONTAŽA.....	84
4.4.	VIDEO INTERFEJSI	88
4.5.	VIDEO SERVERI, SKLADIŠTENJE (<i>STORAGE</i>) I ARHIVIRANJE.....	93
4.6.	MXF I IMF FORMAT	96
4.7.	PRIJEM I REPRODUKCIJA AUDIOVIZUELNOG SADRŽAJA.....	98
5.	PRINCIPI KOMPRESIJE, MPEG STRIM I VIDEO PRENOS.....	100
5.1.	VIDEO FREJM I VIDEO METAPODACI	101
5.2.	OSNOVE KOMPRESIJE I INTERFREJM I INTRAFREJM KODOVANJE	104
5.3.	MPEG STRIM I FORMAT ODMERAVANJA	107
5.4.	PROGRAMSKI I TRANSPORTNI STRIM	113
5.5.	GSE I DVB PAKET	122
6.	SAVREMENO VIDEO KODOVANJE.....	126
6.1.	H26x, MPEGx I VPx	127
6.2.	AVC/H264	129
6.3.	HEVC/H265.....	131
6.4.	VP9	134
6.5.	AV1	135
7.	VIDEO SISTEMI I PRENOS VIDEO SADRŽAJA.....	144

7.1.	TELEVIZIJSKI SISTEMI I PRENOS DVB-X SIGNALA	145
7.2.	IP VIDEO PRENOS I <i>CLOUD</i> (OBLAK) TEHNOLOGIJE	154
7.3.	<i>SUPER HIGH VISION</i> (SHV)	159
7.4.	ATSC 3.0.....	161
7.5.	VIDEO KONFERENCIJSKI SISTEMI.....	165
7.6.	SISTEMI ZA VIDEO NADZOR (CCTV) I INDUSTRIJSKI VIDEO SISTEMI..	168
7.7.	PRIMERI SISTEMA ZASNOVANIH NA SAVREMENIM VIDEO I MULTIMEDIJALNIM TEHNOLOGIJAMA	174
8.	DISPLEJ TEHNOLOGIJE.....	177
8.1.	CRT, LCD I PLAZMA TEHNOLOGIJA.....	178
8.2.	LCD I LED DISPLEJ TEHNOLOGIJE	181
8.3.	OLED DISPLEJ TEHNOLOGIJA.....	187
8.4.	ALTERNATIVNE DISPLEJ TEHNOLOGIJE - SED, FED, LASERSKA PROJEKCIJA	190
8.5.	QLED DISPLEJ TEHNOLOGIJA.....	192
8.6.	LANAC NAMENJEN VISOKOM DINAMIČKOM OPSEGU (HDR).....	194
9.	OCENA VIDEO KVALITETA	198
9.1.	SUBJEKTIVNA I OBJEKTIVNA OCENA KVALITETA VIDEA	199
9.1.1	SUBJEKTIVNA EVALUACIJA VIDEO KVALITETA	200
9.1.2	OBJEKTIVNA EVALUACIJA VIDEO KVALITETA.....	202
9.2.	PRIMERI METRIKA ZA EVALUACIJU KVALITETA - PSNR, SSIM, VMAF 203	
9.3.	DISTORZIJE I VIDEO SAOBRAĆAJ.....	207
10.	FFMPEG KROSPLATFORMSKA BIBLIOTEKA.....	210
	LITERATURA	220
	REČNIK POJMOVA/SKRAĆENICA	226