

Tipovi termovizijskih uređaja

14.1 Tipovi termovizijskih uređaja

Svi termovizijski uređaji mogu se podeliti na:

- mozaične sisteme,
- skenirajuće sisteme.

Skenirajući sistemi mogu se podeliti na:

- sisteme sa serijskim skeniranjem,
- sisteme sa paralelnim skeniranjem.

14.1.1 Mozaični sistemi

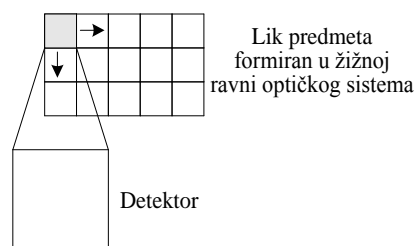
Mozaični sistemi se sastoje od matričnog detektora koji se nalazi u žižnoj ravni optičkog sistema. Engleski naziv za mozaične sisteme koji se često koristi je FPA – focal plane array, što bi se moglo prevesti kao fokalna matrica. Kod ovakvih sistema nije potrebno skeniranje, jer je matrični detektor dovoljno veliki da obezbedi da se odjednom posmatra celokupno vidno polje termovizijskog uređaja. Ako je neophodno da izlaz iz termovizijskog uređaja bude standardni TV signal, onda matrični detektor mora imati 640·480 elementarnih detektora, odnosno, ukupno 307200 elementarnih detektora. Standardne dimenzije elementarnog detektora su 50·50 μm, pa su dimenzije matričnog detektora koji se postavlja u žižnu ravan optičkog sistema 32·24 mm. Ovako velike dimenzije matričnog detektora zahtevaju veliki i komplikovani optički sistem. Veliki optički sistem podrazumeva i znatno komplikovaniji rashladni sistem, jer ceo optički sistem mora da se nalazi na temperaturi detektora. U zavisnosti od tipa detektora te temperature mogu biti 4 K (-269 °C), 77 K (-196 °C) ili 195 K (-78 °C).

Drugi veliki problem pored komplikovanosti optičkog i rashladnog sistema je vreme integracije detektora. Ako se želi maksimalna osetljivost matričnog detektora tada je neophodno da vreme integracije detektora bude 33 ms. To se teško može postići zbog trenutnih tehnoloških ograničenja.

Na osnovu iznetih činjenica može se zaključiti da mozaični sistemi sa matričnim detektorom u žižnoj ravni optičkog sistema predstavljaju najperspektivniji tip za termovizijske uređaje budućnosti. U današnjim uslovima njihova složenost, visoka cena izrade, brojni, još uvek nerešeni problemi, ograničavaju njihovu masovnu primenu.

14.1.2 Serijski sistemi

Čisti serijski sistemi se sastoje od linearnog niza od obično jednog do šesnaest detektora. Skeniranje se vrši sekvencijalno u dvodimenzionalnom pravougaonom prostoru koji se nalazi u žižnoj ravni optičkog sistema. Skeniranje počinje sa gornjim levim uglom pravougaonog prostora i pomera se duž x i y koordinata do donjeg desnog ugla pravougaonog prostora. Po načinu skeniranja ono je isto kao što elektronski top skenira CRT ekran kod standardnih televizora. Najlakše se može shvatiti serijski sistem ako se posmatra sistem sa samo jednim detektorom, kao što je prikazano na slici 14.1.

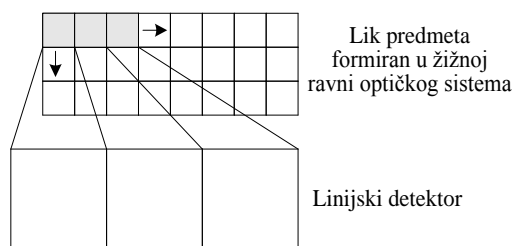


Slika 14.1. Princip rada serijskog sistema sa jediničnim detektorom

Da bi se sa samo jednim detektorom mogao skenirati i prikazati ceo lik predmeta, koji je formiran u žižnoj ravni optičkog sistema, potrebno je da se lik predmeta podeli na veliki broj segmenata po horizontalnoj i vertikalnoj osi. Veličina segmenta treba da bude takva da u potpunosti staje u vidno polje detektora. Ceo lik predmeta biće skeniran tako što će se detektor pomerati od jednog do drugog segmenta duž horizontalne i vertikalne ose. Skeniranje počinje sa gornjim levim segmentom i završava se sa donjim desnim segmentom lika predmeta.

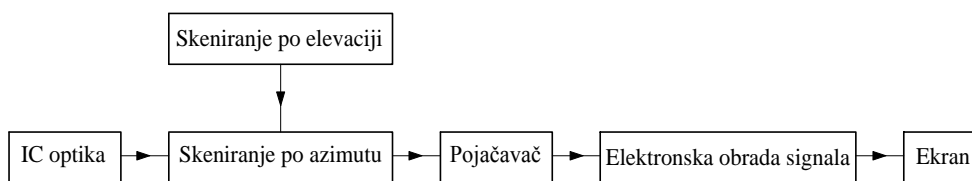
Jedan od najvećih problema kod jediničnih detektora je mala osetljivost, a samim tim i mali domet detektora. Mala osetljivost detektora se, između ostalog, manifestuje kroz nisku vrednost odnosa signal/šum. Da bi se povećao odnos signal/šum, a samim tim i osetljivost i domet detektora, jedinični detektor se zamenjuje sa linijskim detektorom, koji se sastoji od nekoliko redno povezanih elementarnih detektora (jediničnih detektora). Ovakav linijski detektor može se predstaviti kao jedan super detektor sa poboljšanim odnosom signal/šum. Poboljšanje u odnosu signal/šum proporcionalno je kvadratnom korenu iz broja elementarnih detektora vezanih na red. Objašnjenje ovog efekta nalazi se u činjenici da se signali sa svakog elementarnog detektora linearno sabiraju, a šum, koji je statistički nezavisan od elementarnih detektora, sabira kao srednje kvadratno odstupanje šumova elementarnih detektora.

Serijski sistem sa linijskim detektorom prikazan je na slici 14.2



Slika 14.2. Princip rada serijskog sistema sa linijskim detektorom

Da bi se sa linijskim detektorom, koji je na slici prikazan kao niz od tri detektora redno povezana, mogao skenirati i prikazati ceo lik predmeta potrebno je da se lik predmeta podeli na segmente po vertikalnoj i horizontalnoj osi. Podela lika predmeta na segmente vrši se na isti način kao i kod serijskog sistema sa jediničnim detektorom. Kao što se sa slike 24.4 vidi, prvi elementarni detektor posmatra prvi segment lika predmeta, drugi elementarni detektor posmatra drugi segment lika predmeta i tako redom. U narednom trenutku, kada se ceo linijski detektor pomeri za veličinu jednog segmenta lika predmeta, prvi elementarni detektor gleda u drugi segment lika predmeta, koji je do tada gledao drugi elementarni detektor. Kako je neophodno da svi elementarni detektori gledaju u isti segment lika predmeta zbog sabiranja signala, primenjuje se tehnika vremenskog kašnjenja i integracije (TDI – time delay and integrate). Princip rada TDI tehnike je sledeći. Prvi elementarni detektor gleda segment lika predmeta bez vremenskog kašnjenja. Drugi elementarni detektor gleda segment lika predmeta sa kašnjenjem od jedne vremenske jedinice, treći elementarni detektor gleda segment lika predmeta sa kašnjenjem od dve vremenske jedinice. Vremenska jedinica se definiše kao količnik veličine segmenta i brzine skeniranja, tj. brzine pomeranja linijskog detektora. Na ovaj način obezbeđeno je da, u datom trenutku, signali sa svih elementarnih detektora predstavljaju isti segment lika predmeta. Blok šema serijskog sistema prikazana je na slici 14.3.



Slika 14.3. Blok šema serijskog sistema

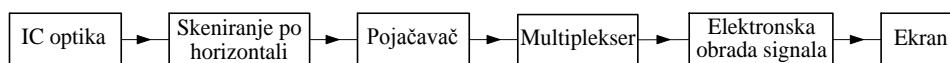
Sa slike 13.5 vidi se da su potrebna dva sistema za skeniranje koji se okreću oko ortogonalnih osa. Uobičajena konstrukcija je da se horizontalno ogledalo koje omogućava skeniranje po azimutu veoma brzo okreće, dok se vertikalno ogledalo koje omogućava skeniranje po elevaciji znatno sporije okreće. Mehanička konstrukcija serijskog sistema je veoma komplikovana, jer je potrebno obezbediti tačnu sinhronizaciju ogledala koja omogućavaju skeniranje po azimutu i elevaciji.

14.1.3 Paralelni sistemi

Čisti paralelni sistemi sastoje se iz linearnog niza detektora koji je postavljen normalno na pravac skeniranja. Linearni niz detektora je dovoljne veličine da u potpunosti pokrije vidno polje termovizijskog uređaja. Kod paralelnih sistema, potrebno je skeniranje samo po jednom pravcu koji je najčešće horizontalni, a može biti i vertikalni. Kod skeniranja po horizontali, potreban je vertikalni linijski detektor sa 640 elementarnih detektora, koji treba da skenira 480 piksela (elementa slike) da bi se formirala standardna matrica piksela. Kod skeniranja po vertikali, potreban je horizontalni linijski detektor sa 480 elementarnih detektora, koji treba da skenira 640 piksela. Standardna frekvencija skeniranja slike je 30 Hz.

Postoji mogućnost da se broj elementarnih detektora u linijskom detektoru smanji na polovinu (sa 640 na 320), tako što se svaki drugi elementarni detektor u linijskom detektoru izostavi. Da bi se dobila standardna matrica piksela (640·480), neophodno je povećanje frekvencije skeniranja slike sa 30 Hz na 60 Hz. Tada se dobija prikaz slike sa preplitanjem.

Blok šema paralelnog sistema skeniranja po horizontali data je na slici 14.4.



Slika 14.4. Blok šema paralelnog sistema sa skeniranjem po horizontali

U ovom poglavlju opisani su čisti linijski detektori, međutim, postoji mogućnost formiranja matričnog detektora tako što se dva ili više linijskih detektora spaja na red. Na ovaj način formira se jedan super linijski detektor koji radi u TDI režimu. Ovakav linijski detektor ima povećan odnos signal/šum, dobru uniformnost slike i veliki domet za prepoznavanje cilja.

14.2 Generacije termovizijskih uređaja

Termovizijski uređaji predstavljaju veoma složene i skupe uređaje. Trenutna prosečna cena vojnog termovizijskog uređaja je od 80 000 USD do 200 000 USD. Zbog tako visoke cene termovizijskih uređaja usvojen je koncept zajedničkih modula u konstrukciji i proizvodnji vojnih termovizijskih uređaja. Koncept zajedničkih modula zasniva se na korišćenju odabranih podsklopova u različitim tipovima termovizijskih uređaja. Na taj način omogućen je povećani obim proizvodnje i, samim tim, smanjenje cene pojedinačnih sklopova. Svi odabrani podsklopovi treba da su dovoljno fleksibilni da bi omogućili projektovanje termovizijskih uređaja različitog stepena složenosti.

U dosadašnjem razvoju termovizijskih uređaja mogu se razlikovati sledeće generacije uređaja:

- “0” generacija,
- I generacija,
- II generacija,
- III generacija.

Termovizijski uređaji “0” generacije koriste jednoelementne detektore i serijsko skeniranje. Sistem za skeniranje je složen optomehanički sistem koji vrši skeniranje po azimutu i elevaciji.

Slika koju generiše termovizijski uređaj je sa relativno malom prostornom rezolucijom. Frekvencija prikazivanja slike je manja od 10 Hz. Ovakvi termovizijski uređaji se uglavnom koriste kao merni uređaji za bezkontaktno merenje temperature. Termovizijski uređaji “0” generacije se uglavnom ne koriste u vojnim sistemima.

Termovizijski uređaji I generacije koriste linijske detektore i serijsko skeniranje u režimu TDI, ili paralelno skeniranje. Primena linijskih detektora omogućila je povećanje prostorne rezolucije i osetljivosti termovizijskih uređaja. Sa I generacijom termovizijskih uređaja moguće je formiranje TV kompatibilne slike u realnom vremenu. Zbog visoke cene ključnih komponenti termovizijskih uređaja I generacije, razvijen je koncept zajedničkih modula. U dosadašnjem razvoju termovizijskih uređaja definisana su tri različita koncepta zajedničkih modula:

- Britanski koncept,
- Francuski koncept,
- Američki koncept.

Britanski koncept zajedničkih modula baziran je na SPRITE detektorima (SPRITE – Signal PRocessing In The Element, obrada signala u elementu). Jedan elementarni detektor u okviru SPRITE detektora zamenjuje kompletan red elementarnih detektora kod serijskog skeniranja u režimu TDI. Kod klasičnih serijskih detektora koji rade u režimu TDI, kompletna obrada signala se vršila u posebnoj elektronici. Kod SPRITE detektora, sva neophodna obrada signala se vrši na samom elementarnom detektoru. Korišćenje SPRITE detektora omogućilo je razvoj visokoosetljivih kamera sa TV kompatibilnom slikom.

Francuski koncept zajedničkih modula koristi matricu 5·11 elementarnih detektora za serijsko skeniranje u režimu TDI. Termovizijski uređaji, napravljeni na osnovu francuskog koncepta zajedničkih modula, generišu TV kompatibilnu sliku u realnom vremenu i prikazuju je na minijaturnom monitoru.

Američki koncept zajedničkih modula zasniva se na primeni linijskih detektora od 60, 120 ili 180 elementarnih detektora i paralelnom skeniranju. Slika sa termovizijskog uređaja se obično prikazuje na LED ekranu. Ako je potrebno da se dobije TV kompatibilna slika, tada se može koristiti CCD kamera da izvrši transformaciju slike sa LED ekrana u TV kompatibilan format.

Najveći broj vojnih termovizijskih sistema koji se nalaze u operativnoj upotrebi, urađen je sa termovizijskim uređajima I generacije. Termovizijski uređaji I generacije nalaze se u fazi serijske proizvodnje.

Termovizijski uređaji II generacije koriste matrične detektore sa od 400·4 do 480·4 elementarnih detektora i paralelno skeniranje u režimu TDI. Oni omogućavaju postizanje istih performansi kao i termovizijski uređaji I generacije, ali uz tri puta manje ukupne gabarite, znatno povećanu pouzdanost uređaja i bolji kvalitet slike. Termovizijski uređaji II generacije nalaze se na prelasku iz razvojne faze u fazu serijske proizvodnje.

Termovizijski uređaji III generacije koriste fokalne matrice, odnosno matrični detektor koji se nalazi u žižnoj ravni optičkog sistema. Termovizijski uređaji III generacije još uvek se nalaze u fazi razvoja koji se odvija u dva osnovna pravca:

- primena fokalnih matrica koje rade na sobnoj temperaturi, namenjenih za termovizijske uređaje za masovnu upotrebu,

- primena hlađenih fokalnih matrica, namenjenih za visokokvalitetne termovizijske uređaje specijalne namene.