



Termokameras

19. marts, 2024



1. Ievads
 - 1.1. Termokameru loma videonovērošanas tirgū
 - 1.2. Saturs, kas tiks apskatīts
2. Izpratne par termisko attēlu sensoriem
 - 2.1. Infrasarkanais spektrs un infrasarkanie sensori
 - 2.2. Attēlu apstrāde, izmantojot termālās attēlveidošanas sensoru
 - 2.2.1. Termālās attēlveidošanas sensors
 - 2.2.2. Termokamera, kas izmanto termālās attēlveidošanas sensoru
 - 2.3. Specifikāciju terminoloģija termālās attēlveidošanas sensoru izpratnei
3. Termokameru raksturlielumi un veidi
 - 3.1. Termālās attēlveidošanas kameru klasifikācija
 - 3.1.1. Temperatūras noteikšanas un attēlošanas modeļi
 - 3.1.2. Viena sensora un divu sensoru modeļi
 - 3.2. Termokameru galvenās īpašības
 - 3.2.1. Termokameru atklāšanas/ atpazīšanas/ identifikācijas attālums
 - 3.2.2. Uz mākslīgo intelektu balstītas objektu atklāšanas/ klasifikācijas un IVA funkcijas termālās attēlveidošanas monitoringā
 - 3.2.3. Termālās attēlveidošanas monitoringa papildpakalpojumu sniegšana, izmantojot atbalstu nodošanas procesā
 - 3.2.4. Efektīvas un nepārtrauktas uzraudzības nodrošināšana, izmantojot divspektrālo kameru
 - 3.2.5. ROI/ vietas temperatūras monitoringa funkcija efektīvai telpu/iekārtu pārvaldībai
4. Apsvērumi, uzstādot un darbinot termālās attēlveidošanas kameru
 - 4.1. Vispārīgi uzstādīšanas vides apsvērumi
 - 4.2. Interesējošā reģiona iestatījumi
 - 4.3. Emisija
 - 4.3.1. Materiāla veids
 - 4.3.2. Virsmas uzūve
 - 4.3.3. Redzamības diapozons
 - 4.3.4. Cits
 - 4.4. Skata leņķis
 - 4.5. Temperatūras precizitāti ietekmējošie faktori
5. Atsauksmes

1. Ievads

1.1. Termokameru loma videonovērošanas tirgū

Kameras ir tik attīstījušās, ka to veiktspēja pārspēj cilvēka redzes iespējas. Videonovērošanas kameru tehnoloģija tiek nepārtraukti attīstīta, ļaujot novērošanu veikt ar lielāku precizitāti un attālumu, kas atbilst to specializētajiem mērķiem. Papildu - pastāvīga videonovērošanas veiktspēja dažādās vidēs un apstākļos, jaunākie sasniegumi ieviešot mākslīgo intelektu video analīzē, virzot tirgu uz tehnoloģijām, kas lietotājiem piedāvā efektīvāku un jēgpilnāku informāciju.

Turklāt termālās attēlu kameras, ko tradicionāli izmanto militāriem un specializētiem lietojumiem vidēs, kur novērošana optiskajām kamerām ir sarežģīta, pēdējos gados pakāpeniski ir nostiprinājušas savas pozīcijas vispārējā videonovērošanas tirgū. Pateicoties pusvadītāju un MEMS tehnoloģiju attīstībai, termālās attēlveidošanas tehnoloģijas ir piedzīvojušas strauju izaugsmi kopš 2000-iem gadiem, jo sensoru un attēlu apstrādes tehnoloģiju sasniegumi papildina iepriekš nepārvaramas problēmas, kas saistītas ar termisko attēlu kamerām. Tā kā videonovērošanas tirgus turpina paplašināties un pieaug pieprasījums pēc rūpnieciskās automatizācijas, apvienojumā ar tādiem mūsdienu apstākļiem kā COVID-19 pandēmija, pieprasījumam pēc termovīzijas attēlu kamerām prognozē pieaugumu.

1.2. Saturs, kas tiks apskatīts

Šis brošūras mērķis ir izpētīt termokameru izmantošanu videonovērošanas tirgū, veicot termālās attēlveidošanas pārbaudi un analīzi, pamatojoties uz termālās attēlveidošanas apstrādes skaidrojumu, izmantojot infrasarkanā spektru un infrasarkanos sensorus. Tajā ir arī iecerēts iedziļināties efektīvākās metodēs termovizuālo kameru izmantošanā. Saturs tiks plaši aplūkots, iedalot to trīs galvenajās sadaļās:

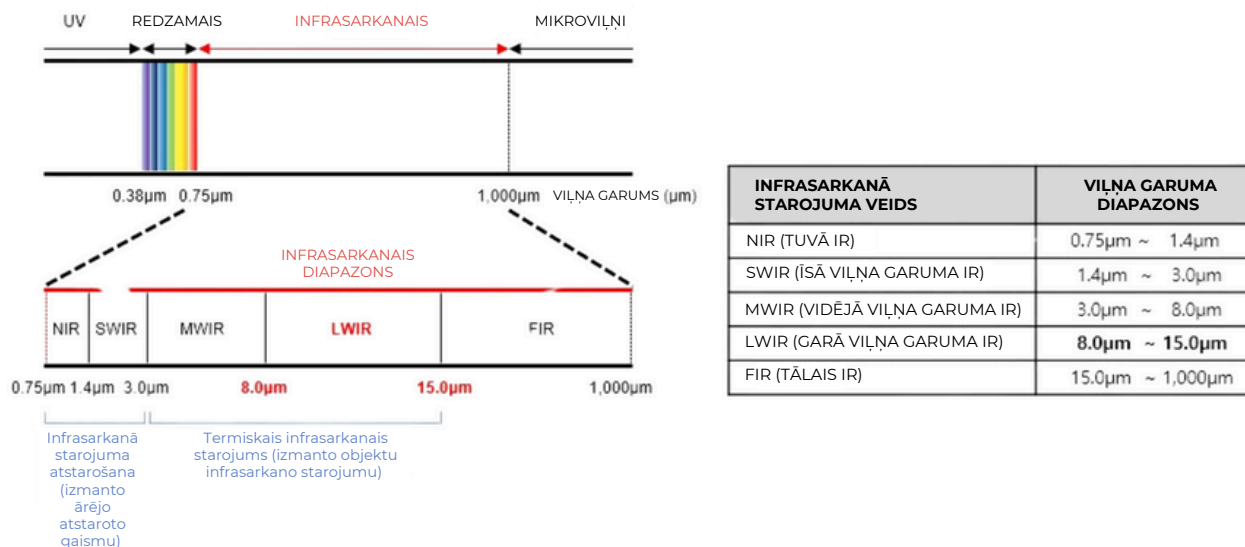
- 1) Izpratne par termisko attēlu sensoriem
- 2) Termokameru risinājumi un funkcijas
- 3) Termokameras attēla uzstādīšanas un ekspluatācijas apsvērumi

2. Izpratne par termisko attēlu sensoriem

2.1. Infrasarkanais spektrs un infrasarkanie sensori

Infrasarkanā (IR) zona elektromagnētiskajā spektrā aptver viļņu garumu no 0,75 μm līdz 1000 μm, kā parādīts zemāk 1. attēlā. Infrasarkanajam starojumam šajos viļņu garumu diapazonos ir atšķirīgas īpašības, tāpēc to iedala: tuvajā infrasarkanajā (NIR), īsā infrasarkanā (SWIR), vidējā infrasarkanā (MWIR), garā infrasarkanā (LWIR) un tālajā infrasarkanajā (FIR) diapazonā. Lai gan klasifikācijas kritēriji dažādās organizācijās, piemēram, Starptautiskajā standartizācijas organizācijā (ISO) un Starptautiskajā Apgaismojuma komisijā (CIE), atšķiras, parasti tiek izmantoti 1. attēlā redzamie kritēriji. Lietojumprogrammās, kurās izmanto NIR un SWIR diapazonus, galvenokārt tiek izmantota objektu atstarotā gaisma.

Tāpēc tās tiek dēvētas par atstaroto infrasarkanā starojumu (Reflected IR). Lietojumprogrammās, kurās izmanto MWIR un LWIR diapazonus, izmanto infrasarkanā starojumu, ko izstaro objekti. Tāpēc MWIR un LWIR tiek saukti arī par termisko infrasarkanā starojumu (Thermal IR).




[1. attēls. Infrasarkanā zona elektromagnētiskajos viļņos]

Tālāk 2. attēlā atspoguļotas redzamās gaismas un infrasarkanā starojuma rezultātā iegūtā objekta attēlu atšķirības. NIR un SWIR izmanto atstaroto gaismu līdzīgi kā redzamajai gaismai un attēli izskatās līdzīgi redzamajam attēlam. Savukārt MWIR un LWIR, izmantojot infrasarkanā starojumu, ko izstaro objekts, kas šajā gadījumā ir ādas virsma, uzrāda ievērojamas atšķirības no redzamā attēla. (Avots: Shuowen Hu et al., 2017).



[2. attēls. Objekta attēla salīdzinājums redzamajā gaismā un infrasarkanā starojumā]

Tāpat kā redzamās gaismas attēli, arī SWIR kameras iegūst attēlus, izmantojot no objektiem atstaroto gaismu. Nesenā sensoru ražošana, izmantojot neapdzēsētas metodes ar InGaAs pusvadītāju materiālu, liecina par paredzamo sensoru izmaksu samazinājumu. Tomēr SWIR kameras joprojām ir salīdzinoši dārgas salīdzinājumā ar MWIR un LWIR sensoriem. SWIR kameru priekšrocība ir tā, ka tās iegūst attēlus dienas laikā un zvaigžņotās naktīs un tās var caurredzēt stiklu un mākoņus, lai iegūtu attēlus.

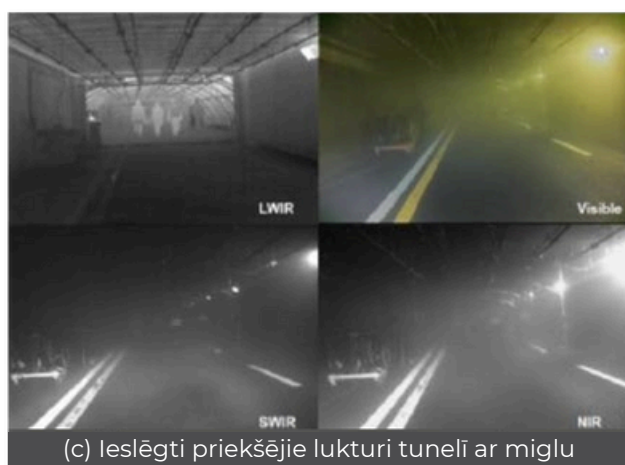


SWIR kameras tiek izmantotas lauksaimniecības produktu identifikācijā un šķīrošanā, elektronisko plašu pārbaudē, saules paneļu pārbaudē un pret viltošanas pasākumos.

MWIR kameras, tāpat kā LWIR kameras, iegūst attēlus, izmantojot objektu izstaroto infrasarkanā starojumu. Salīdzinot ar SWIR, MWIR mazāk ietekmē izkliedēšana atmosfērā un to mazāk ietekmē dūmi, putekļi vai migla. MWIR kameras izmanto ne tikai militāriem mērķiem, bet arī īpašu gāzu, piemēram, metāna, propāna, etanola un sēra heksafluorīda, noteikšanai.

LWIR kameras, tāpat kā MWIR kameras, iegūst attēlus, izmantojot objektu izstaroto infrasarkanā starojumu. LWIR kameras visbiežāk izmanto kā vizuālās drošības novērošanas sistēmas. Tas ir ne tikai tāpēc, ka salīdzinājumā ar citiem infrasarkanā starojuma sensoriem to izmaksas ir zemākas, pateicoties ražošanas tehnoloģiju attīstībai, izmantojot tādus termiskus materiālus kā vanādijs oksīds (VOx) vai amorfa silīcijs (α -Si) MEMS ražošanā, līdztekus plaši izplatītai neapdzēsētu sensoru tehnoloģiju izmantošanai. Turklāt LWIR kameras demonstrē izcilu veiktspēju redzamās gaismas kamerām sarežģītos apstākļos, tostarp scenārijos ar zemu apgaismojuma līmeni un vidē, ko ietekmē dūmi, migla, putekļi, lietus un ierobežota redzamība.

Tālāk 3. attēlā ir salīdzināti attēli, kas iegūti dažādos apstākļos, izmantojot redzamo gaismu, NIR, SWIR un LWIR. Dienas gaismas apstākļos (attēls (a)) attēli, kas iegūti redzamajā gaismā, NIR un SWIR, ir izcili salīdzinājumā ar LWIR attēliem. Tomēr tumšos tuneļos (attēls (b)) vai situācijās ar biezu miglu un spēcīgu transportlīdzekļa lukturi (attēls (c)) LWIR attēli uzrāda augstāko kvalitāti. Attēlā (b) redzams, ka gājēju noteikšana pilnīgi tumšā vidē ir iespējama tikai ar LWIR kamerām. Līdzīgi, kā parādīts attēlā (c), kad transportlīdzekļa galvenie lukturi ir ieslēgti biezas miglas vidē, gājēju noteikšana ir iespējama (nepalaižot tos garām), izmantojot LWIR kameru. (Avots: N. Pinchon et al.2018).



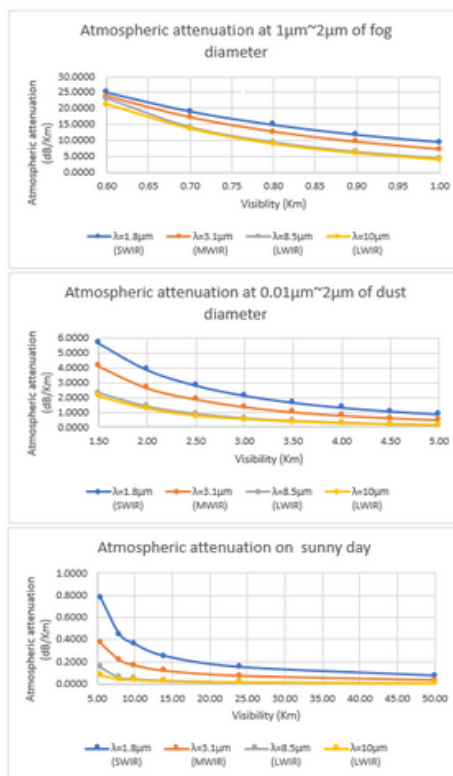
[3. attēls. Attēlu salīdzinājums dažādos apstākļos]

Tabulā parādītas LWIR kameru virspusējās īpašības salīdzinājumā ar citām spektrālām kamerām tādos apstākļos kā migla/dūmi/putekļi. Tabulā Nr. 1 ir parādīts viļņu garuma vājināšanās koeficients, izmantojot empīrisko formulu atkarībā no atmosfēras apstākļiem. Ja miglas diametrs ir no 10 μm līdz 20 μm , LWIR kamerām ir līdzīgi vājināšanās raksturlielumi, kā LWIR salīdzinot ar citām

kamerām, tāpēc ir grūti iegūt skaidrus attēlus, pat izmantojot LWIR kameras. Tomēr LWIR kameras mazāk ietekmē migla ar mazāka diametra vai putekļu daļiņām atmosfēras apstākļos, kas ļauj iegūt skaidrus attēlus salīdzinājumā ar citām infrasarkanā starojuma kamerām. (Yongtaek Jeong, "Latest Technology Trends in Infrared Sensor", Hongneung Science Publishing, 2014)

Attenuation factor depending on atmosphere conditions

Visibility (Km)	Atmosphere Attenuation(dB/Km)				Weather condition
	$\lambda=1.8\mu\text{m}$ (SWIR)	$\lambda=3.1\mu\text{m}$ (MWIR)	$\lambda=8.5\mu\text{m}$ (LWIR)	$\lambda=10\mu\text{m}$ (LWIR)	
0.01	1696.9400	1696.9400	1696.9400	1696.9400	Fog diameter 10 μm ~20 μm
0.02	848.4700	848.4700	848.4700	848.4700	
0.04	424.2300	424.2400	424.2400	424.2400	
0.05	339.3800	339.3800	339.3800	339.3800	
0.20	84.8400	84.8400	84.8400	84.8400	
0.40	42.4200	42.4200	42.4200	42.4200	
0.50	33.9300	33.9300	33.9300	33.9300	Fog diameter 1 μm ~2 μm
0.60	25.1200	23.7800	23.0100	21.1600	
0.70	19.1200	17.1400	14.0200	13.5700	
0.80	14.8600	12.6100	9.3200	8.8800	
0.90	11.7300	9.4200	6.3000	5.9000	
1.00	9.3800	7.1300	4.3100	3.9700	
1.50	5.6800	4.1400	2.3100	2.1000	Fog diameter 0.01 μm ~2 μm
2.00	3.8700	2.6400	1.3900	1.2500	
2.50	2.8200	1.8800	0.8900	0.7600	
3.00	2.1300	1.3600	0.5900	0.5200	
3.50	1.6600	1.0100	0.4100	0.3500	
4.00	1.3200	0.7700	0.2900	0.2400	
4.50	1.0700	0.6000	0.2000	0.1700	Sunny
5.00	0.8700	0.4700	0.1400	0.1200	
5.50	0.7800	0.3700	0.1500	0.0800	
8.00	0.4500	0.2200	0.0600	0.0450	
10.00	0.3600	0.1700	0.0480	0.0390	
14.00	0.2500	0.1200	0.0340	0.0270	
24.00	0.1500	0.0740	0.0200	0.0160	Very sunny
50.00	0.0720	0.0350	0.0097	0.0078	
54.00	0.0470	0.0190	0.0040	0.0028	Very sunny
60.00	0.0420	0.0170	0.0035	0.0027	



[1. tabula. Vājināšanās koeficients atkarībā no atmosfēras apstākļiem]

2.2. Attēlu apstrāde, izmantojot termālās attēlveidošanas sensoru

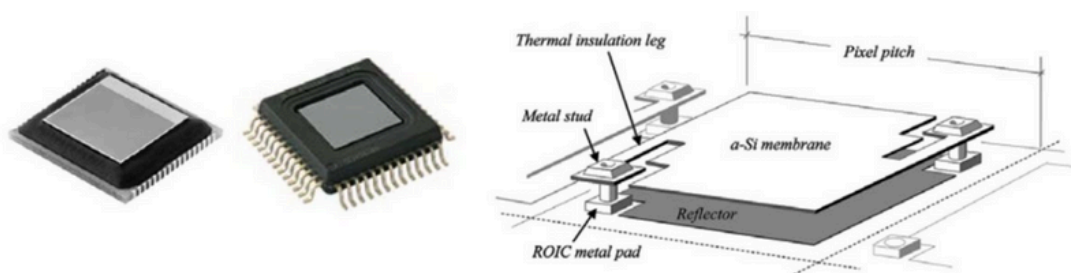
Iepriekš mēs aplūkojām trīs veidu infrasarkanu kameru īpašības: SWIR, MWIR un LWIR. Tika paskaidrots, kāpēc LWIR viļņu garumu parasti izmanto novērošanas kamerās attēlu drošībai. Turpmāk mikrobolometriskos termālos sensorus, kas detektē infrasarkanos signālus LWIR spektrā, saucim par "termālās attēlveidošanas sensoriem", bet kameras, kurās tie tiek izmantoti, - par "termālās attēlveidošanas kamerām".

2.2.1. Termālās attēlveidošanas sensors

Objekti, kuru temperatūra ir augstāka par absolūto temperatūru 0 K (Kelvins), izstaro enerģiju infrasarkanā starojuma veidā. Infrasarkanā starojuma mērīšana ir objekta starojuma enerģijas mērīšana, kas ir līdzīga termometra jēdzienam. Sensorus, kas ļauj mērīt infrasarkanu starojumu, var iedalīt divos veidos: kvantu sensori, kuros izmanto pusvadītāju materiālus un siltuma sensori, kuros izmanto materiālus, kas nav pusvadītāji.

Šajā sadaļā uzmanība pievērsta bolometra sensoriem, kas ir siltuma sensoru veids, ko galvenokārt izmanto attēlu drošības novērošanā starp dažādiem infrasarkanā starojuma sensoriem. Termins "bolometrs" cēlies no grieķu vārda "bolo" - kas nozīmē staru un "metrs" - kas apzīmē mērījumu, ietverot infrasarkanā staru mērīšanas būtību. Bolometri darbojas, mainoties iekšējai pretestībai, kad mainās infrasarkanā staru intensitāte vai temperatūras ietekmē. Tādējādi termālās attēlveidošanas sensoru veiktspēju nosaka divu procesu efektivitāte un raksturlielumi: temperatūras paaugstināšanās infrasarkanā starojuma iedarbības rezultātā un elektriskās izmaiņas, ko izraisa temperatūras svārstības. Tā kā ir izstrādāti MEM procesi, vispārējās termālās attēlveidošanas kamerās tiek izmantoti augstas izšķirtspējas mikrobolometri.

Attēls Nr. 4. attēlo vispārējā mikrobolometra tipa termālās attēlveidošanas sensora iekšējās un ārējās struktūras skatu. (Avots: J.L. Tissot et al. 2013).



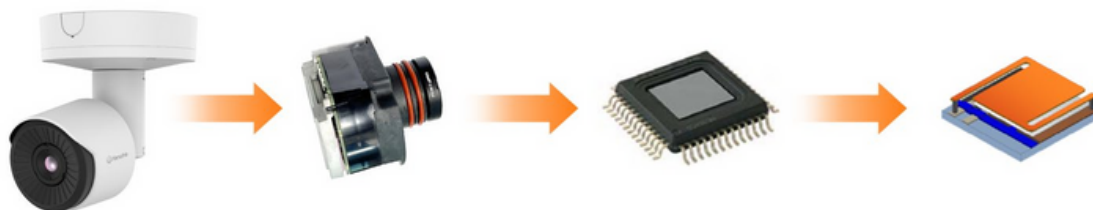
(a) Termālās attēlveidošanas sensora ārējā daļa

[4. attēls. Termālās attēlveidošanas sensora ārpusē un struktūra]

Kad infrasarkanais starojums iedarbojas uz bolometru, tas absorbē starojumu, izraisot termiski izolētās membrānas temperatūras paaugstināšanos rezistorā. Temperatūras izmaiņas rezistorā mainās atkarībā no absorbētā infrasarkanā starojuma daudzuma. Aizpildījuma koeficients ir pikseļa laukums, kas tiek izmantots, lai absorbētu krītošo infrasarkanā starojumu un parasti katram pikselim ir aptuveni 80 % aizpildījuma koeficients. Lai uzlabotu LWIR infrasarkanā starojuma absorbciju, starp membrānu un atstarotāju izmanto $\lambda/4$ rezonanses dobumu. Lai līdz minimumam samazinātu apkārtējās temperatūras ietekmi uz bolometru ir izstrādātas termiskās izolācijas kājas, kas izgatavotas no materiāliem ar zemu siltumvadītspēju. Šīs kājas savieno fokusa plaknes masīvu (FPA) ar nolasišanas integrēto shēmu (ROIC) un regulē spraugas platumu starp membrānu un reflektoru. ROIC, kas darbojas kā multipleksors, savienojas ar FPA sensoru, nolasa elektriskos izvadus no atsevišķām pretestības izmaiņām un pastiprina mazos signālus, pārveidojot tos par FPA sensorā izmērāmā augstas izejas spriegumu.

2.2.2. Termokamera, kas izmanto termālās attēlveidošanas sensoru

Vispārējās termālās attēlveidošanas kameras struktūra, izmantojot termālās attēlveidošanas sensoru, ir parādīta attēlā Nr. 5. Termālās attēlveidošanas kameras var iedalīt detektorā un HW moduļos.



[5. attēls. Termokameras uzbūve]

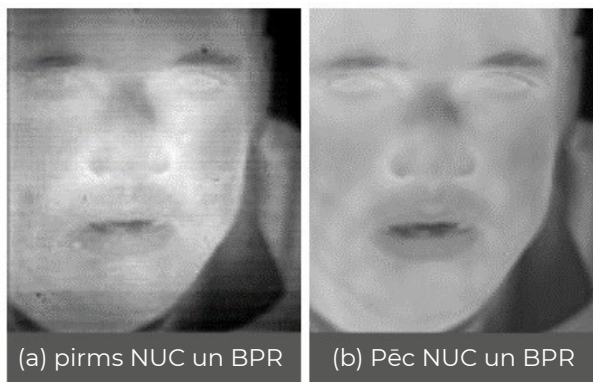
Detektors sastāv no optiskās lēcas un sensora, kas uztver intensīvu infrasarkanu starojumu, radot atbilstošus elektriskos signālus. Termālās attēlveidošanas kameru lēcās parasti izmanto germāniju (Ge), lai veicinātu efektīvu infrasarkanu staru pārraidi. HW moduļa segmentā ietilpst komponenti, kas spēj apstrādāt elektriskos signālus no detektora, piemēram, attēla apstrādes bloks (izmantojot FPGA vai DSP), attēla izejas bloks un barošanas shēmas. Attēlu apstrādes blokā tiek īstenotas dažādas attēlu apstrādes metodes, lai termiskos attēlus padarītu skaidrākus.

Atšķirībā no CMOS sensoriem viens no būtiskākajiem termālās attēlveidošanas sensoru attēlu apstrādes posmiem ir nevienmērības korekcija (NUC). Termālās attēlveidošanas sensoru FPA struktūra saskaras ar nevienmērības problēmām šādu trīs faktoru dēļ:

- ① Katra pikseļa nelineārās īpašības attiecībā uz infrasarkanā starojuma intensitāti
- ② Neviendabīgi pikseļu pastiprinājuma un nobīdes vērtību raksturlielumi
- ③ Nelineāras nobīdes vērtību izmaiņas laikā un uzstādīšanas telpā

Šo jautājumu risināšana ietver NUC procesa veikšanu.

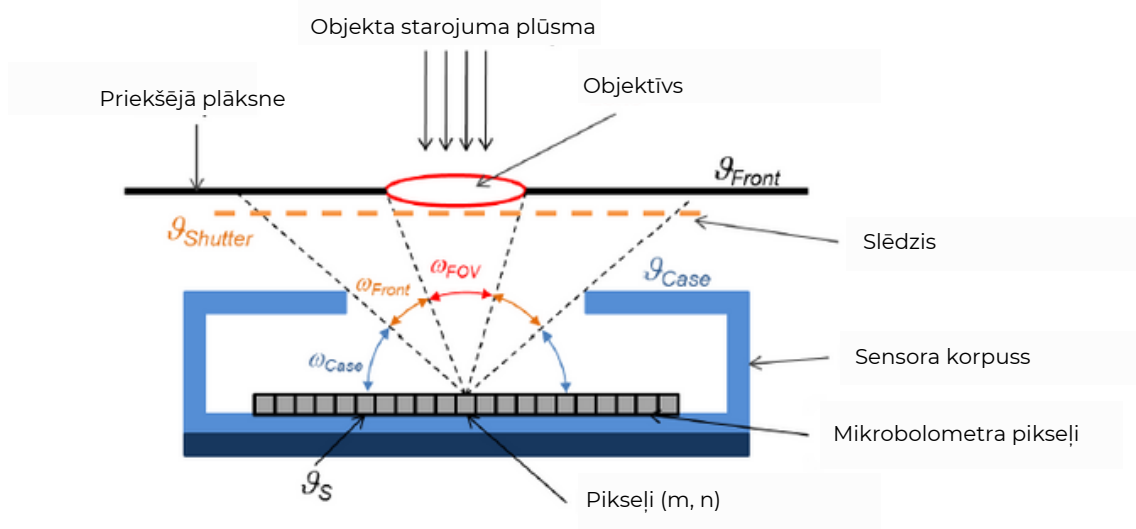
6. attēlā parādīta NUC procesa nepieciešamība, salīdzinot attēlus pirms un pēc NUC. Ja disproporcijas starp katru pikseli netiek koriģētas, izmantojot NUC procesu, kā parādīts (a) attēlā, kļūst redzams fiksētā parauga troksnis (FPN), kā rezultātā rodas neskaidri attēli. Tomēr pēc NUC procesa var iegūt augstas kvalitātes attēlus, kā parādīts (b) attēlā. (Avots: Vladimir I. Ovod et al. 2005).



- NUC (nevienmērības korekcija)
- BPR (slikto pikseļu nomaiņa)

[6. attēls. Salīdzinājuma attēls pirms un pēc NUC]

Lai izprastu NUC procesu, ir jāizprot termokameras detektors. Detektora struktūra īsumā parādīta attēlā Nr. 7.



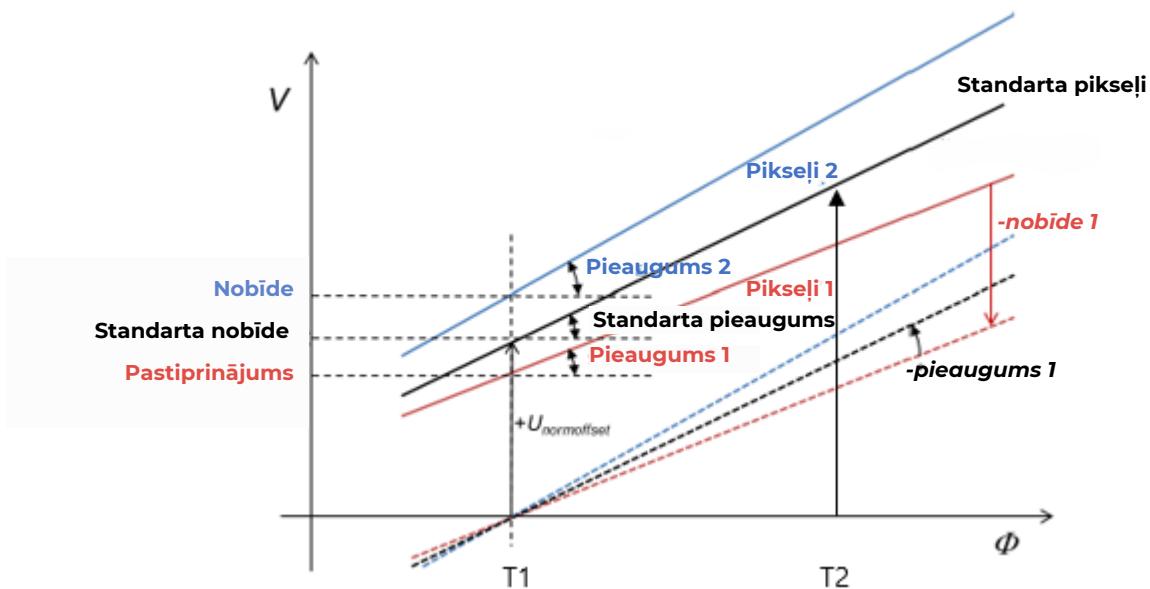
[7. attēls. Termokameras detektora struktūra]

Kā parādīts iepriekšējā attēlā, sensora pikseli saņem infrasarkano starojumu no dažādiem avotiem: no objekta, priekšējā korpusa, slēdža, korpusa, kas apņem sensoru un paša sensora. Lai izmērītu tikai objekta izstaroto infrasarkano starojumu var izmantot šādu metodi.

Sensora izejas signāls reaģē uz infrasarkano starojumu un tā temperatūras izmaiņām. Tāpēc, ja sensors uztur nemainīgu temperatūru (termiskais līdzsvars), jebkuras tā izejas izmaiņas atspoguļo tikai krītošā infrasarkanā starojuma izmaiņas. Lai to panāktu, sākotnēji jāstabilizē sensora temperatūra.

Pēc tam, secīgi regulējot divu objektu T_1 un T_2 (kur $T_1 < T_2$) temperatūru, uzņemot attēlus un reģistrējot sensora izejas vērtības, varam izolēt infrasarkanā starojumu, ko izstaro tikai objekts. Izejas vērtības atņemšana no izejas vērtības pie T_1 un vērtības pie T_2 novērš citu infrasarkanā staru avotu ietekmi, atklājot konkrēto infrasarkanā staru daudzumu, ko izstaro objekts. Šis process ļauj noteikt 2 punktu NUC pastiprinājumu un nobīdi, kas ir ļoti svarīgi, lai izlīdzinātu atšķirības starp pikseļiem termālās attēlveidošanas sensora FPA struktūrā.

8. attēlā parādīts process, kā noteikt pastiprinājumu un nobīdi diviem pikseļiem: 1 un 2, lai parādītu standarta līknes raksturlielumus. Pēc 'blackbody' temperatūras iestatīšanas uz T_1 un T_2 aprēķina vidējo vērtību visiem pikseļiem, nosakot to kā standarta līkni. Pēc tam, veicot aprēķinus, katra pikseļa pastiprinājums un nobīde tiek koriģēti, lai to vērtības atbilstu šīs standarta līknes raksturlielumiem. Šī procedūra ļauj pikseļiem, kas sākotnēji uzrāda atšķirīgas vērtības, parādīt konsekventas izmaiņas rezultātu, kas līdzinās standarta līknei (Avots: H. Budzier un G. Gerlach, 2015).



[8. attēls. NUC divu punktu - pastiprinājuma un nobīdes iegūšanas shēma]

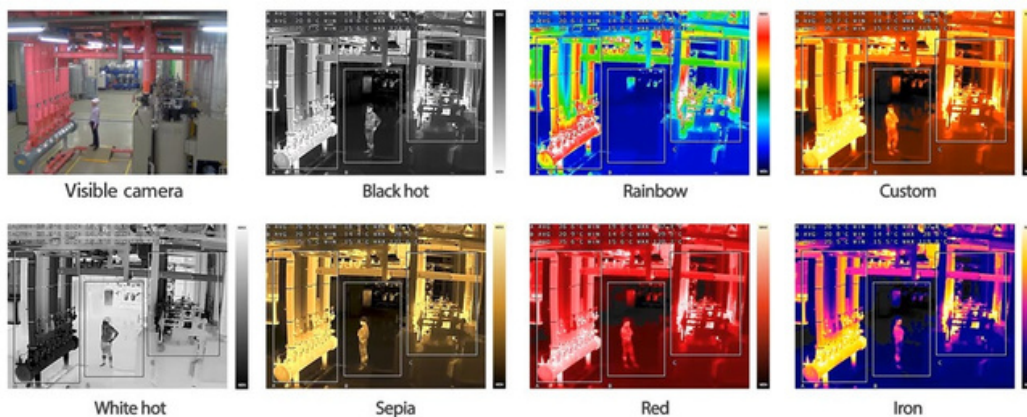
2.3. Specifikāciju terminoloģija termālās attēlveidošanas sensoru izpratnei

- Pikseļu augstums: tas norāda katra pikseļa lielumu, kas veido termālās attēlveidošanas sensora fokālās plaknes matricu (FPA). Termālās attēlveidošanas kamerās pikseļu solis, ko visbiežāk izmanto siltuma sensoros, parasti ir 17 μm vai 12 μm .
- Spektrālā reakcija: tas norāda elektromagnētisko viļņu garumu diapazonu, uz kuru reaģē termālās attēlveidošanas sensors. Termālās attēlveidošanas sensoriem, ko galvenokārt izmanto termālās attēlveidošanas kamerās, viļņu garuma diapazons parasti ir no 8 μm līdz 14 μm .

- Izšķirtspēja: tā norāda, cik smalki var sadalīt attēlu, kas pārveidots ar termālās attēlveidošanas sensoru, mazākās vienībās, ko sauc par pikseliem. Tipiskā izšķirtspēja termālās attēlveidošanas kamerām, ko izmanto attēlu drošībai, parasti ir QVGA (320x240) vai VGA (640x480). Pēdējā laikā tirgū aizvien biežāk tiek piedāvātas termālās attēlveidošanas kameras ar XGA (1024x768) un SXGA (1280x1024) izšķirtspēji.
- NETD (trokšņa ekvivalentā temperatūras starpība): tas norāda termālās attēlveidošanas sensora temperatūras izšķirtspēji. Ņemot vērā troksni, tas norāda minimālo temperatūras starpību, ko kamera var atšķirt. Mazāka vērtība norāda uz labāku temperatūras izšķirtspēji, savukārt lielāka vērtība nozīmē sliktāku temperatūras izšķirtspēji.
- NEDT (trokšņa ekvivalenta diferenciālā temperatūra): tāda pati terminoloģija attiecas uz NETD.
- NUC (nevienmērības korekcija): korekcija ir FPA tipa termālās attēlveidošanas sensora izvades variāciju novēršanas process starp pikseliem, lai panāktu viendabīgus izejas raksturlielumus. Parasti izmanto lineārās korekcijas metodes, izmantojot vienu atskaites punktu vai divus atskaites punktus. Šī korekcija nodrošina, ka katram pikselim tiek pielāgots identisks pastiprinājums un nobīde, kā rezultātā tiek iegūti augstākas kvalitātes attēli.
- 2-punktu NUC: tā ir metode, ar kuru koriģē neatbilstības starp pikseliem, izmantojot divas atskaites temperatūras. Termālās attēlveidošanas kameru ražošanas posmā šo korekciju veic, izmantojot divus 'blackbody' atskaites punktus. Šajā procesā iegūtās korekcijas vērtības tiek saglabātas atmiņā un piemēro kameras darbības laikā.
- 1-punkta NUC: šī metode izmanto vienu atskaites temperatūru, lai koriģētu atšķirības starp pikseliem. Slēdzis, kas uzstādīts objektīva priekšā ir objektīva atskaites temperatūra. Lai veiktu 1-punktu NUC, tiek aizvērts slēdzis un katra pikseļa nobīdes korekcija ir atkarīga no temperatūras, kas konstatēta uz slēdža virsmas. Slēdža aizvēršanas laikā iegūtais attēls atbilst mirklim tieši pirms slēdža aizvēršanas, kā rezultātā tiek traucēta nepārtraukta attēla izveide. Tomēr, lai iegūtu augstas kvalitātes attēlus, kas atspoguļo temperatūras izmaiņas reāllaikā attiecīgajā termokameras atrašanās vietā ir nepieciešams 1-punktu NUC.
- NUC cikls: 2-punktu NUC tiek veikts ražošanas procesu laikā un tā iegūtās vērtības (pastiprinājums un nobīde) tiek saglabātas atmiņā un tās ir nepieciešamas izpildei tikai vienu reizi. No otras puses, 1-punkta NUC tiek veikts regulāri, lai pienācīgi ņemtu vērā temperatūras svārstības uzstādītās termokameras tuvumā. Vidēs ar minimālām temperatūras svārstībām ap darbojošos termokameru, 1-punkta NUC izpildes biežumu var pagarināt. Termokameras iestatījumu izvēlnē ir iespēja pielāgot 1-punkta NUC izpildes biežumu atbilstoši konkrētām prasībām.

- 'Mirusāis' pikselis: tas ir pazīstams arī kā 'sliktais pikselis', kas attiecas uz pikseli fokālās plaknes masīvā (FPA), kura reakcija atšķiras no pārējo pikseļu vidējām izejas īpašībām. Kritēriji 'mirušo' pikseļu identificēšanai var atšķirties atkarībā no ražotāja. Ņemot vērā to, ka ražošanas laikā termālās attēlveidošanas sensoros ar FPA struktūru neizbēgami rodas 'mirušie' pikseļi, termālo sensoru ražotāji, piegādājot termālo sensoru, sniedz specifikācijas, kurās norādītas 'mirušo' pikseļu koordinātas. Šie zināmie pikseļi, kas identificēti termokameras ražošanas posmā, tiek izlaboti, izmantojot attēlu apstrādes metodes, lai nodrošinātu normālu termālās attēlveidošanas rezultātu. Pēc piegādes visi 'mirušie' pikseļi, kas rodas lietošanas laikā, tiek uzraudzīti reāllaikā 1-punkta NUC procesa laikā un koriģēti, lai nodrošinātu, ka tie neietekmē termālos attēlus.
- Krāsu paletes: infrasarkanā starojuma, ko termālās attēlveidošanas sensors saņem no objekta, var attēlot dažādās krāsās atbilstoši iekšējai attēla apstrādei, tādējādi nodrošinot pielāgotu vizualizāciju. Atkarībā no vides sistēma atbalsta vēlamo krāsu palešu izvēli, lai atvieglotu optimālu attēla uzraudzību. Tomēr ņemiet vērā, ka krāsu paletes krāsas un veidi var tikt mainīti vai papildināti bez iepriekšēja brīdinājuma.

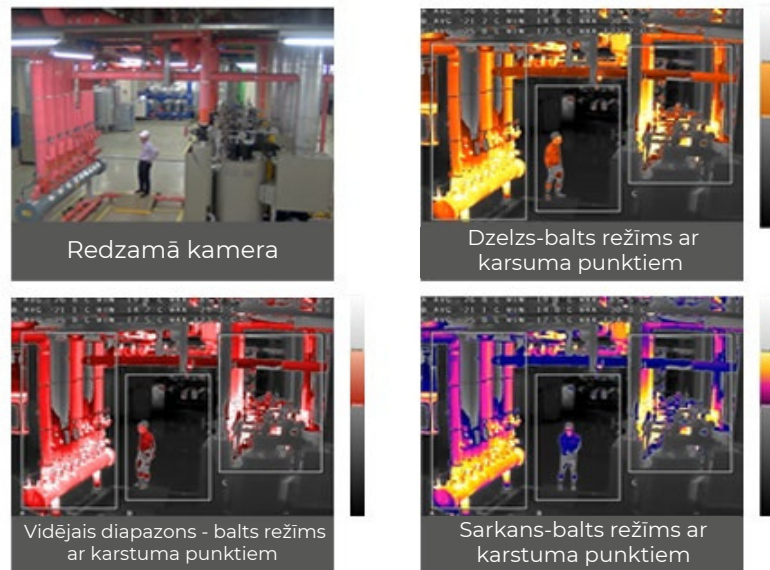
9. attēlā parādīti visi noklusējuma paletes režīmi.



[9. attēls. Noklusējuma krāsu paletes režīmi]

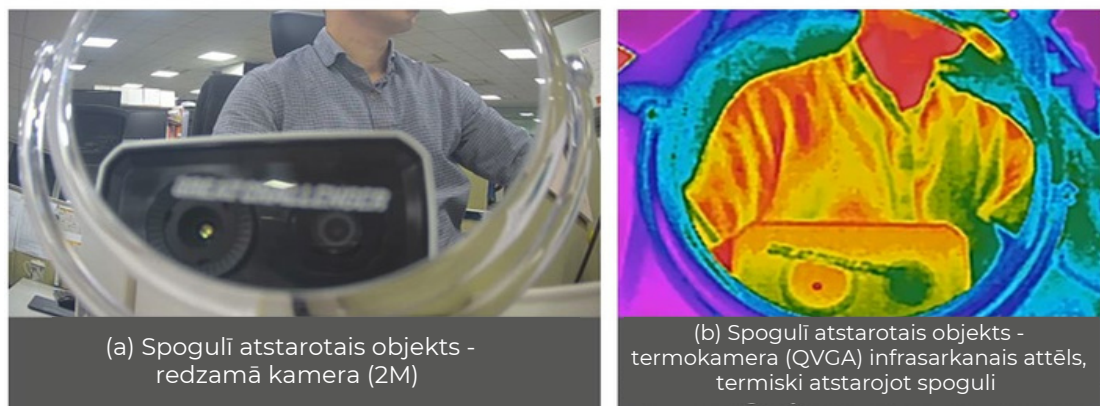
10. attēlā parādīts hibrīdpaletes konfigurācijas piemērs. Hibrīda palete ir noderīga funkcija efektīvai uzraudzībai, uzsverot objektus konkrētos temperatūras diapazonos, piešķirot krāsas tikai objektiem vēlamojā interesējošajā temperatūras diapazonā. 10. attēlā redzams, ka objekti, kas ietilpst noteiktajā temperatūras diapazonā, tiek parādīti atbilstoši izvēlētajam hibrīdpaletes konfigurācijas tipam.

- Infrasarkanā starojuma atstarošana notiek uz stikla, metāla vai gludām virsmām apkārtējās vides siltuma avotu dēļ. Šī siltuma atstarošana ir faktors, kam jāpievērš uzmanība, interpretējot termisko infrasarkanā attēlu.



[10. attēls. Hibrīda paletes režīmi]


11. attēlā parādīts, kā termiskās infrasarkanās gaismas attēls parādās siltuma atstarošanas dēļ. Tālāk redzamajos attēlos parādīts faktiskais attēls (a) un spoguļi atstarotā objekta termiskais attēls (b), kas iegūts pēc līdzīgas skata leņķa regulēšanas. Attēlā (b) ir redzams, ka spogulis atstaro subjekta izstaroto infrasarkanā starojumu.



[11. attēls. Infrasarkanie termālie attēli ar termisko atstarošanu]

Veicot reālu termisko attēlu analīzi, ir ļoti svarīgi neinterpretēt, ka pastāv reāli siltuma avoti ar siltuma atstarojumiem.

- Laiks līdz stabilizācijai: termālās attēlveidošanas sensora izvadi ietekmē gan infrasarkanā staru intensitāte, gan iekšējā temperatūra. Līdz ar to termālās attēlveidošanas kamerām pēc ieslēgšanas ir nepieciešams laiks, lai stabilizētos, ļaujot sensoram sasniegt termisko līdzsvaru.



Šajā stabilizācijas periodā 1-punkta NUC, izmantojot slēdzi, tiek izpildīts biežāk, lai pareizi kalibrētu sensoru. Līdz ar to temperatūras mērījumiem vai noteikšanas operācijām var trūkt precizitātes līdz mirklim, kad siltuma sensors sasniedz stabilitāti. Stabilizācijai nepieciešamais ilgums svārstās atkarībā no termokameras apkārtējās vides temperatūras apstākļiem, bet parasti tas vidēji ilgst aptuveni 30 minūtes.

- IFoV: saīsinājums no 'Instantaneous Field of View'. IFoV norāda termokameras telpisko izšķirtspēju. FoV norāda kopējo attēla laukumu, kas uztverts, pamatojoties uz optiskās sistēmas redzamības lauku termālās attēlveidošanas kamerā. Savukārt IFoV apzīmē pakāpi, kādā viens termālās attēlveidošanas sensora pikselis ģeometriski izšķir vai novēro mērķi redzamības laukā (FoV) un var noteikt temperatūru. Vienkāršāk sakot, IFoV ir mazākais mērķa izmērs, ko termālās attēlveidošanas kamera var noteikt, ņemot vērā konkrēto objektīvu, sensora izmēru un attālumu. To izsaka miliradiānos un, samazinoties skata leņķim un palielinoties kameras izšķirtspējai, IFoV vērtība samazinās. IFoV parasti aprēķina, izmantojot šādus divus vienādojumus.

$$\textcircled{1} \text{ IFoV(mRad)} = [\text{pikseļu attālums(mm)}] / \text{objektīva fokusa attālums(mm)} \times 1000$$

$$\textcircled{2} \text{ IFoV(mRad)} = \text{FOV(grādi)} / \text{pikseļi} \times (\pi/180) \times 1000$$

Piemēram, termālās attēlveidošanas kamerai ar pikseļu soli 17 μm un fokusa attālumu 4,4 mm IFoV ir 3,9 mRad. Tas nozīmē, ka 1 metra attālumā vismazākais objekta izmērs, kura temperatūru var izmērīt ar vienu pikseli, ir kvadrāts ar 3,9 mm lielām malām. Ja attālums ir 10 metri, minimālais izmērs ir kvadrāts ar malu, kuras izmērs ir 39 mm.

Tomēr tā ir teorētiski minimālā vērtība. Izmantojot termokameru temperatūras mērīšanai ir ieteicams ņemt vērā tādus praktiskus faktorus kā 'mirušie' pikseļi uz sensora un siltuma atstarojumi mērķa tuvumā. Tāpēc praktiskos scenārijos ieteicams ņemt vērā vismaz 3x3 pikseļus, ņemot vērā mērķa izmēru un noteikšanas attālumu, kad izvēlaties piemērotu kameru. Tomēr, paļaujoties tikai uz viena pikseļa vērtību, lai noteiktu objekta temperatūru, var rasties nepareiza interpretācija. Tāpēc praksē tiek veikti temperatūras mērījumi, jo objekts atbilst 3x3 pikseļiem.

SSR = noteikšanas attālums (m) / (IFOV x 3)

Attiecība starp attālumu, kurā 1 metra lieluma objekts tiek attēlots uz 3x3 pikseļiem termālās attēlveidošanas sensora ir attēlota tabulā Nr. 2 un tā ir sekojoša.

Model classification	Single-sensor model series (Thermal imaging 384x288)			Single-sensor model series (Thermal imaging VGA)		Dual-sensor model series (Visible imaging 4K, Thermal imaging VGA)	Dual-sensor model series (Visible imaging 2M, Thermal imaging QVGA)
	TNO-C3010TRA TNO-C3012TRA	TNO-C3020TRA TNO-C3022TRA	TNO-C3030TRA TNO-C3032TRA	TNO-C4030TR	TNO-4040TR TNO-4041TR	TNM-C4940TDR TNM-C4942TDR	TNM-C3620TDR TNM-C3622TDR TNM-3620TDY
Lens focal length (mm)	4.4	6.6	9.7	13	19	9.1	4.7
Thermal imaging sensor pixel pitch(um)	17	17	17	17	17	12	12
IFOV(mRad) ⁽¹⁾	3.864	2.576	1.753	1.308	0.835	1.319	2.553
SSR	86	129	190	255	373	253	131
Horizontal angle (HFOV) (degree)	90	60	37.9	48.6	32	50	50
Number of horizontal pixels	384	384	384	640	640	640	320
IFOV(mRad) ⁽²⁾	4.091	4.091	2.727	1.325	0.873	1.364	2.727
SSR	81	81	122	252	382	244	122

[2. tabula. Termokameru SSR aprēķinātā vērtība]

Piemēram, izmantojot TNO-C3030TRA, ja ir jāmēra 1 metru augsta objekta temperatūra, objekta temperatūras mērījumiem jābūt 190 metru robežās. Izmantojot šo sakarību, lai izmērītu 2 metrus augsta objekta temperatūru, objektam jābūt 380 metru rādiusā, lai objekta temperatūra būtu izmērāma.

Tomēr, izmantojot termokameru, SSR ir teorētiski aprēķinātais maksimālais attālums temperatūras mērīšanai. Ir ļoti svarīgi ņemt vērā vides faktorus (apkārtējās vides temperatūru, esošo temperatūru, relatīvo mitrumu u. c.), objekta izstarojumu, kameras uzstādīšanas leņķus u. c., jo tie var ietekmēt mērījumu attālumu.

3. Termokameru raksturlielumi un veidi

Hanwha Vision ir izstrādājusi daudzveidīgu termokameru modeļu klāstu ar dažādu izšķirtspēju un formas faktoriem, lai nodrošinātu klientiem termālās attēlveidošanas kameras, kas pielāgotas to vajadzībām. 12. attēlā redzami attēli ar dažiem no pašlaik izlaistajiem Hanwha Vision termālās attēlveidošanas kameru modeļiem.

(1. piezīme) IFOV(mRad) = [pikseļu solis (mm)] / objektīva fokusa attālums (mm) x 1000, ja izmanto attiecību noteikumus.

(2. piezīme) IFOV(mRad) = FOV(grādi) / pikseļu skaits x (π/180) x 1000, ja izmanto attiecību noteikumus.



[12. attēls. Hanwha Vision termālās attēlveidošanas kameras modeļis]

3.1. Termālās attēlveidošanas kameru klasifikācija

3.1.1. Temperatūras noteikšanas un attēlošanas modeļi

Termokameras parasti iedala divos galvenajos tipos: temperatūras noteikšanas modeļos un temperatūras attēlošanas modeļos, kas pazīstami kā radiometrisko kameru modeļi. Abos gadījumos tiek veikts iekšējs process, kas ietver absorbētā infrasarkanā starojuma mērīšanu un pārveidošanu temperatūras datos. Tomēr temperatūras noteikšanas modeļi tieši neparāda lietotājam izmērīto temperatūru; tā vietā tie norāda uz izmaiņām konkrētā interesējošā apgabalā. Lietotāji var iestatīt trauksmes izraisītājus, pamatojoties uz apgabala maksimālo, minimālo vai vidējo temperatūru. Turpretī temperatūras attēlošanas modeļi veic temperatūras noteikšanu un pārveidotās temperatūras vērtības uzrāda tieši lietotājam novērošanai.

3.1.2. Viena sensora un divu sensoru modeļi

Termokameras ir izstrādātas, lai pārvarētu redzamo kameru ierobežojumus sarežģītos apstākļos, piemēram, miglā, dūmos, putekļos, lietū, sniegā vai vājā apgaismojumā, kad redzamās kameras nespēj pienācīgi darboties. Neraugoties uz to, ka laika gaitā termokameru izšķirtspēja ir ievērojami uzlabojusies, vispārējās situācijās tās var nesasniegt redzamo kameru attēla skaidrību. Līdz ar to novērošanas tirgū pieaug interese par kameru modeļiem, kuros vienā ierīcē ir integrēti divi sensori, lai izmantotu abu veidu kameru priekšrocības.

3.2 Termokameru galvenās īpašības

3.2.1. Termokameru atklāšanas/ atpazīšanas/ identifikācijas attālums

Termokameras izmanto atklāšanas, atpazīšanas un identifikācijas (DRI) metodi, lai izmērītu attālumu, kādā var identificēt mērķus.

DRI (Detection, Recognition, Identification - atklāšana, atpazīšana, identifikācija) standarts, ko 50. gados izstrādāja ASV armija, ir definēts šādi:

- Atklāšana: spēja atšķirt objektu no fona
- Atpazīšana: spēja klasificēt objekta tipu (dzīvnieks, cilvēks, transportlīdzeklis, laiva utt.)
- Identifikācija: spēja atpazīt konkrētas objekta detaļas (vīrietis cepurē, suns, džips u.c.).

Tabulā Nr.3 ir norādītas aprēķinātās termokameras DRI attāluma vērtības atkarībā no modeļiem, izmantojot aprēķina formulu.

Maximum distance (m)	Model Name				TNO-3010T	TNO-3020T	TNO-3030T	TNO-3040T	TNO-3050T	TNO-C3010TRA	TNO-C3020TRA	TNO-C3030TRA
	Horizontal angle of view				92	50	16	11.5	6.3	90	60	37.9
	Number of horizontal pixels				320	320	320	320	320	384	384	384
Detection	Object size				Pixel No.	PPM						
	Vehicle	2.3	1.5	0.65	237	526	1,746	2,436	4,458	294	510	857
Human	1.8	3	1.67	93	206	683	953	1,744	115	200	336	
Recognition	Vehicle	2.3	6	2.61	59	132	436	609	1,114	74	127	214
	Human	1.8	12	6.67	23	51	171	238	436	29	50	84
Identification	Vehicle	2.3	12	5.22	30	66	218	305	557	37	64	107
	Human	1.8	24	13.33	12	26	85	119	218	14	25	42

Maximum distance (m)	Model Name				TNO-4030T	TNO-4040T	TNO-4050T	TNM-C4940TD	TNM-C4950TD	TNM-C4960TD
	Horizontal angle of view				48.6	32	17.2	50	31.9	17.4
	Number of horizontal pixels				640	640	640	640	640	640
Detection	Object size				Pixel No.	PPM				
	Vehicle	2.3	1.5	0.65	1,087	1,711	3,244	1,052	1,717	3,207
Human	1.8	3	1.67	425	670	1,270	412	672	1,255	
Recognition	Vehicle	2.3	6	2.61	272	428	811	263	429	802
	Human	1.8	12	6.67	106	167	317	103	168	314
Identification	Vehicle	2.3	12	5.22	136	214	406	132	215	401
	Human	1.8	24	13.33	53	84	159	51	84	157

[3. tabula. DRI attāluma aprēķinu tabula atkarībā no termālās attēlveidošanas kameras]

DRI aprēķina formula ir šāda:

$$\text{DRI diapazons: attālums} = (\text{objektīva fokusa attālums}) \times (\text{objekta izmērs}) / \{(\text{pikseļu skaits}) \times (\text{pikseļu solis})\}$$

Tomēr, izmantojot termālās attēlveidošanas kameru ir svarīgi ņemt vērā kameras DRI un detektēšanas diapazonu, kad tiek izmantota videoanalītika. Termokameras uztveršanas diapazonu var ietekmēt mērķa objekta temperatūra un vides faktori, piemēram, mitrums, kas var samazināt faktisko uztveršanas attālumu. Tāpēc ir ieteicams to pārbaudīt, izmantojot koncepcijas pārbaudi (Proof of Concept (PoC)) uzstādīšanai vidē.

4. tabulā ir attēlots video analītikas atklāšanas diapazons viena sensora termālās attēlveidošanas kameru modeļiem. Tas atspoguļo teorētisko maksimumu ierobežotos apstākļos, tomēr ir būtiski ņemt vērā, ka faktiskais detektēšanas diapazons var atšķirties mērķa objektu un apkārtējās vides ietekmes dēļ praktiskas lietošanas laikā.

Kustības noteikšanas diapazons		TNO 4030T	TNO 4040T	TNO 4050T	TNO 3010T	TNO 3020T	TNO 3030T	TNO 3040T	TNO 3050T
Auto	2.3 m	160 m	234 m	430 m	86 m	150 m	438 m	607 m	1,118 m
Cilvēks	1.8 m	125 m	183 m	337 m	41 m	71 m	206 m	285 m	525 m

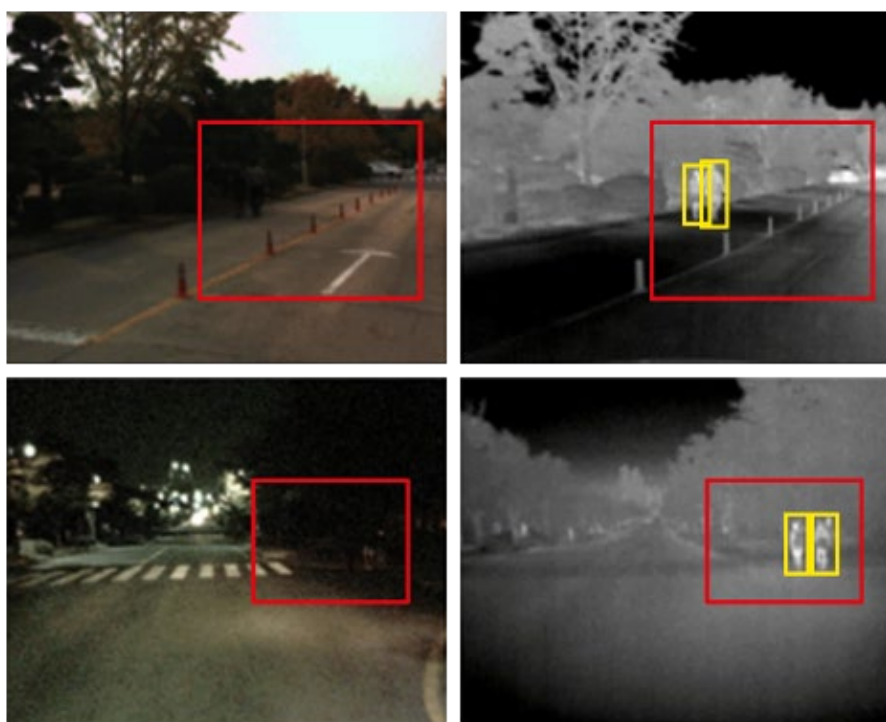
[4. tabula. Videoanalītikas termālās attēlveidošanas kameru detektēšanas diapazons]

5. tabulā ir attēlotas izmērītās mākslīgā intelekta video analītikas detektēšanas diapazona vērtības, izmantojot divu sensoru kameras modeli TNM-C49x0TD (x=4,5,6). Šie mērījumi tika veikti ierobežotos apstākļos; vienmēr ir būtiski ņemt vērā, ka atklātais diapazons var atšķirties atkarībā no vides, kurā kamera ir uzstādīta, kā arī mērķa objekta stāvokļa.

Objekta noteikšanas diapazons, kas balstīts uz mākslīgā intelekta		TNM C4940TD	TNM C4950TD	TNM C4960TD	TNO C3010TRA/ C3012TRA	TNO C3020TRA/ C3022TRA	TNO C3030TRA/ C3032TRA
Auto	2.3 m	224 m	280 m	498 m	66 m	79 m	95 m
Cilvēks	1.8 m	116 m	142 m	215 m	23 m	26 m	31 m

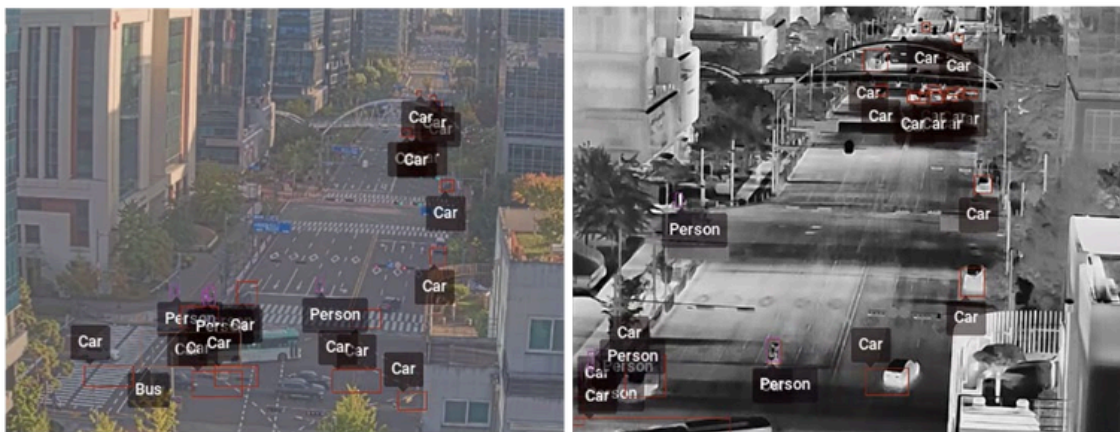
[5. tabula. Piemērs faktiskajam izmērītajam objekta noteikšanas diapazonam uz mākslīgā intelekta bāzes TNM C49x0TD(x=4,5,6)]

3.2.2. Uz mākslīgo intelektu balstītas objektu atklāšanas/klasifikācijas un IVA funkcijas termālās attēlveidošanas monitoringā



[13. attēls. Objekta noteikšana no redzamajiem un termālajiem attēliem]

14. attēlā parādīts uz mākslīgo intelektu balstīts objektu noteikšanas ekrāns, kas tika novērots, izmantojot divu sensoru kameru TNM C4960TD, kas uzstādīta uz ēkas jumta. Tas demonstrē objekta noteikšanas (OD) funkcijas pareizu darbību, kas balstīta uz mākslīgo intelektu redzamajā un termālajā attēlveidē. Šajā gadījumā atklāšanas diapazons attiecas uz 5. tabulā sniegtajām mērījumu vērtībām.



[14. attēls. VI noteikšanas funkcijas piemērs, izmantojot TNM-C4960TD]

3.2.3. Termālās attēlveidošanas monitoringa papildpakalpojumu sniegšana, izmantojot atbalstu nodošanas procesā

Detektēšanas gadījumā tā atbalsta pārslēgšanu uz PTZ kameru, lai atvieglotu precīzāku detektētā objekta identificēšanu. Turklāt, izmantojot nodošanas funkciju ar IP skaļruņiem, tā nodrošina tūlītēju trauksmes signālu par iebrucējiem.

3.2.4. Efektīvas un nepārtrauktas uzraudzības nodrošināšana, izmantojot divspektrālo kameru

Pat ar mākslīgā intelekta atbalstītajām termālās attēlveidošanas kamerām nav viegli noteikt konstatēto objektu iezīmes, līdzīgi kā ar redzamās gaismas kamerām. Lai gan attēla kvalitāte vājā apgaismojumā ir izcila, redzamās gaismas kameru darbību ierobežo tādi vides faktori kā nakts, migla vai dūmi. Divspektrālās kameras ir divu sensoru kameras, kurās apvienoti siltuma un redzamās gaismas sensori, lai kompensētu siltuma un redzamās gaismas kamerām raksturīgos ierobežojumus. Tas nodrošina efektīvu un nepārtrauktu videonovērošanu jebkurā vidē.

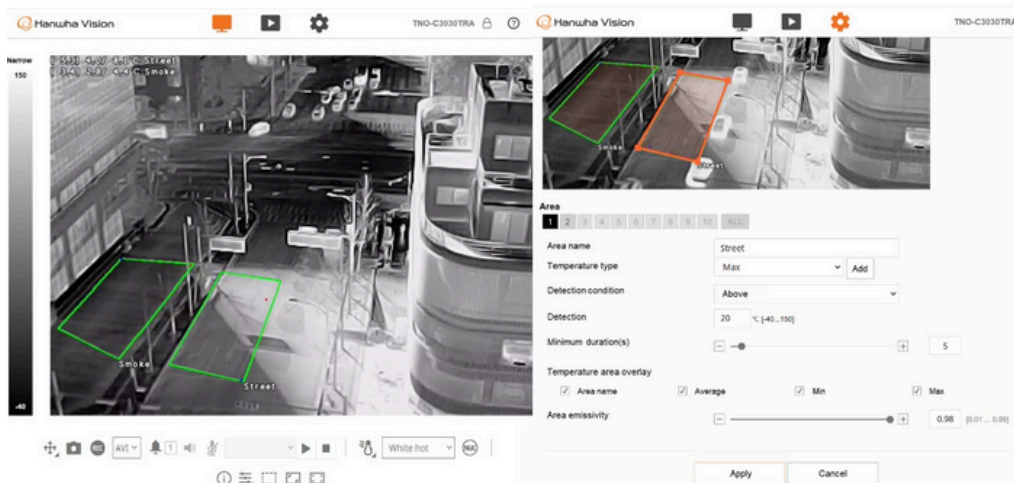
Kopīgi izmantojot metadatus starp redzamās gaismas un siltuma kanāliem, tas papildina abu veidu kameru ierobežojumus, ļaujot ātri noteikt un izprast situācijas uz vietas. 15. attēls piedāvā precīzāku situācijas izpratni pat sarežģītos laika apstākļos, piemēram, naktī, lietū, miglā, ugunsgrēkā vai dūmos, kad redzamība ir ierobežota.



[15. attēls. Redzamības atšķirība starp redzamo kameru (pa kreisi) un termokameru (pa labi) nakts vidē]

3.2.5. ROI/ vietas temperatūras monitoringa funkcija efektīvai telpu/iekārtu pārvaldībai

Daudzstūru interešu apgabalu (ROI) iestatīšanas funkcija temperatūras uzraudzībai var uzlabot temperatūras uzraudzībai nepieciešamo zonu efektīvu iestatīšanu. TNO-C30xyTDR modeļi (x=1,2,3, y=0,2) piedāvā iespēju konfigurēt līdz 10 ROI, bet citi modeļi atbalsta līdz 6 ROI. Var saņemt arī individuālus brīdinājumus, pamatojoties uz ROI noteiktajām temperatūras robežvērtībām. Tālāk 16. attēlā redzams ROI definēšanas piemērs, kas pielāgots dažādiem izmantošanas scenārijiem. Lietotāji var noteikt precīzus temperatūras noteikšanas diapazonus un nodot atbilstošās koordinātas, izmantojot pielāgojamus ugunsgrēka vai objektu uzraudzības iestatījumus.



[16. attēls. ROI iestatījuma piemērs]

Atbalsts tiek nodrošināts tūlītējai reakcijai, attēlojot reāllaika vidējo, maksimālo un minimālo temperatūru noteiktās ROI zonās, kā parādīts 17. attēlā, un nekavējoties informējot lietotājus, izmantojot brīdinājumus.



[17. attēls. Vidējās, maksimālās un minimālās temperatūras piemērs atkarībā no ROI apgabaliem]

Ja temperatūras uzraudzība ir nepieciešama konkrētās vietās ārpus iestatītā ROI, to var izdarīt, noklikšķinot ar peli uz vēlamās vietas, lai ar punkta rādītāja palīdzību pārbaudītu temperatūru konkrētajā vietā. Tālāk 18. attēlā ir parādīts piemērs, kā tiešraidē tiešajā uzraudzībā izmantot punkta rādītāju, lai pārbaudītu temperatūru konkrētā vietā.



[18. attēls. Temperatūras kontrole, izmantojot punkta rādītāju]

Izmantojot rokas termometrus temperatūras uzraudzībai bez apkalpes vai izkliedētās iekārtās, šajā procesā ir nepieciešami ievērojami ieguldījumi darbaspēkā, saistītās izmaksas un laiks, jo šīs ierīces var mērīt tikai vienā punktā vai ierobežotā zonā. Tomēr temperatūras monitoringa, izmantojot termālās attēlveidošanas kameras ar FPA (fokusa plaknes masīva) sensoriem, ļauj veikt monitoringu plašākā teritorijā, jo katrs sensora pikselis darbojas kā atsevišķs termometrs. Līdz ar to, izmantojot temperatūras novērošanai termokameras, iespējams efektīvi samazināt darbaspēku, ar to saistītās izmaksas un laiku.

Turklāt, ja izmantojat Hanwha Vision termokameras modeli, kas atbalsta MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokolu, varat arī konfigurēt temperatūras uzraudzības sistēmu, abonējot kameras publicēto temperatūras informāciju, izmantojot MQTT. MQTT ir viegls un elastīgs protokols, ko ir viegli ieviest, un tas piesaista uzmanību ar savu lielisko savietojamību ar citām IoT platformām vai lietojumprogrammām. MQTT nodrošina katra ROI apgabala maksimālo, minimālo un vidējo temperatūru un koordinātas, kā arī informāciju par temperatūras noteikšanas notikumu gadījumiem. Tālāk ir sniegta temperatūras un notikumu informācijas piemērs, kas publicēts, izmantojot MQTT saskaņā ar ONVIF notikumu standartu.

< Temperature Reading >

```
Topic: C3020TRA/onvif-  
ej/VideoAnalytics/Radiometry/BoxTemperatureReading/&VideoSourceToken- 0/  
VideoAnalyticsConfigToken-0/TemparetureDetectionModule-01
```

```
{  
  "UtcTime": "2024-01-17T06:29:13.480Z",  
  "Source": {  
    "VideoSourceToken": "VideoSourceToken-0",  
    "VideoAnalyticsConfigurationToken": "VideoAnalyticsConfigToken-  
    0", "AnalyticsModuleName": "TemparetureDetectionModule-01"  
  }, "Data":  
  {  
    "Reading": {  
      "BoxTemperatureReading":  
      { "@ItemID": "Z", "@MaxTemperature":  
        "324.4",  
        "@MaxTemperatureCoordinatesX": "28",  
        "@MaxTemperatureCoordinatesY":  
        "208", "@MinTemperature": "307.8",  
        "@MinTemperatureCoordinatesX": "227",  
        "@MinTemperatureCoordinatesY": "228",
```

```
"@AverageTemperature": "307.9"
}
}, "TimeStamp": "2024-01-
17T06:29:13.480Z"
}
}
```

< Temperature Detection >

```
Topic: C3020TRA/onvif-
ej/RuleEngine/Radiometry/TemperatureAlarm/&VideoSourceToken-
0/VideoAnalyticsConfigToken-0/AAAA/TemperatureDetection-A
```

```
{
  "UtcTime": "2024-01-17T06:38:47.958Z",
  "Source": {
    "VideoSource": "VideoSourceToken-0",
    "VideoAnalyticsConfigurationToken": "VideoAnalyticsConfigToken-
0", "Areamame": "AAAA", "RuleName": "TemperatureDetection-A"
  }, "Data":
  {
    "AlarmActive": "true", "TimeStamp":
    "2024-01-17T06:38:47.958Z"
  }
}
```

4. Apsvērumi, uzstādot un darbinot termālās attēlveidošanas kameru

4.1. Vispārīgi uzstādīšanas vides apsvērumi

Termiskās attēlveidošanas kameras iegūtie termo attēli šķiet skaidri, ja starp interesējošo objektu un tā apkārtējo vidi ir ievērojama temperatūras atšķirība. Ir grūti iegūt skaidrus termiskos attēlus, ja temperatūras kontrasts starp interesējošo objektu un to apkārtējo fonu nav būtisks. Tas ir līdzīgs situācijai, kas apgrūtina skaidru attēlu iegūšanu ar redzamu kameru vāja apgaismojuma apstākļos. 19. attēlā parādīti piemēri.



[19. attēls. Attēli, kad temperatūras starpība starp objektu un apkārtējo vidi nav būtiska

Termiskās attēlveidošanas kamera kā siltumenerģijas mērīšanas ierīce nodrošina siltuma attēlus un informāciju par temperatūru. Tomēr kameras attēlus vai temperatūras datus var izkropļot atmosfēras apstākļi, piemēram, siltuma avoti, konvekcija, mitrums, lietus, sniegs, sensora termiskā stabilizācija, kā arī apkārtējās vides temperatūra ap kameru un novērotais objekts.

Uzstādot termo attēlveidošanas kameru, jāņem vērā tās atšķirīgās attēlveidošanas īpašības, kas atšķiras no parasto redzamo kameru īpašībām. Piemēram, lai gan redzamās kameras var iegūt attēlus caur stikla logiem, termiskās attēlveidošanas kameras nevar iegūt termiskos attēlus caur stiklu termiskās atstarošanas dēļ. Pārbaugot viena materiāla tipa objektus, it īpaši metālu, var rasties būtiskas atšķirības termo attēlos pamatojoties uz objekta virsmas stāvokli, tostarp tādiem faktoriem kā gludums un korozijas līmenis.

Tāpēc vienmēr ir svarīgi apsvērt stabilas uzstādīšanas vietas, kas samazina vides ietekmi, nodrošina atbilstošu redzeslauku iespējamām temperatūras svārstībām starp objektu un tā apkārtni un ņem vērā novēroto objektu virsmas apstākļus.

4.2. Interesējošā reģiona iestatījumi

Definējot interesējošo reģionu, galvenais uzdevums ir novērst apkārtējo fonu vai nesaistītu objektu netīšu iekļaušanu. Tālāk 20. attēlā ir parādīts nepareizi konfigurēta interesējošā reģiona piemērs. Pārbaudot attēlā definēto reģionu, nav skaidrs, kura daļa ir paredzēta novērošanai, izmantojot šo iestatījumu. Turklāt debesu iekļaušana norādītajā interešu zonā var radīt neparedzētas temperatūras mērījumu vērtības.



[20. attēls. Piemērs, kad interesējošais reģions ir iestatīts nepareizi]

- Interesējošā reģiona lielums: skaidrāks termo attēls tiek iegūts, ja termiskās attēlveidošanas kamerās ir ievērojama temperatūras atšķirība starp interesējošo objektu un tā apkārtējo vidi. Tomēr, iestatot interesējošo reģionu pārāk mazu vai pārāk lielu, attēls var neatbilst paredzētajam mērķim. Ieteicams iestatīt interesējošā reģiona minimālo izmēru 50x50 vai lielāku, lai nodrošinātu, ka citi objekti to neaizsedz.

4.3. Emisija

Emisija attiecas uz materiāla virsmas izstarotā starojuma attiecību pret 'black body' emitēto starojumu tajā pašā temperatūrā. 'Black body' ir ideāls objekts, kas absorbē visus elektromagnētiskā starojuma gadījumus, kā arī vibrācijas frekvenci un krišanas leņķi. Komerčiāli ražotu 'Black body' izstarojuma koeficients parasti svārstās no 0,95 līdz 0,99 un tas ir būtisks aprīkojums, ko izmanto infrasarkano staru sensoru kalibrēšanai. Objekta izstarojuma koeficients ir mazāks par 1. 6. tabulā parādītas galveno materiālu emisijas vērtības.

Material	Emissivity
Asphalt	0.93
Charcoal	0.96
Cloth	0.95
Concrete	0.94
Food stuff	0.80 - 0.90
Graphite	0.97
Paints <small>(value may vary depending on color)</small>	0.90 - 0.96
Metals <small>(unoxidized)</small>	< 0.10
Oil paint <small>(value may vary depending on paint types)</small>	0.92 - 0.96
Plastics <small>(value may vary depending on surface finish and paint types)</small>	0.92 - 0.95
Porcelain	0.92
Rubber <small>(hard)</small>	0.94
Rubber <small>(soft)</small>	0.86
Skin <small>(human)</small>	0.98
Soil	0.93
Tape <small>(electrical)</small>	0.95 - 0.97
Tar paper	0.93
Textiles	0.94
Wood <small>(value may vary depending on wood type, finish and so on)</small>	0.90 - 0.95

[6. tabula. Emisija atkarībā no materiāliem]

Tālāk ir minēti mainīgie, kas ietekmē emisijas koeficientu un to izpratne ir ļoti svarīga, lai pareizi izmantotu, izprastu un analizētu termiskās attēlveidošanas kameras un termiskos attēlus (Avots: Michael Vollmer et al. 2010).

4.3.1. Materiāla veids

Ir svarīgi vienkāršot un klasificēt materiālus kā metālus un nemetālus. Lieto vai pulētu metālu virsmas ir grūti precīzi izmērīt to zemās emisijas spējas dēļ. Pulētu metālu emisijas vērtības parasti ir 0,2 vai mazākas, tāpēc to temperatūras mērīšana, izmantojot termiskās attēlveidošanas kameru, ir bezjēdzīga.

4.3.2. Materiāla veids

Pulētu metālu gadījumā, kā minēts iepriekš, to izstarojuma koeficients ir 0,2 vai mazāks. Tomēr, ja metāla virsma tiek pakļauta oksidācijai vai korozijai, tās emisijas koeficients var būt 0,8 vai augstāks. Leslija kubu parasti izmanto kā piemēru, lai ilustrētu emisijas atšķirību, pamatojoties uz virsmas struktūru. Šis kubs ir dobs vara kubs, kura katra virsma apstrādāta atšķirīgi. Katra skaldne, piepildīta ar karstu ūdeni un novērota ar termo kameru, uzrāda atšķirīgus infrasarkanā starojuma daudzumus. Tā kā termālās attēlveidošanas kameras pārvērš infrasarkanā starojuma daudzumu temperatūrā, ir ļoti svarīgi ņemt vērā emisijas koeficientu; pretējā gadījumā temperatūras mērījumi var būt neprecīzi.

Attēls Nr. 21 parādīta termisko atšķirību, kad izolācijas lente tiek ievietota parastās ūdens pudeles vidū un piepildīta ar karstu ūdeni. Sekcija ar izolācijas lenti uzrāda temperatūru par aptuveni 9 °C augstāku nekā sekcija bez.



[21. attēls. Termiskā attēla atšķirība atkarībā no izstarojuma, uzpildot karstu ūdeni pudelē]

4.3.3. Redzamības diapazons

Ja leņķis starp objektu un termiskās attēlveidošanas kameru svārstās no 0° līdz 85°, izmērot izstarojuma starpību, atklājas, ka diapazonā no 0° līdz 45° starojuma koeficients gandrīz nemainās. Citiem vārdiem sakot, emisijas koeficients šajā diapazonā paliek relatīvi nemainīgs. Tomēr ārpus šī leņķa, kad termiskās attēlveidošanas kamera skatās uz objektu no lielākiem leņķiem, izstarojuma vērtība samazinās, padarot precīzu mērījumu sarežģītu. Tāpēc, uzstādot termo attēlveidošanas kameru, ir ieteicams novietot redzes lauku un interesējošo apgabalu 45° vai mazākā leņķī.

4.3.4. Citi

Citi faktori, kas to ietekmē - materiāla temperatūras diapazons.

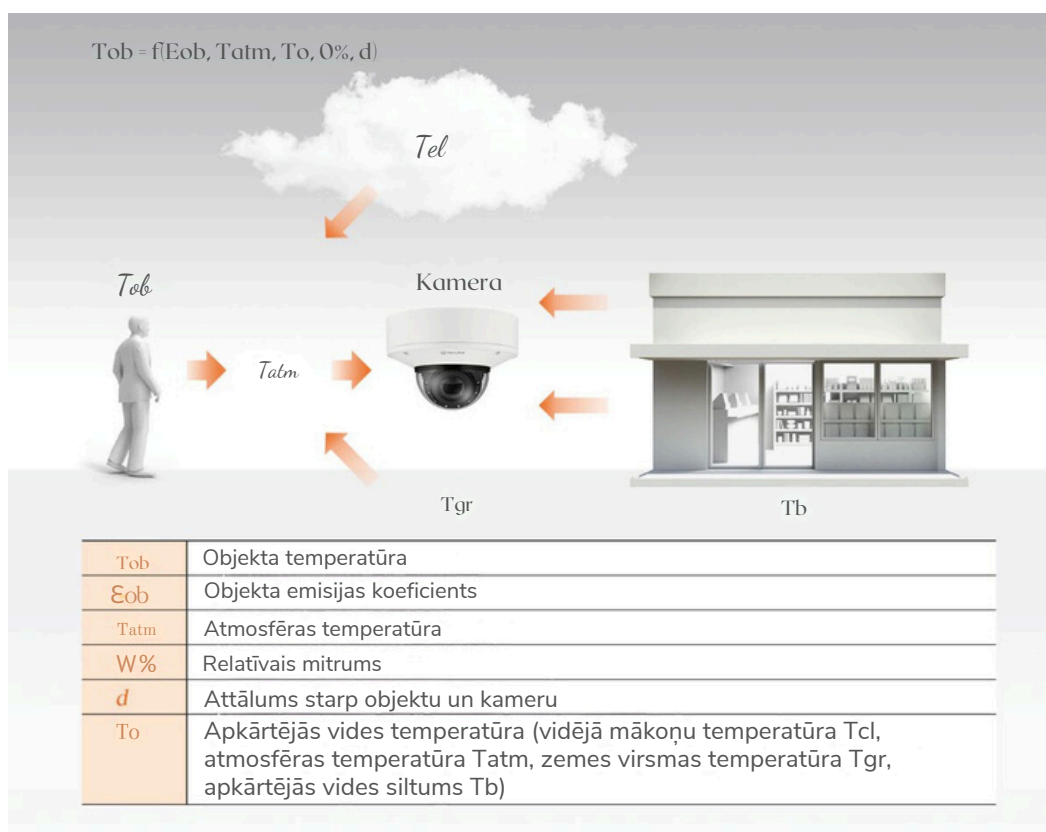
viļņu garuma diapazons (LW, MW, SW) un ģeometriskā forma. Tomēr šiem faktoriem standarta lietošanas apstākļos parasti ir mazāka nozīme.

4.4. Skata leņķis

Termo kameras nodrošina dažādus mērījumus atkarībā no leņķa, no kura objekts tiek novērots. Tāpēc uzstādīšanas laikā ir būtiski ņemt vērā termo kameras attēla veidošanas leņķi attiecībā uz objektu interesējošajā reģionā. Parasti tā jāuzstāda 45 grādu leņķī, un tā pamatojums ir izskaidrots 4.3.3. sadaļā par redzamības diapazonu.


4.5. Temperatūras precizitāti ietekmējošie faktori

Mēģinot izmērīt objekta temperatūru, izmantojot termo kameru, temperatūras mērījuma precizitāti ietekmē dažādi faktori, kā parādīts 22. Attēlā. Šie faktori ietver objekta izstarojošo spēju, apkārtējās vides temperatūru, apkārtējo temperatūru, relatīvo mitrumu un attālumu starp objektu un kameru, kas viss tiek izteikts kā funkcija (Avots: W. Minkina un D. Klecha, 2015).



[22. attēls. Temperatūras mērījumus ietekmējošie faktori]

Objekta izstarotais infrasarkanais starojums tiek absorbēts un izkliedēts, ejot cauri atmosfērai, un ūdens tvaikiem ($HH2O$), un oglekļa dioksīdam ($CCCC2$) atmosfērā ir vislielākā ietekme.



Tāpēc temperatūras mērījumu precizitāte, izmantojot termālās attēlveidošanas kameru, var atšķirties atkarībā no vides apstākļiem, kādos kamera darbojas. Lai termoattēlveidošanas kamera nodrošinātu precīzu veikspēju, tai ir jāņem vērā ne tikai minētie vides faktori. Precizitāti būtiski ietekmē arī tādi faktori kā kameras uzstādīšanas leņķis, novērojamā objekta materiāla izmaiņas un termiskās atstarošanas ietekme.

5. Atsauksmes

- N. Pinchon, M. Ibn-Khedher, O. Cassignol, A. Nicolas, F. Bernardin, P. Leduc, J-P. Tarel, R. Brémond, E. Bercier, G. Julien, "Visu laikapstākļu redzējums par automobiļu drošību: kāda spektra josla?", AMAA (Advanced Microsystems for Automotive Applications), 2018.
- Young Taek Jung, "Jaunākās tehnoloģiju tendences infrasarkanajos sensoros", 18. - 23. lpp., Hongneung Science Publishing House, 2014.
- J.L. Tissot, P. Robert, A. Durand, S. Tinnes, E. Bercier, and A. Crastes, "Neatdzēsētu infrasarkanu staru detektoru tehnoloģijas statuss ULIS, Francija", Defence Science Journal, Vol. 63. Nr. 6, 2013.
- Vladimirs I. Ovods, Kristofers R. Baksters, Marks A. Masijs, "Uzlabota attēlu apstrādes pakete uz FPGA bāzētai pārprogrammējamai miniatūrai elektronikai", SPIE, 2005.
- H. Budjē un G. Gerlahs, "Nedzesētu infrasarkanu kameru kalibrēšana", JSSS, 2015.
- Michael Vollmer, Klaus-Peter Moellman, "Infrasarkano staru termālās attēlveidošanas pamati, pētījumi un pielietojumi", WILEY, 2010.
- W. Minkina un D. Klecha, "Atmosfēras caurlaidības koeficienta modelēšana infrasarkanajā starā termovīzijas mērījumiem", JSSS, 2015.

Hanwha Vision Co., Ltd.

ALTAS IT, SIA - oficiālais Hanwha Vision distributor Baltijā.

- ▶ Brīvības gatve 221 - 1, Rīga, LV-1039
- ▶ +371 66 100 650
- ▶ info@altas.lv

Autortiesības © 2024 Hanwha Vision Co., Ltd. Visas tiesības aizsargātas.

