



Biała Księga

Kamera termowizyjna

19 marca 2024

1. Wstęp

1.1 Rola kamer termowizyjnych na rynku monitoringu wideo

1.2 Treści, które zostaną omówione

2. Zrozumienie czujników obrazu termicznego

2.1 Widmo podczerwieni i czujniki podczerwieni

2.2 Przetwarzanie obrazu przy użyciu czujnika termowizyjnego

2.2.1 Czujnik termowizyjny

2.2.2 Kamera termowizyjna wykorzystująca czujnik termowizyjny

2.3 Terminologia specyfikacji służąca do zrozumienia czujników termowizyjnych

3. Charakterystyka i rodzaje rozwiązań kamer termowizyjnych

3.1 Klasyfikacja kamer termowizyjnych

3.1.1 Modele wykrywania i wyświetlania temperatury

3.1.2 Modele z pojedynczym i podwójnym czujnikiem

3.2 Główne cechy kamer termowizyjnych

3.2.1 Odległość wykrywania-rozpoznawania-identyfikacji kamer termowizyjnych

3.2.2 Wykrywanie/klasyfikacja obiektów oparta na sztucznej inteligencji i funkcje IVA w monitorowaniu termowizyjnym

3.2.3 Świadczenie usług uzupełniających w zakresie monitoringu termowizyjnego poprzez wsparcie przekazania

3.2.4 Zapewnianie efektywnego i ciągłego monitoringu za pomocą kamery bispektralnej

3.2.5 Zapewnianie funkcji monitorowania ROI/temperatury punktowej w celu efektywnego zarządzania obiektem/sprzętem

4. Rozważania dotyczące instalacji i obsługi kamery termowizyjnej

4.1 Ogólne uwagi dotyczące środowiska instalacji

4.2 Ustawienie regionu zainteresowania

4.3 Emisyjność

4.3.1 Rodzaj materiału

4.3.2 Struktura powierzchni

4.3.3 Zasięg widoczności

4.3.4 Inni

4.4 Kąt widzenia

4.5 Czynniki wpływające na dokładność pomiaru temperatury

5. Odniesienia

1 Wstęp

1.1 Rola kamer termowizyjnych na rynku monitoringu wideo

Kamery rozwinęły się do tego stopnia, że ich wydajność przewyższa możliwości ludzkiego wzroku. Technologia kamer do monitoringu wideo nieustannie ewoluowała, umożliwiając obserwację z większą precyzją i zasięgiem, zgodnie z ich specjalistycznymi celami. Oprócz utrzymania stałej wydajności monitoringu wideo w różnych środowiskach i warunkach, ostatnie osiągnięcia łączą sztuczną inteligencję z analizą wideo, napędzając rynek w kierunku technologii, które oferują użytkownikom bardziej wydajne i znaczące informacje.

Ponadto kamery termowizyjne, tradycyjnie wykorzystywane w zastosowaniach wojskowych i specjalistycznych w środowiskach, w których nadzór jest wyzwaniem dla kamer optycznych, stopniowo umacniały swoją pozycję na ogólnym rynku zabezpieczeń wideo w ostatnich latach. Dzięki postępom w technologiach półprzewodnikowych i MEMS, obrazowanie termiczne doświadczyło szybkiego wzrostu od lat 2000., ponieważ postęp technologii czujników i przetwarzania obrazu uzupełniał wcześniej nieprzezwyciężalne wyzwania kamer termowizyjnych. Wraz z ciągłym rozwojem rynku zabezpieczeń wideo i wzrostem popytu na automatyzację przemysłową, w połączeniu z obecnymi okolicznościami, takimi jak pandemia COVID-19, przewiduje się, że popyt na kamery termowizyjne będzie rósł.

1.2 Treści, które zostaną objęte

Niniejszy dokument ma na celu zbadanie wykorzystania kamer termowizyjnych na rynku monitoringu wideo poprzez inspekcję i analizę obrazowania termicznego w oparciu o wyjaśnienie przetwarzania obrazowania termicznego przy użyciu czujników podczerwieni i podczerwieni. Ma on również na celu zagłębienie się w bardziej efektywne metody wykorzystania kamer termowizyjnych. Treść zostanie omówiona w szerokim podziale na trzy główne sekcje:

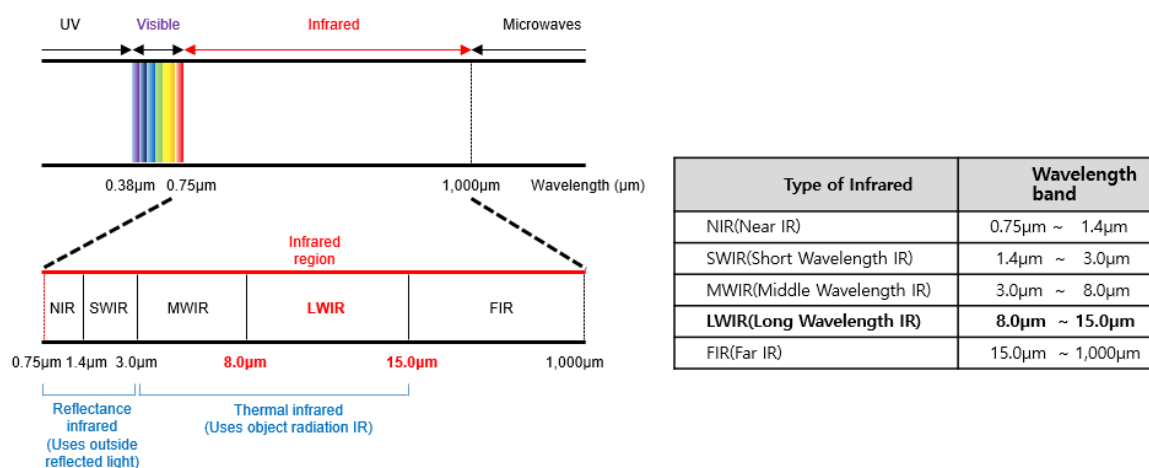
- ① Zrozumienie czujników obrazu termicznego
- ② Typy i funkcje rozwiązań kamer termowizyjnych
- ③ Rozważania dotyczące instalacji i obsługi kamery termowizyjnej

2 Zrozumienie czujników obrazu termicznego

2.1 Widmo podczerwieni i czujniki podczerwieni

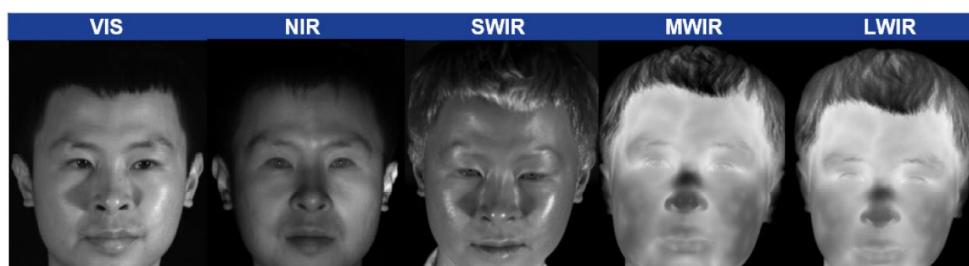
Obszar podczerwieni (IR) w widmie elektromagnetycznym obejmuje długości fal od 0,75 μm do 1000 μm , jak pokazano na rysunku 1. Promieniowanie podczerwone wykazuje odrębne cechy w tych zakresach długości fal, dlatego też jest klasyfikowane jako bliska podczerwień (NIR), podczerwień krótkofalowa (SWIR), podczerwień średnifalowa (MWIR), podczerwień długofalowa (LWIR) i daleka podczerwień (FIR). Chociaż kryteria klasyfikacji różnią się w zależności od organizacji, takich jak Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) i Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa (CIE), kryteria przedstawione na rysunku 1 są powszechnie stosowane.

Aplikacje wykorzystujące obszary NIR i SWIR wykorzystują głównie światło odbite od obiektów. Dlatego też są one określane jako odbita podczerwień (Reflected IR). Aplikacje wykorzystujące obszary MWIR i LWIR wykorzystują promieniowanie podczerwone emitowane przez obiekty. Dlatego MWIR i LWIR są również nazywane termiczną podczerwienią (Thermal IR).



[Rysunek 1. Obszar podczerwieni w fali elektromagnetycznej]

Rysunek 2 poniżej ilustruje różnice w obrazach obiektu uzyskanych przy użyciu światła widzialnego i podczerwieni. NIR i SWIR wykorzystują światło odbite podobnie do światła widzialnego, a obrazy wyglądają podobnie do obrazu widzialnego. Z kolei MWIR i LWIR, wykorzystujące promieniowanie podczerwone emitowane z obiektu, którym jest tutaj powierzchnia skóry, wykazują zauważalne różnice w stosunku do obrazu widzialnego. (Źródło: Shuowen Hu i in., 2017)



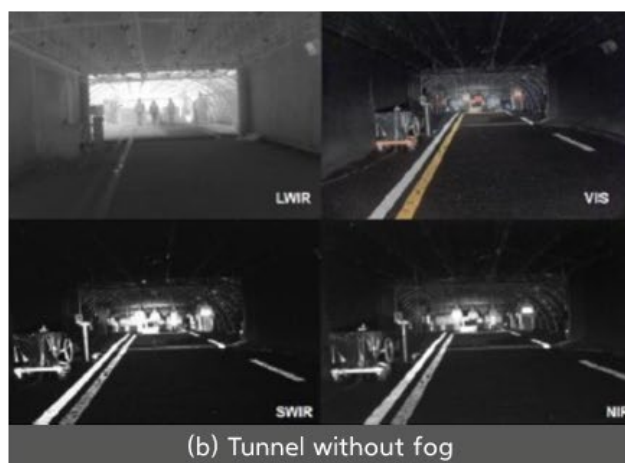
[Rysunek 2. Porównanie obrazu obiektu w świetle widzialnym i w podczerwieni]

Podobnie jak w przypadku obrazowania światłem widzialnym, kamery SWIR pozyskują obrazy za pomocą odbitego światła od obiektów. Ostatnia produkcja czujników wykorzystujących niechłodzone metody z półprzewodnikowym materiałem InGaAs sugeruje przewidywaną redukcję kosztów czujników. Jednak kamery SWIR pozostają stosunkowo drogie w porównaniu do czujników MWIR i LWIR. Kamery SWIR mają tę zaletę, że pozyskują obrazy w ciągu dnia i w rozgwieżdżone noce, a także mogą przenikać przez szkło i chmury, aby uzyskać obrazy. Kamery SWIR są używane do identyfikacji i sortowania produktów rolnych, inspekcji płytek elektronicznych, badania paneli słonecznych i środków zapobiegających fałszerstwom.

Kamery MWIR, podobnie jak kamery LWIR, pozyskują obrazy za pomocą promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty. W porównaniu do SWIR, MWIR jest mniej podatny na rozpraszanie w atmosferze, doświadczając mniejszego wpływu dymu, pyłu lub mgły. Oprócz celów wojskowych, kamery MWIR są używane do wykrywania określonych gazów, takich jak metan, propan, etanol i sześćfluorek siarki.

Kamery LWIR, podobnie jak kamery MWIR, pozyskują obrazy za pomocą promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty. Kamery LWIR są najczęściej używane jako wizualne systemy nadzoru bezpieczeństwa. Wynika to nie tylko z niższych kosztów w porównaniu z innymi czujnikami podczerwieni, wynikających z postępu technologii produkcyjnych wykorzystujących materiały termiczne, takie jak tlenek wanadu (VOx) lub krzem amorficzny (α -Si) w produkcji MEMS, a także z powszechnego stosowania technologii czujników niechłodzonych. Ponadto kamery LWIR wykazują wyższą wydajność w wymagających warunkach dla kamer światła widzialnego, w tym w scenariuszach o niskim poziomie oświetlenia i środowiskach dotkniętych dymem, mgłą, kurzem, deszczem i ograniczoną widocznością.

Rysunek 3 poniżej porównuje obrazy uzyskane za pomocą światła widzialnego, NIR, SWIR i LWIR w różnych warunkach. W warunkach światła dziennego (rysunek a) obrazy ze światła widzialnego, NIR i SWIR wykazują doskonałość w porównaniu z obrazowaniem LWIR. Jednak w ciemnych tunelach (rysunek b) lub w sytuacjach z gęstą mgłą i mocnym reflektorem pojazdu (rysunek c) obrazowanie LWIR wykazuje najwyższą jakość. Rysunek b pokazuje, że wykrywanie pieszych w całkowicie ciemnym otoczeniu jest możliwe wyłącznie za pomocą kamer LWIR. Podobnie, jak pokazano na rysunku c, gdy reflektory pojazdu są włączone w środowisku gęstej mgły, wykrywanie pieszych bez ich pomijania jest możliwe za pomocą kamery LWIR (źródło: N. Pinchon i in. 2018).



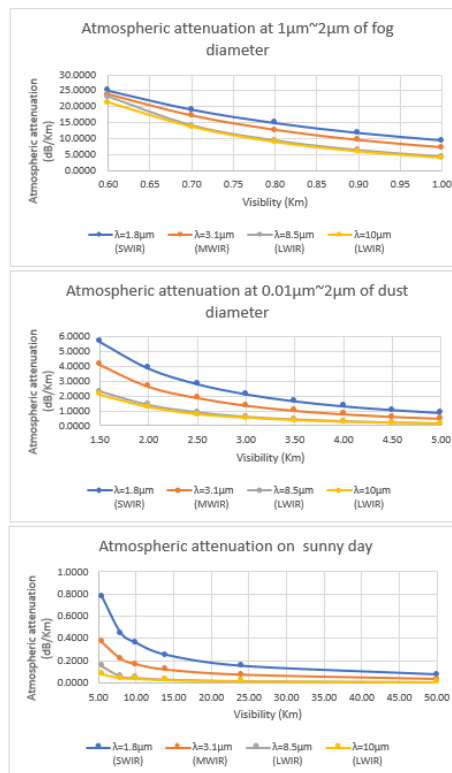
[Rysunek 3. Porównanie obrazów w różnych warunkach]

Tabela przedstawia powierzchniowe charakterystyki kamer LWIR w porównaniu z innymi kamerami spektralnymi w takich warunkach jak mgła/dym/kurz. Tabela 1 przedstawia współczynnik tłumienia długości fal za pomocą wzoru empirycznego w zależności od warunków atmosferycznych. Gdy średnica mgły mieści się w zakresie od $10\text{ }\mu\text{m}$ do $20\text{ }\mu\text{m}$, kamery LWIR wykazują podobne charakterystyki tłumienia

do innych kamer, co utrudnia uzyskanie wyraźnych obrazów nawet przy użyciu kamer LWIR. Jednak kamery LWIR są mniej podatne na mgłę o mniejszej średnicy lub pył cząsteczkowy w warunkach atmosferycznych, co pozwala na uzyskanie wyraźnych obrazów w porównaniu z innymi kamerami na podczerwień (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	
60.00	0.0420	0.0170	0.0035	0.0027	

[Tabela 1. Współczynnik tłumienia w zależności od warunków atmosferycznych]



2.2 Przetwarzanie obrazu przy użyciu czujnika termowizyjnego

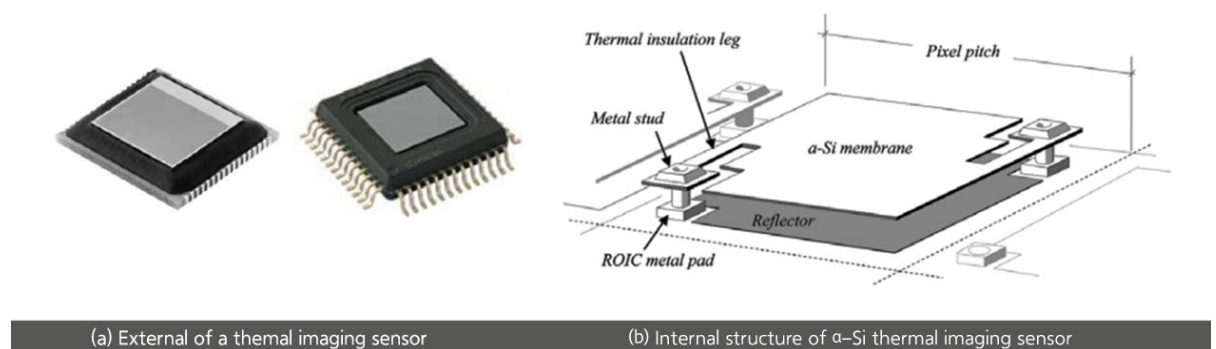
W naszej wcześniejszej dyskusji przeanalizowaliśmy charakterystykę trzech typów kamer podczerwonych: SWIR, MWIR i LWIR. Wyjaśniliśmy, dlaczego długości fal LWIR są powszechnie stosowane w kamerach monitorujących do ochrony obrazu. Od tego momentu będziemy nazywać mikrobolometryczne czujniki termiczne wykrywające sygnały podczerwone w widmie LWIR „czujnikami termowizyjnymi”, a kamery wykorzystujące je „kamerami termowizyjnymi”.

2.2.1 Czujnik termowizyjny

Obiekty o temperaturze wyższej niż temperatura bezwzględna 0K (Kelwinów) emitują energię w postaci promieniowania podczerwonego. Pomiar podczerwieni oznacza pomiar energii promieniowania obiektu, coś podobnego do pomiaru jego temperatury. Czujniki umożliwiające pomiar podczerwieni można podzielić na dwa typy: czujniki kwantowe wykorzystujące materiały półprzewodnikowe i czujniki termiczne wykorzystujące materiały nie-półprzewodnikowe. Ta sekcja koncentruje się na

czujniki bolometru, rodzaj czujnika termicznego używanego głównie w nadzorze bezpieczeństwa obrazu wśród różnych czujników podczerwieni. Termin „bolometr” pochodzi od greckich słów „bolo”, oznaczającego promień i „metr”, oznaczającego pomiar, ucieleśniających istotę pomiaru podczerwieni — bolometry działają w oparciu o zmianę rezystancji wewnętrznej, gdy intensywność podczerwieni lub narażenie na zmiany temperatury ulegają zmianie. Stąd wydajność czujników obrazowania termicznego jest określana przez wydajność i charakterystykę dwóch procesów: wzrostu temperatury spowodowanego padającym promieniowaniem podczerwonym i zmian elektrycznych wynikających ze zmian temperatury. Wraz z rozwojem procesów MEM, mikrobolometry o wysokiej rozdzielczości były używane w ogólnych kamerach termowizyjnych.

Rysunek 4 przedstawia widok struktury wewnętrzno-zewnętrznej czujnika termowizyjnego typu mikrobolometru (źródło: JL Tissot i in. 2013).



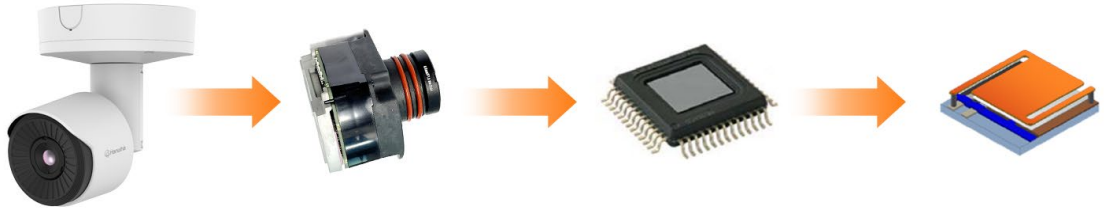
[Rysunek 4. Wygląd zewnętrzny i struktura czujnika termowizyjnego]

Gdy promieniowanie podczerwone uderza w bolometr, pochłania je, powodując wzrost temperatury rezystora izolowanej termicznie membrany. Zmiana temperatury w rezystorze zmienia się w zależności od ilości pochłoniętego promieniowania podczerwonego. Współczynnik wypełnienia to obszar piksela używany do pochłaniania padającego promieniowania podczerwonego, zwykle mający około 80% współczynnika wypełnienia na piksel. Aby zwiększyć absorpcję promieniowania podczerwonego LWIR, między membraną a reflektorem wykorzystano wnękę rezonansową $\lambda/4$. Nogi izolacji termicznej, wykonane z materiałów o niskiej przewodności cieplnej, zaprojektowano tak, aby zminimalizować wpływ temperatury otoczenia na bolometr. Nogi te łączą matrycę płaszczyzny ogniskowej (FPA) z układem scalonym odczytu (ROIC) i regulują szerokość szczeliny między membraną a reflektorem. ROIC, działając jako multiplekser, łączy się z czujnikiem FPA, odczytuje wyjścia elektryczne z indywidualnych zmian rezystancji i wzmacnia małe sygnały do mierzalnych napięć o wysokiej wydajności.

2.2.2 Kamera termowizyjna wykorzystująca czujnik termowizyjny

Na rysunku 5 przedstawiono strukturę ogólnej kamery termowizyjnej wykorzystującej czujnik termowizyjny. Kamery termowizyjne można podzielić

do modułów detektora i sprzętu.



[Rysunek 5. Struktura kamery termowizyjnej]

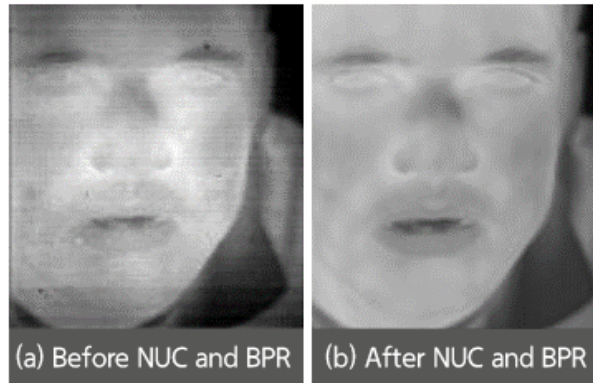
Detektor składa się z soczewki optycznej i czujnika, który wykrywa intensywne promieniowanie podczerwone, wytwarzając odpowiednie sygnały elektryczne. Soczewki zazwyczaj wykorzystują german (Ge) w kamerach termowizyjnych, aby ułatwić wydajną transmisję podczerwieni. Segment modułu HW składa się z komponentów zdolnych do przetwarzania sygnałów elektrycznych wejściowych z detektora, takich jak jednostka przetwarzania obrazu (wykorzystująca FPGA lub DSP), jednostka wyjściowa obrazu i obwody zasilania. W jednostce przetwarzania obrazu zaimplementowano różne techniki przetwarzania obrazu, aby renderować obrazy termiczne z większą przejrzystością.

W przeciwieństwie do czujników CMOS, jednym z istotnych etapów przetwarzania obrazu w czujnikach termograficznych jest Non-Uniformity Correction (NUC). Struktura FPA czujników termograficznych napotyka problemy z nierównomiernością z powodu następujących trzech czynników:

- ① Nieliniowe charakterystyki każdego piksela w odniesieniu do intensywności promieniowania podczerwonego
- ② Nierównomierne charakterystyki wzmocnienia pikseli i wartości przesunięcia
- ③ Nieliniowe zmiany wartości przesunięcia w czasie i przestrzeni instalacji

Rozwiązanie tych problemów wymaga przeprowadzenia procesu NUC.

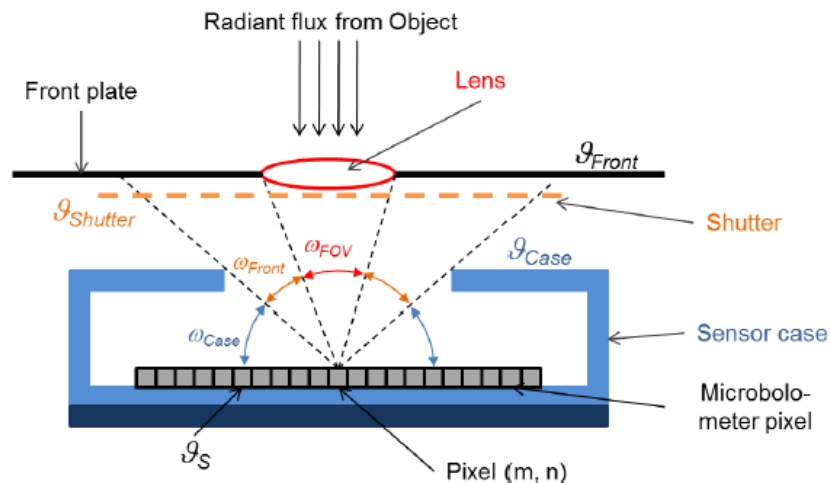
Rysunek 6 pokazuje konieczność procesu NUC poprzez porównanie obrazów przed i po NUC. Jeśli różnice między pikselami nie zostaną skorygowane poprzez proces NUC, jak pokazano w (a), widoczny staje się stały szum wzorcowy (FPN), co skutkuje niewyraźnymi obrazami. Jednak wysokiej jakości obrazy można uzyskać po procesie NUC, jak pokazano w (b) (Źródło: Vladimir I. Ovod i in. 2005).



- NUC(Non-Uniformity Correction)
- BPR(Bad Pixel Replacement)

[Rysunek 6. Obraz porównawczy przed i po NUC]

Aby zrozumieć procesy NUC, konieczne jest zrozumienie detektora kamery termowizyjnej. Rysunek 7 przedstawia krótką strukturę detektora.



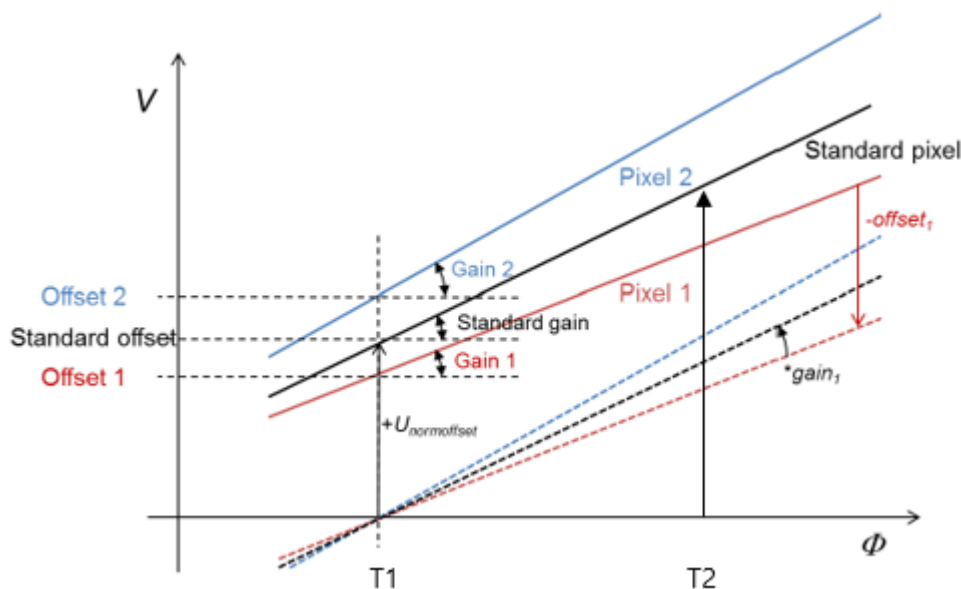
[Rysunek 7. Budowa detektora kamery termowizyjnej]

Jak pokazano na powyższym rysunku, piksele czujnika odbierają promieniowanie podczerwone z różnych źródeł: emitowane przez obiekt, przednią obudowę, migawkę, obudowę otaczającą czujnik i sam czujnik. Poniższą metodę można zastosować do pomiaru ilości promieniowania podczerwonego emitowanego wyłącznie przez obiekt.

Wyjście czujnika reaguje na padające promieniowanie podczerwone i zmienia swoją temperaturę. Dlatego gdy czujnik utrzymuje stałą temperaturę (równowagę termiczną), wszelkie zmiany w jego wyjściu odzwierciedlają wyłącznie zmiany w padającym promieniowaniu podczerwonym. Aby to osiągnąć, należy najpierw ustabilizować temperaturę czujnika. Następnie, poprzez sekwencyjną regulację temperatur dwóch obiektów, T_1 i T_2 (gdzie $T_1 < T_2$), przechwytywanie obrazów i rejestrowanie wartości wyjściowych czujnika, możemy wyizolować ilość podczerwieni

emitowane przez sam obiekt. Odjęcie wartości wyjściowej w T1 od wartości w T2 usuwa wpływ innych źródeł podczerwieni, ujawniając konkretną ilość podczerwieni emitowaną przez obiekt. Ten proces umożliwia określenie 2-punktowego wzmocnienia i przesunięcia NUC, co jest kluczowe dla korygowania różnic między pikselami w strukturze FPA czujnika termowizyjnego.

Rysunek 8 ilustruje proces określania wzmocnienia i przesunięcia dla dwóch pikseli, 1 i 2, aby wykazać cechy krzywej standardowej. Po ustawieniu temperatury ciała doskonale czarnego na T1 i T2, obliczana jest średnia wartość dla wszystkich pikseli, ustanawiając ją jako krzywą standardową. Następnie, poprzez obliczenia, wzmocnienie i przesunięcie dla każdego piksela są dostosowywane, aby wyrównać ich wartości z cechami tej krzywej standardowej. Ta procedura pozwala pikselom, które początkowo wykazują wyraźne różnice, wykazać spójny wynik przypominający krzywą standardową (Źródło: H. Budzier i G. Gerlach, 2015).



[Rysunek 8. Schemat uzyskiwania 2-punktowego wzmocnienia i przesunięcia NUC]

2.3 Terminologia specyfikacji służąca do zrozumienia czujników termowizyjnych

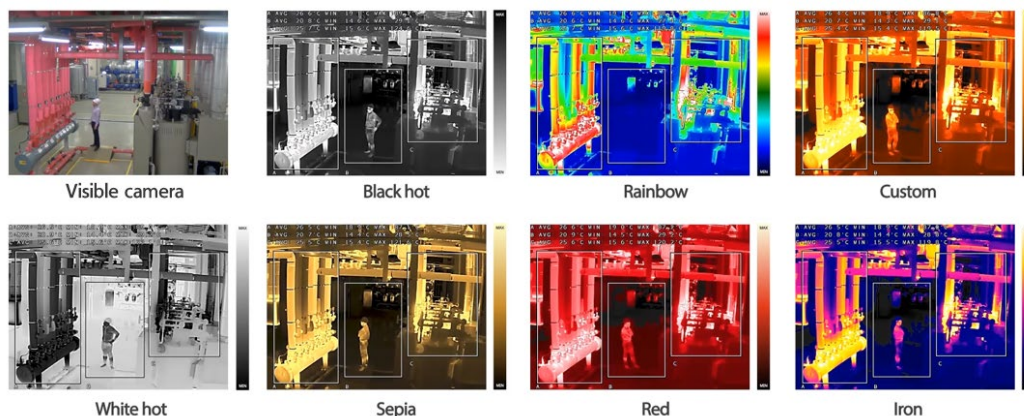
- Odstęp pikseli: Reprezentuje rozmiar każdego piksela tworzącego matrycę płaszczyzny ogniskowej (FPA) czujnika termowizyjnego. W kamerach termowizyjnych odstęp pikseli powszechnie stosowany w czujnikach termicznych wynosi zazwyczaj 17 μm lub 12 μm .
- Odpowiedź widmowa: Wskazuje zakres długości fal elektromagnetycznych, na które reaguje czujnik termowizyjny. W przypadku czujników termowizyjnych stosowanych głównie w kamerach termowizyjnych zakres długości fal wynosi zwykle od 8 μm do 14 μm .

- **Rozdzielczość:** Rozdzielczość wskazuje, jak dokładnie obraz przetworzony przez czujnik termowizyjny może zostać podzielony na mniejsze jednostki znane jako piksele. Typowe rozdzielczości kamer termowizyjnych używanych do ochrony obrazu to zazwyczaj QVGA (320x240) lub VGA (640x480). Ostatnio na rynku pojawił się rosnący trend na kamery termowizyjne o rozdzielczościach XGA (1024x768) i SXGA (1280x1024).
- **NETD (Noise Equivalent Temperature Difference):** Oznacza rozdzielczość temperaturową czujnika termowizyjnego. Biorąc pod uwagę szum, oznacza to minimalną różnicę temperatur, jaką kamera może rozróżnić. Mniejsza wartość oznacza lepszą rozdzielczość temperaturową, podczas gdy większa wartość oznacza gorszą rozdzielczość temperaturową.
- **NEDT (różnicowa temperatura równoważna szumowi):** Ta sama terminologia dotyczy NETD
- **NUC (Non-Uniformity Correction):** Korekta to proces eliminowania różnic wyjściowych między pikselami w obrębie czujnika termowizyjnego typu FPA w celu uzyskania spójnych charakterystyk wyjściowych. Zazwyczaj liniowe metody korekcji są stosowane przy użyciu jednego punktu odniesienia lub dwóch punktów odniesienia. Ta korekta zapewnia, że każdy piksel jest dostosowywany do identycznego wzmocnienia i przesunięcia, co skutkuje obrazami wysokiej jakości.
- **2-punktowy NUC:** 2-punktowy NUC to metoda korygowania rozbieżności między pikselami przy użyciu dwóch temperatur odniesienia. Podczas fazy produkcji kamer termowizyjnych korekcja ta jest wykonywana przy użyciu dwóch punktów odniesienia ciała czarnego. Wartości korekcji uzyskane podczas tego procesu są przechowywane w pamięci i stosowane podczas działania kamery.
- **1-punktowy NUC:** Metoda NUC wykorzystuje jedną temperaturę odniesienia do korygowania różnic między pikselami. Migawka zainstalowana przed obiektywem jest temperaturą odniesienia. Aby wykonać 1-punktowy NUC, migawka jest zamykana, a regulacja przesunięcia dla każdego piksela opiera się na temperaturze wykrytej na powierzchni migawki. Podczas zamykania migawki uzyskany obraz odpowiada momentowi tuż przed zamknięciem migawki, co powoduje wadę przerywanego ciągłego wyjścia obrazu. Jednak w celu uzyskania wysokiej jakości obrazów odzwierciedlających zmiany temperatury w czasie rzeczywistym w miejscu, w którym znajduje się kamera termowizyjna, konieczne jest 1-punktowe NUC.
- **Cykl NUC:** 2-punktowy NUC jest wykonywany w trakcie procesów produkcyjnych, a jego wartości wynikowe (wzmocnienie i przesunięcie) są przechowywane w pamięci, wymagając wykonania tylko raz. Z drugiej strony 1-punktowy NUC jest przeprowadzany regularnie, aby odpowiednio uwzględnić wahania temperatury w pobliżu zainstalowanej kamery termowizyjnej. W środowiskach o minimalnych wahaniami temperatury wokół działającej kamery termowizyjnej częstotliwość wykonywania 1-punktowego NUC może zostać zwiększona. W ramach ustawień kamery termowizyjnej

W menu znajduje się opcja umożliwiająca dostosowanie częstotliwości 1-punktowego NUC do konkretnych wymagań.

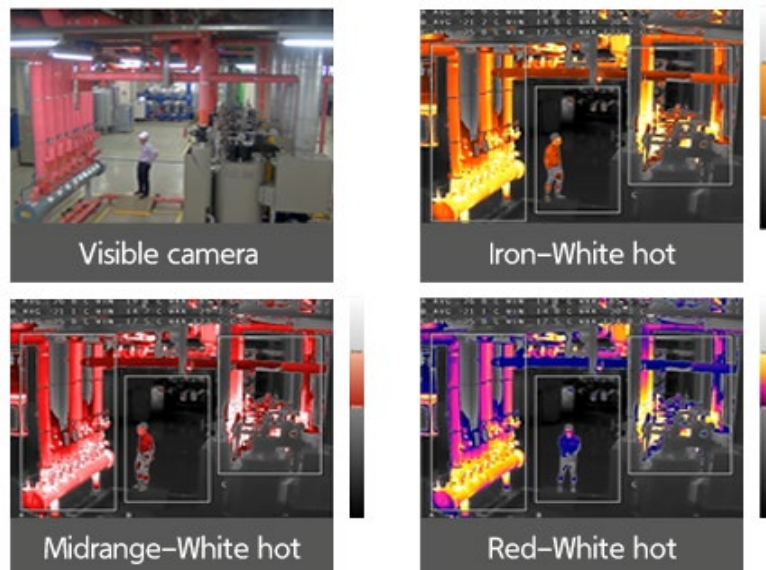
- **Martwy piksel:** znany również jako „zły piksel”, martwy piksel odnosi się do piksela w matrycy płaszczyzny ogniskowej (FPA), który reaguje inaczej niż średnie charakterystyki wyjściowe innych pikseli. Kryteria identyfikacji martwych pikseli mogą się różnić w zależności od producenta. Biorąc pod uwagę nieuniknioną obecność martwych pikseli w czujnikach obrazowania termicznego o strukturze FPA podczas produkcji, producenci czujników termicznych dostarczają specyfikacje, które obejmują współrzędne martwych pikseli po dostarczeniu czujnika termicznego. Te znane martwe piksele, zidentyfikowane podczas fazy produkcyjnej kamery termowizyjnej, są korygowane za pomocą technik przetwarzania obrazu w celu zapewnienia normalnego wyjścia obrazowania termicznego. Po dostarczeniu wszelkie martwe piksele, które występują podczas użytkowania, są monitorowane w czasie rzeczywistym podczas procesu 1-Point NUC i korygowane w celu zapewnienia, że nie wpływają na obrazy termiczne.
- **Palety kolorów:** Promieniowanie podczerwone otrzymane przez czujnik termowizyjny z obiektu może być reprezentowane w różnych kolorach zgodnie z wewnętrznym przetwarzaniem obrazu, co umożliwia dostosowaną wizualizację. W zależności od środowiska system obsługuje wybór pożądanых palet kolorów, aby ułatwić optymalny nadzór obrazu. Należy jednak pamiętać, że kolory i typy palety kolorów podlegają modyfikacji lub dodawaniu bez wcześniejszego powiadomienia.

Rysunek 9 przedstawia wszystkie rodzaje domyślnych trybów palet.



[Rysunek 9. Domyślne tryby palety kolorów]

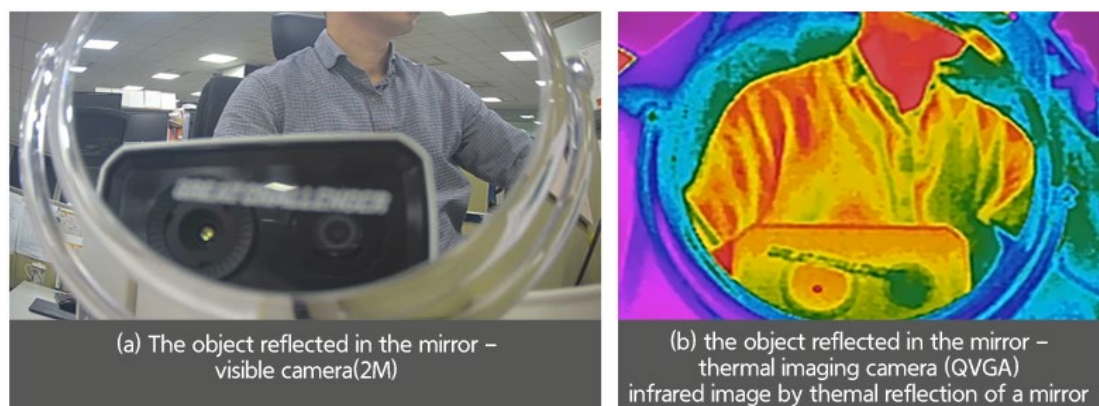
Rysunek 10 ilustruje przykład konfiguracji hybrydowej palety. Hybrydowa paleta jest przydatną funkcją do efektywnego monitorowania, podkreślając obiekty w określonych zakresach temperatur poprzez przypisywanie kolorów tylko do obiektów w pożądanym zakresie temperatur. Rysunek 10 pokazuje, że obiekty mieszczące się w określonym zakresie temperatur są wyświetlane zgodnie z wybranym typem konfiguracji hybrydowej palety.



[Rysunek 10. Tryby palet hybrydowych]

- Odbicie promieniowania podczerwonego występuje łatwo na szkłe, metalu lub gładkich powierzchniach z powodu źródeł ciepła otoczenia. To odbicie termiczne jest czynnikiem, który wymaga uwagi przy interpretacji obrazowania termicznego w podczerwieni.

Rysunek 11 ilustruje, jak wygląda obrazowanie termiczne w podczerwieni z powodu odbicia ciepłego. Poniższe obrazy pokazują rzeczywisty obraz (a) i obraz termiczny (b) obiektu odbitego w lustrze, uzyskane po podobnym dostosowaniu kąta widzenia. W (b) widać, że lustro odbija promieniowanie podczerwone emitowane przez obiekt.



[Rysunek 11. Obrazy termiczne w podczerwieni uzyskane metodą odbicia ciepłego]

W rzeczywistej analizie obrazu termicznego niezwykle istotne jest, aby nie interpretować go jako rzeczywistych źródeł ciepła na podstawie odbić ciepłych.

- Czas stabilizacji: Na wynik czujnika termowizyjnego wpływa zarówno intensywność przychodzącego promieniowania podczerwonego, jak i jego temperatura wewnętrzna.

W związku z tym kamery termowizyjne potrzebują czasu na stabilizację po włączeniu zasilania, co pozwala czujnikowi osiągnąć równowagę termiczną. Podczas tego okresu stabilizacji 1-Point NUC z użyciem migawki jest wykonywany częściej, aby prawidłowo skalibrować czujnik. W związku z tym pomiary temperatury lub operacje wykrywania mogą nie być dokładne, dopóki czujnik termiczny nie osiągnie stabilności. Czas potrzebny na stabilizację waha się w zależności od warunków temperatury otoczenia kamery termowizyjnej, zwykle średnio około 30 minut.

- IFoV: Skrót od „Instantaneous Field of View” (natychmiastowe pole widzenia). IFoV oznacza rozdzielczość przestrzenną kamery termowizyjnej. Podczas gdy FoV reprezentuje całkowity obszar obrazu wykryty na podstawie pola widzenia układu optycznego w kamerze termowizyjnej, IFoV oznacza stopień, w jakim pojedynczy piksel czujnika termowizyjnego geometrycznie rozdziela lub obserwuje cel w polu widzenia (FoV) i może wykryć temperaturę. Mówiąc prościej, IFoV to najmniejszy rozmiar celu, jaki kamera termowizyjna może zidentyfikować przy danym obiektywie, rozmiarze czujnika i warunkach odległości. Jest wyrażany w miliradianach, a wraz ze zwięźaniem się kąta widzenia i wzrostem rozdzielczości kamery wartość IFoV maleje. IFoV jest zazwyczaj obliczane przy użyciu następujących dwóch równań.

$$\textcircled{1} \text{ IFoV(mRad)} = [\text{rozstaw pikseli (mm)}] / \text{ogniskowa obiektywu (mm)} \times 1000$$

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

Na przykład w przypadku kamery termowizyjnej o odstępach pikseli 17 μm i ogniskowej 4,4 mm, IFoV wynosi 3,9 mRad. Oznacza to, że w odległości 1 metra najmniejszym rozmiarem obiektu, który można zmierzyć pod kątem temperatury za pomocą jednego piksela, jest kwadrat o bokach 3,9 mm. W odległości 10 metrów minimalny rozmiar staje się kwadratem o bokach 39 mm.

Jednakże jest to teoretyczna wartość minimalna. Podczas korzystania z kamery termowizyjnej do pomiaru temperatury, zaleca się rozważenie czynników praktycznych, takich jak martwe piksele na czujniku i odbicia termiczne w pobliżu celu. Dlatego zaleca się rozważenie minimum 3x3 pikseli w praktycznych scenariuszach, biorąc pod uwagę rozmiar celu i odległość wykrywania podczas wybierania odpowiedniej kamery.

- SSR (Spot Size Ratio): Aby zmierzyć temperaturę obiektu za pomocą kamery termowizyjnej, konieczne jest rozważenie rozmiaru obiektu i odległości wykrywania. Teoretycznie pomiar temperatury staje się wykonalny, jeśli obiekt jest mapowany na pojedynczy piksel czujnika termowizyjnego. Jednak poleganie wyłącznie na wartości pojedynczego piksela w celu zmierzenia temperatury obiektu może prowadzić do błędnej interpretacji. Dlatego pomiar temperatury jest przeprowadzany w praktyce, ponieważ obiekt odpowiada pikselom 3x3.

$$SSR = \text{Odległość wykrywania (m)} / (\text{IFOV} \times 3)$$

Zależność między odległością, z jakiej obiekt o wielkości 1 metra jest mapowany na 3x3 piksele czujnika termowizyjnego, została zilustrowana w tabeli 2 w następujący sposób.

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)
Model name	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) ^(Uwaga 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) ^(Uwaga 2)	4.091	4.091	2.727	1.325	0.873	1.364	2.727
SSR	81	81	122	252	382	244	122

[Tabela 2. Obliczona wartość SSR kamer termowizyjnych]

Na przykład, używając TNO-C3030TRA, jeśli temperatura obiektu o długości 1 metra musi zostać zmierzona, powinna ona mieścić się w granicach 190 metrów, aby można było zmierzyć temperaturę obiektu. Wykorzystując tę zależność, aby zmierzyć temperaturę obiektu o długości 2 metrów, musi on mieścić się w granicach 380 metrów, aby temperatura obiektu była mierzalna.

Jednak przy użyciu kamery termowizyjnej SSR oznacza teoretycznie obliczoną maksymalną odległość do pomiaru temperatury. Ważne jest uwzględnienie czynników środowiskowych (temperatury otoczenia, temperatury, wilgotności względnej itp.), emisyjności obiektu, kątów instalacji kamery itp., ponieważ mogą one mieć wpływ na odległość pomiaru.

3 Charakterystyka i rodzaje rozwiązań kamer termowizyjnych

Hanwha Vision opracowała zróżnicowaną linię wielu modeli kamer termowizyjnych o różnych rozdzielczościach i formach, aby zapewnić klientom kamery termowizyjne dostosowane do ich potrzeb. Rysunek 12 przedstawia obrazy niektórych obecnie wydanych modeli kamer termowizyjnych Hanwha Vision.

(Uwaga 1) IFOV(mRad) = [rozstaw pikseli (mm)] / ogniskowa obiektywu (mm) x 1000, przy użyciu reguł relacji

(Uwaga 2) IFOV(mRad) = FOV(stopnie) / Liczba pikseli x (π/180) x 1000, przy użyciu reguł relacji



[Rysunek 12. Model kamery termowizyjnej Hanwha Vision]

3.1 Klasyfikacja kamer termowizyjnych

3.1.1 Modele wykrywania i wyświetlania temperatury

Kamery termowizyjne są generalnie podzielone na dwa główne typy: modele wykrywania temperatury i modele wyświetlania temperatury, znane jako modele kamer radiometrycznych. Oba wykonują wewnętrzny proces, który obejmuje pomiar pochłoniętego promieniowania podczerwonego i konwersję go na dane dotyczące temperatury. Jednak modele wykrywania temperatury nie pokazują bezpośrednio zmierzonej temperatury użytkownikowi; zamiast tego wskazują zmiany w określonym obszarze zainteresowania. Użytkownicy mogą skonfigurować wyzwalacze alarmów na podstawie maksymalnej, minimalnej lub średniej temperatury obszaru. Natomiast modele wyświetlania temperatury wykonują wykrywanie temperatury i prezentują przekonwertowane wartości temperatury bezpośrednio użytkownikowi do obserwacji.

3.1.2 Modele z pojedynczym i podwójnym czujnikiem

Kamery termowizyjne zostały zaprojektowane tak, aby przezwyciężyć ograniczenia kamer widzialnych w trudnych warunkach, takich jak mgła, dym, kurz, deszcz, śnieg lub słabe oświetlenie, w których kamery widzialne nie działają prawidłowo. Pomimo znacznych ulepszeń rozdzielczości kamer termowizyjnych w czasie, mogą one nie dorównywać przejrzystości obrazu kamer widzialnych w ogólnych sytuacjach. W związku z tym na rynku nadzoru rośnie zainteresowanie modelami kamer integrującymi dwa czujniki w jednym urządzeniu, aby wykorzystać zalety obu typów kamer.

3.2 Główne cechy kamer termowizyjnych

3.2.1 Odległość wykrywania-rozpoznawania-identyfikacji kamer termowizyjnych

Kamery termowizyjne wykorzystują metodę wykrywania, rozpoznawania i identyfikacji (DRI) do pomiaru odległości, z której można zidentyfikować cele. Standard DRI (Detection, Recognition, Identification), stworzony przez armię USA w latach 50. XX wieku, jest zdefiniowany następująco:

- Wykrywanie: Zdolność do odróżnienia obiektu od tła
- Rozpoznawanie: Możliwość klasyfikowania typu obiektu (zwierzę, człowiek, pojazd, łódź itp.)
- Identyfikacja: Zdolność do rozróżniania określonych szczegółów obiektu (mężczyzna w kapeluszu, pies, jeep itp.)

W tabeli 3 przedstawiono obliczoną wartość odległości DRI kamery termowizyjnej w zależności od modelu wykorzystującego wzór obliczeniowy.

Maximum distance (m)	Model Name				TNO-3010T	TNO-3020T	TNO-3030T	TNO-3040T	TNO-3050T	TNO-C3010TRA TNO-C3012TRA	TNO-C3020TRA TNO-C3022TRA	TNO-C3030TRA TNO-C3032TRA
	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
	Object size	Pixel No.	PPM									
Detection	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-L4030T	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		
	Object size	Pixel No.	PPM									
Detection	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		

[Tabela 3. Tabela obliczonych odległości DRI w zależności od kamer termowizyjnych]

Wzór na obliczenie DRI jest następujący:

Zakres DRI: odległość = (ogniskowa obiektywu) x (rozmiar obiektu) / {(liczba pikseli) x (rozstaw pikseli)}

Jednak podczas korzystania z kamery termowizyjnej, ważne jest, aby wziąć pod uwagę DRI kamery i zasięg wykrywania podczas korzystania z Video Analytics. Zasięg wykrywania kamery termowizyjnej może być uzależniony od temperatury obiektu docelowego i czynników środowiskowych, takich jak wilgotność, co potencjalnie skraca rzeczywistą odległość wykrywania. Dlatego zaleca się sprawdzenie tego za pomocą Proof of Concept (PoC) w środowisku instalacyjnym.

Tabela 4 przedstawia zakres detekcji analizy wideo dla modeli kamer termowizyjnych z pojedynczym czujnikiem. Stanowi to teoretyczne maksimum w ograniczonych warunkach; jednak kluczowe jest, aby wziąć pod uwagę, że rzeczywisty zakres detekcji może się różnić ze względu na wpływ obiektów docelowych i otaczającego środowiska podczas praktycznego użytkowania.

Wykrywanie ruchu Zakres		TNO-4030T	TNO-4040T	TNO-4050T	TNO-3010T	TNO-3020T	TNO-3030T	TNO-3040T	TNO-3050T
Pojazd	2,3 mln	160m	234 mln	430m	86 mln	150m	438 mln	607 mln	1,118 mln
Człowiek	1,8 mln	125m	183 mln	337 mln	41m	71 mln	206m	285m	525m

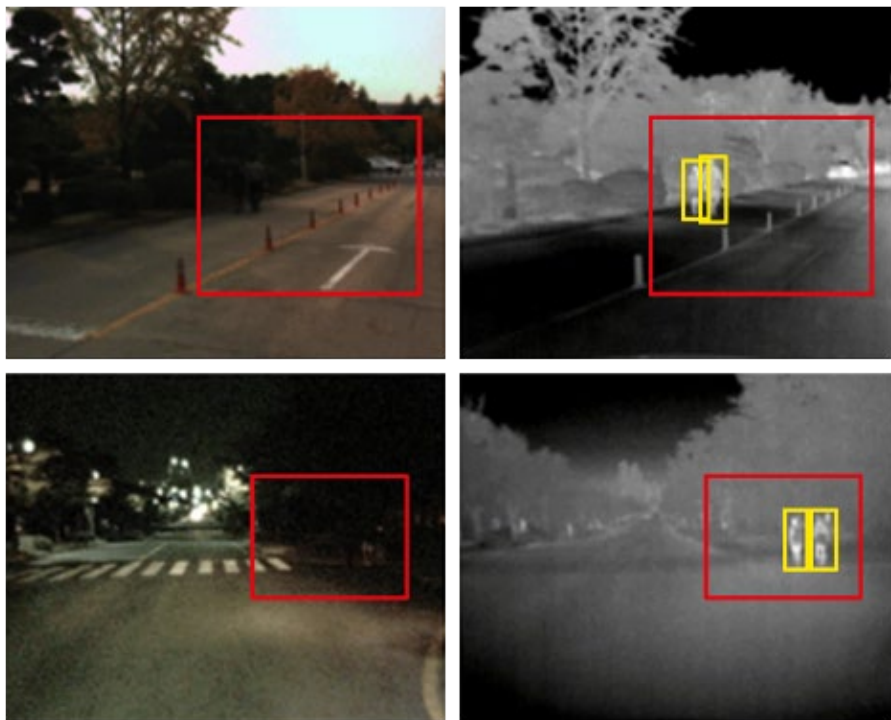
[Tabela 4. Zasięg wykrywania analizy wideo kamer termowizyjnych]

Tabela 5 przedstawia zmierzone wartości zakresu detekcji analizy wideo AI przy użyciu modelu kamery z podwójnym czujnikiem TNM-C49x0TD (x=4,5,6). Pomiary te zostały wykonane w ograniczonych warunkach; zawsze należy brać pod uwagę, że wykrywany zakres może się różnić w zależności od środowiska, w którym zainstalowano kamerę, oraz stanu obiektu docelowego.

Obiekt oparty na sztucznej inteligencji Zasięg wykrywania		TNM-C4940TD	TNM-C4950TD	TNM-C4960TD	TNO-C3010TRA/ C3012TRA	TNO-C3020TRA/ C3022TRA	TNO-C3030TRA/ C3032TRA
Pojazd	2,3 mln	224 mln	280m	498 mln	66 mln	79 mln	95m
Człowiek	1,8 mln	116m	142m	215m	23m	26m	31m

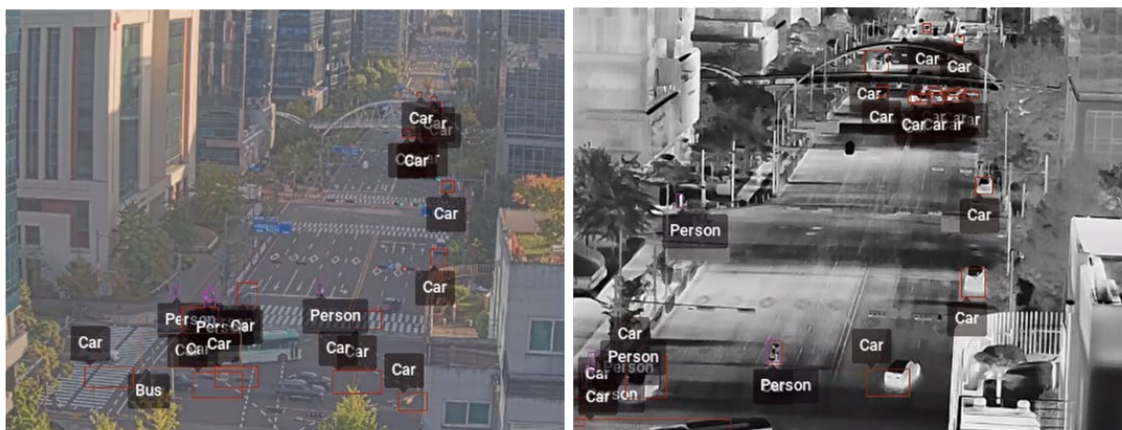
[Tabela 5. Przykład rzeczywistego zmierzonego zasięgu wykrywania obiektów na podstawie sztucznej inteligencji dla TNM C49x0TD(x=4,5,6)]

3.2.2 Wykrywanie/klasyfikacja obiektów oparta na sztucznej inteligencji i funkcje IVA w monitorowaniu termowizyjnym



[Rysunek 13. Wykrywanie obiektów na podstawie obrazów widzialnych i termicznych]

Rysunek 14 przedstawia ekran wykrywania obiektów oparty na sztucznej inteligencji obserwowany przy użyciu kamery dwuczujnikowej TNM-C4960TD zainstalowanej na dachu budynku. Pokazuje on prawidłowe działanie funkcji wykrywania obiektów (OD) opartej na sztucznej inteligencji w obrazowaniu widzialnym i termicznym. W tym przypadku zakres wykrywania odnosi się do wartości pomiarowych podanych w tabeli 5.



[Rysunek 14. Przykład funkcji wykrywania VI przy użyciu TNM-C4960TD]

3.2.3 Świadczenie usług uzupełniających w zakresie monitoringu termowizyjnego poprzez wsparcie przekazania

W przypadku wykrycia obsługuje przekazywanie do kamery PTZ, aby ułatwić wyraźniejszą identyfikację wykrytego obiektu. Ponadto umożliwia natychmiastowe alarmy dotyczące intruzów poprzez funkcjonalność przekazywania z głośnikami IP.

3.2.4 Zapewnianie efektywnego i ciągłego monitorowania za pomocą kamery Bispectrum

Nawet w przypadku kamer termowizyjnych z obsługą AI nie jest łatwo rozróżnić cechy wykrytych obiektów, podobnie jak w przypadku kamer światła widzialnego. Podczas gdy kamery światła widzialnego wyświetlają doskonałą jakość obrazu w warunkach słabego oświetlenia, są one ograniczone przez czynniki środowiskowe, takie jak noc, mgła lub dym. Kamery dwuspektralne to kamery z dwoma czujnikami, które łączą czujniki termiczne i światła widzialnego, aby zrekomensować ograniczenia inherentne dla kamer termicznych i światła widzialnego. Umożliwia to skuteczny i ciągły monitoring nadzoru wideo we wszystkich środowiskach.

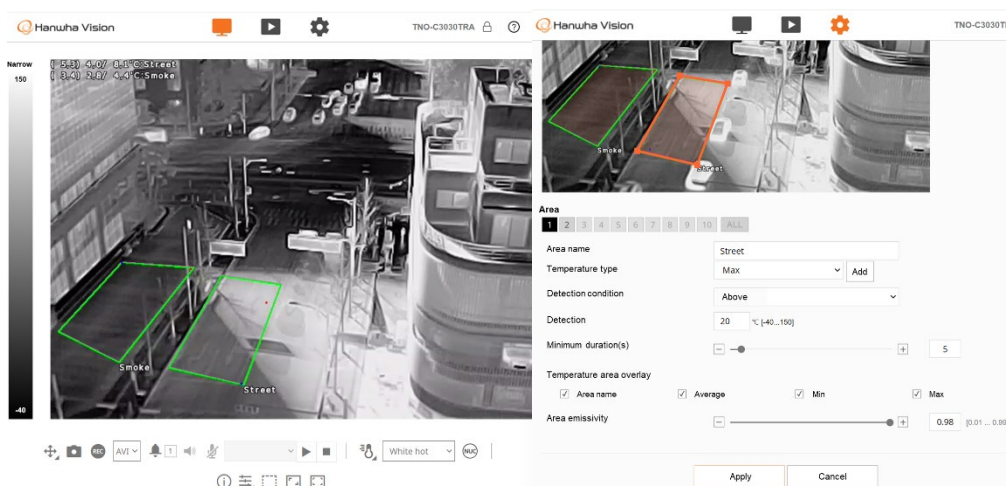
Dzięki udostępnianiu metadanych między kanałami światła widzialnego i termicznego uzupełnia ograniczenia obu typów kamer, umożliwiając szybkie wykrywanie i zrozumienie sytuacji na miejscu. Na przykład, Rysunek 15 oferuje dokładniejsze zrozumienie sytuacji nawet w trudnych warunkach pogodowych, takich jak noc, deszcz, mgła, ogień lub dym, gdzie widoczność jest ograniczona.



[Rysunek 15. Różnica widoczności pomiędzy kamerą widzialną (po lewej) a kamerą termowizyjną (po prawej) w nocy środowisko]

3.2.5 Zapewnianie funkcji monitorowania ROI/temperatury punktowej w celu efektywnego zarządzania obiektem/sprzętem

Zapewnienie funkcji ustawiania wielokątnych obszarów zainteresowania (ROI) do monitorowania temperatury może zwiększyć wydajność konfiguracji obszarów wymaganych do nadzoru temperatury. Modele TNO-C30xyTDR (x=1,2,3, y=0,2) oferują elastyczność konfiguracji do 10 obszarów zainteresowania, podczas gdy inne modele obsługują do 6 obszarów zainteresowania. Poszczególne alerty mogą być również odbierane na podstawie progów temperatury ustawionych dla każdego obszaru zainteresowania. Odwołując się do poniższego rysunku 16, przedstawiono przykład definiowania obszarów zainteresowania dostosowanych do różnych scenariuszy użytkowania. Użytkownicy mogą określić dokładne zakresy wykrywania temperatury i przekazywać odpowiadające im współrzędne, korzystając z konfigurowalnych ustawień nadzoru pożaru lub obiektu.



[Rysunek 16. Przykład ustawienia ROI]

Wsparcie jest zapewnione, aby umożliwić natychmiastową reakcję poprzez wyświetlanie w czasie rzeczywistym średnich, maksymalnych i minimalnych temperatur dla konkretnych obszarów wyznaczonych przez ROI, jak pokazano na rysunku 17, a także poprzez szybkie powiadamianie użytkowników za pomocą alertów.



[Rysunek 17. Przykład średniej, maksymalnej i minimalnej temperatury w zależności od obszarów ROI]

Gdy wymagane jest monitorowanie temperatury dla określonych lokalizacji poza ustalonym obszarem zainteresowania, można to zrobić, klikając myszką na żądaną lokalizację, aby użyć Spot Pointer do sprawdzenia temperatury tego konkretnego miejsca. Rysunek 18 poniżej pokazuje przykład użycia Spot Pointer w monitorowaniu na żywo w celu sprawdzenia temperatury określonego miejsca.



[Rysunek 18. Monitorowanie temperatury za pomocą Spot Pointer]

Podczas korzystania z termometrów ręcznych do monitorowania temperatury w obiektach bezobsługowych lub rozproszonym sprzęcie, proces ten wymaga znacznych inwestycji w siłę roboczą, powiązane koszty i czas, ponieważ urządzenia te są ograniczone do pomiaru w jednym punkcie lub w ograniczonym obszarze. Jednak monitorowanie temperatury za pomocą kamer termowizyjnych z czujnikami FPA (Focal Plane Array) umożliwia monitorowanie na większym obszarze, ponieważ każdy piksel czujnika działa jak indywidualny termometr. W związku z tym możliwe staje się skuteczne zmniejszenie siły roboczej, powiązanych kosztów i czasu poprzez wykorzystanie kamer termowizyjnych do monitorowania temperatury.

Ponadto, jeśli używasz modelu kamery termowizyjnej Hanwha Vision, który obsługuje protokół MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), możesz również skonfigurować system monitorowania temperatury, subskrybując informacje o temperaturze publikowane przez kamerę za pomocą protokołu MQTT. MQTT to lekki i elastyczny protokół, który jest łatwy do wdrożenia i przyciąga uwagę ze względu na doskonałą interoperacyjność z innymi platformami lub aplikacjami IoT. Protokół MQTT zapewnia maksymalną, minimalną i średnią temperaturę oraz współrzędne każdego obszaru ROI, a także informacje o wystąpieniu zdarzeń wykrywania temperatury. Poniżej znajduje się przykład informacji o temperaturze i wystąpieniu zdarzeń publikowanych za pośrednictwem protokołu MQTT zgodnie ze standardem zdarzeń ONVIF.

< Odczyt temperatury >

Temat: C3020TRA/onvif-ej/VideoAnalytics/Radiometry/BoxTemperatureReading/&VideoSourceToken-0/VideoAnalyticsConfigToken-0/TemperatureDetectionModule-01

```
{
  „Czas Utc”: „2024-01-17T06:29:13.480Z”,
  „Źródło”: {
    „VideoSourceToken”: „VideoSourceToken-0”,
    „Token konfiguracji VideoAnalytics”: „Token konfiguracji VideoAnalytics-0”,
    „AnalyticsModuleName”: „Moduł wykrywania temperatury-01”
  },
  „Dane”: {
    „Czytanie”: {
      „OdczytTemperaturyPola”: {
        „@ItemID”: „Z”,
        „@MaxTemperature”: „324.4”,
        „@MaxTemperatureCoordinatesX”: „28”,
        „@MaxTemperatureCoordinatesY”: „208”,
        „@MinTemperature”: „307,8”,
        „@MinTemperatureCooperativeX”: „227”,
        „@MinTemperatureCoordinatesY”: „228”,
```

```

    „@ŚredniaTemperatura”: „307,9”

  }

},

„Znacznik czasu”: „2024-01-17T06:29:13.480Z”

}

}

```

< Wykrywanie temperatury >

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

```

{

  „Czas Utc”: „2024-01-17T06:38:47.958Z”,

  „Źródło”: {

    „VideoSource”: „VideoSourceToken-0”,

    „Token konfiguracji VideoAnalytics”: „Token konfiguracji VideoAnalytics-0”,

    „Nazwa obszaru”: „AAAA”,

    „RuleName”: „Wykrywanie temperatury-A”

  },

  „Dane”: {

    „AlarmActive”: „prawda”,

    „Znacznik czasu”: „2024-01-17T06:38:47.958Z”

  }

}

```

4. Rozważania dotyczące instalacji i obsługi kamery termowizyjnej

4.1 Ogólne uwagi dotyczące środowiska instalacji

Obrazy termiczne uzyskane przez kamerę termowizyjną wydają się wyraźne, gdy istnieje znaczna różnica temperatur między obiektem zainteresowania a otaczającym go środowiskiem. Uzyskanie wyraźnych obrazów termicznych staje się trudne, gdy kontrast temperatur między obiektem zainteresowania a otaczającym go tłem nie jest znaczny. Jest to podobne do sytuacji, w której trudno jest uzyskać wyraźne obrazy za pomocą kamery widzialnej w warunkach słabego oświetlenia. Rysunek 19 przedstawia przykłady.



[Rysunek 19. Obrazy, które powstają, gdy różnica temperatur między obiektem a jego otoczeniem otoczenie nie jest istotne]

Jako urządzenie mierzące energię cieplną kamera termowizyjna dostarcza obrazy termiczne i informacje o temperaturze. Jednak obrazy kamery lub dane dotyczące temperatury mogą być zniekształcone z powodu warunków atmosferycznych, takich jak źródła ciepła, konwekcja, wilgoć, deszcz, śnieg, stabilizacja termiczna czujnika i temperatura otoczenia wokół kamery i obserwowanego obiektu.

Podczas instalowania kamery termowizyjnej należy wziąć pod uwagę jej odrębne cechy obrazowania, które różnią się od cech zwykłych kamer widzialnych. Na przykład, podczas gdy kamery widzialne mogą pozyskiwać obrazy przez okna szklane, kamery termowizyjne nie mogą pozyskiwać obrazów termicznych przez szkło z powodu odbicia cieplnego. Podczas monitorowania obiektów tego samego typu materiału, szczególnie metali, mogą wystąpić znaczne różnice w obrazach termicznych w zależności od stanu powierzchni obiektu, w tym czynników takich jak gładkość i poziom korozji.

Dlatego zawsze należy brać pod uwagę stabilne miejsca instalacji, które minimalizują wpływ środowiska, zapewniają odpowiednie pole widzenia przy potencjalnych różnicach temperatur między obiektem a jego otoczeniem oraz uwzględniają stan powierzchni obserwowanych obiektów.

4.2 Ustawienie regionu zainteresowania

Podczas definiowania obszaru zainteresowania kluczową kwestią jest zapobieganie niezamierzonemu uwzględnieniu otaczających tła lub niezwiązanych obiektów. Rysunek 20 poniżej przedstawia przykład nieprawidłowo skonfigurowanego obszaru zainteresowania. Analizując zdefiniowany obszar na obrazie, nie jest pewne, która część jest przeznaczona do obserwacji za pomocą tego ustawienia. Ponadto uwzględnienie nieba w wyznaczonym obszarze zainteresowania może skutkować nieoczekiwanymi wartościami pomiaru temperatury.



[Rysunek 20. Przykład nieprawidłowego ustawienia obszaru zainteresowania]

- Rozmiar obszaru zainteresowania: Wyraźniejszy obraz termiczny uzyskuje się, gdy w kamerach termowizyjnych występuje znaczna różnica temperatur między obiektem zainteresowania a otaczającym go środowiskiem. Jednak ustawienie obszaru zainteresowania zbyt małego lub zbyt dużego może skutkować obrazem, który nie odpowiada zamierzonemu celowi. Zaleca się ustawienie obszaru zainteresowania na minimalny rozmiar 50x50 lub większy, aby mieć pewność, że inne obiekty go nie zasłonią.

4.3 Emisyjność

Emisyjność odnosi się do stosunku promieniowania emitowanego przez powierzchnię materiału do promieniowania emitowanego przez ciało czarne o tej samej temperaturze. Ciało czarne to idealny obiekt, który pochłania wszystkie padające fale elektromagnetyczne, a także częstotliwość drgań i kąt padania. Emisyjność komercyjnie produkowanych ciał czarnych zwykle mieści się w zakresie od 0,95 do 0,99 i jest niezbędnym wyposażeniem do kalibracji czujników podczerwieni. Emisyjność obiektu jest mniejsza niż 1. Tabela 6 poniżej przedstawia wartości emisyjności głównych materiałów.

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

[Tabela 6. Emisyjność w zależności od materiałów]

Poniżej przedstawiono zmienne, które wpływają na emisyjność. Ich zrozumienie jest kluczowe dla prawidłowego użytkowania, zrozumienia i analizy kamer termowizyjnych i obrazów termicznych (źródło: Michael Vollmer i in. 2010).

4.3.1 Rodzaj materiału

Istotne jest uproszczenie i sklasyfikowanie materiałów jako metali i niemetali. Powierzchnie odlewanych lub polerowanych metali są trudne do dokładnego zmierzenia ze względu na ich niską emisyjność. Polerowane metale mają zazwyczaj wartości emisyjności 0,2 lub mniej, co sprawia, że mierzenie ich temperatury za pomocą kamery termowizyjnej jest bezcelowe.

4.3.2 Struktura powierzchni

W przypadku metali polerowanych, jak wspomniano wcześniej, mają one emisyjność 0,2 lub niższą. Jednak gdy powierzchnia metalu ulega utlenianiu lub korozji, może wykazywać emisyjność 0,8 lub wyższą. Kostka Lesliego jest powszechnie używana jako przykład ilustrujący różnicę w emisyjności w zależności od struktury powierzchni. Ta kostka jest pustą miedzianą kostką, której każda ściana jest inaczej traktowana. Każda ściana pokazuje różne ilości podczerwieni po napełnieniu gorącą wodą i obserwacji za pomocą kamery termowizyjnej. Ponieważ kamery termowizyjne zamieniają ilości podczerwieni na temperaturę, kluczowe jest uwzględnienie emisyjności; w przeciwnym razie pomiary temperatury mogą być niedokładne.

Rysunek 21 ilustruje różnicę temperatur, gdy taśma izolacyjna zostanie umieszczona w środku zwykłej butelki z wodą i napełniona gorącą wodą. Sekcja z taśmą izolacyjną pokazuje temperaturę około 9°C wyższą niż część bez niej.



[Rysunek 21. Różnica w obrazie termicznym w zależności od emisyjności podczas napełniania butelki z gorącą wodą]

4.3.3 Zasięg widoczności

Gdy kąt między obiektem a kamerą termowizyjną zmienia się od 0 do 85, pomiar różnicy emisyjności ujawnia, że w zakresie od 0 do 45 nie ma prawie żadnej zmiany emisyjności. Innymi słowy, emisyjność pozostaje stosunkowo stała w tym zakresie. Jednak poza tym kątem, gdy kamera termowizyjna ogląda obiekt pod większymi kątami, wartość emisyjności maleje, co utrudnia dokładny pomiar. Dlatego podczas instalowania kamery termowizyjnej zaleca się ustawienie pola widzenia i obszaru zainteresowania pod kątem 45 lub mniejszym.

4.3.4 Inne

Na inne czynniki wpływające na to składają się zakres temperatur materiału,

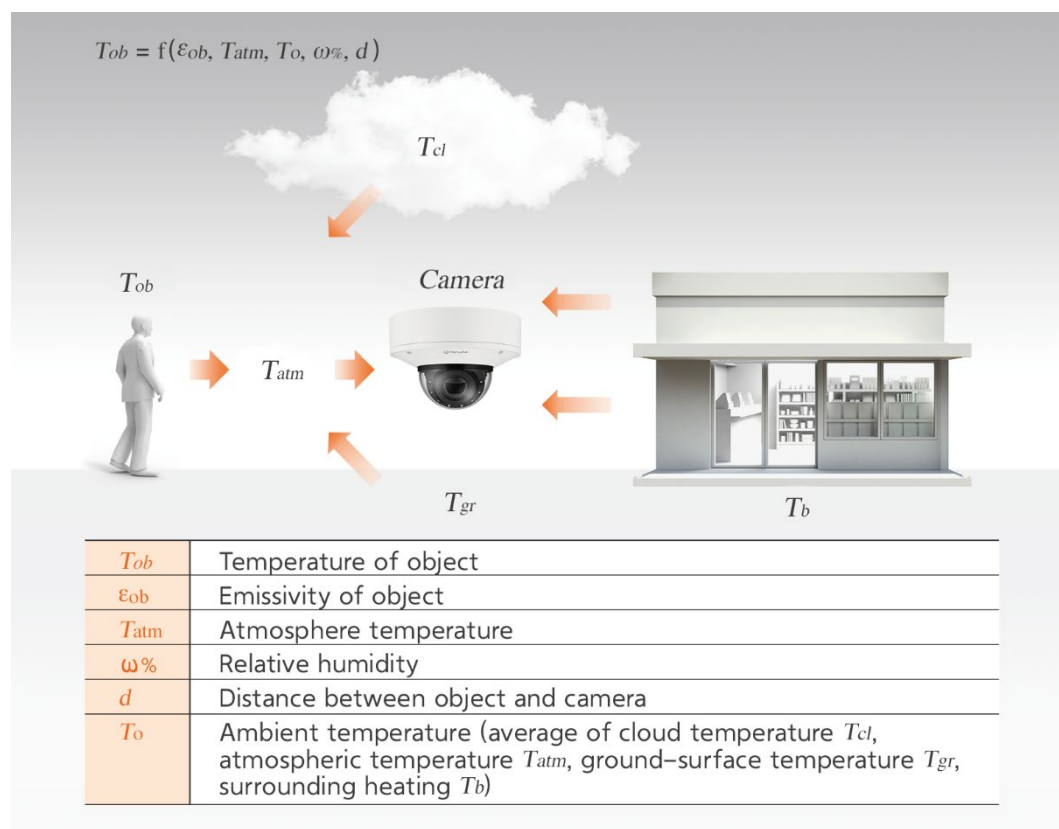
zakres długości fali (LW, MW, SW) i kształt geometryczny. Niemniej jednak czynniki te mają zwykle mniejsze znaczenie w standardowych warunkach użytkowania.

4.4 Kąt widzenia

Kamery termowizyjne zapewniają różne pomiary w zależności od kąta, pod jakim obserwowany jest obiekt. Dlatego podczas instalacji należy wziąć pod uwagę kąt obrazowania kamery termowizyjnej w odniesieniu do obiektu w obszarze zainteresowania. Zazwyczaj należy ją zainstalować pod kątem 45 stopni, a uzasadnienie tego wyjaśniono w sekcji 4.3.3 dotyczącej zakresu widoczności.

4.5 Czynniki wpływające na dokładność pomiaru temperatury

Podczas próby pomiaru temperatury obiektu za pomocą kamery termowizyjnej na dokładność pomiaru temperatury wpływają różne czynniki, jak pokazano na rysunku 22. Czynniki te obejmują emisyjność obiektu, temperaturę otoczenia, temperaturę otoczenia, wilgotność względną i odległość między obiektem a kamerą, wszystkie wyrażone jako funkcja (źródło: W. Minkina i D. Klecha, 2015).



[Rysunek 22. Czynniki wpływające na pomiary temperatury]

Podczerwień emitowana przez obiekt ulega absorpcji i rozpraszaniu podczas przechodzenia przez atmosferę, wraz z parą wodną (H_2O) i dwutlenek węgla (CO_2) w atmosferze, mając największy wpływ.



Dlatego dokładność pomiaru temperatury za pomocą kamery termowizyjnej może się różnić w zależności od warunków środowiskowych, w których kamera działa. Aby kamera termowizyjna zapewniała dokładne wyniki, musi uwzględniać więcej niż tylko wspomniane czynniki środowiskowe. Czynniki takie jak kąt instalacji kamery, zmiany w materiale obserwowanego obiektu i wpływ odbicia ciepłego również znacząco wpływają na dokładność.



5. Odniesienia

- N. Pinchon, M. Ibn-Khedher, O. Csignol, A. Nicolas, F. Bernardin, P. Leduc, JP. Tarel, R. Brémond, E. Bercier, G. Julien, „Wizja w każdych warunkach pogodowych dla bezpieczeństwa samochodowego: które pasmo widmowe?“, AMAA (Advanced Microsystems for Automotive Applications), 2018
- Young Taek Jung, „Najnowsze trendy technologiczne w czujnikach podczerwieni“, s. 18–23, Hongneung Science Publishing House, 2014
- JL Tissot, P. Robert, A. Durand, S. Tinnes, E. Bercier i A. Crastes, „Stan technologii niechłodzonych detektorów podczerwieni w ULIS, Francja“, Defence Science Journal, tom 63. nr 6, 2013
- Vladimir I. Ovod, Christopher R. Baxter, Mark A. Massie, „Zaawansowany pakiet przetwarzania obrazu dla miniaturowych urządzeń elektronicznych re-programowalnych opartych na FPGA“, SPIE, 2005
- H. Budzier i G. Gerlach, „Kalibracja niechłodzonych kamer termowizyjnych na podczerwień“, JSSS, 2015
- Michael Vollmer, Klaus-Peter Moellman, „Podstawy, badania i zastosowania obrazowania termicznego w podczerwieni, WILEY, 2010)
- W. Minkina i D. Klecha, „Modelowanie współczynnika transmisji atmosferycznej w podczerwieni dla pomiarów termowizyjnych“, JSSS, 2015

Hanwha Vision Co., Ltd.

13488Wizja HanwhaCentrum Badawczo-Rozwojowe,

6 Pangyo-ro 319-gil, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do

TEL 070.7147.8771-8

FAKS 031.8018.3715

www.HanwhaVision.com

Prawa autorskie © 2024Wizja HanwhaSpółka, Ltd. Wszelkie prawa zastrzeżone.

