

## NOTA TECHNICZNA

### Z jak dużej odległości można mierzyć? Kluczowy jest stosunek odległości do wielkości plamki pomiarowej

Jeśli niedawno została zakupiona kamera termowizyjna, możesz się zastanawiać, z jak dużej odległości można nią wykonywać pomiary. Ewentualnie chcesz kupić kamerę, ale nie masz pewności, która będzie dokładnie mierzyć cel i jednocześnie zmieści się w budżecie. Odpowiedź na pytanie „Z jak dużej odległości można mierzyć?” zależy od takich czynników, jak rozdzielczość, chwilowe pole widzenia (IFOV), obiektyw, wielkość obiektu i innych.

Można to porównać do badania wzroku w gabinecie lekarskim. Gdy spojrzysz na tablicę do badania wzroku z krzesła w gabinecie, możesz być w stanie zobaczyć litery w najmniejszym wierszu – ale z jakiej maksymalnej odległości będzie można je odczytać (czyli „zmierzyć” je)? Jeśli masz doskonały wzrok (20/20), możesz odczytać najmniejsze litery z większej odległości. W takim przypadku wzrok 20/20 odpowiadałby kamerze termowizyjnej o wysokiej rozdzielczości. Jeśli Twój wzrok nie jest doskonały, możesz poprawić go okularami (czyli dodać szkło powiększające do kamery) lub podejść bliżej tablicy do badania wzroku (czyli zmniejszyć odległość od celu).

Ważne jest zrozumienie, czym jest stosunek odległości do wielkości plamki pomiarowej. Stosunek odległości do średnicy plamki pomiarowej to wartość informująca o tym, jak daleko można być od celu o określonych wymiarach i nadal uzyskiwać dokładny pomiar temperatury.

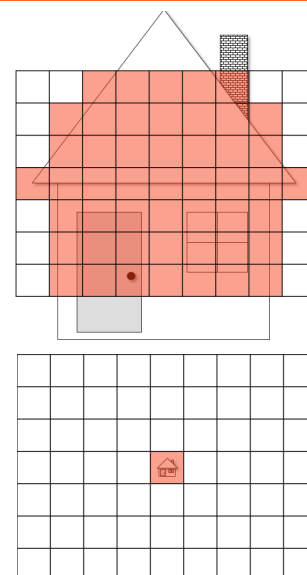
Aby zapewnić najdokładniejszy pomiar temperatury, na celu powinno być skupionych jak najwięcej pikseli detektora kamery. Zapewni to więcej szczegółów na obrazie termowizyjnym.

W miarę oddalania się od mierzonego obiektu tracona jest zdolność do dokładnego pomiaru temperatury. Im większa rozdzielczość kamery (większa liczba pikseli w celu), tym bardziej prawdopodobne jest uzyskanie dokładnych wyników z większej odległości. Zoom cyfrowy nie poprawia dokładności, więc wyższa rozdzielczość lub wąskie pole widzenia ma kluczowe znaczenie.

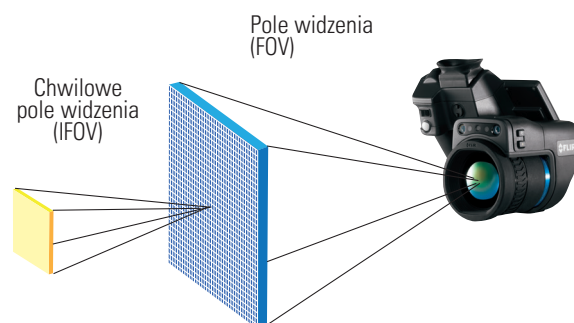
Załóżmy, że chcesz uzyskać dokładny pomiar temperatury 20-milimetrowego celu znajdującego się w odległości 15 metrów od kamery termowizyjnej. Jak dowiedzieć się, czy dana kamera może to zrobić? Trzeba sprawdzić dane techniczne kamery – pole widzenia i rozdzielczość. Załóżmy, że rozdzielczość kamery wynosi 320 x 240, a obiektyw ma 24-stopniowe pole widzenia w poziomie.

Najpierw trzeba obliczyć IFOV w miliradianach (mrad) z następującego wzoru:

$$\text{IFOV} = (\text{FOV/liczba pikseli}^*) \times \frac{1}{(3,14/180)(1000)}$$



W miarę oddalania się od mierzonego obiektu tracona jest zdolność do dokładnego pomiaru temperatury.



IFOV jest rzutem kątowym jednego piksela detektora na obrazie w podczerwieni. Powierzchnia, jaką może widzieć każdy piksel, zależy od odległości od celu dla danego obiektywu.

**\* Użyj liczby pikseli, która odpowiada polu widzenia Twojego obiektywu (w poziomie/ pionie)**

Jako że obiektyw ma 24 stopnie FOV w poziomie, należy podzielić 24 przez poziomą rozdzielczość kamery w pikselach – w tym przypadku 320. Następnie trzeba pomnożyć tę liczbę przez 17,44, co jest wynikiem (3,14/180) (1000) z powyższego równania.

$$(24/320) \times 17,44 = 1,308 \text{ mrad}$$

Wiedząc, że IFOV wynosi 1,308 mrad, trzeba obliczyć IFOV w milimetrach z następującego równania:

$$\text{IFOV (mm): } (1,308/1000) \times 15\,000^* \text{ mm} = 19,62 \text{ mm}$$

**\* Odległość od celu**

Co oznacza ta liczba? Stosunek odległości do średnicy plamki pomiarowej wynosi 19,62:15 000. Ta wartość jest mierzalną wielkością jednego piksela (1 × 1). Mówiąc w uproszczeniu, wynik informuje, że kamera może zmierzyć plamkę pomiarową 19,62 mm z odległości 15 metrów.

Ten pomiar pojedynczego piksela nazywany jest „teoretycznym stosunkiem odległości do wielkości plamki pomiarowej” (SSR). Niektórzy producenci podają teoretyczny stosunek odległości do średnicy plamki pomiarowej w danych technicznych produktów. Chociaż można to uznać za rzeczywisty stosunek odległości do średnicy plamki pomiarowej, jest to zwodnicze, ponieważ nie musi to być najbardziej dokładna wartość. Jest tak dlatego, że informuje tylko o temperaturze bardzo małego obszaru w obrębie pojedynczego piksela. Jak wspomniano wcześniej, w celu zapewnienia największej dokładności należy uzyskać jak najwięcej pikseli w celu. Jeden lub dwa piksele mogą wystarczyć, aby jakościowo ustalić, że istnieje różnica temperatur, ale mogą nie wystarczyć do zapewnienia dokładnego odwzorowania średniej temperatury danego obszaru.

Pomiar jednopikselowy może być niedokładny z różnych powodów:

- Kamery termowizyjne mogą mieć złe piksele.
- Obiekty odbijają światło – zadrapanie lub odbicie światła słonecznego mogłoby spowodować wynik fałszywie pozytywny oraz fałszywie wysoki odczyt.
- Obiekt gorący – na przykład łeb śruby – może być niemalże tej samej szerokości, co piksel, ale piksel jest kwadratowy, a łeb śruby sześciokątny.
- Żaden układ optyczny nie jest doskonały – zawsze występują jakieś zniekształcenia, które wpływają na pomiary.

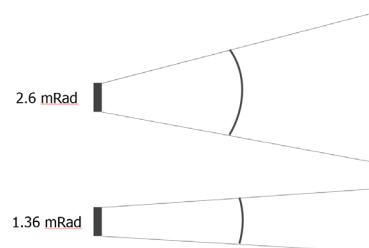
Ze względu na zjawisko zwane dyspersją optyczną promieniowanie z bardzo małej powierzchni nie zapewni jednemu elementowi detektora wystarczająco dużo energii, aby umożliwić uzyskanie poprawnej wartości. Należy upewnić się, że gorący obszar odczytu wartości punktowej ma co najmniej 3 × 3 piksele. Wystarczy pomnożyć teoretyczny stosunek odległości do wielkości plamki pomiarowej w milimetrach przez trzy, co pozwoli uzyskać stosunek plamki pomiarowej 3 × 3 piksele zamiast 1 × 1. Taka wartość będzie dokładniejsza.

**Po pomnożeniu IFOV w mm (19,62) przez 3 uzyskujemy 58,86 mm.**

Oznacza to, że można zmierzyć obiekt o średnicy 58,86 milimetra z odległości 15 metrów.

A teraz założmy, że chcemy zmierzyć obiekt o średnicy 20 milimetrów. Z jakiej maksymalnej odległości można dokładnie zmierzyć powierzchnię tej wielkości? Trzeba zastosować mnożenie krzyżowe:

$$\begin{aligned} \text{IFOV w mm: Odległość w mm} \\ (15 \text{ m} = 15\,000 \text{ mm}) \\ 5,886:15\,000 \\ 20 \text{ mm} : x \\ 15000 \times 2 = 58,86 \times x \\ 300\,000/58,86 = x \\ x = 5096,8 \text{ mm, czyli około } 5,1 \text{ m} \end{aligned}$$



Ilustracja pola widzenia przy 2,6 mrad i 1,36 mrad. Udostępniona przez Infrared Training Center.

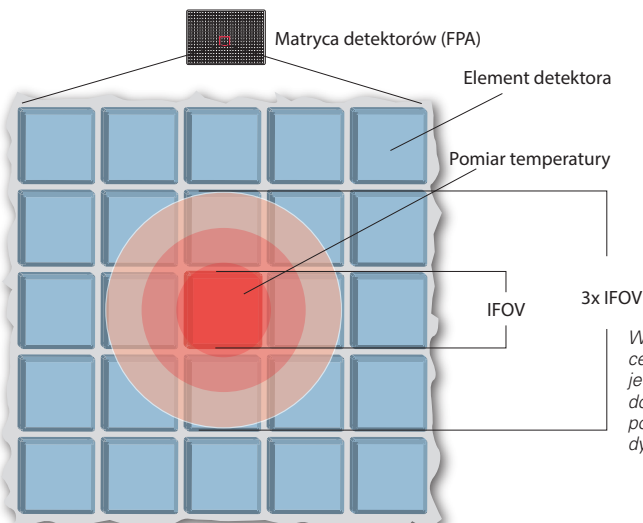
**Kamerą o rozdzielczości 320 × 240 pikseli można zmierzyć obiekt o średnicy 20 mm z odległości około 5 m od celu.**

Inni producenci mogą nie używać tej wartości, gdy omawiają IFOV lub SSR, ale w praktyce zapewnią ona dokładniejszy odczyt temperatury anomalii.

Stosunek odległości do średnicy plamki pomiarowej jest ważny, ponieważ pomaga zrozumieć, czy kamera termowizyjna jest w stanie dokładnie mierzyć temperaturę z wymaganej odległości. Jeśli chcesz mierzyć małe cele z dużej odległości, znajomość stosunku odległości do wielkości plamki pomiarowej czyli odległości dokładnego pomiaru ma kluczowe znaczenie.

Jeśli planujesz badanie termograficzne, zastanów się, czy możesz podejść wystarczająco blisko celu, aby uzyskać dokładny odczyt. Dokładny znaczy tyle, co wystarczająco dobry dla prawidłowej interpretacji. Niekoniecznie nawet musi to oznaczać „w zakresie dokładności kamery”. Jeśli nie uwzględniś stosunku odległości do średnicy plamki pomiarowej, możesz uzyskać odczyt odchylony o kilkadziesiąt, a nawet kilkaset stopni.

Dla ułatwienia obliczeń FLIR, na stronie <http://flir.custhelp.com>, oferuje kalkulator FOV do każdej ze swoich kamer. Wystarczy kliknąć daną serię kamer FLIR, a zostanie wyświetlona lista wszystkich modeli w tej serii. Następnie kliknij przycisk „FOV Calc.” (Obliczenie FOV) obok odpowiedniej kamery, a zostanie wyświetlony stosunek odległości do średnicy plamki pomiarowej Twojej kamery.



W idealnej sytuacji odwzorowywany cel powinien pokrywać co najmniej jeden piksel. W celu zapewnienia dokładniejszych odczytów należy pokryć większy obszar, aby uwzględnić dyspersję optyczną rzutowania.

Więcej informacji na temat kamer termowizyjnych lub tego zastosowania można znaleźć pod adresem:

[www.flir.com/instruments](http://www.flir.com/instruments)

Ilustracje mogą nie odpowiadać rzeczywistej rozdzielczości prezentowanej kamery. Ilustracje mają jedynie charakter poglądowy. ©2018 FLIR Systems, Inc. Data utworzenia: czerwiec 2018 17-1465\_INS\_EMEA