Egy univerzális mérési eljárás

További szempontok a hőkamera kiválasztásához (XI.)

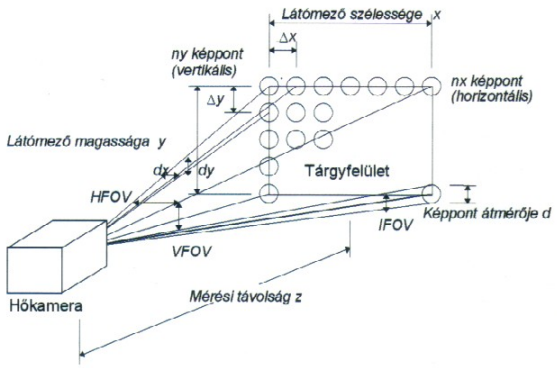
A hőkamerák forgalmazói és a hőképfelvételeket készítő szolgáltatók nem ritkán súlyos szakmai hibákat vétenek a hőképek készítésével, illetve a feladathoz alkalmazható hőkamerák kiválasztásával kapcsolatosan. Az alábbiakban folytatjuk a legfontosabb tudnivalók közreadását a hőkamera típusának feladatfüggő kiválasztásához.

A HŐKAMERA GEOMETRIAI FELBONTÁSA (is) jelentősen befolyásolja a hőkamera képminőségét, illetve a mérés pontosságát, sőt magának a hőkamerának az alkalmazhatóságát bizonyos feladatok esetén. Az úgynevezett IFOV (instantaneous field of view, legkisebb elemi látószög) paraméter azt a látószöget adja meg, amely egy egyedi érzékelővel (képponttal) kerül leképzésre. Például az 1,5 mrad érték azt jelzi, hogy minden egyes pixelhez rendelt – a tárgyra vetített – mérési pont 1 m-es távolságon 1,5 mm átmérőjű, 2 m távolságon a kivetített felület 3 mm átmérőjű stb. (Ezt úgy kell elképzelni, mint a zseblámpa sugárnyalábját, amely a távolság függvényében egyre nagyobb átmérőjű körfelületet ölel át.)

Fontos, hogy a mérendő tárgy legalább háromszor (de minimum kétszer) nagyobb legyen az adott távolságban kivetített egyedi mérőfelületnél, egyébként a mérőfolt nemcsak a tárgy felületét, hanem annak hátterét is tartalmazhatja. Mivel a mérőfolton belül átlagolás történik, a háttér hőmérsékletének hatására a mérési eredmény akár alacsonyabb, akár magasabb lehet a tárgy valódi hőmérsékleténél. Minél nagyobb a tárgy és a háttér hőmérsékletének különbsége, annál nagyobb lesz a mérés hibája is.

Eltérő dimenziókban kell gondolkodni

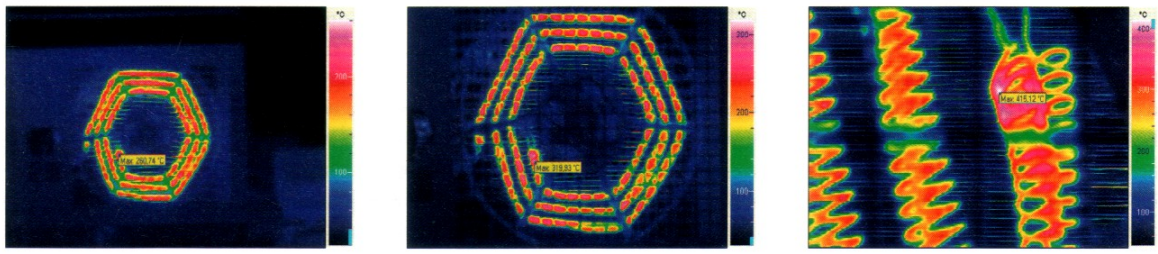
Természetesen a fenti szabály nemcsak kis tárgyak (például vékony vezetékek, izzószálak) esetén érvényesül, hanem nagy tárgyak (például nagy keresztmetszetű kábelek, nyílászárók) mérésekor is. Nyilván más dimenziókról beszélünk: kis tárgyak esetén mm-es nagyságrendű mérőfelületekről van szó, amelyek az alkalmazott hőkamera és optika geometriai felbontóképessége alapján legfeljebb több tíz centiméteres távolsá-



Hőkamera látómezeje és geometriai felbontóképessége

Következtetések a geometriai felbontással kapcsolatosan

A hőkamera és az optika együttesének geometriai felbontása korlátot szab annak, hogy mekkora – adott távolságból – a legkisebb mérhető tárgy. Minden egyes mérés előtt ellenőrizni kell, hogy valóban legalább kettő (de inkább három) elemi (kivetített) képpont esik-e a legkisebb mérendő tárgy felületére. Ha nincs más (cserélhető) optikánk e feltétel teljesítésére, akkor addig kell csökkenteni a mérési távolságot, amíg eleget nem teszünk ennek a szabálynak. Ellenkező esetben jelentős mérési hibák várhatók.



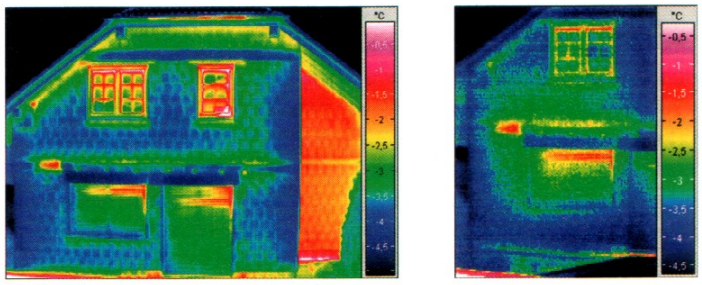
Példa a hőkamera geometriai felbontásának hatására. Hősugárzó felvétele 1,5 mrad IFOV értékkel balra 2 m, középen 1 m, jobbra 0,2 m távolságból. A maximum hőmérsékletértékre rendre 261 °C, 320 °C, illetve 415 °C adódik

gokból mérhetők; nagy tárgyak esetén centiméteres méretű mérőfelületek több méteres (akár 10–100 m-es) távolságból történő érzékeléséről beszélhetünk. De minden esetben a szabály betartását lehetővé tévő eszköz alkalmazása szükséges.

Mivel a geometriai felbontás mindig csak az éppen alkalmazott optikára vonatkozik, feltétlenül meg kell nézni, hogy a hőkamerára szerelt optika megfelel-e a kívánt látómezőnek és fókusztávolságnak. Amíg egyes hőkamerák cserélhető objektívekkel vagy nagy látószögű, illetve makroobjektíves előtétekkel is kaphatók, addig mások (nagyon ritkán) kiegészítő zoomlencsével rendelhetők. Ráadásul a már említett letapogató típusú berendezések rendszerint belső elektrooptikai zoommal is rendelkeznek, amely az egyedi képpont méretének megtartása mellett képnagyítást is lehetővé tesz.

A hőkamera képfelbontása

A geometriai felbontáson túl a hőkamerával elérhető képminőséget, pontosabban a mérés részletességét a hőkamera felbontása, másként képpontjainak száma határozza meg. Ennek oka, hogy a grafikai felismerhetőség érdekében egy bizonyos minimális képpontszámnak kell a mérendő tárgy egyes részeire esnie – ugyanúgy, ahogyan ezt a digitális fényképezés esetén megszoktuk. Könnyen érthető, hogy több képpont esetén a tárgyfelületet nagyobb részletességgel, illetve nagyobb tárgyfelületet ugyanolyan részletességgel jeleníthetünk meg egyetlen hőképen. Ha kevés a képpontok száma, sok felvételt kell készíteni, és összefüggő tárgyak kiértékeléséhez, illetve beszámolók készítéséhez gyakran szükségessé válik a képek montírozása (ami igen időigényes munka).



Példák a képpont számának hatására. Családi ház hőképe balra professzionális (640×480 pixeles, 80 mK hőmérséklet-felbontású), jobbra kisebb képességű (120×160 pixeles, 120 mK hőmérséklet-felbontású) hőkamerával felvéve

Hőkamerák esetén ez a kérdés nem is jelentéktelen. Míg a digitális fényképezőgépeknél 5, 6, 7 vagy akár több mint 10 megapixeles (10 millió képpontos) felbontásról beszélünk, mátrixos hőkamerák esetén a képpontok száma tipikusan 320×240 (tehát 76 800) képpont. Vannak kisebb képességű kamerák is (gyakori típus a 160×120-as, tehát csupán 19 200 képponttal bíró), amelyek ennél fogva csak kisebb felületek elfogadható részletességű megjelenítésére képesek, ami a felhasználási területüket természetesen erősen korlátozza (cserében nagyon kedvező az áruk). A hőkamerák érzékelői fejlődésének köszönhetően egyre több képpontú hőkamerák készülnek. Elfogadható áron kaphatók 384×288 elemi érzékelőt tartalmazó érzékelőmátrixszal szerelt hőkamerák, sőt akár 640×480 képponttal bíró érzékelőmátrixos készülékek is (méghozzá 50, illetve 60 Hz-es képfrissítéssel).

Következtetések a képfelbontással kapcsolatosan

A hőkamera képpontjainak száma befolyásolja, hogy mekkora tárgyfelületről mennyire részletes hőkép készíthető. Ha nagyobb részletesség szükséges, több hőkép montírozása vagy nagyobb felbontású hőkamera alkalmazása a megoldás. Természetesen mérlegelni kell, hogy mi a gazdaságosabb: a járulékos munkaidőköltség (sok felvétel elkészítése és azok montírozása) vagy a jobb képességű hőkamera beszerzésére való ráfordítás.

Ha különleges feladatról van szó

Speciális feladatokra még nagyobb felbontású mátrixos hőkamerák is készülnek, amelyek egy kis műszaki „trükkel" a beépített érzékelőmátrix felbontásának négyszeres pixelszámát kínálják. Ehhez a lencserendszer mikromozgatásával, illetve a sugárnyaláb egyéb módon történő optikai elterelésével megváltoztatják az érzékelőmátrixra vetített sugárnyaláb pozícióját, így az eredetileg két-két elemi érzékelő (képpont) közötti üres helyre vetített sugárzás is érzékelésre kerül, és ezáltal a képalkotáshoz felhasználható. Ez a módszer természetesen lassabb az 50 Hz-es képfrissítésnél (nagyjából 1 másodperc alatt végezhető el egy négyszeres felbontású kép felvétele), de lehetőséget ad kifejezetten nagy felbontású kamerák készítésére (például Jenoptik VarioCAM research 780 típus 1,23 millió képponttal). Ilyen készülékekkel akár igen nagy tárgyfelületekről is rendkívül részletes felvételek készíthetők (kevesebb felvétellel és utólagos montírozás nélkül).

Szkennelő (letapogató) hőkamerákból ellenben igen szerény a jelenlegi választék – gyakorlatilag e típus ma már egyáltalán nem kapható (lassúságuk és költséges technológiájuk miatt egyre kevesebb gyártó állít elő ilyen készülékeket). Az utolsó forgalmazott típusok legnagyobb felbontása 360×240 képpont volt. Viszont előnyös volt az ilyen típusú kamerákkal elérhető tökéletes képhomogenitás és nagy hőmérséklet-felbontás, valamint a valódi nagyítás (zoom) megvalósíthatósága.

Hőmérséklet-felbontás hatása a képminőségre

Ha a mérendő tartomány a szobahőmérséklet és a méréstartomány alsó határa közé esik, a hőmérséklet-felbontás határozza meg döntően a képminőséget. A NETD (noise equivalent temperature difference) a hőmérsékletváltozási zaj egyenértékét jelenti, amely a hőkamera saját zajának effektív értékét (rendszerint 30 Celsius-fokon mérve) viszonyítja a

tárgy hőmérséklet-különbségéhez. Ez az érték a tárgy hőmérsékletének csökkenésekor jelentősen megnő, különösen a rövidhullámú készülékek esetén.

A jelenleg kapható hőkamerák hőmérséklet-felbontási képessége elsősorban az érzékelő technológiájától függ. A legelterjedtebb mátrixos (hosszúhullámú) hőkamerák többnyire mikro-bolométeres érzékelőkön alapulnak. E technológia – az alkalmazott érzékelő minőségétől (és egyben árfekvésétől) függően – lehetővé teszi a 120 mK, 80 mK vagy akár 30 mK, illetve 25 mK termikus felbontást. Az utóbbi két értéket csupán nagyon jó minőségű készülékek érik el, többnyire képátlagolás alkalmazásával. Sajnos a gyártók által megadott felbontóképesség (például 80 mK) mátrixos kamerák esetén csupán az egyedi képpontokra vonatkozik. A teljes képre ennek duplája (esetünkben 160 mK) érvényes, aminek magyarázata az, hogy míg az egyik képpont esetlegesen –80 mK-t téved, a mellette lévő pont akár +80 mK-t is elérhet. Vannak azonban kameragyártók, amelyek kiegészítésképpen a teljes képre is specifikálnak egy felbontást minősítő paramétert (például 100 mK-t), amely a fenti módon megadott hőmérséklet-felbontási adatnál jobb képminőséget dokumentál.

Hosszúhullámú szkennelő (letapogató) hőkamerák esetén a tipikus hőmérséklet-felbontás 30 mK, képátlagolással akár 10 mK. Viszont ez a felbontás a teljes képre vonatkozik, mivel csupán egy érzékelőt alkalmaznak. Ezen túl a kamera működéséből adódó képhomogenitás még tovább javítja a készülő hőképek minőségét, kiértékelhetőségét és látványát. A hőmérséklet-felbontó képesség korlátozza a kamera alkalmazhatóságát olyan esetekben, ha kisebb hőmérsékelt-különbségek kimutatása szükséges. Ilyen feladatok például az épülettermográfia (minimum 80 mK felbontást igényel), az orvosi alkalmazások (ezekhez legalább 80, de inkább 30 mK felbontás az igény) vagy a növénybiológiai kutatások (minimum 30, de inkább 10 mK felbontás szükséges). Természetesen ez a felsorolás nem teljes. Az általános szabály szerint minimálisan kétszer-háromszor olyan jó felbontóképességgel rendelkező készüléket kell választanunk, mint a legkisebb megjeleníteni kívánt hőmérséklet-különbség.

Rahne Eric

HATÉKONYSÁGMUTATÓ

Anyagfelhasználás	○	Energiaigény	●
Üzemfenntartás	●	Kezelhetőség	○
Időráfordítás	●	Élettartam	●

pim@pim-kft.hu
www.pim-kft.hu, www.termokamera.hu