

Egy univerzális mérési eljárás

Termográfiai eszközök felépítése és paraméterei (III.)

Ha bizonyos mérési feladatokat termográfiai eszközökkel kívánunk megoldani, könnyen szembetaláljuk magunkat többféle, a gyakorlatban elterjedt hőképkészítési elvvel, valamint számos nehezen megállapítható és súlyozható technikai paraméterrel, amelyeknek azonban mindegyikét számba kell venni a helyes megoldáshoz vezető út megválasztása során.

Röviddel az infravörös sugárzás (fizikai szempontból helyesebb lenne az infravörös tartományú elektromágneses hullámok elnevezés) felfedezése után valósultak meg az első katonai fontossággal bíró képalkotó rendszerek. Például a katonai infravörös felderítés lett a döntő hajtóerő az infravörös termográfiai fejlesztés mögött (példa erre az úgynevezett sniper scope vagy snooper scope elnevezésű infravörös célkeresők 1939-ből az USA-ból). Az első polgári alkalmazásokra szolgáló termográfiai berendezések csak néhány évtizeddel később, az 1960-as években jelenhettek meg. Ellentétben a katonai célkeresőkkel, ezek a polgári berendezések már az infravörös sugárzás intenzitásának a mérésére és a hőmérsékletnek a hőképből történő meghatározására szolgáltak a távhőmérésből ismert érintkezés nélküli módszerek felhasználásával.

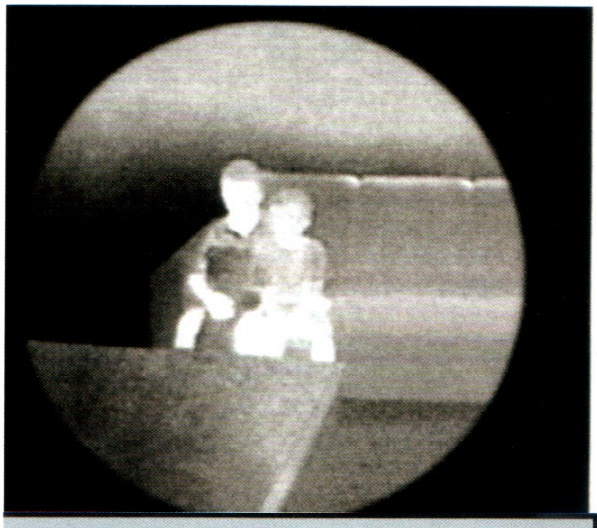
Az első polgári alkalmazásokra szolgáló termográfiai berendezések a katonaiak után néhány évtizeddel, az 1960-as években jelentek meg.

Termográf képalkotási elvek

A termográfiai berendezés magja az infravörös sugárzás detektora, amely a tárgy sugárzásának intenzitását elektronikusan elemezhető jellé alakítja. A napjainkban elérhető termográfiai berendezések az alábbiakban leírt elvek valamelyikén alapulnak.

Hődetektoros vidicon rendszer A termográfia történeti fejlődésében a hődetektoros vidicon csővel – azaz az infravörös fényre érzékeny vákuumcsővel – készült termográf berendezés nagyon korán megjelent. Ezek a berendezések infravörös fényre érzékeny célanyagokkal, mint például triglicin-szulfáttal készültek, hasonlóan az akkori idők televíziós felvevőcsöveihez. Miközben ezek a berendezések nem igényeltek semmilyen fizikai detektorhűtést, nem nyújtottak elégséges stabilitást a hőmérsékletmérés számára, többnyire csak megfigyelési célra szolgáltak. E technológia ma alig érdemel figyelmet a továbbfejlesztés tekintetében, mindemellett használják – például a lövészetben –, mivel nem foglal nagy teret és olcsó.

Letapogató hőkamerák A letapogató (szkennelő) kamerák egyelemű (pont-) detektort használnak az infravörös sugárzás átalakítására, és a mérendő tárgyat mechanikus rendszerrel tapogatják le. Míg e képalkotó elv gyakorlatba való átültetése nagy sebességű detektort és nagy pontosságú komponenseket igényel, jelentős előnye is van az összes többi módszerrel szemben a mérési alkalmazások területén. Minden egyes képpont számára a jelet egyetlen (pont-) detektor alakítja át. Mivel így a hőkép minden pontjáról tökéletesen egyforma feltételekkel jönnek létre a később kiértékelendő villamos adatok, igen jó képhomogenitás érhető el (az egyforma hőmérsékletű pontok között kijelzett eltérés minimális vagy nincs). A 2 ábrán szemléltetett példában a letapogató hőkamerán belüli sugármenet vízszintes eltérítését a forgó tükör állítja elő, míg a függőleges eltérítést egy billegő



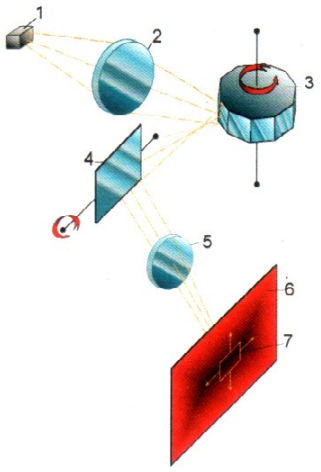
Hődetektoros vidicon sötétben látó berendezéssel készült hőkép 1

(rezgő) tükör szolgáltatja. Más típusok – például forgó tükörprizmák – szintén lehetséges megoldást jelentenek.

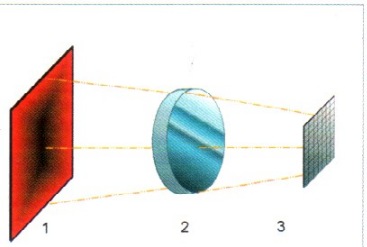
Mátrixdetektoros (Focal Plane Array, FPA) hőkamerák Az utóbbi néhány évben az infravörös termográfiában a mátrixdetektoros hőkamerákat használják egyre gyakrabban. Az ilyen detektorok alkalmazása esetén nincs szükség mechanikai kitérítőegységre, ezáltal a kamera mechanikailag egyszerűbb, kisebb és könnyebb.

Mátrixdetektoros képalkotás részletei

Bár meglepően egyszerű a mátrixdetektoros hőkamera optikai sugármenete, az ördög azonban itt is a részletekben lakozik: az egyik fő probléma az, hogy a hőkép minden egyes képpontját egy-egy egyedi



2 Letapogató hőkamera elvi sugármenete (1 detektor, 2 és 5 objektív, 3 vízszintes eltérítőtükör, 4 függőleges eltérítőtükör, 6 tárgy, 7 mérési felület



3 Mátrixdetektoros (Focal Plane Array, FPA) hőkamera elvi sugármenete (1 detektor, 2 objektív, 3 tárgy)

érzékelő alakítja át, amelyek karakterisztikája nagyon hasonlíthat a szomszédos eleméhez, de mégis mérhetően különbözik attól. Az egyezőség hiányának kompenzálása komoly mennyiségű valós idejű adatfeldolgozást igényel. Ezt igazolja, hogy a mátrixdetektorral készült első hőkamerákat hőmérséklet-mérési funkciók nélkül ajánlották. A kameragyártók csak később integrálták ezt a technológiát a kamerába, előbb csak egy – a kép közepén lévő – mérőponttal, később az összes képpontra kiterjesztve. A legtöbb mátrixdetektorral rendelkező kamera a rövid hullámú tartományban dolgozik, és a különösen nagy teljesítményű InSb-, CdHgTe-, valamint az igen olcsó PtSi-alapú detektorok kerülnek alkalmazásra.

A hosszú hullámú méréstartománynyal jellemezhető mátrixdetektorok csak az igen költséges CdHgTe alapon gyárthatók, és ez idáig nem készülnek nagy képpontszámmal. Alternatíva a viszonylag új, úgynevezett quantum well (hőellenállásos vagy bolométeres) érzékelőtechnológia, amely a hosszú hullámú tartományon belül nagy hő- és geometriai felbontású érzékelők készítését teszi lehetővé. Egyes esetekben a mátrixos érzékelők egyedi elemeinek reakcióidejével szemben támasztott nem túl szigorú követelmény lehetővé teszi a hűtés nélküli detektorok alkalmazását is. Sugárzásfizikai okok miatt azonban az alacsony hőmérsékleten elvárt nagy hőfelbontás elérése a hűtés nélküli berendezésekkel csak a hosszú hullámú tartományban képzelhető el.

Kiegészítésként az eddigi osztályozáshoz felmerülhet néhány egyéb szempont is: › hullámhossz (rövid vagy hosszú hullám) › képfelvevő frekvencia (valós idejű, illetve letapogatású) › eszközfelépítés (hordozható vagy telepített).

Készülékparaméterek meghatározása és értékelése

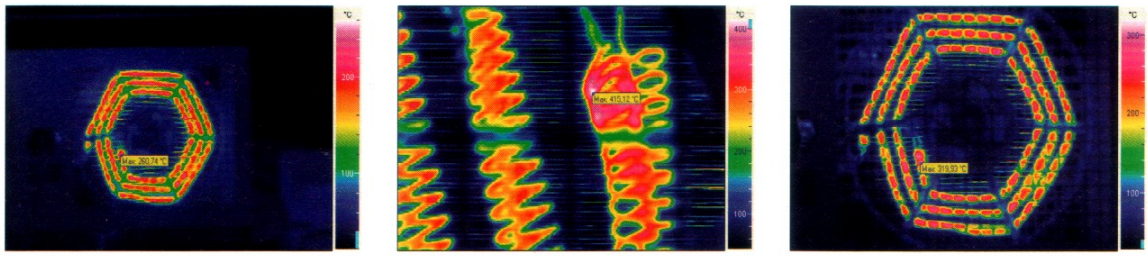
Ha bizonyos mérési feladatokat termográfiai eszközökkel kívánunk megoldani, könnyen szembetaláljuk magunkat számos nehezen megállapítható és súlyozható technikai paraméterrel. Ha a tervezett felhasználás nem egyértelműen szokványos, akkor sok esetben csak próbamérések alapján dönthető el a helyes megoldáshoz vezető út. Van azonban néhány paraméter, amelyek átgondolásának mindenképpen meg kell előznie bármilyen próbát.

A következőkben néhány alapvető műszaki paramétert mutatunk be a jelentésük magyarázatával kísérve.

Spektrális méréstartomány A technikailag releváns hőmérsékletek érintkezés nélküli mérésére felhasználható infravörös sugárzás hullámhossz-tartománya megközelítően 0,8 µm-nél kezdődik és 20 µm-ig terjed. Míg az infravörös termográfiához hasonlatos távhőmérés több spektrális tartományt használ, a termográfia számára szolgáló tartomány két, a 3(2)–5 µm vagy a 8–14(12) µm intervallumra korlátozódik, ami az úgynevezett közép-, illetve hosszú hullámú atmoszferikus ablak kihasználásából adódik. Mivel az atmoszféra többnyire tökéletesen áteresztő a hosszú hullámú hősugárzást, így ez a tartomány a szabadban, nagy távolságoknál történő mérésre igen alkalmas. Az atmoszféra elemei – vízpára, szén-dioxid, szénhidrogének stb. – a középhullámú tartományt már néhány méteres távolságon túl képesek erősen befolyásolni (csillapítani). Ami hátránynak látszik, annak van egy pozitív hatása is: a lángok, égési gázok stb. hőmérséklete a rövid hullámú termográfiával határozható meg, míg a hosszú hullámú tartományban átlátszók. Szükségesek lehetnek egyébként olyan mérések is, amelyeket infravörös sugárzást áteresztő ablakon keresztül kell elvégezni. Az ilyen ablakok készítéséhez felhasználható anyagok teljesen eltérő spektrális tulajdonságokkal rendelkezhetnek, így azok alapján döntendő el a hőkamera mérési hullámhossztartománya. Végül a tárgy spektrális emissziós tényezője is befolyásolhatja a választandó hullámhossztartományt.

Hőmérséklet-felbontás Különösen akkor, amikor a mérendő tartomány a szobahőmérséklet és a méréstartomány alsó határa közé esik, döntően a hőmérséklet-felbontás határozza meg a képminőséget. A NETD (noise equivalent temperature difference) jellemző a hőkamera saját zajának effektív értékét mutatja, mégpedig egy olyan, a mérendő tárgyra értendő hőmérséklet-különbségben kifejezve, amely ezzel az értékkel azonos villamos jelnagyságot eredményez (rendszerint 30 °C-on mérve). (Más szóval a NETD az a tárgyi hőmérséklet-változás értéke, amely a hőkamera saját zajának megfelelő villamos jelváltozást okoz a hőkamerában.)

Geometriai felbontás A hőmérsékleti felbontáson túl a geometriai felbontás is jelentősen befolyásolja a hőkamera képminőségét. Az IFOV paraméter (instantaneous field of view, legkisebb elemi látószög) azt a látószöget adja meg, amelynek leképezése egy egyedülálló érzékelővel (képponttal) történik. 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 átmérővel rendelkezik, 2 m távolságon pedig 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.) Mivel ez az érték mindig csak az éppen alkalmazott optikára vonatkozik, feltétlenül meg kell nézni, hogy ez az optika megfelel-e a kívánt látómezőnek vagy fókusztávolságnak. Fontos, hogy a mérendő tárgy legalább háromszor (de minimum kétszer) nagyobb legyen az adott távolságban kivetített 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 kisebb vagy nagyobb is lehet a tárgy valódi hőmérsékleténél.



4 A geometriai felbontás hatása. Hősugárzó felvétele 1,5 mrad értékkel, balra 2 m távolságból (maximumérték 261 °C), középen 1 m távolságból (maximumérték 320 °C), jobbra 0,2 m távolságból (maximumérték 415 °C)

Képrögzítési frekvencia A hőkamerák ma a piacon a felvételkészítési frekvencia széles tartományát fedik le; általában különbséget tesznek a lassú, mintegy 1 Hz letapogatású és a valós idejű, 50 Hz körüli berendezések között. De vannak még gyorsabb, akár 6 kHz képfelvételi frekvenciát kínáló hőkamerák is. E paraméter természetesen nagymértékben befolyásolhatja az árat, így a maximális képfrekvencia gondosan mérlegelendő. Kevés kivétellel a termikus folyamatok rendszerint nagy időállandójúak, és ha a tárgy nem mozog, másodpercenként egy kép is elégséges. Cserébe viszont a legjobb képminőséget és felbontást kapjuk.

Detektorhűtés Napjainkban igen sokféle, hűtés nélküli detektoron alapuló, hőmérséklet-mérési képességgel rendelkező hosszú hullámú eszköz kapható. A legpontosabb mérésre képes. A rövid és középhullámú hőkamerák viszont hűtött fotondetektorokkal készülnek. A hűtéshez a folyékony nitrogénes megoldások helyett ma már inkább a nagy megbízhatóságú miniatűr hűtőkompresszorok (Stirling-hűtők) terjedtek el. Néhány detektortípus esetén további lehetőség a termoelektromos (Peltier-) hűtés alkalmazása, bár ezzel nem érhetők el az előbbihez hasonlóan alacsony hőmérsékletek.

Rahne Eric

HATÉKONYSÁGMUTATÓ

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

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