

## Korszerű infravörös detektorok

Papp Gábor\*

Az utóbbi 40 év egyik korszakalkotó lépése az érintkezés nélküli hőmérsékletmérés elterjedése a gépészeti és villamos diagnosztikában. Az elv, amely alapja a mérési eljárásnak, régóta ismert, hiszen az 1800-as évek végén már publikálták az ún. láthatatlan fénysugarak tulajdonságait. A megvalósítás váratott magára az 1960-as évek elejéig. A hidegháború, a harcászat fejlődése, az éjszakai látás igénye előrevetítette a passzív infravörös érzékelők rohamos fejlődését. Egy érdekes dátum, 1968, amikor az első ipari mérést végezték el svéd mérnökök egy katonai célra fejlesztett passzív éjjellátó készülékkel. Ettől kezdve a saját sugárzáson alapuló infravörös hőmérsékletmérés elterjedése és fejlődése töretlen. A fejlődést leginkább a különböző kialakítású, érzékenységre detektorok kifejlesztése határozza meg. Természetesen nem lehet figyelmen kívül hagyni a mikroelektronika, a számítástechnika és az ultraprecíziós megmunkálások fejlődését, hiszen ezek nélkül a technológiák nélkül, bármennyire érzékenyek is a detektorok, mérni velük nem tudnánk. Egészen a 90-es évek elejéig a hagyományos fotondetektorok uralták a készülékek többségének jelátalakítóit, majd 1995-ben megjelentek az első mozaik (FPA) kialakítású érzékelők, 1997-ben pedig az első mikrobolométer FPA detektorok. Ez a rövid szakcikk az érzékelők kialakításával, működési elvével foglalkozik a teljesség igénye nélkül.

### Detektor fajták

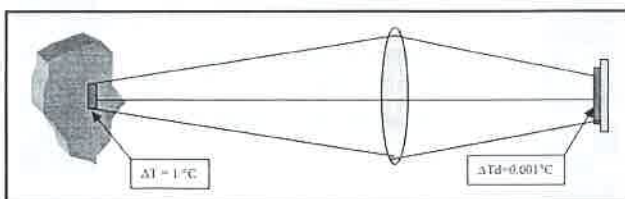
A detektor a termovíziós képalkotó rendszerek „lelke”. Feladata, az emberi szem számára láthatatlan infravörös sugárzás érzékelése, valamint a sugárzás intenzitásával arányos olyan jel előállítás, amely feldolgozható a továbbiakban.

*A detektorok kialakítása szerint* megkülönböztetünk: pont-, vonal- és mozaik (FPA) detektorokat.

*A detektorok működési elve szerint* megkülönböztetünk: foton- és hő- (thermal) detektorokat.

**A pont- és a vonaldetektorok** az infratelevíziózás kezdetekor elterjedt érzékelő fajták voltak, előállításuk igen költséges és hosszadalmas eljárást követelt. Az előállítás hagyományosan az egykristály növesztés technológiáján alapult. Megfelelő működtetésükhöz hűtés szükségeltett, amelyet folyékony nitrogénnel vagy folyékony héliummal oldottak meg, valamint a lencse által befogott kép pontokra felbontásához szükséges tükrös-prizmás rendszer alkalmazása elengedhetetlen volt. Tulajdonságaik közé sorolhatjuk a nagy érzékenységet, stabilitást és az egyszerű kivitel. Többségük a rövid hullámhossztartományban üzemelt, alapanyagaik a leggyakrabban PtSi és InSb voltak.

Manapság az úgynevezett **QWIP** (Quantum Well Infrared Photon) detektorok képviselik őket a korszerű készülékekben, igaz ezek már mozaik kivitelben és a hosszú hullámhossztartományban. A QWIP detektorok jellemzői között a rendkívül nagy érzékenységet kell kiemelni. Egy ilyen detektorral szerelt készülék pontossága:  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ahhoz hogy megértsük, mit jelent ez a pontosság, az **1. ábra** szemlélteti az  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérséklet-különbséghez szükséges detektor érzékenységét.



1. ábra

\*a Flir cég képviselője

A korszerű készülékbe épített detektorok többsége (90%) **FPA detektor** és azon belül is **hődetektor**. Két fajtáját különböztetjük meg: a mikrobolométer és a ferro- és piroelektromos fajtát.

*A mikrobolométerek* működési elve az infravörös sugárzás hatására létrejövő ellenállás-változás mérésén alapszik. Egyenfeszültség szükséges táplálásukhoz, rendkívül stabilak és könnyedén beépíthetők olyan készülékekbe, amelyekkel abszolút hőmérsékletet kívánunk mérni.

*A ferro- és piroelektromos érzékelők* az infravörös sugárzás hatására kapacitásukat változtatják. Jellemzőjük a váltóáramú táplálás, a gyengébb stabilitás, mint a mikrobolométer fajtánál, valamint külön elektronikai egység alkalmazása amennyiben abszolút hőmérsékletmérésre kívánjuk felhasználni.

Mivel a ma forgalomban lévő készülékek többségében mikrobolométeres detektor van beépítve, ezért ennek a típusnak a működésével foglalkozunk kicsit részletesebben.

**A mikrobolométer** úgy viselkedik, mint egy termisztor, vagyis hőmérsékletváltozás esetén ellenállása megváltozik. A hőmérsékletváltozást a detektor felületére felgőzölgetett VOX (vanádium-oxid) réteg érzékeli, amely az infravörös sugárzás hatására változtatja meg ellenállását. Egy detektorelem mérete  $50\text{ }\mu\text{m}$  oldalhosszúságú négyzet. A mikrobolométer elemek egy félvezetőhídon keresztül vannak összekötve, az analóg-digitális átalakítóval, majd mintegy memória egység tárolják és továbbítják a jeleket. Az analóg-digitális átalakítást tehát maga a detektorelem elvégzi. A detektorelemeket egy közös termoelektromos stabilizátorra rögzítik, amelynek hőmérséklete hűtés nélküli detektor esetén közel szobahőmérsékletű. Az így előállított FPA detektort egy olyan házban helyezik el, amelynek egyik oldalán egy ablak helyezkedik el. Az ablak infravörös áteresztő anyagból készül, germániumból, ennek irányába néz a detektor VOX rétege. Azáltal, hogy a 14 bites analóg-digitális átalakítót közvetlenül a detektorba építik be, minimálisra csökkentik a detektor működése során fellépő zajokat, ezáltal tiszta, szemcsészetlen infravörös képet állítanak elő. Az ilyen mikrobolométerek tulajdonságaihoz tartozik még a rendkívül jó linearitás valamint a stabilitás. Mivel hűtést nem alkalmaznak, ezért a detektor belső elemeinek (VOX-réteg, Ge-ablak stb.) sugárzása egy nagyságrenddel nagyobb, mint maga az objektum sugárzása, amelynek hőmérsékletét akarjuk mérni. Ezért elengedhetetlen a belső (a detektor elemeinek saját) sugárzás pontos nyomon követése, változásának mérése. Az így nyert adatokat használja fel a detektorba épített automatikus hőmérséklet-kiegyenlítő. Referenciaként a kiegyenlítés alapjául egyéb hőmérsékletérzékelőket illetve ismert sugárzású (hőmérsékletű) forrásokat használnak. Az így kapott referencia adatokat valamint a saját és a mérendő objektum sugárzásából származó jeleket matematikai algoritmusok segítségével dolgozzák fel.

**A fotondetektorok** működése alapvetően más, mint a mikrobolométereké. A detektorelemen belül egy alacsonyabb és egy magasabb energiaszinttel rendelkező sávot különböztetünk meg, közöttük egy őket elválasztó sávval. Az elektronok az alacsonyabb energiaszintű sávban helyezkednek el mindaddig, amíg hőmérsékletváltozás hatására a magasabb energiaszintű sávba „ugranak”, így szolgáltató számunkra feldolgozható jelet. Ebből következik, hogy ha a detektorelem önmaga felmelegszik, elektronjai könnyedén kerülnek a magasabb energiaszintű sávba, ezért a fotondetektorok minden esetben hűtést igényelnek. A hűtés hatására az elektronok nehezebben győzik le az elválasztó sáv ellenállását, kevesebb elektron kerül magasabb energiaszintre. Ahhoz hogy ezt a megnövekedett ellenállást legyőzzék, külső energiaforrásra van szükség, amelyet a hősugárzás fotonjai adnak. A magasabb hőmérsékletű tárgyak nagyobb energiájú fotonokat bocsátanak ki, így az elektronok

(Folytatás a 125. oldalán!)

## Kutatóközpontok

Az interneten számos hazai és külföldi kutatóközpont tart fenn információs oldalakat. Ezek a saját és a hasonló profilú kutatóközpontok szakmai munkáját és munkakapcsolatait mutatják be, tehát hasznos kiindulási helyek lehetnek. Így például a **Miskolci Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány** honlapján: <http://www.bzlogi.hu> számos projektekéről szóló információt, kiadványokat, adatbázisokat, végelemes analízis lehetőségeket leíró információt stb. találhatunk a szerkezetintegritás, az informatika, a gyártástechnológia stb. területről. A kutatóközpont, széles körű kapcsolatai révén, lehetőséget nyit a hazai és külföldi hasonló profilú kutatóközpontokkal való kapcsolattartásra.

A hazai és külföldi egyetemek oktatói és kutatói egyaránt részt vesznek és fenntartanak internetes leőhelyeket, ahol információkat találhatunk tevékenységükről, eredményeikről, projekt lehetőségeikről, szakembereikről és a további kapcsolattartás módjairól. Így például, a teljesség igénye nélkül, megemlíthető: a **Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**: <http://www.bme.hu/hu/okt/index.html>, a **Miskolci Egyetem** <http://www.uni-miskolc.hu/uni/res/>, a **Veszprémi Egyetem**: <http://www.vein.hu>, a **Londoni Egyetem** szerkezetintegritási megfigyelő oldala: <http://www.simonet.org/>, a **Stanfordi Egyetem**: <http://www.stanford.edu/>, a **Massachusetts-i Egyetem**: <http://www.mit.edu/>, a **Stuttgarti Egyetem**: <http://www.uni-stuttgart.de/en/>, a **Bristol-i egyetem**: <http://tip.men.bris.ac.uk/sirt/index.php> és a **California-i egyetem**: <http://mae.eng.uci.edu/faculty.html>, <http://www.mecheng.strath.ac.uk/research.asp>.

Ezen honlapokról számos információt nyerhetünk a projektekhez kapcsolódás lehetőségeiről, és sok esetben komplett oktatási tananyagok is megtalálhatók.

**Southwest Research Institute**: <http://www.swri.org/4org/d18/d18home.htm> Itt jól rendszerezett információt találhatunk a kutatóközpontokról, lehetőségeikről és az eddigi eredményeikről.

**FEMCOS: Research Organisation for Technical Mechanics**: <http://www.femcos.com/> Itt a kutatóközpont bemutatása mellett egy szoftver leírása és alkalmazásának lehetőségei is megtalálhatók.

**Martingale Research Corporation**: <http://www.martingale-research.com/prod02.htm> Ez a kutatócsoport főleg a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazásait mutatja be. E mellett a különböző képfeldolgozási lehetőségeikről, rendszerelemzéseikről kaphatunk betekintést.

(Folytatás a 124. oldalról)

nagyobb számban kerülnek magasabb szintre. Annak érdekében, hogy ne kerüljön magasabb energiaszintre túl sok elektron, a detektorelemen belül az elválasztó sávot „vastagabbra” készítik. Ezen fotonok hullámhossztartománya az infravörös tartomány rövidebb (3–5  $\mu\text{m}$ ) sávjába tartoznak. Az alacsonyabb hőmérsékletű tárgyak fotonjai kevesebb energiát hordoznak magukkal, hullámhossztartományuk a hosszú (7–13  $\mu\text{m}$ ) tartományba esik. Ilyenkor az elválasztó sáv „vékonyabb” az elektronok magasabb energiaszintre kerülésének megkönnyítése érdekében. Lényegesen egyszerűbb rövid hullámhossztartományban működő (érzékelő) detektort készíteni, mint a hosszú hullámút. A rövid hullámhossz-tartományú detektorok hátránya az alacsonyabb hőmérsékleten fellépő érzéketlenség.

A **QWIP detektorok** bázis hordozói gallium-arzén ötvözetből készülnek. A gyártás során 2  $\mu\text{m}$  vastagságban alumínium-gallium-arzén és gallium-arzén sávokat gőzölnek egymásra. Az AlGaAs rétegek az alacsony és magas energia sávokban üregeket képeznek, amelyekben az elektronok „összegyűlnek”. Így kisebb energiájú foton hatására is kellő számú elektron képes az energiaszintjének megváltoztatására. Az így

**ASKACHE** <http://www.askache.com/>. Itt egyaránt található mechaikái, kémiai és szoftverekről szóló információk.

**AAA technology** <http://www.aaatech.com/>. Ez a csoport főleg csővezeték tervezéséhez nyújthat segítséget.

**Joint Research Centre**: [http://www.jrc.it/default.asp?sldSz=more\\_information](http://www.jrc.it/default.asp?sldSz=more_information). Ez egy európai tudományos és technikai kutatóközpont honlapja. Számos információt találhatunk itt projektekről és a részvétel lehetőségeiről.

**Joint Research Centre (JRC), Institut for Energy (Petten)** <http://www.jrc.nl> honlapján az intézet bemutatásán kívül megtalálhatók mindazon hálózatok keretében végzett tevékenységek, amelyeket a JRC koordinál, így az EPERC, NESC, ENIQ, AMES, PREVIN, OCEAN stb. Külön értéke e honlapnak, hogy on-line anyagadatbázisa is van. Ennek címe: <http://matdb.jrc.nl>, ahol ötvözetek és kompozit anyagok adatbázisa, korróziós adatbázis valamint tömítések tulajdonságaira vonatkozó adatok találhatóak.

## Szoftverek

A világhálón számos olyan hely létezik, ahonnan különböző programokat lehet letölteni. Ezek lehetnek kipróbálási vagy ingyenes programok is. Minden esetben viszont folyamatosan frissítik ezen programok listáját és esetenként fel lehet iratkozni oly hírlevelekre, amelyek e-mail küldésével értesítik az érdeklődőket az újabb programok letölthetőségéről. Sajnos ezen internetes leőhelyek nem tartalmaznak kifejezetten szakmai jellegű programokat, viszont számos statisztikai, matematikai vagy grafikus képezelői programot lehet itt találni, amelyek a szakemberek számára is hasznosak és esetleg ingyenesek is. Az egyik ilyen hely például a <http://www.freedownloadcenter.com/> címen található. Itt rendszeresen lehet újabb programokról értesítést kérni, és számos ingyenes program is letölthető. Egy másik hasonló profilú internetes leőhely a <http://www.tucows.com/>, ahol a programok rendszerezve vannak profil és operációs rendszer szerint.

*Klementis Ottó*

kapott detektor rendkívül érzékeny, tehát alkalmazható a hosszú hullámhossztartományban. A megfelelő érzékelő geometria kialakítása után egy rendkívül szűk sávban (8–9  $\mu\text{m}$ ) érzékeny detektort kapunk. Természetesen a QWIP detektorok működéséhez elengedhetetlen a hűtés.

A ma leggyakrabban beépítésre kerülő detektorok felbontóképessége 320x240 képpont. A felbontás növelésének gátat szab a szomszédos detektorelemek közötti „áthallás”. Az „áthallást” úgy kell elképzelni, hogy egy egyértelműen a környezeténél magasabb hőmérsékletű tárgy képe „életlennek” tűnik, mert az érzékelésben résztvevő detektorelemek a szomszédos detektorelemeket is felmelegítik, amelyekre közvetlenül a tárgyról nem érkezik infravörös sugárzás.

A jövőt megjósolni nagyon nehéz, de nagy a valószínűsége annak, hogy a felbontóképesség növelését tűzik ki maguk elé a fejlesztők, annál is inkább mert az infravörös technológiában az optikai képkicsinyítés és nagyítás fokozatmenetesen állítható (zoom) objektívokkal nem oldható meg. Természetesen foglalkoztatja a kutatókat olyan ötvözet kialakítása is, amely segítségével olyan érzékelő állítható elő, amely képes rövid és hosszú hullámhossztartományban egyaránt működni, lehetővé téve a magas és alacsony hőmérsékletek egyidejű és pontos mérését egy termovíziós kamera segítségével.