

Infrakamera a její využití v BT

Thermal Camera And Its Use In Safety Technologies

Jakub Icela

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav elektrotechniky a měření
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub ICELA**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Infrakamera a její využití v BT**

Zásady pro vypracování:

1. Objasněte principy činností infrakamer.
2. Popište technické parametry a uživatelské možnosti infrakamery TP8.
3. Zhodnoďte a navrhnete možnosti využití infrakamer v PKB.
4. Navrhnete laboratorní úlohu demonstrující využití infrakamery v PKB.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Kreidl M.: Měření teploty - senzory a měřící obvody, BEN technická literatura, Praha 2005, ISBN: 80-7300-145-4
2. Levitin I.B.: Infračervená technika, ALFA, Bratislava 1979
3. Kindl J.: Projektování bezpečnostních systémů I díl, vydání 2004, ISBN 80-7318-165-7. ČSN CLC/TS 50398
4. Infračervené záření známe již 203 let, [online] dostupné z URL
5. What is a Blackbody and Infrared Radiation?, [online] dostupné z URL (<http://www.electro-optical.com>)
6. TP8 IR Thermal Camera - User manual, Wuhan 420070 P.R.CHINA: Wuhan GuidedInfrared Technology Co., Ltd., 2006, 97 s.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Rudolf Drga

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

22. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2008

Ve Zlíně dne 22. února 2008

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá principem činnosti infrazamery. Zhodnocuje, ale také navrhuje možné využití infrazamery v bezpečnostních technologiích. Dále obsahuje technické parametry a uživatelské možnosti infrazamery ThermoPro TP8. V praktické části jsou popsány dva příklady, které demonstrují využití infrazamery v bezpečnostních technologiích.

Klíčová slova: Infrazamera, termovize, termografie, termální zobrazování, noční vidění, bezdotykové měření, infračervené záření.

ABSTRACT

This work deals with the principles of thermal camera function. It evaluates but also suggests possible use of thermal camera in safety technologies. Further it contains technical parameters and user alternatives of the thermal camera ThermoPro TP8. In the practical part of this work there are two examples described, which demonstrate the thermal camera use in safety technologies.

Keywords: Thermal Camera, thermovision, thermography, thermal imaging, night vision, contactless measurement, infrared radiation.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Rudolfu Drgovi za čas, který mi věnoval při konzultacích a za připomínky, kterými mě směřoval k cíli.

Také bych velmi rád poděkoval své tetě Mgr. Zoji Švehlíkové za neocenitelnou pomoc při překladech anglicky psaných materiálů.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ	11
1.1 HISTORIE	11
1.2 ROZDĚLENÍ INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ.....	11
1.3 PROSTUP INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ ATMOSFÉROU	12
1.4 VYUŽITÍ INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ	13
2 DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ	15
2.1 ROZDĚLENÍ DETEKTORŮ INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ.....	15
2.1.1 Intrinšické detektory	16
2.1.2 Extrinšické detektory	16
2.1.3 QWIP	17
2.1.4 Termoelektrické detektory	17
2.1.5 Pyroelektrické detektory	18
2.1.6 Bolometrické detektory.....	18
2.1.7 Mikrobolometrické detektory.....	19
2.2 PŘÍKLADY NĚKTERÝCH MATERIÁLŮ UŽÍVANÝCH PRO MATICE SENZORŮ:	21
3 INFRAKAMERA	22
3.1 PRINCIP ČINNOSTI OBECNÉHO TERMOGRAFICKÉHO SYSTÉMU	23
3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA INFRAKAMERY	26
3.3 DRUHY INFRAKAMER	27
3.3.1 Chlazené infračervené detektory.....	27
3.3.2 Nechlazené infračervené detektory	28
3.4 SEZNAM SPECIFIKACÍ	28
3.5 VYUŽITÍ INFRAKAMER.....	28
3.5.1 V bezpečnostních technologiích	29
3.5.1.1 Vyhledávání uprchlíků.....	29
3.5.1.2 Záchrana v nepříznivých podmínkách	31
3.5.1.3 Pronásledování vozidel.....	32
3.5.1.4 Rutinní obhlídka.....	33
3.5.1.5 Bezpečnost strážníků	35
3.5.1.6 Bezpečnost létání.....	36
3.5.1.7 Hasičské služby.....	36
3.5.1.8 Ochrana životního prostředí	37
3.5.1.9 Noční vidění pro automobily	38
3.5.1.10 Další aplikace.....	40
3.5.2 V jiných odvětvích	44
4 UŽIVATELSKÉ MOŽNOSTI A TECHNICKÉ PARAMETRY KAMERY THERMOPRO TP8	47

4.1	JEDINEČNÉ VLASTNOSTI.....	47
4.2	MOŽNOSTI ZOBRAZENÍ:	48
4.3	MĚŘENÍ TEPLoty	49
4.4	ZÁZNAM SNÍMKŮ	50
4.5	PŘEHRÁVÁNÍ ZÁZNAMŮ	50
4.6	SOFTWARE GUIDE IRANALYSER®	51
4.6.1	Zpracování video signálu.....	52
4.7	TECHNICKÉ PARAMETRY TP8	53
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	56
5	ÚVOD	57
5.1	ÚKOL Č. 1	57
5.1.1	Zadání.....	57
5.1.2	Realizace	57
5.1.2.1	Technické parametry zvolených kamer	58
5.1.3	Vyhodnocení.....	60
5.2	ÚKOL Č. 2	61
5.2.1	Technické parametry kamery Canon MV930.....	62
5.2.2	Vyhodnocení.....	62
	ZÁVĚR	65
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK	72
	SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

K velkému rozvoji zařízení pro detekci infračerveného záření došlo v průběhu 1. sv. války. Jednalo se především o systémy pro detekci nepřátel, komunikaci a navádění torpéd. V období mezi 1. a 2. sv. válkou byly vynalezeny dva nové infračervené detektory: konvertor obrazu a fotonový detektor. O konvertor obrazu se ze začátku opět nejvíce zajímala armáda, protože umožňoval „vidět ve tmě“. Citlivost konvertoru obrazu byla omezena na blízké infračervené vlnové délky. Cíle proto musely být osvětleny infračervenými vyhledávacími paprsky a tím vzniklo nebezpečí, že poloha pozorovatele bude prozrazena podobně vybavenému nepříteli. Pro tento nedostatek zájem armády o konvertor obrazu zanikl. Po 2. sv. válce došlo k rozvoji „pasivních“ systémů (bez vyhledávacího paprsku). V té době zakazovaly vojenské bezpečnostní systémy zveřejňování informací o infračervené zobrazovací technice. K odtajnění došlo až v polovině padesátých let a to když v roce 1965 představila švédská firma AGA Infrared (AGEMA Infrared) Systems AB první průmyslově použitelný termovizní systém AGA Thermovision® 665. Byl to v podstatě začátek používání termografické techniky (mimo vojenské aplikace) v široké oblasti použití v energetice, různých průmyslových odvětvích, petrochemii, stavebnictví, lékařství, výzkumu atd. Po uvedení prvního termografického systému na trh se tato technika, i díky vývoji nových mikroelektronických prvků a komponent, velmi rychle rozvíjela. Do tehdejší ČSSR byl první systém dovezen v roce 1967 a brzy „zdomácněl“ pojem termovize i v ČR. V současnosti je termografická technika využívána v mnoha oborech lidské činnosti a je nabízena různými výrobci po celém světě.

Hlavní předností současných termovizních systémů je vysoká citlivost a zobrazovací frekvence (50 Hz PAL, 60Hz NTFS) detektoru, která umožňuje především rychlé a kvalitní zobrazení měřeného objektu. Spolu s širokým rozsahem pracovních teplot (-15 + 50 °C) a měřícím rozsahem (-40 + 2000 °C), nabízejí termovizní kamery pokrytí všech požadavků na bezkontaktní měření teplot.

V současné době infrakamery nabízí čtyři základní druhy použití [7]:

1. Nedestruktivní defektoskopie
2. Kontrola a řízení technologických procesů
3. Výzkum a vývoj

4. Speciální aplikace

Podle konstrukce se dají termovizní systémy rozdělit na pevně zabudovatelné (automatická činnost s možností automatizace procesů při výrobě) a přenosné, které nabízejí široké použití.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ

1.1 Historie

První zmínka o infračerveném záření je stará přes 200 let, ale i tak je infračervené záření pro lidstvo stále ještě poměrně novým druhem. Jeho monochromatické složky mají delší vlnovou délku než viditelné záření, kterého spektrum z jedné strany lemují. (Objevitelem infračerveného záření v roce 1800 je britský astronom William Frederic Herschel. Ten pomocí hranolu nejprve rozložil sluneční světlo na spektrum a poté k jeho jednotlivým částem přikládal teploměr. Směrem k červené oblasti spektra teplota rostla. Poté přiložil teploměr za červenou část spektra a zjistil, že teplota stoupla více než v kterékoliv části červeného spektra. Tato oblast byla nazvána infračervenou (z latinského infra = pod).

Od té doby bylo zaznamenáno několik pokusů o zviditelnění a až v roce 1934 se němci Holstovi podařilo zviditelnit IR záření na fotoelektrickém principu. Sestrojil fotoelektrický elektronkový převaděč, kterým bylo možno zobrazit IR záření do vlnové délky 1,4 μm . Tímto byl položen základ pro konstrukci moderních termovizních kamer, které se stále zdokonalují a umožňují využití širšího spektra vlnových délek.

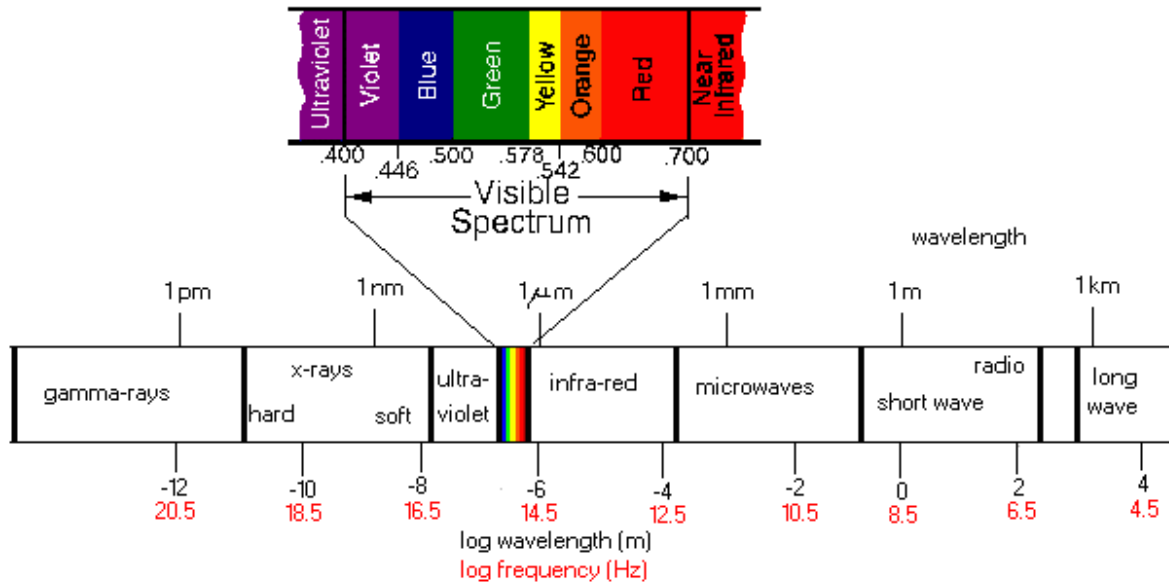
1.2 Rozdělení infračerveného záření

V současné době se infračervené záření dělí z technologického hlediska podle vlnového rozsahu na tři pásma A, B a C.

- Pásmo A zahrnuje rozpětí vlnových délek $\lambda = 0,76 - 1,4 \text{ nm}$ (blízka infračervená oblast),
- pásmo B $\lambda = 1,4 - 3 \mu\text{m}$ (střední infračervená oblast),
- pásmo C úsek nad $\lambda = 3 \mu\text{m}$ (vzdálená infračervená oblast), ta pak přechází bez ostré hranice, přibližně v pásmu kolem 1mm, do oblastí radiových vln).

Použití tohoto rozdělení je zvláště výhodné, pokud mluvíme o zdrojích a detektorech infračerveného záření. V blízké infračervené oblasti se používají stejné prostředky jako pro

viditelné záření. Ve střední infračervené oblasti se používají jen některé stejné prostředky jako pro viditelné záření a ve vzdálené oblasti se používají pouze tepelné prostředky.



Obrázek 1: Rozdělení spektra¹

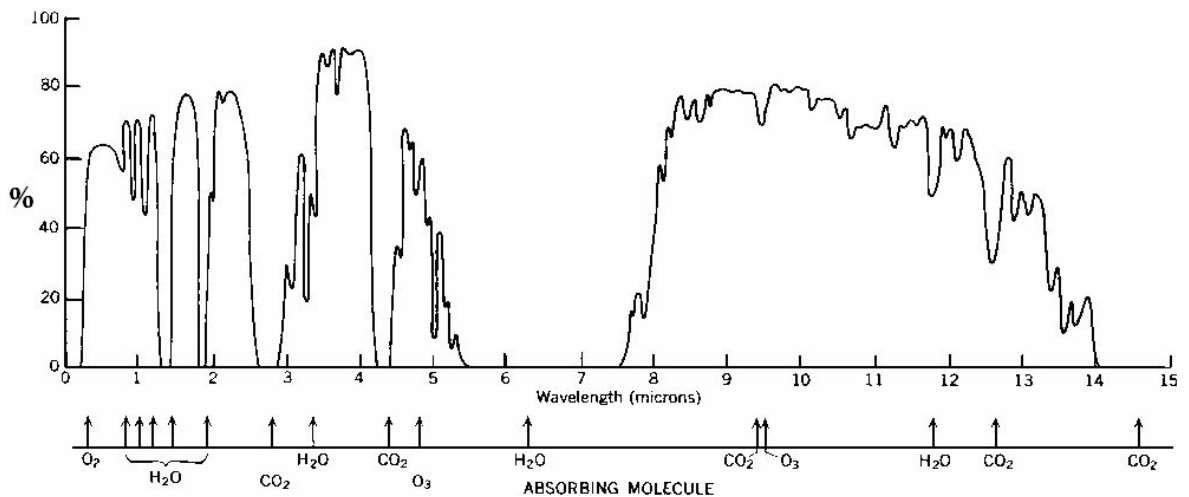
1.3 Prostup infračerveného záření atmosférou

Znalosti z oblasti chování infračerveného záření při prostupu atmosférou jsou důležité pro všechny aplikace na Zemi. Atmosféra obsahuje plyny, tekutiny i pevné látky, které zeslabují nebo naopak rozptylují procházející infračervené záření. Rozptyl znamená změnu ve směru šíření paprsku záření, což je způsobeno pohlcením a následným vyzářením energie částicemi prostředí. Rozptyl molekulami plynu je zanedbatelný pro vlnové délky větší než 2 μm . Stejně tak částice kouře jsou malé s ohledem na vlnovou délku infračerveného záření, a proto jím může infračervené záření pronikat dále než viditelné světlo. Okolo 78% atmosféry je tvořeno dusíkem a 20% kyslíkem. Zbytek se skládá z helia, oxidu uhličitého, vodíku, metanu, neonu, ozonu a kryptonu.

Vodní pára je patrně nejdůležitější součástí atmosféry z hlediska pohlcování infračerveného záření. Vodní pára pohlcuje záření nejvíce při vlnových délkách 1,38 μm , 1,87 μm , 2,7 μm a 6,3 μm jak jde vidět na obrázku č. 2. Nejvíce vodní páry se nachází při zemském povrchu.

Kromě vodních par nejvíce k zeslabení infračerveného záření přispívají oxid uhličitý a ozon. Oxid uhličitý silně absorbuje při vlnových délkách 2 μm , 2,7 μm , 4,3 μm a 15 μm . Pásmo absorpce ozonu leží v oblasti mezi 9,3 a 9,8 μm [4].

Následující graf (obrázek) znázorňuje závislost průchodu záření na vlnové délce.



Obrázek 2: Procentuelní průchod záření v závislosti na jeho vlnové délce.¹

1.4 Využití infračerveného záření

Infračerveného záření z přirozených nebo umělých zdrojů se dnes využívá v řadě oborů lidské činnosti. K sušení, vytápění a ohřevu, v infračervené spektroskopii, ve vojenské technice k navádění raket nebo u přístrojů pro noční vidění, infrafotografii, optoelektronice, pyrometrii, u laserové techniky. (Lasery mohou emitovat záření o různých vlnových délkách od oblasti X-paprsků přes ultrafialové a viditelné pásmo až k vlnovým délkám v infračervené oblasti.) Na infračerveném záření je založený i obor termografie. Infračervené

¹ *What is a Blackbody and Infrared Radiation?, Atmospheric Absorption*, [online], [2008-02-28].

záření v rozsahu od 0,8 μm do 30 μm vyzařuje každý předmět v rozsahu teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ výše, včetně člověka.

Elektromagnetických vln v oblasti infračerveného záření lze použít vedle ultrazvuku a elektromagnetických vln v oblasti rozhlasových pásem i pro dálkové ovládání, kde je třeba ale přiřazením různých kanálů zaručit nemožnost vzájemného rušení mezi jednotlivými oblastmi využití. Optika vysílače rozptyluje paprsek s vyzařovací charakteristikou přibližně kuželového tvaru s vrcholovým úhlem kolem 30° . Pro šíření infračerveného záření platí obdobné podmínky jako pro šíření světla - je tedy omezené na konkrétní prostor, ohraničený neprůhlednými překážkami, ale i dosahem vysílače nebo citlivostí přijímače. Pro šíření IR signálu je možné použít i odrazů od pevných předmětů odrážejících světlo.²

² Nováček J.: *Kalibrace termovizního systému (kamery) Fluke Ti30*, Masarykova univerzita - Brno 2007, 41s.

2 DETEKTORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ

Detektory infračerveného záření jsou vlastně snímače vyzařované energie. Nejsou citlivé na viditelné světlo a umožňují tak „vidění“ při zatemněných podmínkách díky tomu, že detekují infračervené záření vysílané snímanými objekty. Zachycená energie je přeložena do obrazů, které ukazují energetické rozdíly mezi jednotlivými objekty. Pod infračerveným světlem se odkrývají charakteristiky, které nejsou pod viditelným světlem vůbec zřejmé. Proto je možné pozorovat siluety lidí, zvířat a objektů za úplné tmy nebo např. odhalovat tepelné úniky z objektů.

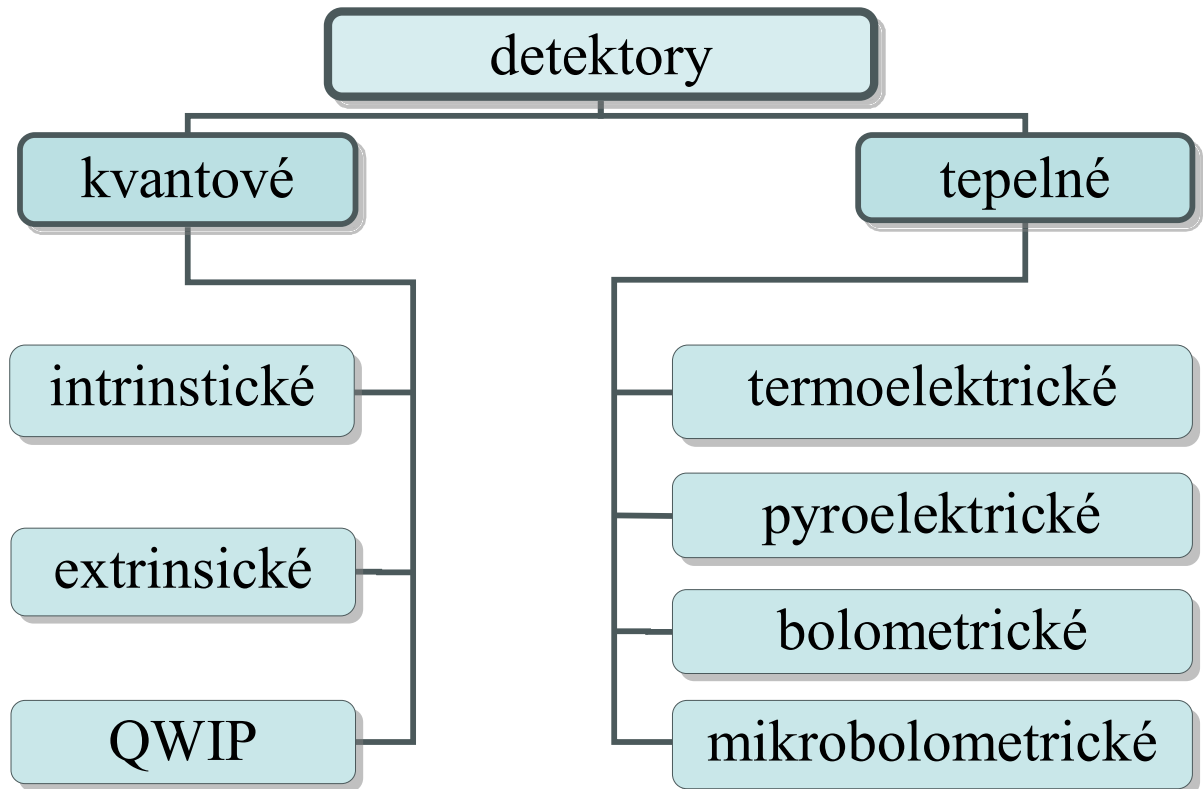
2.1 Rozdělení detektorů infračerveného záření

Základně rozdělujeme detektory infračerveného záření na kvantové a tepelné.

V kvantových detektorech dochází ke vzniku volných nosičů elektrického náboje interakcí fotonů s vázanými elektrony. Kvantové detektory se dělí na intrinsické, extrinsické a novější QWIP (Quantum Well Infrared Photodetector).

U tepelných detektorů dochází při absorpci fotonů k oteplení citlivé části detektoru a pohlcená energie se vyhodnocuje nepřímo prostřednictvím snímačů teploty. Tepelné detektory se dělí na termoelektrické, pyroelektrické, bolometrické a mikrobolometrické.

Na obrázku č. 3 je rozdělení infračervených detektorů přehledně znázorněno.



Obrázek 3: Rozdělení detektorů infračerveného záření

2.1.1 Intristické detektory

Jsou vyrobeny z čistého (tj. vlastního) polovodiče. Intristický detektor někdy označovaný jako fotorezistor využívá změny pohyblivosti nosičů nábojů při dopadu fotonů na polovodičovou vrstvu a jeho vodivost je funkcí toku fotonů neboli detektor pracuje v tzv. fotovodivostním módu. Detektor vyžaduje vnější elektrické pole, které způsobí přenos nosičů náboje a následný průtok elektrického proudu.

2.1.2 Extrinsické detektory

Princip je založen na polovodičovém P-N přechodu. Počet nosičů náboje je v tomto případě dán počtem příměsí. V polovodiči typu N se vyskytují příměšové atomy s nadbytkem valenčních elektronů. U polovodiče typu P vzniká opačná situace. Příměšové atomy se vyznačují nedostatkem valenčních elektronů. Spojením těchto dvou typů polovodičů vzniká

P-N přechod, ve kterém difuzí děr z P do N a elektronů opačným směrem ustaluje dynamická rovnováha a vyrovnávají se koncentrace elektronů a děr na obou stranách. Vzniká tak elektrická dvojvrstva. Absorpcí fotonu v této dvojvrstvě dojde ke vzniku páru elektron-díra a následnému pohybu elektronu do oblasti N a díry do oblasti P. Tak vzniká na fotodiodě napětí. Rozlišujeme dva základní módy fotodiody: fotovodivostní a fotovoltaiické.

2.1.3 QWIP

Princip je stejný jako u extrinsického detektoru. Tento typ detektoru je založen na využití kvantových jam. Jedná se o nepatrně tenké struktury, které jsou naskládány těsně na sobě a ve kterých se uplatňují zákony kvantové mechaniky. Detektor je složen z velkého množství (více jak 100) vrstev polovodiče GaAs a každá vrstva má sílu 10–700 atomů. K vyrazení elektronu z kvantové jámy je třeba foton s přesnou energií. To umožňuje vyladění QWIP detektoru na potřebné vlnové délky záření. QWIP detektor je mnohem citlivější než extrinsický detektor, protože působí jako pohlcující člen celá kvantová jáma, ne jenom příměsový atom.

2.1.4 Termoelektrické detektory

Také nazývány termoelektrické baterie nebo infratermočlánky. Konstrukce spočívá v tom, že na černý materiál absorbující infračervené záření se připojují aktivní konce termočlánků. Ty vznikají spojováním dvou pásků vyrobených z rozdílných kovů. Ve spojích pásků vzniká napětí, které je úměrné teplotě spojení. Když je záření opticky fokusováno na termočlánek, jeho teplota se zvětší nebo zmenší podle toho, zda se tok infračerveného záření zvýší či sníží. Pro zvýšení citlivosti musí být detektor izolován od svého okolí. Pro rychlou odpověď musí být detektor schopen rychle uvolnit nahromaděné teplo. Proto je nutné brát při výrobě termoelektrických detektorů v potaz kompromis mezi oběma těmito požadavky [4] [1].

2.1.5 Pyroelektrické detektory

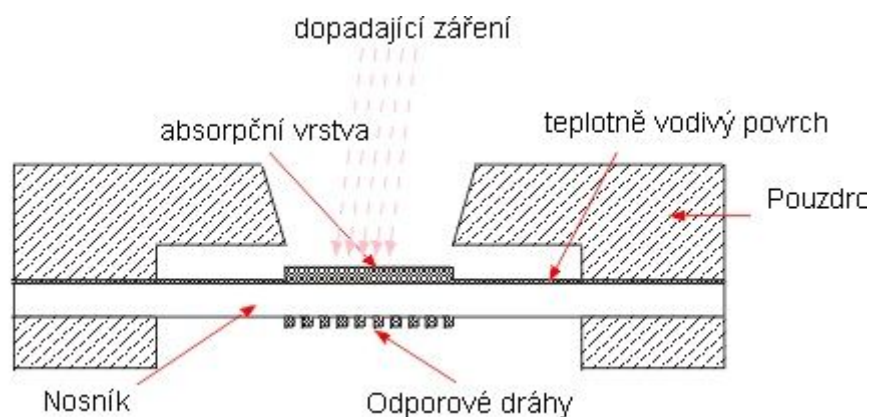
Detektory jsou založeny na pyroelektrickém jevu tj. změně spontánní polarizace při změně teploty. Detektory pracují tak, že výkyvy v ozáření detektoru odpovídají kolísání polarizace, a tak vzniká střídavý proud, který může být monitorován vnějším zesilovačem. Kromě pyroelektrik se tento jev vyskytuje také u feroelektrik, kde orientaci domén vytváří silné vnější pole. Pro pyroelektrické detektory se nejčastěji používají materiály jako např. PZT – keramické materiály na bázi titaničitanu a zirkoničitanu.[1]

Přístroje využívající pyroelektrický detektor, jsou výhodné v tom že, nevyžadují chlazení. Nevýhodou ovšem může být že, vyžadují trvale se měnící obrazový signál. Pokud se obraz přenášený čočkou nemění, kamera přestává snímat obraz. Kamery založené na pyroelektrickém principu jsou vhodné jenom jako zobrazovací zařízení, nikoliv pro radiometrii.

2.1.6 Bolometrické detektory

Snímají oteplení detektoru teplotně závislým odporovým materiálem, tj. pohlcené záření způsobí změnu teploty odporového čidla a tím i změnu jeho elektrického odporu[1] (tento princip je podobný principu činnosti termočlánku). Množství dopadajícího záření může být tedy určeno ze změn odporu bolometru. Aby však byla změna teploty bolometru úměrná pouze absorbovanému infračervenému záření, musí být vlastní bolometr tepelně izolován od svého okolí.[8]

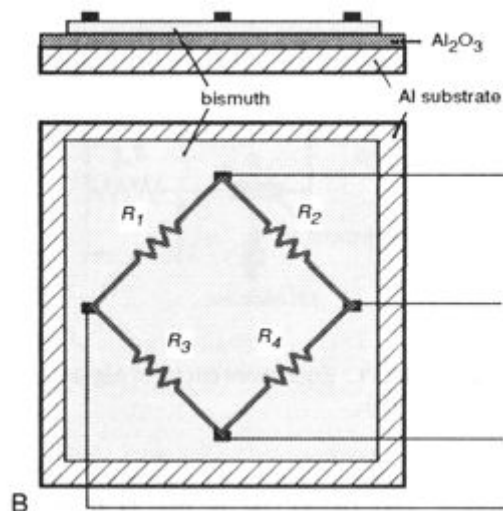
Princip je naznačen na obrázku č.4 a pod ním je také popsán.



Obrázek 4: Provedení jednoduchého bolometru³

Infračervené záření dopadá na absorpční vrstvu senzoru tvořenou zlatou fólií, která pohlcuje až 95% záření. To ohřívá teplotně vodivý povrch i nosník. Na spodní straně nosníku je napařený meandr odporové dráhy, jejíž odpor se mění lineárně s teplotou.

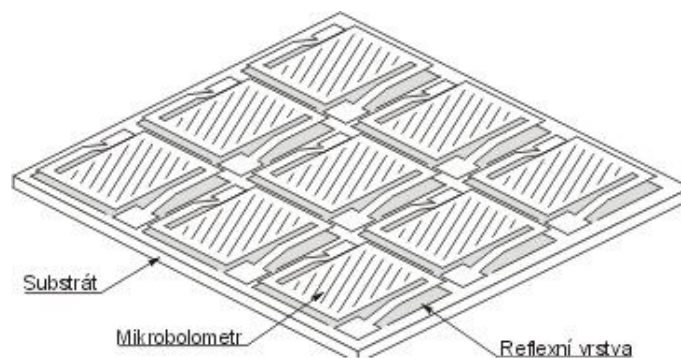
Na obrázku č. 5 je příklad dnes běžnější realizace v integrovaných bolometrech, tzn. na hliníkové desce odizolované oxidem hlíníku Al_2O_3 , jsou na tepelně vodivé podložce z bismutu napařené odporové dráhy z kysličníků MgO , MnO , NiO , TiO_2 (tzv. termistorové bolometry) nebo chalkogenidové sklo (tzv. vrstevné bolometry). U jednoduchých bolometrů jsou obvykle použity čtyři odporové dráhy (R_1 až R_4) vzájemně propojené do Wheatstonova můstku, z nichž se některé dráhy používají jako kompenzační nebo referenční.



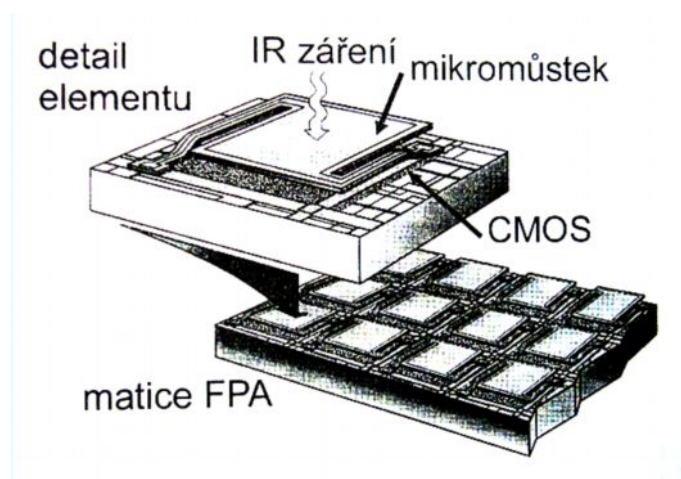
Obrázek 5: Bolometr³

2.1.7 Mikrobolometrické detektory

Mikrobolometr (někdy také nazýván mikrobolometrové pole) se od jednoduchého bolometru liší pouze počtem odporových plošek na jednom senzoru. Lze je uspořádat jako řádkové nebo plošné detektory. Standardně jde o dvourozměrné pole (maticové uspořádání) pokryté právě teplotně citlivým odporovým materiálem ve formě plošek, který absorbují infračervené záření - viz obrázek 6.

Obrázek 6: Mikrobolometr³

Celý mikrobolometrický senzor je pak vyroben jako monolitický křemíkový obvod.. Jako odporový materiál se v mikrobolometrech nejčastěji používá oxid vanadičitý VO_2 nebo nitrid křemíku. Odporová ploška je z důvodů tepelné izolace vyvýšena nad křemíkový substrát. Vzniklý prostor vyplňuje vzduch, který tak plní funkci izolantu. Pro zvýšení účinnosti se křemíkový substrát opatřuje reflexní vrstvou. Kvůli dalšímu zpřesnění měření se některé mikrobolometry umisťují na Peltierův element. Díky tomu se udržuje konstantní teplota detektoru až v rozmezí $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Tyto detektory se nejčastěji využívají v infrakamerách.[4]

Obrázek 7: FPA mikrobolometrická matice⁴

³ Vojáček A.: *Co jsou bolometry a mikrobolometry?*, [online], [cit. 2008-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601>>

⁴ Kreidl M.: *Měření teploty: senzory a měřící obvody*, BEN – Praha 2005

2.2 Příklady některých materiálů užívaných pro matice senzorů:

- vanadium oxide (oxid vanadičný)
- lanthanum barium manganite (manganitan lanthanito-barnatý)
- amorphous silicon (amorfní křemík)
- lead zirconate titanate (titaničitan olovnato-zirkoničitý)
- lanthanum doped lead zirconate titanate (titaničitan olovnato-zirkoničitý s přísadou lanthanu)
- lead scandium tantalate (tantaličnan olovnato-skanditý)
- lead lanthanum titanate (titaničitan olovnato-lantahanitý)
- lead titanate (titaničitan olovnatý)
- lead zinc niobate (niobičnan olovnato-zinečnatý)
- lead strontium titanate (titaničitan olovnato-strontnatý)
- barium strontium titanate (titaničitan barnato-strontnatý)
- barium titanate (titaničitan barnatý)
- antimony sulfoiodide (sulfojodid antimonitý)
- polyvinylidene difluoride (difluorid polyvinylidenu)

3 INFRAKAMERA

Infrakamera, někdy také nazývaná FLIR (Forward Looking InfraRed), nebo termografická kamera, je zařízení, které vytváří obraz za pomoci infračerveného záření, podobně jako běžná kamera, která však vytváří obraz s využitím viditelného světla. Pro srovnání infrakamery pracují nejčastěji s vlnovými délkami v rozmezí 3,5 až 5 mikrometrů (Short Wave) a 8 až 14 mikrometrů (Long Wave). Za to klasické kamery v rozmezí vlnových délek 450-750 nanometrů.

Všechny předměty vysílají určité množství záření černého tělesa což je způsobeno jejich teplotou. Obecně vzato čím vyšší je teplota těchto předmětů, tím více infračerveného záření v podobě záření černého tělesa vysílá. Speciální kamera umí zjistit toto záření podobným způsobem, jako obyčejná kamera to dělá s viditelným světlem. Pracuje dokonce i v úplné tmě, protože úroveň osvětlení okolí není podstatná. To je užitečné především při záchranných operacích v budovách naplněných kouřem a v prostorech pod zemí o tom však dále.

Obrazy z jednoduchých infračervených kamer mají sklon k tomu být jednobarevné, protože jsou obecně navrženy pouze s jedním (jednoduchým) typem senzoru, který odpovídá pouze určitému okruhu vlnových délek infračerveného záření. Barevné infrakamery vyžadují komplexnější stavbu, aby byly schopné rozlišit vlnové délky. Barva má menší význam vně normálního viditelného spektra, protože lišící se vlnové délky nemapují rovnoměrně do systému barevného vidění, užívaného lidmi. Někdy jsou tyto jednobarevné obrázky zobrazené v pseudo-barvě, kde jsou použity spíše změny v barvě než změny v intenzitě, aby se lépe ukázaly změny v signálu. To je užitečné, ačkoliv lidé mají mnohem dynamičtější rozsah v odhalení intenzity než barvy celkově, schopnost vidět jemné rozdíly intenzity v jasných oblastech je docela omezená. Tato technika se nazývá „density slicing“.

Při využití infrakamery pro měření teploty se obvykle nejjasnější (nejteplejší) části obrazu barví bíle, střední teploty červeně a žlutě, a nejtmačší (nejchladnější) části modře. Vedle obrázku zvolené palety „pseudo barvy“ je stupnice, která jasně definuje teplotu určité barvy viz následující obrázek.

Obrázek 8: Pseudobarevná stupnice⁵

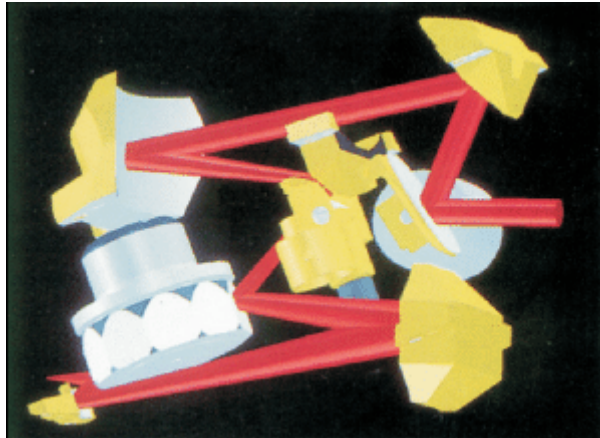
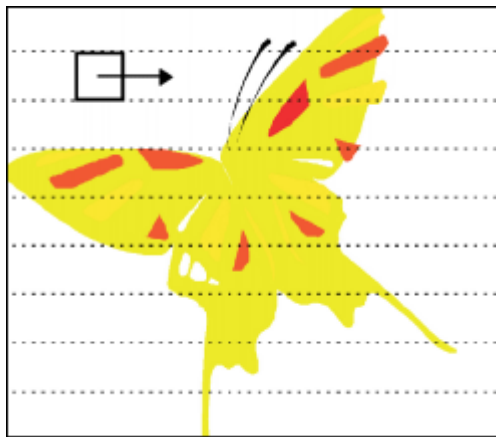
Rozlišení infراكamer je mnohem menší než u klasických optických kamer, snímací čip má většinou pouze 160x120 v lepších případech 640x480 pixelů. Infrakamery jsou několikanásobně dražší než klasické optické kamery. Ceny se řádově pohybují od 100000 - 850000 Kč dle typu infراكamery.

3.1 Princip činnosti obecného termografického systému

Informace o zobrazovaném objektu a prostředí, kterým je obklopen – pozadí a atmosféra popsaná jako primární parametrické pole (ppp), jehož vlastnosti se mohou měnit v prostoru a čase, je systémem zobrazujícím infračervené záření (infračervený systém) rozložena na jednotlivé elementární plošky a v určitém časovém intervalu zobrazena jako tepelný obraz – termogram. Podle způsobu rozkladu ppp v prostoru a čase se termografické systémy využívající rozklad dělí na systémy

- s úplným rozkladem (skenovací systémy – viz Obrázek 9)
- s částečným rozkladem (skenování v řádku nebo sloupci – viz Obrázek 10).

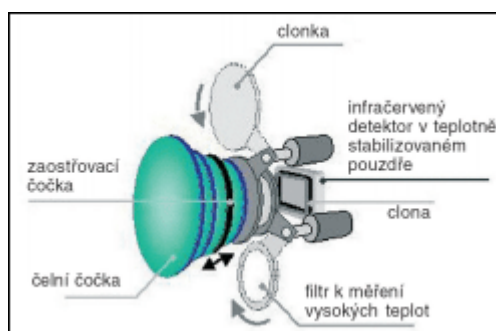
⁵ Wikipedia, the free encyclopedia – *Thermographic camera*, [online], [cit. 2007-12-10]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera>

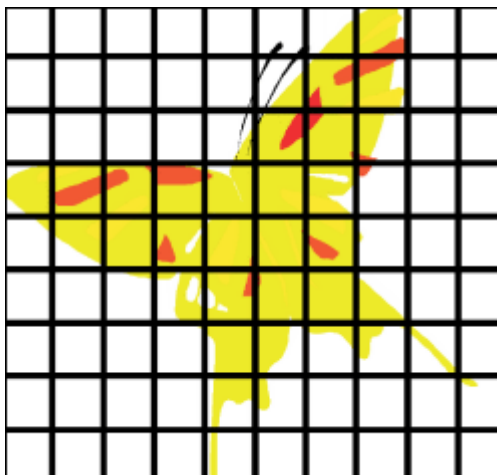
Obrázek 9: Opticko-mechanický rozklad (Agema THV900)⁶Obrázek 10: Termogram vytvořený jedním („bodovým“) detektorem⁶

Systemy s úplným ani s částečným rozkladem se dnes skoro již nevyrábí.

Jinou možností, jak získat termogram, je použít systém bez rozkladu vstupní informace

- systémy s mozaikovým detektorem (neskenovací systémy – viz obrázek)

Obrázek 11: Kamera s nechlazeným mozaikovým detektorem FPA⁶



Obrázek 12: Termogram vytvořený mozaikovým detektorem⁶

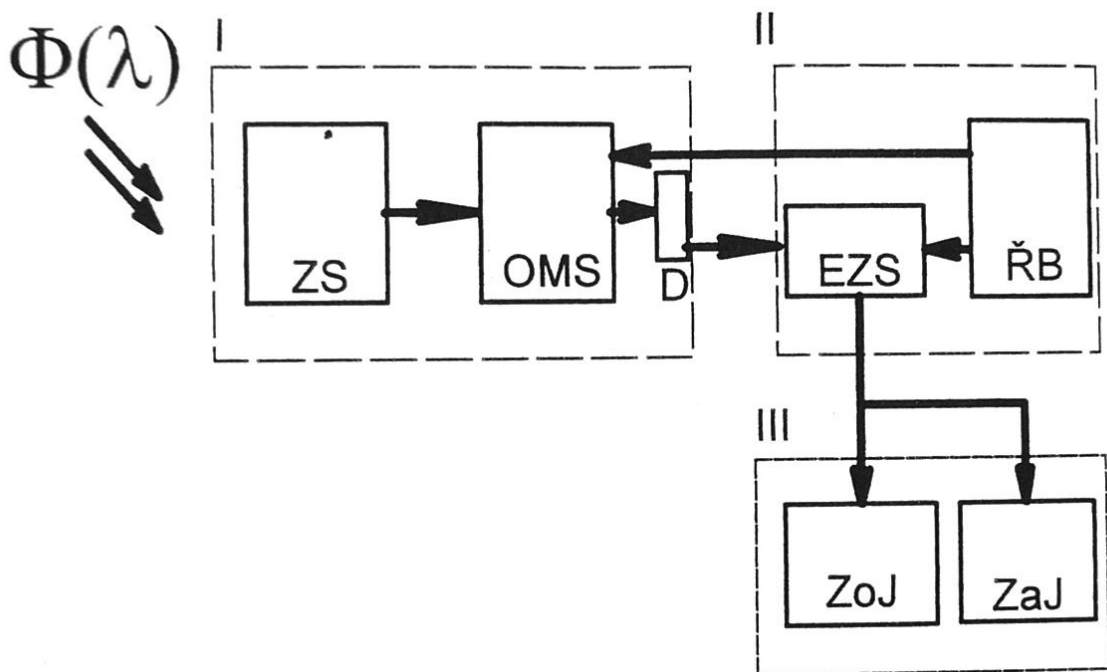
Rychlost, s jakou systém dokáže transformovat ppp na jeho obraz (termogram), rozděluje termografické systémy na:

- rychlé, pracující v „reálném čase“ (obrazová frekvence je 50 Hz (PAL) nebo 60 Hz (NTSC))
- pomalé (obrazovou frekvenci představují jednotky či méně obrazů za sekundu).

Rychlost vzorkování obrazového toku je u infračervených systémů dána časovou konstantou detektoru a konstrukcí kamery a u systémů používajících optickomechanický rozklad také mechanickými vlastnostmi rozkládacího mechanismu.

⁶ Svoboda J.: *Soudobá špičková termografická technika*, [online], [cit. 2008-03-26]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28670>

3.2 Blokové schéma infrakamery



Obrázek 13: Základní koncepce infrakamery (termovizního systému).⁷

- ZS Optická zobrazovací soustava
- OMS Systém rozkladu obrazu (pouze u bodového detektoru)
- D Detektor
- ŘB Řízení barev
- EZS Elektronický blok
- ZaJ Výstup pro zpracování nebo záznam el. signálů
- ZoJ Výstup pro zobrazení

⁷ Fischer P., Bucholcer J., Baláž T., Řehoř Z., Racek F.: *Optické přístroje 2. část*, VA Brno – 2004, 257s.

3.3 Druhy infrakamer

Termografické kamery mohou být obecně rozděleny na dva druhy:

- kamery s chlazenými infračervenými detektory
- kamery s nechlazenými infračervenými detektory

3.3.1 Chlazené infračervené detektory

Chlazené detektory jsou typicky umístěny ve vakuově uzavřeném pouzdře a kryogenně chlazené. Toto řešení velmi zvyšuje citlivost kamer, protože jejich vlastní teploty jsou mnohem nižší než teplota snímaných předmětů. Typické chladící teploty se pohybují od 4K až k 110K, kde 80K je nejběžnější. Bez chlazení by tyto kamery byly slepé nebo zaplaveny jejich vlastním zářením. Nevýhodou těchto chlazených infračervených kamer je, že jsou velmi drahé, jak s ohledem na výrobu, tak na provoz. Chlazení a odčerpávání je energeticky a časově náročné. Kamera potřebuje několik minut k tomu, aby se ochladila předtím, než s ní začneme pracovat. Nevýhodou je, že komponenty, které snižují teplotu a tlak jsou všeobecně objemné a dělají kamery při manipulaci méně praktickými. Naopak výhodou je, že chlazené infračervené kamery poskytují vyšší obrazovou kvalitu, než kamery s nechlazenými detektory.

Materiálem užívaným k chlazení křemíkových bolometrů bývá kapalné hélium. Můžeme však použít širokou škálu levnějších polovodičů, které zahrnují:

- Indium antimonide (antimonid inditý)
- Indium arsenide (arsenid inditý)
- HgCdTe (telurid kademnato-rtuťnatý)
- Lead sulfide (sulfid olovnatý)
- Lead selenide (selenid olovnatý)

3.3.2 Nechlazené infračervené detektory

Nechlazené infrakamery používají detektor, který pracuje při teplotě okolí, nebo detektor stabilizovaný na teplotu přibližující se okolí. Při dopadu infračerveného záření na nechlazený detektor vznikne změna odporu, napětí nebo proudu. Tyto změny se pak měří a srovnávají se se změnami v provozní teplotě detektoru. Nechlazené infračervené detektory mohou být stabilizovány na provozní teplotu, aby se omezil šum obrazu. Nejsou však chlazeny na nízké teploty jako chlazené infračervené detektory a nevyžadují objemné a drahé kryogenní chladiče. Tímto se stávají nechlazené infračervené kamery menšími a méně nákladnými. Avšak jejich rozlišení a kvalita obrazu je nižší než u chlazených detektorů. Což je také způsobeno rozdíly v postupech jejich výroby, které jsou omezené aktuálně dostupnou technologií.

U nechlazených infrakamer bývají obvykle použity tepelné detektory (a to pyroelektrické, termoelektrické a mikrobolometrické detektory).

3.4 Seznam specifikací

Některé specifické vlastnosti infrakamer:

- Počet pixelů
- Spektrální rozsah
- Životnost senzoru
- Velikost zorného pole
- Dynamický rozsah
- Obrazová frekvence

3.5 Využití infrakamer

Původně byly infrakamery vyrobeny pro armádní použití během Korejské války a postupně se stěhovaly na další pole působnosti (medicína, stavebnictví, archeologie, atd.). V dnešní době, díky snižování cen dochází ke stále většímu (širšímu) využití těchto zařízení. K

přizpůsobivosti infrakamer na daný účel napomáhají speciální optiky a důmyslné softwarové rozhraní.

3.5.1 V bezpečnostních technologiích

Ve světovém měřítku mají termovizní systémy velký význam v bezpečnostních aplikacích, které zahrnují jak vojenské, tak i civilní účely. Infračervené kamery jsou často používány při obvodovém zabezpečení a sledovacích aplikacích a mají tu výhodu, že pracují i za snížených viditelnosti (např. mlha) a při nulových světelných podmínkách (v noci), kde klasické "noktovizory" již nefungují, nebo potřebují tzv. přisvítit. Výhodou také je, že je můžeme použít bez ohledu na to, zda je neseme pěšky, vezeme v autě, na lodi nebo v letadle.

Je možno použít termovizní kamery určené pro komerční účely, ale některé z nich jsou přímo konstruovány pro použití v bezpečnostních aplikacích. Zvláště vhodné je použití stacionárních kamer pro trvalé hlídání důležitých objektů a nepovoleného vstupu do nich.



Obrázek 14: Stacionární a přenosná infrakamera

V České Republice se infrakamera v bezpečnostních aplikacích pro svou vysokou cenu moc nerozšířila na rozdíl od Spojených států amerických.

Zde jsou uvedeny možnosti využití infrakamer v bezpečnostních technologiích:

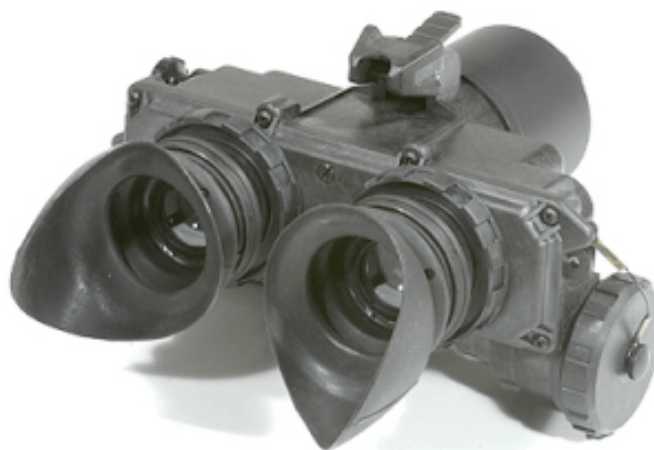
3.5.1.1 Vyhledávání uprchlíků

Ve dne, v noci můžeme pomocí infrakamery najít lidi, kteří se schovávají v listí, v tmavých místech a v jiných úkrytech, protože kamera vidí teplo, které vyzařuje z těchto uprchlíků. Hledáním uprchlíka pomocí infrakamery, jsou policisté schopni dopadnout sledovanou

osobu, aniž by se ohrozili a prozradili svou vlastní pozici a také bez útoků na slepo, které vyžadují mnoho policistů. Nesmírnou výhodou pro vyhledávání tohoto typu je pohled z ptačí perspektivy.

Preferované technické specifikace:

- Přenosné zařízení
 - ruční kamera
 - binokulární hledí
- detektor s vysokým rozlišením (pro snadnější rozeznání detailů v terénu)
- velké zorné pole
- možnost automatického zvýraznění osob v zorném poli kamery
- měření vzdálenosti



Obrázek 15: Termografické binokulární hledí⁸

⁸ *Thermal FLIR weapon sight and scopes*, [online], [cit. 2008-01-20]. Dostupný z WWW: <http://www.imaging1.com/contact_us.html>



Obrázek 16: Vyhledávání uprchlíků

3.5.1.2 Záchrana v nepříznivých podmínkách

Pomocí infrakamery mohou být rychle a důkladně prozkoumány velké plochy území a vody a to za využití menšího množství lidských zdrojů než pomocí konvenčních metod. Průzkumy se mohou účinně provádět během noci či nepříznivého počasí aniž by to mělo vliv na kvalitu hledání.

Preferované technické specifikace:

- přenosná kamera (pro pozemní průzkum)
- stacionární kamera (pro letecký průzkum)
- detektor s vysokým rozlišením (pro jednodušší rozeznání detailů)
- velké zorné pole
- možnost automatického zvýraznění osob v zorném poli kamery
- vyšší odolnost



Obrázek 17: Záchrana v nepříznivých podmínkách

3.5.1.3 Pronásledování vozidel

Rychlá policejní pronásledování jsou jednak nebezpečná ale také velmi drahá s ohledem na poškození majetku. Mnohá policejní oddělení ve Spojených státech amerických nyní zakazují honičky při velké rychlosti a podezřelé osoby těžší z této politiky. Prchají ve vysoké rychlosti a schovávají svá vozidla na přeplněných parkovištích. V noci s použitím infrakamery může policejní helikoptéra sledovat podezřelé vozidlo snadněji ze vzduchu dokonce, i když zhasne své reflektory. Rovněž strážní auto, které používá termovizní snímač zabudovaný do auta, může sledovat podezřelé vozidlo na přeplněném parkovišti pomocí detekce tepla nedávno řízeného vozidla viz obrázek.

Preferované technické specifikace:

- stacionární kamera
- vyšší odolnost
- detektor se standardním rozlišením (320*240 pixelů)
- obnovovací frekvence < 50Hz



Obrázek 18: Stacionární infrakamera v masce automobilu



Obrázek 19: Automobil bezprostředně po jízdě, včetně skrývajících se podezřelých

3.5.1.4 Rutinní obhlídka

Infrakamera je osvědčený prostředek pro rutinní obhlídky okolí a používají ho dnes stovky agentur v průmyslu komerční bezpečnosti na celém světě. Strážníci mohou rychle přejíždět – prozkoumávat mezi domy a budovami aniž by jim něco uniklo. „Vidí“ do tmavých garáží a pod vozidla. Snadno lze prozkoumat parkoviště, kde mohou vidět podezřelé, kteří se schovávají mezi-uvnitř-pod auty. Nesmírnou výhodou je využití infrakamery v totální tmě,

tak strážníci mohou zůstat neodhaleni, když „číhají“ na zloděje, voyeury a další kriminální živly.

Preferované technické specifikace:

- přenosné ruční zařízení
- detektor s vysokým rozlišením (pro snadnější rozeznání detailů)
- možnost automatického zvýraznění osob v zorném poli kamery
- možnost pořizovat foto/video záznam spolu se základními údaji jako je datum a čas



Obrázek 20: Funkce automatického zvýraznění osob



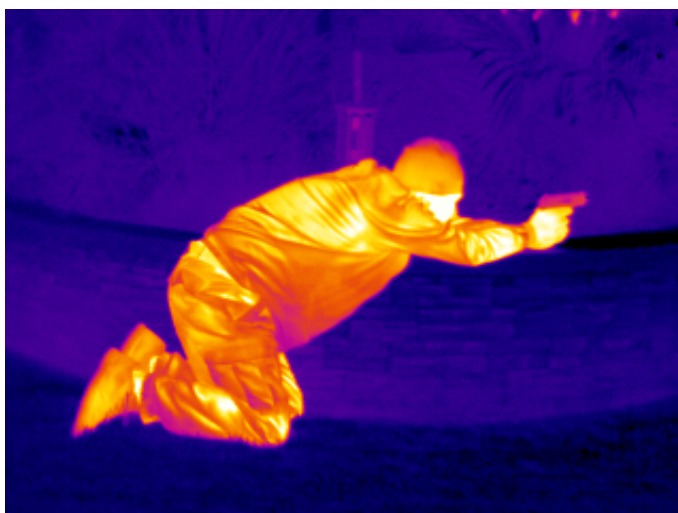
Obrázek 21: Podezřelí při kradení automobilu

3.5.1.5 Bezpečnost strážníků

Během pozemních operací, zejména v noci, používají policisté infrakamery k lokalizování hrozeb jako skrývající se podezřelí a nebezpečné překážky. Nejen že může policista lokalizovat toto nebezpečí, on je může vidět, aniž by byl viděn. Automobilové sledování bez světel, což byl dříve velmi nebezpečný čin, je teď mnohem bezpečnější s termovizí. Tajné sledování a hledání uprchlíků jsou nyní bezpečnější, protože policisté mohou v noci lépe vidět.

Preferované technické specifikace:

- přenosné zařízení (pro pozemní průzkum)
 - ruční kamera
 - monokulární / binokulární hledí
- stacionární zařízení s výstupem obrazu do kabiny automobilu
- detektor s vyšším rozlišením (pro jednodušší rozeznání detailů)
- vysoká odolnost (u stacionárních kamer v automobilech)
- možnost automatického zvýraznění osob v zorném poli kamery



Obrázek 22: Skrývající se podezřelí

3.5.1.6 *Bezpečnost létání*

Termovizní systémy namontované do letadel či helikoptér zvyšují bezpečnost letu během nočních operací. Rizika jako elektrické vedení mohou být snadno identifikovány. Tradiční systémy, které jsou pevně zabudované, mohou být pro jednorázové operace neúměrně nákladné, proto se často využívají ruční infrakamery.

Preferované technické specifikace:

- přenosná ruční kamera
- vysoká odolnost (pro možnost využití kamery i za nepříznivých podmínek)
- detektor s vysokým rozlišením (pro přesné rozeznání detailů v terénu)
- veliké zorné pole (pro lepší orientaci v terénu)



Obrázek 23: IČ snímek z helikoptéry při přeletu nad dálnicí⁹

3.5.1.7 *Hasičské služby*

Termografie je jedna z nejúžasnějších nových technologií, která se v průběhu desetiletí objevila v hasičské službě. Infrakamera nabízí nový pohled na scénu požáru, dovoluje hasičům vidět skrze kouř a tím určit ohnisko požáru.

Preferované technické specifikace:

- přenosná kamera
- možnost (real-time) zobrazení nejteplejšího místa (pro určení ohniska požáru)
- detektor se standardním rozlišením
- odolnost vůči vysokým pracovním teplotám



Obrázek 24: IR snímek hasiče při zásahu⁹

3.5.1.8 Ochrana životního prostředí

Starosti o naše životní prostředí vedly EPA a další americké společnosti k tomu, aby zjistily a soudně stíhaly znečišťovatele životního prostředí. Imise jako jsou oleje, chemikálie a znečišťující látky vysílají rozdílné teplo než půda nebo voda kolem nich. V důsledku toho vyšetřovatel může díky termovizním snímkům tyto látky vystopovat až k jejím zdrojům.

Preferované technické specifikace:

- přenosná kamera (pro kontrolní činnost více úseků)
- stacionární kamera (pro trvalý dohled určitého úseku)
- detektor s vysokou citlivostí (rozeznání i nejmenších teplotních změn)



Obrázek 25: Únik chemikálie do jezera⁹

3.5.1.9 Noční vidění pro automobily

Podle německých statistik se za tmy přihodí 50 procent smrtelných nehod, přestože 75 procent veškerého provozu proběhne ve dne. V USA je situace obdobná: podíl nočního provozu činí 28 procent, ale smrtelných nehod se v noci stane 55 procent. To znamená, že jízda v noci je dvojnásobně nebezpečná proti jízdě za světla.

Jako první se rozhodla automobilka Cadillac u modelu DeVille 2000 řidičům jezdícím v noci pomoci s rozeznáváním překážek a zvýšit tak bezpečnost noční přepravy. Dále následovala automobilka Mercedes a nyní přináší BMW zákazníkům příplatkový systém využívající infrakameru. Kamera dohlédne až 300 metrů daleko a vytvořený obraz přenese na displej na přístrojové desce. Objekty s vyšší teplotou jako chodci a zvěř se na displeji jeví nejjasněji (viz následující obrázek).

⁹ *Infrared Thermal Imaging Public Safety Applications*, [online], [cit. 2008-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.infraredsys.com/InfraredPublicSafetyAps.html>

Preferované technické specifikace:

- stacionární zařízení
- vysoká odolnost
- vyšší obnovovací frekvence
- vyhřívaný kryt objektivu
- možnost zoomování



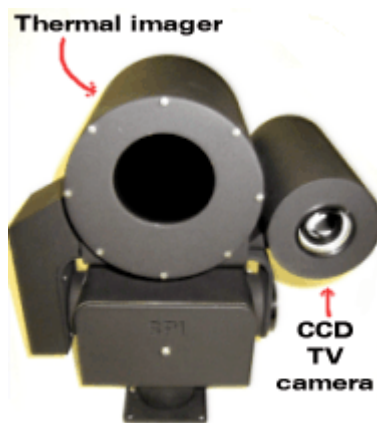
Obrázek 26: Systém nočního vidění pro automobily¹⁰

¹⁰ Cacek J.: *BMW má noční vidění*, [online], [cit. 2008-03-25], Dostupný z WWW: <<http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/bmw-ma-nocni-videni/722>>

3.5.1.10 Další aplikace

Další možné aplikace Infrakamer:

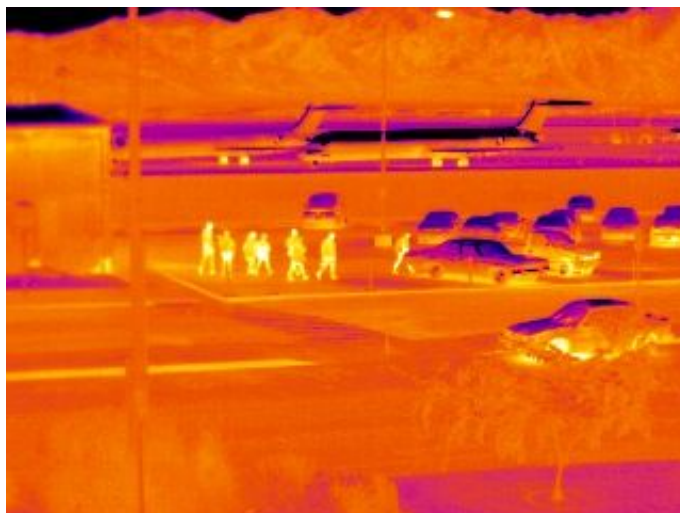
- ***Infračervený dohled v budovách***
 - stacionární kamery
 - s možností začlenění do CCTV systému
- ***Infračervený dohled perimetru***
 - přenosné kamery (pro fyzickou ostrahu)
 - stacionární kamery
 - odolné vůči povětrnostním podmínkám
 - pohyblivé (se vzdáleným přístupem)
 - s možností začlenění do CCTV systému
 - duální režim (infrakamera / vizuální kamera)



Obrázek 27: Stacionární duální kamera¹¹

¹¹ *Thermal FLIR weapon sight and scopes*, [online], [cit. 2008-01-20]. Dostupný z WWW: http://www.imaging1.com/contact_us.html

- ***Infračervený dohled letištního prostoru***
 - Stacionární kamery
 - odolné vůči povětrnostním podmínkám
 - pohyblivé (se vzdáleným přístupem)
 - s možností začlenění do CCTV systému
 - velké zorné pole
 - zoom
 - možnost automatického zvýraznění osob v zorném poli kamery



Obrázek 28: Infračervený dohled letištního prostoru¹²

- ***Střežení pohraničních hlídek***
 - Speciální výsuvné kamery montované do strážních automobilů pohraničních hlídek
 - možnost řídi pohyb kamery

¹² *Thermal FLIR weapon sight and scopes*, [online], [cit. 2008-01-20]. Dostupný z WWW: <http://www.imaging1.com/contact_us.html>

- optický zoom
- vysoká odolnost vůči povětrnostním podmínkám
- velké zorné pole (pro co největší úhel záběru)



Obrázek 29: Infrakamera ve speciálním monitorovacím voze cizinecké a pohraniční policie¹³

¹³ por. Barbora Kudláčková, *Ředitelství služby cizinecké policie*, [online], [cit. 2008-03-03]. Dostupný z WWW: <http://www.mvcr.cz/rs_atlantic/project/article.php?id=48701>



Obrázek 30: Vybavení speciálního monitorovacího vozu cizinecké a pohraniční policie¹⁴

- ***Armáda - noční vidění pro vojáky***
 - kamera ve formě hledí
 - monokulární
 - bikulární
 - možnost přichycení k helmě / zbrani
 - výdrž baterii
 - odolnost vůči povětrnostním podmínkám a hrubému zacházení

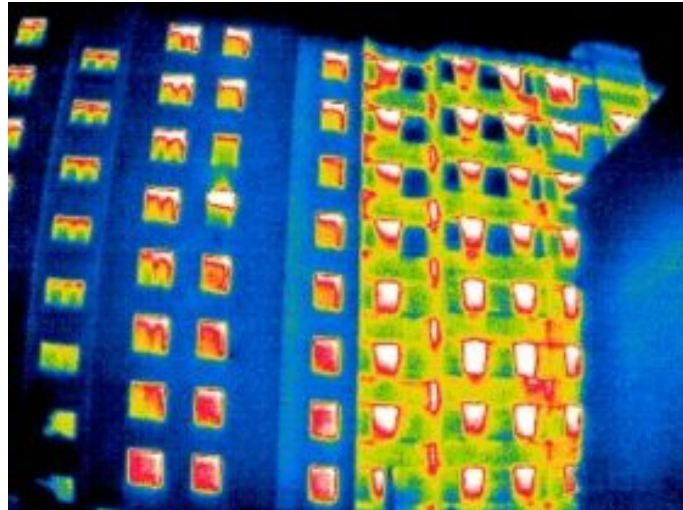
¹⁴ por. Barbora Kudláčková, *Ředitelství služby cizinecké policie*, [online], [cit. 2008-03-03]. Dostupný z WWW: <http://www.mvcr.cz/rs_atlantic/project/article.php?id=48701>



Obrázek 31: Pohled termovozním monokulárním hledím

3.5.2 V jiných odvětvích

- Astronomie – např. v zařízeních jako je „Spitzer Space Telescope“
- Elektrotechnika
 - kontrola stavu elektrických rozvodů (přehřívající se svorky, detekce studených spojů, atd.)
 - kontrola obvodu magnetického pole u velkých strojů a generátorů
 - analýza chyb u polovodičových součástek – počítačových čipů
- Stavebnictví
 - měření úniku tepla z objektů
 - odhalení vlhkosti ve zdech a střeších
 - zvyšování efektivity chlazení / vytápění
 - kontrola stavu obvodových plášťů objektů (izolace, netěsnosti apod.)



Obrázek 32: IR snímek zatepleného / nezatepleného panelového domu¹⁵

- Lékařská termografie - bezbolestné vyšetření kloubů a svalů
- Výzkum a vývoj
 - nedestruktivní defektoskopie
 - kontrola kvality
 - vývoj nových materiálů
 - kontrola výrobních procesů
- Průmysl
 - kontrola mechanických zařízení či jejich částí (jako např. zvýšené zatížení ložiska s tím spojené nadměrné zahřívání)
 - potravinářský průmysl (více bodové bezdotykové měření teploty výrobku)
 - papírenský průmysl (kontrola výrobních procesů)
 - chemický průmysl (analýza chemických látek)

¹⁵ Ing, Roman Šubrt, *Energy consulting*, [online], [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW:

<<http://www.e-c.cz/index.php?page=news&id=105>>

- automobilový průmysl (optimalizaci výkonu klimatizace a vyhřívání skel)
- Lokalizace neoznačených hrobů
- Kontrola akustické izolace (tlumení zvuku)
- Letecká archeologie (vyměřování a mapování)
- Karanténní sledování osob v zemi
- Myslivectví (noční pozorování zvěře)
- Objasňování paranormálních jevů

4 UŽIVATELSKÉ MOŽNOSTI A TECHNICKÉ PARAMETRY KAMERY THERMOPRO TP8



Obrázek 33: Infrakamera ThermoPro TP8

4.1 Jedinečné vlastnosti

- Vysokorychlostní USB 2.0 rozhraní umožňuje přenos obrazu v reálném čase, videonahrávání a možnost ovládat funkce kamery.
- Přepínatelný VGA / PAL / NTSC video výstup umožňuje připojení externí obrazovky nebo začlenění kamery do CCTV systému, k dispozici je také paralelní video výstup na VGA LCD obrazovce, OLED hledáčku, VGA displeji a TV obrazovce.
- Kamera může být ovládána:
 - dotykovou obrazovkou
 - hlasem (Bluetooth náhlavní souprava)
 - dálkovým ovládáním
 - joystickem a funkčními tlačítky.
- Inteligentní samo-rozpoznávací systém řeči (pouze anglicky) a intuitivní dotyková obrazovka umožní uživateli mít volné ruce nebo alespoň redukovat činnosti rukou na minimum.

- Možnost ukládat termální snímky na vestavěnou paměť nebo SD paměťovou kartu o kapacitě až 2GB.
- Hot shoe technologie, která umožní uživateli za provozu vyměnit VGA LCD obrazovku.

4.2 Možnosti zobrazení:

- Zobrazení termálního / vizuálního obrazu jak na LCD tak v OLED hledáčku
- Obraz se zobrazuje na LCD displeji a OLED hledáčku černobíle i barevně v hloubce 256 barev.
- Paralelní výstup termálního / vizuálního obrazu k dalším zobrazovacím zařízením (např. VGA displeji nebo televizoru).
- Přes rozhraní USB 2.0 můžeme živě přenášet termální obraz do PC.
- Možnost digitálního zoomování termálního obrazu v rozmezí: 1x – 10x.
- Možnost manuálního nebo automatického ostření IR čoček.



Obrázek 34: Uživatelské prostředí infракamery ThermoPro TP8

4.3 Měření teploty

- Funkce automatického vyhledávání a zobrazení nejteplejšího místa na displeji.
- Automatické měření teploty ve středu displeje.
- Měření teploty lze také zadat na libovolně zvoleném bodu na displeji.
- Možnost automatické korekce měření založené na uživatelském vstupu:
 - emisivity
 - vzdálenosti
 - relativní vlhkosti
 - atmosférického útlumu
 - vlastností optiky.
- Možnost analyzovat až 8 bodů současně v živém, zvětšeném, pozastaveném nebo uloženém obraze.
- Možnost analyzovat až 8 oblastí (ploch) současně v živém, zvětšeném, pozastaveném nebo uloženém obraze a zobrazit maximální, minimální nebo průměrné teploty uvnitř těchto oblastí.
- Přímkovou analýzu můžeme provádět v živém, zvětšeném, pozastaveném nebo uloženém obraze; liniový profil může být přepínán do horizontálního nebo vertikálního systému.
- Histogramovou a izotermickou analýzu (zobrazení bodů, jejichž teplota leží ve zvoleném rozsahu společnou barvou). Taktéž můžeme provádět v živém, zvětšeném, pozastaveném nebo uloženém obraze.

4.4 Záznam snímků

- Na SD kartu o kapacitě 2GB se vejde až 1000 snímků.
- Vestavěná flash paměť pojme až 450 obrázků.
- Ke každému snímku může být nahrán až 30 sekund dlouhý doprovodný zvukový záznam.
- Pozastavené obrazy zahrnují:
 - radiometrická data
 - infračervený obraz
 - vizuální obraz
 - hlasový a textový komentář

Tyto data mohou být uloženy na SD kartu nebo na vestavěnou flash paměť v JPEG formátu.

- Termální video může být nahráváno pouze přes USB 2.0 rozhraní do PC. Jak u živého obrazu, tak i v tomto záznamu se mohou provádět teplotní měření a různé druhy analýz.

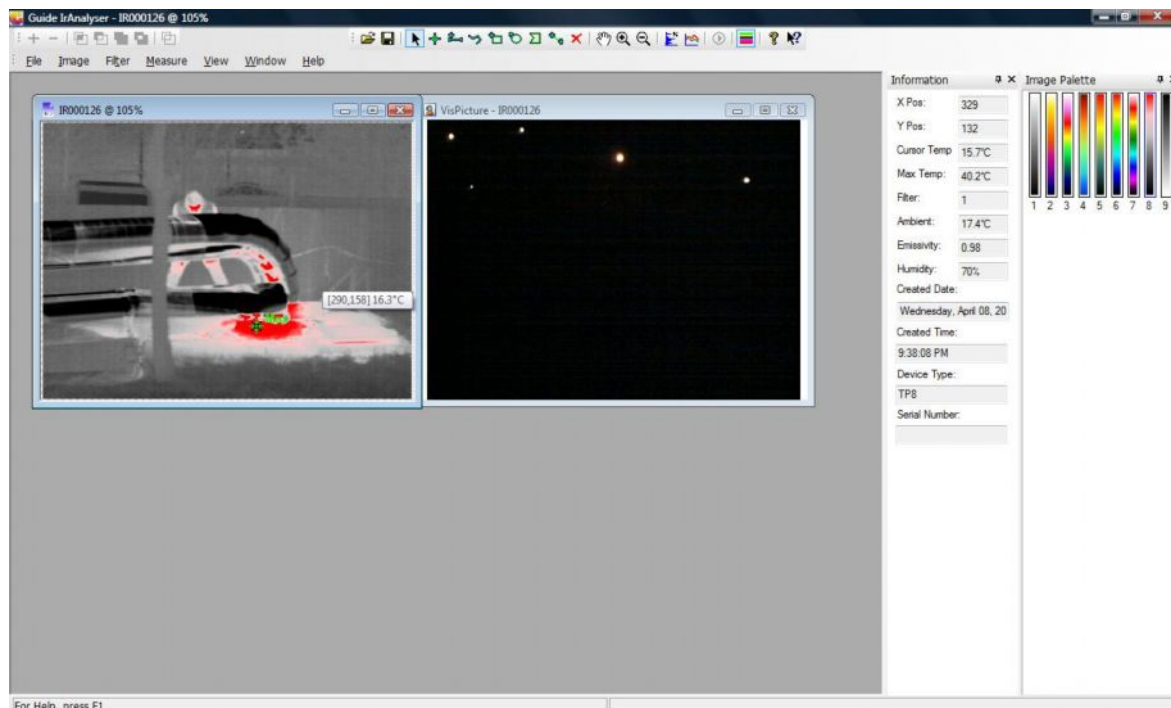
4.5 Přehrávání záznamů

- Snímky uložené na SD kartě nebo ve vestavěné flash paměti je možné přehrát na kameře.
- Na uložených snímcích můžeme přímo v kameře provádět teplotní měření a různé druhy analýz.
- U uložených termo snímků můžeme zobrazit jejich vizuální podobu a případně přehrát hlasové a textové komentáře.
- Uložené snímky mohou být staženy do PC a v programu Guide IrAnalyser® dále analyzovány.

4.6 Software Guide IrAnalyser®

Je profesionální analytický software, s jehož pomocí lze video obraz a uložené snímky z infrazamery:

- Analyzovat
- Provádět korekce obrazu
- Měnit rozsahy teplot
- Nastavovat barevné palety
 - Vybírat lze z 9 barevných palet, změnu palety lze provádět i po nahrání do PC. Kromě toho lze pomocí softwaru pohodlně měnit i nastavení rozsahů dané palety.
- Provádět výpočty
- Vytvářet histogramy
- Zobrazovat informace
 - Při pohybu myši po termálním snímku / videu, se na informační liště zobrazí souřadnice a teplota daného obrazového pixelu.
- Generovat měřicí protokoly pomocí již připravených šablon.
 - Je to přímý proces, který využívá jednoduché Microsoft® Word® rozhraní. Protokol může být vytvořen pomocí průvodce použitím předdefinovaného vzoru - šablony, nebo manuálně samotným uživatelem. Generování protokolů s využitím průvodce vyžaduje pouze 5 kroků a je to záležitost několika minut. Zpráva může zahrnovat termální a vizuální obrázky, detaily měření, text s poznámkami a další informace.



Obrázek 35: Prostředí softwaru Guide IrAnalyser®

4.6.1 Zpracování video signálu

Software umožňuje zobrazit živý termální obraz, který je přenášen z infракamery TP8 přes rozhraní USB 2.0. Tento video obraz je možné ukládat, analyzovat a provádět měření tak jako u uložených IR snímků.

Následující příkazy jsou k dispozici, pokud je kamera spojena s počítačem přes USB 2.0.

Calibration (F2) Vysílá kalibrační příkaz do kamery

Filter 1 Informuje kameru přepnout Filter 1

Filter 2 Informuje kameru přepnout Filter 2

Near Focus (F3) Nastavuje blízké ohnisko

Far Focus (F4) Nastavuje vzdálené ohnisko

4.7 Technické parametry TP8

Technické parametry TP8	
Způsob snímání	
Termovizní režim	
Typ detektoru:	Nechlazený FPA mikrobolometr
Rozlišení:	384x288 pixelů, 35µm
Spektrální rozsah:	8-14 µm
Tepelná citlivost:	0,08 na 30 °C
Zorné pole / ohnisko:	22°x16° / 35 mm
Ostření:	Automatické
Rozsah zoomu:	1x až 10x (digitální)
Viditelný (vizuální) režim	
Vestavěný digitální snímač:	CMOS
Rozlišení:	1280 x 1024 pixelů
Barevná hloubka:	32768 barev
Prezentace obrazu	
Externí displej:	3,5" barevný VGA LCD, 640 x 480 pixelů
Hledáček:	0,6" barevný VGA OLED, 640 x 480 pixelů
Video výstup:	VGA / PAL / NTSC
Uživatelské rozhraní	
Dotyková obrazovka:	Presentuje a přijímá uživatelské příkazy pomocí dotyků
Systém rozpoznání hlasu:	Automaticky rozpozná uživatelský hlas a reaguje na jeho příkazy
Dálkové ovládání (volitelné):	Reaguje podle uživatelských činností
Joystick a tlačítka:	Reaguje podle uživatelských činností
Menu:	Microsoft® Windows styl
Měření	
Rozsah teploty:	Filtr 1: -20°C - +250°C Filtr 2: 200°C - +800°C (volitelně až do 2000°C)
Přesnost	Filtr 1: ±1°C nebo ±1% Filtr 2: ±2°C nebo ±2%

Režimy měření:	Automatické sledování nejteplejšího bodu a automatické upozornění v živém / přiblíženém snímku a videu; 8 pohyblivých bodů; 8 pohyblivých a proměnlivých oblastí zobrazujících: maximum, minimum, nebo střední hodnoty; vertikální a horizontální liniové profily, histogram a izoterma v živém / přiblíženém / pozastaveném / uloženém snímku a videu
Nastavení emisivity:	proměnná od 0,01 do 1,00 (krok = 0,01)
Korekce měření:	Automatická korekce založená na optickém přenosu, okolní teplotě, relativní vlhkosti, externí optice atd.
Korekce optiky:	Aumatická, založená na signálech ze senzorů
Ukládání obrazu	
Typ:	vestavěná flash paměť nebo vyměnitelná 2GB SD
Formát:	JPEG (jednotlivý soubor se skládá z infračerveného obrazu, viditelného obrazu, popřípadě hlasové poznámky a textové poznámky)
Hlasová anotace:	Až 30 sekund na snímek (volitelně více jak 30s) Bezdrátový bluetooth headset
Textová poznámka	Výběr z předvolených textů
Živé video nahrávání & měření & ukládání	
Záznam:	Termální video záznam do PC přes USB 2.0
Měření:	Stejně jako u snímků
Paměť:	v PC, kapacita je omezená pouze velikostí disku
Volitelné čočky	
Zorné pole:	7,7° x 5,8° / 100mm 45,6° x 35° / 16mm
Laserový zaměřovač	
Typ:	Class 2, polovodičový laser
Napájení:	
Typ baterie:	Li-ion baterie, dobíjecí, vyměnitelná v terénu
Nabíjení:	V kameře nebo v externí nabíječce baterií
Výdrž:	2,5h nepřetržitě
Externí napájení:	AC adaptér 110/220 VAC, 50/60Hz
Vlastnosti prostředí	
Provozní teplota:	-20°C - +60°C

Vlhkost:	10% až 95%
Krytí:	IP54 IEC 529
Odolnost proti nárazům:	Provozní: 25g, IEC 68-2-29
Vibrace:	Provozní: 2g, IEC 68-2-6
Rozhraní	
USB 2.0:	V reálném čase přenos dat do PC a ovládání kamery přes PC
RS232 rozhraní:	Ovládání kamery přes PC
Fyzické vlastnosti	
Pouzdro:	Magnálieum
Hmotnost:	0,85kg (bez baterie a LCD); 1,1kg (včetně baterie a LCD)
Rozměry:	186mm x 106mm x 83mm
Závit stativu:	1/4" - 20

Tabulka 1: Technické parametry infrazkamery ThermoPro TP8

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ÚVOD

Hlavním úkolem je navrhnout laboratorní úlohu, kde se prakticky ověří využití infrakamery v bezpečnostních technologiích. Tento úkol jsem rozdělil na dva dílčí. První úkol plní návrh a realizaci ryze laboratorní úlohy. Druhý demonstruje praktické využití infrakamery při monitoringu perimetru.

5.1 Úkol č. 1

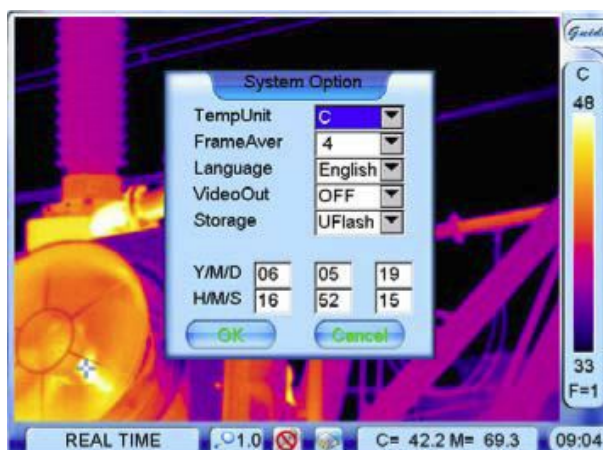
5.1.1 Zadání

Porovnejte infrakameru s optickými bezpečnostními kamerami z hlediska viditelnosti, za velmi špatných světelných podmínek.

5.1.2 Realizace

Hlavním prvkem pro srovnání jsem zvolil CCTV systém VDGPRS4 od firmy SICURIT. Systém je speciálně určený pro záznam a vzdálené prohlížení videosignálu přes internet. Je dodáván jako 4vstupové zařízení s rychlostí záznamu až 25pps. Dále umožňuje využití 4 alarmových vstupů a výstupů, On-screen telemetrii a nastavení zón pro detekci pohybu. Pro úkol č. 1 je nejdůležitější schopností systému možnost připojení až 4 analogových kamer, zobrazení všech čtyř kamer v jednom okně a pořizovat otisky (snímky) / video záznam.

Pozici infrakamery jsem obsadil již výše podrobně popsanou ThermoPro TP8 od firmy GUIDE, která umožňuje video výstup (PAL/NTFS), což dovolí zařadit kameru do CCTV systému. Tento režim je nutné nastavit v systémovém nastavení kamery.



Obrázek 36: Nastavení video výstupu

Zbylé tři pozice v systému VDGPRS4 jsem obsadil bezpečnostními kamerami odlišných technických specifikací.¹⁶

5.1.2.1 Technické parametry zvolených kamer

1. Infrakamera *ThermoPro TP8* viz tabulka 1.
2. Černobílá kamera *KPC-S190SWX*

KPC-S190SWX	
Snímací zařízení	SONY 1/3" SUPER HAD CCD
Systém snímání	2:1 prokládaně
Snímací frekvence	H : 15.635 (KHz), V : 50 (Hz)
Pixelů (celkem)	537(H) x 597(V)
Pixelů (efektivních)	500(H) x 582(V)
Horizontální rozlišení	380 TV řádků
Elektronická uzávěrka	1/60 ~1/100,000sec Auto
Poměr (signál / šum)	Větší než 50dB
Citlivost	0.05 Lux / F 2.0
Gamma korekce	$\gamma=0.45$
Systém synchronizace	Interní
Video výstup	Kompozitní 1, [vp-p], 75(Ω) nevyvážený
Spotřeba	100 mA nebo méně
Napájení	12V DC (+-10%)
Pracovní teplota	-10°C ~ +50°C
Rozměr	19mm

Tabulka 2: Technické parametry kamery KPC-S190SWX

¹⁶ Jelikož infrakamera pro svou činnost nepotřebuje žádnou formu přívsvitu (světlo ani IR přívsvit), tak i optické systémy byly zvoleny bez přívsvitu.

3. Barevná kamera *KPC-S230CWX*

KPC-S230CWX	
Snímací zařízení	SONY 1/3" SUPER HAD CCD
System snímání	2:1 prokládaně
Snímací frekvence	H : 15.635 (KHz), V : 50 (Hz)
Pixelů (celkem)	537(H) x 597(V)
Pixelů (efektivních)	500(H) x 582(V)
Horizontální rozlišení	380 TV řádků
Elektronická uzávěrka	1/60 ~ 1/100,000sec Auto
Poměr (signál / šum)	Větší než 46dB (při vypnuté funkci AGC)
Zpracování signálu	Digital Signal Processor (DSP) - digitální zpracování
Vyvážení bílé	Automatické (2,100 ° K ~ 8,000 ° K)
Citlivost	1.0 Lux / F 2.0
Gamma korekce	$\gamma=0.45$
System synchronizace	Interní
Video výstup	Kompozitní 1, [vp-p], 75(Ω) nevyvážený
Spotřeba	100 mA nebo méně
Napájení	12V DC (+-10%)
Pracovní teplota	-10 ° C ~ +50 ° C
Rozměr	23 mm

Tabulka 3: Technické parametry kamery KPC-S230CWX

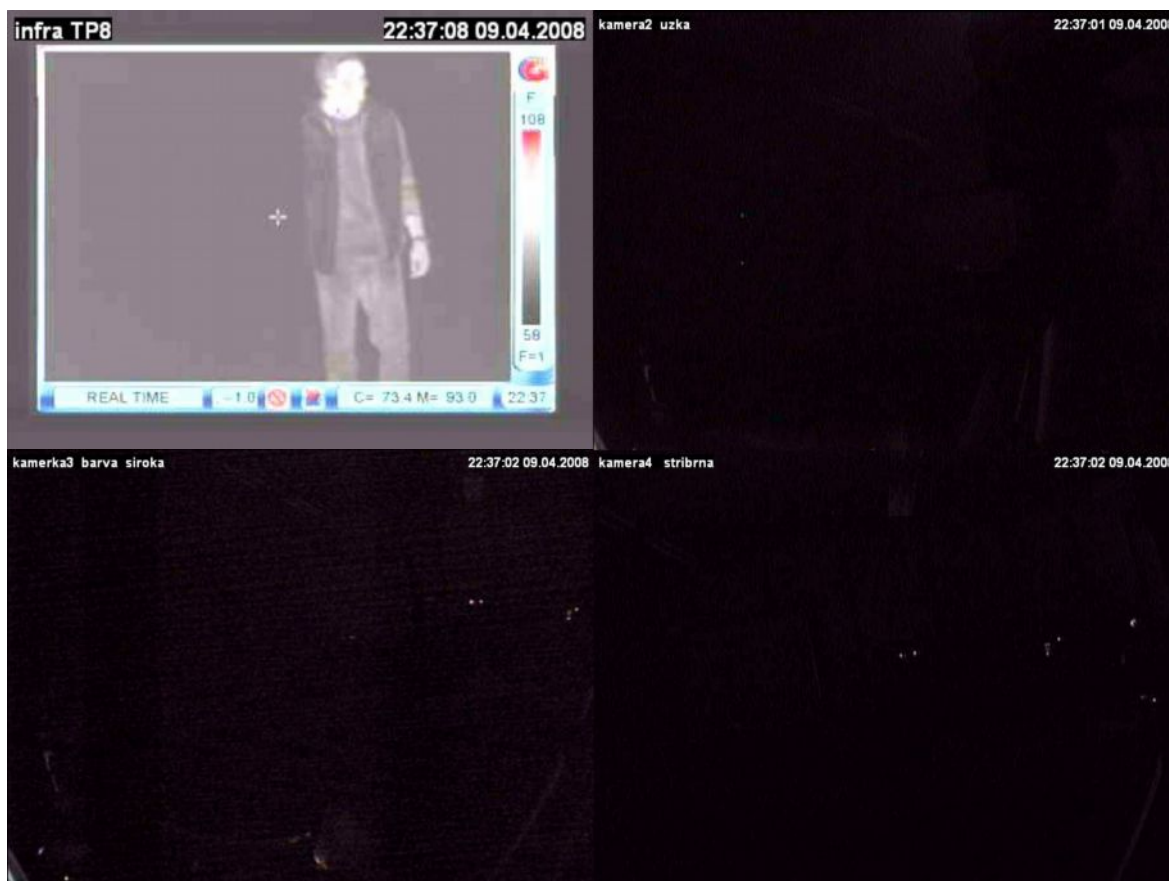
4. Černobílá kamera *Micro Dome Camera DC-445WF*

DC-445WF	
Snímací zařízení	1/3" Sony CCD
Objektiv	4,3mm kónusový Pinhole
Snímací frekvence	EIA - H : 15.734 (KHz), V : 59.94 (Hz) / CCIR - H : 15.635 (KHz), V : 50 (Hz)
Pixelů (celkem)	537(H) x 597(V)
Pixelů (efektivních)	500(H) x 582(V)

Horizontální rozlišení	420 TV řádků
Elektronická uzávěrka	1/60 ~1/100,000sec
Poměr (signál / šum)	45dB
Citlivost	0.03 Lux / F 2.0
Video výstup	Kompozitní (RCA)
Spotřeba	100 mA
Napájení	12V DC
Rozměr	46 mmØ

Tabulka 4: Technické parametry kamery DC-445WF

5.1.3 Vyhodnocení



Obrázek 37: Maticový pohled na kamery v systému VDGPRS4

Na obrázku 36 vidíme obrazy všech čtyř kamer zachycené ve stejném čase. Z obrázku jde jasně vidět, že nejlépe ve viditelnosti je na tom infrakamera *ThermoPro TP8* (levý horní obraz), která ostatně jako jediná „viděla“ narušitele, proto ostatní kamery srovnám pouze subjektivním dojmem. Druhá „nejlépe“ viděla kamera č. 3 *KPC-S230CWX* (levý dolní obraz). Na třetím místě ve viditelnosti za velmi špatných světelných podmínek se umístila kamera č. 4 *Micro Dome Camera DC-445WF* (pravý dolní roh). Nejhůře ze všech „viděla“ kamera č. 2 *KPC-S190SWX* (pravý horní roh).

Úkolem nebylo analyticky a přesně srovnat viditelnosti jednotlivých kamer, ale ukázat si výhody infrakamery, které jsou mimo jiné hlavně v tom, že infrakamera nepotřebuje žádné světlo, proto aby dokonale viděla třeba i za úplné tmy. Slepota zbylých třech kamer je způsobena velmi nízkým stupněm okolního osvětlení, což byl ostatně záměr této laboratorní úlohy.

5.2 Úkol č. 2

Úkol má za cíl demonstrovat praktické využití infrakamery při monitoringu části perimetru.

Pro tento úkol byl systematicky zvolen objekt, který se nachází v okrajové části města Zlín. Je obklopen rozlehlým členitým terénem, který je z převážné části tvořen hustým lesním porostem. Pro úkol č. 2 je velmi důležité, že v okolí objektu není žádné osvětlení a je tam celkově velmi nízká úroveň okolního světla (v nočních hodinách). Z hlediska demonstrace využití infrakamery v bezpečnostních technologiích jsem zvolil pro střežení perimetr zájmového objektu dva zcela odlišné systémy:

1. Termální zobrazovací systém
2. Klasický - vizuální systém

Jelikož první systém (termální) je v provedení jako přenosné (ruční) zařízení tak i vizuální systém obsadila kamera v přenosném (ručním) provedení. S dostupného laboratorního vybavení nejlépe pro daný úkol vyhovovala miniDV kamera Canon MV930 s režimem „noc“.

5.2.1 Technické parametry kamery Canon MV930

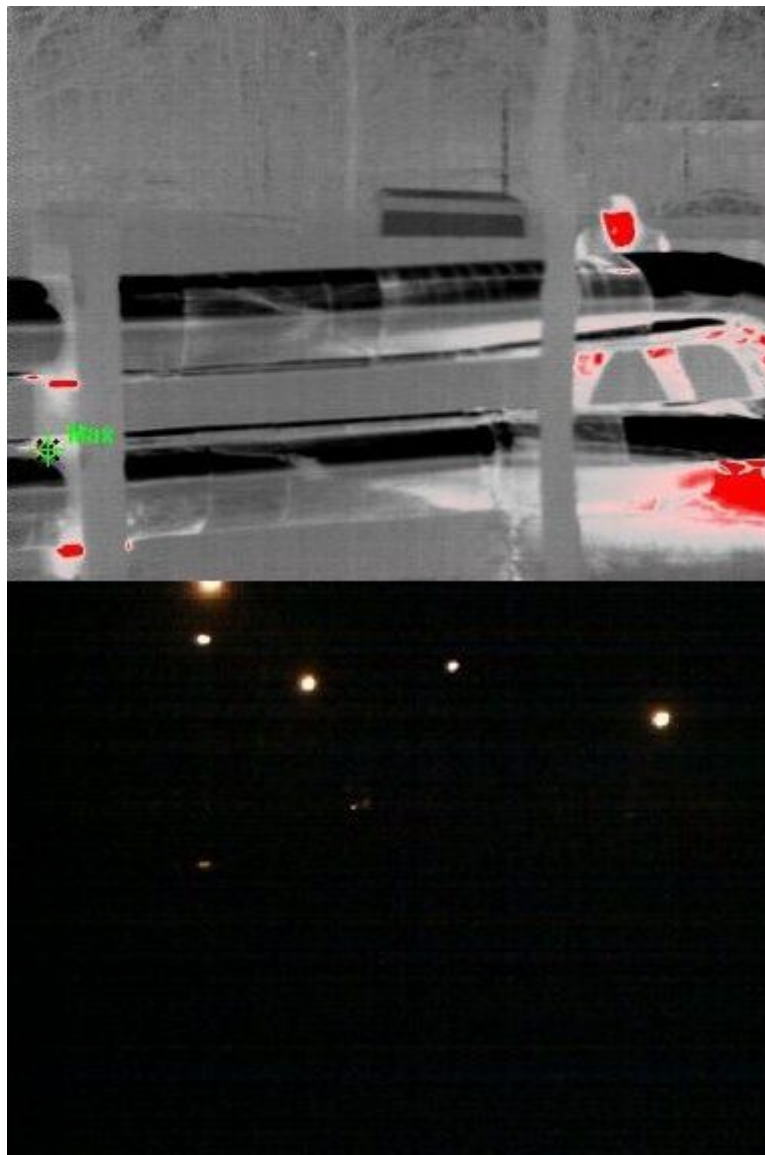
Canon MV930	
Typ:	Canon DM-MV930
Formát záznamu:	MiniDV
Objektiv:	Canon
Rozlišení snímače:	800 000 pixelů
Stabilizace obrazu	Elektronická
Optický zoom:	25X
Digitální zoom:	800x
LCD displej:	2,7", širokoúhlý formát 16:9
Slot pam. karty:	SD / MMC
Hledáček:	0,33", CL, 123 000
Vstupy/Výstupy:	Mikrofon
	USB výstup
	DV out výstup
	AV-cinch výstup
Rozměry:	49 x 92 x 115 mm
Hmotnost:	445g bez baterie
Závit stativu:	1/4" - 20

Tabulka 5: Technické parametry kamery Canon MV930

5.2.2 Vyhodnocení

Výchozím prvkem pro srovnání byly video záznamy perimetru pořizované z obou kamer současně. Jelikož infrakamera ThermoPro TP8, neumožňuje přímý video záznam na paměťovou kartu a ani jiné medium, bylo potřeba vše zaznamenávat na notebook přes rozhraní USB 2.0 a software Guide IrAnalyser®. Záznamy se prováděly 9. 4. 2008 v nočních hodinách (cca ve 23h SEČ). Je také nutné zmínit, že se v perimetru při pořizování záznamů záměrně pohyboval můj kolega, co by jako narušitel.

Z obrázku č. 37 jde na první pohled vidět bezkonkurenčnost termálních zobrazovacích systémů, jako nástroje k monitorování rozsáhlého perimetru za nepříznivých světelných a povětrnostních podmínek.



Obrázek 38: Termální / vizuální snímek¹⁷

¹⁷ Dva totožné záběry (termální / vizuální), které zachycují ukrývajícího se „narušitele“ za parovodním potrubím.

U termálního záznamu byla použita pseudobarevná paleta označující maximální hodnoty teploty červeně a minimální naopak černě. Toto nastavení umožnilo jednoduchou detekci „narušitele“, který doslova svítil v termálním záznamu. U vizuálního záznamu byl použit režim snímání „noc“, který zdatelně zvyšuje citlivost kamery, ale ani užitím tohoto režimu se nedocílilo takových výsledků jako u termovizního zobrazení.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo objasnit principy činností infrakamer, technické parametry a uživatelské možnosti infrakamery Guide ThermoPro TP8. Dále navrhnout a zhodnotit využitelnost infrakamery v bezpečnostních technologiích a závěrem navrhnout laboratorní úlohu, která by demonstrovala využitelnost infrakamery v průmyslu komerční bezpečnosti.

V úvodu teoretické části jsem se zaměřil na objasnění základních informací, jako rozdělení, vstup a využití infračerveného záření, a také rozdělení a popis detektorů. Třetí kapitola objasňuje termín infrakamera, vysvětluje princip činnosti, rozdělení, využití infrakamer v bezpečnostních technologiích a jiných odvětvích. Poslední kapitola teoretické části popisuje uživatelské možnosti a technické parametry infrakamery TP8.

Praktickou část jsem rozdělil na dva dílčí úkoly, tak aby se jednoznačně ukázaly výhody infrakamery oproti konvenčním systémům. První část byla typická laboratorní úloha, která názorně ukázala v laboratorních podmínkách výhody termovizních systémů. Zato druhá část nám dovolila prakticky ukázat možnou využitelnost infrakamery v průmyslu komerční bezpečnosti, jakožto kvalitního avšak velmi drahého systému pro monitoring objektů.

Základním a zároveň velmi velkým problémem, který nyní brání většímu rozšíření termografických systémů do českého průmyslu komerční bezpečnosti je fakt, že pořizovací ceny těchto systémů jsou velmi vysoké (řádově stovky tisíc korun). Přitom potenciál a široká škála možností jejich využití v bezpečnostních technologiích je tak obrovská, že se dá předpokládat v budoucnu jejich širší využití.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this bachelor's work was to explain the principles of the thermal camera function, describe the technical parameters and user chances of the Thermal camera Guide ThermoPro TP8. Another point of that was to suggest and evaluate the thermal camera usability in safety technologies and in conclusion to suggest a laboratory task, which would demonstrate the thermal camera usability in the industry of commercial safety.

In the introduction of the theoretical part I concentrate on clarification of the basic information, such as division, technique and use of infrared radiation, and also division and description of detectors. The third chapter clarifies the term Thermal camera; it explains the principle of its function, division, usability of the thermal cameras in safety technologies and other branches. The last chapter of the theoretical part describes user chances and technical parameters of the Thermal camera TP8.

The practical part is divided in two partial tasks so as the advantages of the thermal camera could be clearly shown in comparison with conventional systems. The first part was a typical laboratory task which clearly showed the advantages of thermo-visual systems in laboratory conditions. But the second part let us show in practice the possible usability of thermal camera in the industry of commercial safety, as the good quality but very expensive system for monitoring of buildings.

The basic and at the same time very big problem, which nowadays forestalls a bigger expansion of thermographic systems into the Czech commercial safety industry is the fact, that the purchase prices of these systems are very high (hundreds of thousands of crowns). However, the potential and wide scale of possibilities of their use in the safety technologies is so huge, that it is possible to expect their wide use in the future.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kreidl M.: *Měření teploty: senzory a měřící obvody*, BEN – Praha 2005, 239s.
- [2] *TP8 IR Thermal Camera – User Manual*, Wuhan 420070 P.R.CHINA: Wuhan Guide Infrared Technology Co., Ltd., 2006, 97s.
- [3] Zwiener V., Martiš L., Hůlka C.: *DEKTIME 01/2006 - Termovize*, DEKTRADE a.s. – Praha 2006
- [4] Nováček J.: *Kalibrace termovizního systému (kamery) Fluke Ti30*, Masarykova univerzita - Brno 2007, 41s.
- [5] Fischer P., Bucholcer J., Baláž T., Řehoř Z., Racek F.: *Optické přístroje 2. část*, VA Brno – 2004, 257s.
- [6] *Infračervené záření známe již 203 let*, [online]
<<http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=85&lang=1>>
- [7] TMV SS, *Termovize*, [online], [cit. 2008-02-15]. Dostupný z WWW:
<<http://www.tmvss.cz/flir/termovize/index.html>>
- [8] Vojáček A.: *Co jsou bolometry a mikrobolometry?*, [online], [cit. 2008-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601>>
- [9] Wikipedia, the free encyclopedia – *Thermographic camera*, [online], [cit. 2007-12-10]. Dostupný z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera>
- [10] *Infrared Thermal Imaging Public Safety Applications*, [online], [cit. 2008-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.infraredsys.com/InfraredPublicSafetyAps.html>>
- [11] Cacek J.: *BMW má noční vidění*, [online], [cit. 2008-03-25], Dostupný z WWW:
<<http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/bmw-ma-nocni-videni/722>>
- [12] *American Infrared, Security Camera, Nanny Cams, Infrared Security Cameras*, [online], [cit. 2008-02-22]. Dostupný z WWW:
<<http://www.americaninfrared.com/SURV.htm>>

- [13] Svoboda J.: *Soudobá špičková termografická technika*, [online], [cit. 2008-03-26].
Dostupný z WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28670>
- [14] *Thermal FLIR weapon sight ane scopes*, [online], [cit. 2008-01-20].
Dostupný z WWW: <http://www.imaging1.com/contact_us.html>
- [15] SICURIT CS – *VDGPRS*, [online], [cit. 2008-04-02]. Dostupný z WWW:
<<http://www.sicurit.cz/vdgprs/t-2-a-25-s-4/>>
- [16] KT&C – *Product Info*, [online], [cit. 2008-04-02]. Dostupný z WWW:
< <http://www.ktnc.co.kr/>>
- [17] *Micro Dome Camera – World's Smallest*, [online], [cit. 2008-04-02].
Dostupný z WWW: <<http://www.123securityproducts.com>>
- [18] *What is a Blackbody and Infrared Radiation?, Atmospheric Absorption*, [online],
[2008-02-28]. Dostupný z WWW:
<http://www.electro-optical.com/html/bb_rad/atmo_abs.asp>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- QWIP Quantum Well Infrared Photodetector: Infračervený detektor založený na využívání kvantových jám
- IČ Infračervený
- IR Infrared: infračervený
- EPA U.S. Environmental Protection Agency: Společnost zabývající se ochranou životního prostředí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozdělení spektra ¹	12
Obrázek 2: Procentuelní průchod záření v závislosti na jeho vlnové délce.....	13
Obrázek 3: Rozdělení detektorů infračerveného záření	16
Obrázek 4: Provedení jednoduchého bolometru ³	18
Obrázek 5: Bolometr ³	19
Obrázek 6: Mikrobolometr	20
Obrázek 7: FPA mikrobolometrická matice.....	20
Obrázek 8: Pseudobarevná stupnice	23
Obrázek 9: Opticko-mechanický rozklad (Agema THV900) ⁶	24
Obrázek 10: Termogram vytvořený jedním („bodovým“) detektorem ⁶	24
Obrázek 11: Kamera s nechlazeným mozaikovým detektorem FPA ⁶	24
Obrázek 12: Termogram vytvořený mozaikovým detektorem.....	25
Obrázek 13: Základní koncepce infrakamery (termovizního systému).....	26
Obrázek 14: Stacionární a přenosná infrakamera	29
Obrázek 15: Termografické binokulární hledí.....	30
Obrázek 16: Vyhledávání uprchlíků.....	31
Obrázek 17: Záchrana v nepříznivých podmínkách.....	32
Obrázek 18: Stacionární infrakamera v masce automobilu	33
Obrázek 19: Automobil bezprostředně po jízdě, včetně skrývajících se podezřelých	33
Obrázek 20: Funkce automatického zvýraznění osob.....	34
Obrázek 21: Podezřelí při kradení automobilu.....	34
Obrázek 22: Skrývající se podezřelí	35
Obrázek 23: IČ snímek z helikoptéry při přeletu nad dálnicí ⁹	36
Obrázek 24: IR snímek hasiče při zásahu ⁹	37
Obrázek 25: Únik chemikálie do jezera	38
Obrázek 26: Systém nočního vidění pro automobily.....	39
Obrázek 27: Stacionární duální kamera	40
Obrázek 28: Infračervený dohled letištního prostoru	41
Obrázek 29: Infrakamera ve speciálním monitorovacím voze cizinecké a pohraniční policie.....	42
Obrázek 30: Vybavení speciálního monitorovacího vozu cizinecké a pohraniční policie	43

Obrázek 31: Pohled termovozním monokulárním hledím.....	44
Obrázek 32: IR snímek zatepleného / nezatepleného panelového domu	45
Obrázek 33: Infrakamera ThermoPro TP8	47
Obrázek 34: Uživatelské prostředí infrakamery ThermoPro TP8	48
Obrázek 35: Prostorové prostředí softwaru Guide IrAnalyser®	52
Obrázek 36: Nastavení video výstupu	57
Obrázek 37: Maticový pohled na kamery v systému VDGPRS4	60
Obrázek 38: Termální / vizuální snímek.....	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Technické parametry infračkamery ThermoPro TP8	55
Tabulka 2: Technické parametry kamery KPC-S190SWX	58
Tabulka 3: Technické parametry kamery KPC-S230CWX	59
Tabulka 4: Technické parametry kamery DC-445WF	60
Tabulka 5: Technické parametry kamery Canon MV930	62

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: SEKVENCE TERMÁLNÍCH SNÍMKŮ

PŘÍLOHA P I: SEKVENCE TERMÁLNÍCH SNÍMKŮ

Snímková sekvence pořízená z termálního video záznamu při monitoringu perimetru - úkol č. 2.

