

Primena IR kamera u industrijskim aplikacijama

Zoran Sušić¹, Toša Ninkov², Vladimir Bulatović³, Dejan Vasić⁴

¹ Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija, E-mail: geogis@yubc.net

² Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija, E-mail: vbulat2003@yubc.net

³ Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija, E-mail: susic_zoran@yahoo.com

⁴ Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija, E-mail: vasic.dejan@gmail.com

Rezime: U radu se daje pregled i opisuje primena infrared kamera i infracrvene termografije u raznim sferama ljudske delatnosti i različitim industrijskim aplikacijama. Veoma je značajna njena primena u dijagnostici stanja tehničkih sistema kao beskontaktna metoda prikupljanja podataka za koju nije potrebno zaustavljati proces proizvodnje. Infracrvena termografija (IR) predstavlja otkrivanje infracrvenog (toplotnog) zračenja koje emituje neki objekat i prevođenje tog zračenja, koje je nevidljivo za golo oko, u vidljivu sliku, tj. termogram sa klasifikovanim površinama koje emituju različite količine infracrvenog zračenja. U cilju detektovanja energetske gubitaka, naročito u urbanim sredinama, moguća je primena ove metode kao deo integrisanog sistema prostornog prikupljanja podataka, u kombinaciji sa daljinskom detekcijom i laserskim skeniranjem terena.

Ključne reči: infrared kamera, termografija, lasersko skeniranje, digitalni model terena

Summary: The paper provides an overview and describes the use of infrared cameras and infrared thermography in various spheres of human activity and various industrial applications. It is very important, its application in monitoring of technical systems as a contactless method of data collection that does not need to stop the production process. Infrared thermography (IR) is the detection of infrared radiation emitted by an object and translate that radiation into a visible image, ie. thermogram of the classified areas that emit different amounts of infrared radiation. In order to detect energy loss, especially in urban areas, the usage of this method as part of an integrated spatial data collection, combined with remote sensing and laserscanning field.

Keywords: infrared camera, termography, laser scanning, digital terrain model

1. Uvod

Industrijska primena infracrvene termografije je počela sredinom šezdesetih godina, kada je firma Aga (danas Flir) proizvela prvu opremu za tu namenu Model Thermovision 651, na osnovu čega je izraz „termovizija” ušao u svakodnevnu upotrebu i danas se koristi da označi termografsko ispitivanje. Infracrvena termografija predstavlja jednu od najbrže rastućih tehnologija ispitivanja i prikupljanja podataka sa aspektom očuvanja životne sredine. Veoma je značajna i u dijagnostici stanja tehničkih sistema, kao beskontaktna metoda za čije sprovođenje nije potrebno zaustavljati proces proizvodnje, a omogućava detekciju eventualnih oštećenja u raznim industrijskim primenama (za potrebe ispitivanja elektroenergetske opreme, izolacije objekata, građevinskih konstrukcija). [1]

Načini korišćenja ove tehnologije su neograničeni, pri čemu osnovna pretpostavka na kojoj se ona zasniva jeste da svi objekti iznad apsolutne nule (-459 F, -273 C) emituju nevidljivi infracrveni spektar zračenja, koji predstavlja funkciju više različitih karakteristika objekta, od kojih se samo jedna odnosi na temperaturu. Sa povećanjem temperature objekta, raste i intenzitet emitovanog IR zračenja. Infracrveni uređaji (radiometri, IR kamere) ne mere direktno temperaturu objekta, ali detektuju energiju zračenja koja predstavlja funkciju temperature, tako da ona može veoma precizno da se izračuna. Veoma je važno da se unesu odgovarajući podaci u IR kameru neposredno pre snimanja, tj. potrebno je da se kamera kalibriše da bi se došlo do preciznih podataka o temperaturi. Ulazni parametri na osnovu kojih se kalibriše kamera menjaju se tokom samog procesa rada (u zavisnosti od performansi IR kamere i prateće opreme), koji ni najmanje ne ugrožava životnu sredinu. S' obzirom da se ova tehnologija koristi u sve većem obimu, naročito u cilju utvrđivanja energetske efikasnosti objekata, javila se potreba za standardizacijom IR ispitivanja, u zavisnosti od toga da li se radi o postavljanju izolacije u obuhvaćenim šupljinama skeleta zgrade ili u krovnim sistemima, otkrivanju mesta ispuštanja vazduha u prostorima zgrada i sistemima vazdušne izolacije ili ispitivanja električne i mehaničke opreme. [4]

2. Primena IR kamera

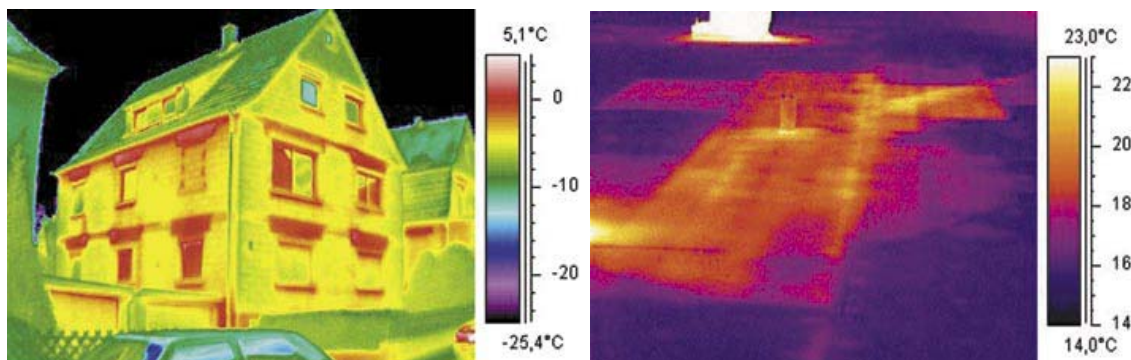
Termovizijska ili IR kamera predstavlja uređaj koji generiše sliku na osnovu infracrvenog spektra zračenja. Princip rada odnosi se na to da se infracrveni spektar zračenja (nevidljiv za ljudsko oko) koji emituje neki objekat, prevodi u vidljivu sliku (termogram) na kome se dobija podatak o temperaturi i klasifikuju se površine koje emituju različite količine infracrvenog zračenja (veće zračenje – svetlije boje), dok iste boje predstavljaju izotermalne površine koje emituju jednake količine toplote. Primena IR kamera usko je vezana za slučajeve gde promena termičke slike može ukazati na neku anomaliju. Međutim, u cilju detektovanja energetske gubitaka, naročito u urbanim sredinama, moguća je primena ove metode kao deo integrisanog sistema prikupljanja prostornih podataka, u kombinaciji sa tehnikama daljinske detekcije i laserskog skeniranja terena.

Osnovni delovi *infrared* kamere su: objektiv (sakuplja zračenje), filter (propušta zračenje određene talasne dužine), detektor (očitava zračenje i prevodi ga u elektronski oblik) i monitor (elektronski oblik prikazuje kao sliku, tj. termogram).



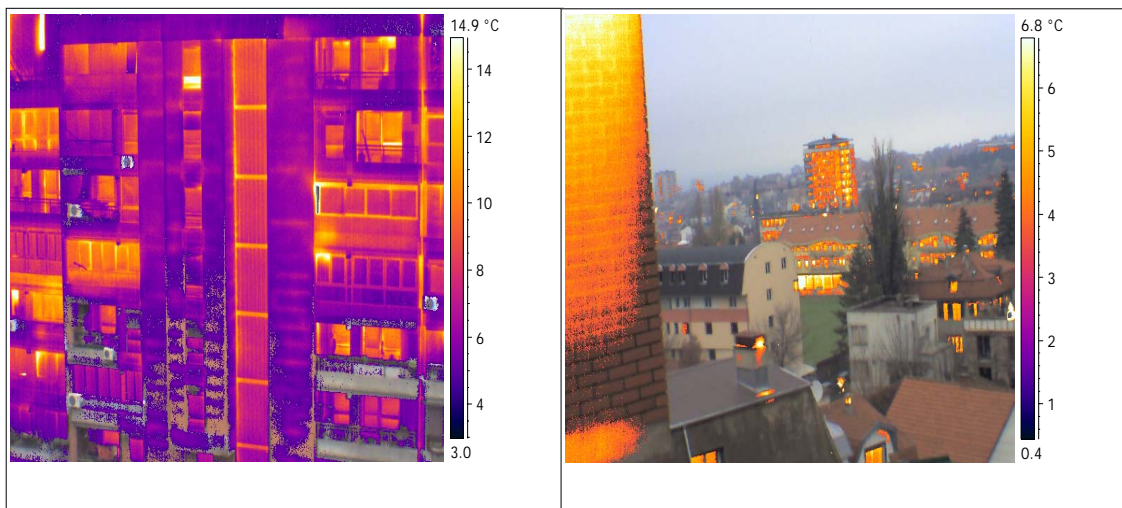
Slika 1: Primer snimanja višespratne kuća termovizijskim senzorima

Termovizijske kamere mogu da pruže korisne informacije u pogledu gubitka energije za različite tipove objekata. Kao što je već rečeno, teško je doći direktnim merenjem do intenziteta gubitka temperature, međutim, može se utvrditi koliko i na kojim mestima objekat odaje toplotu. Do podatka o gubitku može se doći ako se meri spoljašnja temperatura objekta koji se u zimskim mesecima zagreva, na taj način moguće je identifikovati i analizirati delove objekata koji odaju toplotu. Danas se performanse IR kamere značajno poboljšavaju a cena se smanjuje, što omogućava njihovu upotrebu na širokom polju primene. 47 % od utrošene energije u zgradama se koristi za grejanje, tako da se ulažu veliki naponi za smanjenjem gubitaka energije. U tom cilju, termo slike dobijene IR kamerama dobijaju na značaju ako se u zajedničkoj bazi podataka povežu sa geometrijom samog objekta generisanom nekom od standardnih tehnika prikupljanja prostornih podataka. Dakle, mora se postaviti korespondencija između IR slike kao teksture i 3D modela objekta, pri čemu se mora naglasiti da je IR slika sa znatno manjim kontrastom i rezolucijom u poređenju sa aero fotografijama, tako da je proces preklapanja detalja detekcijom ivica znatno teže sprovesti.



Slika 2: Primena termovizijskih senzora u otkrivanju žarišta zbog loše izolacije (levo), prodiranje vode na ravnom krovu (desno)

Termografski senzori se koriste i prilikom procene električnih instalacija, kada je efikasnost električne mreže niska i kada se previše energije troši za generisanje toplote, pri čemu povećanje toplote može dovesti do neplaniranih ispada i požara. 35 % svih industrijskih požara su izazvani električnim problemima što dovodi do gubitaka 300 milijardi evra godišnje. Termo senzori imaju veliku ulogu naročito kada su u pitanju zatvorene komponente, kao što su kontrolni centar sa prekidačima panela, prekidačima za isključivanje i transformatori. Spoljašnje komponente kao što su trafostanice, aparati, transformatori i spoljni krug prekidača veoma efikasno se mogu proveriti termovizijskim skeniranjem. [1]



Slika 3: Primer snimanja urbanog područja u Beogradu termovizijskim senzorima

Tabela 1: Pregled tehničkih karakteristika različitih IR kamera

Tehničke karakteristike	<i>FLIR P660</i>	<i>FLIR P640</i>	<i>FLIR P620</i>	<i>FLIR SC660</i>	<i>FLIR SC620</i>
<i>Osetljivost</i>	<45 mK	55mK	65mK	<45 mK	55mK
<i>Tačnost merenja temperature</i>	±1% or ±1°C	±2% or ±2°C	±2% or ±2°C	±1% or ±1°C	±2% or ±2°C
<i>Funkcija alarma</i>	da	da		-	-
<i>Veza sa računarom</i>	Firewire/USB	Firewire/USB	USB	Firewire	Firewire
<i>LaserLocatIR funkcija</i>	da	ne	ne	Firewire/USB	Firewire/USB
<i>Automatski GPS podaci</i>	da	ne	ne	da	ne
<i>Wireless Remote</i>	Opciono	Opciono	Opciono	Opciono	Opciono
<i>Upgrade opcija</i>	ne	To P660	To P640	N/A	To SC660

Dakle, 2D slike generisane IR kamerom se mogu povezati sa 3D GIS bazom podataka i mogu se dalje analizirati zajedno sa informacijama o geometriji objekta. Direktno georeferencirane fotografije nekog dela fasade objekta je moguće izvesti upotrebom inercijalnog navigacionog sistema (INS) i GPS-a, i u tom cilju, uključujući kameru, sistem GPS/INS mora biti kalibrisan, pri čemu se vodi računa o parametrima unutrašnje orijentacije slike i eliminisanju distorzije.

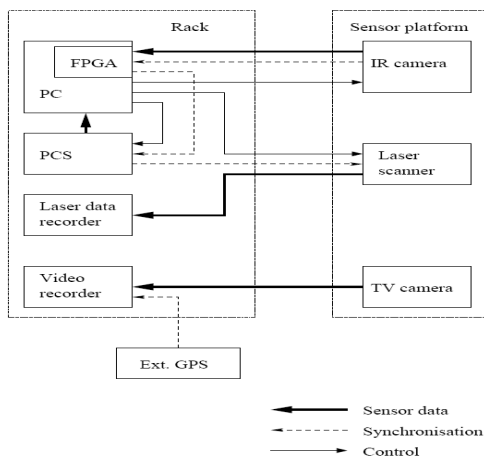
3. Multi senzor sistemi za akviziciju prostornih podataka

Lasersko skeniranje terena predstavlja jednu od najmodernijih tehnologija koja se za potrebe masovnog prikupljanja prostornih podataka. Tehnologija se bazira na prikupljanju tri različita seta podataka [5]. Pozicija senzora se određuje primenom Globalnog Pozicionog Sistema (GPS), koristeći fazna merenja u režimu relativne kinematike, upotrebom *Inertial Measurement Unit (IMU)* određuje se orijentacija. Poslednja komponenta je laserski skener koji šalje infracrveni zrak prema zemlji i reflektuje se do senzora. Vreme proteklo od emitovanja do prijema signala uz poznavanje pozicije senzora i orijentacije, omogućava precizno izračunavanje trodimenzionalnih koordinata na Zemlji. Daljinska detekcija predstavlja dobro uspostavljeno i veoma široko istraživačko polje primene. U poslednjoj deceniji aktuelna istraživanja se baziraju na kvalitetnoj interpretaciji integrisanih geoprostornih podataka prikupljenih sa više različitih senzora (multi-senzorska obrada podataka). S' obzirom da senzori nisu napravljeni da rade zajedno, potrebno je sprovesti odgovarajuću sinhronizaciju podataka dobijenih sa različitih senzora. [3]



Slika 4: Izgled jednog od multi senzora (koji se montira na helikopter) za sinhronizaciju i obradu geoprostornih podataka (FGAN-FOM Research Institute for Optronics and Pattern Recognition, Ettlingen, Germany)

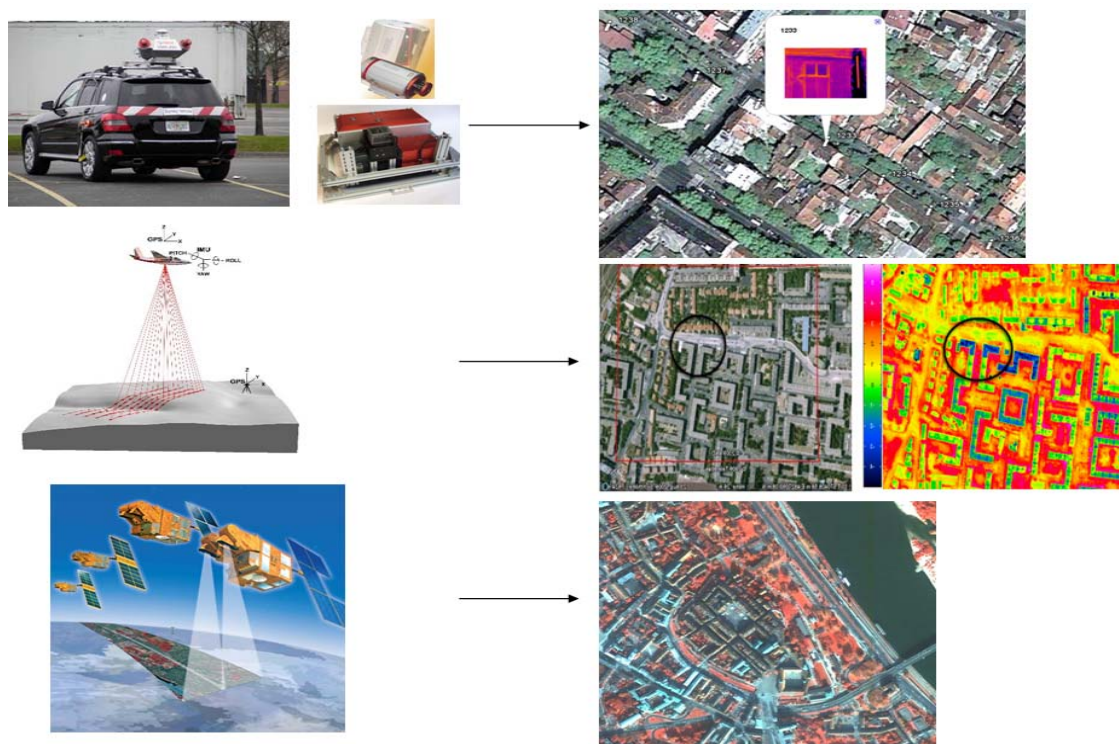
- a) Prednja strana senzorske platforme (pravougaoni prozor se odnosi na deo laserskog skenera *Riegl LMS-Q560*, veliko sočivo ,iza uređaja za kalibraciju na sredini, odnosi se na IR kameru, a malo sočivo (gore desno) pripada video kameri.
- b) Zadnja strana senzorske platforme, IR kamera i *IMU* (cilindrični deo, gore desno).
- c) PC računar, video rekorder, Riegl uređaj za skladištenje podataka, Applanix PCS (dole).
- d) GPS antena (montirana na vrhu kabine helioptera).



Slika 5: Prenos podataka, sinhronizacija i kontrolne putanje u multi-senzor sistemu za akviziciju podataka

Video rekorder prima analogni signal od video kamere, digitalizuje ga i prevodi do monitora računara tako da je moguća *on-line* kontrola procesa. Laserski skener emituje digitalizovane laserske impulse u uređaj za skladištenje podataka preko digitalnog serijskog linka, pri čemu se uređaj za skladištenje sastoji od dva hard diska na kome se čuvaju podaci. Podaci se kasnije kopiraju u računar preko USB interfejsa. Računar kontroliše ceo sistem senzora i prilikom preuzimanja podataka iz IR kamere i INS-a (Slika 5). Podaci se prenose na FPGA karticu preko paralelnog digitalnog interfejsa. Da bi se rad senzora pravilno kontrolisao, računar je sa njima povezan korišćenjem različitih interfejsa. IR kamera je sa računarom povezana korišćenjem RS232 interfejsa i pod kontrolom je softvera za kalibraciju. Pošto se multi senzor sastoji od nekoliko senzora napravljenih od različitih proizvođača, podešavanje svih parametara i kontrola rada svih senzora se mora sprovesti korišćenjem operativnih programa koje isporučuje proizvođač. Podešavanje svih parametara senzora mora se realizovati pre početka prikupljanja podataka, jer se merenja ne mogu ponoviti na jednostavan način ukoliko nisu sve procedure sprovedene na pravi način.

Ono što je mogući trend istraživanja u narednim godinama jeste razvijanje tehnika sinhronizacije više vozila u pokretu, pri čemu vozila moraju biti opremljena sa inercijalnim navigacionim sistemom u cilju dobijanja položaja i orijentacije svih senzora a sinhronizacija između njih bi se uspostavljala bežičnim putem.



Slika 6: Kontinualno prikupljanje prostornih podataka u cilju dobijanja geokodiranih termalnih slika objekata, korišćenjem specijalne opreme (GPS prijemnici, laserski kružni skener montiran na automobil u pokretu, lasersko skeniranje terena iz vazduha, multisenzor sistem sa termalnom kamerom i IMU)

4. Zaključak

Kao rezultat integrisanog prikupljanja raznovrsnih prostornih podataka posredstvom različitih senzora (*multisenzorski* sistemi akvizicije podataka – *GPS + Laser scanner + IR camera + video kamera*) predstavlja kreiranje GIS modela energetske efikasnosti elemenata urbanih sredina koji sadrže podatke o prostornim entitetima i njihovim atributima, kao osnova za izradu energetskih pasoša svakog objekta pojedinačno. GIS će sadržati sve tehnički relevantne podatke vezane za entitete prostora (tip objekta, spratnost, način gradnje, energetske izvore, faktičko stanje objekta sa prikazom stanja fasada, identifikovane vrednosti energetskih gubitaka prema usvojenim skalama i ostale podatke koji se mogu koristiti u procesima energetske rehabilitacije

objekata. Korišćenjem GIS alata moguće je automatski generisati izveštaje za sve objekte za koje se prikupe relevantne informacije. [6] Takođe, moguće je sprovesti i analizu na bazi kategorija energetske efikasnosti i eventualno utvrditi prioritete zadatke u sanaciji objekata čiji su gubici kritični. Pored samog rešenja, značajan doprinos daće se i na samom putu dolaska do ovakvog rešenja, definisanjem metodologije rada i proučavanjem ove problematike, kojoj se u razvijenim zemljama trenutno posvećuje velika pažnja.

Na ovaj način kreirana baza podataka, omogućiće projektantima kvalitetnije sagledavanje aktuelnog stanja kao i mogućnost praćenja promena na energetskim gubicima po završetku sanacije, kao i donošenje značajnih zaključaka kada je reč o masovnijim kampanjama sanacije objekata.

LITERATURA

- [1] Mandić, G.: Osnovni principi infracrvene termografije. *INTEGRITET I VEK KONSTRUKCIJA, Vol 6, br 1-2 (2006), str. 15-23*
- [2] Kolecki, J., Iwsczuk, D., Stilla, U. : Calibration of an IR camera system for automatic texturing of 3D building models by direct geo-referenced images
- [3] Volker Schatz: Synchronised Data Acquisition for Sensor Data Fusion in Airborne Surveying, FGAN-FOM Research Institute for Optronics and Pattern Recognition, Ettlingen, Germany
- [4] Šumarac, D., Ninkov, T., Todorović, M., Bulatović, V.: Review of a methodology for determination of energy loss in civil construction buildings, International conference on district energy, Potorož, Slovenija, 2011.
- [5] Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z., Vasić, D.: Application of laser scanning technology for civil engineering projects in Serbia , FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia, 11-16 April 2010
- [6] Bulatović, V., Ninkov, T., Sušić, Z.: OGC web services in complex distribution systems , Geodetski list, Zagreb, Hrvatska, 2010., str 15-29