

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

面陣列熱像儀特性與率定之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-004-010-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：國立政治大學地政學系

計畫主持人：黃灝雄

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：那至中

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 09 月 23 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

面陣列熱像儀特性與率定之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2221-E-004-010-

執行期間：98年08月01日至99年07月31日

執行機構及系所：國立政治大學地政學系

計畫主持人：黃灝雄

計畫參與人員：那至中

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中華民國九十九年七月三十一日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

面陣列熱像儀特性與率定之研究

計畫編號：NSC 98-2221-E-004-010

執行期間：98 年 8 月 1 日至 99 年 7 月 31 日

主持人：黃灝雄 執行機構與單位名稱：國立政治大學地政學系

摘要

熱紅外波段在遙感探測中佔有相當重要的地位，因其不受日夜條件限制，且因溫度變化具有指標性意義的特性，使熱紅外影像可應用於測量、環境監控、都市開發、災害防治等領域。

在判釋遙測影像之前，通常必先確定影像中每個波段的幾何性質一致，若想將熱紅外影像與可見光影像套疊，須先率定蒐集熱影像之儀器，使影像受儀器本身的影響減到最低。本研究以 FLIR-T360 紅外線熱像儀為研究對象，探討熱像儀的成像特性，且嘗試率定與改正蒐集之熱影像。

率定熱像儀的實驗可分為幾何與輻射兩方面，幾何方面使用改良型的實地率定法，以求取熱像儀的內方位參數；輻射方面則使用實地調查法，求得控制點溫度，利用拍攝單一控制點，蒐集多筆資料，擬合出輻射改正模型；本文亦展示熱影像幾何以及輻射改正後的成果。

關鍵詞：面陣列熱像儀、熱紅外影像、率定

Abstract

Thermal infrared data is important when conducting remote sensing investigation, for it could be acquired both in day and night. The change of temperature has characteristic significance of representing. So the thermal infrared images are not only used in the domain of surveying, but also the environment monitoring, the urban development, and the disaster prevention.

Before interpreting the remote sensing data, one would make sure that each image of bands with similar image geometry. Calibrating such geometry could prove that the effect from the lens distortion had been minimized. In such case, calibrated thermal images are necessary to guarantee that the image coordinates will correspond with the space coordinates as other bands. This research takes the FLIR-T360 thermal sensor as the subject, and calibrates the thermal sensor.

This research about calibration of thermal sensor is divided into two kinds, the geometric aspect and the radiometric

aspect. Because that the thermal sensor could not be calibrated by conventional routes. In the geometric aspect, this study has designed some calibration templates, and used the improvement field methods of calibration to find thermal sensor's interior orientation elements. In the radiometric aspect, in situ method was selected to determine temperatures of the chosen control points. And the result of correction in geometric and radiometric aspect are shown in this study.

Keywords: Area-Based Thermal Sensor,
Thermal Infrared Image,
Calibration

一、前言

遙感探測經常使用多波段的影像來判釋地表地物，藉由感測地物表面來獲得地物的光譜資訊，並使用這些資訊來解釋分析特定的自然或社會現象。一般而言，遙測影像大多含有可見光的三個波段（藍、綠、紅）與近紅外波段，有些衛星搭載的感測器含有更多波段，如美國太空總署的 Landsat-7 衛星含有七個波段，包含三個可見光波段、一個近紅外波段、兩個中紅外波段以及熱紅外波段。

由於地物對不同光譜波段的反應型式不盡相同，反映出地物的特性也不盡相同，因此在感測地表地物時若能增加一個光譜波段，對於之後的判釋分析將可提供許多助益。此外，在多光譜影像中增添熱紅外波段，對於遙測影像的判釋還有額外的優勢，其優勢源於熱紅外波段具有其他波段所沒有的特性，即感測的時段不受限於環境的日夜。在夜間所獲取的熱影像，會因為日夜溫差的關係，與同地區在日間所感測到的熱影像有極大的差異，這些差異來自於不同的地物，對熱輻射吸收與放射程度的不同所致，這種溫度上的差異也代表了地物的特性，進而可作為判釋地物的依據。

然而若想在多光譜影像中加入熱紅外影像，勢必得先瞭解熱紅外影像的幾何品質，以確保熱影像與其他波段影像間的幾何關係一致，避免物點在各個波段影像上的位置不一致，因此在使用熱影像之前，必須事先率定拍攝用的熱像儀。使用面陣列感測器的熱像儀，其感測器的配置與一般使用電荷耦合元件 (Charge-Coupled Device, CCD) 的數位相機相似，因此若能從既有的率定方法

中，找出適合熱像儀的率定方法，不僅可瞭解紅外熱影像的幾何與輻射特性，日後應用在多光譜影像上時，也可以避免因為幾何扭曲造成判釋上的錯誤，因此本研究以 FLIR-T360 紅外線熱像儀為研究對象，探討熱紅外影像的特性，並率定紅外線熱像儀。

二、研究目的

研究目的有以下兩點：

- (一) 完成熱像儀的幾何率定，探討熱像儀的幾何特性。
- (二) 探討熱像儀的輻射特性，建立熱像儀的輻射改正模型。

三、研究方法與實驗結果

本研究使用 FLIR-T360 熱像儀作為取像儀器，其外觀如圖一。



圖一 紅外線熱像儀

FLIR-T360 紅外線熱像儀內部的熱紅外感測器為一含有 320×240 個感測元件的面陣列感測器。儀器另內建一部解析度為 1280×1024 像元的數位相機，可在拍攝熱紅外影像時，同時蒐集相同地區之可見光影像。

FLIR-T360 視場角為 25°×19°，光

譜解析度涵蓋 7.5 μm ~13.0 μm ，一般模式下溫度的感測範圍介於零下 20 $^{\circ}\text{C}$ 與 120 $^{\circ}\text{C}$ 之間，而精度範圍是 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 或溫度讀數的 $\pm 2\%$ 之內，兩者取其範圍較大值。

一、熱像儀幾何率定

幾何率定部份，本研究使用實地率定法，並參考以往率定框幅式相機，以及目前率定一般數位相機的步驟。通常實地率定法會在實地佈設坐標已知且明顯的控制點，這些控制點通常是具有特定規律點、線、面圖形，這些規律的圖形除了方便計算控制點坐標外，還應令使用者，容易在所拍攝之影像上找到這些控制點。其後一些影像處理軟體也針對這項特性設計了特殊的率定模板，如 PhotoModeler，使用者只需要拍攝數張率定模板影像，就能透過其軟體計算求得相機的內方位參數。

因為幾何特性相似的緣故，熱像儀的幾何率定方法與上述率定一般數位相機的方法類似，然而直接使用熱像儀拍攝率定模板的方式，在實際測試過後發現並不可行。由於整個率定模板使用的是相同材質，因此在一般環境下，整個模板會處在相同的溫度條件，結果就是紅外線熱影像上無法找到可辨識之控制點，因此也無法求解熱像儀的內方位參數；為了解決這樣的問題，必須使率定模板上的控制點與其背景有所區隔，且須保持各個控制點間的相對位置不變，達到這些條件的方法，通常可於率定模板旁，提供熱源造成其溫度變化，透過熱像儀本身的黑熱模式(溫度較高者顯示為黑色)，則能讓控制點在熱影像上顯示為黑點。

本研究使用太陽光作為穩定熱源，將率定模板平整放置在陽光下，再

用熱像儀拍攝率定模板時，因為熱吸收率的不同，率定模板上的控制點會在熱影像上，凸顯溫度較高。藉由此呈現控制點與背景間的差異，方能進行幾何率定。

透過一般攝影測量軟體之內部程式，可率定熱像儀所拍攝之模板，並求得熱像儀的各內方位參數，通常之率定報告，內方位參數包含焦距、像主點位置、透鏡畸變差等參數，利用這些參數，可以解算影像幾何坐標的系統誤差改正量，並求得改正後坐標。表一列出熱像儀與其內建數位相機，在幾何率定後，求得之透鏡畸變差參數。

表一 熱像儀與內建數位相機之透鏡畸變差參數

畸變差係數	熱像儀	內建數位相機
k_0 , 值/標準差	9.962×10^{-4} / $\pm 4.1 \times 10^{-4}$	1.985×10^{-4} / $\pm 2.9 \times 10^{-5}$
k_1 , 值/標準差	4.823×10^{-5} / $\pm 3.6 \times 10^{-5}$	-3.119×10^{-5} / $\pm 1.9 \times 10^{-6}$
k_2 , 值/標準差	0/0	0/0
p_1 , 值/標準差	-7.438×10^{-5} / $\pm 6.8 \times 10^{-5}$	-3.205×10^{-4} / $\pm 1.2 \times 10^{-5}$
p_2 , 值/標準差	-2.794×10^{-4} / $\pm 6.1 \times 10^{-5}$	3.268×10^{-5} / $\pm 1.7 \times 10^{-5}$

利用上述求得的輻射畸變差與離心畸變差，可計算各像元在受到透鏡畸變差影響前的位置，因此在使用 Matlab 程式計算出各像元的原始位置後，將像

元在計算前後位置相差半個像元以上者轉移到新位置，即能重新取樣原本的熱影像，成為幾何改正後之熱影像，以利後續判釋與應用。

二、熱像儀輻射率定

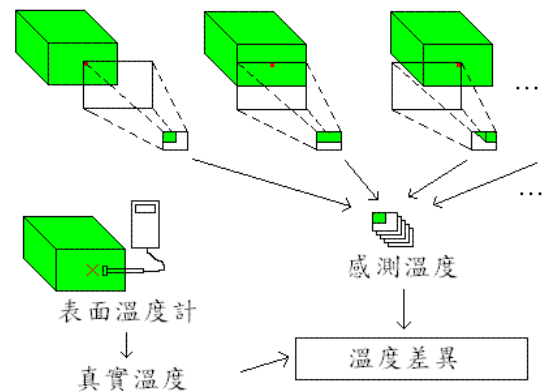
對熱紅外影像而言，不同的灰階值代表不同的溫度，因此輻射率定的重點則是確認影像灰階值能否反映真實溫度。所以在熱像儀的輻射率定上，需要檢驗影像上顯示之溫度與真實溫度的差異。

輻射率定的重點變為如何求得物體的真實表面溫度。一般儀器公司或實驗室在率定熱像儀時，會使用像黑體爐等能精密控制溫度的儀器，這些儀器價格較高昂且不易維護。因此另一個求取表面溫度的方法就是使用精度較差，但是仍然優於熱像儀精度的表面溫度計作為實際溫度的參考值。FLIR-T360 熱像儀在產品規格中列出其精度為 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 或讀數的 $\pm 2\%$ ，兩者取其較高值，正常情況下(溫度小於 100°C)，只要找到精度高於 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的量測方式，即可作為真實溫度的參考。

熱像儀輻射率定的簡易示意圖可參考圖二，首先藉由表面溫度計對選定的樣本物體，量測某一特定點，一般使用表面溫度計量測溫度，需要花費十秒左右的時間，紀錄量測所得溫度值到小數點下一位，並將此溫度值視為該物體該點之真實溫度值。

求得物體表面溫度的同時，使用熱像儀反覆拍攝該物體，另平移熱像儀，使其感測器之各個不同位置，對特定點取像，以蒐集該點在不同方位的感測元件所感測到的表面溫度值，所蒐集的各張影像即含有該點在不同位置的感測元件上的感測溫度值。取得真實溫度以及

感測溫度後，即可對照熱像儀在不同方位的感測元件，其感測到之溫度與實際溫度之差異。



圖二 熱像儀輻射率定示意圖

取得熱像儀在感測溫度與真實溫度上的差異後，可將這些溫度差異作為輻射改正模型，讓熱像儀在各個位置對應各自的改正值。而為了驗證輻射改正模型，本研究對相同的實驗物體(木板)在不同的環境下拍攝，將熱像儀在不同位置所拍攝到的溫度紀錄並整理後，直接使用輻射改正模型改正其溫度值，再比對改正後的各個溫度值與使用表面溫度計量測到的溫度真值。實驗結果顯示：在輻射改正前，熱像儀所感測之溫度與使用表面溫度計量測到之真實溫度差異平均值為 1.21°C ，經過輻射模型的改正後，兩者差異的平均值降為 0.3°C ，在改正前後的均方根誤差則由 $\pm 4.57^{\circ}\text{C}$ 下降為 $\pm 1.65^{\circ}\text{C}$ ，證實了輻射改正之成效。

四、結論與建議

面陣列熱像儀所拍攝得到之熱影像，具有能和可見光影像套疊，以增加對地表判釋解讀程度之潛力，但若要確保所使用之熱影像在與可見光影像套疊後的影像品質，宜在套疊前率定拍攝用熱像儀之幾何。由於面陣列熱像儀的幾何與一般

光學或數位相機類似，故其率定可以參考使用一般率定此類相機之方法；但在輻射方面，熱像儀的特性與一般相機差異甚大，必須使用其他率定方式。

在幾何率定中，本研究使用實地率定法，藉由拍攝既有之率定模板，由影像上控制點位置解算熱像儀的內方位參數。經過實驗發現，須先處理拍攝之熱影像，消除部份控制點模糊與增強影像對比後，方能成功率定。實驗結果顯示，熱像儀的畸變差比一般數位相機稍大，說明 FLIR-T360 熱像儀所拍攝之熱影像的影像幾何不如可見光影像的影像幾何，然而透過內方位參數的求取，可計算出透鏡畸變差，再經過重新取樣，可改正其幾何變形。

在輻射率定中，本研究使用包含實地調查的方式，透過實地量測物體表面取得真實溫度，再比對熱影像上各位置所量測到之感測溫度，其與真實溫度之間的差距建立輻射改正模型。實驗結果顯示，使用輻射改正模型確能降低熱像儀的輻射誤差，效果大約為 64%。

五、參考文獻

- Hovis, W. A., J. S. Knoll, and G. R. Smith, 1985, "Aircraft measurements for calibration of an orbiting spacecraft sensor", *Applied Optics*, 24: 407-410.
- Huang H. H, 2009, *Shadow Effects of Close Range Image Acquired by Area-Based Thermal Detectors*, Paper presented at the 30th Asia Conference on Remote Sensing, Beijing, October 18-23.
- Jensen, J. R., 2005, *Introductory digital image processing*, 3rd Edition, U.S.A.: Pearson Education, Inc.
- Jensen, J. R., 2007, *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*, 2nd Edition, U.S.A.: Pearson Education, Inc.
- Kaufman, Y. J., and B. N. Holben, 1993, "Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint, and desert reflection", *International Journal of Remote Sensing*, 14: 21-52.
- Lillesand, T. M., R. W. Kiefer, and J. W. Chipman, 2008, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6th Edition, N. Y.: John Wiley.
- Sabins, F. F. Jr., 1996, *Remote Sensing Principles and Interpretation*, 3rd Edition, N. Y.: Freeman.
- Schmugge, T., A. French, J. C. Ritchie, A. Rango, H. Pelgrum, 2002, "Temperature and Emissivity Separation from Multispectral Thermal Infrared Operations," *Remote Sensing of Environment*, 79:189-198.
- Thome, K. J., 2001, "Absolute radiometric calibration of Landsat 7 ETM+ using the reflectance-based method," *Remote Sensing of Environment*, 78: 27-38.
- Vermote, E., R. P. Santer, P. Y. Deschamps, and M. Herman, 1992, "In-flight calibration of large field of view sensors at short wavelengths using Rayleigh scattering", *International Journal of Remote Sensing*, 13: 3409-3429.
- Weng, Q., L. Dengsheng, and J. Schubring, 2004, "Estimation of Land Surface Temperature – Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island

Studies,” *Remote Sensing of Environment*,
89:467-483.

Wolf, P. R., and B. A. Dewitt, 2000,
*Elements of Photogrammetry with Application
in GIS*, 3rd Edition, U.S.A.:
McGRAW-HILL Book Co.

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 98-2221-E-004-010
計畫名稱	面陣列熱像儀特性與率定之研究
出國人員姓名 服務機關及職稱	黃灝雄 國立政治大學地政學系副教授
會議時間地點	18-23 October 2009 中國 北京
會議名稱	(中文)第 30 屆亞洲遙測研討會 (英文) The 30 th Asian Conference on Remote Sensing
發表論文題目	(中文)面陣列近景熱影像之陰影效應 (英文) Shadow Effects of Close Range Image Acquired by Area-Based Thermal Detectors (口頭發表)

一、會議緣起

第一屆亞洲遙感探測會議 (ACRS, Asian Conference on Remote Sensing) 1980 年在泰國曼谷舉辦，之後輪由亞洲各國主辦，二十餘年來不曾中斷過。我國曾於 2000 年在台北主辦第二十一屆。第三十屆由中國遙感委員會 (CNCRS, China's National Committee on Remote Sensing) 爭取與亞洲遙感探測學會 (AARS, Asian Association on Remote Sensing) 主辦，地點為北京之北京會議中心 (Beijing Conference Center)，日期為 2009 年 10 月 19 日至 10 月 23 日。10 月 19 日之開幕式由中國遙感委員會秘書長童慶禧(Tong Qingxi)與亞洲遙感探測學會秘書長 Prof. Shunji Murai 主持。

二、會議統計

本次會議共有 27 個國家、708 名與會者，主要參加國家為亞洲地區的國家，亦有少數歐美國家(如美國、英國、德國、加拿大、荷蘭、俄國、瑞士、土耳其等)的專家學者與會，來自臺灣的有 85 名，人數僅次於地主國中國，主要來自國內各大專院校與研究單位、行政部門。本次會議共 38 個場次，發表論文 334 篇，口頭發表有 32 個場次，164 篇論文；餘則為海報式發表。

三、會議主題

會議涵蓋五大主題：New Generation Sensors(新世代感測器)、Remote Sensing Applications(遙感探測應用)、Data Processing(資料處理)、GIS(地理資訊系統)、與 Others(其他)，主題與子題詳如表一所列。

表一、研討會主題

New Generation Sensors 新世代感測器

- Satellite Remote Sensing System 衛星遙測系統
- Airborne Remote Sensing System 空載遙測系統
- UAV/UAS Remote Sensing System 無人載具/無人飛行遙感探測系統
- Hyperspectral Sensing 高光譜感測
- Microwave Sensors/SAR / InSAR/ D-InSAR 微波感測器/合成口徑雷達/合成口徑雷達/微分干涉合成口徑雷達
- Laser Sensors/LIDAR 雷射感測器/光達
- Digital Camera 數位相機
- Others 其他

Remote Sensing Applications 遙感探測應用

- Global Change 全球變遷
- Water Quality & Water Resources 水質與水資源
- Agriculture & Soil 農業與土壤
- Vegetation & Crops 植物與農作物
- Forest Resources 森林資源
- Ecology, Environment & Carbon Cycle 生態、環境與碳週期
- Land Use/Land Cover 土地使用/土地覆蓋
- Geology / Geography/Geomorphology 地質/地理/地形
- Geo-hazards/Disasters 大地災害
- Mountain Environment and Mapping 山區環境與製圖
- Coastal Zone Monitoring 海洋區域監測
- Atmosphere/Oceanography 大氣/海洋測量
- Archaeology 考古
- Urban Change/Monitoring 都會變遷/監測
- High Resolution Satellite Mapping 高解像度衛星測圖

Data Processing 資料處理

- Algorithm and Modeling 演算法與模式化
- DEM/3D Generation 數值高程模型/三維之建立
- Change Detection 變遷偵測
- Feature Extraction 特徵萃取
- Automatic /Intelligent Classification 自動/智慧型分類
- Hyperspectral/SAR Data Processing 高光譜/合成口徑雷達資料處理
- High Resolution Data Processing 高解像度資料處理
- Data Fusion and Data Mining 資料融合與資料採礦

GIS 地理資訊系統

- Spatial Database 空間資料庫

- GIS Decision Support and Models 地理資訊系統決策支援與模式
- Visualization /VR 視覺化/虛擬實境
- GIS Application in Resource Management 資源管理方面地理資訊系統之應用
- GPS & Photogrammetry 全球定位系統與攝影測量
- Global Satellite Navigational Systems 全球衛星導航系統
- GPS Application 全球定位系統應用
- Web GIS / Mobile Mapping 網路地理資訊系統/機動測圖

Others 其他

- RS/ GIS/ GPS Integrated and Applications 遙測/地理資訊系統/全球定位系統整合與應用
- Digital Photogrammetry 數位攝影測量
- Geospatial Technology for Energy, Health, Pollution, etc 能源、健康、污染等之空間技術
- Digital Earth 數位地球
- Space Environment / Deep Space Exploration 太空環境/太空探勘
- Education & Training 教育與訓練

四、與會心得

本次研討會主題涵蓋範圍廣泛，除了各種遙測新技術以外，也包含亞洲各地在空間資訊領域的研究，藉由參與會議的發表與討論，可以瞭解空間資訊在世界各地的最新發展與趨勢。儘管與會學者來自世界各國，彼此精通的語言不同，但在會議中仍然熱烈討論，這種討論隱含了不同地域人們的思維模式，如此討論對發表者與聆聽者雙方，皆能獲得莫大的收穫。

本次會議中同時也對 2008 年中國汶川地震，發表研究報告，透過遙測技術蒐集災害影像，作為後續地質分析與災害分析的有力協助資料。對於同樣處在地震頻繁區域的臺灣來說，這樣大量的遙測技術與相關資源的投入，值得作為學習的參考，在往後遭逢風災或震災時，利用遙測影像蒐集災區資料，幫助瞭解災情與協助災後重建。

主辦單位非常用心的規劃，不僅在會議的安排、會場的佈置、餐飲的供應、諮詢服務等方面，整體而言具有很好的表現。北京有數所大學配置學生擔任會場的服務，服務態度良好，且能積極與參加會議之各國人士互動，處處展現年輕學生的活力，令人印象深刻。我國將於 2011 年再次接辦第 32 屆亞洲遙測研討會，以上這些在未來籌劃會議上應有參考價值。

亞洲遙測研討會對從事遙測研究的各國人才而言，是一個非常有利的學術交流平台，會場中也可看出較先進的國家有較多的學子參與，如：日本、韓國、台灣等均有許多的學生與會，顯現先進的國家較重視人才的培育。類似的研討會應鼓勵並贊助年輕學子參與，因此可接受更多的刺激、拓寬國際視野，更有助於長期在學術上的發展。

五、攜回資料名稱及內容

研討會論文集光碟，以及開會時所蒐集之報告、遙測系統簡介資料。

六、報告內容如附。

Shadow Effects of Close Range Image Acquired by Area-Based Thermal Detectors

Hao-Hsiung Huang, Chih-Chung NA
Department of Land Economics,
National Chenchi University
Taipei, Taiwan
hhh@nccu.edu.tw, 97257025@nccu.edu.tw

KEY WORDS: Thermal Image, Thermal Sensor, Area-Based Detector, Shadow Effect

ABSTRACT

Conventionally, most thermal infrared remotely sensed images are acquired by a single detector and a scanning mirror. Generally, most thermal infrared sensors are placed onboard a satellite or an aircraft. Nowadays, close range thermal images taken by area-based detectors are possible. An area-based thermal sensor can be handled and used conveniently. To operate an area-based thermal sensor is just similar to operate a digital CCD camera. The geometric and radiometric resolutions of the thermal images produced by the sensor are also improved remarkably. The extensive applications of an area-based thermal sensor can be expected.

However, when interpreting and analyzing the thermal images acquired by an area-based thermal sensor, shadow effects should be considered. Hence, A FLIR T360 has been used and tested in this study. Various effects have been found and described as below.

Shadows in thermal image are not produced by a light source, but dependent on the object's temperature. Shadows look like mirrored images of the heat source. The number of shadows of an object is the same as the number of mirrors around the object. The main shadow usually appeared right before the object, between the object and the thermal sensor, and faced toward the thermal sensor. Size of shadow is influenced by object height, and depression angle or incident angle. Brightness of shadow is determined by the object's temperature. Sharpness of shadow is affected by the smoothness and emissivity of the material located in front of the object.

1. INTRODUCTION

Nowadays, to operate an area-based thermal sensor can be very similar to operate a digital CCD camera. However, shadow effects should be considered when interpreting and analyzing the thermal images. A FLIR T360 has been tested in this study. Geometric and radiometric characteristics of shadow effects on the thermal images are described respectively as follows.

2. DEFINITIONS

2.1 Thermal Image

Usually, thermal systems record the apparent temperature, T_{rad} of an object rather than the true kinetic temperature, T_{kin} (Jensen, 2007). On a thermal image shown as in Fig. 1, pixels with bright tone represent the objects with warm apparent temperature.

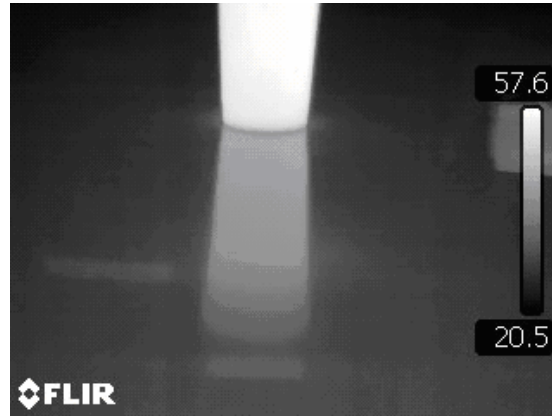


Figure 1. Shadow of a warm object on a thermal image.

2.2 Shadow

As shown in Fig. 1, shadow of object looks like mirrored images of the heat source. The shadow appears right before the object, between the object and the thermal sensor, and faces toward the thermal sensor. Size of shadow is decided by object height, and depression angle (stated as below) or incident angle.

2.3 Depression Angle

As shown in Fig. 2, the angle between a horizontal plane covering the exposure center of the thermal sensor and the sensor's line-of-sight to a specific point on the ground is the depression angle, (Jensen, 2007).

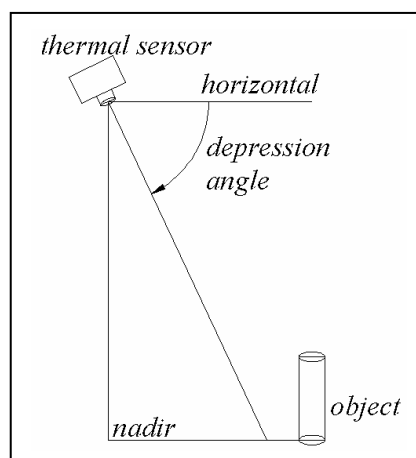


Figure 2 Depression of a thermal sensor

2.4 Relief Displacement

Fig. 3 is a vertical thermal image taken by an area-based thermal sensor. Notice that the relief displacement of the high object occurs radially from the center of the image. An equation of the relief displacement can be arranged as:

$$d = r \cdot h / H \quad (1)$$

where d is the relief displacement, h is the height above datum of object point whose image is displaced, r is the radial distance on image from the center of the image to displaced image, and H is the height of the thermal sensor above same datum selected for measurement of h (Wolf, 2000) . Notice also that the shadow of the warm object appears radially toward the center of the image.

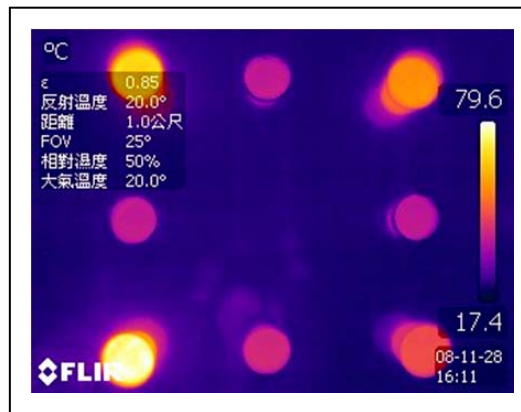


Figure 3. Relief displacement on a vertical thermal image.

2.5 Emissivity

Brightness of shadow is determined by the object's temperature. Sharpness of shadow is affected by the smoothness and emissivity of the material located in front of the object. The general equation for the interaction of spectral (λ) radiant flux with the terrain is (Jensen, 2007):

$$\Phi_{i\lambda} = \Phi_{r\lambda} + \Phi_{a\lambda} + \Phi_{t\lambda} \quad (2)$$

where $\Phi_{i\lambda}$ is the terrain intercepts incident radiant flux, $\Phi_{r\lambda}$ is the radiant flux reflected from the surface, $\Phi_{a\lambda}$ is the radiant flux absorbed by the surface, $\Phi_{t\lambda}$ is the radiant flux transmitted through the surface. Dividing each of the variables by the original incident radiant flux, $\Phi_{i\lambda}$:

$$1 = \gamma_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} \quad (3)$$

where γ_{λ} is spectral hemispherical reflectance by the terrain, α_{λ} is spectral hemispherical absorptance, and τ_{λ} is spectral hemispherical transmittance. The Russian physicist Kirchoff found that in the infrared portion of the spectrum the spectral emissivity of an object generally equals its spectral absorptance, and most real-world materials are usually opaque to thermal infrared radiation, therefore, the equation (3) could be simplify to:

$$1 = \gamma_\lambda + \varepsilon_\lambda \quad (4)$$

The relationship explains that emissivity of objects are crucial on thermal infrared imagery.

3. EXPERIMENT AND RESULT ANALYSIS

Brightness of shadow changes dependent on 1. temperature of objects 2. emissivity of reflective plane 3. depression angle of sensor. Table1 below is observations taken by thermal scanner to the shadow of a warm object on different reflective plane. Notice that the temperature of shadow increase while depression angle of sensor decrease on non-metallic reflective plane, and the temperature of shadow decreasing when sensor is on very high or very low depression angle on metallic reflective plane. The data shows that emissivity certainly do affect to the temperature of shadow. For non-metallic reflective plane, temperature of shadow had been calculated that it has high correlation with $1/\sin\theta$, which θ is depression angle of thermal sensor. For metallic reflective plane, experimental results show that emissivity of reflective plane should be considered as a parameter in calculating, and this sort will be study further later.

Table 1. Temperature of shadow on different reflective plane in variable depression angle.

Depression Angle(°) Reflective Plane(emissivity)	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Aluminum(0.05)	40.6	48.7	49.5	52.6	53.2	53.5	53.3	52.9	49.3
Wood(0.91)	21.9	21.5	21.4	21.3	21.1	21.3	22.2	23.3	22.7
Glass(0.92)	27.4	28	28	28.2	29	30.2	32.9	38.4	45.3
Paper(0.93)	23.1	22.8	22.8	23.2	23.5	24.8	26.8	32.2	32.6
Stainless Steel(0.075)	42.1	44.8	45.7	45.3	45.3	44	42.8	40.6	39.1
Porcelain(0.92)	25.9	26.8	26.9	27.4	27.7	28.8	30.9	37.3	46.4

4. SUMMARY

1. Area-based thermal sensor is unlike traditional single-detector thermal scanner, it can be used on sensing close range thermal images in short time conveniently.
2. Geometric characteristics of area-base thermal sensor are almost the same as digital camera, but radiometric characteristics of area-based thermal sensor are entirely different from digital camera. Thermal images show temperatures instead of brightness of visible light.
3. While using thermal sensor in close range, shadow effect should be considered. In general, shadows appear on smoothly reflective plane when any warm objects closing. Reflective plane reflect thermal infrared which from other heat sources causing shadows in thermal images. In such case, temperature of shadows can not be considered as real temperature there in thermal images.

4. The relationships about how emissivity and depression angle do affect to temperature of shadow which mentioned above are not found out completely, the further research and applications will be drawn.

REFERENCES

- FLIR Systems, 2006. Infrared Imaging Systems, Portland: FLIR Systems, Inc., www.FLIR.com
- Jingmin Dai, Xinbei Wang, Guibin Yuan, 2005. Fourier transform spectrometer for spectral emissivity measurement in the temperature range between 60 and 1500°C, 7th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, pp. 63–66.
- John R. Jensen, 2007. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective, 2nd Edition, Pearson Education, Inc.
- John R. Jensen, 2005. Introductory digital image processing, 3rd Edition, Pearson Education, Inc.
- Miroslav Danov, Vitcho Tsanev, Dimitar Stoyanov, 2007. Measuring the spectral emissivity of rocks and the minerals that form them, The International Society for Optical Engineering.
- Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt, 2000. Elements of photogrammetry with applications in GIS, 3rd edition, McGRAW-HILL Book Co., pp. 136–141.
- Prasanjit Dash, Frank-M. Gottsche, Folke-S. Olesen, Herbert Fischer, 2005 Separating surface emissivity and temperature using two-channel spectral indices and emissivity composites and comparison with a vegetation fraction method, Remote Sensing of Environment 96, pp. 1–17.
- William P. Kustas, John M. Norman, Martha C. Anderson, Andrew N. French, 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship, Remote Sensing of Environment, 85, pp. 429–440.

無研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：黃灝雄		計畫編號：98-2221-E-004-010-					
計畫名稱：面陣列熱像儀特性與率定之研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	4	4	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>兼任研究助理碩士生那至中參加 2010 海峽兩岸遙測/遙感研討會，發表「Calibration of Area-Based Thermal Sensor」獲傑出學生論文獎。</p>
--	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

二篇研討會論文已發表，分別為：Shadow Effects of Close Range Image Acquired by Area-Based Thermal Detectors 與 Calibration of Area-Based Thermal Sensor。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫著重於研究面陣列熱影像之幾何與輻射特性，除了提出幾何率定面陣列熱像儀時，可採用獨特設計模版之引用方式以外，又提出輻射率定之變通可行方式；本研究另探討熱影像上陰影之特性，為相關文獻甚少討論之課題。