

**TEKSTUROWANIE DANYCH Z NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO
OBRAZAMI TERMALNYMI**

**TEXTURE MAPPING OF TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA USING
THERMAL IMAGES**

Piotr Walczykowski, Wiesław Dębski, Michał Kędzierski

Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: skaniny laserowe, obrazy termalne, teksturowanie, 3D, model termalny.

STRESZCZENIE: Przedmiotem artykułu jest połączenie danych ze skaningu laserowego ze zobrazeniami termalnymi. Obiektem badań wykorzystanym w eksperymencie był monitor komputerowy LG Flatron F900P. Do pozyskania danych przestrzennych wykorzystano skaner laserowy Leica ScanStation 2, a obrazów termalnych kamerę termalną ThermoCam PM575. W wyniku przetworzenia pozyskanych danych uzyskano chmurę punktów powierzchni monitora. Każdy z punktów oprócz współrzędnych X, Y, Z posiadał również informację o temperaturze oraz intensywności odbicia w zakresie długości fali skanera laserowego. Możliwa była więc budowa modelu przestrzennego wzbogaconego o informacje o intensywności odbicia w zakresie widzialnym jak również termalnym. Wykorzystana w eksperymencie metoda łączenia danych ze skaningu laserowego z danymi obrazowymi pozyskanymi w termalnym zakresie widma elektromagnetycznego znacznie rozszerza zakres zastosowań skanerów laserowych i kamer termalnych. Daje możliwość dokładnego pomiaru i analizy obiektów niedostępnych dla człowieka lub takich, gdzie przebywanie człowieka wiąże się z dużym zagrożeniem dla niego.

1. WSTĘP

Naziemny skaniny laserowy znajduje coraz szersze zastosowania w dziedzinach, gdzie konieczne są szybkie i dokładne pomiary kształtu skomplikowanych obiektów.

Istotą działania skanera laserowego jest pomiar dużej ilości punktów położonych blisko siebie. Pomiar odbywa się dzięki wykorzystaniu lasera o określonej długości fali i obrotowego lustra, dzięki któremu promieniowanie lasera może być kierowane w dowolnym kierunku wokół urządzenia. Automatyczny pomiar kątów i odległości pozwala na wyznaczenie współrzędnych przestrzennych mierzonych punktów obiektu. W wyniku pomiarów skanerem uzyskuje się tzw. „chmurę punktów” złożoną często z milionów punktów. Każdy z tych punktów posiada określone współrzędne przestrzenne XYZ.

Oprócz współrzędnych przestrzennych każdy pomierzony punkt posiada także informację o intensywności odbicia. Informacja ta może znajdować szerokie zastosowanie, ale należy pamiętać, że dotyczy ona tylko wąskiego zakresu promieniowania o długości fali lasera, np. dla Leica ScanStation 2 laser ma kolor

zielony. Dodatkowe bardzo użyteczne informacje mogą nieść ze sobą zobrazowania cyfrowe, pozyskane wbudowanymi aparatami cyfrowymi.

W niniejszym artykule autorzy przedstawiają możliwość wykorzystania zobrazowań pozyskanych kamerą termalną, które przedstawiają rozkład temperatur badanego obiektu. Odpowiednio pozyskane i przetworzone do jednolitej skali temperaturowej zobrazowania termalne po nałożeniu na trójwymiarowy model obiektu pozwalają na stworzenie termalnego modelu 3D.

2. SKANER LASEROWY LEICA SCANSTATION 2

Obiektem wybranym do badań jest monitor komputerowy LG Flatron F900P. Model przestrzenny tego monitora wykonano na podstawie pomiarów skanerem laserowym Leica ScanStation 2.

Leica ScanStation 2 jest skanerem należącym do rodziny skanerów Leica Geosystems HDS. Jest to uniwersalny skaner impulsowy o zasięgu kilkuset metrów pozwalający na wykonywanie pomiarów 3D z milimetrową dokładnością. Wysoka jakość pomiarów ScanStation 2 jest zapewniona poprzez wysoką dokładność wyznaczenia pozycji (6 mm), pomiaru odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych czy przemysłowych. Przewagą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie bardzo dokładnego pomiaru tego elementu.

Optyka skanera składa się z pojedynczego zwierciadła, nadającego wiązce światła kierunek podczas wychodzenia jak i powracania sygnału. Wielkość plamki lasera padającego na obiekt waha się w granicach od 4 do 6 mm na odległości od przeszkody nie przekraczającej 50 m. System ma zdolność rejestracji nawet do 50 000 punktów na sekundę, gdy badany przedmiot znajduje się w dużej odległości. Zasięg pracy, gwarantowany przez producenta to 300 m przy albedo na poziomie 90 % i około 130 m dla obiektów słabo odbijających wiązkę światła (18% albedo). Urządzenie charakteryzuje się również poszerzonym polem widzenia (360°x270°), a przy dużych zasięgach skanowania pozwala to na skanowanie trudnodostępnych miejsc takich jak: stropy, tunele, mosty, wysokie budowle, kolumny, wieże, czy monitorowanie obszarowo rozległych prac w terenie.

Zasada działania skanera sprowadza się do obliczenia drogi przebycia sygnału lasera w określonej jednostce czasu, zapisaniu wszystkich powracających sygnałów i nadaniu im współrzędnych w jednym układzie.

Sterowanie skanerem odbywa się zawsze za pośrednictwem komputera z wykorzystaniem oprogramowania Leica Cyclone, zapewniającego obsługę całego procesu skanowania i przetwarzania pomiarów. W programie można zdefiniować gęstość ścieżki, obszar, a także sekwencje skanowania kolejnych obiektów.

Skaner Leica ScanStation 2 wyposażony jest w wewnętrzny aparat cyfrowy wykonujący zobrazowania barwne w zakresie widzialnym widma elektromagnetycznego. Dane z tych zobrazowań mogą być połączone z modelem 3D

w postaci chmury punktów. Każdemu punktowi można nadać barwę na podstawie obrazu z kamery. W ten sposób można utworzyć model 3D z realistyczną teksturą.

3. MODEL 3D OBIEKTU TESTOWEGO

Obiektem wybranym do badań jest monitor komputerowy LG Flatron F900P. Model przestrzenny tego monitora wykonano na podstawie pomiarów skanerem laserowym Leica ScanStation 2. Pomiary wykonano z trzech stanowisk tak, aby wszystkie elementy obiektu były pokryte punktami. Rozdzielczość skanowania ustalono na 1 mm. Pozyskano w ten sposób 3 niezależne skany, na podstawie których uzyskano model przestrzenny obiektu, składający się z chmury ok. 700 000 punktów.



Rys. 1. Model 3D obiektu w postaci chmury punktów z rozdzielczością 1 mm z teksturą z wbudowanego w skaner aparatu cyfrowego

4. TERMALNE ZOBRAZOWANIA OBIEKTU

Jednym z urządzeń najczęściej wykorzystywanych do pozyskiwania zobrazowań w zakresie termalnym są kamery. Kamery termalne rejestrują obraz za pomocą detektorów FPA (ang. *Focal Plane Array*). Zasada działania detektorów FPA jest taka sama jak zasada działania detektorów CCD. Główna różnica polega na zakresie spektralnym, który jest przez sensor rejestrowany. Sensory CCD i CMOS są czułe tylko na zakres widzialny i bliskiej podczerwieni. Detektory FPA zbudowane są ze związków czułych na podczerwień termalną, do których zalicza się tellurek rtęciowo-kadmowy

(HgCdTe lub MCT), antymonek indu (InSb), arsenek indowo-galowy (InGaAs) oraz tlenek wanadu (VOx).

Kamera termalna dokonuje pomiaru i rejestruje na obrazie promieniowanie podczerwone emitowane od obiektu. Ponieważ promieniowanie jest funkcją temperatury powierzchniowej obiektu, kamera ma możliwość obliczenia i wyświetlenia tej temperatury.

Ilość promieniowania pomierzona przez kamerę nie jest funkcją jedynie temperatury kinetycznej obiektu, ale również jego emisyjności. Dodatkowo, promieniowanie emitowane przez obiekt, jak i promieniowanie z otoczenia przez niego odbite zostanie częściowo zaabsorbowane przez warstwę atmosfery. W celu precyzyjnego pomiaru temperatury, niezbędne jest uwzględnienie wpływu kilku różnych parametrów:

- współczynnik emisyjności, czyli miara stopnia w jakim emitowane jest promieniowanie z obiektu w stosunku do emitowania ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze.
- odległość pomiędzy obiektywem a obiektem, parametr ten pozwala uwzględnić fakt, że część promieniowania termalnego zostaje zaabsorbowana przez otoczenie na tej odległości.
- temperatura otoczenia pozwala wyeliminować promieniowanie odbite przez obiekt i wyemitowane przez atmosferę pomiędzy kamerą a obiektem.
- wilgotność względna

4.1. Kamera termalna ThermaCam PM575

Do pozyskania zobrażeń termalnych wykorzystano kamerę ThermaCam PM575 (FLIR).



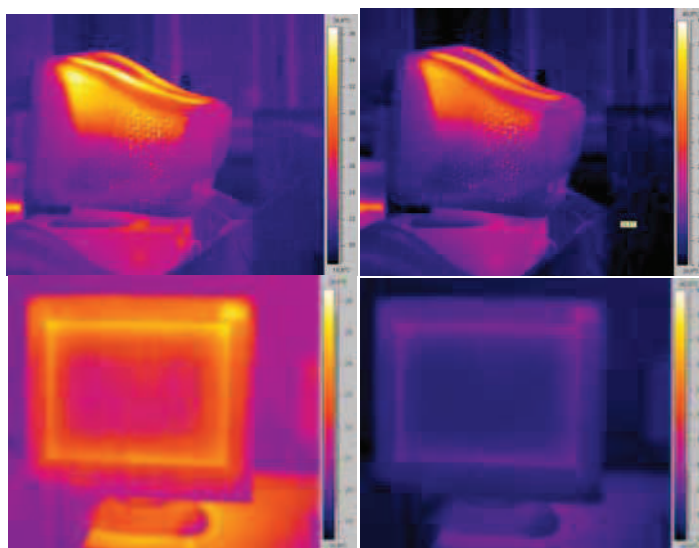
Rys. 2. Kamera termalna ThermaCam PM575

Kamera ThermaCam PM575 jest przystosowana do detekcji promieniowania o długości fali od 7.5 μm do 13 μm . Dokonuje pomiarów temperatury w zakresie od -20° do $+350^{\circ}$ (przy wykorzystaniu dodatkowego filtra z możliwością rejestracji

temperatur aż do 1000°C). Posiada matrycę cyfrową o wielkości 320x240 pikseli a dane zapisywane są z głębią 14 bitów

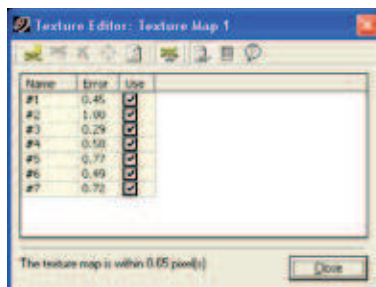
5. ZOBRAZOWANIE I MODEL TERMALNY 3D

Po pozyskaniu zobrażeń termalnych obiektu dokonano przetworzenia termogramów do jednolitej skali temperaturowej.

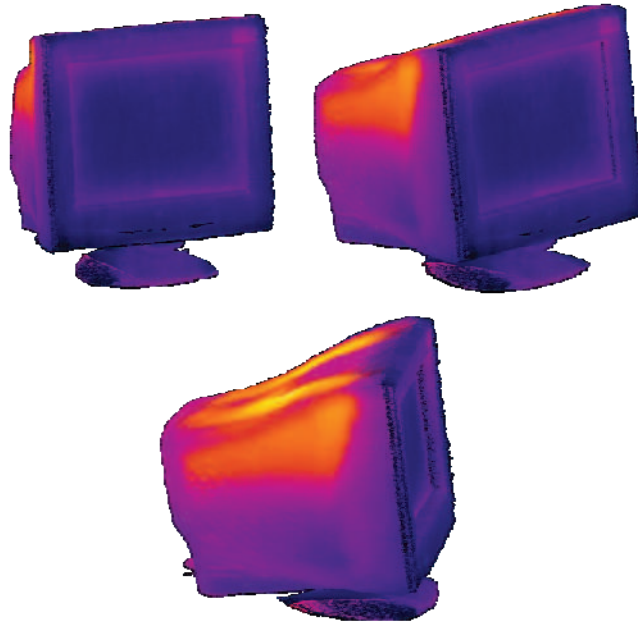


Rys. 3. Zobrazowania termalne pozyskane kamerą ThermaCam PM575. Po lewej skala temperaturowa dopasowana do obiektu – po prawej ujednolicona skala temperaturowa

W celu budowy termalnego modelu 3D model pozyskany skanerem laserowym poddano teksturowaniu czterema zobrazeniami pozyskanymi kamerą termalną. Ponieważ model obiektu składa się z bardzo dużej ilości punktów i większość popularnego oprogramowania CAD ma problem z obróbką tak dużej ilości danych – do przetworzeń wykorzystano program Cyclone w wersji 5.8. Oprogramowanie to pozwala na nakładanie dowolnych zobrażeń na model w postaci chmury punktów w oparciu o 7 punktów homologicznych obrazu i modelu. Dokładność procesu określona jest średnim błędem wpasowania, który w analizowanym przypadku wyniósł 0.65 piksela.



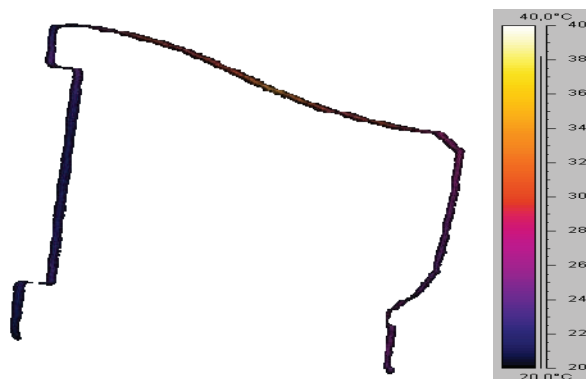
Rys. 4. Dokładność wpasowania tekstury



Rys. 5. Termalny model przestrzenny obiektu

Utworzony model jest chmurą punktów, gdzie dla każdego z punktów została przypisana wartość DN (*Digital Number*) obrazu termalnego. Aby model był szczegółowy musi składać się z dużej ilości punktów. W związku z tym założono dużą gęstość skanowania o wartości 1 mm. Duża gęstość punktów modelu pomaga także przy transformacji zobrażeń termalnych, które ze względu na niewielkie rozmiary matrycy detektorów charakteryzują się względnie niedużą liczbą pikseli.

Termalny model 3D obiektu posiada wiele zalet w porównaniu z klasycznym termogramem uzyskanym bezpośrednio z kamery termalnej. Jedną z nich jest możliwość pomiarów odległości i powierzchni a także wykonywania przekrojów wzdłuż dowolnie zdefiniowanej płaszczyzny.



Rys. 6. Przykładowy przekrój modelu

6. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu uzyskano model 3D monitora składający się z chmury ok. 700 000 punktów. Każdy z tych punktów posiada informację o intensywności odbicia w widzialnym i termalnym zakresie widma elektromagnetycznego. Obrazy z aparatu cyfrowego, wbudowanego w skaner laserowy Leica ScanStation 2, można wykorzystać nie tylko do określania zasięgu skanowania ale również do uzyskania tekstury. Na ich podstawie powstała tekstura w zakresie widzialnym. Do wykonania tekstury w zakresie termalnym wykorzystano obrazy z kamery termalnej. Wysoką dokładność naniesienia tekstury termalnej na model przestrzenny uzyskano dzięki dużej gęstości punktów modelu powierzchni obiektu testowego.

Niewątpliwe zalety skaningu laserowego, takie jak np. możliwość pomiaru obiektów niedostępnych dla człowieka lub takich, gdzie przebywanie człowieka wiąże się z dużym zagrożeniem dla niego, w połączeniu z możliwością przestrzennego obrazowania rozkładu temperatur badanego obiektu znacznie rozszerza zakres dotychczasowych zastosowań. Jednym z nich może być np. projektowanie nowych instalacji, wrażliwych na zewnętrzne warunki temperaturowe.

Wydaje się również, że badanie stanu technicznego i stopnia zużycia instalacji i różnego rodzaju obiektów przemysłowych będzie można wykonywać w oparciu o modele termalne o wiele szybciej i dokładniej niż przy wykorzystaniu pojedynczych termogramów. Połączenie obrazów termalnych z danymi ze skaningu laserowego pozwala nie tylko na odczyt temperatury w dowolnym miejscu obrazu ale również na pomiary odległości i powierzchni.

Uzyskany model termalny obiektu testowego stanowi jedynie przykład. Do teksturowania modeli utworzonych przy pomocy naziemnego skaningu laserowego można wykorzystać również zobrazowania pozyskane w innych zakresach widma elektromagnetycznego.

7. LITERATURA

Bielecki Z., Rogalski A., 2001. *Detekcja sygnałów optycznych*, WNT.

Fryškowska A., Kędzierski M., Sanecki J., Walczykowski P., 2008. *Laser scanning of cultural heritage objects*. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 17 No. 1C. s. 27-30.

Aguilera D., Gonzalez P., Lahoz J., 2007. Paper on the ISPRS Workshop on Laser Scanning „Automatic co-registration of terrestrial laser scanner and digital camera for the generation of hybrids models”, Espoo, Finland.

http://www.commission3.isprs.org/laser07/final_papers/Gonzalez_Aguilera_2007.pdf

TEXTURE MAPPING OF TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA USING THERMAL IMAGES

KEYWORDS: laser scanning, thermal images, texture mapping, 3D, thermal model

Summary

Terrestrial laser scanning is becoming increasingly widely used in those fields in which it is necessary to obtain fast and precise measurements of complex objects.

The essence of the laser scanner function is the measurement of a large quantity of points located in close proximity of each other. The measurement takes place owing to the use of a laser with a defined wavelength and a rotating mirror, by means of which the laser radiation can be pointed in any direction around the instrument. The automated measurement of angles and distances allows determination of spatial coordinates of the measured points of the object. Scanner measurements result in the so-called "point cloud" which usually consists of a few million points. Each of these points possesses very precisely determined spatial coordinates X, Y, Z.

Apart from the spatial coordinates, each point contains information about its reflection intensity. This information has many applications, but it has to be borne in mind that it refers only to a very narrow radiation band, equal to the laser wavelength, e.g., for the Leica ScanStation2 the laser is green. Additional, very useful information can be found on digital images, acquired by inbuilt digital cameras. However, the electromagnetic spectrum considered is still in the visible range.

The paper presents a possibility of using imagery acquired by means of external sensors (not integrated with the scanner). Imagery acquired with a thermal camera, which represents the temperature distribution of the given object, has been deemed most useful. Thermal images, properly acquired and processed to a unified temperature scale, are placed onto a three dimensional model of the object to create a 3D thermal model.

The objective of the paper was to present a connection between laser scanning data and thermal imagery. As a result, a point cloud of the objects surface is obtained. Each point, apart from its X, Y, Z coordinates, includes information about its temperature. This greatly broadens the existing range of applications of laser scanning, as measurements and analyses of inaccessible objects or those posing hazard to humans can be carried out,

Doubtless, the advantages of laser scanning combined with the possibility of acquiring images representing spatial distribution of the temperature of the object, greatly broaden the existing range of applications. Novel application include, i.a., aiding the design of new installations, e.g., those sensitive to external thermal conditions. It seems that surveys of technical conditions and wearing rate of installations and other types of industrial objects could be completed with the thermal model much faster and more accurately than by using separate thermograms. By combining thermal images with laser scanning data it is possible to not only read the temperature at any given point of the image, but also to take measurements of length and area.

dr inż. Piotr Walczykowski
e-mail: pwalczykowski@wat.edu.pl
tel. +4822 6839021

dr hab. inż. Wiesław Dębski
e-mail: wdebski@wat.edu.pl
tel. +4822 6839296

dr inż. Michał Kędzierski
e-mail: mkedzierski@wat.edu.pl
tel: +4822 6837718