

Anna SZAJEWSKA, Krzysztof SZAJEWSKI

SZKOŁA GŁÓWNA SŁUŻBY POŻARNICZEJ, ul. Słowackiego 52/54, 0-629 Warszawa
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Wyznaczanie powierzchni obszaru spalonego na podstawie danych z termogramów

Dr inż. Anna SZAJEWSKA

Adiunkt Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Zainteresowania naukowe: badanie rozwoju pożarów, komputerowe przetwarzanie obrazów, technologia podczerwieni.



e-mail: ania.szajewska@gmail.com

Mgr inż. Krzysztof SZAJEWSKI

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, Wydział Cybernetyki. Zainteresowania naukowe: Systemy wbudowane, projektowanie systemów teleinformatycznych, cyfrowe przetwarzanie sygnałów.



e-mail: szajewski@gmail.com

Streszczenie

W pracy przedstawiono sposób analizy obrazu, umożliwiający obserwację rozwoju pożaru, oraz obliczanie powierzchni obszaru spalonego. Analiza wykonywana została na podstawie termogramów z umieszczonymi markerami umożliwiającymi określenie orientacji obrazów względem współrzędnych przestrzennych. Przedstawiona metoda umożliwia zbieranie empirycznych danych na temat dynamiki rozwoju pożarów zewnętrznych zwłaszcza do zastosowania w technikach symulacyjnych przy zbieraniu danych empirycznych.

Słowa kluczowe: pożar zewnętrzny, analiza obrazu, termografia.

Determining a burnt area based on the data from thermograms

Abstract

To test the fire development observation method presented in the paper, there was conducted an experiment which allowed gathering the data essential for determining increments of a burnt area. The experiment consisted in recording digital images taken during controlled common reed burning. Images in the visible light and IR were taken in fixed time intervals during the experiment. Digital processing of the images was performed after finishing the burning in order to mark out the areas covered by fire. Marking shifts of the fire front was made by analyzing successive thermograms of the thermal image. Fig. 4 presents the input images in the visible light, in IR and during morphological transformations. Fig. 1 shows the flowchart of the algorithm for determining the burnt area. Segmentation by thresholding, conjunction and logical disjunction on successive matrices of thresholded pictures was performed in order to determine the burnt area in the picture. The burnt area was calculated by summing up all products of partial areas matrices and a binary resulting matrix with identical coordinates (4). The partial areas were determined by orthorectification of projection onto a plane of individual pixels of the thermal camera matrix (Fig. 7). The resulting value of the burnt area was verified and compared with measurements of the area taken after completing the experiment. The difference in the size of the area did not exceed 5%.

Keywords: external fire, picture analysis, thermography.

1. Wstęp

Od kilku lat w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie prowadzone są badania dotyczące rozwoju pożarów zewnętrznych. Przeprowadzono kilkanaście eksperymentów, w których rejestrowano rozwój pożaru w różnych warunkach [1, 2]. Do badań wykorzystywano m.in. kamery termowizyjne.

2. Opis eksperymentu

W celu przetestowania zaproponowanej w artykule metody obserwacji rozwoju pożaru przeprowadzono eksperyment, podczas którego zebrano niezbędne dane do wyznaczenia przyrostów

obszaru spalonego. Eksperyment polegał na zarejestrowaniu obrazów w postaci cyfrowej, podczas kontrolowanego wypalenia trzciny pospolitej. Materiał palny cechował się niską wilgotnością charakterystyczną dla klimatu miarkowanego kontynentalnego w okresie wiosennym. Średnia wysokość trzciny wynosiła 350 cm.

Przygotowanie eksperymentu polegało na:

1. Wyznaczeniu obszaru, na którym zostało przeprowadzone badanie.
2. Zabezpieczeniu terenu na wypadek przedostania się ognia na obszar nie objęty eksperymentem.
3. Zainstalowaniu kamer na wysokości.
4. Umieszczeniu markerów na badanym obszarze.

Podczas przeprowadzanego eksperymentu wykonywane były zdjęcia w świetle widzialnym, oraz w podczerwieni w stałych odstępach czasu. Po zakończeniu wypalania wykonana została obróbka cyfrowa uzyskanych obrazów w celu wyróżnienia obszarów objętych ogniem. Ponieważ obraz w podczerwieni w normalnych warunkach pozbawiony jest charakterystycznych punktów odniesienia, dlatego podczas przeprowadzania eksperymentu, na wypalonym obszarze umieszczono dwa palniki gazowe, które posłużyły do ustalenia współrzędnych kierunkowych na poszczególnych termogramach. Na podstawie tych znaczników możliwe było upewnienie się, że wykonane termogramy były usytuowane w takiej samej pozycji względem współrzędnych geograficznych, jak również wykonane termogramy można było w łatwy sposób porównać ze zdjęciami wykonanymi w świetle widzialnym. Porównanie można wykonać nakładając obraz palników z punktami cieplnymi zarejestrowanymi na termogramach.

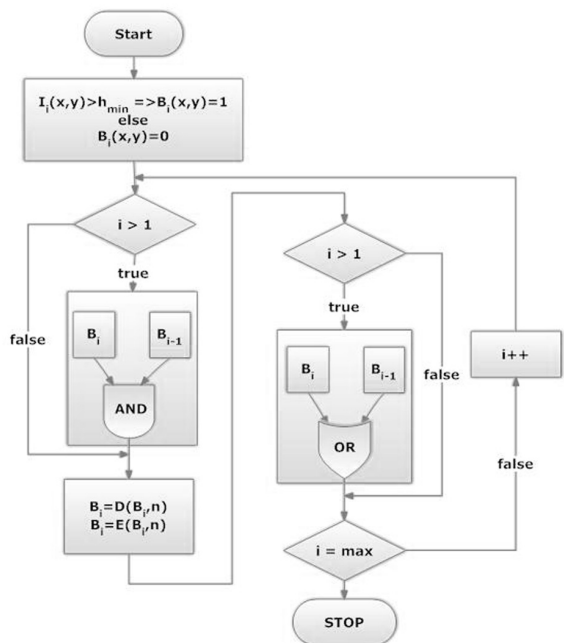
3. Wyznaczanie powierzchni pożaru

Wyznaczanie przesunięć frontu pożaru zostało zrealizowane poprzez analizę kolejnych termogramów obrazu termowizyjnego. Na rysunku 1. przedstawiono schemat blokowy algorytmu wydzielenia obszaru spalonego.

W celu wydzielenia na obrazie, obszaru spalonego dokonano segmentacji. Pojedyncza iteracja algorytmu składała się z następujących kroków:

- 1) Przekształcenie termogramu wejściowego I_1 do obrazu binarnego B_1 poprzez zastosowanie progowania, gdzie wartością progową jest temperatura przewyższająca temperaturę zapłonu nagromadzonego materiału palnego. W każdej bitmapie termogramu wyodrębniono „gorące” piksele. W wyniku tej operacji otrzymano macierze zero-jedynkowe o rozmiarach pierwotnego obrazu, będące binarnymi odzwierciedleniami progowanych obrazów pierwotnych [3]. Wartość progu h_{min} została ustalona na poziomie 90% maksymalnej rejestrowanej temperatury. Wartość ta gwarantowała, że obszar na rejestrowanym obrazie faktycznie ulegał spalaniu.

2) Podczas wykonywania zdjęć w podczerwieni unoszące się chmury spalanych gazów przesłaniały dalszy plan ekspozycji obrazu (rys. 2). Jest to błąd paralaksy wynikający głównie z umiejscowienia kamery. W wyniku tego, wspomniane chmury mogą być interpretowane jako przesunięcie frontu pożaru, co zostało zilustrowane na rysunku 3.

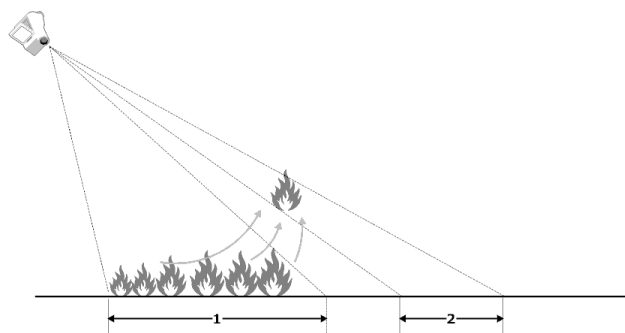


Rys. 1. Diagram blokowy algorytmu wyznaczania obszaru spalonego. I – bitmapa termogramu, B – macierz binarna, i – numer obrazu, D – funkcja dyatacji, E – funkcja erozji, h_{min} – wartość progowa

Fig. 1. Flowchart of the algorithm for determining the burnt area. I – thermogram bitmap, B – binary matrix, i – image number, D – dilatation, E – erosion, h_{min} – threshold value



Rys. 2. Przebieg pożaru z uwidocznioną wysokością płomieni
Fig. 2. Fire with visible flame height



Rys. 3. Zobrazowanie fałszywej interpretacji temperatury podłoża spowodowanej paralaksą obserwacji, 1- obszar zapalony, 2 - obszar błędnie zinterpretowany
Fig. 3. Illustration of false interpretation of the ground temperature caused by the observation parallax: 1- area in fire, 2 – misinterpreted area

Aby zminimalizować wpływ tego błędu na pomiar, dwa kolejne obrazy były porównywane i jako palący się obszar uznawana jest jedynie część wspólna obu macierzy. Jeśli otrzymana macierz binarna posiadała indeks $i > 1$, należało porównać ją z poprzednią macierzą i wyznaczyć obszar wspólny stosując koniunkcję logiczną (wzór 1) na współrzędnie tożsamych elementach. Zjawisko spalania przebiegało dynamicznie i pojawiające się chmury gorących gazów zanikały na tyle szybko, że na kolejnych termogramach zazwyczaj nie były uwidocznione w tych samych miejscach.

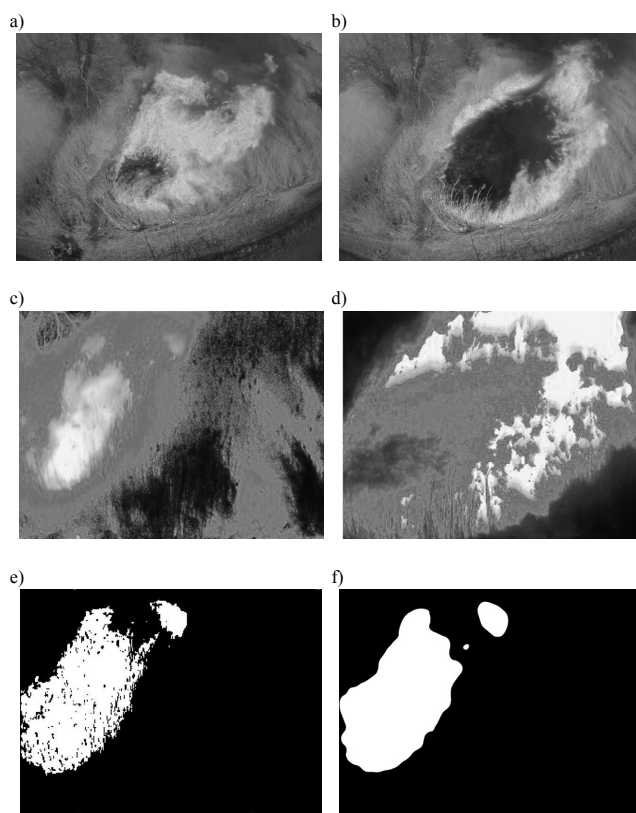
$$B_i(x, y) \rightarrow B_i(x, y) \wedge B_{i-1}(x, y) \quad (1)$$

3) Otrzymane obrazy binarne mogą posiadać puste obszary powstałe np. przez zbyt długi czas pomiędzy wykonanymi zdjęciami, dlatego wykonywane były dwie kolejne operacje morfologiczne, dyatacji i erozji. Dzięki temu wyznaczone kształty zostały zamknięte i pozbawione pustych przestrzeni wewnętrznych.

4) Przyrosty powierzchni spalonej obrazowano przez wykonanie operacji alternatywy logicznej na dwóch sąsiednich macierzach (2).

$$B_i(x, y) \rightarrow B_i(x, y) \vee B_{i-1}(x, y) \quad (2)$$

Na rysunku 4 przedstawiono obrazy wejściowe w świetle widzialnym, w podczerwieni, oraz podczas przekształceń morfologicznych.



Rys. 4. Obrazy wejściowe w świetle widzialnym, w podczerwieni, oraz podczas przekształceń morfologicznych: a) - obraz w świetle widzialnym po 45s, b) - obraz w świetle widzialnym po 70 s., c) - obraz w podczerwieni po 45s, d) - obraz w podczerwieni po 70s. e) - obraz binarny przed przekształceniami, f) - obraz binarny po wykonaniu dyatacji i erozji

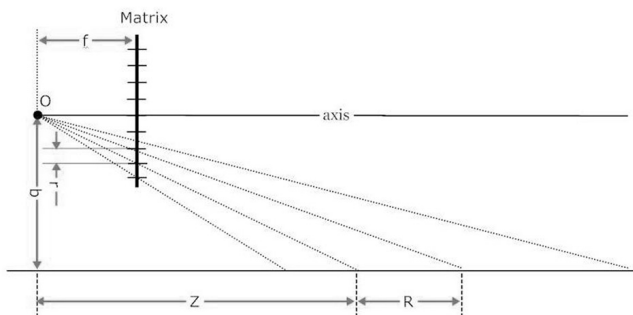
Fig. 4. Input images in the visible light, in IR and during the morphological transformations: a) - an image in the visible light after 45s, b) - an image in the visible light after 70s, c) - an image in IR after 45s, d) - an image in IR after 70s, e) - a binary image before transformations, f) - a binary image after performing dilatation and erosion

4. Szacowanie powierzchni spalonej

Aby wyznaczyć powierzchnie spaloną należało przygotować macierz współczynników pola powierzchni a następnie wykonać sumowanie wszystkich iloczynów poszczególnych elementów macierzy wynikowej B_i z elementami macierzy współczynników pola powierzchni K . Do przygotowania macierzy współczynników pola powierzchni należało znać odległości pomiędzy punktami pomiarowymi (rys. 5) a następnie przy użyciu transformacji punktów pomiarowych dokonać ortorektyfikacji rzutu na płaszczyznę poszczególnych pikseli matrycy kamery termowizyjnej. Na rysunku 6 zilustrowano rzutowanie punktów na płaszczyznę. Odległości do punktów pomiarowych zostały wyznaczone za pomocą dalmierza laserowego.



Rys. 5. Punkty pomiarowe
Fig. 5. Measurement points



Rys. 6. Zależność współczynnika rozmiaru rzutu piksela na płaszczyznę od odległości pomiędzy punktem przestrzennym i ogniskową
Fig. 6. Dependence of the coordinate of the pixel projection size on the distance between a spatial point and the focal

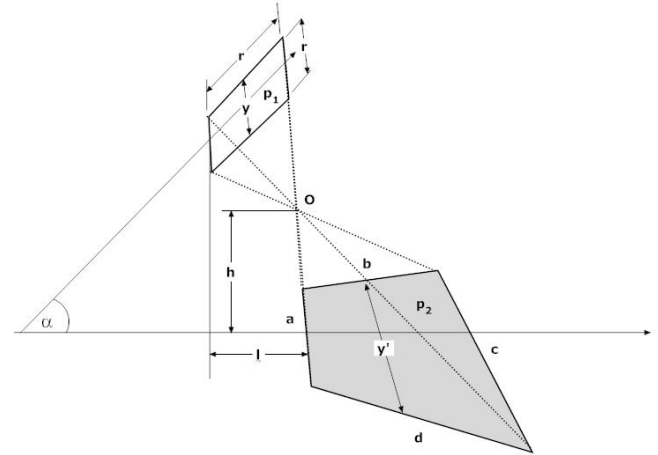
Korzystając z własności podobieństw trójkątów dla prostopadłego usytuowania matrycy można zastosować zależność[3]:

$$R = \frac{rZ^2}{fb - rZ} \quad (3)$$

Znając odległość R można wykonać macierz liczb rzeczywistych, w której zawarte będą pola powierzchni. Na rys. 7. przedstawiono rzutowanie obrazu na powierzchnie pojedynczego piksela. Ponieważ znane są: wysokość h pomiędzy ogniskową kamery a gruntem, długość ogniskowej, kąt nachylenia matrycy względem podłoża, oraz rozmiar piksela - można wyznaczyć długości boków a , b , c , d trapezu przy założeniu, że oś y matrycy jest równoległa do osi y' . Współczynnik pola powierzchni K jest stosunkiem powierzchni piksela p_1 do powierzchni p_2 . Całkowite pole powierzchni spalonej P_s wyznaczono przez sumowanie cząstkowych pól odpowiadających ustawionym bitom w macierzy B_i :

$$P_s = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y K(x,y) \cdot B_i(x,y) \quad (4)$$

gdzie: K - macierz współczynników pola powierzchni, B_i - wynikowa macierz binarna.



Rys. 7. Rzutowanie obrazu na powierzchnie piksela
Fig. 7. Projection of an image onto an individual pixel plane

5. Podsumowanie i wnioski

Weryfikacji wyników poddano wyznaczoną końcową wartość powierzchni spalonej, którą porównano z pomiarem pola wykonanym po przeprowadzeniu eksperymentu. Różnica w wielkości pola powierzchni nie przekraczała 5%. Różnice tą otrzymano poprzez porównanie otrzymanych wyników z wartością odniesienia. Wartość odniesienia wyznaczono poprzez pomiar wykonany taśmą mierniczą i dalmierzem laserowym. Należy zaznaczyć, że pole rejestrowanego eksperymentu obejmowało powierzchnie nieprzekraczającą 400 m². Na wynik pomiaru wpływa szereg błędów. Należy tu wymienić przede wszystkim błędy związane z precyzją pomiaru kąta nachylenia kamery względem płaszczyzny podłoża, oraz zachowanie równoległej osi poprzecznej kamery z osią poprzeczną rejestrowanej powierzchni, która nie koniecznie jest tożsama z linią horyzontu. Obie wartości wpływają na wyznaczenie współczynników pola powierzchni. Ponadto błąd wyznaczenia tego współczynnika rośnie dla większych odległości dalekiego planu ekspozycji od obiektywu. Na błąd pomiaru ma również wpływ wysokość. Błąd rośnie wraz ze zmniejszającą się wysokością kamery. Optymalnym rozwiązaniem byłoby zamontowanie kamery tak, aby powierzchnia matrycy była równoległa do obserwowanej powierzchni ekspozycji. Na wielkość błędu może mieć wpływ natura samej metody, w której zastosowano operacje erozji i rozrostu.

6. Literatura

- [1] Szajewska A., Rybiński J.: Pozyskiwanie empirycznych danych na potrzeby symulacji pożarów lasów, Technika Transportu Szybnego TTS nr. 9/2012.
- [2] Szajewska A., Rybiński J.: Determining the coefficients of the shapes of fire spreading based on a picture from an image intensifier in visible spectrum. Pożarni Ochrona VSB –TU 2012, s. 317-318.
- [3] Praca zbiorowa pod red. Ostrowski M.: Informacja obrazowa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 1992.
- [4] Cyganek B.: Komputerowe przetwarzanie obrazów trójwymiarowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2002.