



MARIUSZ RYCHLICKI<sup>1)</sup>  
TOMASZ KWIATKOWSKI<sup>2)</sup>

## THE POSSIBILITIES OF ASSESSING THE EFFICACY AND COMPARISON OF THE LICENSE PLATE RECOGNITION SYSTEMS

### MOŻLIWOŚCI OCENY SKUTECZNOŚCI I PORÓWNANIA SYSTEMÓW ROZPOZNAWANIA TABLIC REJESTRACYJNYCH

**STRESZCZENIE.** W pracy dokonano przeglądu i charakterystyki współczesnych metod rozpoznawania tablic rejestracyjnych pojazdów. Omówiono ich wysokie i stale rosnące znaczenie dla wykorzystania w systemach inteligentnego transportu. Podkreślono ich duży wpływ na poprawę bezpieczeństwa ruchu oraz rozwój systemów pokrewnych, jak np. ważenia pojazdów w ruchu. Zwrócono uwagę na istniejące problemy w ocenie skuteczności i porównania tego typu systemów. Wskazano istotę problemu, którą jest zawyżana przez producentów oraz dostawców tego typu rozwiązań skuteczność rozpoznawania, deklarowana na poziomie nawet 100%. Z oczywistych powodów musi to rodzić wątpliwości i stwarza problemy praktyczne. Z tego powodu w pracy przedstawiono metodę oceny systemów rozpoznawania tablic, mogącą przyczynić się do ich praktycznego porównania oraz wyznaczenia realnego poziomu skuteczności. Dokonano implementacji metody w aplikacji narzędziowej i przeprowadzono analizę otrzymanych wyników. Zaproponowano projekt stanowiska badawczego, umożliwiającego ocenę tego typu rozwiązań w warunkach laboratoryjnych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** efektywność, inteligentne systemy transportowe, skuteczność, systemy rozpoznawania tablic rejestracyjnych, transport.

**ABSTRACT.** The paper consists of a review and the characteristics of contemporary methods of vehicle registration plate recognition. Their high and increasingly growing importance for the use in intelligent transport systems has been discussed. Their large impact on improving traffic safety and the development of related systems, such as weighing vehicles in motion, have been emphasized. Attention has been paid to the existing problems in the evaluation of the effectiveness and comparison of such systems. The nature of the problem has been indicated, which consists in the fact that manufacturers and suppliers of such solutions overrate the effectiveness of the recognition, declared to be even 100%. For obvious reasons, it raises questions and poses practical problems. For this reason, the paper presents a method for assessing the license plate recognition systems, which might contribute to their practical comparison and determination of the real level of effectiveness. The implementation of the method in the tool application has been performed and the analysis of the obtained results has been carried out. A design of the test stand has been proposed, that would enable the evaluation of such solutions in the laboratory conditions.

**KEYWORDS:** effectiveness, efficiency, intelligent transport systems, systems of recognizing license plates, transport.

<sup>1)</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; mry@wt.pw.edu.pl (✉)

<sup>2)</sup> Politechnika Warszawska, Centrum Informatyzacji; tomaszkwiatkowski90@gmail.com

## 1. WSTĘP

Potrzeba skutecznej identyfikacji pojazdu towarzyszy systemom transportowym od bardzo dawna. Początkowo związana była z systemami kontroli prędkości i poboru płatności, stosowanymi powszechnie w transporcie drogowym. Z czasem rozwiązania tego typu zaczęły zyskiwać nowe funkcje i możliwości, rozrastając się do rozwiązań szerszych, traktujących bezpieczeństwo i organizację ruchu w transporcie w ujęciu systemowych. Pojawienie się i rozwój Intelligentnych Systemów Transportowych nie tylko utrzymało ten trend, ale jeszcze bardziej zwiększyło zapotrzebowanie na dane i informacje, w tym te identyfikujące pojazd. Do najważniejszych z nich należą oczywiście dane odczytywane automatycznie z tablic rejestracyjnych pojazdów, jednoznacznie identyfikujących pojazd i pośrednio jego kierowcę. Wykorzystanie tej informacji w systemach ITS jest bardzo szerokie i nie ogranicza się już tylko do kontroli prędkości, a także do kontroli dostępu/wjazdu do wydzielonych stref, kontroli wagi pojazdów, poboru płatności itp.

Należy jednak pamiętać, że podstawową cechą każdej informacji (danych) jest jej wiarygodność. Z tego powodu systemy automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych ANPR (ang. *Automatic Number Plate Recognition*) powinny cechować się nie tylko dużą szybkością działania, ale przede wszystkim skutecznością i wiarygodnością rozpoznawania. Skuteczność w tym przypadku jest właściwie głównym parametrem, który określa jakość takiego systemu i umożliwia porównanie rozwiązań pochodzących od różnych producentów. Z tego też powodu producenci zawsze eksponują skuteczność swoich rozwiązań, deklarującą na jak najwyższym poziomie. Pozostaje jednak kwestią otwartą wiarygodność tych deklaracji, tym bardziej, że zwykle nie znajduje ona potwierdzenia w praktyce. Tymczasem można spotkać się z deklaracjami nawet na poziomie 100%, co z oczywistych powodów musi rodzić podejrzenia. Brak jednak jest jednoznacznych metod i kryteriów umożliwiających weryfikację skuteczności systemów ANPR i określenia ich rzeczywistej wartości zarówno w warunkach realnej pracy, jak i w warunkach laboratoryjnych. Z tego powodu celowe wydaje się podjęcie prac, których wynikiem będzie dostarczenie narzędzi umożliwiających określenie poziomu skuteczności rozpoznawania tablic rejestracyjnych pojazdów przez dany system ANPR.

## 1. INTRODUCTION

The need for effective vehicle identification has accompanied transport systems for a long time. Initially, it was connected with the systems of speed control and collection of payments, commonly used in road transport. Over time, such solutions began to gain new features and capabilities, expanding to wider solutions, treating safety and traffic organization in transport in terms of systems. The emergence and development of Intelligent Transport Systems not only maintained this trend, but further increased the demand for data and information, including those identifying the vehicle. The most important of these are, of course, the data read automatically from the license plates of vehicles, clearly identifying the vehicle and indirectly its driver. The use of this information in the ITS systems is very broad and is not limited only to control the speed, and to control the access/entry to the specified areas, checking the weight of vehicles, payment collection, etc.

It should be noted, however, that the basic feature of any information (data) is its credibility. For this reason, the Automatic Number Plate Recognition (ANPR) should be characterized not only by high-speed operation, but most of all the performance and reliability of recognition. Effectiveness in this case is actually the main parameter that determines the quality of such a system and allows to compare solutions from different manufacturers. For this reason, the producers always exhibit the effectiveness of their solutions, declaring it to be at the highest level. However, the reliability of these declarations remains an open question, the more that it usually is not confirmed in practice. Meanwhile, there are declarations of even 100% effectiveness, which for obvious reasons must raise suspicion. However, there are no clear methods and criteria for verification of the effectiveness of the ANPR systems and for determination of their real value both in real operation, as well as in laboratory setting. For this reason, it seems appropriate to undertake the work that will result in providing the tools that would enable to determine the level of effectiveness of vehicle license plate recognition by the specific ANPR system.

## 2. MODERN METHODS OF LICENSE PLATE RECOGNITION

### 2.1. GENERAL REMARKS

During the process of license plates identification, the digital images are analysed which are obtained using digital

## 2. WSPÓŁCZESNE METODY ROZPOZNAWANIA TABLIC REJESTRACYJNYCH

### 2.1. UWAGI OGÓLNE

Podczas procesu identyfikacji tablic rejestracyjnych analizie poddawane są obrazy cyfrowe, uzyskane przy pomocy kamer cyfrowych, lub w przypadku kamer analogowych – uzyskane w procesie digitalizacji. Obraz zbudowany jest z pikseli, których dokładne położenie określone jest przy pomocy współrzędnych. Wartość każdego piksela opisana jest przy użyciu trzech składowych RGB (w przypadku obrazu kolorowego), lub poprzez wartość luminacji obrazu (obraz monochromatyczny).

Rozpoznawanie tablic rejestracyjnych polega na odpowiednim przetworzeniu uzyskanego przy pomocy kamery obrazu. Proces ten składa się z trzech etapów:

- 1) lokalizacja – odnalezienie tablicy rejestracyjnej na obrazie,
- 2) segmentacja – wyodrębnienie znaków na tablicy rejestracyjnej,
- 3) identyfikacja – rozpoznanie wyodrębnionych wcześniej znaków.

Odnalezienie tablicy rejestracyjnej na przetwarzanym obrazie jest niezwykle ważnym etapem. Od poprawnej jej lokalizacji oraz wyodrębnienia spośród wielu elementów znajdujących się na analizowanym zdjęciu zależy w dużej mierze skuteczność oraz szybkość pracy całego systemu ANPR. Dlatego też współczesne systemy automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych korzystają z szerokiego spektrum algorytmów, mających na celu jak najbardziej dokładne określenie położenia tablicy. Do najpopularniejszych metod należą te zbudowane w oparciu o:

- statystykę krawędzi,
- morfologię matematyczną,
- transformatę Hough'a,
- metodę „wędrującego koncentrycznego okna”.

Należy jednak zaznaczyć, że metod tych jest znacznie więcej. Powyżej przedstawione zostały jedynie te najczęściej wykorzystywane, które na ogół stanowią podstawę przy tworzeniu nowych algorytmów. Warto wspomnieć, że metody te w większości wypadków nie są stosowane osobno, lecz wspierane są przez inne algorytmy. Ma to na celu poprawienie skuteczności detekcji, a co za tym idzie jakości całego systemu. Zastosowanie powyższych metod,

cameras, or, in the case of analogue cameras, obtained in the process of digitisation. The image is composed of pixels whose precise location is determined by means of coordinates. The value of each pixel is described using three RGB components (in the case of a colour image), or by the value of the luminance of an image (monochrome image).

License plate recognition is based on appropriate processing of the image obtained by the use of a camera. This process consists of three stages:

- 1) location – locating the license plate on the image,
- 2) segmentation – extraction of characters on the license plate,
- 3) identification – recognition of previously extracted characters.

Finding the license plate on the processed image is a very important step. Its correct location and segmentation among the many items on the analysed image contribute largely to the effectiveness and speed of the whole ANPR system operation. Therefore, modern systems of automatic number plate recognition use a wide range of algorithms, aimed at determining the most precise location of the plate. The most popular methods are those constructed on the basis of:

- statistics of the edges,
- morfologię matematyczną,
- Hough transform,
- method of the “wandering coaxial window”.

It should be noted, however, that there are more such methods. Only those most frequently used were presented above, which generally form the basis for the development of new algorithms. It is worth mentioning that these methods in most cases are not used separately, but are supported by other algorithms. This is to improve the detection efficiency, and thus the quality of the whole system. The use of the above mentioned methods allows to obtain a high level of efficiency during plate location, reaching the level of 97-99%.

### 2.2. METHODS FOR THE LICENSE PLATE LOCATION

#### 2.2.1. Plate location of the basis of the detected edges

This algorithm was developed based on the assumption that the license plates captured in the image are typically high contrast areas [1]. The letters and numbers are arranged

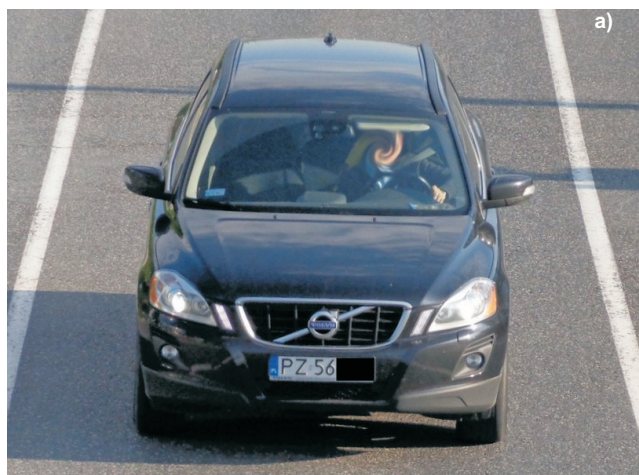
pozwala otrzymanie wysokiego poziomu skuteczności podczas lokalizacji tablic, sięgającego poziomu 97-99%.

## 2.2. METODY LOKALIZACJI TABLICY REJESTRACYJNEJ

### 2.2.1. Lokalizacja tablicy na podstawie wykrytych krawędzi

Algorytm ten został opracowany w oparciu o założenie, że tablice rejestracyjne uchwycone na obrazie są zazwyczaj obszarami o dużym kontraście [1]. Litery oraz cyfry umieszczone są w tym samym rzędzie, co w rezultacie skutkuje częstymi zmianami jasności w obrębie tablicy. Dzięki temu wiadomo iż wystąpienie tablicy rejestracyjnej jest najbardziej prawdopodobne w rzędach oraz kolumnach, które charakteryzują się największymi zmianami jasności.

Na samym początku procesu detekcji tablicy rejestracyjnej analizowane obrazy są przekształcane na obrazy monochromatyczne (Rys. 1). Następnie stosowany jest filtr, mający na celu wykrycie wszystkich krawędzi. Do najpopularniejszych można zaliczyć filtry Laplace'a, Sobela oraz Prewitt'a. Wszystkie z powyższych mają na celu uwydatnienie tablicy rejestracyjnej, w obrębie której powinno znajdować się więcej krawędzi (w porównaniu do reszty obrazu).



Kolejnym krokiem jest poszukiwanie pionowego położenia tablicy rejestracyjnej na obrazie. W tym celu następuje zsumowanie liczby krawędzi występujących w każdym rzędzie, a następnie wybranie zakresu charakteryzującego się największą amplitudą. Dolna oraz górna granica tablicy określone są poprzez znajdowanie lokalnych minimów. Poziome położenie tablicy rejestracyjnej wyznaczone jest w sposób analogiczny, z tą różnicą, że sumowanie liczby krawędzi w kolumnach odbywa się wyłącznie w obrębie obszaru wykrytego w kroku poprzednim.

in the same row, which in turn results in frequent changes of brightness within the plate. Due to this it can be assumed that the plate is most likely to appear in rows and columns that have the highest brightness changes.

At the very beginning of the process of plate detection, the analysed images are converted to monochrome images (Fig. 1). Then, a filter is used designed to detect all edges. The most popular filters may include the filters by Laplace, Sobel and Prewitt. All of them are designed to enhance the license plate, within which there should be more edges (compared to the rest of the image).

The next step is to search for the vertical position of the plate in the image. For this purpose, the number of edges occurring in each row takes place, and then the range characterized by the highest amplitude is selected. The bottom and the top limits of the plate are determined by finding the local minima. The horizontal position of the license plate is determined in an analogous manner, except that the summation of the number of edges in columns takes place only within the area detected in the previous step.



Fig. 1. A monochrome image (a) and the application of a filter detecting the edges (b) [2]

Rys. 1. Obraz monochromatyczny (a) oraz zastosowanie filtru wykrywającego krawędzie (b) [2]

### 2.2.2. Location of the plate using mathematical morphology

In this method, the plate detection is performed in three steps [3]:

- 1) Improving the contrast of the image.

Given the fact that images can be obtained under different lighting conditions (day, night, open rooms, closed rooms,

## 2.2.2. Lokalizacja tablicy przy pomocy morfologii matematycznej

W metodzie tej detekcja tablicy odbywa się w trzech krokach [3]:

### 1) Poprawa kontrastu obrazu.

Mając na uwadze fakt, iż obrazy mogą być pozyskiwane w różnych warunkach oświetleniowych (dzień, noc, pomieszczenia otwarte, zamknięte, zachmurzenia itp.) tablice rejestracyjne mogą nie posiadać odpowiednio wysokiego kontrastu. Z uwagi na to stosuje się jego poprawę przy użyciu operatorów top-hat.

### 2) Czyszczenie tła obrazu.

Jest to najważniejszy etap z punktu widzenia algorytmu. Podczas czyszczenia tła następuje eliminacja niepotrzebnych elementów z obrazu, w taki sposób, aby uwidocznili na nim głównie tablicę rejestracyjną, niezależnie od tego czy jest ona tablicą starego typu (białe litery na czarnym tle) czy też nowego typu (czarne litery na białym tle). W tym celu stosuje się operatory top-hat przez rekonstrukcję. Jeden obraz wynikowy jest uzyskiwany przez zastosowanie operacji supremum – punktowego maksimum dwóch obrazów – wyników transformacji cylindrycznej białej i czarnej [3]. Wykorzystanie zabiegu rekonstrukcji ma na celu zachowanie kształtu tablicy rejestracyjnej jak i jej znaków.

### 3) Detekcja tablicy rejestracyjnej.

Na samym początku fazy trzeciej obraz poddawany jest zgrubnemu wykrywaniu pola tablicy. Odbywa się to przy pomocy filtra zamknięcia, którego zadaniem jest eliminacja z obrazu elementów ciemniejszych od tła (Rys. 2a). Następnie, w celu pozbycia się jak największej liczby obszarów, które nie są pożądane stosuje się dwukrotnie filtr otwarcia (usuwanie elementów jaśniejszych od tła) (Rys. 2b). Ostatnim krokiem jest zastosowanie podwójnego progowania. Obraz tablicy, jako wyraźnie jaśniejszy otrzymuje wartość 0 – kolor biały, pozostałe punkty wartość 1 – kolor czarny (Rys. 2c).



clouds, etc.), the plates may not have the sufficiently high contrast. Because of that, it is improved with the use of top-hat operators.

### 2) Cleaning the image background.

It is the most important step from the point of the algorithm. During the cleaning of the image background, the unwanted components are eliminated from the image in such a way to show only the license plate, regardless of whether it is an old type of plate (white letters on black background) or a new type (black letters on a white background). For this purpose, the top-hat operators are used by reconstruction. One resulting image is obtained by applying the supreme operation – a point maximum of two images – the results of the black and white cylindrical transformation [3]. The use of reconstruction is to preserve the shape of the plate and its characters.

### 3) Detection of the license plate.

At the beginning of the third phase, the image is subjected to a coarse detection of the plate field. This is done using a closure filter, whose task is to eliminate from the image the parts that are darker than the background (Fig. 2a). Then, in order to get rid of as many areas that are not desired, the opening filter is used twice (to remove items brighter than the background) (Fig. 2b). The final step is to apply a double threshold. The plate image, as clearly brighter is set to 0 – white, the other points to 1 – black (Fig. 2c).

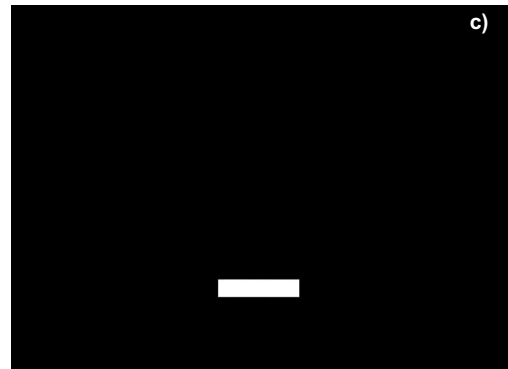


Fig. 2. Detecting the area of the license plate [4]  
Rys. 2. Wykrycie obszaru tablicy rejestracyjnej [4]

### 2.2.3. Lokalizacja tablicy przy pomoc statystyki krawędzi oraz morfologii matematycznej

Określenie położenia tablicy rejestracyjnej na analizowanym obrazie, może okazać się niezwykle trudne w przypadku, gdy znajduje się na nim wiele elementów [4]. Kilkukrotne przetwarzanie zdjęcia, z użyciem różnych wartości progowania powoduje, iż na podstawie statystyki krawędzi otrzymywane jest wiele rejonów, na których może potencjalnie wystąpić tablica. Ich liczbę ograniczyć można poprzez pozostawienie jedynie obszarów spełniających poniższe warunki:

- 1) Są to prostokątne obszary pozyskane podczas pierwszego przetworzenia,
- 2) Obszary znajdują się w dolnej części zdjęcia,
- 3) Wymiary obszarów są zbliżone do wymiarów tablicy rejestracyjnej.

Jednak nawet kilkukrotne przetworzenie obrazu (zazwyczaj czterokrotne), nie daje gwarancji poprawnego zlokalizowania tablicy rejestracyjnej. W takim wypadku, kolejnym krokiem jest wykorzystanie algorytmu bazującego na morfologii matematycznej.

### 2.2.4. Lokalizacja tablicy przy pomocy transformaty Hough'a

Transformata Hough'a jest metodą, która pozwala na detekcję prostych na obrazach binarnych [5]. Została ona opracowana jako alternatywa dla odnajdowania prostych metodą siłową, która to jest metodą bardzo złożoną obliczeniowo. Algorytm transformaty Hough'a składa się z następujących po sobie 5 kroków. Na początku obraz poddawany jest progowaniu. Następnie zdjęcie, już w formie binarnej, zostaje „przepuszczone” przez dwie równoległe do siebie sekwencje kroków, mające na celu wyodrębnienie pionowych oraz poziomych krawędzi. Otrzymane w ten sposób obrazy poddawane są transformacie Hough'a, która ma za zadanie odnalezienie linii prostych. Kolejnym krokiem jest połączenie pionowych oraz poziomych prostych w segmenty. Każdy prostokątny kształt, odpowiadający swoimi wymiarami wymiarom tablicy rejestracyjnej zostaje oznaczony, jako prawdopodobne miejsce położenia tablicy.

### 2.2.5. Lokalizacja tablicy metodą „wędrującego koncentrycznego okna”

Tablice rejestracyjne mogą zostać przedstawione jako nieregularności w teksturach obrazu [5]. Dlatego też nagłe zmiany lokalnych charakterystyk obrazu (np. intensywności, koloru) mogą być wywołane obecnością tablicy. Metodę

### 2.2.3. Location of the plate by the use of statistics of edges and mathematical morphology

To determine the plate location on the analysed image can be extremely difficult when it contains many elements [4]. Processing the photo several times, using different values of the threshold, makes it possible that on the basis of the edge statistics, many areas on which the plate can be located are obtained. Their number can be reduced by keeping only the areas that meet the following conditions:

- 1) These are rectangular areas acquired during the first-stage processing,
- 2) The areas are located in the lower part of the image,
- 3) The dimensions of the areas are similar to the dimensions of the license plate.

However, even processing of an image several times (usually four times) does not guarantee the correct location of the license plate. In this case, the next step is to use an algorithm based on mathematical morphology.

### 2.2.4. Location of the plate using the Hough transform

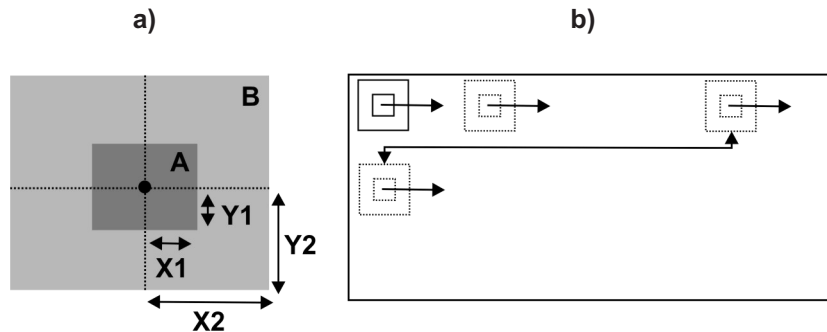
Hough transform is a method that allows for the detection of straight lines on binary images [5]. It was developed as an alternative to finding straight lines by a force method, which is a very complex method of calculation. Hough transform algorithm consists of the following five consecutive steps. At the beginning of the image is subjected to a threshold. Then, the image, already in a binary form, goes through two parallel sequences of steps, designed to isolate vertical and horizontal edges. Thus obtained images are subjected to Hough transform, the task of which is to find straight lines. The next step is to combine horizontal and vertical straight lines into segments. Each rectangular shape, corresponding by its dimensions to the dimensions of the license plate is marked as the probable location of the plate.

### 2.2.5. Location of the license plate using the method of the “wandering coaxial window”

License plates can be presented as irregularities in the textures of the image [5]. Therefore, sudden changes in the local characteristics of the image (e.g. intensity, colour) can be made by the presence of a plate. The method of the wandering coaxial window is used to describe local irregularities in the image. It is based on the study of a standard deviation. The algorithm consists of the following steps:

wędrującego koncentrycznego okna, stosuje się w celu opisanego lokalnych nieregularności na obrazie. Opiera się ona na badaniu odchylenia standardowego. Algorytm składa się z następujących kroków:

- 1) Utworzenie dwóch koncentrycznych okien A oraz B, o wymiarach odpowiednio  $(X1) \times (Y1)$  oraz  $(X2) \times (Y2)$  pikseli (Rys. 3).
- 2) Obliczeniu odchylenia standardowego wartości pikseli w oknach A (stdA) oraz B (stdB).



- 1) Creating two concentric windows A and B, measuring respectively  $(X1) \times (Y1)$  and  $(X2) \times (Y2)$  pixels (Fig. 3).
- 2) Calculating the standard deviation of pixel values in windows A (stdA) and B (stdB).

If the value of the standard deviation in the A window in relation to B window exceeds the threshold value  $T$  defined by the user, then the central pixel of the A window is considered as belonging to the hypothetical area of the license plate location.

Fig. 3. An example of the coaxial window (a), image scanning (b)  
Rys. 3. Przykład koncentrycznego okna (a), skanowanie obrazu (b)

Jeżeli stosunek wartości odchylenia standardowego w oknie A do okna B przekracza wartość progową  $T$  zdefiniowaną przez użytkownika, wówczas centralny piksel okna A jest rozpatrywany jako należący do hipotetycznego obszaru położenia tablicy rejestracyjnej.

## 2.3. SEGMENTACJA ZNAKÓW TABLICY REJESTRACYJNEJ

### 2.3.1. Metoda granic statycznych

W przypadku tablicy rejestracyjnej segmentacja znaków polega na wydzieleniu znaków z jej obszaru. Podobnie jak w poprzednim etapie (detekcji), tak i w tym często wykorzystuje się fakt dużego kontrastu w obrębie tablicy, do czego najczęściej wykorzystuje się jedną z trzech metod. Najprostszym podejściem do tematu segmentacji znaków w obrębie tablicy rejestracyjnej jest zastosowanie statycznych granic [5]. Zakłada ona iż wszystkie symbole umieszczone są w przybliżeniu w tym samym miejscu na każdej tablicy (Rys. 4). Tablica rejestracyjna jest dzielona na odpowiednią ilość sekcji, w taki sposób aby w każdym wydzielonym segmencie znajdował się tylko jeden znak. Niewątpliwą zaletą tej metody jest jej prostota oraz to, iż udana segmentacja nie zależy od jakości obrazu.

## 2.3. LICENSE PLATE CHARACTER SEGMENTATION

### 2.3.1. Static border method

In the case of a license plate, the character segmentation consists in the separation of characters from its area. As in the previous step (detection), the same in this one, the fact of a great contrast within the plate is used, to which most commonly one of three methods is used. The simplest approach to the issue related to the segmentation of characters within the license plate is the use of static borders [5]. It is assumed that all symbols are placed in proximity at the same location on each plate (Fig. 4). The plate is divided into an appropriate number of sections, in such a way that each separate segment contained only one character. An important advantage of this method is its simplicity and the fact that a successful segmentation does not depend on the quality of the image.

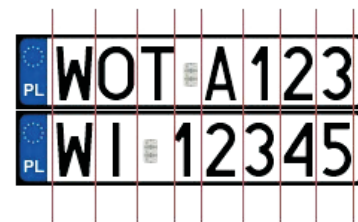


Fig. 4. The division of license plates into sections  
Rys. 4. Podział tablic rejestracyjnych na sekcje

Metoda ta ma jednak jedną zasadniczą wadę. Pozwala ona na poprawę segmentację jedynie w przypadku, gdy mamy do czynienia z tablicami o unormowanej, identycznej budowie, tak jak zostało to przedstawione na Rys. 4. Dla tablic dwurzędowych poprawna segmentacja metodą granic statycznych nie będzie możliwa z powodu nierównomiernego rozmieszczenia symboli w każdym z rzędów (Rys. 5). Kolejną wadą owej metody jest to iż nie pozwala ona na wyznaczenie dokładnych granic poszczególnych znaków, a jedynie na ich oddzielenie od siebie.

### 2.3.2. Metoda rzutu jasności

Metoda segmentacji znaków w oparciu o rzut jasności analizowanej tablicy polega na wyliczeniu na obrazie binarnym liczby czarnych pikseli (reprezentujących poszczególne symbole) [6]. Suma jasności pikseli liczona jest dla wszystkich kolumn i wyraża się wzorem:

$$P[i] = \sum_{j=0}^h f(i, j) \quad \text{dla } i=0, 1, 2, \dots, w, \quad (1)$$

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{dla piksela o czarnej barwie,} \\ 0 & \text{dla piksela o białej barwie,} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

- $P$  – rzut jasności,
- $i$  – numer kolumny,
- $w$  – szerokość obrazu,
- $h$  – wysokość obrazu.

W ten sposób powstaje wykres rzutu jasności, który w miejscach występowania znaków przyjmuje wartość różną od zera. Wykres zanika całkowicie dla kolumn w obrębie, których nie występuje żaden symbol (białe piksele).

### 2.3.3. Metoda połączonych komponentów

Metoda ta oparta jest na poszukiwaniu w obrębie analizowanego obrazu pikseli, które graniczą ze sobą (są sąsiadami) oraz posiadają wspólną cechę. Bardzo często metodę tą stosuje się na obrazach czarno - białych, dlatego też wspólną cechą znaków tablicy rejestracyjnej jest ich kolor (czarny) [5].

Dla obrazu binarnego, dany piksel może przyjmować jedną z dwóch wartości  $V \in [0,1]$  odpowiednio dla koloru białego (tło) i czarnego (znak). Aby piksele posiadające wartość 1 mogły zostać połączone w jeden obszar (komponent) muszą należeć do zbioru sąsiadów analizowanego piksela. Piksel „p” o współrzędnych  $(x,y)$  zależnie od przyjętej metody może posiadać 4, lub 8 sąsiadów (3), (4):

This method, however, has one major drawback. It enables a correct segmentation only in the case when we are dealing with license plate with a normalized, identical structure, as shown in Fig. 4. In the case of two-row plates, a correct segmentation by a static border method will not be possible due to the uneven distribution of symbols in each row (Fig. 5). Another disadvantage of this method is that it does not allow to determine the exact borders of individual characters, separating them only from one other.



Fig. 5. Static borders imposed on a double-row license plate area  
Rys. 5. Granice statyczne nałożone na obszar tablicy rejestracyjnej dwurzędowej

### 2.3.2. Brightness projection method

The character segmentation method based on brightness projection of an analysed license plate consists in calculating the number of black pixels in the binary image (representing individual symbols) [6]. The sum of the brightness of pixels is calculated for all the columns and is expressed by:

$$P[i] = \sum_{j=0}^h f(i, j) \quad \text{for } i=0, 1, 2, \dots, w, \quad (1)$$

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{for a black pixel,} \\ 0 & \text{for a white pixel,} \end{cases} \quad (2)$$

where:

- $P$  – a brightness projection,
- $i$  – the column number,
- $w$  – image width,
- $h$  – image height.

This way a brightness projection graph is created, which in the places where characters occur, has a value other than zero. The graph thoroughly disappears for the columns in the areas where no symbol is present (white pixels).

### 2.3.3. Method of connected components

This method is based on the search for pixels, within the analysed image, bordering with each other (neighbouring) and having a common feature. This method is applied very often to the black-white images, therefore, a common feature of license plate characters is their colour (black) [5].



$$N_4(p) = \{(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)\}, \quad (3)$$

$$N_8(p) = N_4(p) \cdot U \cdot \{(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)\}, \quad (4)$$

Skanowanie odbywa się wzdłuż każdego rzędu, aż do momentu dotarcia do piksela „p”, którego wartość  $V=1$ . Algorytm rozpoczyna wówczas analizowanie 4, lub 8 sąsiednich pikseli (zależenie od stosowanej metody) w celu poszukiwania pikseli posiadających tą samą cechę. Jeżeli takowe zostały odnalezione, zostają one „dołączone” do komponentu, a skanowanie jest kontynuowane, do momentu przeanalizowania całego obrazu. Po przeanalizowaniu całego obrazu, algorytm sprawdza czy wyodrębnione komponenty odpowiadają wielkością teoretycznym rozmiarom znaków. Tym samym odrzucane są obszary mniejsze będące np. zabrudzeniami, czy śrubami mocującymi tablicę.

## 2.4. IDENTYFIKACJA WYODRĘBNIONYCH ZNAKÓW

Kolejnym etapem w procesie rozpoznawania tablic rejestracyjnych jest identyfikacja pojedynczych liter oraz cyfr wyodrębnionych podczas procesu segmentacji. W tym celu stosowane są techniki OCR (ang. *Optical Character Recognition*), które mają za zadanie rozpoznawanie znaków w pliku graficznym. Obecnie metodą najczęściej stosowaną na tym etapie jest metoda wykorzystująca sztuczne sieci neuronowe. Jest to metoda charakteryzująca się dużą elastycznością w zakresie rozpoznawania znaków (np. różna czcionka), a także szybkością działania.

Podstawowym elementem sztucznych sieci neuronowych jest neuron (Rys. 6). Każdy sygnał wejściowy ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ) jest mnożony przed odpowiadającą mu wagę ( $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ). Następnie przemnożone sygnały są dodawane do siebie w bloku sumującym. Sygnał wyjściowy  $\phi$  z bloku sumującego, zwany potencjałem membranowym, przekazywany jest do bloku aktywującego, który w zależności od wartości  $\phi$  podaje na wyjście neuronu odpowiedni sygnał  $y$  [7].

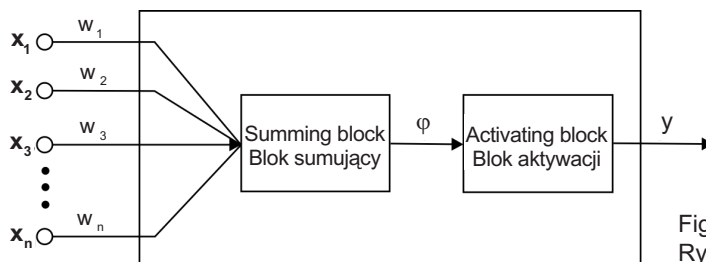


Fig. 6. A model of an artificial neuron [8]  
Rys. 6. Model sztucznego neuronu [8]

For a binary image, a specific pixel can have one of two values  $V = [0,1]$ , respectively for the white (background) and the black (character) colour. In order to combine the pixels, having the value of 1, into one area (a component), they must belong to the set of neighbours of the analysed pixel. The pixel “p” with coordinates  $(x, y)$ , depending on the method used, may have 4 or 8 neighbours (3), (4).

Scanning takes place along each row, until reaching the pixel “p”, the value of which is  $V=1$ . The algorithm then starts analysing the 4 or 8 neighbouring pixels (depending on the method used) in order to search for pixels having the same feature. If such pixels are found, they become “attached” to the component, and scanning is continued until the whole picture is examined. After analysing the entire image, the algorithm checks whether the size of the extracted components corresponds to the theoretical sizes of characters. Thus, areas that are smaller, e.g. dirt or plate mounting screws, are not taken into account.

## 2.4. IDENTIFICATION OF THE SEPARATED CHARACTERS

The next step in the process of license plate recognition is the identification of individual letters and numbers separated during the segmentation process. To achieve this, the OCR techniques (Optical Character Recognition) are used, which are designed to recognize the characters in a graphic file. Currently, the most commonly used method at this stage is the method using artificial neural networks. It is a method characterized by high flexibility in terms of character recognition (e.g. a different character type), as well as speed of operation.

The basic element of the artificial neural networks is a neuron (Fig. 6). Each input signal ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ) is multiplied by the corresponding weight ( $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ). Then, the multiplied signals are added together in a summing block. The output signal  $\phi$  of the summing block, called the membrane potential, is transmitted to the activating block which, depending on the value of  $\phi$ , gives an appropriate signal  $y$  to the output of the neuron [7].

Zgodnie z modelem sztucznego neuronu przedstawionym na Rys. 6, potencjał membranowy  $\phi$  określony jest następującym wzorem:

$$\phi = \sum_{i=1}^n x_i w_i . \quad (5)$$

Blok aktywacji przetwarzający sygnał  $\phi$  może być opisany różnymi funkcjami, np. funkcją liniową, skoku jednostkowego, nieliniową (sigmoidalną). W zależności od wyboru funkcji, wartość wyjściowa  $y$  opisana jest w następujący sposób:

- dla funkcji linowej:

$$y = k\phi , \quad \text{gdzie } k \text{ jest wartością stałą,} \quad (6)$$

- dla funkcji skoku jednostkowego:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{dla } \phi > \phi_p , \\ 0 & \text{dla } \phi \leq \phi_p , \end{cases} \quad \text{gdzie } \phi_p \text{ jest ustaloną} \\ \text{wartością progową,} \quad (7)$$

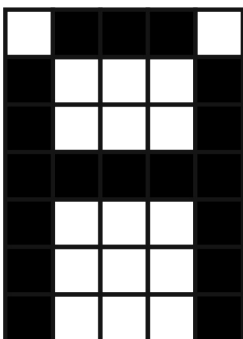
- dla funkcji nieliniowej (sigmoidalnej):

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\beta\phi}} , \quad \text{gdzie } \beta \text{ jest parametrem z reguły} \\ \text{należącym do } \langle 0,1 \rangle . \quad (8)$$

Budowa sztucznej sieci neuronowej rozpoczyna się w momencie sformułowania problemu [9]. Analiza rodzaju oraz liczby danych jakie podaje się na wejścia jednoznacznie określa wielkość warstwy wejściowej. Odpowiedź jaką planuje się uzyskać determinuje liczbę wyjść sieci. W przypadku tablic rejestracyjnych używa się zbioru 25 liter oraz 10 cyfr. Załóżmy, że każda z liter oraz cyfr jest zapisana na macierzy o wymiarach  $5 \times 7$  pikseli, tak jak przedstawiono na Rys. 7.

Ponieważ macierze na których zapisane są poszczególne znaki posiadają 35 pól ( $5 \times 7$  pikseli), wektor wejściowy posiadał będzie 35 wartości. Dla przykładu litery „A” przedstawionego na Rys. 7, wektor ten będzie wyglądał w następujący sposób:

$$X_A = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] . \quad (9)$$



```

0 1 1 1 0
1 0 0 0 1
1 0 0 0 1
1 1 1 1 1
1 0 0 0 1
1 0 0 0 1
1 0 0 0 1

```

Fig. 7. An example of writing the letter A  
Rys. 7. Przykład zapisu litery A

According to the model of an artificial neuron shown in Fig. 6, the membrane potential  $\phi$  is defined by the following formula:

The block of activation processing the  $\phi$  signal can be described by various functions, such as a linear function, a unit step, a nonlinear (sigmoidal) function. Depending on the selection of a function, the output value  $y$  is described as follows:

- for the linear function:

$$y = k\phi , \quad \text{where } k \text{ is a constant value,} \quad (6)$$

- for the unit step function:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{for } \phi > \phi_p , \\ 0 & \text{for } \phi \leq \phi_p , \end{cases} \quad \text{where } \phi_p \text{ is a set threshold} \\ \text{value,} \quad (7)$$

- for nonlinear (sigmoidal) function:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\beta\phi}} , \quad \text{where } \beta \text{ is a parameter from} \\ \text{the rule belonging to } \langle 0,1 \rangle . \quad (8)$$

The construction of an artificial neural network begins with the formulation of the problem [9]. The analysis of the type and amount of data that is given at the input, clearly specifies the size of the input layer. The answer that is planned to get, determines the number of network outputs. In the case of plates, a set of 25 letters and 10 digits is used. Let us assume that each of the letters and numbers is written on a matrix of a size  $5 \times 7$  pixels, as shown in Fig. 7.

Since the matrices on which the individual characters are written have 35 fields ( $5 \times 7$  pixels), the input vector will have 35 values. In case of the letter “A”, shown in Fig. 7, this vector will be as follows:



systemowe będą się od siebie różnić w najwyraźniejszych aspektach, do których zalicza się przede wszystkim szybkość i skuteczność rozpoznawania tablic rejestracyjnych. Z tego powodu podjęto próbę opracowania i implementacji metody, która umożliwiłaby łatwą ocenę danego rozwiązania ANPR i porównania go z innymi rozwiązaniami tego typu.

Badania przeprowadzano w oparciu o poniższe założenia:

- rejestrowano jedynie obrazy nieruchome (zdjęcia),
- do wykonania serii zdjęć użyto klasycznego aparatu cyfrowego (Sony DSC-H90),
- punkt pomiarowy usytuowano powyżej jezdni,
- aparat z wyłączoną stabilizacją obrazu ustawiono został na statywie tak, aby zminimalizować drgania podczas wykonywania zdjęć,
- ogniskowa aparatu została dobrana w taki sposób, aby w polu widzenia znajdował się tylko jeden pas ruchu,
- zdjęcia pojazdów wykonano w jednym miejscu oraz o tej samej porze, aby warunki oświetleniowe jak i scena każdego przechwyconego obrazu były do siebie możliwie jak najbardziej zbliżone,
- do badania wykorzystano 175 zdjęć samochodów z widoczną tablicą rejestracyjną,
- zdjęcia wejściowe wykonano w rozdzielczości  $4500 \times 3000$  pikseli i zapisano w formacie .jpg z minimalną kompresją,
- zdjęć wejściowych nie poddano żadnej obróbce graficznej, która poprawiłaby ich kontrast, ostrość, itp.,
- każde ze zdjęć przeskalowano do 10 mniejszych rozdzielczości, z których każda następna była mniejsza od poprzedniej o 20%,
- wykorzystano narzędzia programistyczne DTK ANPR SDK [10] dla opracowania własnej aplikacji narzędziowej,
- wyniki zapisano w formacie umożliwiającym edycję i przetwarzanie przy pomocy programu Microsoft Office Excel.

### 3.2. MIEJSCE BADAŃ

Zdjęcia testowe zostały wykonane dla rzeczywistego ruchu drogowego z kładki dla pieszych przebiegającej nad pasami ruchu. Jako miejsce badań wybrano kładkę przebiegającą nad ulicą Wołoską w Warszawie, w dzielnicy Mokotów, naprzeciwko Galerii Mokotów. W tym miejscu ulica Wołoska posiada po 3 pasy ruchu (o szerokości 3,5 m każdy) do jazdy na wprost a także wydzielony pas do skrętu w lewo.

Due to the above, an attempt was made to develop and implement a method that would allow easy evaluation of the specific ANPR solution and to compare it with other solutions of this type.

The tests were conducted on the basis of the following assumptions:

- only still images were recorded (photos),
- to perform a series of images a standard digital camera (Sony DSC-H90) was used,
- the measurement point was located above the roadway,
- the camera with image stabilization set off was placed on a tripod in such a way as to minimize the vibrations during shooting,
- the focal length of the camera was chosen in such a way to encompass only one lane in the field of view,
- the photos of vehicles were made in one place and at the same time, to ensure that the lighting conditions and the scene of each captured image were similar,
- as many as 175 photos of cars with a visible license plate were made for the purpose of testing,
- the input images were made with a resolution of  $4500 \times 3000$  pixels and saved in .jpg format with minimal compression,
- the input images did not undergo any retouch, which would improve their contrast, sharpness, etc.,
- each image was scaled to 10 smaller resolutions, of which the subsequent resolution was smaller than the previous one by 20%,
- to develop a private utility software, the following programming software was used: DTK ANPR SDK [10],
- the results were saved in a format that allows editing and processing using Microsoft Office Excel.

### 3.2. THE TEST AREA

The test photos were taken for the actual traffic from an overpass located over the traffic lanes. As a place of testing, the overpass was chosen that was situated over Wołoska Street in Warsaw, in Mokotów district, opposite Galeria Mokotów. At this place Wołoska Street has 3 lanes (each 3.5 m wide) for driving straight ahead, as well as a dedicated lane to turn left. The speed limit of 50 km/h and the proximity of intersections (with Domaniewska Street to the south and Marynarska Street to the north of the overpass) results in the fact that the speed of the movement of

Ograniczenie prędkości wynoszące 50 km/h a także bliskość skrzyżowań (z ulicą Domaniewską na południe oraz ulicą Marynarską na północ od kładki) powoduje, iż prędkość z jaką poruszają się samochody na tym odcinku pozwala na uzyskanie zdjęć dobrej jakości (bez efektu rozmycia charakterystycznego dla fotografii obiektów będących w ruchu). Zdjęcia wykonano pojazdem poruszającym się w kierunku południowym (od Śródmieścia w stronę Ursynowa). Kamera została ustawiona na wysokości około 6,4 m nad jezdnią, centralnie nad środkowym pasem ruchu (Rys. 8).

Ogniskowa aparatu dobrana została w taki sposób, aby na zdjęciach znajdował się w całości jedynie środkowy pas ruchu. Aparat odchylony został o około 10 st. w kierunku pionowym w dół, co pozwoliło na fotografowanie samochodów znajdujących się w odległości 40 - 50 m od kładki. Takie ustawienie aparatu pozwoliło na uzyskanie zdjęć pojazdów z odpowiednio wyeksponowaną tablicą rejestracyjną.

### 3.3. POZYSKANIE I OBRÓBKA DANYCH

Na potrzeby badań opracowano własną aplikację narzędziową (Rys. 9), w której wykorzystano narzędzia programistyczne DTK ANPR SDK [10] firmy DTK Software. Pozwala ona na odczytywanie tablic rejestracyjnych zarówno z plików wideo jak i z obrazów nieruchomych (w formacie \*.bmp, \*.jpg oraz \*.png). Program umożliwia odczytanie numerów tablic rejestracyjnych 80 krajów (w tym Polski). Jako wynik analizy danego zdjęcia zwracane są: nazwa pliku, odczytany numer rejestracyjny oraz czas odczytu.

the cars in this section allows for capturing images of good quality (no blur effect characteristic of photographs of objects in motion). The pictures were taken of the vehicles moving in a southerly direction (from the direction of the Centre towards Ursynów). The camera was set at a height of about 6.4 m above the road surface, centrally over the middle lane (Fig. 8).

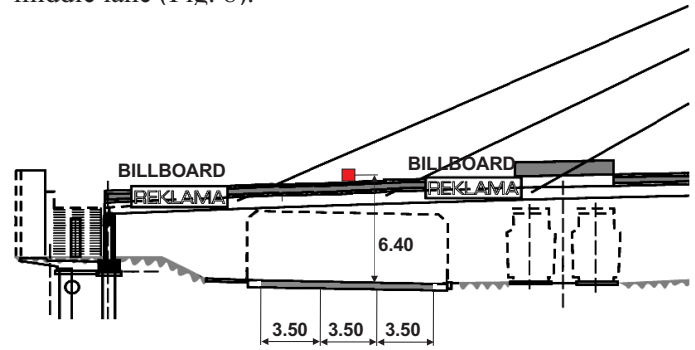


Fig. 8. The location of the test camera in the overpass  
Rys. 8. Usytuowanie kamery testowej na kładce  
[http://www.tgd.pl/uploads/1\\_500cc66f4f41312b04e995ff59a690c2.pdf](http://www.tgd.pl/uploads/1_500cc66f4f41312b04e995ff59a690c2.pdf)

The focal length of the camera was set in such a way that the pictures encompass entirely only the middle lane. The camera was tilted by about 10 degrees in the vertical direction down, that allowed taking pictures of the cars at distances of 40 - 50 meters from the overpass. This arrangement allowed the camera to capture images of the vehicle license plates properly exposed.

### 3.3. DATA ACQUISITION AND PROCESSING

For the purpose of the study, a utility software was developed (Fig. 9), which uses programming tools, such as DTK ANPR SDK [10] by DTK Software company. It allows to read license plates from both the video files as well as from still images (\*.bmp, \*.jpg, and \*.png formats). The software enables to read the license plate numbers of 80 countries (including Poland). As a result of the analysis of the specific image, the following data is collected: file name, license plate number, and reading time.

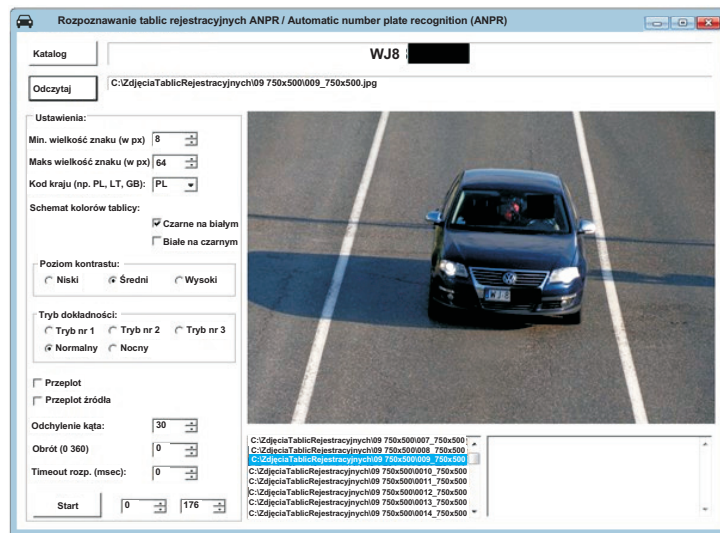


Fig. 9. The appearance of the utility software  
Rys. 9. Wygląd aplikacji narzędziowej

Podstawowymi parametrami konfiguracyjnymi aplikacji są:

- minimalna/maksymalna wysokość znaku (litery, cyfry) tablicy rejestracyjnej w pikselach,
- kod kraju tablicy rejestracyjnej (np. dla Polski - PL),
- schemat kolorów tablicy (czarne znaki na białym tle, białe znaki na czarnym tle),
- stopień kontrastu zdjęcia (niski/średni/wysoki),
- usunięcie przeplotu (dla wideo),
- źródło wideo bez przeplotu,
- kąt odchylenia,
- kąt obrotu,
- liczba klatek na sekundę (dla wideo),
- czas obecności tablicy rejestracyjnej (dla wideo).

Pozyskane dane (zdjęcia samochodów i ich tablic rejestracyjnych) zostały przygotowane, następnie przetworzone w aplikacji, której wyniki działania zapisano w formacie umożliwiającym dalszą obróbkę w programie Excel. Schemat postępowania przedstawiono na Rys. 10.

The main configuration parameters of the software are:

- minimum/maximum height of the character (of a letter, number) of the license plate in pixels,
- the license plate country code (e.g. PL for Poland),
- the plate colour scheme (black characters on a white background, white characters on a black background),
- picture contrast ratio (low/medium/high),
- deinterlacing (for video),
- non-interlaced video source,
- tilt angle,
- angle of rotation,
- the number of frames per second (for video),
- time of presence of the license plate (for video).

The acquired data (pictures of cars and their license plates) were prepared, and then processed in the application, the results of which were saved in a format that allows further processing in Excel. The workflow is shown in Fig. 10.

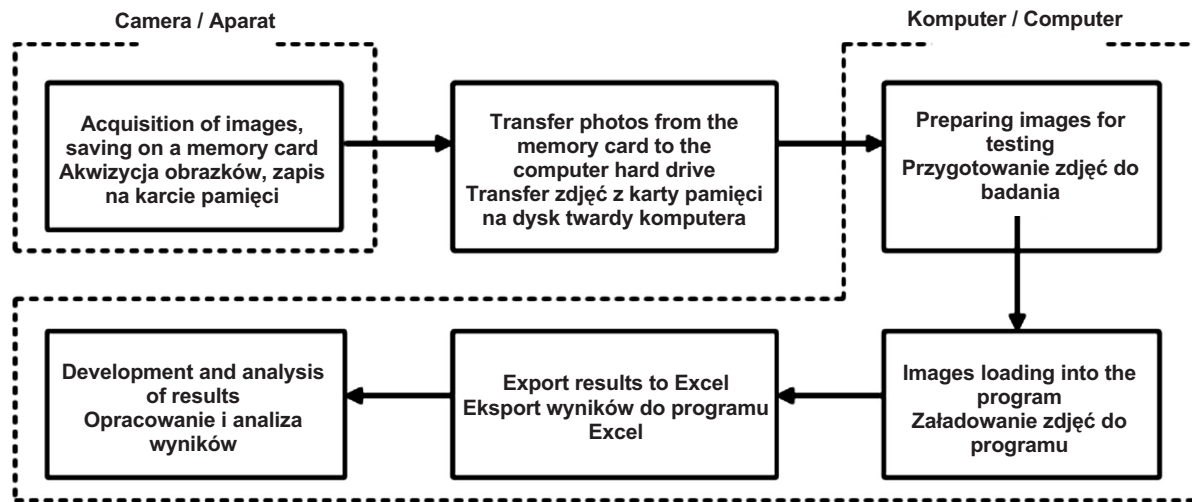


Fig. 10. The scheme of acquisition and preparation of data  
Rys. 10. Schemat pozyskiwania i przygotowania danych

## 4. WYNIKI BADAŃ

W wyniku działania aplikacji narzędziowej otrzymano dane, którymi były odczytane (rozpoznane) tablice rejestracyjne pojazdów utrwalonych w ruchu drogowym na wykonanych zdjęciach. Dane te zostały zapisane w plikach, w formacie umożliwiającym odczyt i dalszą obróbkę danych w programie Excel. W programie tym dokonano porównania wyników działania aplikacji narzędziowej (algorytmów

## 4. RESULTS OF THE TESTING

As a result of the use of the utility software the data has been obtained, by which the license plates of vehicles were read (recognized) the photos of which were taken on the road. The data has been saved in files in a format that allows reading and further processing of the data in Excel. In this program, a comparison has been carried out of the results of the utility software (ANPR algorithms contained

ANPR zawartych w narzędziach programistycznych DTK ANPR SDK) z wzorcowym (odczytanym przez człowieka) zestawieniem numerów tablic rejestracyjnych. W wyniku tego porównania określono procentowy udział poprawnego odczytu tablic rejestracyjnych przez algorytm ANPR. Wielokrotne powtórzenie badań pozwoliło na określenie skuteczności działania algorytmu ANPR w zależności od różnych parametrów obrazów wejściowych. Przykładowe wyniki zostały przedstawione w Tabl. 1 oraz na Rys. 11.

in the programming software DTK ANPR SDK) with the master (read by humans) list of numbers of the license plates. As a result of this comparison, the percentage of correctly read license plates by the ANPR algorithm has been determined. The fact that the test were repeated several times made it possible to determine the effectiveness of the ANPR algorithm depending on various parameters of input images. Sample results are shown in Table 1 and Fig. 11.

Table 1. The results of the license plate numbers recognition  
Tablica 1. Wyniki rozpoznania numerów tablic rejestracyjnych

| Resolution<br>Rozdzielczość<br>[px] | 480×320 | 600×400 | 750×500 | 950×630 | 1180×790 | 1475×980 | 1840×1230 | 2300×1530 | 2880×1920 | 3600×2400 | 4500×3000 |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Recognition<br>Rozpoznanie<br>[%]   | 14.2    | 55.7    | 72.7    | 71.0    | 72.2     | 77.3     | 75.6      | 82.4      | 86.4      | 86.1      | 86.2      |

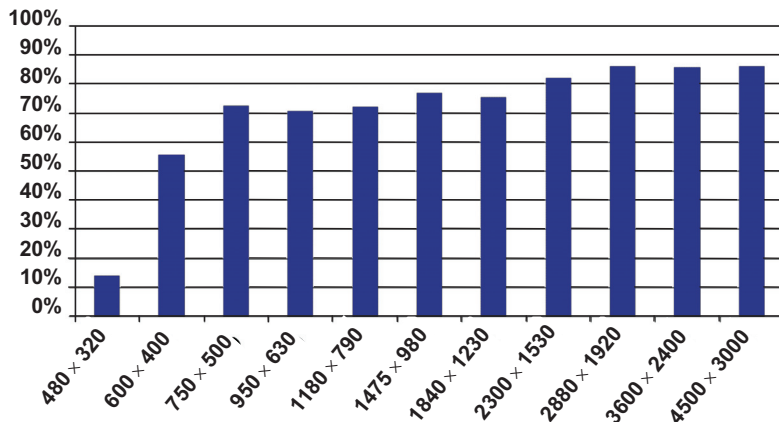


Fig. 11. The percentage results of the license plate numbers recognition depending on the resolution of the image

Rys. 11. Wyniki procentowe rozpoznania numerów tablic rejestracyjnych w zależności od rozdzielczości obrazu

## 5. WNIOSKI

Opracowana na potrzeby badań aplikacja narzędziowa pozwala na automatyczną i obiektywną ocenę skuteczności wykorzystanych w procesie rozpoznawania tablic rejestracyjnych metod i algorytmów. Dzięki temu może mieć szerokie zastosowanie nie tylko przy ocenie rzeczywistych systemów ANPR, ale także być pomocna w doborze podstawowego sprzętu, jakim jest kamera, oraz w jej usytuowaniu względem drogi.

Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że skuteczność wykorzystanej metody rozpoznawania tablic rejestracyjnych zależy w znacznym stopniu od wykorzystanej rozdzielczości obrazu. Zależność ta obserwowana jest jednak jedynie do pewnej granicy, powyżej której wpływ rozdzielczości nie jest już zauważalny. Granicą tą dla obrazów zarejestrowanych w rzeczywistym ruchu drogowym jest 86%. Wartość ta

## 5. CONCLUSIONS

The utility software developed for the purpose of testing allows for an automatic and objective evaluation of the effectiveness of methods and algorithms used in the process of license plate recognition. Thus, it can be widely used not only for assessing the actual ANPR systems, but it also can be helpful in the selection of basic equipment, which is a camera, and its location in relation to the road.

The results obtained allow us to conclude that the effectiveness of the method used for license plate recognition depends largely on the image resolution applied. This dependence is observed, however, only to a certain limit, above which the influence of the resolution is no longer visible. This limit for images taken in real traffic is 86%. This value changes depending on the location of the camera (of the angle from the axis of vehicles) and image

ulega zmianie w zależności od usytuowania kamery (kąta od osi ruchu pojazdów oraz jakości zdjęć. Różnice te są na tyle znaczące, że wydaje się celowe prowadzenie dalszych badań i rozbudowę aplikacji o interfejs użytkownika, umożliwiający szybką obróbkę i analizę danych bez konieczności wykorzystania dodatkowego oprogramowania.

quality. These differences are so significant, that it seems appropriate to carry out further research and development of the utility software with a user interface for quick processing and analysis of data without having to use additional software.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Du S., Ibrahim M., Shehata M., Badawy W.*: Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-the-Art Review. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, **23**, 2, 2013, 311-325
- [2] *Anagnostopoulos Ch., Anagnostopoulos I., Loumos V., Kayafas E.*: A License Plate-Recognition Algorithm for Intelligent Transportation System Applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **7**, 3, 2006, 377-392
- [3] *Balazs E., Lajos K., Kalman F.* : Real Time Number Plate Localization Algorithms. *Journal of Electrical Engineering*, **57**, 2, 2006, 69-77
- [4] *Iwanowski M.*: Zastosowanie morfologii matematycznej do wykrywania obszarów o zadanych cechach na obrazach cyfrowych. IMIO PW, Materiały V Sympozjum Naukowego – Techniki Przetwarzania Obrazu, Serock 16-18.11.2006, 270–281
- [5] *Hansen H., Kristensen A., Kohler M., Mikkelsen A., Pedersen M., Trangeled M.*: Automatic recognition of license plater. Institute for Electronic System, Aalborg University, 2002
- [6] *Enyedi B., Konyha L., Fazekas K.* : Real Time Number Plate Localization Algorithms. *Journal of Electrical Engineering*, **57**, 2, 2006, 69-77
- [7] <http://home.agh.edu.pl/~vlsi/AI/wstep1/model.html> (dostęp na dzień 27.04.2014)
- [8] *Ochmański M., Bzówka J.*: Wybrane przykłady zastosowań sztucznych sieci neuronowych w geotechnice. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, **4**, 2013, 287-294
- [9] <http://ai.c-labtech.net/sn> (dostęp na dzień 27.04.2014)
- [10] <http://www.dtksoft.com/dtkanpr.php> (dostęp na dzień 23.07.2014)