

Krzysztof OKARMA¹
Przemysław MAZUREK¹

WYKORZYSTANIE OTOCZENIA TABLICY REJESTRACYJNEJ W PROCESIE PASOWANIA OBRAZÓW W ALGORYTMACH SUPERROZDZIELCZOŚCI

W artykule przeanalizowano wpływ otoczenia tablicy rejestracyjnej pojazdu na dokładność pasowania obrazów niskiej rozdzielczości w algorytmach superrozdzielczości. Dzięki ich wykorzystaniu możliwe jest prawidłowe rozpoznawanie numerów rejestracyjnych pojazdów w ruchu, nawet przy ich nieczytelności na pojedynczych klatkach sekwencji wideo. Przedstawione wyniki eksperymentalne wykazują przydatność dodatkowych informacji widocznych w najbliższym otoczeniu tablicy (np. chłodnica, zderzak, reflektory) w procesie pasowania, co pozwala na uzyskanie obrazu wynikowego o znacznie wyższej jakości i lepszej czytelności, niż w przypadku użycia wyłącznie obrazów tablic rejestracyjnych o niskiej rozdzielczości.

THE USE OF THE REGISTER PLATE'S SURROUNDINGS FOR THE IMAGE FITTING PROCESS IN THE SUPER-RESOLUTION ALGORITHMS

The article examines the impact of vehicle's license registration plate's environment on the low-resolution images' fitting accuracy in the super-resolution algorithms. Through their use it is possible to correctly identify the registration numbers of vehicles in motion, even when they are obscure in the individual frames of the video sequence. Presented experimental results demonstrate the usefulness of additional information visible in the nearest surrounding of the register plate (e.g. radiator, bumper, car lights) in the process of fitting, which allows for the resulting image of much higher quality and better clarity than using only the low resolution license plate images.

1. WSTĘP

Automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych pojazdów w ruchu stanowi jeden z najistotniejszych elementów software'owych Inteligentnych Systemów Transportowych. Typowym podejściem, wykorzystywanym częściowo przy obsłudze zdjęć wykonywanych

¹Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie, Wydział Transportu Samochodowego; 71-244 Szczecin; ul. Klonowica 14. Tel: +48 91 424-08-75, Fax: +48 91 424-08-76 E-mail: okarma@wste.szczecin.pl, mazurek@wste.szczecin.pl,

przez fotoradary, jest rozpoznawanie tablic rejestracyjnych na podstawie pojedynczego zdjęcia. Na ogół z takich urządzeń uzyskiwane są zdjęcia o stosunkowo dobrej jakości i wysokiej rozdzielczości, co pozwala na zautomatyzowanie procesu rozpoznawania numeru rejestracyjnego pojazdu, a nawet, w połączeniu z odpowiednim systemem bazodanowym, ustalania jego właściciela. W wypadku małej czytelności takiego obrazu, spowodowanej np. czynnikami atmosferycznymi, zdjęcia takie mogą być jednak bezużyteczne.

Alternatywnym podejściem może być wykorzystanie sekwencji wideo rejestrowanych przez kamery, jednakże zwykle odbywa się to kosztem rozdzielczości uzyskiwanych obrazów. Tym niemniej w takim wypadku wykorzystana mogłaby być dodatkowa infrastruktura np. w postaci kamer przemysłowych stosowanych do celów monitoringu miejskiego. Zakładając, iż możliwe byłoby rozpoznanie (niekoniecznie automatyczne) numerów rejestracyjnych pojazdów popełniających wykroczenia drogowe, szczególnie zagrażające bezpieczeństwu innych użytkowników drogi, zarejestrowane przez tego rodzaju kamery, stanowiłoby to potencjalnie znaczący element podnoszący bezpieczeństwo ruchu drogowego.

2. SUPERROZDZIELCZOŚĆ

Zwiększenie rozdzielczości obrazów jest możliwe w najprostszym wypadku za pomocą algorytmów interpolacji. Niestety takie podejście nie zapewnia zwiększenia czytelności obrazu, a obraz wynikowy często jest rozmyty lub składa się z widocznych powiększonych pojedynczych pikseli.

Skuteczną techniką zwiększania fizycznej rozdzielczości obrazów, dokonywanego na podstawie informacji z kilku obrazów o niższej rozdzielczości, która jest przydatna do celów ich rozpoznawania jest zastosowanie algorytmów superrozdzielczości. Algorytmy te bazują na dwóch zasadniczych krokach: estymacji ruchu oraz rekonstrukcji. Jednym z zasadniczych ich elementów jest proces pasowania obrazów, którymi mogą być kolejne klatki zarejestrowanej sekwencji wideo. Obiekty, których czytelność powinna zostać w ten sposób poprawiona, muszą być względem siebie przesunięte lub obrócone na kolejnych klatkach, jednak w wypadku przesunięć o całkowitą liczbę pikseli, informacja taka okazuje się niewystarczająca do prawidłowego działania algorytmów superrozdzielczości. Dopiero zapewnienie przesunięć o ułamkowe części piksela pozwala uzyskać satysfakcjonujące rezultaty.

W rzeczywistych warunkach rejestracji ruchu ulicznego, pojazdy poruszające się z różnymi, także zmiennymi prędkościami, w połączeniu z deformacjami związanymi z rzutowaniem perspektywicznym, które ma miejsce przy rejestracji obrazu przez kamerę, zazwyczaj przesuwają się na poszczególnych klatkach właśnie o niecałkowitą liczbę pikseli. Sprawia to, iż algorytmy superrozdzielczości stają się bardzo atrakcyjną techniką w wielu zastosowaniach związanych z Inteligentnymi Systemami Transportowymi.

Poza poprawą skuteczności rozpoznawania pojazdów, w tym numerów ich tablic rejestracyjnych, algorytmy superrozdzielczości umożliwiają precyzyjniejsze śledzenie pojazdów, w tym odległych, a także poprawę dokładności estymacji ich położenia i parametrów ruchu w oparciu o techniki analizy obrazu.

Jednym z zasadniczych zagadnień wpływających na jakość obrazów wynikowych jest poprawny dobór serii obrazów o niższych rozdzielczościach. W jednej z wcześniejszych

publikacji [1] przeanalizowany został problem wyboru referencyjnego obrazu niskiej rozdzielczości, od którego rozpoczyna się proces pasowania. Zakładając, iż dysponujemy np. kilkunastoma klatkami sekwencji wideo, na których widoczny jest pojazd znajdujący się w ruchu, najlepsze wyniki można uzyskać w wypadku pasowania rozpoczynającego się od środkowej klatki sekwencji, jako najbardziej reprezentatywnej. Poza przedstawioną uprzednio poprawą jakości obrazów wykorzystywanych do śledzenia odległych pojazdów, podobne podejście zastosować można również w wypadku sekwencji obrazów przedstawiających tablice rejestracyjne pojazdów w ruchu, w szczególności zbliżających się do kamery (poruszających się na wprost).

Istotnym elementem, mającym wpływ na wynik syntezy obrazu za pomocą algorytmów superrozdzielczości, jest dobór metody estymacji ruchu oraz wykorzystana technika rekonstrukcji obrazu.

Estymacja ruchu może być wykonywana na podstawie analizy częstotliwościowej obrazów. Podejście takie zostało zaproponowane przez Vandewalle'a [3] i bazuje one na założeniu, iż przesunięcie obrazu uwidocznione jest w częstotliwościowej charakterystyce fazowej. Z kolei charakterystyka amplitudowa umożliwia estymację obrotu obrazu, dzięki czemu zastosowanie dyskretnego przekształcenia Fouriera wraz z dodatkową filtracją dolnoprzepustową w celu redukcji wpływu zjawiska aliasingu jest wystarczające do celów dalszej estymacji wektorów ruchu. Podobne algorytmy, również oparte na DFT, zostały zaproponowane w publikacjach Marcela [4], a także Lucchese i Cortelazzo [5], gdzie estymacja przesunięć wykorzystuje korelację fazową, natomiast obroty są wyznaczane na podstawie kąta nachylenia linii widocznej w widmie obrazu.

Kolejną techniką, użytą podczas badań eksperymentalnych, których wyniki zostały przedstawione w niniejszej pracy, jest algorytm zaproponowany w publikacji [6], który bazuje na rozwinięciu w szereg Taylora. Jego wybór został podyktowany wynikami oceny jakości obrazów tablic rejestracyjnych uzyskiwanych we wcześniejszych eksperymentach, przedstawionych w publikacji [2].

Drugi etap działania algorytmów superrozdzielczości jest związany z procesem rekonstrukcji obrazu. Najbardziej typowym podejściem jest wykorzystanie interpolacji bikubicznej, jednak uzyskiwane tą techniką efekty nie są zazwyczaj zadowalające. Alternatywnymi technikami są rzutowanie zbiorów wypukłych (ang. *Projection onto Convex Sets* - POCS) oraz iteracyjny algorytm wstecznej propagacji [7]. W pierwszej technice (metoda Papoulisa-Gerchberga) wykonywane jest rzutowanie pikseli na siatkę o podwyższonej rozdzielczości, po którym następuje filtracja dolnoprzepustowa i proces ten jest powtarzany do osiągnięcia zbieżności. W niektórych przypadkach w procesie filtracji dolnoprzepustowej możliwe jest wykorzystanie wiedzy dotyczącej odpowiedzi impulsowej kamery w postaci zastosowania filtru aproksymującego PSF (*Point Spread Function*).

Druga z wymienionych technik oparta jest na estymacji obrazu o niskiej rozdzielczości, uszczegółowianego poprzez dodawanie obrazu „gradientowego” (sumy różnic pomiędzy obrazami wejściowymi a uzyskanym wynikiem). Nieliniową modyfikacją tej metody jest technika Robust Super-Resolution [8], w której zamiast sumy różnic wykorzystywana jest wartość mediany.

Podobnie, jak dla algorytmu estymacji ruchu, na podstawie wcześniejszych badań, do celów eksperymentalnych wybrana została jedna z technik rekonstrukcji, pozwalająca na uzyskanie najlepszych wyników. Technika tą jest dwuprzebiegowy algorytm SANC [9],

bazujący na splocie 2-D z wyostreniem obrazu za pomocą adaptacyjnych filtrów Gaussa o zmiennej orientacji i rozmiarze maski.

3. BADANIE ZAPROPONOWANEJ TECHNIKI

W celu określenia wpływu otoczenia tablicy rejestracyjnej na dokładność procesu pasowania i wynik działania algorytmów superrozdzielczości wykorzystane zostały obrazy tablic rejestracyjnych wraz z fragmentami pojazdów, z których zostały w sposób syntetyczny wygenerowane sekwencje 10 obrazów o obniżonej rozdzielczości zawierające losowe przesunięcia i obroty. Dla każdego obrazu przeprowadzone zostały trzy eksperymenty dla różnych wielkości otoczenia tablicy rejestracyjnej. W wypadku skrajnym obrazem wejściowym był obraz samej tablicy. Wyniki działania algorytmu superrozdzielczości bazującego na estymacji ruchu metodą Keren-Peleg-Braga [6] oraz *Structure-Adaptive Normalized Convolution* [9] dla przykładowych obrazów przedstawione zostały na rysunkach 1-12 wraz z obrazami wejściowymi.



Rys.1. Oryginalny obraz testowy 1 wraz z 10 obrazami o 4-krotnie zmniejszonej rozdzielczości użytymi do rekonstrukcji – test 1



Rys.2. Efekt zastosowania algorytmu superrozdzielczości dla obrazów z rys. 1 (test 1)



Rys.3. Oryginalny obraz testowy 1 wraz z 10 obrazami o 4-krotnie zmniejszonej rozdzielczości użytymi do rekonstrukcji – test 2



Rys.4. Efekt zastosowania algorytmu superrozdzielczości dla obrazów z rys. 3 (test 2)



Rys.5. Oryginalny obraz testowy 1 wraz z 10 obrazami o 4-krotnie zmniejszonej rozdzielczości użytymi do rekonstrukcji – test 3



Rys.6. Efekt zastosowania algorytmu superrozdzielczości dla obrazów z rys. 5 (test 3)



Rys.7. Oryginalny obraz testowy 2 wraz z 10 obrazami o 4-krotnie zmniejszonej rozdzielczości użytymi do rekonstrukcji – test 1



Rys.8. Efekt zastosowania algorytmu superrozdzielczości dla obrazów z rys. 7 (test 1)



Rys.9. Oryginalny obraz testowy 2 wraz z 10 obrazami o 4-krotnie zmniejszonej rozdzielczości użytymi do rekonstrukcji – test 2



Rys.10. Efekt zastosowania algorytmu superrozdzielczości dla obrazów z rys. 9 (test 2)



Rys.11. Oryginalny obraz testowy 2 wraz z 10 obrazami o 4-krotnie zmniejszonej rozdzielczości użytymi do rekonstrukcji – test 3



Rys.12. Efekt zastosowania algorytmu superrozdzielczości dla obrazów z rys. 11 (test 3)

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, iż obecność dodatkowych elementów na obrazie w sąsiedztwie tablicy rejestracyjnej w postaci zderzaków, reflektorów, czy też atrapy chłodnicy wpływa korzystnie na jakość obrazów uzyskiwanych w efekcie zastosowania algorytmów superrozdzielczości. Obydwa zaprezentowane przykłady potwierdzają, iż wykorzystanie wyłącznie fragmentu obrazu przedstawiającego tablicę rejestracyjną może okazać się niewystarczające do uzyskania obrazu wynikowego, który daje szansę poprawnego rozpoznania numeru rejestracyjnego pojazdu przez jakikolwiek algorytm rozpoznawania wzorców.

W wypadku wykorzystania nieco większego fragmentu obrazu wyniki dopasowania były znacznie lepsze, co umożliwiło uzyskanie obrazów o znacznie lepszej czytelności. Dla testów nr 2 uzyskane wyniki były różne w zależności od zawartości szczegółów na obrazie w otoczeniu tablicy rejestracyjnej, jednak przy wykorzystaniu nieco większych fragmentów obrazu (testy nr 3) uzyskiwane wyniki były zdecydowanie lepsze.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dysponując obrazem oryginalnym można dokonać porównawczej oceny jakości obrazów uzyskiwanych w wyniku zastosowania różnych algorytmów przetwarzania obrazów, w tym technik superrozdzielczości. Jednakże w wypadku poddawania obrazu dalszej analizie w celu rozpoznawania np. numerów rejestracyjnych, wykorzystanie takich wskaźników jakości niekoniecznie prowadzi do oczekiwanych wyników. Zależnie od rodzajów zniekształceń obecnych na obrazie, miara jakości obrazu może mieć niską wartość, a pomimo tego efekt rozpoznawania może być zadowalający lub odwrotnie. Korelacja poszczególnych miar jakości obrazu z dokładnością rozpoznawania wzorców jest osobnym zagadnieniem, które było dotychczas badane zaledwie w wybranych aspektach np. rozpoznawania tekstur [10]. Z tego też względu w artykule ograniczono się do zaprezentowania efektów działania algorytmów superrozdzielczości w formie graficznej

bez obliczania wskaźników jakości obrazów. Zaprezentowane wyniki dobrze ilustrują jednak wpływ użycia informacji obrazowych z otoczenia tablicy rejestracyjnej na czytelność obrazów wynikowych.

Dokładne określenie optymalnego rozmiaru obrazu (względem wielkości tablicy rejestracyjnej) nie jest zadaniem łatwym. Przede wszystkim rozmiar ten zależy od liczby szczegółów widocznych w najbliższym otoczeniu tablicy rejestracyjnej konkretnego pojazdu, a także od warunków oświetleniowych oraz ścieżki ruchu wpływającej na położenie pojazdu na poszczególnych klatkach obrazu. Pomimo tego, duży wpływ operacji kadrowania na uzyskiwane wyniki, zilustrowany w artykule, powinien być uwzględniany podczas procesu rozpoznawania numerów tablic rejestracyjnych na podstawie sekwencji wideo wykorzystujących algorytmy superrozdzielczości. Wielkość otoczenia tablicy rejestracyjnej wykorzystywanego w procesie pasowania powinna również zależeć od możliwości obliczeniowych systemu ze względu na wzrost czasu obliczeń wraz ze wzrostem rozdzielczości używanych fragmentów obrazu. Mając jednak na uwadze fakt, iż problem zbyt słabej czytelności tablic rejestracyjnych na poszczególnych klatkach występuje zazwyczaj dla sekwencji wideo o niskiej rozdzielczości (także dla monitorowania i śledzenia pojazdów z większych odległości), wzrost czasu obliczeń nie powinien być elementem krytycznym.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Mazurek P., Okarma K.: *Algorytmy superrozdzielczości w Inteligentnych Systemach Transportowych do śledzenia odległych pojazdów*, Logistyka nr 2/2010 str. 255-262 (CD-ROM LogiTrans)
- [2] Okarma K., Mazurek P.: *Automatyczna ocena jakości obrazów uzyskiwanych technikami superrozdzielczości do celów rozpoznawania tablic rejestracyjnych*, Logistyka nr 2/2010 str. 283-290 (CD-ROM LogiTrans)
- [3] Vandewalle P., Süsstrunk S., Vetterli M., *A Frequency Domain Approach to Registration of Aliased Images with Application to Super-Resolution*, EURASIP Journal on Applied Signal Processing (special issue on Super-resolution), vol. 2006, Article ID 71459, 14 pages, 2006
- [4] Marcel B., Briot M., Murrieta R.: *Calcul de Translation et Rotation par la Transformation de Fourier.*, Traitement du Signal, vol. 14, no. 2, pp. 135-149, 1997
- [5] Lucchese L., Cortelazzo G. M.: *A Noise-Robust Frequency Domain Technique for Estimating Planar Roto-Translations*. IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 48, no. 6, pp. 1769-1786, June 2000
- [6] Keren D., Peleg S., Brada R.: *Image Sequence Enhancement Using Sub-Pixel Displacement*. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 742-746, June 1988
- [7] Irani M., Peleg S.: *Improving Resolution by Image Registration*. Graphical Models and Image Processing, vol. 53, pp. 231-239, 1991
- [8] Zomet A., Rav-Acha A., Peleg S.: *Robust Super-Resolution*. Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. 1, pp. 645-650, 2001

- [9] Pham T.Q., van Vliet L.J., Schutte K.: *Robust Fusion of Irregularly Sampled Data Using Adaptive Normalized Convolution*, EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2006, Article ID 83268, 12 pages, 2006
- [10] Okarma K., Forczmański P.: *2DLDA-based Texture Recognition in the Aspect of Objective Image Quality Assessment*, Annales UMCS - Informatica vol. 8 no. 1, pp. 99-110, Versita Press, 2008

6. PODZIĘKOWANIA

Artykuł powstał dzięki wsparciu w ramach grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N509 399136 „Estymacja trajektorii ruchu pojazdów z wykorzystaniem analizy bayesowskiej oraz algorytmów cyfrowego przetwarzania obrazów“.