

Krzysztof STYPUŁKOWSKI

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75
kst@it.pw.edu.pl

WYBRANE ZAGADNIENIA W OCENIE WARUNKÓW WIDOCZNOŚCI PRZEDPOLA TRAMWAJU

Streszczenie:

W artykule prezentowane są wybrane zagadnienia metody oceny warunków widoczności i parametrów fotometrycznych wiązek świetlnych światła głównych tramwaju z uwzględnieniem specyfiki ich eksploatacji w ruchu miejskim. Nowa metoda do oceny warunków dobrej widoczności oparta jest na modelu psycho-fizycznym i analizie kontrastu bazującym na transformacie falkowej. Stopień zaawansowania proponowanej metody jest wyższy w porównaniu do prostego podejścia opartego na obliczeniach lokalnego kontrastu. Metoda oparta jest na β -spline transformacie falkowej, w analizie obrazów do oceny dobrej widoczności. Główny problem naukowy w artykule sprowadza się do doboru właściwej funkcji wygładzającej obrazu dla proponowanej metody

Słowa kluczowe: tramwaj, oświetlenie, ocena widoczności

WPROWADZENIE

Rozwój oświetlenia tramwajowego w Polsce przebiegał równoległe z rozwiązaniami konstrukcyjnymi urządzeń świetlnych, stosowanych w pojazdach samochodowych.

Konstruktorzy samochodowych urządzeń oświetleniowych rozwijają konstrukcje urządzeń świetlnych pod względem funkcjonalnym i stylistycznym. Prowadzi się prace badawcze zmierzające do poprawy jakości widzenia w warunkach ograniczonej widzialności poprzez stosowanie nowoczesnych systemów oświetleniowych. Proponowane systemy związane są zarówno z doskonaleniem źródeł światła, jak i nowymi rozwiązaniami zdążającymi do poprawy widzialności przeszkód na przedpolu pojazdu. Systemy te wprowadzają w przestrzeń przed pojazdem wiązki promieniowania nadfioletowego lub podczerwonego celem poprawy charakterystyk odbiciowych przeszkód na drodze oraz przekazania informacji wizyjnej kierowcy.

W tramwajach, według wiedzy autora, nie wprowadza się nowych tego typu rozwiązań.

Oświetlenie przedpola tramwaju przez reflektory lub projektory główne ma zasadniczy wpływ na jakość widzenia motorniczego i w zasadniczy sposób wpływa na komfort pracy, szczególnie w trudnych warunkach atmosferycznych, złożonych sytuacjach drogowych oraz w obszarach podmiejskich.

Jakość oświetlenia przedpola tramwaju wpływa również na bezpieczeństwo ruchu innych użytkowników drogi [1]. Większość zdarzeń drogowych związana jest bezpośrednio z ograniczonym polem widzenia motorniczego oraz obniżeniem kontrastów przed jadącym tramwajem. Wpływ na bezpieczeństwo i komfort pracy motorniczego ma również ograniczony zasięg widzenia spowodowany dużym rozproszeniem strumienia świetlnego reflektorów lub projektorów w otaczającej pojazd atmosferze.

1. FALKOWA OCENA WIDOCZNOŚCI W OBSZARZE PRZEDPOLA TRAMWAJU

Proponowana metoda oceny widoczności a tym samym i jakości oświetlenia przedpola tramwaju oparta jest na falkach bazujących na funkcjach typu β -pline [5], gdzie pomiar odległości dobrej widocznej realizowany jest z wykorzystaniem zaawansowanych technik analizy obrazów. Analizując całe przedpole, proponowana metoda pozwala na dokładniejsze wprowadzanie danych do informatycznych systemów w porównaniu do metod tradycyjnych.

Ponieważ proponowane podejście opiera się na psychowizualnej percepcji, zatem pokrótce przytoczę podstawowe pojęcie psychowizualnej percepcji i wyjaśnię związek pomiędzy kontrastem, gradientem i falkami.

Wzrokowa percepcja jest złożonym procesem, ponieważ opiera się na analizie odstępu czasu, otoczenia i częstości analizy. Układ wzrokowy otrzymuje z otoczenia sygnał, a mózg koduje różne cechy charakterystyczne sygnału takie jak: intensywność, kolor, kształt (kontrast i kierunek) oraz ruch (kierunek i prędkość). Aby spostrzec obiekt, musi on wyróżniać się z tła, stąd postrzeganie kształtu polega na postrzeganiu kontrastu tzn. różnicy pomiędzy obiektem a jego otoczeniem. Kontrast jest zdefiniowany jako:

$$C = \frac{|I_0 - I_b|}{I_0 + I_b} \quad (1)$$

gdzie: I_0 – intensywność przedmiotu,

I_b – intensywność tła.

Jako pochodna wszystkich psychowizualnych efektów, kontrast odgrywa ważną rolę w percepcji ruchu, prędkości oraz kierunku. Układ wzrokowy nie może poprawnie określić prędkości przedmiotu z prostym kontrastem, a trudne warunki atmosferyczne powoduje błędy w szacunkowej ocenie kształtu przedmiotu, odległości od przedmiotu i prędkości. Co więcej, miara kontrastu jest niezależna od światła dziennego [1], [4].

Aby ocenić widoczność w trudnych warunkach atmosferycznych (np. we mgle), należy określić ilościowo kontrast i porównywać tę wartość z wartością progową. Istnieje silna współzależność między kontrastem różnych poziomów szarości i gradientem w obszarze, gdzie mierzymy kontrast. Niewielki kontrast koresponduje z niskim gradientem i vice versa, ponieważ kontrast i gradient charakteryzują lokalne zmiany w poziomach szarości obrazu.

Faktycznie to, co widzimy, jest tylko dużym odchyleniem od innych poziomów szarości. W trakcie jazdy środkiem transportowym układ wzrokowy wykorzystuje tylko część informacji obrazu opisanego przez wysoki kontrast (albo wysoki gradient). Stąd do określenia, czy piksel jest widoczny, obliczamy jego gradient. Jeśli gradient w tym pikselu jest wyższy niż próg korespondujący np. z 5% kontrastem, dowodzi to, że motorniczy może widzieć obiekt. Międzynarodowa Komisja Oświetlenia (CIE) określa 5% próg kontrastu dla ludzkiego wzroku jako wystarczający kontrast, żeby zidentyfikować różnicę pomiędzy dwoma poziomami szarości.

Istnieje silna współzależność między miarą gradientu, a metodami detekcji konturów krawędzi jako zbioru punktów przecięcia funkcji obrazu. Szczególnie możemy skorzystać z wieloskalowej detekcji konturów do obliczeń gradientów w 2D obrazach. Do opisu detekcji konturów można skorzystać z metody Stephane Mallat i Wen Lian Hwang's [2], którzy to wykazali, jak przez transformatę falkową można wyrazić gradient.

Moduł wektora gradientu funkcji obrazu wygładzonego na poziomie rozdzielczości 2^j jest proporcjonalny do modułu wektora transformaty falkowej:

$$\vec{W} = \begin{bmatrix} W^1 f(u, v, 2^j) \\ W^2 f(u, v, 2^j) \end{bmatrix} = 2^j \begin{bmatrix} \frac{\delta}{\delta u} (f * \bar{\theta}_{2^j})(u, v) \\ \frac{\delta}{\delta v} (f * \bar{\theta}_{2^j})(u, v) \end{bmatrix} = 2^j \vec{\nabla} (f * \bar{\theta}_{2^j})(u, v) \quad (2)$$

$$Mf(u, v, 2^j) = \sqrt{|W^1 f(u, v, 2^j)|^2 + |W^2 f(u, v, 2^j)|^2} \quad (3)$$

$$W^k f(u, v, 2^j) = (f(x, y), \psi_{2^j}^k(x-u, y-v)) = f * \bar{\psi}_{2^j}^k(u, v) \quad \bar{\psi}_{2^j}^k(u, v) = 2^j \frac{\delta \bar{\theta}_{2^j}^k}{\delta u} \quad (4)$$

gdzie:

f – funkcja obrazu,

$\bar{\theta}$ – funkcja wygładzająca obraz $\bar{\theta}_{2^j}^k = \bar{\theta}_{2^j}^k(-x, -y)$,

$W^k f(u, v, 2^j)$ – diadyczne przekształcenie falkowe dla kierunku k .

Kąt wektora gradientu funkcji obrazu jest równy kątowi $Af(u, v, 2^j)$ wektora transformaty falkowej:

$$Af(u, v, 2^j) = \begin{cases} \alpha & \text{dla } W^1(u, v, 2^j) > 0 \\ \pi - \alpha & \text{dla } W^2(u, v, 2^j) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

przy czym

$$\alpha = \arctg \frac{W^2(u, v, 2^j)}{W^1(u, v, 2^j)} \quad (6)$$

Krawędzie wieloskalowe są zbiorami punktów (u_0, v_0) , w których moduł wektora transformaty falkowej przyjmuje lokalną wartość maksymalną w jego kierunku. Oznacza to, że krawędzie są lokalnymi maksimumami modułu transformaty falkowej i zawierają ważne informacje o strukturze obiektu na obrazie. Na rys. 2 zilustrowano uzyskane techniką falkową krawędzie torowiska z obszaru przedpoła tramwaju (rys. 1) widziane z kabiny motorniczego.

Każdy piksel obrazu, dla którego gradient jest wyższy niż wartość progowa (graniczna), jest dobrze widzialny w trudnych warunkach atmosferycznych. Do określenia wartości progu korespondującej z 5% kontrastem przyjmujemy, że transformata falkowa na testowanym obrazie z kontrastem wynosi 5%. Zadajemy jako próg najwyższą wartość wynikającą z transformaty, którą znajdujemy w punkcie konturu między dwoma różnymi obszarami szarości.

Punkt konturu jest definiowany jako miejsce, gdzie moduł gradientu M ma lokalne maksimum w kierunku gradientu. Głównym celem jest wyliczenie gradientu, natomiast przy detekcji konturów należy również obliczać kąt. Oblicza się gradient dla każdego punktu obrazu i jeśli ten gradient jest wyższy niż wartość korespondująca z 5% kontrastem to przyjmuję, że piksel jest widoczny niezależnie od odpowiadającej mu orientacji konturu. Dla celów praktycznych ważne jest powiązanie odległości w terenie z odległością dobrej widoczności na podstawie obrazu otrzymanego z czujnika obrazu.



Rys. 1. Obraz torowiska tramwajowego



Rys. 2. Krawędzie wieloskalowe uzyskane metodą falkową z funkcji β - spline

2. WIZUALIZACJA MACIERZY WSPÓŁCZYNNIKÓW TRANSFORMATY FALKOWEJ OBRAZU TOROWISKA

W celu oceny warunków dobrej widoczności w obszarze przedpoła tramwaju analizie poddaje się sygnał z obrazu obszaru przedpoła tramwaju.

Istotą fizyczną wielorozdzielczości jest dekompozycja sygnału w ciąg sygnałów o stopniowo zmniejszającej się rozdzielczości. Algorytm Mallata [3] pozwala na dekompozycje obrazu na cztery obrazy składowe, przy czym każda składowa ma rozmiar równy jednej czwartej obrazu pierwotnego, (czyli ma rozdzielczość liniowo dwa razy mniejszą niż dekomponowany obraz). Każda składowa może być następnie dekomponowana w ten sam sposób, przez co powstaje reprezentacja na wielu poziomach rozdzielczości. Realizacja dekompozycji obrazu polega na sekwencyjnym filtrowaniu górnym i dolnoprzepustowym, oddzielnie wzdłuż kolumn i oddzielnie wzdłuż wierszy obrazu, przy jednoczesnym zmniejszaniu rozdzielczości z interwałem dwa.

Współczynniki rozwinięcia falkowego $f_{nm}^{(j)}$, $d_{nm}^{(j,\lambda)}$, gdzie $\lambda = h, v, d$ stanowią reprezentacje obrazu $2D$ na poszczególnych poziomach rozdzielczości obrazu, które otrzymuje się przez odpowiednie powtarzanie na wierszach i kolumnach operacji filtracji dolnoprzepustowej i operacji filtracji górnoprzepustowej. W przypadku dekompozycji obrazu w każdym kolejnym kroku dokonujemy rozkładu funkcji aproksymacji obrazu $f_{nm}^{(j-1)}$ na składowe $f_{nm}^{(j)}$, $d_{nm}^{(j,h)}$, $d_{nm}^{(j,v)}$, $d_{nm}^{(j,d)}$.

W pierwszym kroku dokonujemy w dwóch kanałach splotu wierszy aproksymacji obrazu $f_{nm}^{(j-1)}$ z odpowiednio zdefiniowanymi filtrami jednowymiarowymi \tilde{G} oraz \tilde{H} i usuwamy co drugą kolumnę. Następnie dokonujemy splotu kolumn wyniku każdej z tych operacji z tymi samymi filtrami jednowymiarowymi a z każdego z czterech wyników usuwamy co drugi wiersz, otrzymując reprezentacje obrazu $f_{nm}^{(j)}$ na poziomie j o czterech składowych $f_{nm}^{(j)}$, $d_{nm}^{(j,h)}$, $d_{nm}^{(j,v)}$, $d_{nm}^{(j,d)}$.

W rezultacie uzyskujemy aproksymacje obrazu $f_{nm}^{(j)}$, składową poziomą $d_{nm}^{(j,h)}$ składową pionową $d_{nm}^{(j,v)}$ oraz składową diagonalną $d_{nm}^{(j,d)}$ reprezentacji szczegółowej reprezentacji obrazu na poziomie wielorozdzielczości j .

W przypadku rekonstrukcji aproksymacji obrazu $f_{nm}^{(j-1)}$, przy użyciu jego reprezentacji na j – tym poziomie wielorozdzielczości, najpierw każdą składową tej reprezentacji $f_{nm}^{(j)}$, $d_{nm}^{(j,h)}$, $d_{nm}^{(j,v)}$, $d_{nm}^{(j,d)}$ uzupełniamy co drugą kolumną zer i dokonujemy jej splotu z odpowiednio zdefiniowanymi filtrami jednowymiarowymi \tilde{G} oraz \tilde{H} . Wiersze tych operacji dodajemy parami.

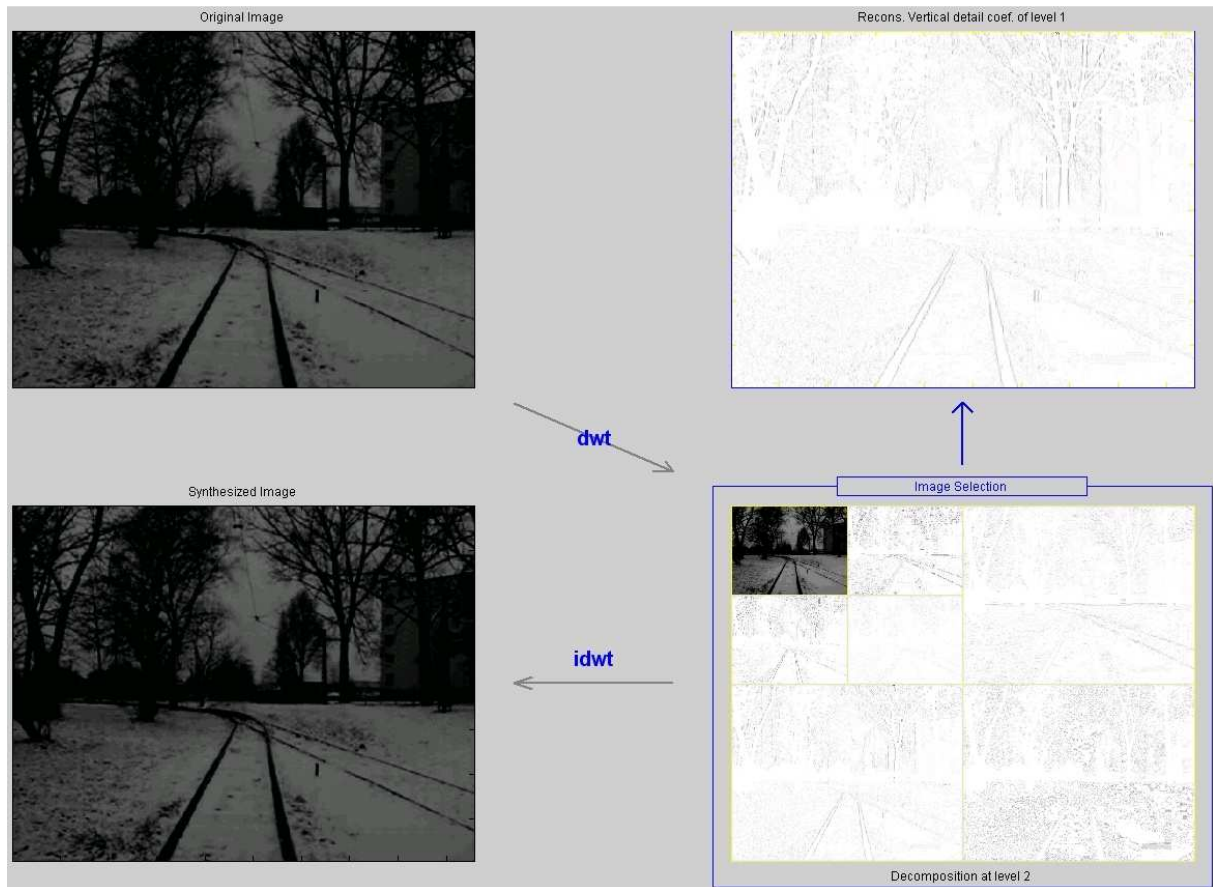
Do otrzymanych dwóch obrazów pośrednich dodajemy co drugi wiersz zer i kolumny tak otrzymanych reprezentacji poddajemy operacji splotu z filtrami \tilde{H} i \tilde{G} . Wynik tych operacji daje reprezentacje obrazu $f_{nm}^{(j-1)}$ na poziomie $j-1$.

Rezultat dekompozycji wieloskalowej bazującej na falkach typu β - spline i rekonstrukcji obrazu torowiska na pierwszym poziomie rozdzielczości zilustrowany jest na rys. 3.

Wyniki filtracji przedstawione zostały w postaci macierzy współczynników falkowych. Na podstawie tych składowych można obliczyć parametry charakteryzujące energię krawędzi w trzech kierunkach. Można także analizować rozkład energii w każdej składowej.

Wizualizację macierzy współczynników wieloskalowej transformaty falkowej z funkcją β - spline torowiska na dwóch poziomach rozdzielczości przedstawiono na rys. 4.

Dokonanie dokładnej rekonstrukcji obrazu oryginalnego wymaga zachowania wszystkich reprezentacji szczegółowych, z nieskończoną dokładnością. W praktyce dopuszcza się błędy rekonstrukcji, jeśli są tylko niezauważalne dla obserwatora, to znaczy nie powodują utraty istotnej informacji.



Rys. 3. Dekompozycja i rekonstrukcja falkowa obrazu torowiska na pierwszym poziomie rozdzielczości

Reprezentacja wielorozdzielceniowa umożliwia prosty hierarchiczny schemat interpretacji informacji zawartej w obrazie. Reprezentacje szczegółowe obrazu przy różnych poziomach rozdzielczości charakteryzują różne cechy fizyczne obiektu. Przy małych rozdzielczościach reprezentacje szczegółowe odzwierciedlają duże obiekty, natomiast przy dużych rozdzielczościach małe obiekty lub ich struktury.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Do oceny jakości oświetlenia przedpola tramwaju proponuje się wykorzystanie poddanego analizie sygnału wizyjnego, który jest obrazem przedpola tramwaju. Z obrazu przedpola tramwaju pozyskuje się pewne charakterystyczne cechy obiektów, kontury, których rodzaj i ilość uzależniona jest od dobrej widoczności, tym samym od jakości oświetlenia przedpola tramwaju.

W ocenie możliwości detekcji obiektów na przedpolu pojazdu zaprezentowano podejście bazujące na falkach. Z powodu psychofizjologicznych ocen, teoria Mallata dotycząca detekcji konturów jest zdaniem autora najbardziej odpowiednia do analizy gradientów w obrazie

przedpola tramwaju i tym samym do oceny dobrej widoczności. Ma ona główną zaletę w swoim bliskim podobieństwie do percepcyjnego systemu widzenia motorniczego (człowieka), ponieważ opiera się na modelu wizualnym. Ta teoria jest znacznie bardziej zbliżona do ludzkiego układu wzrokowego niż klasyczna teoria kontrastu. W rozważaniach bierze się pod uwagę nie tylko różnicę intensywności pomiędzy obiektami, lecz także gradient intensywności, która ma istotne znaczenie w ludzkim układzie wzrokowym.

Zaproponowany sposób oceny widoczności w obszarze przedpola tramwaju pozwala na wykazanie wpływu niewłaściwego ustawienia projektorów lub reflektorów na pogorszenie odbioru wrażeń świetlnych przez motorniczego z obszaru przedpola pojazdu. Weryfikacji można również poddać rodzaje eksploatowanych lub nowoprojektowanych wiązek świetlnych w tramwajach.

Stosowane w pojazdach tramwajowych reflektory i projektory można zaliczyć do szczególnego rodzaju urządzeń świetlnych oświetlenia głównego pojazdu. Funkcjonalnie mają zapewnić dobre warunki obserwacji z miejsca motorniczego, przy jednocześnie dobrej widoczności pojazdu przez innych uczestników ruchu drogowego, w tym pieszych.

Cechy, jakie posiadają reflektory i projektory oświetlenia głównego zainstalowane na pojazdach tramwajowych mają wymagania odmienne od wymagań samochodowych. Zachodzi, więc potrzeba ich rozszerzenia i standaryzacji w obrębie całego kraju. Zastosowanie dedykowanych tramwajom reflektorów i projektorów wyposażonych w odpowiednio ukształtowane wiązki świetlne pozwala na bezpieczne wykorzystanie pojazdu także w trudnych warunkach atmosferycznych, przyczyniając się do poprawy jakości oświetlenia torowiska, komfortu oraz bezpieczeństwa ruchu.

LITERATURA

- [1] De Yoe E.A., Van Essen D.: Concurrent Processing Streams in Monkey Visual Cortex. Trends in Neuro Sciences, Vol. 11, No. 5, pp. 219 – 226, 1988.
- [2] Mallat S., Hwang W.L.: Singularity Detection and Processing with Wavelets. IEEE Trans. Information Theory, Vol. 38, No. 2, pp. 617 – 643, March 1992.
- [3] Mallat S., Zhong S.: Characterization of Signals from Multiscale Edges. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 7, pp. 710 - 732, July 1992.
- [4] Stone L.S., Thomson P.: Effect of Contrast on Human Speed Perception, Tech. Report 103898, NASA, Calif, Dec. 1992, I.D. Brown, "Driving in Fog," Symp. Eyes on the Road, England, pp. 26 - 27, Nov. 1983.
- [5] Unser M., Aldroubi A., Eden M.: On Asymptotic Convergence of B-Spline Wavelets to Gabor Functions, IEEE Trans. Information Theory, Vol. 38, No. 2, pp. 864 – 872, March 1992.

SELECTED ISSUES IN THE ASSESSMENT OF GOOD VISIBILITY OF TRAM'S FOREGROUND

Abstract:

The article presents selected issues of assessment method of good visibility and photometric parameters of light beams of tram head lights taking into account its exploitation specificity in urban traffic. The new method for good visibility assessment is based on a psychophysical model and analysis of contrast based on wavelet transform. The degree of development of the proposed method is higher in comparison with a simpler approach based on calculations of local contrast. The proposed method is based on β - spline wavelet transform in image analysis for good visibility assessment. The main scientific problem in the article is the choice of proper image smoothing function for the purposes of the proposed method.

Keywords: tram, lighting, visibility assessment.