

Komunikat naukowy

Automatyzacja zliczania pieszych w przestrzeni miejskiej Krakowa w trakcie pandemii COVID-19, na przykładzie systemów wizyjnych i uczenia maszynowego

Automation of pedestrian counting in the urban space of Cracow
during the COVID-19 pandemic, on the example of vision systems
and machine learning

Robert Szczepanek

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Geografii i Geologii

Abstract

The hourly time-lapse from four HD webcams in Cracow (Poland) are used in this study to estimate how pedestrian activity changed during COVID-19 lockdown in different zones of the town. Based on deep learning object detection method (YOLO), improved method for pedestrian counting, named YOLO-tiled was proposed and successfully verified. Using this method data from four cameras in Cracow during years 2016-2021 were analyzed. In the tourist zone, the number of pedestrians decreased compared to the period before the pandemic, by 70% in 2020 and 56% in 2021. In the tourist/residential zone, there was a decrease of 30% in 2020, but in 2021 it was already an increase of 9%. The obtained results indicate a very diverse nature of changes in pedestrian activity depending on the type of zone. All results are available as processed text files (CSV) with the number of pedestrians from years 2016-2021.

Słowa kluczowe: piesi, turyści, pandemia, inteligentne miasta

Keywords: pedestrian, tourists, pandemic, smart city

Wprowadzenie

Zagadnienia mobilności oraz dystansu społecznego nabrały nowego znaczenia w obliczu pandemii COVID-19, która pojawiła się w Polsce na przełomie lutego i marca

2020 roku. Według ostatnich analiz, stosując metodę TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), Kraków lokuje się w czołówce inteligentnych miast w Polsce (Hajduk, 2021). Pomimo gromadzenia ogromnych ilości danych, współczesne systemy zarządzania informacjami w miastach nadal nie wykorzystują w pełni dostępnych systemów analizy danych. Ograniczenia w wykorzystaniu danych pozyskiwanych automatycznie, na przykład z systemów monitoringu, nie mają jednak charakteru technicznego. Istnieje już wiele systemów wykorzystujących uczenie maszynowe, które potrafią nie tylko zliczać pojedynczych pieszych lub samochody, ale również szacować liczebność tłumów. Najbardziej zaawansowane metody wykorzystują głębokie sieci neuronowe do analizy obrazów wideo w czasie rzeczywistym. Do najpopularniejszych modeli należą SSD (Liu i in., 2016), YOLO (Redmon i Farhadi, 2018) oraz Faster R-CNN (Liu i in., 2019). Dla każdego z tych modeli dostępne są wstępnie wytrenowane sieci, dzięki czemu nie ma potrzeby czasochłonnego trenowania ich od podstaw, gdy chcemy taki model zastosować.

Cel i metoda badań

W związku z pandemią pojawiło się bardzo wiele analiz mobilności, ale tylko nieliczne z nich w sposób ilościowy odnosiły się do mobilności mieszkańców w skali lokalnej (Waleniuk i in., 2020; Aktay i in., 2020). Jedną z takich prób było dostosowanie modelu YOLO do rozpoznawania pieszych z większych odległości niż standardowe 50-100 m. Zaproponowana metoda YOLO-tiled opiera się na podziale obrazu na kafle i znacząco poprawia detekcję pieszych oraz zasięg rozpoznawania do około 200 m (Szczepanek, 2020). Wyniki przetestowano na obrazach z kamer w Krakowie, ale analiza obejmowała dane do 19.04.2020 r., czyli tylko początkową fazę pandemii. Prezentowany materiał jest bezpośrednią kontynuacją wcześniejszych prac i obejmuje okres do 31.08.2021 r.

Podstawą przeprowadzonych analiz były zdjęcia z kamer miejskich z Krakowa udostępniane przez portal www.webcamera.pl. Dane w postaci zdjęć barwnych HD o rozdzielczości 1280x720 px zarejestrowano co 1 godzinę w okresie od 9.06.2016 do 31.08.2021. Obrazy pozyskano z 4 kamer, ale tylko 2 z nich rejestrowały niezmienny obraz w podanym okresie – kamera z widokiem na wzgórze Wawelskie (<https://krakow2.webcamera.pl/>) oraz kamera na ulicy Grodzkiej (<https://hotel-senacki-krakow.webcamera.pl/>). Kamera zlokalizowana pierwotnie na Placu Wszystkich Świętych została przeniesiona na Rynek Główny (<https://krakow1.webcamera.pl/>). Kamerze zlokalizowanej w Rynku Podgórskim (<https://krakow3.webcamera.pl/>) zmieniono kąt obrotu. Niektóre z kamer zlokalizowane są w strefie czysto turystycznej (Grodzka, Plac Wszystkich Świętych), jedna w strefie mieszkalnej (Rynek Podgórski), jedna zaś w strefie mieszanej, turystyczno-mieszkalnej (Wawel).

Celem pracy było automatyczne zliczanie pieszych w Krakowie w czasie pandemii, na podstawie zdjęć z kamer HD. Do identyfikacji osób na zdjęciach wykorzystano ulepszoną wersję modelu YOLOv3 (Redmon i Farhadi, 2018), opracowaną pod nazwą YOLO-tiled (Szczepanek, 2020). W metodzie tej zdjęcia poddawane detekcji obiektów są dzielone na kafle o rozmiarach zbliżonych do rozmiaru zdjęć wykorzystywanych w procesie uczenia danego modelu, w tym przypadku YOLO. Analizowane są tylko te kafle, na których potencjalnie mogą pojawić się piesi. Pomijane są przykładowo kafle zawierające wyłącznie fragmenty nieba lub same budynki, bez chodników.

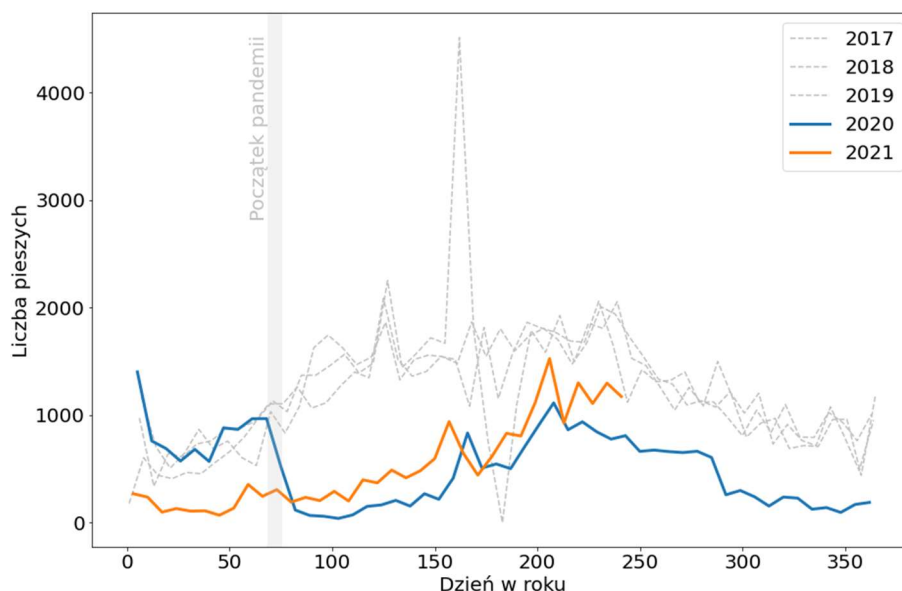
Na zdjęciach rozpoznawane było 80 kategorii obiektów, ale w plikach wynikowych zapisywane były tylko 9 kategorie, których analiza ma sens w kontekście przestrzeni miejskiej. Były to: osoba, rower, samochód, motocykl, samolot, autobus, pociąg, ciężarówka, łódź. Wyniki klasyfikacji są udostępnione i aktualizowane w postaci plików CSV w publicznym repozytorium (<https://gitlab.com/Cracert/pedestrian-count-covid-19>), wraz z kodem źródłowym aplikacji stworzonej w języku Python 3. Dla każdej kamery-roku tworzony jest jeden plik CSV z datą i godziną oraz rozpoznaną liczbą obiektów dla każdej z 9 kategorii. Jeden wiersz danych odpowiada jednej godzinie, przy czym zdjęcia pochodzą z pełnych godzin. Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane poprzez porównanie z wynikami innych modeli (SSD oraz Faster R-CNN), dostępnych w środowisku GluonCV (Guo i in., 2020) oraz z manualnie anotowanymi zdjęciami z marca 2020 (około 3000 zdjęć). Jako miary statystyczne wykorzystano średni błąd bezwzględny (MAE) oraz pierwiastek błędu średniokwadratowego (RMSE). Wyniki są na bieżąco aktualizowane i obejmują w tej chwili okres od 06.2016 do 08.2021. Równoległe z wynikami udostępnione są notatniki Jupyter, które ułatwiają analizę i wizualizację danych. Analiza wyników podzielona jest na okres przed pandemią (06.2016-03.2020) oraz w trakcie pandemii (03.2020-08.2021).

Wyniki

Pod względem liczby poprawnie rozpoznanych pieszych, model YOLO-tiled uzyskał najlepsze wyniki spośród wykorzystanych metod. Uzyskano o około 22% lepsze rezultaty MAE i RMSE w porównaniu z YOLOv3. W porównaniu z najlepszym z pozostałych modeli (Faster R-CNN) poprawa wynosiła odpowiednio 20% w odniesieniu do MAE i 13% w odniesieniu do RMSE. Pomimo podziału zdjęć na kafle, a więc większej liczby operacji, czas przetwarzania był 2.5 razy krótszy niż dla metody Faster R-CNN. Największa różnica w liczbie wykrytych pieszych na jednym zdjęciu pomiędzy YOLOv3 i YOLO-tiled wyniosła 50 osób. Średnia liczba wykrytych pieszych zależna była od rodzaju strefy, w której umieszczona była kamera. Dla stref turystycznych było to średnio 16.6 pieszego na jednym zdjęciu, zaś dla stref mieszkalnych 0.9 pieszego. Maksymalnie wykryto 80 pieszych w przypadku stref turystycznych i 35 pieszych w przypadku stref

mieszkalnych. Największe problemy sprawiała detekcja pieszych znajdujących się w znacznym oddaleniu od kamery. Z przeprowadzonej analizy wynika, że przy obrazach HD maksymalną odległością, z której można automatycznie rozpoznać pieszego jest około 200 m. Dwie z kamer (Wawel i Plac Wszystkich Świętych) rejestrowały obrazy z pieszymi odległymi nawet o 400 m, lecz były to już postaci niemożliwe do detekcji dla testowanych algorytmów.

W pierwszej fazie pandemii zaobserwowano największe zmniejszenie liczby pieszych w strefie turystycznej na Grodzkiej (o 85%), zaś najmniejsze zmniejszenie w strefie mieszkalnej w Rynku Podgórskim (o 34%). Po zakończeniu pierwszej fali pandemii można zaobserwować powolny powrót do liczby pieszych sprzed pandemii. Przyjmując jako okres odniesienia (referencyjny) wyłącznie miesiące od marca do końca sierpnia z lat 2016-2019, uzyskano następujące wyniki. Na ulicy Grodzkiej w roku 2020 zanotowano 70% zmniejszenie liczby pieszych, zaś w roku 2021 zmniejszenie o około 56% (rys. 1).



Rys. 1. Zmiana aktywności pieszych w trakcie pandemii COVID-19 w Krakowie na ul. Grodzkiej. Liczba pieszych jest sumą tygodniową z migawek wykonanych co 1 godzinę

Na Placu Wszystkich Świętych w roku 2020 liczba pieszych była mniejsza o 60%. W roku 2021 kamerę przeniesiono na Rynek Główny, więc wyniki są nieporównywalne. Przy Wzgórzu Wawelskim w roku 2020 liczba pieszych zmalała o około 30%, ale już

w roku 2021 zanotowano wzrost liczby pieszych o 9%. Dane dla Rynku Podgórskiego sprzed pandemii nie mogą zostać uznane za referencyjne, ponieważ w tym okresie zmieniono widok z kamery. Jeśli jednak za punkt odniesienia przyjmujemy rok 2020, to w roku 2021 liczba pieszych wzrosła o 22%.

Podsumowanie i wnioski

Metoda YOLO-tiled wykazała swoją skuteczność przy analizie zmiany względnej liczby pieszych w przestrzeni miejskiej i można ją z powodzeniem wykorzystać przy dostarczaniu przetworzonych danych do systemów zarządzających inteligentnymi miastami. Graniczną wielkością detekcji pieszego było 15 px wysokości postaci, co odpowiadało około 200 m odległości od kamery HD do pieszego. Tak było w przypadku najlepszej metody YOLO-tiled, dzielącej obraz źródłowy na kafle (Szczepanek, 2020). Metoda ta jest kompromisem pomiędzy poziomem detekcji a czasem przetwarzania. Kosztem nieco dłuższego czasu przetwarzania niż w metodzie pierwotnej (YOLOv3) uzyskano znacznie lepsze wyniki rozpoznawania pieszych. Żadna z prezentowanych metod nie może być wykorzystywana do szacowania liczby osób w tłumie, ale poza wydarzeniami nadzwyczajnymi, takimi jak np. koncert, spełniają one swoją rolę. Na początku pandemii aktywność pieszych w Krakowie spadła niemal do zera w strefach turystycznych. Jest to zgodne z obserwacjami innych autorów (Aktay i in., 2020). W kolejnych miesiącach liczba pieszych zwiększała się, ale w strefach turystycznych nadal jest o około 50% mniejsza niż przed pandemią. Inaczej wygląda sytuacja w strefach mieszkalnych i mieszanych. Zarówno przy Wawelu, jak w Rynku Podgórskim liczba pieszych w okresie marzec-sierpień 2021 przekroczyła liczbę pieszych sprzed pandemii.

Dane o szacowanej liczbie pieszych z 4 kamer w Krakowie są udostępniane i aktualizowane na otwartej licencji w publicznym repozytorium. Są one gromadzone i przetwarzane z częstotliwością 1 godziny począwszy od roku 2016. Format udostępniania (pliki CSV) oraz miejsce składowania (publiczne repozytorium) umożliwiają ich automatyczne wykorzystanie. Zakres stosowalności tych danych jest znacznie szerszy niż tematyka opisana w tym projekcie. Ponieważ jednym z produktów analiz są prostokąty ograniczające rozpoznane obiekty, trwają prace nad wykorzystaniem takich danych do analizy zachowania dystansu społecznego. Ich wyniki niebawem powinny zostać opublikowane i udostępnione.

Podziękowania

Dziękuję portalowi www.webcamera.pl za udostępnienie obrazów z kamer.

Finansowanie

Prezentowane badania zostały sfinansowane przez autora.

Literatura (References)

- Aktay A, Bavadekar S, Cossoul G, Davis J, Desfontaines D, Fabrikant A, Gabrilovich E, Gadepalli K, Gipson B, Guevara M, Kamath C, Kansal M, Lange A, Mandayam C, Oplinger A, Pluntke C, Roessler T, Schlosberg A, Shekel T, Vispute S, Vu M, Wellenius G, Williams B, Wilson R. 2020. Google COVID-19 community mobility reports: anonymization process description (version 1.1). *arXiv* arXiv:2004.04145.
- Guo J, He H, He T, Lausen L, Li M, Lin H, Shi X, Wang C, Xie J, Zha S, Zhang A, Zhang H, Zhang Z, Zhang Z, Zheng S, Zhu Y. 2020. GluonCV and GluonNLP: deep learning in computer vision and natural language processing. *Journal of Machine Learning Research* 21(23):1–7.
- Hajduk, S. 2021. Multi-Criteria Analysis of Smart Cities on the Example of the Polish Cities. *Resources*, 10(5), 44.
- Liu W, Anguelov D, Erhan D, Szegedy C, Reed S, Fu C-Y, Berg AC. 2016. SSD: single shot MultiBox detector. In: Leibe B, Matas J, Sebe N, Welling M, eds. *Computer Vision—ECCV 2016: ECCV 2016—lecture notes in computer science*. Vol. 9905. Cham: Springer.
- Liu T, Luo W, Ma L, Huang J-J, Stathaki T, Dai T. 2019. Coupled network for robust pedestrian detection with gated multi-layer feature extraction and deformable occlusion handling. *arXiv* arXiv:1912.08661.
- Redmon J, Farhadi A. 2018. YOLOv3: an incremental improvement. *arXiv* arXiv:1804.02767.
- Szczepanek, R. 2020. Analysis of pedestrian activity before and during COVID-19 lockdown, using webcam time-lapse from Cracow and machine learning. *PeerJ*, 8, e10132.
- Wellenius GA, Vispute S, Espinosa V, Fabrikant A, Tsai TC, Hennessy J, Williams B, Gadepalli K, Boulange A, Pearce A, Kamath C, Schlosberg A, Bendebury C, Stanton C, Bavadekar S, Pluntke C, Desfontaines D, Jacobso B, Armstrong Z, Gipson B, Wilson R, Widdowson A, Chou K, Oplinger A, Shekel T, Jha AK, Gabrilovich E. 2020. Impacts of state-level policies on social distancing in the United States using aggregated mobility data during the COVID-19 pandemic. *arXiv* arXiv:1808.02246.

Streszczenie

Godzinowy upływ czasu z czterech kamer internetowych HD w Krakowie (Polska) jest wykorzystywany w tym badaniu do oszacowania, jak zmieniła się aktywność pieszych podczas blokady COVID-19 w różnych strefach miasta. W oparciu o metodę wykrywania obiektów głębokiego uczenia się (YOLO), zaproponowano i pomyślnie zweryfikowano ulepszoną metodę liczenia pieszych o nazwie YOLO-tiled. Za pomocą tej metody przeanalizowano dane z czterech kamer w Krakowie w latach 2016-2021. W strefie turystycznej liczba pieszych zmniejszyła się w porównaniu z okresem przed pandemią, o 70% w 2020 r. i 56% w 2021 r. W strefie turystyczno-mieszkaniowej nastąpił spadek o 30% w 2020 r., Ale w 2021 r. był to już wzrost o 9%. Uzyskane wyniki wskazują na bardzo zróżnicowany charakter zmian aktywności pieszych w zależności od rodzaju strefy. Wszystkie wyniki dostępne są w postaci przetworzonych plików tekstowych (CSV) z liczbą pieszych z lat 2016-2021.

Dane autorów / Authors details:

dr inż. Robert Szczepanek

ORCID 0000-0001-8161-9929

robert.szczepanek@uj.edu.pl

Przesłano / Received	24.09.2021
Zaakceptowano / Accepted	15.10.2021
Opublikowano / Published	22.12.2021



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

