

**Imię i nazwisko: Paweł Netzel**

**Posiadane stopnie naukowe:**

- 2009 - Doktor Nauk o Ziemi w dziedzinie Geografii, Uniwersytet Wrocławski. Rozprawa zatytułowana: "Wykorzystanie sieci neuronowych do oceny i prognozowania stanu warstwy granicznej atmosfery nad miastem". Promotor: dr hab. prof. Jerzy L. Pyka.
- 1990 - Magister matematyki, specjalizacja Zastosowania matematyki, Uniwersytet Wrocławski. Praca zatytułowana: "Matematyczny model filtracji w stoku górskim". Promotor: dr Jan Goncarzewicz.

**Doświadczenie zawodowe:**

- 2019 - adiunkt naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Biometrii i Produkcyjności Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
- 2018 - adiunkt naukowy w Zakładzie Biometrii i Produkcyjności Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
- 2015 - 2017 PostDoc w Space Informatics Lab, University of Cincinnati, OH, USA.
- 2012 - 2013 PostDoc w Space Informatics Lab, University of Cincinnati, OH, USA.
- 2011 - 2014 adiunkt naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Klimatologii i Ochrony Atmosfery, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.
- 1990 - 2010 Specjalista matematyk w Zakładzie Klimatologii i Ochrony Atmosfery, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.
- 1988 - 1989 Operator komputera w Pracowni Sudeckich Użytków Zielonych, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Oddział we Wrocławiu, Wrocław.

CO-I w następujących projektach badawczych:

- Pattern-based GIS for understanding content of very large Earth Science datasets, (14-AIST14-0027), NASA.
- Knowledge retrieval from large geospatial datasets, (DEC-2012/07/B/ST6/01206), NCN.
- System wspierający porównywanie prognoz hydrologicznych, (2011/01/D/ST10/04171), NCN.

- Zróźnicowanie przestrzenne warstwy granicznej atmosfery na przykładzie Wrocławia i Krakowa, (N 305 099 32/3408), KBN
- Budowa infrastruktury danych przestrzennych na poziomie powiatowym z wykorzystaniem wolnego oprogramowania, (R09 011 03 ), MniSW.
- Natural resources information for the management of national parks in the Polish-Ukrainian boundary region of Bieszczady Mts., Swedish Institute.

Wyjazdy naukowe (short-term interships):

- 2014 - Short-term Scholar at Space Informatics Lab, University of Cincinnati, OH, USA,
- 2013 - Short-term Scholar at Space Informatics Lab, University of Cincinnati, OH, USA,
- 2007 - Short-term Scholar at ENRIS, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden,
- 2006 - Short-term Scholar at ENRIS, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden,
- 2004 - Short-term Scholar at ENRIS, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden,
- 2003 - Short-term Scholar at ENRIS, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden,
- 2000 - Short-term Scholar at ENRIS, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Staża podyplomowe (PostDoc):

- 2015 – 2017 - Space Informatics Lab, Space Exploration Institute, Universitet of Cincinnati,
- 2012 – 2013 - Space Informatics Lab, Space Exploration Institute, Universitet of Cincinnati.

## Ogólna charakterystyka dorobku naukowego:

Od czasu studiów interesowało mnie łączenie nauk ścisłych i nauk przyrodniczych. Uwieńczeniem moich studiów była praca z pogranicza matematyki i nauk o Ziemi zatytułowana "Matematyczny model filtracji w stoku górskim", a praca doktorska pod tytułem „Wykorzystanie sieci neuronowych do oceny i prognozowania stanu warstwy granicznej atmosfery nad miastem” łączyła modelowanie metodami deep learning z meteorologią.

Tworzyłem i współtworzyłem urządzenia i metody pomiaru bezpośredniego, jak i teledetekcyjnego. Zaowocowało to pracami z zakresu analizy pomiarów wykonywanych za pomocą SODARu w ramach badaniach meteo- i klimatologicznych oraz pracami na temat diagnozy i oceny wyniku sportowego kadry olimpijskiej.

Wspólnym mianownikiem moich zainteresowań naukami o Ziemi jest modelowanie czasowo-przestrzenne z wykorzystaniem systemów GIS a w szczególności systemów OpenSource GIS.

Zainteresowania systemami informacji przestrzennej GIS, zainicjowane znajomością programu GRASS, rozszerzyłem na oprogramowanie FOSS (*free open source software*). Promowanie rozwiązań geoprzestrzennych zbudowanych z wykorzystaniem FOSS znalazło swoje zastosowanie w pracach projektu MNISW *Budowa infrastruktury danych przestrzennych na poziomie powiatowym z wykorzystaniem wolnego oprogramowania*. W ramach referatu *Implementation of the Elements of the Polish National Spatial Data Infrastructure Based on Open Source Software*, prezentowanego na największej konferencji poświęconej wolnemu oprogramowaniu w systemach GIS – FOSS4G w Cape Town, przedstawiłem problemy związane z implementacją standardów OGC w krajowej infrastrukturze danych przestrzennych z wykorzystaniem oprogramowania FOSS. Działając w zespole pracującym w tym projekcie brałem udział w przygotowaniu nowych rozwiązań usług WPS oraz CS-W. Prowadziliśmy też prace nad propozycją rozszerzenia standardu WMS.

Kontynuowałem prace nad wykorzystaniem otwartoźródłowego oprogramowania, jak i standardów OGC w trakcie zatrudnienia w Space Informatics Lab (SIL) na Uniwersytecie w Cincinnati. W SIL zajmowałem się analizami dużych zbiorów danych przestrzennych. Rozszerzyłem też swoje zainteresowania o budowanie nowych algorytmów oraz wykorzystanie metod z zakresu eksploracji danych (data mining) i przetwarzania obrazów do analizowania dużych zbiorów danych geoprzestrzennych. Zajmowałem się też wykorzystaniem podobieństwa jako miary odległości dla danych przestrzennych i czasowo-przestrzennych (spatio-temporal pattern analysis). Zaowocowało to udziałem w wypracowaniu przez zespół SIL technologii SameSense. Technologia ta wykorzystywała do analiz wielokierunkowe podejście do reprezentowania elementów przestrzeni geograficznej (klimat, krajobraz, geologiczne warunki otoczenia, antropogeniczne uwarunkowania). Rezultatem było dążenie do opisanie matematycznej zależności przestrzennych w kategoriach podobieństwa zgodnego z intuicją i odczuciem człowieka.

Zwieńczeniem współpracy z SIL był mój udział jako CO-I w projekcie NASA: *Pattern-based GIS for understanding content of very large Earth Science datasets*. W tym projekcie byłem liderem prac przy tworzeniu pakietu GeoPAT 2.0 [Jasiewicz et al. 2015]. W oparciu o możliwości analityczne tego

pakietu wykonałem między innymi prezentowane w osiągnięciu analizy przestrzenne oraz tworzyłem portale geoprzestrzenne ilustrujące nowe rozwiązania i algorytmy opracowane w SIL.

## **Zbiorcze zestawienie dorobku naukowego**

Szczegółowy wykaz publikacji naukowych zamieszczony jest w załączniku 4.

Liczba punktów według wykazu czasopism ogłoszonego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego wraz z Impact Factor (IF) publikacji naukowej według listy Journal Citation Reports (JCR):

Liczba wszystkich publikacji: 39.

Liczba publikacji po osiągnięciu tytułu doktora: 26.

Liczba publikacji w czasopismach z bazy Journal Citation Reports: 14.

Liczba punktów za publikacje: 467.

Liczba punktów za publikacje, bez publikacji stanowiących osiągnięcie: 337.

Łączna liczba punktów za publikacje po uzyskaniu stopnia doktora, bez publikacji stanowiących osiągnięcie: 337.

Łączna liczba punktów za publikacje po uzyskaniu stopnia doktora, z publikacjami stanowiącymi osiągnięcie: 467.

Referaty wygłoszone na konferencjach: 45, w tym na konferencjach międzynarodowych: 19.

Pozostałe prezentacje na konferencjach: 13, w tym na konferencjach międzynarodowych: 12.

Sumaryczny Impact Factor (IF) wszystkich publikacji: 37.944 .

Łączna liczba cytowań w bazie Web of Science (na 15.03.2019): 89.

Liczba cytowań bez autocytowań: 81.

Indeks Hirscha: 6.

**Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)**

Tytuł osiągnięcia naukowego:

*Czasowo-przestrzenne analizy podobieństwa wzorca (pattern analysis) w ocenie klimatu i zmian w pokryciu terenu na skalę kontynentalną i globalną.*

Publikacje wchodzące w zakres osiągnięcia naukowego:

- (1) **P.Netzel**, T.F.Stepinski, 2018: *Climate Similarity Search - GeoWeb Tool for Exploring Climate Variability*. Bull. Amer. Meteor. Soc., March 2018, doi:10.1175/BAMS-D-16-0334.1, pp. 475-477 (**MNiSW - 50 p., IF=7.804, udział: 85%**)
- (2) **P.Netzel**, T.F.Stepinski, 2017: *World Climate Search and Classification Using a Dynamic Time Warping Similarity Function*. Advances in Geocomputation, pp. 181-195 (**udział: 90%**)
- (3) **P.Netzel**, T.F.Stepinski, 2016: *On using a clustering approach for global climate classification*. Journal of Climate, vol. 29, no 9, pp.3387-3401 (**MNiSW - 40 p., IF=4.161, udział: 90%**)
- (4) **P.Netzel**, T.F.Stepinski, 2014, *Pattern-based assessment of land cover change on continental scale with application to NLCD 2001-2006*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol:53 Issue:4, pp.1773-1781, (**MNiSW - 40 p., IF=3.514, udział: 70%**)
- (5) T.F. Stepinski, **P. Netzel**, J. Jasiewicz, 2014, *LandEx - A GeoWeb tool for query and retrieval of spatial patterns in land cover datasets*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 7(1), pp.257-266 (**MNiSW - 35 p., IF=2.827, udział: 40%**)

Sumaryczny IF publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: 18.306

Suma punktów MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: 195

Oświadczenia współautorów prac wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu pracy stanowi załącznik nr 6.

Poza wydanymi publikacjami, wyniki prac związanych z osiągnięciem naukowym były prezentowane na konferencjach: GIScience 2012, IEEE IGARSS 2014, AGU 2014, GeoComputation 2015, NASA ESTF 2016, GIScience 2016, NASA ESTF 2017, GeoComputation 2017.

Wyniki osiągnięcia naukowego stanowią także podstawę serwisów internetowych umożliwiających użycie on-line opracowanych metod:

- **ClimateEx** – Climate Explorer - powstały na podstawie publikacji (1) i (2) stanowiący narzędzie do przestrzennej i czasowej analizy zmienności klimatu (<http://sil.uc.edu/webapps/climateex/>).
- **LandEx** – Landscape Explorer - powstały na podstawie publikacji (5) stanowiący narzędzie do przestrzennego przeszukiwania krajobrazu na podstawie podobieństwa mozaiki pokrycia terenu ([http://sil.uc.edu/webapps/landex\\_usa/](http://sil.uc.edu/webapps/landex_usa/)).

3. Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

## Wprowadzenie

Zmiany środowiska przyrodniczego znajdują swoje odwzorowanie zarówno w zmianach przestrzennych, jak i czasowych krajobrazu oraz warunków klimatycznych. Temat globalnych zmian klimatycznych i ich wpływu na środowisko życia człowieka jest szeroko analizowany i badany.

W ciągu ostatnich dziesięcioleci postępy w teledetekcji i modelowaniu matematycznym umożliwiły gromadzenie ogromnych ilości danych geoprzestrzennych. Potop danych przedstawia trudne wyzwania w zakresie mechanizmów przechowywania, dystrybucji i analizy. Chociaż udało się przewyciężyć trudności związane z przechowywaniem dużych zbiorów danych, skuteczne udostępnianie wiedzy zawartej w tych danych końcowym użytkownikom pozostaje wyzwaniem. Utworzono duże archiwa

zdalnie dostępnych danych (np. National Map Viewer 1 lub GeoBrain 2), ale brakuje inteligentnych metod przeszukiwania i analizowania tych danych. Najczęstszym sposobem uzyskania dostępu do zawartości dużych archiwów jest przeszukiwanie ich za pomocą współrzędnych geograficznych, czasu pozyskania i typu czujnika. Konsekwencją takiego podejścia opartego na metadanych jest to, że faktycznie wykorzystuje się mniej niż 5% [Datcu et al., 2002] wszystkich danych dostępnych w archiwach teledetekcyjnych.

Rozwiązaniem jest opracowanie systemu zdolnego do wykonania zapytania opartego na treści, które zinterpretuje rzeczywistą zawartość danych i zwróci elementy pasujące do pożądanej treści. Takie systemy zostały szczegółowo przebadane (patrz przeglądy [Gevers, Smeulders, 2004; Lew et al., 2006; Datta et al., 2008]) w kontekście pozyskiwania naturalnego obrazu, gdzie są nazywane systemami wyszukiwania treści obrazów (Content Based Image Retrieval, CBIR). System wyszukiwania obrazów składa się z bazy danych zawierającej dużą liczbę obrazów oraz algorytmu, który odnajduje obrazy w bazie danych na podstawie ich podobieństwa do wzorcowego obrazu wprowadzonego przez użytkownika. Jakość wyników różni się w zależności od treści obrazu zapytania. Badano również zastosowania CBIR do obrazów teledetekcyjnych w dziedzinie geoprzestrzennej [Datcu et al., 2003; Dashel, Datcu, 2005; Li, Narayanan, 2004; Shyu et al., 2007]. W szczególności, metoda wyszukiwania obrazów satelitarnych została przedstawiona w [Geugeuen, Datcu, 2008]. Badania nad zastosowaniem CBIR w domenie geoprzestrzennej są intensywnie rozwijającą się dziedziną.

Produktem pochodnym obrazów teledetekcyjnych jest informacja o pokryciu terenu. Rozkład przestrzenny pokrycia terenu oraz jego zmiana są istotnym czynnikiem wpływającym na stan i funkcjonowanie ekosystemów. Detekcja zmian pokrycia w oparciu o multitemporalne dane teledetekcyjne [Rogan, Chen, 2004] pozwala na zebranie informacji o występowaniu zmian, a także o ich zasięgu i przyczynach. Opracowano wiele technik wykrywania zmian pokrycia terenu [Coppin et al., 2004; Jianya et al., 2008; Lu et al., 2009], ponieważ żadna z nich nie działa jednakowo dobrze we wszystkich sytuacjach. Wykrywania zmian pokrycia terenu zależy od skali przestrzennej (lokalna, regionalna, kontynentalna itp.), doboru klas tematycznych (ogólny, oparty na roślinach, miejski itp.) oraz celów (wysoka dokładność ilościowa, średnia dokładność jakościowa, itp.).

Większość prac nad zmianą pokrycia terenu przeprowadzana jest na skalę lokalną obejmującą konkretny obszar badań. W związku z tym większość technik wykrywania zmian jest dostosowana do

takich aplikacji [Lu et al., 2009]. Badania w zakresie wykrywania zmian na skalę globalną koncentruje się na wykorzystaniu produktów radiospektrometru MODIS ze szczególnym uwzględnieniem problemu wylesiania. W USA dostępność National Land Cover Database (NLCD) umożliwia zbadanie wykrywania zmian w skali regionalnej w kontekście innym niż wylesianie. Xian i in. [Xian et al., 2012] wykorzystali dane NLCD z lat 2001 i 2006, aby uzyskać macierz zmian określającą rozrost terenów zurbanizowanych w regionie Zatoki Meksykańskiej. Hollenhorst i in. [Hollenhorst et al., 2011] zastosowali połączenie danych NLCD i Ontario (Kanada) dotyczących pokrycia terenu w celu uzyskania macierzy zmian dla basenu jeziora Superior w latach 1992-2001.

Większość metod wykrywania zmian pokrycia terenu na dużą skalę koncentrują się na analizach pixel-to-pixel. Podobna metodyka występuje przy zdecydowanej większości metod opracowanych do użytku na skalę lokalną.

Znaczenie analizy patternów do charakteryzacji zmian pokrycia terenu (a nie tylko ich wykrywania) zostało pokazane w pracach [Giordano, Marini, 2008; Herold et al., 2002; Narumalani et al., 2004; Shi et al., 2008; Yang, Liu, 2005]. W pracach tych zostały wykorzystane indeksy krajobrazu (*landscape indices*) [Herzog, Lusch, 2001] do scharakteryzowania i porównania patternów pokrycia terenu pomiędzy dwoma momentami w czasie. Jednak indeksy krajobrazu nie są dobrze dostosowane do jednoznacznego porównywania wzorców wielokategorycznych i nie są dobrym narzędziem do ilościowej oceny zmian krajobrazu. Do opisanie patternów potrzebna jest duża liczba indeksów o różnych znaczeniach i różnej metodzie charakteryzowania patternu. Indeksy te mają niesprecyzowany wkład w ogólną wartość podobieństwa patternów, a tym samym w zmianę patternu.

W kontekście pokrycia terenu zaproponowano kilka metod obliczania jednowartościowej miary podobieństwa między patternami [Power et al., 2001; White, 2006; Pontius, 2002]. Metody te najlepiej nadają się do oceny zmian w skali lokalnej, ponieważ są kosztowne obliczeniowo. Brakuje im również niezmienności ze względu na obrót i przesunięcie.

W Space Informatics Lab zaproponowano reprezentację patternu danych skategoryzowanych inwariantną ze względu na przesunięcie i obrót oraz testowano różne miary podobieństwa zdefiniowane w oparciu o tę reprezentację.

Czynnikiem wpływającym, poza zmianami wynikającymi z antropresji, na zmiany środowiska odbijające się w zmianach patternu pokrycia terenu jest klimat. Klimat globalny nie jest czynnikiem stałym ani czasowo ani przestrzennie. Analiza jego zmian przestrzennych jak i czasowych znajduje się ostatnio w centrum zainteresowania. Szczególnie jest to widoczne w kontekście ocieplenia klimatu pod wpływem działań człowieka.

Analiza klimatu prowadzona jest często poprzez przeprowadzenie klasyfikacji klimatu do zbioru typów klimatu i analizowanie rozkładu przestrzennego tych typów. Klasyfikacja klimatu zapewnia intuicyjny i cenny wgląd w relacje między klimatem a fizycznymi i biologicznymi systemami Ziemi. Przykładem mogą być: erozja [Peel et al., 2001], gleby [Rohli et al., 2015], biota [Baker et al., 2010; Garcia et al., 2014] oraz dystrybucje gatunków inwazyjnych [Werier, Naczi, 2012]. Klasyfikacja klimatu jest również wykorzystywana do wizualizacji globalnych zbiorów danych o klimacie [Fraedrich et al. 2001; Diaz, Eischeid, 2007; Zhang, Yan, 2014; Chen, Chen, 2013; Spinoni et al., 2015] w celu zilustrowania zmian klimatycznych w kategoriach przesuwania geograficznych granic głównych rodzajów klimatu. Rubel i Feng [Rubel, Kottek, 2010; Feng et al., 2014] zastosowali klasyfikację klimatyczną do połączenia danych historycznych i prognoz modeli, aby zilustrować zmiany klimatyczne w dłuższych okresach.

Z metodologicznego punktu widzenia szeroko stosowane globalne klasyfikacje klimatu [Köppen, 1936; Thornthwaite, 1948; Trewartha, Horn, 1980] to heurystyczne schematy odzwierciedlają wiedzę środowiskową i geograficzną zgromadzoną w ciągu dziesięcioleci badań. W szczególności, system klasyfikacji Köppena-Geigera [Köppen, 1936] stał się de facto standardem dla globalnej klasyfikacji klimatycznej. Jej nowoczesne wdrożenia [Kottek et al., 2006; Peel et al., 2007; Spinoni et al., 2015] pozwalają na wygodne prezentowanie przestrzenne typów klimatu na podstawie danych klimatycznych zebranych z rozległej, światowej sieci stacji synoptycznych.

Wszystkie wcześniejsze badania klasyfikacji klimatycznych oparte na analizie skupień wykorzystywały ogólne, gotowe metody bez uwzględnienia specyfiki danych klimatycznych. Klimat był reprezentowany przez wektor cech, a odległość pomiędzy wektorami opisującymi lokalny klimat była odległością Euklidesa. Ponieważ jednak klimat lokalny jest rocznym rozkładem warunków pogodowych w danej lokalizacji, średni wektor cech nie odzwierciedla dobrze jego opisu.

Podejście metodyczne wykorzystujące podobieństwo, rozwinięte i przebadane przeze mnie w przypadku analiz zmian czasowych patternu przestrzennego, jest możliwe do zastosowania w przypadku klimatu. Wprowadzenie zarówno wyszukiwania przez przykład, jak i porównywania zmian w oparciu o reprezentację klimatu ujmującą całość opisu klimatycznego punktu (przebieg warunków klimatycznych w cyklu rocznym), pozwoliło na wniesienie nowej jakości do metod analizy klimatu globalnego.

### **Celem naukowym podjętych badań było:**

wykorzystanie, opracowanej w SIL, reprezentacji patternów przestrzennych do wyszukiwania patternu w przestrzeni i analizy zmiany patternu pokrycia terenu w czasie, a następnie zastosowanie technik wypracowanych dla krajobrazu do analizy rozkładu przestrzennego oraz zmian globalnego klimatu wraz z jego typizacją. Wymagało to zdefiniowania nowej reprezentacji klimatu wraz z odpowiadającą tej definicji miarą podobieństwa.

### **Metodyka**

Jako narzędzie do analiz przestrzennych wzorców przyjąłem analizę podobieństwa. Podobieństwo jest zdefiniowane jako wielkość zmieniająca się od 0 do 1. Wartość 1 przyjmowana jest dla wzorców identycznych, a 0 dla wzorców całkowicie różnych. Podobieństwo rośnie wraz z pojawianiem się coraz większej liczby cech wspólnych, a maleje wraz ze zwiększeniem się liczby różnic.

Poza wyborem metody porównywania patternów niezbędne też jest też określenie ich reprezentacji. Reprezentacja ta:

- dla patternów przestrzennych powinna być niezmiennicza ze względu na skalę, przesunięcie i obrót;
- dla patternów czasowych powinna ujmować zmiany związane przesunięciami fazy pomiędzy szeregami;
- dla opisu klimatu powinna ujmować klimat w sposób całościowy a jednocześnie intuicyjny dla człowieka.

Mając określone reprezentacje patternów oraz relacje podobieństwa między nimi można realizować wyszukiwanie, porównywanie przestrzenne zbiorów, jak również segmentację oraz analizę skupień.

### **Analiza patternu przestrzennego**

Do analiz przestrzennych wykorzystane zostały dane skategoryzowane. W przypadku danych ciągłych wstępne przetwarzanie polega na wykonaniu kategoryzacji. Cała analizowana przestrzeń dzielona jest na siatkę motifeli [Jasiewicz et al., 2015]. Pattern motifela reprezentowany jest przez histogram klas bądź histogram sąsiedztwa klas (co-occurrence histogram). Każdy histogram jest normowany tak, aby reprezentował gęstość prawdopodobieństwa wystąpienia klas.

Do liczenia podobieństwa wykorzystana została miara Jensen-Shannon Divergence (JSD). JSD opisane jest wzorem [Lin, 1991]:

$$JSD(A, B) = H\left(\frac{A+B}{2}\right) - \frac{H(A) + H(B)}{2}$$

gdzie A, B to unormowane histogramy a H oznacza entropię Shannona:

$$H(A) = - \sum a_i * \log_2(a_i) .$$

W przypadku liczenia podobieństwa pomiędzy dwoma unormowanymi histogramami, JSD przyjmuje wielkości od 0 do 1. Ponadto pierwiastek kwadratowy z JSD ma własności metryki. Podobieństwo (Jensen-Shannon Similarity, JSS) definiowane jest jako [Netzel, Stepinski, 2014]:

$$JSS = 1.0 - \sqrt{JSD} .$$

W przypadku liczenia podobieństwa z wykorzystaniem histogramu sąsiedztwa, otrzymuje się miarę niezmienniczą ze względu na obrót i przesunięcie, która dobrze reprezentuje zarówno kompozycję klas, jak i ich konfigurację.

## **Reprezentacja klimatu**

Klimat najczęściej jest reprezentowany poprzez uśrednione wielkości parametrów meteorologicznych. Ze względu na skalę czasową w jakiej rozważany jest klimat oraz by pominąć problem cykliczności rocznej, są to często średnie, sumy lub ekstrema roczne. W przypadku, gdy potrzebne jest dokładne przedstawienie opisu klimatologicznego danej lokalizacji, liczba parametrów i statystyk z nich liczonych wzrasta. Jest to niezbędne, aby ująć specyfikę lokalną klimatu.

W prezentowanych pracach przyjąłem inne podejście. Klimat jest opisywany rocznym przebiegiem parametrów meteorologicznych. Opisuje go cykliczny ciąg wektorów zawierających jako składowe poszczególne parametry. Ciąg ten obejmuje zawsze przebieg całoroczny. Może być on budowany jako ciąg wielkości uśrednionych (średnie miesięczne, dekadowe, tygodniowe, dobowe) lub może zawierać przebieg roku reprezentatywnego. Ze względu na dostępność danych wysokorozdzielczych skupiłem się na danych sprowadzonych do średnich miesięcznych.

Jako odległość pomiędzy poszczególnymi elementami ciągu czasowego przyjąłem odległość euklidesową. Dzięki traktowaniu ciągu czasowego w sposób cykliczny mogłem wyeliminować przesunięcie fazowe pojawiające się wraz ze zmianą szerokości geograficznej. To podejście wykracza poza ujęcie tylko i jedynie geometrycznych zależności z ruchem sezonowym Słońca. Pozwala ono uwzględnić jednocześnie lokalne wpływy przybrzeżnych prądów morskich oraz masywów górskich. Wpływy te modyfikują strefy klimatyczne w stosunku do położenia wynikającego z samej szerokości geograficznej.

Klimatem nazywam ciąg:

$$A = (a_0, a_1, \dots, a_n)$$

gdzie  $a_k = (p_0, p_1, p_2, \dots, p_m)$  i  $p_i$  – wielkość i-tego parametru meteorologicznego w momencie k.

Do analiz przyjęto średnie wielkości miesięczne temperatury powietrza, maksymalne miesięczne wahanie temperatury oraz sumę opadu. Dane te zostały pobrane i przeliczone z projektu WorldClim v.1

[Hijmans, 2005]. Każdy z parametrów meteorologicznych był unormowany do wielkości z przedziału 0 do 1. W przypadku mocno asymetrycznego rozkładu jakim jest rozkład sum opadu, dodatkowo prowadzono ograniczenie dla wielkości maksymalnej do 350 mm/miesiąc. Wielkości powyżej tej wartości były obcinane (stanowiły one jedynie 1% analizowanych wielkości dla całego globu). Dla takiej reprezentacji klimatu przeprowadzane były wszystkie analizy wykorzystujące pattern czasowy.

### **Podobieństwo patternu czasowego**

Ocena podobieństwa klimatu pomiędzy dwoma punktami z dwu różnych lokalizacji przestrzennych, jak i czasowych (analizowane były trzy momenty w czasie: 4000r. p.n.e, 2000r. oraz 2070r.) wyliczana była na podstawie Dynamic Time Warping (DTW). Miara DTW może być traktowana jako rozszerzenie klasycznej odległości Euklidesa (EUC). W przypadku EUC odległość jest wyrażona wzorem:

$$D(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}$$

Implikuje to sumowanie jedynie odległości dla synchronicznie liczonych współrzędnych. W przypadku dwu podobnych ciągów czasowych drobne przesunięcie w fazie generuje duże wielkości odległości. Jest to niezgodne z oczekiwaniem w stosunku do miary podobieństwa klimatów [Netzel, Stepinski, 2017].

DTW minimalizuje sumę odległości pomiędzy krzywymi przebiegu szeregów czasowych. Ponadto DTW nie zależy od miary określającej odległości pomiędzy elementami szeregów czasowych. Znalezienie wielkości miary DTW sprowadza się do rozwiązania zagadnienia optymalizacji z wykorzystaniem programowania dynamicznego. DTW może być w prosty sposób rozszerzone na zagadnienie znalezienia dopasowania dwóch cyklicznych serii czasowych. W przypadku serii wektorów zawierających unormowane parametry meteorologiczne można otrzymać odległość DTW z przedziału od 0 do 1. Pozwala to na przejście, podobnie jak w przypadku JSD, na miarę podobieństwa.

Wykorzystanie DTW i definiowanie klimatu jako okresowej serii czasowej wektorów parametrów meteorologicznych pozwala na wykroczenie poza analizy statystyk parametrów klimatologicznych, które najczęściej rozpatrywane są osobno a dopiero na etapie syntezy wniosków łączone dla uzyskania opisu klimatu.

## Wnioski

Wyszukiwanie poprzez przykład jest intuicyjnie najłatwiejszym sposobem eksplorowania przestrzeni geograficznej. Opracowany, przy moim udziale, system LandEx to jakościowo nowe narzędzie do badania wzorców w dużych zbiorach danych geoprzestrzennych [Stepinski et al., 2014]. Chociaż porównywanie danych teledetekcyjnych na poziomie pojedynczych pixeli jest użyteczne do celów lokalnych, porównanie patternów jest o wiele lepszym rozwiązaniem w przypadku oceny w skali regionalnej lub na większą skalę, ponieważ dotyczy kwestii strukturalnego, a więc semantycznego podobieństwa. Łącząc funkcjonalność webowego serwisu mapowego z mocą algorytmów rozpoznawania patternów, LandEx umożliwia wspomaganą komputerowo eksplorację całego zbioru NLCD (*National Land Cover Dataset*) opartą na treści. LandEx był pierwszym systemem CBIR do przeszukiwania obrazów geoprzestrzennych, który był dostępny publicznie.

Zaimplementowanie podobieństwa patternów w porównywaniu motywów utworzonych na podstawie dwóch różnych warstw pokrycia terenu pozyskanych w odstępie kilku lat, dostarcza nowego narzędzia analizy zmian krajobrazu na skalę kontynentalną [Netzel, Stepinski, 2014]. W artykule przyjąłem do analizy dwie miary podobieństwa zdefiniowane na patternie motyfu. Mierzą one różnicę w konfiguracji i kompozycji patternu pokrycia terenu w obrębie motyfu między dwoma etapami czasowymi (JSS) lub jedynie różnicę w składzie klas (JSS<sub>1</sub>). Pierwsza z nich wykorzystuje histogram sąsiedztwa, a druga jedynie histogram występowania klas. Obie miary są zdefiniowane jako podobieństwo między funkcjami rozkładu prawdopodobieństwa. Różnią się one zasadniczo od bardziej konwencjonalnych miar opartych na procentach niezmiennych pikseli lub przejść pomiędzy klasami.

Motyfy charakteryzujące się znaczną liczbą przejść klasowych liczonych pixel-to-pixel i niewielką zmianą składu (duże wartości JSS<sub>1</sub>) reprezentują miejsca, w których pattern krajobrazu ulega zmianie bez większego wpływu na samą kompozycję. Motyfy charakteryzujące się niewielką zmianą składu (duże wartości JSS<sub>1</sub>) i dużą zmianą patternu (małe wartości JSS) odpowiadają miejscom, w których geometria pokrycia terenu zmienia się bez większych zmian w kompozycji klas. Prowadzi to do zidentyfikowania lokalizacji miejsc zmian patternu krajobrazu, które w tradycyjnym podejściu pixel-to-pixel umykał analizie.

Metodologia podejścia do analiz przestrzennych z wykorzystaniem podobieństwa, która z powodzeniem została wykorzystana w analizach krajobrazu, została przeze mnie przeniesiona do dziedziny analiz przestrzennych globalnego klimatu.

ClimateEx [Netzel, Stepinski, 2018] z założenia miał być odpowiednikiem, w dziedzinie analiz klimatycznych, systemu LandEx [Stepinski et al., 2014]. Przyjęta reprezentacja klimatu oraz miara podobieństwa dobrze opisują klimat, jak również odczuwalne podobieństwo pomiędzy różnymi miejscami. Pozwoliło to na wyszukiwanie na obszarze całego globu bez konieczności brania pod uwagę różnic w porach roku czy też wynikających z lokalnych uwarunkowań topograficznych czy też wpływu oceanu. Właściwy dobór normalizacji parametrów klimatologicznych dał w rezultacie zrównoważony wpływ temperatury w porównaniu z uwilgotnieniem klimatu.

W przypadku klimatu, wyszukiwanie przez wskazanie przykładu umożliwiło analizy zarówno klimatu współczesnego, jak i tendencji zmian klimatycznych. Daje on odpowiedź nie tylko na pytanie np. „Gdzie mamy podobne warunki klimatyczne do Alei Tornad?” ale też pozwala na stawianie pytań o zmiany klimatu np. „Do jakiego współcześnie miejsca na Ziemi będzie podobny klimat we Wrocławiu za 70 lat?”. Odpowiedź na to drugie pytanie daje intuicyjną i obrazową ilustrację zmiany klimatu.

W przypadku analizy zmian klimatycznych, rozkład przestrzenny podobieństwa klimatów daje wygodną informację o tendencji do zmian. Rozkład przestrzenny zmian klimatu stanowi część serwisu ClimateEx. Należy zwrócić uwagę, że samo stwierdzenie dużego niepodobieństwa klimatu w danej lokalizacji w dwu okresach czasowych nie determinuje jeszcze trendu w kierunku ocieplenia lub ochłodzenia. Aby ocenić taki trend niezbędna jest dalsza analiza. Z drugiej strony, analizy zmian klimatu oparte na ocenie przesunięcia stref klimatycznych (np. stref klimatycznych w/g Koeppena-Geigera) teoretycznie wskazują trend, ale równocześnie pomijają możliwość zmiany samych typów klimatu. Proponowane przeze mnie podejście do reprezentacji klimatu i jego podobieństwa pozbawione jest tego problemu.

Zastosowanie metod eksploracji danych do klimatu daje możliwość regionalizacji oraz typizacji klimatów świata. Trudno zdefiniować jedną "najlepszą" klasyfikację kontinuum klimatycznego. Tym niemniej klasyfikacja oparta o obiektywne kryteria i wynikająca jedynie z relacji ukrytych w danych będzie „najlepsza” w rozumieniu spójności i separowalności typów klimatów.

Najbardziej znana klasyfikacja klimatów w/g Koeppena-Geigera (KG) zbudowana jest z wykorzystaniem heurystyk i ma, poza strefami termicznymi, dobrze opisywać zasięgi występowania stref roślinności jako wskaźnika klimatu. W podejściu przyjętym przeze mnie, klasyfikacja opiera się wyłącznie na danych oraz na spójnej reprezentacji klimatu bez rozbicia na analizowane pojedyncze parametry klimatologiczne. Takie podejście jest lepiej dostosowane do porównywania klimatów niż standardowe podejście polegające na reprezentacji wektorowej i odległości euklidesowej.

Wykonując nienadzorowaną klasyfikację klimatów świata, użyłem algorytmu grupowania Partition Around Medoids (PAM). Algorytm ten wykorzystuje macierz odległości oraz wyszukuje w oparciu o podobieństwo do istniejącego reprezentanta klasy. Wybór algorytmu PAM wynikał z założenia, że każdy typ klimatu powinien być identyfikowany przez istniejącego fizycznie reprezentanta klimatu. Wykorzystanie „średniego klimatu” prowadzi do generowania typów klimatu, dla których nie ma na świecie miejsca ich występowania. Istnieją jedynie miejsca „podobne do typu X”.

Algorytmy analizy skupień mają za zadanie tworzyć skupienia optymalne pod względem jednorodności elementów oraz separowalności samych skupień. Porównując klasyfikację klimatu wykonaną metodami analizy skupień z klasami KG widać, że klasyfikacja ukierunkowana na tworzenie optymalnych, z punktu widzenia minimalizacji zróżnicowania, klas ma przewagę nad heurystykami KG i daje typy klimatów, które są wyraźnie rozseparowane [Netzel, Stepinski, 2016]. Ponadto klasy klimatu są dopasowane do danych i mogą ewoluować wraz ze zmianami globalnego klimatu w czasie. Przyjęta przeze mnie reprezentacja klimatu umożliwiła analizowanie całego globu w jednym podejściu bez konieczności niwelowania różnic wynikających z przesunięciem pór roku wraz z szerokością geograficzną. Ten problem nie został rozwiązany we wcześniejszych pracach poświęconych klasyfikacji klimatu z wykorzystaniem metod eksploracji danych [Zscheischler et al., 2012; Metzger et al., 2013; Zhang, Yan, 2014].

### **Najważniejsze nowatorskie osiągnięcia przedstawione w osiągnięciu naukowym, stanowiące istotny wkład w rozwój nauki:**

1. Globalna klasyfikacja typów klimatów świata z wykorzystaniem obiektywnych kryteriów wykorzystujących metody eksploracji danych (data mining).
2. Reprezentowanie klimatu jako cyklicznego szeregu czasowego unormowanych wektorów cech.

3. Zastosowanie cyklicznej wersji Dynamic Time Warping jako funkcji podobieństwa pomiędzy klimatami.
4. Dzięki wybranej reprezentacji klimatu oraz funkcji podobieństwa rozwiązanie problemu przesunięcia fazowego pór roku w analizach klimatu dla całej kuli ziemskiej.
5. Wprowadzenie i wskazanie stosowalności metody wyszukiwania przez wskazanie wzorca jako efektywnej metody analizy globalnego klimatu.
6. Wykorzystanie miary podobieństwa jako narzędzia do oceny przestrzennej zmiany krajobrazu na skalę kontynentalną.
7. Przeniesienie opracowanej metodyki analiz przestrzennych mozaiki krajobrazu do analiz klimatu w skali globalnej.
8. Wskazanie metod analizy podobieństwa jako skutecznego narzędzia do oceny zmian klimatu i krajobrazu.
9. Opracowanie praktycznych rozwiązań pokazujących stosowalność wprowadzonych reprezentacji klimatu i miary odległości w badaniach nad globalnym klimatem.

### **Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

Poza globalnymi analizami klimatu i jego zmian oraz zmian w globalnym ekosystemie, podjąłem temat zanieczyszczenia świetlnego nocnego nieba. Współuczestniczę w budowaniu i rozwoju wysokorozdzielczego modelu zanieczyszczenia świetlnego dla Polski [Netzel, Netzel, 2018]. Model ten został zaprezentowany i poddany krytyce na konferencjach ALAN 2015 i 2016 oraz LPTMM 2015 i 2017.

W czasie zatrudnienia na Uniwersytecie Wrocławskim koncentrowałem się na temacie teledetekcji warstwy granicznej atmosfery (ABL). Zespół, w którym działałem w ramach projektu *Zróźnicowanie przestrzenne warstwy granicznej atmosfery na przykładzie Wrocławia i Krakowa, (N 305 099 32/3408), KBN*, monitorował zmiany przestrzenne i ewolucję ABL w warunkach miejskich [Drzeniecka et al. 2012]. Analizował on także wpływ występowania warstw hamujących na rozprzestrzenianie się

zanieczyszczeń [Kryza et al., 2014]. Wyniki były odnoszone także do rezultatów matematycznego modelowania dyspersji (model WRF) [Kryza et al., 2015].

Efektom zainteresowania systemami uczenia maszynowego będącego kontynuacją badań prowadzonych przy współpracy z KTH w Sztokholmie, było wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do interpolacji modelu wysokościowego DEM. Wyniki tych prac zostały przedstawione na konferencji Geoinformatics FCE CTU w 2011 roku. Rezultatem był też zestaw modułów programowych implementujących sztuczne sieci neuronowe na potrzeby takich analiz w systemie GRASS 6.2 [Netzel, 2011].

Jednym z problemów wymagających rozwiązania w związku z analizami przestrzennych patternów było opracowanie wydajnego algorytmu tworzenia i indeksowania jednorodnych oraz spójnych obszarów skategoryzowanej mapy (tworzenie connected components). Istniejące algorytmy były mało wydajne i nie umożliwiały pracy z danymi na skalę kontynentalną w rozdzielczości rzędu 30 metrów. Opracowany algorytm pozwolił na około dwustukrotne przyspieszenie pracy [Netzel, Stepinski, 2013]. Dzięki temu algorytmowi stało się możliwe uwzględnienie wielkości jednorodnych powierzchni pokrycia terenu w dalszych analizach patternu krajobrazu.

## **Działalność organizacyjno-dydaktyczna**

W latach 2011-2014 jako adiunkt na Uniwersytecie Wrocławskim opracowałem i prowadziłem przedmioty poświęcone analizom klimatologicznym (Metodyka opracowań klimatologicznych), analizie przestrzennej szeregów czasowych (Analiza danych czasowo-przestrzennych), data mining (Techniki eksploracji danych), teledetekcji (Teledetekcja w meteorologii), analizie i modelowaniu przestrzennemu (Analizy przestrzenne i modelowanie w ochronie środowiska). Przedmioty te realizowane były na studiach magisterskich specjalizacji klimatologia oraz ochrona środowiska.

W latach 1998 - 2013 brałem udział, następnie byłem współorganizatorem, a potem głównym organizatorem warsztatów naukowych *Analizy Przestrzenne z wykorzystaniem GRASS*. Udział w tych warsztatach brali uczestnicy zarówno z Polski, jak i z zagranicy. Poza częścią warsztatowo-szkoleniową warsztaty miały część naukową z sesjami prezentacyjnymi. Warsztaty naukowe doczekały się 15 edycji. Edycja 14 warsztatów *Analizy Przestrzenne z Wykorzystaniem GRASS* zwieńczona została wydaniem monografii [Netzel (ed.) 2011], której byłem edytorem.

Zorganizowałem międzynarodowe spotkanie programistów Quantum GIS - QGIS Hackfest - we Wrocławiu.

Zostałem powołany i brałem udział w pracach zespołu doradczego do spraw Wolnego Oprogramowania przy Głównym Geodecie Kraju. Byłem członkiem komitetów naukowych cyklu konferencji Wolne Oprogramowanie w Geoinformatyce w latach 2009 do 2011. Jestem członkiem IEEE, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society oraz International Association for Mathematical Geosciences. Jestem członkiem-założycielem Wrocławskiej Grupy Użytkowników GRASS – WGUG oraz polskiego oddziału OSGeo.

## Literatura

- B.Baker, H.Diaz, W.Hargrove, F.Hoffman, 2010, *Use of the Köppen–Trewartha climate classification to evaluate climatic refugia in statistically derived ecoregions for the People's Republic of China*, Climatic Change, 98, p. 113–131
- D.Chen, H.W.Chen, 2013, *Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010*, Environ. Dev., 6, p. 69–79
- P.Coppin, I.Joncheere, K.Nackaerts, B. Muys, 2004, Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review, Int. J. Remote Sens., vol. 25, no. 9, p. 1565–1596
- H.Daschiel, M.Datcu, 2005, *Information mining in remote sensing image archives: System evaluation*, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 43, no. 1, p. 188–199
- M.Datcu, H.Daschiel, A.Pelizzari, M.Quartulli, A.Galoppo, A.Colapicchioni, M.Pastori, K.Seidel, P.G.Marchetti, S.D'Elia, 2003, *Information mining in remote sensing image archives: System concepts*, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 42, no. 12, p. 2923–2936
- M.Datcu, A.Pelizzari, H.Daschiel, M.Quartulli, K.Seidel, 2002, *Advanced value adding to metric resolution SAR data: Information mining*, in Proc. 4th Eur. Conf. Synthetic Aperture Radar EUSAR
- R.Datta, D.Joshi, J.Li, J.Z.Wang, 2008, *Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age*, ACM Computing Surveys, vol. 40, p. 1–60
- H.F.Diaz, J.K.Eischeid, 2007, *Disappearing "alpine tundra" Köppen climatic type in the western United States*, Geophys. Res. Lett., 34, L18707

- A.Drzeniecka-Osiadacz, P.Netzel, J.Ślopek, 2012, *Verification of SBL models by mobile SODAR measurements*, Int. J. Environment and Pollution, vol. 50, Nos. 1/2/3/4, p. 250-263
- S.Feng, Q.Hu, W.Huang, C.H. Ho, R.Li, Z.Tang, 2014, *Projected climate regime shift under future global warming from multi-model, multi-scenario CMIP5 simulations*, Global Planet. Change, 112, p. 41–52
- K.Fraedrich, F.W.Gerstengarbe, P.C.Werner, 2001, *Climate shifts during the last century*, Climatic Change, 50, p. 405–417
- R.A.Garcia, M.Cabeza, C.Rahbek, M.B.Araújo, 2014, *Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity*, Science, 344, 1247579
- T.Gevers, A.W.Smeulders, 2004, *Content-based image retrieval: An overview*, in Emerging Topics in Computer Vision, G.M.S.B.Kang, Ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, ch. 8, p.333–384.
- F.Giordano, A.Marini, 2008, *A landscape approach for detecting and assessing changes in an area prone to desertification in Sardinia (Italy)*, Int. J. Navigat. Observ., vol. 2008, pp. 549 630-1 – 549 630-5
- L.Gueguen, M.Datcu, 2008, *A similarity metric for retrieval of compressed objects: Application to mining satellite images time series*, IEEE Trans. Knowl. Data Eng., vol. 20, no. 4, p. 562–575
- M.Herold, J.Scepan, K.C.Clarke, 2002, *The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses*, Environ. Planning A, vol. 34, no. 8, pp. 1443–1458
- F.Herzog, A.Lausch, 2001, *Supplementing land-use statistics with landscape metrics: Some methodological considerations*, Environ. Monit. Assessment, vol. 72, no. 1, pp. 37–50
- R.J.Hijmans, S.E.Cameron, J.L.Parra, P.G.Jones, A.Jarvis, 2005, *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. Int. J. Climatol., 25, p. 1965–1978
- T.P.Hollenhorst, L.B.Johnson, J.Ciborowski, 2011, *Monitoring land cover change in the Lake Superior basin*, Aquatic Ecosyst. Health Manage., vol. 14, no. 4, pp. 433–442, Oct. 2011.
- J.Jasiewicz, P.Netzel, T.F. Stepinski, 2015, *GeoPAT: A toolbox for pattern-based information retrieval from large geospatial databases*, Computers & Geosciences, vol.80, p. 62-73

- G.Jianya, S.Haigang, M.Guorui, Z.Qiming, 2008, A review of multitemporal remote sensing data change detection algorithms,” in Proc. Int. Archives Photogramm., Remote Sens. Spatial Inf. Sci., vol. 37-B7, pp. 757–762.
- M.Kottek, J.Grieser, C.Beck, B.Rudolf, F.Rubel, 2006, *World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*, Meteor. Z., 15, p. 259–263
- W.Köppen, 1936, *Das geographische System der Klimate*, Handbuch der Klimatologie, W. Köppen and R. Geiger, Ed., Gebrder Borntraeger, p. 1–44.
- M.Kryza, A.Drzeniecka-Osiadacz, M.Werner, P.Netzel, A.J.Dore, 2015, *Comparison of the WRF and Sodar derived planetary boundary layer height*. Int. J. Environment and Pollution, Vol. 58, Nos. 1/2, p. 3-14
- M.Kryza, P.Netzel, A.Drzeniecka-Osiadacz, M.Werner, A.J.Dore, 2014, *Forecasting the Ozone Concentrations with WRF and Artificial Neural Network Based System*, Air Pollution Modeling and its Application XXII, p. 605-609
- M.Lew, N.Sebe, C.Lifi, R.Jain, 2006, *Content-based multimedia information retrieval: State of the art and challenges*, ACM Trans. Multimedia Comput., Commun., Appl., vol. 2, no. 1, p. 1–19
- J.Li, R.M.Narayanan, 2004, *Integrated spectral and spatial information mining in remote sensing imagery*, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 42, no. 3, p. 673–685.
- J.Lin, 1991, *Divergence measures based on the Shannon entropy*, IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 31, no. 1, p. 145–151
- D.Lu, E.Mausel, E.Brondizio, E.Moran, 2009, *Change detection techniques*,” Int. J. Remote Sens., vol. 25, no. 12, p. 2365–2407
- S.Narumalani, D.R.Mishra, R.G.Rothwell, 2004, *Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area*, Remote Sens. Environ., vol. 91, no. 3/4, pp. 478–489
- P.Netzel (ed.), 2011, *Analizy przestrzenne z wykorzystaniem GRASS*, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 15, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, pp. 97

- P.Netzel, 2011: *Implementacja sztucznych sieci neuronowych w systemie GRASS*, in: Pawel Netzel (ed.), 2011, *Analizy przestrzenne z wykorzystaniem GRASS*, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 15, University of Wroclaw, Wroclaw, p. 75-88
- H.Netzel, P.Netzel, 2018: *High resolution map of light pollution*. J. of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Vol. 221, p. 300-308
- P.Netzel, T.F.Stepinski, 2013, *Connected Components Labeling for Giga-Cell Multi-Categorical Rasters*. Computers and Geosciences 59, pp 24-30
- P.Netzel, T.F.Stepinski, 2014, *Pattern-based assessment of land cover change on continental scale with application to NLCD 2001-2006*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol:53 Issue:4, p. 1773-1781
- P.Netzel, T.F.Stepinski, 2016, *On using a clustering approach for global climate classification*. Journal of Climate. Vol. 29, no 9, p. 3387–3401
- P.Netzel, T.F.Stepinski, 2017, *World Climate Search and Classification Using a Dynamic Time Warping Similarity Function*. Advances in Geocomputation, p. 181-195.
- P.Netzel, T.F.Stepinski, 2018, *Climate Similarity Search - GeoWeb Tool for Exploring Climate Variability*. Bull. Amer. Meteor. Soc., March 2018, doi:10.1175/BAMS-D-16-0334.1, p. 475-477
- M.J.Metzger, R.G.H.Bunce, R.H.G.Jongman, R.Sayre, A.Trabucco, and R.Zomer, 2013, *A high-resolution bioclimate map of the world: A unifying framework for global biodiversity research and monitoring*, Global Ecol. Biogeogr., 22, p. 630–638
- M.C.Peel, T.A.McMahon, B.L.Finlayson, F.R.G.Watson, 2001, *Identification and explanation of continental differences in the variability of annual runoff*, J. Hydrol., 250, p. 224–240
- M.C.Peel, B.L.Finlayson, T.A.McMahon, 2007, *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, p. 1633–1644
- R.G.Pontius, 2002, *Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions*, Photogramm. Eng. Remote Sens., vol. 68, no. 10, pp. 1041–1049

- J.Rogan, D.Chen, 2004, *Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change*, Progr. Planning, vol. 61, no. 4, p. 301–325
- R.V.Rohli, T.A.Joyner, S.J.Reynolds, T.J.Ballinger, 2015, *Overlap of global Köppen–Geiger climates, biomes, and soil orders*, Phys. Geogr., 36, p. 158–175
- F.Rubel, M.Kottek, 2010, *Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification*, Meteor. Z., 19, p. 135–141
- Y.Shi, J.Xiao, Y.Shen, 2008, *Landscape pattern change and associated environmental implications in the Haihe River Basin, China*, in Proc. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 37, p. 569–574
- C.R.Shyu, M.Klaric, G.Scott, A.S.Barb, C.Davis, K.Palaniappan, 2007, *GeoIRIS: Geospatial information retrieval and indexing system* Content mining, semantics modeling, and complex queries, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 45, no. 4, p. 839–852
- J.Spinoni, J.Vogt, G.Naumann, H.Carrao, P.Barbosa, 2015, *Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Köppen–Geiger classification and FAO aridity index*, Int. J. Climatol., 35, p. 2210–2222
- T.F.Stepinski, P.Netzel, J.Jasiewicz, 2014, *LandEx - A GeoWeb tool for query and retrieval of spatial patterns in land cover datasets*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 7(1), p. 257-266
- G.T.Trewartha, L.H.Horn, 1980, *An Introduction to Climate*, McGraw-Hill, pp. 416
- D.A.Werier, R.F.C.Naczi, 2012, *Carex secalina (Cyperaceae), an introduced sedge new to North America*, Rhodora, 114, p. 349–365
- R.White, 2006, *Pattern based map comparisons*, J. Geogr. Syst., vol. 8, no. 2, pp. 145–164
- G.Xian et al., 2012, *Quantifying urban land cover change between 2001 and 2006 in the Gulf of Mexico region*, Geocarto Int., vol. 27, no. 6, pp. 479–497
- X.Yang, Z.Liu, 2005, *Quantifying landscape pattern and its change in an estuarine watershed using satellite imagery and landscape metrics*, Int. J. Remote Sens., vol. 26, no. 23, pp. 5297–5323

- X.Zhang, X.Yan, 2014, *Spatiotemporal change in geographical distribution of global climate types in the context of climate warming*, *Climate Dyn.*, 43, p. 595–605
- J.Zscheischler, M.D.Mahecha, S.Harmeling, 2012, *Climate classifications: The value of unsupervised clustering*, *Procedia Comput. Sci.*, 9, p. 897–906

Pent Netul