

Zastosowanie triangulacji do wizualizacji kartograficznej i analizy zmian danych czasowo-przestrzennych

Application of triangulation for cartographic visualization and change analysis of spatio-temporal data

Norbert Kurpiel

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Katedra Geomatyki

Słowa kluczowe: GIS, wizualizacja kartograficzna, dane czasowo-przestrzenne, Space Time Cube

Keywords: GIS, cartographic visualization, spatio-temporal data, Space Time Cube

Wstęp

Należy podkreślić, iż fizyczny wymiar czasu różni się znacząco od modelu czasu stosowanego w systemach informacji geograficznej. W przypadku modelowania czasu w GIS priorytetem nie jest opisanie czasu w rozumieniu fizycznym, ale zaproponowanie modelu możliwie najlepiej odzwierciedlającego analizowane zjawisko. Jak stwierdził Andrew Frank *Nie ma jednej poprawnej metody klasyfikacji czasu – jest wiele sposobów na modelowanie czasu w GIS i czas będzie modelowany różnie dla różnych zastosowań w zależności od określonego problemu* (Frank, 1998). W światowej literaturze zdefiniowano trzy skale służące do porządkowania zdarzeń w systemach informacji geograficznej (Frank, 1998).

1. Porządkowa – w skali tej zastosowano najbardziej pierwotny dla ludzkiej percepcji sposób modelowania czasu. Opiera się ona jedynie na względnych relacjach, takich jak: przed i po. Stosuje się również rozszerzenia dla skali porządkowej, między innymi: czas ze ścisłą identycznością lub identyczność z tolerancją dopuszczające występowanie dwóch różnych obiektów w tym samym czasie.
2. Dyskretna – w tym podejściu czas może być odwzorowany jako zestaw liczb całkowitych, co w przeciwieństwie do skali porządkowej umożliwia podejście ilościowe. Niepodzielne, jednostkowe skoki czasowe ustalane są dla możliwie małych wartości na przykład sekundy lub milisekundy dla czasu uniksowego. Ten typ modelowania jest najczęściej używanym modelem w systemach informacyjnych.

3. Ciągła – modele ciągle umożliwiają odwzorowanie czasu na liczbach rzeczywistych. Charakterystyczny dla modelu ciągłego jest fakt, że między dowolnymi dwoma punktami w czasie istnieje kolejny punkt. Modele te określa się jako gęste.

Drugie podejście do modelowania skupia się na wyróżnieniu podstawowych elementów składających się na strukturę danego modelu czasowego. W literaturze definiuje się dwie podstawowe dziedziny czasowe (Frank, 1998).

1. Punktowa – może być analogią do dyskretnego zbioru punktów w przestrzeni euklidesowej, to znaczy ich rozciągłość czasowa jest równa zero. Z tego wynika, że nie mamy żadnej informacji o zdarzeniach pomiędzy dwoma punktami.

2. Interwałowa – której podzbiory mają rozciągłość czasową różną od zera. Opisują one pewien przedział czasu.

Trzecią kwestią rozważaną przy modelowaniu czasu jest określenie, czy jest on traktowany jako linearny czy cykliczny.

Rozumienie czasu jako zjawiska linearnego jest dla nas najbardziej intuicyjne. Zdarzenia umieszczone są na osi czasu. W przypadku wielu zjawisk korzystniejsze okazuje się być odwołanie do ich cykliczności. Przykładem może być zmienność pór roku lub zjawisk astronomicznych. Struktura czasu cyklicznego ma postać szeregu powtarzających się zjawisk (Frank, 1998).

W kartografii czas jako czwarty wymiar odróżnia prezentację dynamiki zjawisk od innych typów prezentacji kartograficznej (Meskuła, 2001). W krajowej literaturze (Meskuła, 2001) wyróżnia się trzy typy dynamiki zjawisk w ujęciu kartograficznym:

1) dynamika ruchu – zależna od zmiany położenia obiektu w czasie,

2) dynamika stanu – odnosząca się do zmiany charakterystyki ilościowej lub jakościowej bez zmiany jego położenia,

3) dynamika złożona – jako połączenie dwóch wcześniejszych.

Dokumentem definiującym koncepcję opisu charakterystyk czasowych w systemach informacji geograficznej jest norma ISO 19108 (Norma ISO, 2002). Jest ona podstawą do określenia atrybutów obiektów czasowo-przestrzennych, operacji na obiektach i zależności pomiędzy nimi. Ponadto określa sposób podejścia do czasowych aspektów metadanych. Definiowane są geometria i reguły topologiczne dla czasu, w analogiczny sposób jak dla obiektów przestrzennych. Specyfikacja opisywanego schematu została zaimplementowana za pomocą UML. W normie przyjęto do modelowania skale porządkowe i interwałowe. Na ich podstawie definiuje się czasowe układy odniesienia.

Wizualizacje czasowo-przestrzenne

Wizualizacja danych czasowo-przestrzennych opiera się głównie na wykorzystaniu odpowiednio dobranych metod kartograficznych. W światowej literaturze można znaleźć dwa główne podejścia do tego problemu (Aigner i in., 2011).

1. Metody statyczne polegające na jednoczesnym wyświetleniu wielu warstw reprezentujących stany obiektów w kolejnych stanach czasowych. Ich głównym atutem jest możliwość przeprowadzania szczegółowych analiz prezentowanych zjawisk. Wyróżnia się następujące typy metod statycznych (Meskuła, 2011):

a) mapy pojedyncze: (i) mapy wielofazowe, (ii) mapy bilansowe, (iii) mapy typów.

b) serie map: (i) mapy porównawcze, (ii) mapy nakładkowe, (iii) mapy dwustronnie drukowane.

2. Metody dynamiczne wykorzystujące animację do prezentacji zmian w czasie obiektów przestrzennych. Metody te dobrze nadają się do zaprezentowania ogólnego charakteru zjawiska oraz głównego trendu zmian w czasie analizowanych danych. Animacje są zwykle intuicyjne i atrakcyjne w odbiorze. Z drugiej strony, w przypadku wizualizacji dużej ilości złożonych danych mogą przyczyniać się do wybiórczego odbioru prezentowanego zjawiska (Tversky, Morrison, 2002). Nie bez znaczenia pozostają też treści pozaramkowe potrzebne do identyfikacji stanu czasowego treści prezentowanych na mapie (Kowalski, 2002). Dlatego mimo dużej popularności map animowanych kwestią dyskusyjną pozostaje ocena ich efektywności (Opach, 2007).

W przypadku wizualizacji dynamicznych, takich jak: animacja lub film, statyczne zmienne dynamiczne okazały się niewystarczające. W związku z tym DiBiase (DiBiase i in., 1992) oraz MacEachren (1994) zaproponowali sześć, obecnie powszechnie uznawanych, zmiennych dynamicznych: trwanie, porządek, skok zmiany, częstotliwość, czas ekspozycji i synchronizację. Kolejna, siódma zmienna dynamiczna: sposobu przejścia, zaproponowana przez Dukaczewskiego (Dukaczewski, 2000, cyt. za Dukaczewski, 2005), opisuje sposób zachodzenia zmian.

Metody wizualizacji oparte na Space Time Cube

Klasyczną metoda łączącą czas i przestrzeń jest Space Time Cube. Jej koncepcja przypisywana jest szwedzkiemu geografowi Torsenowi Hägerstrandowi (Hägerstrand, 1970; Kraak, 2003). Podstawowym założeniem tej metody jest zdefiniowanie przestrzeni jako sześciianu gdzie dwie osie poziome definiują odniesienie przestrzenne, a trzecia oś pionowa odwzorowuje czas. Wnętrze powyższego sześciianu służy do wizualizacji zachowania się obiektów w czasie i przestrzeni. Istnieje wiele możliwości kodowania zmian danego obiektu między innymi: reprezentowanie stanów obiektów w czasie za pomocą symboli graficznych, gdzie atrybuty obiektu będą prezentowane przez właściwości symbolu, na przykład rozmiar lub kolor (Tominski i in., 2005), tworzenie trajektorii obiektu w czasie. Inną techniką jest, wspomniane wcześniej, wyświetlanie kilku warstw wzdłuż osi czasowej. Metoda Space Time Cube umożliwia analizę danych czasowo-przestrzennych przez użytkownika z wielu perspektyw, dzięki czemu jest nadal rozwijana i wykorzystywana w szerokim spektrum zastosowań (Bach i in., 2014). W przypadku konieczności operowania dużymi zbiorami złożonych danych na potrzeby ich klasyfikacji, bądź porównywania, dobrym podejściem okazuje się być wizualizacja hierarchiczna (Hadlak i in., 2010). Klasyczne metody wizualizacji hierarchicznej, na przykład grafy, zwykle pomijają aspekt czasowy i przestrzenny danego zjawiska. W metodzie tej hierarchiczność definiowana jest jako zbiór węzłów należących do dwuwymiarowej przestrzeni oraz zbioru łączących je krawędzi. Układ hierarchiczny zbudowany za pomocą powyższych elementów jest wbudowany w strukturę mapy. Kolejne stany czasowe są reprezentowane przez warstwy. Podobnie jak w metodzie Space Time Cube oś pionowa reprezentuje czas. Zmiana wartości atrybutu dla każdego węzła jest kodowana za pomocą koloru wychodzącego z niego odcinka. Kwestię znikania i pojawiania się nowych węzłów rozwiązano stosując odcinki przebijające poszczególne warstwy. Powyższa metoda pozwala użytkownikowi na porównanie i ocenę zmian zachodzących w kolejnych stanach czasowych. Ciekawym podejściem łączącym w sobie zalety metod dynamicznych i statycznych w wizualizacjach czasowo-przestrzennych jest metoda automatycznego rozpoznawa-

nia typów ludzkiej aktywności na podstawie analizy trójwymiarowych kształtów czasowo-przestrzennych (Blank i in., 2005). Wspomniane kształty generowano opierając się na sekwencji wideo, prezentującej ludzkie ruchy (rys. 1). Analiza powstałych kształtów jest użyteczna w rozpoznawaniu i wykrywaniu zdarzeń.

Podejście to stało się inspiracją do opracowania metody obrazującej ewolucję geometrii obiektu przestrzennego w czasie.



Rysunek 1. Wizualizacja kształtów czasowo-przestrzennych (źródło: Blank, 2005)

Zastosowanie triangulacji w analizach czasowo-przestrzennych

W artykule przedstawiono próbę wykorzystania triangulacji do generowania powierzchni przedstawiającej ewolucję geometrii obiektów liniowych. Zaprezentowana metoda opiera się na połączeniu metody Space Time Cube z triangulacją. Dzięki zastosowaniu triangulacji możliwe stało się uzyskanie powierzchni stanowiącej podstawę do automatycznej analizy i wizualizacji dynamiki zmian geometrii obiektów liniowych w wielu stanach czasowych. W celu zilustrowania proponowanego podejścia wygenerowano zbiór danych testowych przedstawiający ewolucję pojedynczego obiektu przestrzennego w czterech stanach czasowych (rys. 2). Analogicznie jak w przypadku metody Space Time Cube osie poziome X, Y definiują odniesienie przestrzenne, a oś pionowa T czas.

Dla powyższej metody założono, że trójkąty powinny być generowane tylko pomiędzy warstwami sąsiadującymi ze sobą w czasie. W tym celu, dla każdego wierzchołka obliczono azymut w lokalnym układzie współrzędnych. Na tej podstawie wygenerowano zbiór wierzchołków tymczasowych o współrzędnych (Az_i, T_i) gdzie:

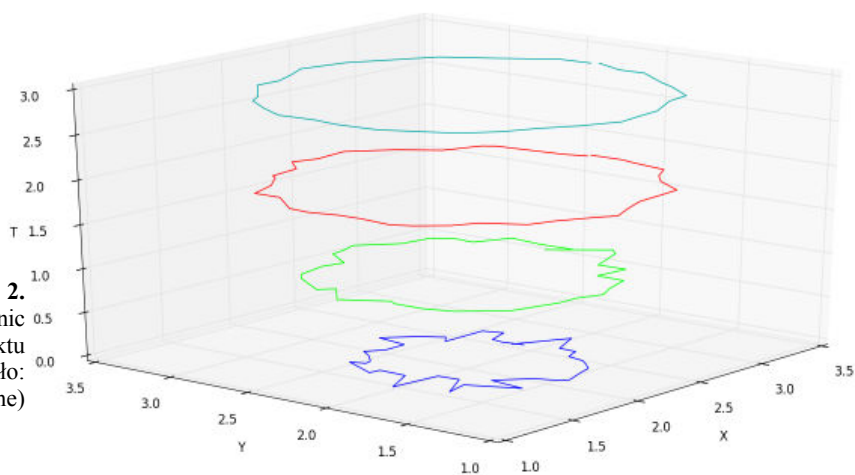
Az_i – azymut i -tego wierzchołka analizowanego obiektu,

T_i – wartość stanu czasowego i -tego wierzchołka analizowanego obiektu.

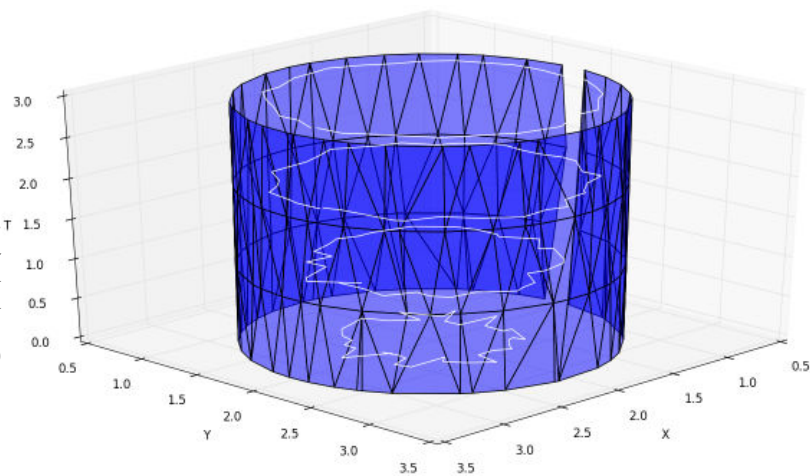
Na zbiorze (Az, T) przeprowadzono triangulację Delaunaya, uzyskując w ten sposób zbiór trójkątów łączących tylko sąsiadujące ze sobą warstwy (rys. 3).

Następnie wierzchołkom wygenerowanych trójkątów przypisano współrzędne pierwotne, generując powierzchnię przedstawiającą ewolucję zmian geometrii obiektu w czasie (rys. 4).

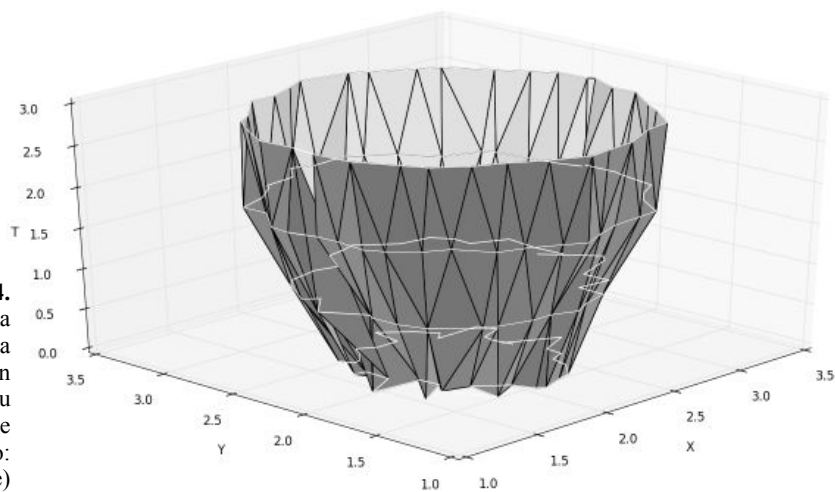
Rysunek 2.
Przebieg granic
objektu
w czasie (źródło:
opracowanie własne)



Rysunek 3.
Triangulacja
Delaunaya przebiegu
granic obiektu
po czasie (źródło:
opracowanie własne)



Rysunek 4.
Powierzchnia
przedstawiająca
ewolucję zmian
geometrii obiektu
w czasie
(źródło:
opracowanie własne)



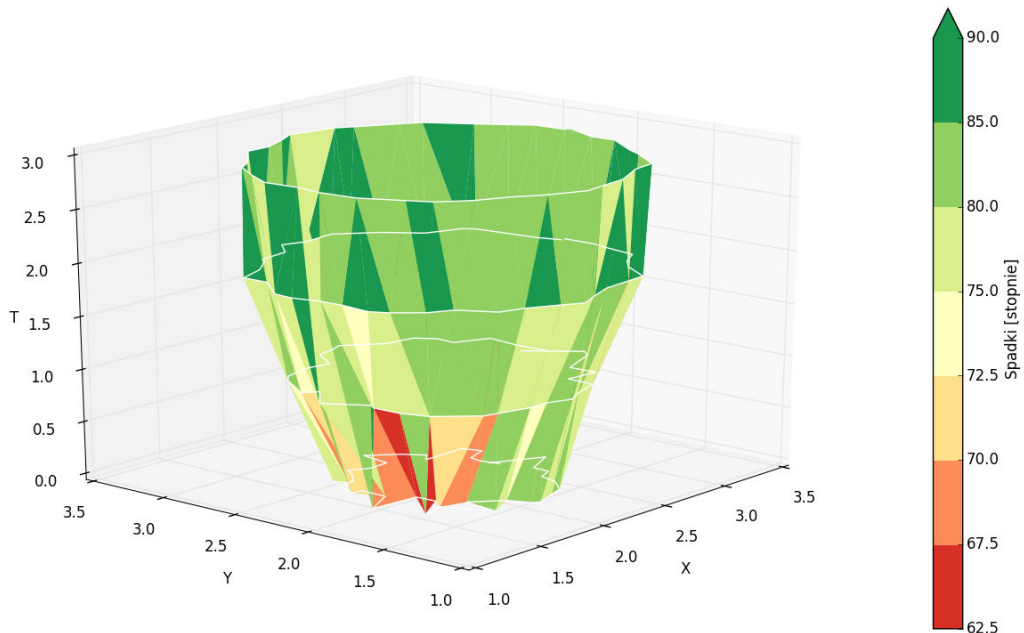
Wizualizacja prędkości zmian w czasie obiektu przestrzennego

Uzyskana w ten sposób powierzchnia może służyć do wykonywania szczegółowych analiz za pomocą klasycznych technik GIS. Przykładem takiego zastosowania jest analiza spadków jako miara prędkości zmian w czasie geometrii obiektu przestrzennego. W tym celu dla każdego trójkąta obliczono wartość spadku w stopniach, a następnie zwizualizowano za pomocą skali barwnej. Kolor czerwony reprezentuje największe zmiany – małe kąty spadków, a kolor zielony najmniejsze – duże kąty spadków (rys. 5).

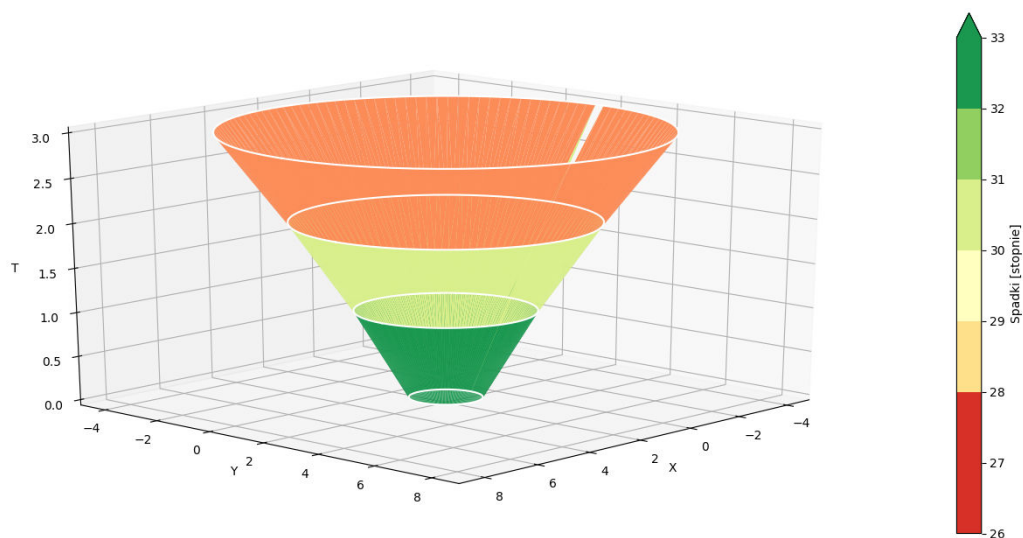
Szczególnym przypadkiem ewolucji obiektu przestrzennego będzie sytuacja, w której zmienia się tylko jego powierzchnia zaś geometria pozostaje niezmieniona. W takim przypadku wartości obliczonych spadków będą wskazywały na wielkość zmiany powierzchni obiektu a nie samej geometrii (rys. 6).

Chcąc zwizualizować trend zmian w czasie, dla całej długości obiektu, wykorzystano zbiór trójkątów o współrzędnych wierzchołków (A_{z_i} , T_i). Analogicznie do rysunku 5, każdemu z trójkątów przypisano odpowiadającą mu wartość spadku i przyjęto skalę barwną od czerwonego do zielonego (rys. 7).

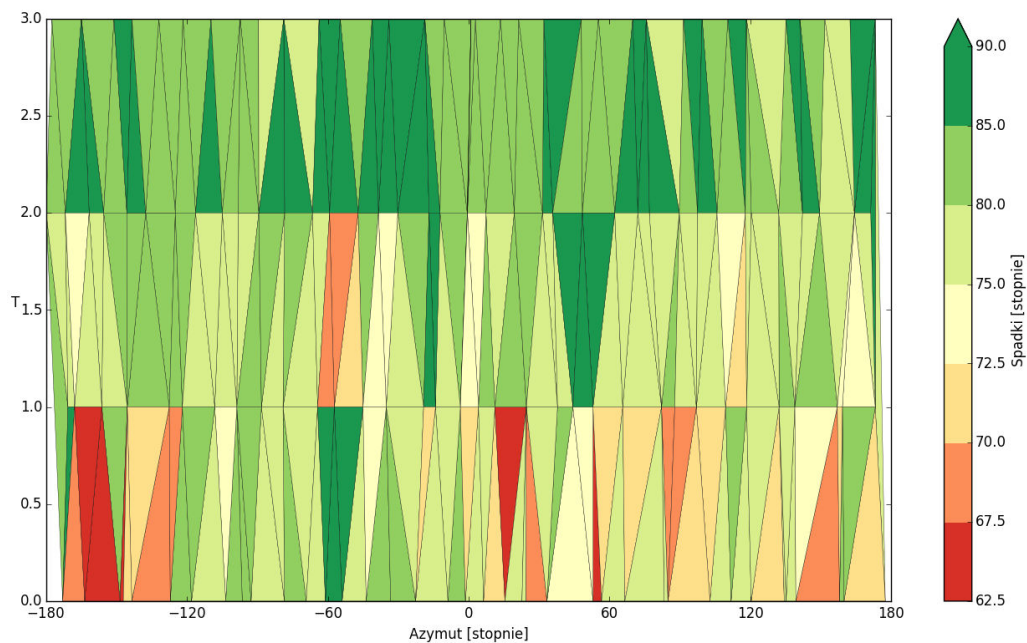
Cały proces przetwarzania danych wykonano w środowisku programistycznym *Python* 2.7.10 z wykorzystaniem biblioteki do obliczeń numerycznych *numpy* oraz *scipy.spatial*. Do wizualizacji wyników zastosowano bibliotekę *matplotlib*.



Rysunek 5. Zastosowania analizy spadków do wizualizacji prędkości zmian geometrii obiektu przestrzennego (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 6. Przykład ewolucji obiektu przestrzennego przy nieziennej geometrii (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 7. Dwuwymiarowa wizualizacja prędkości zmian geometrii obiektu przestrzennego (źródło: opracowanie własne)

Wnioski

Zaprezentowane rozwiązanie ma na celu z jednej strony statyczną wizualizację ewolucji geometrii obiektu przestrzennego w czasie, a z drugiej ma umożliwić analizę trendu tej ewolucji. Łączy ono zalety metod dynamicznych, pozwalając na wizualizację trendu zmian w czasie, jednocześnie umożliwiając szczegółowe analizy. Zastosowanie triangulacji do tworzenia powierzchni pomiędzy kolejnymi stanami czasowymi pozwoliło na wykorzystanie klasycznych metod GIS do automatyzacji całego procesu. Należy podkreślić, iż oczywiście nie rozwiązuje ono problemu w całości. W przypadku obiektów o bardziej skomplikowanej geometrii, dla części wierzchołków azymut może przyjmować bardzo zbliżone wartości. W takich sytuacjach może dochodzić do niekontrolowanych uproszczeń generowanej powierzchni, co może mieć negatywny wpływ na dalszą analizę danych. W szczególnych przypadkach, gdy zmianie podlega jedynie powierzchnia a nie sama geometria obiektu, analiza spadków będzie opisywała zmianę samej powierzchni, a nie geometrii. Powyższy problem będzie wymagał nałożenia dodatkowych warunków ograniczających wykorzystanie prezentowanej metody. W dalszej perspektywie planowane jest opracowywanie kolejnych miar obrazujących trend zmian w czasie obiektów przestrzennych.

Podziękowania: Dziękuję dwóm Recenzentom za sporządzone w trybie dwustronnie anonimowym recenzje, które spowodowały między innymi uściślenie tytułu artykułu i słów kluczowych. Dziękuję również za zwrócenie uwagi na potrzebę odniesienia do publikacji krajowych. Analiza prac zaproponowanych autorów pozwoliła mi na znaczące uzupełnienie i rozszerzenie wstępu teoretycznego do wizualizacji zjawisk dynamicznych.

Finansowanie: Badania wykonano w ramach grantu dziekańskiego numer 15.11.150391/16 na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie.

Literatura (References)

- Aigner W., Miksch S., Schumann H., Tominski C., 2011: Visualization of Time-Oriented Data. Springer: 76-80.
- Bach B., Dragicevic P., Archambault D., Hurter C., Carpendale S., 2014: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations. Eurographics Conference on Visualization (EuroVis): 1-19.
- Blank M., Gorelick L., Shechtman E., Irani M., Basri R., 2005: Actions as Space-Time Shapes. Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05), vol. 29, no. 12: 2247-2253.
- DiBiase D., MacEachren A.M., Krygier J., Reeves C., Brenner A., 1992: Animation and the role of map design in scientific visualization. *Cartography and Cartographic Information Systems* vol. 19, nr 4: 201-214.
- Dukaczewski D., 2000: Kartograficzna prezentacja dynamiki zmian użytkowania ziemi, za pomocą animowanych map elektronicznych na przykładzie Gór Izerskich (Cartographic presentation of the dynamics of land use changes using animated electronic maps using the example of Izerskie Mountains. The doctor's thesis). Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyńskiego, rozprawa doktorska: 183 s., załączniki 150 s., 1 CD-RW.
- Dukaczewski D., 2004: Prezentacja dynamiki zjawisk za pomocą zmiennych statystycznych i dynamicznych stosowanych w elektronicznych animacjach kartograficznych (Presentation of dynamics with aid of static and dynamic variables potentially applied in electronic cartographic animations). *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii* vol. L, z. 108.

- Frank A.U., 1998: Different Types of «Times» in GIS. [In:] Spatial and Temporal Reasoning in GIS, Oxford University Press, New York: 40-61.
- Hadlak S., Tominski C., Schulz H-J., Schumann H., 2010: Visualization of Hierarchies in Space and Time. Workshop on Geospatial Visual Analytics: Focus on Time at the AGILE, International Conference on Geographic Information Science vol. 24, issue 10: 1497-1513.
- Hägerstrand T., 1970: What About People in Regional Science? Papers of the Regional Science Association 24: 7-21.
- Kraak M.J., 2003: The Space-Time Cube Revisited from a Geovisualization Perspective. Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC), The International Cartographic Association (ICA), Newcastle, UK: 1988-1995.
- Kowalski P.J., 2002: Kartografia dynamiczna – wyzwanie metodyczne i techniczne (Dynamic cartography – methodological and technical challenges. [In:] Pawlak (edit.), The world of maps, the world on maps). [W:] Pawlak W. (red.), Świat mapy, świat na mapie: 137-155, Uniwersytet Wrocławski, Pracownia Atlasu Dolnego Śląska, Zakład Kartografii.
- Matplotlib user guide. Dostęp 6.11.2016 r. <http://matplotlib.org/users/>
- Meskuła M.W., 2001: Kartograficzne sposoby prezentowania dynamiki zjawisk (Cartographic presentation methods of dynamic phenomena). *Polski Przegląd Kartograficzny* t. 33, nr 4: 328-338.
- Norma ISO 19108, 2002: Geographic information – Temporal schema, ISO, Switzerland.
- Numpy Manual. Dostęp 6.11.2016 r. <https://docs.scipy.org/doc/numpy/reference/>
- Opach T., 2007: Teoria przekazu kartograficznego jako podstawa badań efektywności map animowanych prezentujących dynamikę zjawisk (Theory of cartographic communication as the basis for the research on the effectiveness of temporal animated maps). *Polski Przegląd Kartograficzny* t. 39, nr 1: 5-18.
- SciPy Manual. Dostęp 6.11.2016 r. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/>
- Tominski C., Schulze-Wollgast P., Schumann H., 2005: 3D Information Visualization for Time Dependent Data on Maps. Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05): 175-181.
- Tversky B., Morrison J.B., Betrancourt M., 2002: Animation: Can It Facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies* 57(4): 247-262.

Streszczenie

Wizualizacja danych czasowo-przestrzennych opiera się głównie na wykorzystaniu odpowiednio dobranych metod kartograficznych. Można wyróżnić dwa zasadnicze podejścia do powyższego problemu: wykorzystanie animacji lub sekwencji obrazów, bądź jednoczesne wyświetlanie warstw prezentujących stany obiektów w danych stanach czasowych. Pierwsza z metod świetnie nadaje się do oddania charakteru zjawiska oraz głównego trendu zmian w czasie, jednak nie jest najlepszym rozwiązaniem dla szczegółowych analiz w wielu stanach czasowych. Druga grupa metod (do której należy między innymi Space Time Cube), w której cechy przestrzenne obiektów prezentowane są w dwóch wymiarach, a trzecim wymiarem pozostaje czas, lepiej nadaje się do szczegółowych analiz. W pracy zaproponowano wykorzystanie triangulacji do wizualizacji i parametryzacji zmian czasowo-przestrzennych. Metoda ta opiera się na połączeniu zmodyfikowanej metody Space Time Cube z triangulacją. Atutem prezentowanego rozwiązania jest możliwość adaptacji klasycznych analiz przestrzennych na potrzeby opisu zmian w czasie geometrii obiektów przestrzennych.

Abstract

Visualisations of spatio-temporal data are mainly based on appropriately selected cartographic methods. Two main approaches to this problem exist: the use of animation or a sequence of images or simultaneous display of layers presenting the state of the objects in given time steps. In the second group of methods (for example Space Time Cube), the spatial characteristics of objects are presented in two dimensions and the third dimension is time. This group of methods is more suitable for detailed analysis. In this paper the use of triangulation for visualisation and analysis of spatio-temporal

changes is presented. The presented method is based on combination of the modified Space Time Cube method and triangulation. The advantage of this solution is the possibility to adapt the classic spatial analysis for the description of changes during determination of the geometry of spatial objects.

Dane autora / Authors details:

mgr inż. Norbert Kurpiel
doktorant AGH w Katedrze Geomatyki
<https://orcid.org/0000-0002-3067-5768>
nkurpiel@agh.edu.pl

Przesłano / Received 4.12.2016

Zaakceptowano / Accepted 15.07. 2017

Opublikowano / Published 30.09. 2017