

## OBIEKTOWA ANALIZA OBRAZÓW W INTERPRETACJI DANYCH Z ANEMOMETRII OBRAZOWEJ

### OBJECT ORIENTED IMAGE PROCESSING IN THE ANALYSIS OF PIV DATA

**Marek Przyborski**

Zakład Geodezji, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

SŁOWA KLUCZOWE: anemometria obrazowa, analiza i przetwarzanie obrazów

STRESZCZENIE: Postęp jaki nastąpił w zakresie fotogrametrii i teledetekcji spowodował, iż tematyka którą obecnie zajmują się badacze na całym świecie zdecydowanie wykroczyła poza tradycyjne ramy w jakich zwykle postrzega się te dziedziny nauki. Jednym z przykładów jest bez wątpienia anemometria obrazowa. Obrazy generowane przez tą metodę pomiarową są przedmiotem rozważań niniejszego artykułu.

#### 1. WSTĘP

PIV (Particle Image Velocimetry), czyli anemometria obrazowa jest jedną z ciekawszych technik pomiarowych zmierzających do jak najdoskonalszego przedstawienia przepływu różnego rodzaju płynów. Większość przeprowadzanych eksperymentów w ramach tej techniki realizowana jest w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, gdzie badacze mogą ingerować w przebieg analizowanego przepływu. Jednak najciekawsze z punktu widzenia uzyskanych wyników są pomiary realizowane w naturalnym środowisku. Obrazy generowane przez tą metodę są przykładem niezmiernie ciekawych kombinacji, które stanowią bardzo poważne wyzwanie z punktu widzenia analizy obrazów. Niniejszy artykuł przedstawia nową metodę analizy obrazów pozyskiwanych z eksperymentów dotyczących dynamiki środowiska morskiego a realizowanych przy wykorzystaniu techniki anemometrii obrazowej.

Analiza przepływów ma wiele bardzo ciekawych zastosowań i to nie tylko w mechanice płynów. Fundamentalny czynnik czyli separacja dwóch sąsiednich elementów płynu w czasie jest nadal nierozwiązanym zagadnieniem mającym bardzo duży wpływ na scenariusze powstawania przepływów turbulentnych [Otto i Mann, 2000; Crank, 1975]. Te natomiast są podstawowym rodzajem przepływu jaki możemy obserwować w naturze. Rozwijające się na niebie chmury, wodospad, wzburzona powierzchnia morza, czy też mieszanie kawy z mlekiem wszystkie te zjawiska reprezentują turbulentny rodzaj ruchu. Jednym z bardzo ważnych przejawów zjawiska dyspersji czyli oddalania się dwóch sąsiadujących elementów płynu jest oddalanie się i rozrzut rozbitków na powierzchni

sztormowego morza. W odniesieniu do wymiarów morza możemy traktować rozbitka jako punkt materialny, zatem przyjmując takie założenie możemy stwierdzić iż porusza się on zgodnie z ruchem płynu a właściwie prądu powierzchniowego. Rozrzut ten ma decydujące znaczenie dla powodzenia akcji ratunkowej i był analizowany w ramach projektu badawczego nr O T00A 013 28.

Ponieważ poznanie tych zagadnień ma swój udział w ratowaniu życia ludzkiego zatem ich znaczenie z pewnością jest bardzo duże. Badanie przepływów w środowisku naturalnym jest bardzo złożonym procesem. Jednakże zgodnie z teorią Kołmogorowa zmiana skali w której obserwujemy badany przepływ nie powinno mieć wpływu na wyniki obserwacji. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki eksperymentu przeprowadzonego w środowisku naturalnym na plaży w Gdyni przy głębokości wody około 20 cm w strefie fali przybojowej.

## 2. OPIS EKSPERYMENTÓW

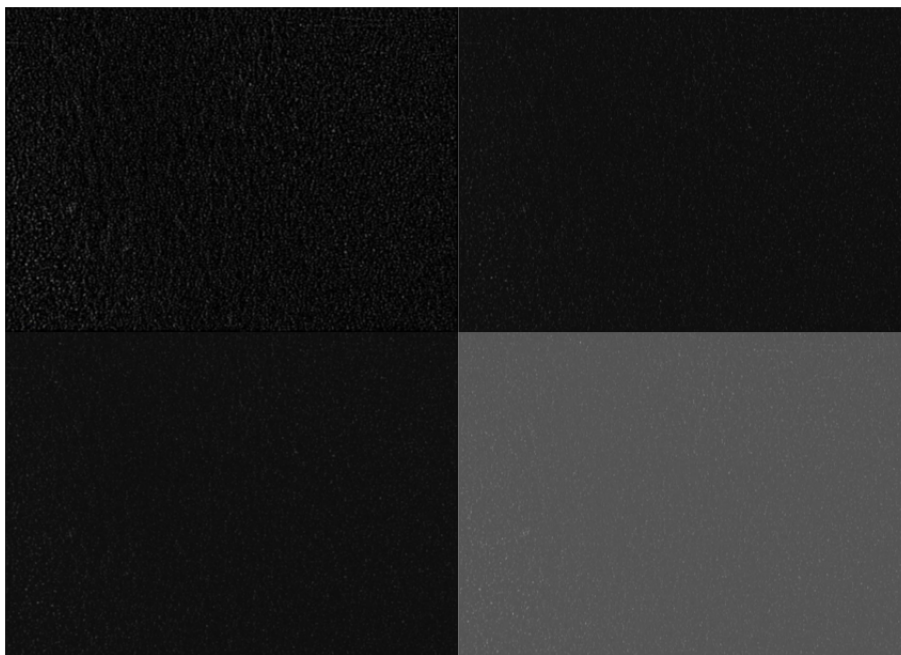
Zdjęcia zarejestrowane podczas tego eksperymentu zawierają ruch cząsteczek znajdujących się w wodzie i poruszających się wraz z ruchem wody. Obserwowane cząsteczki to ziarna piachu oraz drobiny glonów, po przetworzeniu kolorowego obrazu do postaci czarno-białej otrzymujemy wynik, który zaprezentowany jest na rysunku 1.



Rys. 1. Jedno ze zdjęć poruszających się w fali przybojowej cząsteczek

Rysunek 1 jest bardzo trudny do analizy i na pierwszy rzut oka zawiera bardzo mało informacji. Przyglądając się bardziej wnikliwie możemy znaleźć tu obiekty, które różnią się jasnością. To właśnie ona posłuży do wydobywania z takiego zdjęcia interesujących informacji. Tradycyjne podejście do analizy tego typu obrazów [Adrian i Yao, 1984; Emrich, 1981; Shavit et al., 2003; Eggels et al., 1993] zakłada podział zdjęcia na regiony analizy, które z reguły są wielkości 64x64 pikseli. Okno tej wielkości jest przesuwane przez cały obraz z takim założeniem aby sąsiadujące okna zakładały się na siebie tak aby następne okno posiadało część wspólną z poprzednim. Następnie obliczana jest korelacja wzajemna dwóch sąsiadujących okien. Gdyby pozycje obiektów na obu oknach były takie same pik korelacyjny znajdowałby się w samym środku wykresu, natomiast w przypadku gdy ich pozycje ulegną zmianie wówczas pik korelacyjny przesunie się w kierunku który będzie wypadkową ruchu wszystkich obiektów znajdujących się w oknie analizy. Zatem mamy tu do czynienia ze statystycznym podejściem do wyznaczania kierunku i prędkości cząsteczek znajdujących się w oknie analizy. Ponieważ w zależności od rodzaju obserwowanego przepływu w oknie analizy mogą znajdować się ogromne ilości cząsteczek. Czyli statystyczne podejście do ich ruchu może nieść ze sobą wiele przybliżeń.

Proponowana metoda analizy zakłada wstępne przetworzenie interesującego nas obrazu i usunięcie z niego najmniej znaczących elementów. W tym celu posłużono się metodą składowych głównych, której efekt działania przedstawiono na rysunku. 2.



Rys. 2. Cztery pierwsze składowe główne analizowanego obrazu (zgodnie z ruchem wskazówek zegara w lewym górnym rogu obraz zawarty w pierwszej składowej głównej)

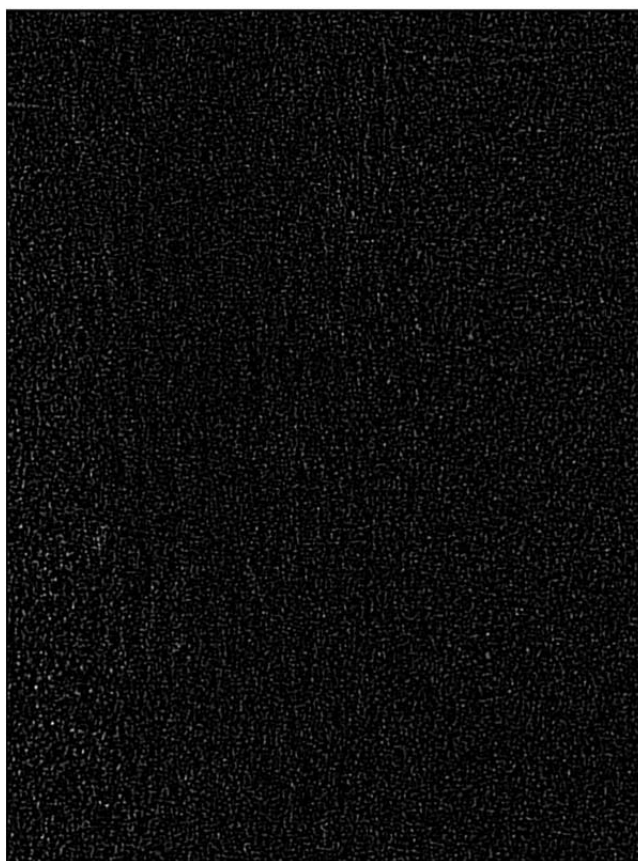
Obserwując 4 pierwsze składowe główne interesującego nas obrazu (rys. 2) możemy stwierdzić iż 1 składowa zawiera najwięcej informacji dotyczącej obiektów znajdujących

się na analizowanym obrazie. Wyniki zawierające wariancję poszczególnych składowych głównych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Składowe główne analizowanego obrazu

| Numer składowej głównej | Wariancja  |
|-------------------------|------------|
| 1                       | 957.65660  |
| 2                       | 2.4729513  |
| 3                       | 1.3086518  |
| 4                       | 0.66366324 |

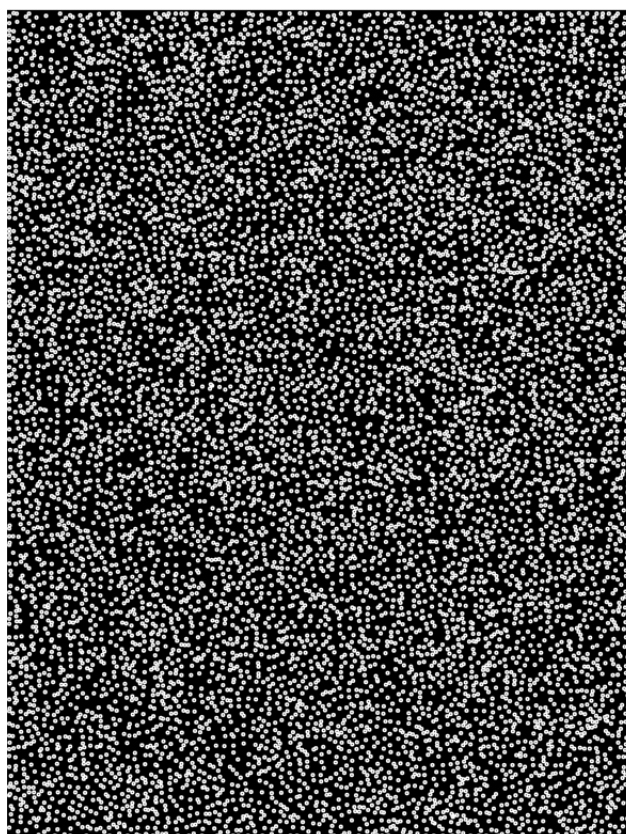
Pierwsza składowa główna analizowanego obrazu zawiera 99.537963% informacji na temat tego co przedstawia zarejestrowane zdjęcie. Do dalszych rozważań przyjęto, iż hybrydowy obraz powstały ze złożenia informacji zawartej w 1 i 2 składowej głównej. Nowy hybrydowy obraz zaprezentowano na rysunku 3. Pozostałe składowe zdominowane są przez szum i założono iż nie wnoszą nic istotnego do analizowanego zdjęcia.



Rys. 3. Hybrydowy obraz uzyskany ze złożenia pierwszej i drugiej składowej głównej

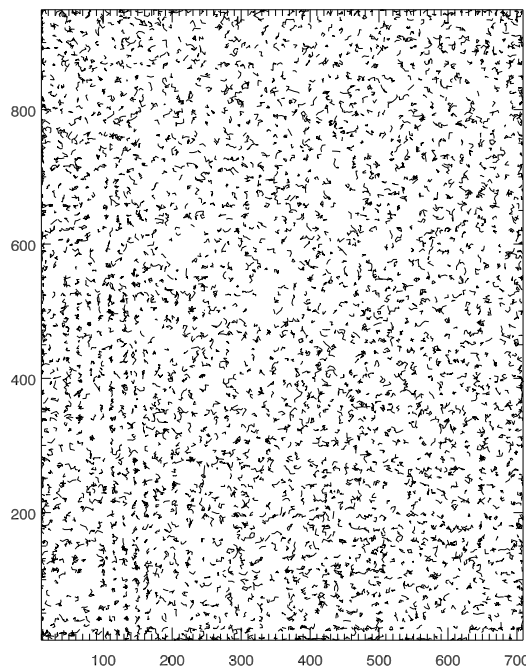
Analiza głównych składowych (Principal Component Analysis, PCA) – to jedna ze statystycznych metod analizy czynnikowej. Zbiór danych składający się z  $N$  obserwacji, z których każda obejmuje  $K$  zmiennych, można interpretować jako chmurę  $N$  punktów w przestrzeni  $K$ -wymiarowej. Celem analizy głównych składowych jest taki obrót układu współrzędnych, aby maksymalizować w pierwszej kolejności wariancję pierwszej współrzędnej, następnie wariancję drugiej współrzędnej, itd.. Tak przekształcone wartości współrzędnych nazywane są ładunkami wygenerowanych czynników (składowych głównych). W ten sposób konstruowana jest nowa przestrzeń obserwacji, w której najwięcej zmienności wyjaśniają początkowe czynniki.

PCA jest często używana do zmniejszania rozmiaru zbioru danych statystycznych, poprzez odrzucenie ostatnich czynników. Można też poszukać merytorycznej interpretacji czynników, zależnej od rodzaju danych, co pozwala lepiej zrozumieć ich naturę, choć bywa to trudne przy większej liczbie badanych zmiennych. W przetwarzaniu sygnałów analiza PCA jest używana np. do kompresji sygnału.



Rys. 4. Wszystkie zidentyfikowane cząsteczki obrazu hybrydowego przedstawionego na rysunku 3

PCA może być oparte albo na macierzy korelacji, albo na macierzy kowariancji utworzonej ze zbioru wejściowego. Algorytm w obydwu wersjach jest poza tym identyczny, jednak różne są uzyskane wyniki. W przypadku użycia macierzy kowariancji, zmienne w zbiorze wejściowym o największej wariancji mają największy wpływ na wynik, co może być wskazane, jeśli zmienne reprezentują porównywalne wielkości, np. procentowe zmiany kursów różnych akcji. Użycie macierzy korelacji natomiast odpowiada wstępnej normalizacji zbioru wejściowego tak, aby każda zmienna miała na wejściu identyczną wariancję, co może być zalecane, jeśli wartości zmiennych nie są porównywalne. Po uzyskaniu obrazu hybrydowego (rys. 3) kolejnym krokiem jest zidentyfikowanie wszystkich cząsteczek zawartych w tym obrazie. Przykład uzyskanego w tym kroku wyniku przedstawiono na rysunku 4. Ponieważ cząsteczek jest bardzo dużo i z pewnością nie wszystkie są istotne z punktu widzenia poprawności przeprowadzanych analiz, zastosowano dodatkowe kryterium wyboru cząsteczek - jasność. Do dalszej analizy wybrano tylko te cząsteczki, które reprezentują ten sam poziom jasności i znajdują się na wszystkich zarejestrowanych obrazach. Posłużyły one do wyznaczenia trajektorii ich poruszania się w trakcie całego czasu obserwacji. Trajektorie wszystkich zidentyfikowanych na zarejestrowanych obrazach cząsteczek, posiadających dodatkowo ten sam poziom jasności, przedstawiono na Rysunku 5. Ponieważ analizie poddano 7 500 klatek (około 4 min. filmu) czytelność rysunku przedstawiającego trajektorie byłaby znikoma gdyby wyświetlić ruch wszystkich cząsteczek w całym czasie trwania obserwacji, dlatego na rysunku 5 przedstawiono tylko 20 kroków czasowych.



Rys. 5. Trajektorie zidentyfikowanych na obrazie hybrydowym cząsteczek reprezentujących ten sam poziom jasności. Rysunek przedstawia trajektorie o długości 20 kroków czasowych



### 3. PODSUMOWANIE

Analizując zgromadzone dane, badano ewolucję trajektorii przemieszczania się cząsteczek w obserwowanym przepływie. W odróżnieniu od powszechnie stosowanych algorytmów PIV przyjęto za podstawę rozpoznane indywidualne cząsteczki, których ruch jest następnie śledzony przez cały czas obserwacji przepływu. Jako czynnik decydujący o identyfikacji cząsteczki przyjęto jej jasność. Uzyskuje się w ten sposób informację o rzeczywistym ruchu cząsteczek znajdujących się w obserwowanym płynie, nie zaś ich uśrednioną reprezentację. Pozyskana w ten sposób informacja jest ważna z punktu widzenia analizy dyspersji sąsiednich cząsteczek płynu, co jest niezmiernie istotne w badaniach zjawiska turbulencji. Wyniki te również mogą mieć istotne znaczenie podczas np.: badań laboratoryjnych dotyczących wzrostu kolonii bakterii, czy też rozwoju sztucznych organizmów hodowanych w kontrolowanych warunkach. Poznanie mechanizmu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń również jest uzależnione od ruchu cząsteczek medium w którym się znajdują, badania tego typu umożliwiają doskonalenie modeli, dzięki którym jesteśmy w stanie przewidywać trasy ich przemieszczania się.

### 4. LITERATURA

- Adrian, R. J., Yao, C. S., 1984. Development of pulsed laser velocimetry (PLV) for measurement of turbulent flow. In: *Proc. Symp. Turbul.* (ed. X. Reed *et al.*) University of Missouri, Rolla.
- Arroyo M., P., Yonte T., Quintanilla M., Saviron J., M., 1988. Particle image velocimetry in Rayleigh-Benard convection: Photographs with a high number of exposures, *Opt. Lasers Eng.* 9, pp. 295.
- Cantwell B., J., 1981. Organized motion in turbulent flow. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 13, pp. 457.
- Crank J., 1975. *The Mathematics of Diffusion*, Oxford University Press, NY.
- Eggels J., G., M., Westerweel J., Adrian R., J., Nieuwstadt F., T., M., 1993. Comparison of flow structures in DNS & PIV studies of turbulent pipe flow. In: *Proc. Int. Conf. On near-wall turbulent flows*.
- Emrich, R. J., 1981. *Methods of experimental physics*. Part 18A: Fluid Dynamics. Academic, New York. s. 6-64.
- Ott, S. & Mann, J., 2000. An experimental investigation of the relative diffusion of particle pairs in three-dimensional turbulent flow. *J. Fluid Mech.* 422, 207-223.
- Scotti A., Meneveau C., 1999. A fractal model for large eddy simulation of turbulent flow, *Physica D* 127, pp. 198-232.
- Shavit U., Moltchanov S., Agnon Y., 2003. Particle resuspension in waves using visualisation and PIV measurements – coherence and intermittency, *Int. Journal of Multiphase Flow* 29, pp. 1183-1192.

## **OBJECT ORIENTED IMAGE PROCESSING IN THE ANALYSIS OF PIV DATA**

KEY WORDS: PIV, image processing

### **Summary**

The great progress in the field of photogrammetry and remote sensing has broken the frontiers of this kind of science. One of the good examples might be Particle Image Velocimetry method. This paper is devoted to the analysis of images recorded by using this particular method. The experiment that we would like to describe took place in the shallow water at the beach near the Gdynia Harbor. We also would like to answer the question, is it possible to trace the trajectories of individual particles?

Dane autora:

Dr hab. inż. Marek Przyborski  
e-mail: [marek.przyborski@pg.gda.pl](mailto:marek.przyborski@pg.gda.pl)  
telefon: 502 419 782