

Włodzimierz Mosorow*

Wyznaczanie okien czasowych do obliczania parametrów przepływu w tomografii elektrycznej

1. Wprowadzenie

Elektryczna tomografia pojemnościowa (*Electrical Capacitance Tomography* – ECT) jest jedną z wielu technik systemów tomografii procesowej, która została opracowana w późnych latach 80. [1, 2]. Od tego czasu technika ta rozwija się i ma szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu przy bezinwazyjnych pomiarach wszelkiego rodzaju przepływów wielofazowych takich jak gaz-ciecz oraz gaz-ciało stałe [3, 4]. Przy zastosowaniu tomografii do badań procesów dostarczana jest znacząca liczba obrazów, co powoduje zapotrzebowanie na odpowiednie metody wydobycia z nich informacji o przebiegu procesu w trybie on-line. Zastosowanie takich metod w praktyce pozwoli na kontrolę i monitorowanie różnego rodzaju przepływów i procesów, np. przepływu pneumatycznego materiałów sypkich, przepływu grawitacyjnego oraz procesów takich, jak m.in.:

- mieszanie,
- topnienie,
- rozpuszczanie.

Współczesne metody analizy obrazów tomograficznych pozwalają na znalezienie parametrów przepływów, m.in.:

- czasu przejścia materiału,
- prędkości przepływu,
- ilości masy przepływającej w jednostce czasu.

Zastosowanie funkcji korelacji wzajemnej w analizie szeregów czasowych obrazów tomograficznych stało się klasyczną metodą do wyznaczania wspomnianych parametrów.

* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka w Łodzi

2. Opis algorytmu

Dwupłaszczyznowy system tomograficzny pozwala wyznaczyć prędkość przepływu na podstawie funkcji korelacji wzajemnej obrazów otrzymanych z dwóch przekrojów X i Y [5]

$$R_M(n) = k \cdot \sum_{m=N_p}^{N_p+M} x_i(m) \cdot y_i(m+n), \quad n = \dots, -1, 0, 1, \dots, \quad (1)$$

gdzie:

- $x_i(m), y_i(m)$ – i -ty piksel m -tego obrazu odpowiednio w przekroju X i Y ,
- k – współczynnik normalizacji,
- M – liczba obrazów branych pod uwagę do obliczania funkcji korelacji,
- N_p – numer pierwszej ramki, od której obliczana jest funkcja korelacji.

Tak więc funkcja R_M jest obliczana dla ramek o numerach $[N_p, N_p+M]$, a następnie jest obliczana dla numerów ramek inkrementowanych $[N_p+1, N_p+M+1]$. Przeprowadzając takie obliczenia cyklicznie, otrzymuje się funkcję korelacji dla poszczególnych interwałów czasowych, co następnie pozwala na obliczenie parametrów przepływu.

Ponieważ przepływ ma charakter quasi-okresowy możliwa jest sytuacja, że funkcja korelacji obliczana jest w interwale Δt , który nie obejmuje fazy występowania korka, tzn. kiedy rura jest pusta. Powoduje to, że funkcja korelacji wzajemnej (1) jest obliczana dla danych, które przedstawiają sobą szum pomiarowy z czujników tomografu. Jest oczywiste, że obliczona dla takich danych funkcja korelacji nie może być stosowana do obliczania prędkości przepływu.

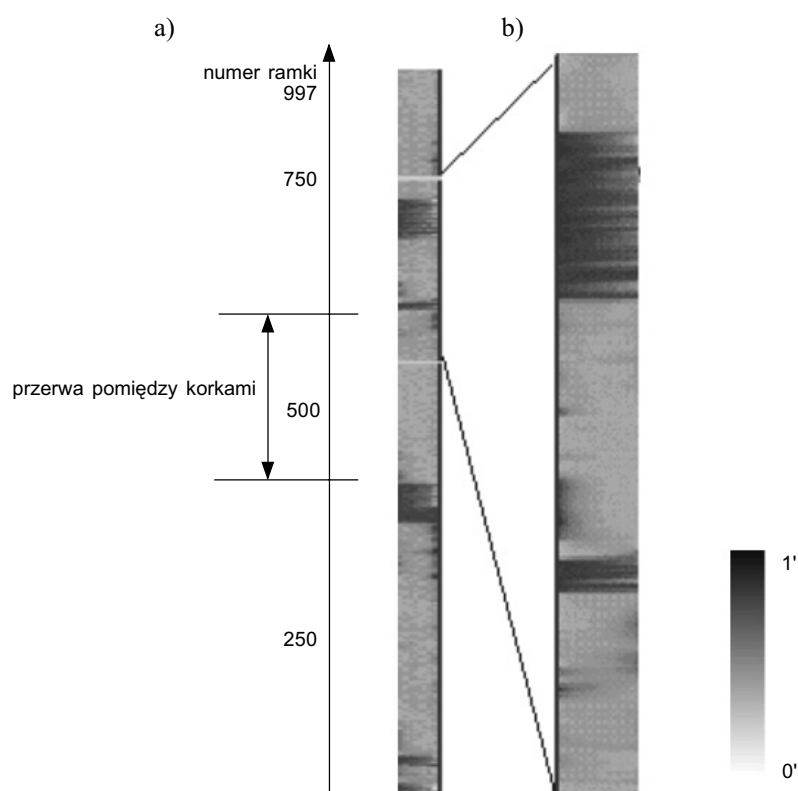
Dla ilustracji quasi-okresowego charakteru przepływu zastosowano charakterystykę – rytm wizyjny [6]. Na rysunku 1 przedstawiono rytm wizyjny VR_L przykładowej sekwencji obrazów $L = 999$ pionowego transportu pneumatycznego substancji sypkich, zebranych z okresem próbkowania $T = 0,01$ s.

Z obrazu VR_L , w którym jasność każdego punktu jest proporcjonalna do wartości koncentracji znormalizowanej od 0 do 1, wyraźnie widać, że przerwa pomiędzy kolejnymi korkami wynosi około 380 ramek. Stąd warunkiem koniecznym do wykonywania obliczeń funkcji korelacji jest potrzeba uzupełnienia oprogramowania tomografu o moduł wyznaczania parametrów czasowych, przy których fragment rury, na którym umieszczone są czujniki tomografu, jest pusty. W znanej autorowi literaturze nie są opisywane sposoby wyznaczania ramek, dla których jest obliczana funkcja korelacji. Najczęściej numery N_p oraz N_p+M są ustawione arbitralnie bez uwzględnienia charakteru przepływu [7].

W związku z tym poniżej przedstawiono zaproponowane rozwiązanie polegające na automatycznym wykrywaniu braku przepływającej substancji. Metoda polega na porównaniu wyznaczonej średniej wartości koncentracji w bieżącym interwale $[N_p, N_p+M]$ z wartością x_0 wyznaczoną przy pomiarach, gdy rura jest pusta

$$\frac{1}{M} \sum_{m=N_p}^{N_p+M} x_i(m) > x_0 \quad (2)$$

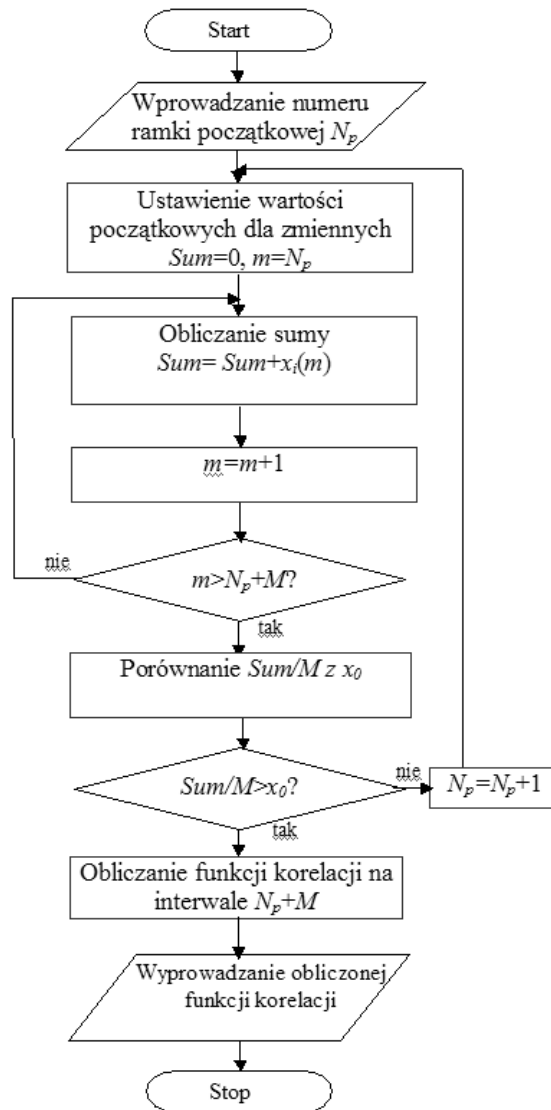
przy czym liczba ramek M jest wybierana doświadczalnie w zależności od czasu próbkowania T oraz prędkości transportującego gazu v_g . Minimalna wartość M przy $T = 0,01$ s oraz $v_g = 2,2$ m/s wynosi 60 ramek.



Rys. 1. Rytm wizyjny koncentracji: a) 1000 ramek;
b) 4-krotne powiększenie – 250 ramek

Na rysunku 2 jest pokazany schemat blokowy wyznaczania okna czasowego do obliczania funkcji korelacji wzajemnej i -tych pikseli płaszczyzn X i Y .

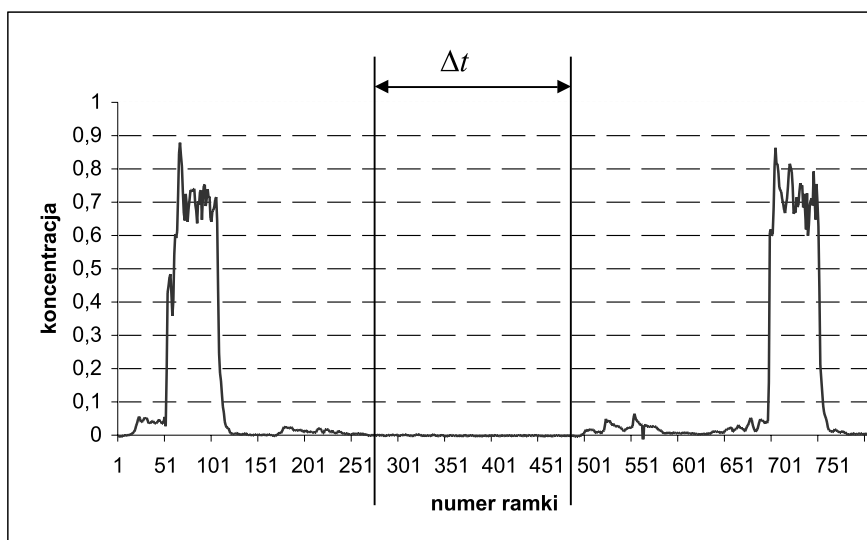
Najpierw jest obliczana średnia wartość koncentracji we wzorze (2) i jeżeli średnia jest większa niż wartość pomiaru przy pustej rurze x_0 , to na takim interwale $[N_p, N_p+M]$ jest obliczana funkcja korelacji. Jeżeli nie, to numer początkowej ramki jest inkrementowany N_p+1 i warunek (2) jest ponownie sprawdzany.



Rys. 2. Algorytm wyznaczania okna czasowego do obliczania funkcji korelacji wzajemnej i -tych pikseli płaszczyzn X i Y

3. Wyniki eksperymentu

Na rysunku 3 przedstawiono koncentracje w środkowym pikselu obrazów w funkcji czasu (numer ramki). W przedziale Δt koncentracja jest na poziomie czułości tomografu, stąd funkcja korelacji nie jest obliczana, gdy interwał $[N_p, N_p + M]$ zawiera się w Δt .



Rys. 3. Koncentracja w środkowym pikselu obrazów jako funkcja czasu (numer ramki); w interwale Δt zmiany koncentracji na poziomie czułości tomografu

Zaproponowane podejście zostało skutecznie wykorzystane w praktyce. Uzupełnienie oprogramowania tomografu pomiarowego służącego do obliczenia prędkości przepływu o moduł wyznaczania czasowych parametrów występowania porcji materiału pozwoliło przeprowadzić poprawną analizę statystyczną, eliminując momenty braku przepływu porcji substancji.

4. Wnioski

W niniejszym artykule zaproponowano metodę wyznaczania przedziałów czasowych do obliczania parametrów przepływu takich jak prędkość i masę. Metoda może znaleźć zastosowanie w automatycznych systemach tomograficznych dokonujących monitorowania przepływów wielofazowych.

Literatura

- [1] Beck M.S, Plaskowski A.: *Cross correlation flowmeters – their design and application*. Bristol, Adam Hilger 1987
- [2] Huang X.M., Dyakowski T., Xie C.G., Xu L.A., Plaskowski A., Beck M.S.: *A tomographic flow imaging system based on capacitance measuring techniques*. [w:] Proc: IX International Conference on Pattern Recognition, Rome, Italy, 1988, 570–572
- [3] Arko A., Waterfall R.C., Beck M. S., Dyakowski T., Sutcliffe P., Byars M.: *Development of Electrical Capacitance Tomography for Solids Mass Flow Measurement and Control of Pneumatic Conveying Systems*. 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, 1999, 140–146

-
- [4] Dyakowski T., Jeanmeure L.F.C., Jaworski A.J.: *Applications of electrical tomography for gas-solids and liquid-solids flows- a review*. Powder Technology, vol. 11(2), 2000, 174–192
 - [5] Beck M.S., Williams R.A.: *Sensor Design and Selection in Frontiers of Industrial Process Tomography*. New York Engineering Foundation 1995
 - [6] Chung M. G.: *Automatic video segmentation based on spatio-temporal features*. Korea Telecom Journal, vol. 4(1), 1999, 4–14
 - [7] Yang W.Q.: *Hardware design of electrical capacitance tomography systems*. Measurement Science and Technology. Special issue: Process Tomography, vol. 7(3), 1996, 225–232