

Jarosław Włodarczyk*, Sławomir Lewandowski*

Analiza wpływu szumów na jakość rekonstrukcji w dualnym systemie tomograficznym

1. Wstęp

Aplikacje związane z tomografią gamma GRT (*Gamma-ray Tomography*) i tomografią pojemnościową ECT (*Electrical Capacitance Tomography*) są szeroko opisane w literaturze [3]. Główną zaletą tomografii gamma jest nieinwazyjność pomiarowa i możliwość obrazowania struktury wewnętrznej badanego obiektu czy też przepływu. Wyniki pomiarów systemem GRT uzależnione są od rozdzielczości przestrzennej (ilości pomiarów) oraz od czasu odpowiedzi czujników (detektorów promieniowania γ). Inne elementy, które trzeba mieć na uwadze, to dawka promieniowania radioaktywnego wydostającego się na zewnątrz podczas pomiaru, surowe wymagania odnośnie do instalacji systemu oraz restrykcje w użytkowaniu samego systemu GRT. Obrazy uzyskane z tomografii gamma przedstawiają uśrednione w czasie profile koncentracji materiału z wysoką rozdzielczością przestrzenną.

Z drugiej strony tomografia elektryczna charakteryzuje się małym czasem akwizycji danych (do 300 ramek na sekundę), ale niższą rozdzielczością przestrzenną w porównaniu z systemem GRT. Spowodowane to jest ograniczoną zarówno liczbą elektrod, ich wielkością, jak i błędami rekonstrukcji. Generalnie, te dwie techniki pomiarowe oferują wydajne narzędzie pozwalające na badania w czasie rzeczywistym dynamiki przepływów dwu- oraz trójfazowych.

Dane pomiarowe uzyskane z tomografu gamma zależą od rozkładu gęstości materiału. Z tego powodu zrekonstruowane obrazy na podstawie tych danych ilustrują rozkład gęstości w badanej objętości. W przypadku tomografii pojemnościowej interpretacja obrazów nie jest już tak bezpośrednia, ponieważ tomogramy pokazują rozkład stałej dielektrycznej. Do uzyskania profili koncentracji materiału niezbędna jest w tym przypadku procedura kalibracji.

W artykule zaprezentowano studium przypadku wpływu szumów w danych pomiarowych na jakość rekonstrukcji obrazów w dualnym systemie tomograficznym DMT (*Dual Modality Tomography*) składającym się z tomografu gamma oraz elektrycznego tomografu pojemnościowego. W podjętym zagadnieniu kolejno przeanalizowano wszystkie kombina-

* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka

cje danych pomiarowych zaszumianych i czystych, wprowadzając do nich kolejno biały szum biały o współczynniku sygnał-szum 10 dB, następnie zbadano jego wpływ na jakość rekonstrukcji, a także zdolność algorytmu rekonstrukcji DMR (*Dual Modality Reconstruction*) [1] do korekcji zaszumionych danych. Oceny jakościowej obrazów dokonano na podstawie trzech parametrów (1) opisanych w dalszej części artykułu.

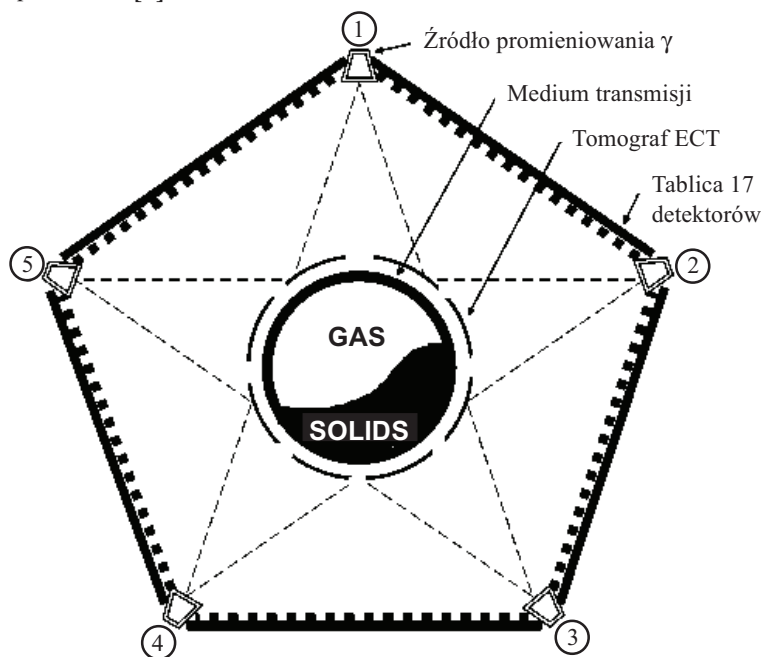
2. Struktura systemu tomograficznego DMT

System DMT składa się z dwóch odseparowanych, niezależnych układów sensorów:

- 1) tomografu pojemnościowego,
- 2) tomografu gamma.

Układy te zostały zamontowane na tym samym medium transmisyjnym. Schemat dualnego systemu pomiarowego DMT, który znajduje się w uniwersytecie w Bergen, przedstawia rysunek 1. Tomograf gamma składa się z pięciu źródeł promieniowania γ . Fotony promieniowania γ przechwytywane są przez tablice detektorów. Każde źródło ma przyporządkowaną jedną tablicę detektorów. Każda tablica składa się z układu 17 detektorów, co pozwala uzyskać 85 niezależnych projekcji.

Tomograf pojemnościowy DMT składa się z ośmiu elektrod, co przekłada się na 28 niezależnych pomiarów [3].



Rys. 1. Dualny system pomiarowy DMT

3. Algorytm DMR

Algorytm rekonstrukcji DMR w systemie DMT wykorzystuje dwa rodzaje danych wejściowych:


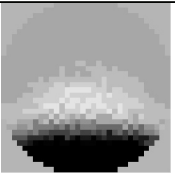
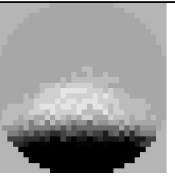

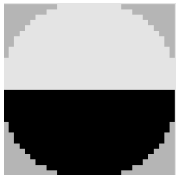
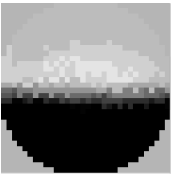
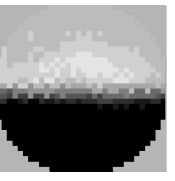
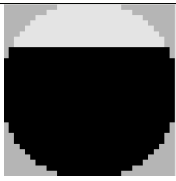



- 1) wartości pikseli z tomogramu gamma zrekonstruowanych algorytmem ILST (*Iterative Least Square Technique*),
- 2) wartości pikseli z tomogramu ECT zrekonstruowanych za pomocą algorytmu IBP (*Iterative Back Projection*) [2, 4].

Idea algorytmu DMR zasadza się na statystycznych badaniach wartości pikseli z tomogramów uzyskanych po zrekonstruowaniu algorytmami IBP i ILST. Jako że szybkość akwizycji danych ECT jest dużo większa niż danych gamma, na wejściu algorytmu mamy kilka obrazów ECT przypadających na jeden obraz gamma. W niniejszym artykule algorytm DMR nie będzie szerzej opisywany, wyczerpujący opis można znaleźć w publikacji [1].

4. Analiza wpływu szumów na jakość rekonstrukcji

Do pozyskania danych pomiarowych w zagadnieniu prostym, wykorzystano wygenerowane trzy fantomy zaprezentowane w pierwszej kolumnie tabeli 1.

Tabela 1
Dane wejściowe algorytmu DMR. W kolumnach znajdują się kolejno fantomy, obrazy zrekonstruowane algorytmem IBP oraz ILST

Δt	Fantomy	IBP _n	IBP _z	ILST _n
Δt_1				
Δt_2				ILST _z
Δt_3		 0 1 koncentracja	 0 1 koncentracja	 0 1 gęstość

W skład danych wejściowych algorytmu DMR wchodzi trzy serie obrazów ECT z chwil $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ z elektrycznego tomografu pojemnościowego, zrekonstruowanych na podstawie algorytmu IBP, oraz jeden obraz na podstawie danych z tomografu gamma przedstawiający uśrednione dane w czasie $\Delta T = \Delta t_3 - \Delta t_1$ zrekonstruowany za pomocą algorytmu ILST. Do analizy wykorzystano zarówno niezaszumione, jak i zaszumione dane pomiarowe. Do poszczególnych danych pomiarowych kolejno wprowadzono szum biały o współczynniku sygnał-szum 10 dB i zbadano jego wpływ na jakość rekonstrukcji. Danymi wejściowymi algorytmu DMR były wartości pikseli z obrazów IBP i ILST, które zostały przedstawione w tabeli 1. Indeksy n i z oznaczają kolejno dane pomiarowe pozbawione zakłóceń i zaszumione. Na wejście algorytmu DMR podano wszystkie możliwe kombinacje danych zaszumionych i czystych.

Tabela 2
Obrazy zrekonstruowane algorytmem DMR





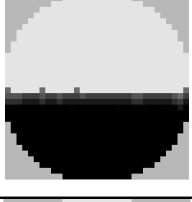
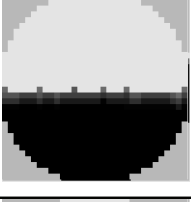
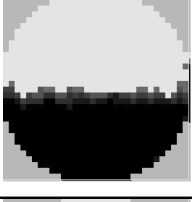
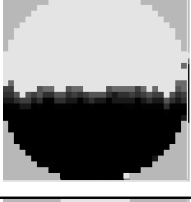
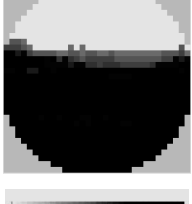
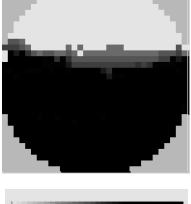
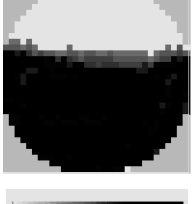
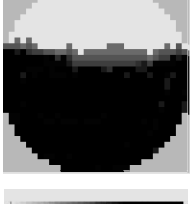
Δt	DMR _{nn}	DMR _{nz}	DMR _{zn}	DMR _{zz}
Δt_1				
Δt_2				
Δt_3	 0 1 koncentracja	 0 1 koncentracja	 0 1 koncentracja	 0 1 koncentracja

Tabela 2 przedstawia obrazy zrekonstruowane za pomocą algorytmu DMR dla poszczególnych przypadków. Pierwsza litera indeksów w opisie kolumn zawsze dotyczy danych pomiarowych ECT, druga danych gamma, na podstawie których otrzymano obrazy. Indeks n oznacza dane pozbawione zakłóceń, natomiast z – dane zaszumione.

Jakość otrzymanych obrazów została sprawdzona na podstawie następujących trzech kryteriów.

- 1) Znormalizowany błąd średniokwadratowy, δd , który czuły jest na duże błędy rekonstrukcji pojawiające się w określonych grupach pikseli.
- 2) Znormalizowany błąd średni, δr , który czuły jest na małe błędy rekonstrukcji pojawiające się w wielu częściach obrazu.
- 3) Funkcja korelacji R_{xy} , która jest miarą podobieństwa pomiędzy fantomem a zrekonstruowanym obrazem.

$$\delta d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (g_i^p - g_i^r)^2}{\sum_{i=1}^M (g_i^r - \bar{g}^r)^2}}$$

$$\delta r = \frac{\sum_{i=1}^M |g_i^p - g_i^r|}{\sum_{i=1}^M |g_i^p|} \quad (1)$$

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^M (g_i^r - \bar{g}^r)(g_i^p - \bar{g}^p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (g_i^r - \bar{g}^r)^2 \sum_{i=1}^M (g_i^p - \bar{g}^p)^2}}$$

gdzie:

- g – poziom szarości,
- p – fantom,
- r – rekonstruowany obraz,
- \bar{g} – średnia pozioma szarości pikseli obrazu,
- M – liczba pikseli.

Podczas procesu rekonstrukcji δd oraz δr powinny dążyć do zera, natomiast funkcja R_{xy} do jedności.

Na podstawie wyników z tabeli 3 można wywnioskować, że jakość rekonstrukcji obrazów algorytmem DMR zdecydowanie przewyższa obrazy zrekonstruowane algorytmem IBP. Wynika to bezpośrednio z natury zagadnień rekonstrukcji obrazów ECT, która opiera się na rozwiązaniu nieliniowych zagadnień, podczas gdy w tomografii gamma rekonstrukcja oparta jest na liniowych zależnościach. Łatwo zauważyć również zdolność algorytmu DMR do częściowej korekty zaszumianych danych pochodzących z elektrycznego tomografu pojemnościowego. Wpływ zaszumianych danych ECT przy pozbawionych szumów

danych gamma był dużo mniejszy na obniżenie jakości zrekonstruowanych obrazów, niż miało to miejsce w odwrotnym przypadku. Szczególnie widoczne jest to na podstawie wyników znormalizowanego błędu średniokwadratowego, δd , gdzie różnice w wynikach sięgają ośmiu procent. Dodatkowo można zauważyć dość dużą podatność algorytmu IBP na szum pojawiający się w danych pomiarowych.

Tabela 3
Wartości parametrów obliczone przy wykorzystaniu obrazów IBP i ILST
na podstawie których oceniono jakość zrekonstruowanych obrazów

	δd	δr	R_{xy}	δd	δr	R_{xy}	δd	δr	R_{xy}
Nr	DMR _{cc}			DMR _{cz}			DMR _{zc}		
1	0,266	0,126	0,967	0,290	0,147	0,960	0,353	0,185	0,944
2	0,568	0,224	0,900	0,559	0,220	0,914	0,564	0,234	0,912
3	0,953	0,292	0,727	0,963	0,296	0,729	0,998	0,311	0,726
	DMR _{zz}			IBP _c			IBP _z		
1	0,367	0,212	0,940	0,834	0,857	0,910	0,848	0,855	0,904
2	0,556	0,233	0,918	0,656	0,335	0,912	0,677	0,342	0,909
3	0,998	0,311	0,727	0,157	0,358	0,805	1,162	0,364	0,801

5. Wnioski

W artykule zaprezentowano studium przypadku wpływu szumów w danych pomiarowych na jakość rekonstrukcji obrazów w dualnym systemie tomograficznym DMT składającym się z tomografu gamma oraz elektrycznego tomografu pojemnościowego. Szczególnie godny uwagi jest przypadek, gdzie analizie poddano obrazy zrekonstruowane na podstawie zaszumionych danych ECT oraz niezaszumionych danych gamma. Widoczna jest tu szczególna cecha algorytmu DMR, który wykazuje dość dużą zdolność do neutralizowania szumów pomiarowych pojawiających podczas akwizycji danych z elektrycznego tomografu pojemnościowego.

Literatura

- [1] Dyakowski T., Johansen G.A., Hjertaker B.T., Sankowski D., Mosorov V., Włodarczyk J.: *A dual modality tomography system for imaging gas/solids flows*. 4th World Congress on Industrial Process Tomography, Aizu, Japan, 2005, 669–674
- [2] Dyakowski T., Jeanmeure L.F.C., Jaworski A.J.: *Applications of electrical tomography for gas-solids and liquid-solids flows-a review*. Powder Technology, 112, 2000, 174–192
- [3] Johansen G.A., Frøystein T., Hjertaker B.T., Olsen Ø.: *A dual sensor flow imaging tomographic system*. Measurement Science and Technology, 7, No. 3, 1996, 297–307
- [4] Yang W.Q., Peng L.: *Image reconstruction algorithms for electrical capacitance tomography*. Meas. Sci. Technol. Vol. 14, 2003, R1–R13