

Prof. dr hab. inż. Jan Sikora
Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych,
Nadbystrzycka 38A,
20-618 Lublin,
e-mail: sik59@wp.pl

Warszawa, 07.10.2016

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Hela GARBAA pt.:
„Gravitational solids flow parameters estimation by the use of electrical capacitance tomography and artificial neural networks”

Recenzja niniejsza została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej z dnia 05.07.2016 r.

1. TEMAT, ZAKRES I CEL ROZPRAWY

Recenzowana praca doktorska dotyczy opracowania algorytmów Elektrycznej Tomografii Pojemnościowej zdolnych do monitorowania zjawiska opróżniania silosów z materiałami sypkimi a także, co jest znacznie trudniejszym zagadnieniem poruszonym w rozdziale 5, zjawisk dynamicznych w zachodzących w silosach.

To, że tematyka podjęta przez Doktorantkę jest trudna, wymagająca rozległej wiedzy z wielu dyscyplin naukowych i co ważne jest potrzebna przemysłowi, nie trzeba nikogo przekonywać.

Autorka pracy aktywnie przez wiele lat pracowała w zespole Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej i wielokrotnie brała udział w warsztatach doktoranckich.

Rozprawa liczy 89 stron tekstu zasadniczego podzielonego na 6 rozdziałów z bogatą bibliografią.

W rozdziale pierwszym zawarty jest wstęp rozprawy zawierający cele, kontekst prowadzonych badań, motywację oraz tezę rozprawy.

W rozdziale drugim czytelnik wprowadzany jest w zagadnienia związane z procesem opróżniania silosów, z aktualnym stanem wiedzy obejmującym przegląd zagadnień dotyczących metod monitorowania. Autorka koncentruje się na Elektrycznej Tomografii Pojemnościowej, budowie czujników pojemnościowych, oraz podaje najbardziej popularne algorytmy stosowane w tej dziedzinie do tej pory. W rozdziale tym Doktorantka podaje podstawowe wiadomości dotyczące Sztucznych Sieci Neuronowych, które są niezbędne do zrozumienia dalszej części pracy.

W rozdziale trzecim wprowadza model obliczeniowy którego istotnym elementem jest parametryzacja obrazu tak aby można było efektywnie zastosować Sztuczne Sieci Neuronowe. Podejście takie nie jest nowe, ale uważam, że w tym konkretnym przypadku, wybór metody za bardzo trafny, ukazujący przydatność w zagadnieniach odwrotnych Sztucznych Sieci Neuronowych. Doktorantka wskazała na bardzo istotne zastosowania praktyczne i w sposób idealny dopasowała do nich metodę.

Szczególną wartość pracy upatruję w rozdziale czwartym, gdzie koncepcje omawiane w poprzednich rozdziałach były weryfikowane w laboratorium. Ośrodek Łódzki jest na chwilę obecną jedynym w Polsce, który mógł Doktorantce zaoferować takie warunki pracy.

Rozdział piąty traktuje o zagadnieniach dynamicznych, gdzie Autorka przedstawia koncepcje obserwacji dynamiki procesu w silosach.

Rozdział szósty zawiera konkluzje i podsumowanie całej pracy ze wskazaniem kierunków przyszłego rozwoju.

Zarówno cele jak i teza, są sformułowane jasno i nie budzą moich zastrzeżeń. Drobne uwagi szczegółowe formułuję w dalszej części mojej opinii.

Cele, jakie postawiła przed sobą Doktorantka były bardzo ambitne, zostały osiągnięte a teza pracy została udowodniona.

Biorąc powyższe pod uwagę mogę stwierdzić, że **tematyka pracy jest aktualna, a wybór tematu uważam za trafny**. Ogólna wiedza Autorki rozprawy stoi na bardzo wysokim poziomie.

2. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Heli Garbaa jest napisana na wysokim poziomie merytorycznym. Tematyka podjęta w pracy wymagała od Autorki dobrej znajomości między innymi: informatyki, matematyki, oraz zagadnień z dziedziny fizyki.

W pracy, moim zdaniem, zabrakło badań dotyczących możliwości wykrywania obiektów o jak najmniejszych rozmiarach. To pozwalałoby na określenie początku procesu opróżniania silosów. Ale trudno jest wymagać od Doktorantki aby zajmowała się w swojej pracy wszystkimi problemami jakie występują w danej dziedzinie.

Układ pracy uważam za prawidłowy i niewymagający żadnych zmian ani uzupełnień.

Autorka w rozprawie formułuje zagadnienie naukowe, jakim jest opracowanie, efektywnych algorytmów pozwalających na monitorowanie techniką tomograficzną przepływu masy granulatu w silosach. W tym celu Doktorantka zdecydowała się po pierwsze na zastosowanie Sztucznych Sieci Neuronowych a po drugie aby ta metoda była efektywna, na parametryzację obrazu. Te dwa zabiegi pozwoliły na osiągnięcie sukcesu i udowodnienie postawionej tezy. Co więcej Doktorantka zastosowała to podejście do obserwacji dynamiki procesów zachodzących w silosach.

Opracowane algorytmy stanowią istotny wkład Doktorantki w potencjalny rozwój metod służących do monitorowania procesów dynamicznych w wybranych gałęziach przemysłu chemicznego udowadniając, że Autorka samodzielnie rozwiązała postawione przed sobą zadania, oraz wykazują ogólną wiedzę teoretyczną Autorki w **dyscyplinie naukowej Informatyka.**

3. UWAGI I PYTANIA NATURY OGÓLNEJ

Po pierwsze drobna uwaga edytorska, po tytule nie stawiamy kropki. Z uwag ogólnych merytorycznych, chciałbym podnieść sprawę oznaczania wektorów. Praca dotyczy numerycznych metod teorii pola, w której Autorka zmuszona jest do posługiwania się dwoma rodzajami wektorów.

Pierwszy rodzaj wektorów to wektory w sensie rachunku macierzowego, rozumiane jako macierze jednowierszowe lub jednokolumnowe. I te są oznaczane jak w większości pozycji literaturowych poprzez symbole zapisywane czcionką pogrubioną, w tym przypadku pochyłą. Ale w pracy mamy również do czynienia z drugim rodzajem wektorów, z analizy wektorowej. Posiadają one punkt zaczepienia, długość zwrot i kierunek. Niestety w pracy oba rodzaje oznaczane są w identyczny sposób, co może prowadzić do nieporozumień. Aby takowych uniknąć proponuje wektory geometryczne oznaczać strzałką u góry, np. tak: $d\vec{l}$ patrz np. wzór (2.3) ze str. 12.

Na początku pracy jest lista symboli, ale niestety bez podania ich jednostek. Większość z nich jest wprawdzie dobrze znana, ale jednostki w jakich jest wyrażana macierz wrażliwości już niekoniecznie. Podanie tych jednostek na pewno przyczyni się do lepszego zrozumienia pracy.

Wśród symboli dostrzegłem S^* jako pseudo-odwrotność macierzy wrażliwości. Zgodnie z monografią „Solving Least Squares Problems (Classics in Applied Mathematics) by Charles L. Lawson, Richard J. Hanson - pseudo-odwrotność oznaczana jest w górnym indeksie znakiem plus. Nie widzę powodu aby wprowadzać swoje oznaczenia w tym punkcie. Podobnie jest w publikacjach wymienionych poniżej.

For , a pseudoinverse of is defined as a matrix satisfying all of the following four criteria:[1][2]:

1. Penrose, Roger (1955). "A generalized inverse for matrices". *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 51: 406–413. doi:10.1017/S0305004100030401.
2. Golub, Gene H.; Charles F. Van Loan (1996). *Matrix computations* (3rd ed.). Baltimore: Johns Hopkins. pp. 257–258. ISBN 0-8018-5414-8.

Praca dotyczy tomografii pojemnościowej dlatego chciałbym zwrócić uwagę na **TRZY SPOSOBY WYZNACZANIA POJEMNOŚCI**.

1. Wyznaczenie pojemności z prawa Gaussa

Zależność definicyjna pojemności to:

$$C = \frac{Q}{U}$$

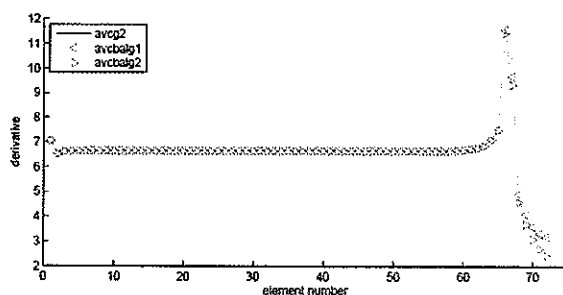
gdzie: Q ładunek zgromadzony na powierzchni elektrody, a U to napięcie między elektrodami. Ładunek liczymy z prawa Gaussa:

$$Q = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s}$$

W konsekwencji dochodzimy do zależności:

$$C = \left| \frac{1}{U} \int_{\Gamma} \epsilon \frac{\partial \phi}{\partial n} d\Gamma \right|$$

I tu zaczyna się kłopot: gdy efekty krańcowe nie zostaną uwzględnione szacowany błąd może wynieść do 9% a dla zagadnień 3D nawet do ponad 20% [Sikora, Wieleba]. A pamiętać należy że w ETP mamy wiele elektrod blisko siebie położonych, a więc efekty krańcowe odgrywać będą znaczącą rolę.



Rys. 1. Efekty krańcowe na elektrodzie [Wieleba PhD]

Pomimo tego metoda ta jest stosowana w większości algorytmów obrazowania. Jedynie w pracy [Int. Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 8, No. 10(B), Oct. 2012] zastosowano metodę wyznaczenia pojemności na podstawie energii. Jeśli chodzi o literaturę krajową to ten sposób wyznaczenia pojemności stosował w swoich pracach Prof. M.K. Gawrylczyk z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego.

W metodzie elementów skończonych, a ta jest powszechnie stosowana, minimalizowany jest funkcjonal energetyczny więc łatwo i znacznie dokładniej można ją wyznaczyć w porównaniu do natężenia pola elektrostatycznego. Ta ostatnia wielkość jest wyznaczana poprzez różniczkowanie numeryczne, a to wprowadza znaczne błędy obliczeniowe. Nie wspominając o efektach krańcowych, które z reguły, ze względu na skromną dyskretyzację, w szczególności dla zagadnień 3D dodatkowo te błędy powiększają.

2. Wyznaczenie pojemności na podstawie energii zgromadzonej w polu elektrostatycznym

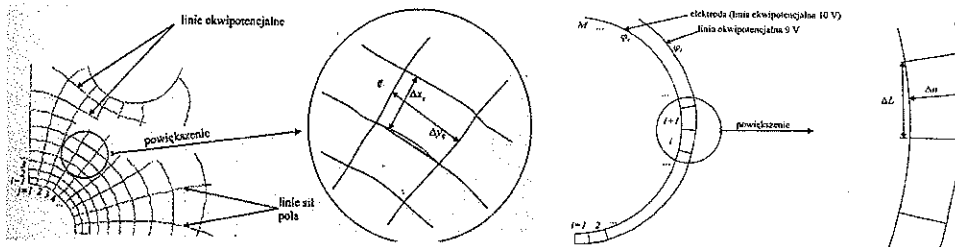
Energię zgromadzoną w polu elektrostatycznym obliczamy ze wzoru:

$$W = \iiint_V \frac{\epsilon E^2}{2} dv = \frac{CU^2}{2}$$

Pamiętajmy że np. w MES minimalizujemy funkcjonal energetyczny, na podstawie którego można wyznaczyć energię jako wielkość pierwotną (w przeciwieństwie do poprzedniej metody).

3. Wyznaczenie pojemności na podstawie obrazu pola

Metoda ta polega na podziale rozważanego obszaru na dostatecznie małe podobszary wyznaczone przez przecinające się linie (w przypadku przestrzeni 2D) ekwipotencjalne i linie sił pola. Podobszary takie możemy traktować jak kondensatory płaskie o szerokości okładek Δy_{ij} i odległości między okładkami Δx_{ij} .



Rys. 2. Obraz pola i przybliżona metoda wyznaczania pojemności [Starzynski]

$$C_{ij} = \frac{\epsilon_{ij} l \Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}}.$$

Pojemność pojedynczej warstwy (między kolejnymi liniami ekwipotencjalnymi, patrz Rys. 2) jest sumą pojemności komórek leżących w tej warstwie (równoległe połączenie kondensatorów).

$$C_j = \sum_{i=1}^M \frac{\epsilon_{ij} l \Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}},$$

gdzie M jest liczbą komórek w warstwie. Całkowitą pojemność własną otrzymujemy jako odwrotność sumy odwrotności pojemności warstw (połączenie szeregowe kondensatorów).

$$C = 1 / \sum_{i=1}^N 1 / C_j,$$

gdzie N – liczba warstw.

4. Wybór metody wyznaczenia pojemności

Trzeci sposób jest mało praktyczny bo trudny do algorytmizacji i dlatego nie bierzemy go pod uwagę. Zatem do wyboru mamy dwie pozostałe metody. Którą zatem powinniśmy wybrać? Która metoda jest dokładniejsza, mniej absorbująca zasoby komputerowe?

Jeśli chodzi o dokładność to na przykład na podstawie badań laboratoryjnych przedstawionych w [Starzynski], metodę energetyczną można oszacować na około 1,5%, natomiast metoda definicyjna jest zdecydowanie mniej dokładna (np. z powodu efektów krańcowych lub dyskretyzacyjnych) i może sięgać nawet 9% [Starzynski].

Oczywiście są to dane orientacyjne bo wyniki zależą od rozważanego problemu. Ponadto jak już wspomniano, energia jest wielkością pierwotną i nie wymaga dodatkowych działań.

Mimo to większość autorów jednak wybiera metodę definicyjną - niestety!

Aby sprowokować dyskusję w trakcie obrony, mam kilka pytań do Doktorantki i jestem ciekaw Jej odpowiedzi:

1. W rozprawie Autorka za literaturą angielską podaje zależność między pojemnością a przenikalnością elektryczną zgodnie ze wzorem (2.3) ze strony 12. W opisie tego wzoru czytamy, że $d\Gamma$ jest elementem ortogonalnym do powierzchni elektrody. Bardzo proszę o uściślenie tego pojęcia oraz ilustrację graficzną.

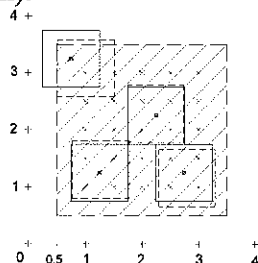
2. W rozprawie Autorka pobieżnie omawia strategię doboru zestawów uczących (patrz na przykład str. 20 i str. 22). Wada ta szczególnie widoczna jest w przypadku identyfikacji czterech parametrów. Brak opisu strategii przygotowania danych uczących i testowych, oraz brak informacji jak wiele ich trzeba przygotować, w jakim zakresie zmieniają się poszczególne parametry aby pokryć całą przestrzeń rozwiązań dopuszczalnych, utrudnia zrozumienie pracy.
3. Jak Pani zdaniem mogła by wyglądać strategia przygotowania danych uczących dla dwóch lub trzech obiektów?

4. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

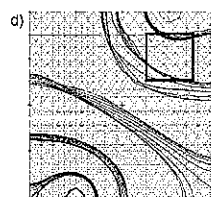
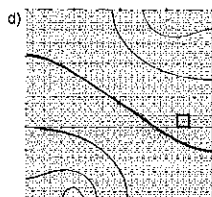
Praca, jak już wspomniałem, napisana jest bardzo starannie, co spowodowało, że liczba szczegółowych uwag jest niewielka.

1. Str. 1. Osiem wierszy od dołu jest tekst ponownie powtórzony na stronie 7.
2. Str. 8. W trzecim wierszu od dołu jest: „...interelectrode voltage...” Czy rzeczywiście chodzi tu o pomiar napięcia? Na stronie następnej oraz na stronie 10 Autorka pisze o pomiarze pojemności.
3. Str. 13. wzór (2.5) ze str. 13 jest poprawny ale tylko w przypadku szczególnym.
4. Str. 16. W rozdziale 2.3 zawarta jest wiedza książkowa, która w dystertacji z powodzeniem mogła by być pominięta ewentualnie drastycznie skrócona z powołaniem się na stosowne pozycje literaturowe.
5. Str. 20. Pod koniec strony Autorka zapowiada podział na trzy podzbiory, po czym wymienia tylko dwa.
6. Str. 23. Jest cytuję: „...Artificial Neural Networks (ANN) have been used for solving both ECT problems (forward and....”. Proszę podać choć jeden przykład efektywnego rozwiązania zagadnienia prostego przy użyciu sieci neuronowych. Rozumiem, że podana kilka wierszy dalej pozycja literatury jest w jakimś sensie rozwiązaniem zagadnienia prostego, ale jak rozumem poniżej zamieszczony abstract nie jest to rozwiązanie w sensie obliczeniowym, a tak mona byłoby wywnioskować z tekstu rozprawy. I o ile rozwiązanie zagadnień odwrotnych z pomocą Sztucznych Sieci Neuronowych jest oczywiste, o tyle zagadnień prostych (paradoksalnie łatwiejszych) już nie.
“Abstract
A new technique for solving the forward problem in electrical capacitance tomography sensor systems is introduced. The new technique is based on training a feed-forward neural network (NN) to predict capacitance data from permittivity distributions. The capacitance data used in training and testing the NN is obtained from preprocessed and filtered **experimental measurements**. The new technique has shown better results when compared to the commonly used linear forward...” i tak dalej.
7. Str. 25. W połowie strony mamy stwierdzenie że ANN jest szybsze aniżeli metody iteracyjne. To stwierdzenie jest o tyle słuszne jeśli do procesu rekonstrukcji (co robi Autorka) nie wlicza się procesu uczenia. A to jest krzywdzące dla metod iteracyjnych. Oczywiście, w przypadku monitoringu za pomocą algorytmów bazujących na ANN, takie stwierdzenie Autorki jest jak najbardziej usprawiedliwione.

8. Str. 32. Bardzo proszę podać strategię przygotowywania danych uczących, na przykład w formie graficznej (patrz przykładowy rysunek poniżej dla dwóch parametrów wyjściowych).



Sprawa się komplikuje jeśli musimy rozpatrywać obiekty o różnej wielkości (dla kwadratu lub koła byłyby to trzy parametry). W przypadku tylko trzech parametrów należało rozwiązać zagadnienie proste aż 1640 razy, co dla metod iteracyjnych byłoby mniej więcej równoważne iteracjom. Dlatego pominięcie tych kosztów obliczeniowych wydaje się być nieuzasadnione. Szczególnie trudne są obiekty małe, gdzie jak widać na poniższych rysunkach, wrażliwość linii ekwipotencjalnych na położenie obiektu jest znacznie mniejsza (rys. po lewej stronie na którym jak widać, położenie linii ekwipotencjalnych niewiele się zmienia w zależności od położenia obiektu), niż w przypadku dużych obiektów wewnętrznych (po prawej stronie).



9. Str. 33. Odpis symboli pod wzorem (3.4) jest powtórzeniem opisu dotyczącego wzoru (3.1) ze strony poprzedniej.
10. Str. 37. Na samej górze jest czasowe porównanie metody Levenberga-Marquarta z metodą MLP. Wyniki porównania byłyby znacznie mniej korzystne gdybyśmy wzięli pod uwagę zastrzeżenia z punktu siódmego. Ta sama uwaga dotyczy strony 49 z tym, że widać wyraźnie, im trudniejszy problem (cztery parametry), tym przewaga metody opartej na ANN jest mniejsza. Problem porównania algorytmów pojawia się jeszcze pod koniec strony 54.
11. Str. 40. Jest „... Fig. 3.9...” a powinno być „... Fig. 3.10...”.
12. Str. 50. Przenikalność obiektów zmieniana była w zakresie od 1.65, poprzez wartości 1.70, 1.78, 1.80 i 1.87 do 2. Ciekawi mnie czy najmniejsza zmiana przenikalności wynosząca 0.02 co stanowi zaledwie 1%, miała w ogóle wpływ na zmianę pojemności międzyelektrodowych. Ja bardzo w to wątpię.
13. Str. 56. Table 3.13. Jak rozumiem symbol „hat” nad zmiennymi oznacza wektor (w sensie rachunku macierzowego). Dlaczego zatem zmienne raz występują bez (pierwsza kolumna) a raz z tym symbolem?
14. Str. 69. Jest Nonlinear AutoRegresive (NAR) a w wykazie symboli jest: Non linear Auto Regresive. Trzeba to ujednolicić.
15. Str. 80. Skrót PSO i GA (choć ten ostatni jest bardzo popularny) powinny być poprzedzone pełnymi nazwami, tym bardziej, że nie występują w wykazie na początku dysertacji.

Zamieszczone powyżej uwagi szczegółowe mają jedynie charakter porządkowy i nie mają wpływu na bardzo wysoką ocenę merytoryczną pracy. Treść rozprawy odpowiada tematowi określonemu w tytule, następstwo rozdziałów jest właściwe. Strona redakcyjna rozprawy jest na wysokim poziomie.

5. PODSUMOWANIE

Opiniowana rozprawa, w moim przekonaniu spełnia wymagania określone w ustawie. Praca stanowi samodzielne rozwiązanie bardzo ciekawego, ale zarazem niezwykle trudnego zadania naukowego. Autorka rozprawy wykazała się bardzo dobrą znajomością tematyki podjętej w rozprawie.

W świetle przepisów Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dziennik Ustaw Nr 65, Poz. 595, Art. 13, p. 1, z późniejszymi zmianami), w brzmieniu ustalonym Ustawą z dnia 18 marca 2011 r. (Dz. U. Nr 84, poz. 455 z późniejszymi zmianami) a także spełniają kryteria Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgr inż. Hela GARBA** pt.: „**Gravitational solids flow parameters estimation by the use of electrical capacitance tomography and artificial neural networks**” spełnia wymagania i stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej dyskusji i obrony.

