

Katowice, 31.10.2016

dr hab. inż. Piotr Czech
prof. nzw. Politechniki Śląskiej
Wydział Transportu

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Trzyniec

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Trzyniec pt.:

Zastosowanie sztucznej sieci neuronowej do oceny stopnia wyszkolenia operatora wybranych urządzeń stosowanych w rolnictwie precyzyjnym,

napisanej pod kierunkiem naukowym prof. dr. hab. inż. Adama Kowalewskiego.

Recenzję opracowano na prośbę Dziekana i Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, zgodnie z pismem L. Dz. WEAIIB-b/510-26-4/13 z dnia 21.10.2016 roku.

1. Uwagi wstępne

Jak słusznie zauważa doktorantka w swojej rozprawie, praca operatora maszyny rolniczej w dzisiejszych czasach różni się znacząco od tej, która funkcjonuje jako stereotyp. Jej istotą nie jest już sama bezpośrednia obsługa maszyny, ale cały proces zarządzania, który realizowany jest z wykorzystaniem zautomatyzowanych i skomputeryzowanych systemów. Żeby jednak proces ten przebiegał właściwie, sam operator musi wykazać się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami. Odpowiednie kompetencje operator maszyny rolniczej nabiera wraz z doświadczeniem wynikającym z czasu poświęconego na szkolenie. Ponieważ każdy kursant odbywający stosowne szkolenie ma inne predyspozycje, nie ulega wątpliwości, że wymagany

czas szkolenia będzie różny w zależności od konkretnego przypadku. Jak słusznie zauważono w rozprawie, zakończenie szkolenia w momencie pozyskania odpowiednich umiejętności przez kursanta, przy równoczesnym skróceniu zakładanego czasu szkolenia, może przynieść różne korzyści, w tym oszczędność czasu i środków materialnych.

Ponieważ w rzeczywistości bardzo trudno jest określić moment, który można uznać za właściwy do zakończenia szkolenia, w rozprawie za cel postawiono sobie zbudować neuronowy model rozpoznający moment nabycia przez operatora umiejętności obsługi nowoczesnej nawigacji na pasach równoległych, stosowanej w rolnictwie precyzyjnym.

Na podstawie założonego celu rozprawy, sformułowano tezę mówiącą, że moment osiągnięcia pożądanego stopnia wyszkolenia operatora może być automatycznie rozpoznawany przez odpowiednio dobraną sztuczną sieć neuronową, uczoną na podstawie danych zbieranych podczas obserwacji procesu szkolenia innych operatorów, przy wykorzystaniu kryterium określonego przez ekspertów.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa stanowi blisko dwustronicowe dzieło składające się z zasadniczej części oraz aneksu liczącego 66 stron.

Przed rozpoczęciem właściwej części rozprawy, autorka wyjaśnia podstawowe terminy związane z jej tematyką. Zostały one poprawnie wybrane, zdefiniowane w sposób zrozumiały dla każdego i co najważniejsze uszeregowane we właściwy sposób. Niewątpliwie takie podejście zasługuje na pochwałę.

Właściwa część rozprawy została podzielona na 7 rozdziałów. Już same nazwy rozdziałów wskazują, że podział ten jest logiczny i właściwy.

We wstępie opisano strukturę rozprawy, podając czytelnikowi w sposób skrótowy, co go czeka w kolejnych rozdziałach. Na pewno jest to podejście właściwe, ułatwiające szybkie zapoznanie się z tematyką całej rozprawy, jak również wybór jej części, jeżeli zachodzi potrzeba zaznajomienia się z konkretnym jej zakresem.

W rozdziale pierwszym podano problem badawczy, określono cel badań i sformułowano tezę rozprawy. Wymieniono również kolejne etapy badań, które były wymagane w celu realizacji zamierzeń autora rozprawy.

Kolejne dwa rozdziały należą do analizy literaturowej związanej z tematyką podjętą w rozprawie. Rozdział trzeci traktuje o sieciach neuronowych. Opisano w nim w sposób skrótowy, ale wystarczający, rys historyczny związany z rozwojem sieci neuronowych, model sztucznego neuronu, budowę i zasady funkcjonowania sztucznej sieci neuronowej, metody uczenia sieci neuronowej, zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w praktyce – w tym w rolnictwie. Rozdział czwarty opisuje obiekt badań jakim jest ciągnik rolniczy, wyposażony w różnego typu systemy wspomagające, oraz operator. W rozdziale tym zdefiniowano samo pojęcie ciągnika, podano jego klasyfikację, rys historyczny, budowę i przeznaczenie. Ciągnik został scharakteryzowany również jako system. Dodatkowo w tej części rozprawy podano stosowne informacje dotyczące kompetencji operatora i codziennej obsługi ciągnika. Opisano również stosowane w maszynach rolniczych nowoczesne systemy wspomagające oraz problemy z nimi związane.

Rozdział piąty i szósty stanowi opis badań własnych zrealizowanych przez doktoranta. W rozdziale piątym w sposób szczegółowy scharakteryzowano metodykę przeprowadzonych badań, w tym sposób przeprowadzenia eksperymentu mającego na celu pozyskanie odpowiednich danych, proces wstępnego przetwarzania danych, modelowanie z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych. Rozdział szósty to nic innego jak analiza uzyskanych wyników. Na pochwałę zasługuje fakt opisu każdego z realizowanych etapów w oparciu o własne doświadczenia wynikające z przeprowadzonych badań, przy równoczesnym odniesieniu do dostępnej literatury z danego tematu.

Ostatni rozdział rozprawy stanowi podsumowanie przeprowadzonych analiz literatury i zrealizowanych badań własnych. Podano w nim konkretne wnioski oraz przedstawiono kierunki przyszłych badań, które warto zrealizować w tej tematyce, a które bezpośrednio wynikają z przeprowadzonych badań. Są to niewątpliwie cenne informacje.

Na kolejnych stronach rozprawy zawarto spisy tabel i rysunków, oraz literaturę wykorzystaną w trakcie realizacji rozprawy. Źródła literaturowe stanowią 243 pozycje dobrane w sposób kompletny i właściwy do realizowanego w rozprawie zadania badawczego.

3. Uwagi szczegółowe

Już pierwsze wrażenia jakie nabywa czytelnik po otwarciu rozprawy skłaniają do wniosku, że będzie to coś wyjątkowego. Złote litery na bordowej okładce rozprawy, kredowy papier, zastosowana formatka, dobór czcionki, czy też zastosowane kolory sprawiają, że z przyjemnością rozpoczyna się studiowanie tego dzieła. Wspomniane elementy wskazują również na dużą dbałość doktoranta o nawet najdrobniejsze szczegóły związane z warstwą edycyjną rozprawy.

Przedstawiona w rozprawie analiza literaturowa jest przeprowadzona właściwie i kompletnie. W części poświęconej sieciom neuronowym doktorantka w sposób skondensowany zaprezentowała wszystkie istotne fakty dotyczące historii prac związanych z ich wykorzystaniem. Niewątpliwą zaletą tej części rozprawy jest możliwość zaznajomienia się z tymi informacjami korzystając tylko z jednego źródła (w tym wypadku niniejszej rozprawy), przy braku konieczności sięgania do licznej literatury z tej tematyki.

Na uwagę zasługuje również przedstawiony przegląd dotyczący praktycznego zastosowania sztucznych sieci neuronowych, w tym szczególnie w tematyce związanej z rozprawą doktorską – czyli w rolnictwie.

Podobne podejście doktorantka zastosowała w rozdziale poświęconym maszynom rolniczym, operatorom maszyn i systemom wspomagania. Wszelkie informacje są podane w sposób skrótowy, ale wystarczający, aby czytelnik mógł zaznajomić się z najistotniejszymi faktami w tej materii.

Jedyna uwaga polemiczna jaka nasuwa się z analizy treści tego rozdziału jest podany na stronie 36 rozprawy podział ciągników ze względu na układ napędowy, na ciągnik kołowy i gąsienicowy. Czy poprawniej nie byłoby nazwać tego podziału ze względu na układ jezdny, o którym doktorant wspomina w dalszej części rozprawy. Podanej uwagi nie należy przypisywać doktorantce lecz pozycji literaturowej, z której zaczerpnięto taką informację.

Opis własnych badań doktorantka przedstawiła w dwóch rozdziałach. W pierwszym z nich scharakteryzowała cały założony i w pełni zrealizowany tok badań, a w drugim dokonała analizy uzyskanych wyników.

W celu zebrania danych niezbędnych do zrealizowania celu rozprawy i udowodnienia postawionej tezy, doktorantka zrealizowała eksperyment polegający na szkoleniu 15 osób w zakresie wykorzystania w trakcie prowadzenia pojazdu systemu nawigacyjnego wspomagającego utrzymanie właściwego toru jazdy. Opisując próbę badawczą podano płeć i wiek osoby, długość stażu w prowadzeniu pojazdu oraz poziom znajomości systemów wspomagających. Są to niewątpliwie informacje istotne i mające wpływ na uzyskiwane wyniki. W przypadku dalszych badań i ewentualnej rozbudowy bazy danych dla sztucznych sieci neuronowych, mogą one zostać włączone do zestawu danych wejściowych, co być może przyczyniłoby się do jeszcze większej poprawy jakości uzyskiwanych wyników.

Sam eksperyment pozyskiwania danych został opisany właściwie. Brakuje jednak informacji, w jakich warunkach odbywały się przejazdy szkoleniowe – czy realizowano je na drodze asfaltowej, czy gruntowej (lub innej), czy teren był płaski, czy też zawierał nierówności.

Przeprowadzona liczba przejazdów wydaje się wystarczająca do celów rozprawy. Z opisu w rozprawie nie wynika jednak jednoznacznie, czy o liczbie wykonanych przejazdów dla konkretnej osoby decydował trener, czy też sam fakt uzyskania przez kursanta trzech bezbłędnych przejazdów jeden po drugim. Przedstawiona w rozprawie informacja o zakończeniu szkolenia w przypadku trzykrotnego bezbłędneho przejazdu sugerowałaby, że w całkowitej liczbie przejazdów dla konkretnej osoby nie będzie w zbiorze danych przypadku, w którym pod rząd występowałyby więcej niż trzy bezbłędne przejazdy. W takim przypadku trudno jednak mówić, że ze stuprocentową pewnością kursant, który trzykrotnie bezbłędnie przejechał zadany odcinek drogi, po raz kolejny zrobi to poprawnie – zgodnie z informacją przedstawioną w rozprawie na stronie 62. W dalszej części rozprawy – tabela 5.5.1 na stronie 72 i 73, można zobaczyć następujące po sobie sześć kolejnych przypadków poprawnego przejazdu. Taka informacja sugeruje, że eksperyment nie kończył się jednak w momencie trzykrotnego bezbłędneho przejechania danego odcinka drogi.

W trakcie eksperymentu mającego na celu zebranie danych, chwilowe położenia pojazdu rejestrowane były w postaci zdjęć obrazu widzianego przez operatora na ekranie panelu nawigacyjnego. Zdjęcia zostały następnie odpowiednio przetworzone i na ich podstawie zapisano niezbędne dane. Opisany sposób pozyskiwania danych wydaje się właściwy do realizowanego celu. Z informacji przedstawionych w rozprawie nie wynika natomiast skąd bierze się różnica pomiędzy liczbą pikseli zarejestrowanych na trajektorii zadanej ($P = 479$) i rzeczywistej ($P' = 234$).

Bardzo dobrym podejściem do realizowanego celu było skorzystanie z wartości współczynników wielomianu opisującego przebieg przejazdu a nie 234 wartości odczytanych bezpośrednio ze współrzędnych pikseli ze zdjęć. Sposób ten umożliwił wykorzystanie w procesie modelowania zalet sztucznych sieci neuronowych, co nie byłoby możliwe przy użyciu pełnego zarejestrowanego spektrum danych.

Również sposób budowy wektora wejściowego dla sztucznych sieci neuronowych zasługuje na pochwałę. Dzięki podjętym założeniom pozwala odseparować przypadki jednostkowe i przypadkowe od obserwacji powtarzalnych, co niewątpliwie miało wpływ na uzyskiwane przez sieć neuronową wyniki.

Jak słusznie zauważa doktorantka w rozprawie, jakość uzyskiwanych wyników przez sztuczną sieć neuronową zależy od właściwego doboru jej struktury. Do tego celu została wykorzystana możliwość automatycznego projektanta sieci dostępna w programie Statistica Neural Networks firmy StatSoft. Podejście takie jest jak najbardziej słuszne i wystarcza do realizacji celu rozprawy. Równocześnie znacząco skraca czas i ogranicza wysiłek projektanta sieci. Wykorzystując podane narzędzie, założono minimalną i maksymalną liczbę neuronów w warstwie ukrytej równą odpowiednio 1 i 25. Ciekawość poznawcza wywołuje pytanie na jakiej podstawie przyjęto podane wartości. Czy wynikają one z jakichś przesłanek, a może z informacji przedstawionych w literaturze.

Wykorzystane narzędzie pozwoliło wybrać najlepszą architekturę sieci neuronowej, dla której otrzymywano najmniejszy błąd klasyfikacji wzorców. Wydaje się, że dla osób nieznających wspomnianego oprogramowania, pomocnym byłoby dodanie informacji czym charakteryzuje się dany algorytm uczenia, funkcja błędu, czy aktywacja w warstwie ukrytej i wyjściowej – zgodnie z tabelą 6.1.1 na stronie 83 i 84, tabelą 6.1.2 na stronie 85, tabelą 6.1.3 na stronie 86 i 87, tabelą 6.1.4 na stronie 87 i 88. Przydatna byłaby też informacja jak rozumieć pozycje „jakość” w wymienionych tabelach.

W kolejnej części badań wykorzystano oprogramowanie MATLAB firmy MathWorks. Jak słusznie podaje doktorant, nie można bezpośrednio porównać wyników uzyskanych w obu wykorzystywanych programach. Niejasne jest natomiast stwierdzenie o braku możliwości wyboru rodzaju testowanej sieci w programie MATLAB. Czy chodzi tu przykładowo o wybór pomiędzy siecią typu RBF i MLP. Czy cecha ta dotyczy zastosowanego w badaniach narzędzia Pattern Recognition Tool z pakietu Neural Network Toolbox, czy całego oprogramowania.

Wydaje się, że pakiet MATLAB daje pełną możliwość wyboru parametrów dotyczących struktury sieci neuronowej, czy też metody jej uczenia.

Jak podaje doktorant na stronie 92 i 93, efektywność sztucznej sieci neuronowej oceniano w tym przypadku za pomocą wskaźników „jakość” i „błąd” – tabela 6.3.1 na stronie 95 rozprawy. Wskaźnik „błąd” oznacza wartość błędu zakwalifikowania obiektów z jednej klasy do drugiej – zgodnie z informacją na stronie 93 rozprawy. Dla kompletności rozważań warto by dodać co oznacza wskaźnik „jakość”.

Ciekawe byłoby sprawdzenie, czy kilkukrotne uczenie sieci dla założonych parametrów daje podobne wyniki i jak duże różnice będą wynikały z losowego charakteru doboru niektórych parametrów w procesie uczenia przy wykorzystaniu pakietu MATLAB.

Przedstawiona w pracy analiza badań własnych i literaturowych pozwoliła na sformułowanie wniosków końcowych. Równocześnie stanowiła podstawę do stwierdzenia słuszności postawionej w rozprawie tezy oraz pełnego zrealizowania celu.

Warto zwrócić uwagę, że oprócz odniesienia się doktorantki do przeprowadzonych już badań, nakreśliła ona dalsze wytyczne co do możliwych przyszłościowych badań. Jest to jak najbardziej słuszne i godne pochwały działanie.

Należy również zauważyć, że sam przekaz w rozprawie został dodatkowo wzmocniony właściwie dobranymi ilustracjami, które idealnie komponują się w całość rozprawy, równocześnie podwyższając jej wartość.

Uważam jednak, że w rozprawie napisanej w języku polski, treści przedstawione na rysunkach powinny być również w tym języku – rysunek nr 4.5.1 na stronie 49 rozprawy. Uwaga ta nie dotyczy oczywiście rysunków, które przedstawiają zrzuty ekranu programów komputerowych (aplikacji) w języku angielskim, lecz przykładowo wyniki badań (rysunek 6.3.1 na stronie 93, rysunek 6.3.2 na stronie 94, rysunek 6.3.3 i 6.3.4 na stronie 96, rysunek 6.3.5 na stronie 97, rysunek 6.3.6 na stronie 98).

Dyskusyjny jest również przyjęty w rozprawie sposób numeracji rysunków i tabel. Zakłada on, że pierwsza część numeru odpowiada numerowi rozdziału lub podrozdziału, w którym umieszczony jest dany rysunek lub tabela, a druga część to kolejny numer rysunku lub tabeli w konkretnym rozdziale lub podrozdziale. Czy czytelniejszym sposobem nie byłoby numerowanie rysunków i tabel kolejno według występowania w całej rozprawie, lub

co najwyżej ze wskazaniem na numer rozdziału, bez dodatkowego rozdrobnienia na numer podrozdziału.

Na uznanie zasługuje fakt umieszczenia w rozprawie aneksu zawierającego wszystkie wykorzystywane w badaniach dane. Takie podejście daje hipotetyczną możliwość wykorzystania ich przez potencjalnego czytelnika rozprawy w swoich eksperymentach. Równocześnie daje pełną transparentność co do wykonywanych doświadczeń.

Na kolejną pochwałę zasługuje bibliografia. Zawiera ona pozycje autorów krajowych jak i zagranicznych, książki, artykuły oraz referaty z konferencji krajowych i międzynarodowych. Doktorantka skorzystała również ze źródeł internetowych udostępnionych przez wybitnych naukowców oraz instytucje krajowe i zagraniczne. W podanej bibliografii nie zabrakło też pozycji autorstwa doktorantki.

W trakcie pisania rozprawy doktorantka nie ustrzegła się błędów literowych i stylistycznych. Występują one jednak w niewielkiej liczbie i w żaden sposób nie obniżają wysokiej jakości i wartości rozprawy.

4. Podsumowanie

Przedstawiona do oceny rozprawa stanowi wartościową pozycję zarówno pod względem poznawczym jak i utylitarnym. Doktorantka postawiła sobie i poprawnie rozwiązała trudne zadanie. Zrobiła to w sposób udowadniający dużą wiedzę i umiejętności.

W związku z tym stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **bez zastrzeżeń spełnia wymogi** Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i wnoszę o dopuszczenie doktorantki do publicznej obrony.

Prof. Czed