

### RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**Tytuł rozprawy:** Automatyzacja procesu przenoszenia mimiki aktora na docelową siatkę twarzy

**Autor rozprawy:** mgr inż. Damian Pęszor

**Promotor:** prof. dr hab. Konrad Wojciechowski

**Dziedzina:** Nauki techniczne

**Dyscyplina:** Informatyka

#### 1. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?

Problem animacji postaci i odzwierciedlenia mimiki jej twarzy pozostaje wciąż jednym z najtrudniejszych w automatyzacji zagadnień, jakie stoją przed współczesną nauką. Wyniki pracy naukowców są ewidentnie oczekiwane przez przemysł rozrywkowy, w tym m.in.: branżę filmową, branżę gier komputerowych, czy wirtualnych środowisk, który stanowi jeden z najszybciej rozwijających się technologicznie obszarów komunikacyjno-informacyjnych (ICT - ang. *Information and Communication Technologies*). Zapewnienie odpowiedniej jakości odwzorowania ruchu możliwe jest wciąż głównie dzięki żmudnej i wymagającej pracy artystów animatorów, którzy korzystając z unikalnych umiejętności, nadają swoim cyfrowym postaciom wiarygodne odwzorowanie wyglądu i ruchu. Zagadnienia związane z animacją humanoidalnych postaci stanowią szczególne wyzwanie, gdyż najłatwiej jest je ocenić, wychwytyjąc wszelkie anomalie, bazując na doświadczeniu życiowym człowieka, które zdobywane jest przez lata życia. Zagadnienie automatyzacji procesu animacji jest dodatkowo utrudnione przez istotny rozmiar danych, którymi należy operować, aby model zachowywał właściwą elastyczność ruchu i wierność odwzorowania.

W niniejszej pracy Autor podejmuje problem naukowy polegający na automatyzacji procesu przenoszenia mimiki aktora, odgrywanego określone sekwencje wyrazów mimicznych, na geometryczną reprezentację twarzy zapisaną w postaci siatki trójkątów. Jednocześnie Autor nie zastrzega, że animowany model geometryczny musi odwzorowywać dokładnie twarz osoby używającej wyrazy mimiczne. Do rozwiązania problemu Autor stosuje dwie techniki przechwytywania ruchu twarzy (ang. *motion / performance capture*). Pierwsza bazuje na znacznikach przyklejonych do śledzonej twarzy, które odbijają światło podczerwone, a druga bazuje na śledzeniu punktów charakterystycznych (antropometrycznych) twarzy na obrazie wideo. W każdym z dwóch podejść Autor zaproponował własne, oryginalne metody wzmacniane modyfikacjami wcześniejszych rozwiązań, automatyzujące proces odwzorowania animacji twarzy na jej cyfrowy model. Autor rozprawy stworzył również trzecią metodę, łączącą zalety dwóch wcześniejszych podejść, polegającą na obliczeniu, na podstawie wysokorozdzielczego obrazu wideo, zestawu wirtualnych znaczników stanowiących punkty charakterystyczne odzwierciedlające ruch mimiczny, nie krępując tym samym rejestrowanego aktora i dostarczając znacznie bardziej szczegółowego opisu kształtu póz twarzy, w tym przykładowo pozwalających na odwzorowanie najmniejszych detali wyrazów mimicznych. Tym samym zaproponowane podejście minimalizuje problem związany ze słabą rozdzielczością fizycznych znaczników przyklejonych do powierzchni twarzy, stosowanych na potrzeby rejestracji mimiki.

Opisany problem badawczy został przez Autora dysertacji właściwie wskazany i wyjaśniony. Automatyzacja procesu przenoszenia zarejestrowanych wyrazów mimicznych twarzy aktora na

trójwymiarowy model cyfrowy wymaga rozwiązania szeregu składowych problemów. Należy wśród nich wymienić pozbawione udziału człowieka, przetwarzanie danych pozyskanych w procesie akwizycji statecznego modelu twarzy, wykrywanie punktów charakterystycznych twarzy zarejestrowanych na obrazie wideo, transformację modelu rozmieszczenia znaczników z twarzy aktora na animowany model twarzy oraz określenie wpływu znaczników na fragmenty skóry w zależności od ich położenia określonego przez wierzchołki modelu. Znajduje to odzwierciedlenie w celu pracy, sformułowanym następująco:

*„Celem pracy przedstawionej w tej dysertacji jest stworzenie algorytmu, który umożliwi całkowitą automatyzację procesu przenoszenia mimiki aktora odgrywającego daną sekwencję wyrazów mimicznych na siatkę trójkątów opisującą animowaną twarz, która może znacząco różnić się od twarzy aktora.”*

Autor nie określa jawnie tezy pracy, choć wielokrotnie podkreśla, że dyskutowany proces animacji twarzy jest obecnie pozbawiony usprawnień automatyzujących jego przebieg (jest realizowany głównie manualnie). Zaproponowane w rozprawie rozwiązania są zatem dowodem na możliwość przyspieszenia, bez udziału człowieka, pewnych etapów procesu animacji twarzy.

## **2. Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?**

Tematyka rozprawy jest ważna i aktualna, szczególnie w odniesieniu do zastosowań w obszarze dynamicznie rozwijającego się przemysłu rozrywkowego oraz zastosowań w obszarze szeroko pojętej interakcji człowiek-komputer. Osiągnięcia pracy wpisują się w proces przyspieszania i tym samym redukcji kosztów związanych z wysokojakościową animacją postaci cyfrowych, czego aktualność potwierdzają liczne projekty naukowo-badawcze (np. w programie sektorowym Gameln) uruchamiane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, do których chętnie przystępują firmy z branży gier komputerowych. Konsekwencją automatyzacji i przyspieszenia realizacji procesu animacji jest zwiększenie dostępności narzędzi, które znajdują swoje zastosowanie w obszarze medycyny czy administracji publicznej. Wirtualizacja i robotyzacja środowisk pracy, które coraz częściej zastępują ludzi w wykonywaniu żmudnych czynności, jest między innymi funkcją dostępności i jakości animacji postaci cyfrowych ze szczególnym naciskiem na animację ich twarzy, będącej główną świadomościową barierą w traktowaniu wirtualnych bytów jako partnera w dyskusji.

## **3. Czy autor rozwiązał postawiony problem i użył do tego właściwych metod?**

Do osiągnięcia głównego celu pracy Autor przyjął następujące cele szczegółowe:

- rekonstrukcja modelu cyfrowego twarzy;
- opracowanie metody animacji cyfrowego modelu twarzy na podstawie śledzenia znaczników umieszczonych na twarzy śledzonego aktora;
- opracowanie metody animacji twarzy w oparciu o obraz wideo rejestrujący mimikę prawdziwego aktora;
- opracowanie autorskiej hybrydowej metody odzwierciedlenia ruchów mimicznych twarzy na podstawie wirtualnych znaczników obliczonych z wykorzystaniem obrazu wideo;

W zakresie akwizycji danych Autor dokonał analizy wybranych (dostępnych dla Autora) technologii rekonstrukcji obiektów trójwymiarowych, uwzględniając wymagania towarzyszące zagadnieniu rekonstrukcji twarzy na potrzeby animacji. Na potrzeby badań, rekonstrukcja modelu twarzy została wykonana za pomocą skanera stosującego światło strukturalne (system 3dMDface). W kolejnych krokach Autor proponuje zbiór algorytmów, których głównym zadaniem jest zbudowanie poprawnej topologicznie siatki trójkątnej na podstawie zeskanowanych danych. Stosuje w tym celu reprezentację grafową siatki trójkątnej, metodę przeszukiwania grafu wszerz, analizę

wektorów normalnych trójkątów siatki geometrycznej oraz różne podejścia do mierzenia odległości wierzchołków siatki (grafowe, euklidesowe).

Pewien niedosyt pozostawia brak graficznych przykładów (rysunków) uzupełniających opis słowny, demonstrujących krytyczne przypadki niepoprawnych topologicznie fragmentów siatki oraz wyjaśnienia decyzji, które wynikają z zaproponowanych algorytmów i skromnego zapisu formalnego algorytmów. Równania 5.1 i 5.2 wydają się niewystarczające do podjęcia decyzji odnośnie usunięcia z grafu jego fragmentu, negatywnie wpływającego na topologię siatki, jak również nie definiują jawnie funkcji  $f(i)$ . Na stronie 38 Autor wspomina, że proponowane przez niego operacje korekty siatki trójkątnej mogą prowadzić do „zmniejszenia liczby wierzchołków i trójkątów nawet do 13%”, co można zrozumieć jako blisko 8-krotne zredukowanie liczby danych opisujących siatkę. To istotna redukcja, której zdaje się nie potwierdzać rysunek 5.2.

W zakresie metody animacji cyfrowego modelu twarzy przy zastosowaniu pasywnych znaczników odbijających światło podczerwone Autor zaproponował podejście, które w początkowej fazie ma na celu zbudowanie reprezentacji siatki wyższego poziomu – opis modelu twarzy za pomocą punktów charakterystycznych związanych z cechami (odległościami) antropometrycznymi, najbardziej istotnymi z punktu widzenia animacji, a następnie dopasowanie tego modelu referencyjnego do modelu cyfrowego, który będzie podlegał animacji. Zastosowano do tego zmodyfikowaną metodę iteracyjnego odnajdywania najbliższych punktów (ang. *Trimmed Iterative Closest Point – TrICP*). Poprawne przeprowadzenie animacji wymagało drugiej fazy, polegającej na dokonaniu mapowania znaczników przymocowanych do twarzy aktora na punkty charakterystyczne modelu i określenie ich oddziaływania na poszczególne wierzchołki modelu animowanego. W tym zakresie Autor zaproponował własną modyfikację metody Gupty i innych. Bazuje ona na segmentacji modelu na podstawie lokalizacji punktów charakterystycznych (metoda geometryczna i grafowa) oraz określeniu współczynnika wpływu znacznika na wierzchołek w ramach danego segmentu. Przyporządkowanie wierzchołka do segmentu odbywa się za pomocą projekcji wierzchołków na płaszczyznę wyznaczoną przez trójkąt (podstawa ostrosłupa, którego wierzchołkiem jest rzutowany wierzchołek) zbudowany na wierzchołkach odpowiadających znacznikom. Współczynnik wpływu wyznaczany jest na podstawie współrzędnych barycentrycznych rzutowanego wierzchołka względem wierzchołków segmentu.

Przedstawione metody są interesujące, choć niektóre kwestie nie są do końca precyzyjnie określone. W rozdziale 5.1.2 (str. 45) Autor wspomina o „różnych punktach charakterystycznych modelu 3D”, jednak omawia wyłącznie czubek nosa. Jakże inne punkty są rozważane i jakie są kryteria ich wyboru? Jaki jest próg tolerancji przy określeniu punktu jako odpowiadającemu punktowi charakterystycznemu modelu referencyjnego? W rozdziale 5.1.3 nie jest podane kryterium odległości, na podstawie którego następuje przyporządkowanie wierzchołka do ostrosłupa i nie wiadomo jak rozstrzygane są sytuacje, gdy należy usunąć nieekspresywne części siatki lub kilka ostrosłupów rości sobie prawo do jednego wierzchołka. Czy metoda w ogóle rozpatruje takie przypadki i jakie skutki uboczne to rodzi? W metodzie grafowej kryteria przeszukiwania siatki są przedstawione dużo jaśniej, choć pracy ewidentnie pomogłoby wprowadzenie poglądowych rysunków z przykładowymi fragmentami siatek i szersze wprowadzenie formalnego opisu. Metodologia opisana w rozdziale 5.1.4 wykorzystuje wzór 5.4, który zdaje się prowadzić do symbolu nieoznaczonego, gdy  $v_i = m_j$ , czego Autor wyraźnie nie wyklucza, natomiast dla równania 5.5 symbole nie są precyzyjnie opisane. Przykładowo w treści pracy pojawia się „jednostkowa normalna  $n_i$ ”, podczas gdy we wzorze wykorzystywane są symbole  $n$  z podwójnymi indeksami „ $n_{ij}$ ”. Jednocześnie we wzorze 5.6 symbol „ $n$ ” nie posiada żadnego indeksu. Szkoda, że rysunek 5.4 opisujący powierzchnię trójkąta Beziera stosuje nowe, inne oznaczenia niż wprowadzane w tym samym rozdziale oznaczenia dla wierzchołków siatki – przykładowo oznaczenia wag (A, B, C) we wzorze 5.9

pokrywają się z oznaczeniami wierzchołków we wzorze 5.5. Rysunek 5.5 demonstruje powierzchnie odkształconą i neutralną, ale nie ma oznaczeń, które z ilustracji opisują zadany wariant.

W zakresie metody animacji twarzy, bazującej na danych zarejestrowanych za pomocą kamer wideo, zagadnienie to zostało zdekomponowane na szereg mniejszych algorytmów. Na wstępie realizowana jest kalibracja 6 kamer na podstawie antropometrycznych punktów charakterystycznych twarzy. Skalibrowane kamery pozwoliły na fotogrametryczne odtworzenie współrzędnych przestrzennych analizowanych punktów charakterystycznych (56 punktów strukturalnych i ekspresyjnych), przy czym wybrana metoda (Tong i in., 2007) została, zdaniem Autora, dobrana na podstawie kryterium wrażliwości na obroty twarzy względem kamery. Ciekawe jest podejście, które wyodrębnia punkty strukturalne o mniejszej wrażliwości na mimikę i zastosowanie ich do określania orientacji twarzy, a następnie wykorzystanie punktów ekspresyjnych do poprawy dopasowania i rekonstrukcji cech osobniczych. Stosując współrzędne trójwymiarowe cech charakterystycznych Autor dokonywał rekonstrukcji siatki modelu twarzy. Ewentualne błędy, bądź deficyty punktów charakterystycznych, wynikające z ich błędnego rozpoznania lub nierozpoznania w ogóle, zostały zrekomensowane dodatkową analizą konturu twarzy i głowy. Ostatnim etapem była animacja dopasowanego do obrazu modelu twarzy. Autor zaadaptował do tego celu metodę Fukurawy i in., bazującą na fotokonsystencji pomiędzy wierzchołkami modelu, a odpowiadającymi im pikselami obrazu wraz z otoczeniem.

Prezentacje rzeczonyj metody zyskałaby na czytelności gdyby Autor odniósł metodę ekstrakcji punktów charakterystycznych twarzy do metod nieco bardziej współczesnych, o uznanej renomie takich jak ASM (ang. *Active Shape Model*) czy AAM (ang. *Active Appearance Model*). Mało użyteczne jest przytaczanie wyrażen opisujących fotokonsystencję kształtu, inspirowaną pozycjami [36-39] bez właściwych odniesien do symboliki i oznaczen oraz opisow wprowadzonych wcześnie w pracy. Wzory 5.11 – 5.18 są trudne w interpretacji bez posiłkowania się referencyjnymi pozycjami literatury.

Ostatnia z metod, przedstawiona w rozdziale 5.3, inspirowana dwoma wcześniejszymi metodami, pozwala na rekonstrukcję mimiczną twarzy na podstawie wirtualnych znaczników pozyskanych przy użyciu obrazów z kamer RGB. Autor dość skromnie nazywa rozdział „połączeniem technik animacji”, gdyż prezentowany w rozdziale pomysł jest ciekawy i oryginalny. Głównym celem nowej metody jest minimalizacja wpływu negatywnych charakterystyk poszczególnych metod i wykorzystanie ich pozytywnych cech. W opisie metody sporo uwagi Autor poświęca podziałowi siatki twarzy na segmenty i wyznaczaniu w oparciu o nie punktów charakterystycznych, jednakże rozdział nie zawiera formalnie spisanych informacji o metodzie łączenia technik animacji uwzględniającej ich charakterystykę. W rozdziale słabo uwypuklona jest również informacja w jaki sposób i w jakim stopniu trzecia z opracowanych metod – łącząca cechy pierwszej (roz. 5.1.) i drugiej (roz. 5.2) – „likwiduje najistotniejszy problem”, o czym pisze Autor w rozdziale 7.

#### **4. Na czym polega oryginalny dorobek autora i jakie jest jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?**

Wgłębiając się w poszczególne etapy procesu animacji twarzy, na podstawie danych pozyskanych z kamer RGB i systemu śledzenia markerów odbijających światło podczerwone, Autor rozprawy zaproponował szereg cennych i wartościowych usprawnień wpływających korzystnie na automatyzację procesu animacji mimiki twarzy. Chociaż Autor w pracy dość słabo akcentuje własny wkład w dziedzinę, w mojej ocenie na główne dokonanie rozprawy doktorskiej składają się:

- zbiór algorytmów pozwalający na rekonstrukcję topologicznie poprawnej siatki geometrycznej modelu twarzy;

- metoda odwzorowania znaczników (markerów) przyczepionych do twarzy aktora na trójwymiarowy, cyfrowy model twarzy, uwzględniający oryginalny sposób dystrybucji odkształceń na podstawie autorskich kryteriów sąsiedztwa i odległości;
- metoda odwzorowania automatycznie wykrywanych cech antropometrycznych twarzy na punkty charakterystyczne i otaczające je wierzchołki, cyfrowego modelu trójwymiarowego twarzy;
- metoda animacji, łącząca zalety łatwości kontrolowania cyfrowego modelu poprzez znaczniki (w oparciu o analizę obrazu z kamer zostały wprowadzone wirtualne znaczniki) z precyzją oddziaływania na poszczególne wierzchołki wynikającą z rozdzielczości obrazu rastrowego twarzy;

System zaproponowany przez Autora może mieć istotne znaczenie praktyczne. Autor rozprawy wykazał, że możliwa jest automatyzacja, choć wciąż nie pozbawiona wszystkich wad, procesu animacji twarzy, gdy źródłem akwizycji danych mimicznych jest zestaw kamer lub system śledzenia ruchu stosujący pasywne znaczniki odbijające światło podczerwone. O ile systemy oparte o analizę światła podczerwonego są umiarkowanie dostępne, głównie ze względu na koszt, to systemy jedno lub wielokamerowe, wykorzystujące kamery RGB, są ogólnie dostępne i jedynie brak skutecznego i niezawodnego oprogramowania stoi na przeszkodzie popularyzacji śledzenia ruchów twarzy.

Osiągnięcia Autora dysertacji mogą przyczynić się do rozpowszechnienia niedrogich systemów animacji mimiki twarzy. Systemy te z pewnością znajdą zastosowanie poczynając od systemów wirtualnej rzeczywistości, poprzez przemysł filmowy i gier komputerowych, a na obsłudze rozbudowanych interfejsów człowiek-komputer kończąc.

#### **5. Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy autora i znajomości współczesnej literatury, z dyscypliny naukowej, której dotyczy?**

Autor zawarł w pracy przegląd kilku metod i integrujących jej systemów przechwytywania mimiki twarzy. Pewien niedosyt pozostawia fakt, że publikacje z rozdziału 3, poświęconego przeglądowi literatury, mają blisko 20 lat (najmłodsze pochodzą z 1998 roku), a od tego czasu naukowcy intensywnie pracowali nad usprawnieniem zagadnień przechwytywania ruchu i rekonstrukcji obiektów 3D. Dużo większa dawka referencji została umieszczona w kolejnych rozdziałach poświęconych opisom poszczególnych etapów metod. Tutaj jednak też zastanawia fakt, że w bibliografii nie znajduje się żadna publikacja z ostatnich 5 lat (najmłodsza publikacja pochodzi z 2011 roku).

W kontekście opracowanych metod Autor właściwie dobierał rozwiązania referencyjne, do których odnosił się w swojej pracy, lub które modyfikował wprowadzając istotne usprawnienia. Niezależnie od doboru literatury zaproponowane przez Autora metody i rozwiązania są oryginalne i zostały wielokrotnie uznane poprzez publikację w czasopiśmie i ich prezentację na międzynarodowych konferencjach. Bibliografia zawiera 50 pozycji o uznanej renomie, właściwie dobranych, choć nie najświeższych. Szkoda, że wśród cytowanych pozycji nie znalazły się żadne prace Autora.

#### **6. Jakie są wady i słabe strony rozprawy?**

Do uwag, niepodważających mojej pozytywnej opinii o całości rozprawy, oprócz komentarzy zamieszczonych w punkcie 3 recenzji, chciałbym zaliczyć:

- Wątpliwość dotycząca zawartości rozdziału 4, który pełni rolę wprowadzenia do opracowanych przez Autora metod opisanych w rozdziale 5. Przy złożoności omawianych kwestii jest on jednak zbyt powierzchowny, aby zrozumieć części składowe metod, a nie zastępuje, moim zdaniem, tak pożądanego w pracy schematu metod animacji uzupełnionego opisem formalnym. Sam opis słowny bez przykładów uszczupla czytelność pracy. Zauważalne są również pewne nieścisłości pomiędzy

rozdziałem 4 i 5, np.: W roz. 4.1.4 pojawia się informacja o „mapowaniu 6 znaczników na 1 wierzchołek”, który też nie do końca jest wyjaśniony w rozdziale 5. Brakuje formalnego zapisu, bądź schematu określającego wpływ znaczników na wierzchołek.

- Pewien niedosyt pozostawia rozdział 6, który zawiera zbiór wyników zebranych w formie obrazów (renderów) prezentujących modele twarzy na różnych etapach przetwarzania metody. W zrozumieniu rozmieszczenia znaczników na twarzy (rys. 6.3, 6.6, 6.9, 6.12, 6.15, 6.18, 6.21) pomogłoby oznaczenie samych znaczników na obrazach, do których się odnoszą (6.4, 6.5, 6.7, itd.). Wartość pracy wzrosłaby gdyby obrazy zostały uzupełnione bieżącym komentarzem oraz wartościami liczbowymi, o wyliczaniu których Autor wspomina w rozdziale 5, wyrażającymi procentowe niedokładności (np. w odniesieniu do odległości pomiędzy wewnętrznymi kącikami oczu) odwzorowanych modeli. W rozdziale 6 nie zawarto również informacji odnośnie niedokładności i aberracji (nawet subiektywnych) występujących podczas ruchów mimicznych, których praca dotyczy.

- Przekształcenia zaproponowane przez Autora wymagają dość zaawansowanych operacjach na topologii siatek trójkątnych. Jaka metoda reprezentacji siatki geometrycznej była wykorzystywana w badaniach i dlaczego? Jak kształtuje się efektywność obliczeniowa przekształceń, o których Autor pisze w rozdziale 5 (str. 37)?

Praca jest przygotowana starannie pod względem edycyjnym, z zamieszczonym spisem wykresów i rysunków oraz spisem literatury. Można spotkać nieliczne błędy literowe i interpunkcyjne (np.: str. 26 „sammy”, zamiast „samym”, str. 31 „błędu” zamiast „błędy”, itp.). Brakuje w pracy ewidentnie spisu oznaczeń i symboli, który pomógłby Autorowi zachować spójność i uporządkować zapis w proponowanych wzorach i równaniach.

Zauważono następujące nieprecyzyjne i błędne sformułowania oraz błędy edycyjne pracy:

- W pracy bardzo często pojawia się słowo „ilość” zamiast „liczba” przy rzeczownikach policzalnych, np.: „liczba ścianek”, czy „liczba wierzchołków” zamiast „ilość ścianek”, czy „ilość wierzchołków”;
- Zauważono wiele oznaczeń kolokwialnych i nieprecyzyjnych, które nie powinny wystąpić w pracy naukowej, są to m.in.: (str. 48) „... płaszczyzna prostopadła do średniej płaszczyzn obu trójkątów”, „... płaszczyzna odpowiadająca krawędzi segmentu”, (str. 59) „... rzut konturu zostaje poszerzony o połowę odcinka”, (str. 60) „Ponieważ użyta zostaje suma logiczna głowy i twarzy, w powstałym iloczynie występują rozgałęzienia”, (str. 64) „... próbkowanie w oparciu o antropometrię umożliwia pozyskanie danych o ruchu niezależnie od cech antropometrycznych ...”;

## 7. Wniosek końcowy

Dobrze oceniam poziom merytoryczny rozprawy. Autor wykazał się obszerną wiedzą w dziedzinie animacji komputerowej i systemów śledzenia ruchu. Opracował oryginalne metody oraz usprawnienia istniejących rozwiązań w zakresie automatyzacji procesu animacji twarzy, korzystając z wybranych technik przechwytywania ruchu.

Stwierdzam, że Autor wniósł wkład do dyscypliny naukowej informatyka w zakresie animacji komputerowej i interfejsów człowiek-komputer.

Uważam, że przedłożona do recenzji rozprawa mgr inż. Damiana Pęszora **spełnia** wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) odnośnie stopnia doktora nauk technicznych.

Adam Wojciechowski