

Szczecin, dnia 17 maja 2017 r.

dr hab. inż. Przemysław Klęsk, prof. nadzw.
Katedra Metod Sztucznej Inteligencji i Matematyki Stosowanej
Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Żołnierska 49
71-210 Szczecin

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Mazurowskiego
pt.: „Model systemu algorytmicznego komponowania muzyki
na podstawie wzorców”

1 Zawartość rozprawy i problem badawczy

Recenzowana rozprawa wpisuje się tematycznie w zakres tzw. sztucznej twórczości, a dokładniej sztucznego komponowania muzyki. Inne przykłady sztucznej twórczości to m.in. sztuczna poezja (czyli generowanie z pomocą komputera form poetyckich) lub też sztuczne malarstwo (komputerowe generowanie obrazów przypominających formy malarskie). Sztuczna twórczość to zdecydowanie dziedzina niszowa, którą można zaliczyć do pobocznych nurtów w ramach sztucznej inteligencji.

Należy z góry zaznaczyć, że w tego typu zagadnieniach nie jest łatwo o jednoznaczne ilościowe sposoby oceny otrzymanych rozwiązań. Zwyczajowo przyjmuje się *niestety* pewien subiektywny sposób oceny. Z drugiej strony warto sobie uzmysłwić, że na wygenerowane sztuczne utwory można patrzeć poprzez pryzmat szczególnego rodzaju *testu Turinga* (lub też gry w naśladownictwo). Można zadać sobie np. pytanie: co, jeśli pewien sztucznie skomponowany utwór muzyczny byłby w stanie „oszukać” (co do natury swojego powstania) odpowiednio duży procent muzyków? Tak postawione zagadnienie jest już moim zdaniem ciekawe badawczo.

Autor w pracy zajmuje się tzw. *muzyką tła* (ang. *background music*). Chodzi tu o muzykę, która może być odtwarzana podczas wykonywania pewnych czynności, a która nie angażuje mocno uwagi słuchaczy np. muzyka odtwarzana w sklepach, korytarzach hotelowych, itp. Przyuszczalnie zabieg ograniczenia się w pracy do muzyki tła ma na celu odpowiednie uproszczenie problemu. Nie należy za to jednak zbytnio krytykować autora. Jest intuicyjnie jasnym, że „ucho ludzkie” ma dużo wyższe wymagania (melodyczne, rytmiczne, itd.) np. odnośnie piosenki, aniżeli odnośnie improwizacji jazzowej.

Za cel pracy autor postawił: „(...) opracowanie modelu komputerowego systemu komponowania muzyki użytkowej (posiadającej wartość rynkową), w którym do generowania oryginalnych utworów muzycznych wykorzystuje się metody autorskie oparte na metodach sztucznej inteligencji (...)”.

Postawiona w pracy hipoteza badawcza brzmi następująco: „(...) bazując na metodach sztucznej inteligencji, możliwe jest opracowanie takich algorytmów komponowania utworów muzycznych, których efektem będą utwory atrakcyjne w odbiorze i posiadające strukturę poprawną w aspekcie teorii muzyki.”. O ile pierwsza własność — atrakcyjność w odbiorze — jest, tak jak

wcześniej zaznaczono sprawą subiektywną (lub wymaga poddania pod głosowanie), tak druga własność — poprawna struktura muzyczna — jest moim zdaniem słusznie wskazana i uporządkowuje trochę tok badań.

2 Ogólna ocena struktury pracy

Praca liczy 194 ponumerowane strony. Jest zbudowana z: dwustronicowej „Charakterystyki pracy” oraz 5 rozdziałów właściwych (w tym piąty konkludujący).

Rozdział pierwszy „Komponowanie algorytmiczne muzyki — wprowadzenie i analiza rozwiązań” wprowadza czytelnika w zagadnienia muzyczne, dokonuje przeglądu metod i systemów komputerowych do generowania muzyki i formułuje problem badawczy.

Rozdział drugi „Koncepcja systemu algorytmicznego komponowania muzyki” przedstawia autorskie pomysły mgra Mazurowskiego dotyczące algorytmicznego komponowania z dwiema wyraźnie wydzielonymi częściami: (1) komponowanie bez definiowania formy generowanego utworu, (2) komponowanie z uwzględnieniem opisu formy generowanego utworu.

Rozdział trzeci opisuje szczegóły implementacji (skrypty w środowisku MATLAB). Implementacja podobnie jak koncepcja z rozdziału drugiego jest podzielona na dwie części — komponowanie bez formy i z uwzględnieniem formy.

Rozdział czwarty to rozdział eksperymentalny.

Rozdział piąty przedstawia końcowe konkluzje, perspektywy rozwoju systemu i komentarze na temat dorobku publikacyjnego i pozapublikacyjnego autora.

Praca została złożona w systemie L^AT_EX. Zawiera bibliografię (108 pozycji), odpowiednie spisy rysunków i tablic, pomocny glosariusz pojęć muzycznych, dodatek z listingami kodów źródłowych oraz dodatek z opisem zawartości załączonej płyty CD. Struktura pracy należy ogólnie uznać za przemyślaną i staranną, natomiast odbiór pracy przez czytelnika niestety obniża duża liczba błędów edytorskich, matematycznych, notacyjnych i innych (wymienionych szczegółowiej w punkcie 6 tej recenzji).

3 Metody zaproponowane przez autora

Autor przedstawia dwa zasadnicze pomysły dotyczące komponowania algorytmicznego, kolejno: bez uwzględniania formy wynikowego utworu i z jej uwzględnieniem.

W pomysłu pierwszym główną informacją zasilającą proces komponowania (pochodzącą od człowieka, użytkownika programu) jest, mówiąc w uproszczeniu, para: motyw, rytmika. Motyw podstawowy jest reprezentowany przez wektor wysokości dźwięków (bez ich czasów trwania), natomiast rytmikę opisują wektory `rhythmic_step` i `rhythmic_value`, które przekładają się dalej na wektor możliwych pozycji nut, na których osadzany będzie motyw lub jego wariacje. Proces komponowania zaproponowany przez autora można wówczas streścić następująco. Na podstawie motywu podstawowego tworzona jest macierz wariacji¹ tego motywu (macierz KMM), powstała np. poprzez permutacje lub transformacje (np. przesunięcia o 4 półtony, 5 półtonów; przesunięcia rotacyjne, itp.). Dalej, powoływany jest do życia zestaw tzw. *mini-generatorów* służących do generowania tzw. *wzorców*. Mini-generatory to krótkie parametryzowane procedury narzędziowe, które można uznać za serce pomysłu autora i cegiełki budujące wynikową kompozycję. Parametry mini-generatora to m.in.: klasa (monofoniczny, polifoniczny, perkusyjny), używany motyw muzyczny (wiersz wybrany z macierzy KMM), wektor pozycji nut, minimalna długość nuty generowanego wzorca, długość wzorca w jednostkach bpm, tempo wzorca w jednostkach

¹Autor nazywa ją właściwie macierzą kombinacji motywów (KMM), przy czym w zależności od kontekstu autor mówi także o permutacjach motywu lub transformacjach motywu.

bpm. Wygenerowane wzorce są dalej sklejane z pewną losowością w wynikową kompozycję, przy czym możliwość sklejania dwóch wzorców jest uzależniona od odległości ich histogramów wysokości dźwięków (z uwzględnieniem modelu akustycznego Parncutta). Autor posługuje się odległością euklidesową. Warto dodać, że w przypadku mini-generatorów polifonicznych autor zauważa problem dbałości o zgodność tonacji i wykorzystuje metodę Krumhansla-Schmucklera opartą na współczynniku korelacji dla dwunastopniowych skali tonacji.

Drugi pomysł autora dotyczy komponowania z uwzględnieniem formy muzycznej. Chodzi tu o generowanie utworów, które miałyby pewną strukturę zamkniętą np. posiadającą wstęp, rozwinięcie i zakończenie, z uwzględnieniem możliwych powtarzalności pewnych fragmentów. Tutaj również można dopatrzeć się głównej informacji zasilającej (podawanej przez człowieka) w postaci pary: struktura formy, akord bazowy. Opisem struktury formy jest wektor (np. `form = [1, 1, 2, 3, 2, 3, 1]`), wskazujący unikalne fragmenty i kolejność ich występowania. Widać tu pewną analogię np. do schematów rymów w poezji (np. rymy AABB lub ABAB, itp.). Akord bazowy stanowi natomiast informację początkową do budowania tzw. progresji akordów i tym samym harmonii. Progresja jest wytyczna w sposób probabilistyczny na podstawie reguł kadencji muzycznych poprzez zbudowanie macierzy przejść akordów (silna analogia do macierzy prawdopodobieństw przejść pomiędzy stanami w ukrytych modelach Markowa). Mając sekwencję akordów, generowana jest następnie (z pewną losowością) melodia i linia basowa. Rola mini-generatorów w tym podejściu została ograniczona do generowania partii perkusyjnych.

4 Główne uwagi do rozprawy

4.1 Pozytywne strony rozprawy

1. Obie proponowane koncepcje algorytmiczne autora (tzn. podejścia do komponowania bez formy i z jej uwzględnieniem) recenzent uznaje za przemyślane i ciekawe.
2. Na pochwałę zasługują dokładne studia literaturowe przeprowadzone przez autora. W pracy dokonano przeglądu różnych technik i prób algorytmicznego komponowania muzyki sięgających nawet do XVII wieku. Opisane są pomysły teoretyków muzki i matematyków m.in.: Mersenne'a, Kirchera, Kirnbergera, Himmela. Więcej miejsca autor poświęca idei serializmu Schoenberga, metodzie formalizmu Xenakisa, a także komponowaniu z pomocą: modeli Markowa, gramatyk formalnych, automatów skończonych, algorytmów genetycznych, automatów komórkowych, czy wreszcie sieci neuronowych. Jest to szeroki i dojrzały przegląd, w którym widać dobre rozumienie autora omawianych treści.
3. Praca jest bogata pod względem eksperymentalnym. W rozdziale czwartym autor omawia wpływ zmian wielu przewidzianych przez niego parametrów i nastaw na uzyskiwane kompozycje. Chodzi tu m.in. o takie parametry jak: długość dźwięku, długość wzorca, parametry zbioru wygenerowanych wzorców, tablica powtórzeń, wektor opisu struktury (formy), wektor skali muzycznej, wektory lokalizacji i przesunięć dźwięków, liczby akordów i ich czasy trwania.
4. Dzięki płycie CD dołączonej do pracy można przesłuchać otrzymane przez programy autora kompozycje, a także ich części składowe (wzorce, akordy, itp.). Jest to ciekawy materiał ponad 60 plików z nazewnictwem powiązanym z odpowiednimi parametrami, które autor bada.
5. Całość pracy wskazuje na dobrą znajomość autora w zakresie informatycznych narzędzi muzycznych (m.in. formatu MIDI, MATLABowego pakietu MIDI ToolBox, aplikacji SynthFont do syntezy kompozycji).

6. Należy pochwalić autora za próby różnych graficznych wizualizacji (w różnych miejscach pracy) obiektów, które z natury rzeczy dotyczą muzyki np.: wizualizacje macierzy przejść wzorców, wykresy pianolowe, wizualizacje macierzy kombinacji motywów, wizualizacje kompozycji molowych i durowych poprzez samoorganizujące się mapy, itp.

4.2 Główne uwagi krytyczne

1. Pewien niedosyt budzi brak jawnego zastosowania w algorytmach autora metod sztucznej inteligencji, które są deklarowane i w celu, i w tezie pracy. Algorytmy autora mają raczej charakter generatywny i częściowo transformacyjny, jak zauważa sam autor. Być może winowajcą w tym zakresie jest sam sposób sformułowania celu pracy (niepotrzebna wzmianka o metodach sztucznej inteligencji).
2. Z programistycznego punktu widzenia kody źródłowe autorstwa doktoranta są mało eleganckie lub miejscami wręcz niechlujne. Pojawia się w nich bardzo dużo wartości podanych „na sztywno”. Ma miejsce pomieszanie polskojęzycznych i anglojęzycznych nazw zmiennych. Nagminnym zjawiskiem są długie zestawy instrukcji `if` w miejscach, gdzie wystarczyłaby pętla po pewnej tablicy z zapisem jednej instrukcji `if`. Losując liczbę z rozkładu $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ autor posługuje się brzydkimi warunkami w stylu `if rand() < 0.33` lub `if rand() < 0.66` — czy te wartości są odpowiednimi przybliżeniami liczb $1.0/3.0$ i $2.0/3.0$ w typie `double`? Tego typu usterek programistycznych jest dużo.
3. Poza trzema wyróżnionymi procedurami algorytmicznymi (2.1, 2.2, 3.1) w pracy brakuje takich uporządkowanych zapisów. Autor zbyt często preferuje długi opis słowny nad bardziej zwartym zapisem algorytmicznym.

5 Uwagi i pytania stawiane na obronę rozprawy

Proszę autora o odniesienie się w trakcie publicznej obrony do następujących uwag i pytań.

1. Autor wspomina „muzyczną grę w kości” zaproponowaną przez Kirnbergera i Himmela (XVIII w.). Polega ona na składaniu kompozycji ze słownika gotowych fragmentów poprzez wskazywanie ich indeksów na podstawie sumy oczek wyrzuconych na dwóch kościach. Jak wiadomo, najczęstsza suma to 7 (prawdopodobieństwo $6/36$), potem 6 (prawdopodobieństwo $5/36$), itd. Pojawiają się tu ciekawe pytania. Chociażby: jak permutacja słownika zmienia styl wynikowych kompozycji?
2. Pomysły autora wymagają informacji wejściowej do algorytmów pochodzącej od człowieka (określenie motywu, wektorów z rytmiką, itp.), później już proces toczy się automatycznie z pewną losowością. Na ile trudne autor widzi zalgorytmizowanie tego pierwszego kroku? Czy udałoby się np. wygenerować automatycznie pewne parametry mini-generatorów, które autor nastawia ręcznie (tab. 4.1)?
3. W ramach ćwiczenia matematycznego, proszę doktoranta o przygotowanie stosownego slajdu na obronę z odpowiedzią na następujące pytanie. W łańcuchu Markowa pierwszego rzędu, ile wynosi prawdopodobieństwo pojawienia się w chwili t stanu j -ego pod warunkiem, że w chwili $t - 2$ system przebywa w stanie i -ym. Innymi słowy, ile wynosi: $P(q_t = S_j | q_{t-2} = S_i) = ?$
4. Na stronach 59, 60 autor używa współczynnika korelacji Pearsona do sprawdzenia, czy dany fragment muzyczny (jako wektor nut) x jest zgodny z pewną tonacją y wyrażoną

w 12-stopniowej skali. Autor stara się dalej wyjaśnić, jak na potrzeby wzoru (2.13) x i y zostają ujednolicone do tej samej długości. Prosiłbym o dokładniejsze wyjaśnienie podczas obrony.

5. Czy autor widzi jakiś związek proponowanej macierzy PTS z macierzą prawdopodobieństw przejść w modelach Markowa? Dlaczego akurat 40% najbardziej podobnych wzorców wchodzi do konkurencji podczas sklejania i dlaczego losowanie jednego z nich (spośród tych 40%) odbywa się zgodnie z rozkładem jednostajnym, a nie w pewien sposób proporcjonalny do podobieństw?
6. Algorytm 2.1 (str. 70) jest ogólnie zrozumiały, ale pojawiają się dwa pytania. Dlaczego oprócz wzorca melodii W_M autor generuje także wzorec linii basowej W_B , ale zwracane jest tylko W_M ? Czy zmienna położenia kolejnego dźwięku nie powinna być zwiększona o sumę $o + d$ (czyli przesunięcie + długość) nie zaś o samą wartość o ?
7. Ciekawym doświadczeniem byłoby przygotowanie dla słuchaczy na obronę utworu wygenerowanego sztucznie (muzyki tła) na bazie pewnej znanej rozpoznawanej powszechnie melodii. Byłbym zadowolony, gdyby doktorant zdołał przygotować taki utwór.

6 Pomniejsze uwagi

6.1 Usterki matematyczne, notacyjne, programistyczne

1. Mnożenia są zapisywane znakiem $*$ w tekście pracy (co dopuszczalne powinno być tylko w kodach źródłowych). Gwiazdki matematycznie kojarzą się raczej ze splotem (np. str. 14). Lepiej byłoby używać znaku $\cdot$ (w LaTeXu polecenie `cdot`) lub po prostu nie stawiać żadnego znaku.
2. Str. 17–20: Dość denerwujące są długie opisy słowne transformacji Schoenberga, czasami niezrozumiałe (np. transformacja ‘upside-down’). Zamiast podawać listingi na bieżąco lub krótkie formuły matematyczne autor zmusza czytelnika do wertowania pracy aż do spisu listingów.
3. Często w pracy używane są klamry $\{\dots\}$ przyjęte zwyczajowo dla zbiorów z zamiarem oznaczania wektorów (gdzie ważny dla autora jest porządek), zamiast nawiasów zwykłych lub kwadratowych.
4. Str. 21 (formalizm Xenakisa): Autor zużywa aż 6 linii tekstu żeby określić wektor v_m jako trójkę (p_n, d_n, i_n) tj. pitch, duration, intensity. Niezrozumiałe jest też w tym otoczeniu indeksowanie autora, np. $v_m = \{p_n, d_n, i_n\}$ — jaki jest związek m i n ? Chwilę później podane jest prawo dodawania wektorów zapisane jako:

$$(v_i = \{p_m, d_n, i_o\}) + (v_j = \{p_x, d_y, i_z\}) \Rightarrow (v_i + v_j) = \{(p_m + p_x), (d_n + d_y), (i_o + i_z)\}.$$

Notacja mocno rozdmuchana. Jaki sens wszystkich indeksów? Jaki sens strzałki $\Rightarrow$? Dużo prościej byłoby napisać po prostu: $(p_1, d_1, i_1) + (p_2, d_2, i_2) = (p_1 + p_2, d_1 + d_2, i_1 + i_2)$.

5. W wielu miejscach autor myli przedział liczbowy ze skończonym zbiorem. Np. na str. 21: „ $(\dots)$ wartości z przedziału 0–127 $(\dots)$ ”. Przypuszczalnie chodziło tu o zbiór $\{0, 1, \dots, 127\}$.
6. Str. 23: „ $(\dots)$ W przypadku gdy zbiór nie zawiera powtórzeń problem jest trywialny. Jednakże, gdy w zbiorze pojawiają się duplikacje (replikacje) danej nuty, rosną jej szanse na wylosowanie do kompozycji $(\dots)$ ”. Czy zbiór matematyczny może zawierać powtórzenia?

7. Str. 24: „(...) Suma wszystkich wartości prawdopodobieństwa wynosi 0”.
8. Str. 24, 25: Mówiąc o macierzy prawdopodobieństw przejść pomiędzy stanami (w modelu Markowa), autor używa niezręcznego określenia „macierz prawdopodobieństwa tranzycji” (liczba pojedyncza), a jeszcze innym razem mówiąc o tym samym „macierz transpozycji”.
9. Str. 161 (listing 5.8): Autor realizuje zliczanie na rzecz macierzy prawdopodobieństw przejść poprzez zagnieżdżone wielokrotne wywołania funkcji `find MATLABa`. W efekcie otrzymuje algorytm kwadratowy, podczas gdy wystarczyłoby liniowe przejście po macierzy nut.
10. Str. 35: Zaskakuje dziwnością algorytm genetyczny zapisany za pomocą diagramu UML maszyny stanów. Dlaczego autor nie posłużył się np. pseudokodem w formie ponumerowanych kroków? Co więcej w zapisie autora nie widać w sposób jasny iteracji głównej pętli genetycznej.
11. Wzór (2.1): Po co autor rozróżnia dwa przypadki odnośnie wartości ilorazu: długość wzorca / długość nuty? Przecież wystarczy tylko drugi przypadek $m_{MN} = \lfloor l_W / dur_W \rfloor$ — część całkowita tego ilorazu.
12. Str. 53: Warunek (2.4) wystarczy zapisać jako $m_i = m_j$. Jaki jest sens znaku równoważności $\Leftrightarrow$?
13. Str. 54, 55: Autor mógłby pomyśleć o szczególnym znaku dla operatora konkatenacji wzorców np. $\oplus$. W otoczeniu tych stron mieszane jest bowiem dodawanie zwykle z konkatenacją.
14. Str. 56: Wektor pozycji nut należało zapisać raczej jako $WPN = \{k_i : k_i = n + i \cdot rs, n \leq k_i \leq l\}$, gdzie $i = 0, 1, \dots$. Zapis autora jest niezrozumiały.
15. Większość lub mniejszość z równością jest w wielu miejscach pisana jako $\leq$ oraz $\geq$. Powinno być: $\leq$ oraz $\geq$.
16. Str. 57: Macierz kombinacji motywów lepiej zapisać jako zbiór wszystkich kombinacji np. w terminach autora jako $KMM = \{(i_1, i_2, \dots, i_k) : 1 \leq i_1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_k \leq n\}$.
17. W wielu miejscach ma miejsce niejednorodność czcionki matematycznej w formułach tzw. wystawionych i w tekście. Np. na str. 57 mamy cc oraz cc , a także MM oraz MM .
18. Str. 63, 64: Autor miesza pojęcie miary z metryką. Dodatkowo, lepszym byłoby posługiwanie się oznaczeniem $\|\dots\|$ jako normy zamiast $|\dots|$.

6.2 Usterki edytorskie, literówki i inne

1. Str. 5: Autor deklaruje wyjaśnienia pojęć dotyczących dźwięku: częstotliwość, amplituda, tembr, czas trwania i obwiednia. Następują wyjaśnienia z pominięciem konkretnego wyjaśnienia pojęcia obwiedni.
2. Złe operowanie rodzajami (długością) myślników w całej pracy. Często autor stawia myślniki krótkie ‘-’ zamiast tzw. myślników pauz ‘—’ (np. str. 3, 5, 10).
3. Złe operowanie cudzysłowami. Autor stosuje zamerykanizowaną wersję “...” zamiast wersji przyjętej w języku polskim „...”. Np. na stronie 5 mamy “Glosariusz”, “sztuka generatywna”.

4. Str. 9: „wskazuję” zamiast „wskazują”.
5. Str. 10: podwójne stopniowanie przymiotnika: „(...) *bardziej ruchliwsza* (...)”.
6. Str. 10: przypuszczalnie brak słowa „jest” w zdaniu „*Ta cecha kompozycji* (...)”.
7. Str. 14: literówka „typo komunikaty” zamiast „typ komunikatu”.
8. Str. 14: gramatyka „*Sekwencja bajtów 4D 54 72 6B wyznaczają początek* (...)” — powinno być „wyznacza”.
9. Przy referencjach do numerów rysunków i tabel pojawiają się bardzo długie spacje pomiędzy skrótami „rys.” i „tab.” a samymi numerami. Przypuszczalnie autor nie stosuje w tym miejscu odpowiedniego symbolu w LaTeXu, przez co LaTeX traktuje napotkaną kropkę jako koniec zdania.
10. Źle sformatowana tabela 1.7.
11. Str. 26 (tab. 1.8): Niezgodność prawdopodobieństwa przejścia $28 \rightarrow 32$ pomiędzy tabelą (wartość 0) a tekstem (wartość 0.5).
12. Str. 26, 27: Niejednolitość oznaczenia miejsca dziesiętnego (np. 0,75 i 0.75).
13. Str. 28: Literówka w tytule pracy Chomsky’ego.
14. Str. 37: Błąd w nazwisku Stanisława Ulama.
15. Str. 37: „definiuję się” zamiast „definiuje się”.
16. Rys. 1.2.3: W otoczeniu tego rysunku recenzent nie znalazł wyjaśnienia skrótu GBMS nazwy własnej systemu autora. Można domyślać się jak skrót rozszyfrować patrząc na publikację [11].
17. Str. 40, 41: Podrozdział zatytułowany „Sztuczne sieci neuronowe generujące muzykę” nie zawiera informacji zgodnych z tytułem. Są tam ogólne informacje o falach EEG, odbiorze muzyki przez człowieka i bardzo ogólne informacje o sieciach neuronowych, ale brak jest podanych podejść do generowania muzyki nimi.
18. Str. 46: Nazwisko Markowa zapisane małą literą.
19. Str. 53: Zaskoczeniem są błędy językowe w zapisach autora „pół nuta”, „ćwierć nuta” — powinna być pisownia łączna.
20. Str. 56: Zamiast „Strukturę tą” powinno być „Strukturę tę” (biernik, a nie narzędnik).
21. Str. 57: Literówka w „(...) *generuje fragmentu muzyczne* (...)”.
22. Str. 64: Macierz PST tłumaczona jako *Pattern Transition Structure* (kolejność liter w skrótowcu).
23. Str. 76: „(...) *permutacje zostały skonstatowane* (...)” — powinno być raczej „skonkatenowane”.
24. Str. 114: Usterki edytorskie w nazwach parametrów: *onset*₄₂ i *rhythmic*_{value}.
25. Str. 132: Błąd ortograficzny „*cechą szczególnym*”.

7 Ocena dorobku naukowego autora

Cytowany w pracy dorobek autora obejmuje 5 publikacji: jedna wydana jako rozdział w monografii wydany przez Politechnikę Koszalińską, dwa artykuły w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* oraz dwie publikacje konferencyjne. Na wyróżnienie zdecydowanie zasługuje jednoautorska publikacja [11] prezentowana przez Pana Mazurowskiego na konferencji ICNAAM 2014 (*International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics*) na Rodos w Grecji. Jest to moim zdaniem wartościowa konferencja, a wydawane materiały są indeksowane w bazie Web of Science.

8 Konkluzja

Pomimo wielu uwag krytycznych moja całościowa ocena rozprawy Pana Mazurowskiego jest pozytywna. Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania określone przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (wraz z późniejszymi zmianami). Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Łukasza Mazurowskiego do publicznej obrony.