

Recenzja pracy doktorskiej
mgr. inż. Roberta Lubasia pt. *Metody modelowania dynamiki tłumu*
bazujące na niehomogenicznych automatach komórkowych

Praca doktorska mgr. inż. Roberta Lubasia pt. *Metody modelowania dynamiki tłumu bazujące na niehomogenicznych automatach komórkowych* została napisana w j. polskim i wydrukowana w formie książkowej na Wydziale Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH w Krakowie. Podstawą formalną recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH z dnia 6 marca 2019 r. Rozprawa liczy 86 stron, składa się oprócz Wstępu i Podsumowania z pięciu rozdziałów merytorycznych. Dopelnienie rozprawy stanowi bibliografia oraz płyta CD z zawartością elektroniczną.

1. Aktualność i ważność tematyki rozprawy

Tematyka pracy doktorskiej wiąże się z aktualnie rozwijanymi metodami modelowania dynamiki tłumu i mieści się w dyscyplinie Informatyka Na tle bogatej literatury dotyczącej tego typu symulacji zachowań zbiorowych, omawiana rozprawa ma charakter użyteczny.

Tłum jest zjawiskiem, z jakim stykamy się praktycznie nieustannie. Wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z dużą zbiorowością ludzką, możemy obserwować zachowania charakterystyczne dla tego symulowanego w pracy zjawiska. Tłum, w pewnych sytuacjach, może formować się spontanicznie na skutek znacznego zagęszczenia lub ograniczeń ruchu wynikających z sieci transportowej, bądź też tworzyć zorganizowaną grupę, mającą określone cele (jak to ma miejsce w przypadku stadionów sportowych, czy hal widowiskowych). W pracach poświęconych analizie zachowań tłumu wyróżnia się różne klasyfikacje tłumu – wskazując na przyczynę i charakterystykę powstania takiej zbiorowości, aż po dynamicznie zmieniające się liczebnościowo zbiorowości, które powodowane są agresją bądź strachem. Niezależnie od charakterystyki, tłum jako zbiór pewnych indywiduali, zawsze będzie cechować bliskość fizyczna oraz wspólny obiekt zainteresowania (definiowany przez pewną funkcję celu). Tłum powinien być traktowany jako dynamiczna całość – jego zachowaniem kierują bowiem zasady, nie obserwowane u pojedynczych osobników. Wykształcają się pewne, wynikające z wzajemnej interakcji na niższym poziomie, zjawiska – tzw. zachowania emergentne, czyli inaczej wytwórcze.

Zachowania tego typu są przedmiotem zainteresowania i badań w wielu dziedzinach. W architekturze czy urbanistyce może mieć to na celu zaprojektowanie rozwiązań (dotyczących hal widowiskowych, czy stadionów), zapewniających realną funkcjonalność i wygodę dużych grup ludzkich. Z kolei organizatorzy imprez masowych mogą być zainteresowani oceną stopnia bezpieczeństwa. Stąd potrzeba analizy zachowania tłumu, a także modelowania i symulacji, które pozwalają na

przewidywanie zachowania takiej licznej grupy. Symulacja ruchu i interakcji pozwala odtwarzać zjawiska obserwowane w zbiorowości i rozpatrywać różnorodne scenariusze: począwszy od swobodnego przepływu, aż po zachowanie w sytuacjach krytycznych (pożary, powódzie, zamieszki i w konsekwencji ewakuacja tych zagrożonych). Wyniki tych analiz mogą być wykorzystywane na przykład w treningu jednostek odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i kontrolę nad tłumem. Tego typu modele mogą też znaleźć zastosowanie w przemyśle filmowym oraz grach wideo – symulacja zachowań stadnych pozwala na wizualizację imponujących scen batalistycznych z użyciem grafiki 3D. Poniższa recenzowana praca poświęcona jest tym właśnie zagadnieniom.

Zasadniczym obszarem badawczym doktoranta, który znalazł odzwierciedlenie w przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej, jest obszar sztucznej inteligencji, a w szczególności wykorzystanie technologii systemów agentowych w modelowaniu i symulacji dynamiki tłumu ludzi w różnych kontekstach sytuacyjnych. Prowadzone prace wymagały interdyscyplinarnego podejścia, obejmującego między innymi: inteligencję obliczeniową, modelowanie i symulację systemów, inżynierię oprogramowania, przetwarzanie równoległe, fizykę (w przypadku symulacji duże znaczenie ma modelowanie tłumu ściśle z regułami fizyki), w pewnych aspektach również socjologię i psychologię. Koniecznym było zapoznanie się przez doktoranta z metodologią modelowania i symulacji tłumu bazującym na podejściu agentowym, z wykorzystaniem automatów komórkowych. Należy podkreślić, że metodologia ta znalazła praktyczne zastosowania i została wykorzystana w wielu projektach o znaczeniu praktycznym.

Struktura i zawartość rozprawy

W rozdziale drugim zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z pojęciem automatu komórkowego oraz dokonano pewnej klasyfikacji tychże. Pojęcia te omówiono w kontekście modelowania dynamiki tłumu.

Istnieje wiele różnych podejść do symulacji tłumu i modeli jego zachowania. Można je podzielić na podejścia makro- oraz mikroskopowe, co też opisano w rozdziale drugim. Modele makroskopowe, holistyczne skupiają się na wartościach uśrednionych (jak przepływ czy gęstość), opisując tłum jako całość. Zdają się one obecnie ustępować zdobywającym coraz większą popularność modelom mikroskopowym. Modele tego typu traktują jednostki w tłumie (oraz interakcje między nimi) w sposób indywidualny. Są one bardziej skomplikowane, jednak pozwalają na obserwowanie pewnych zjawisk, które nie są dostrzegalne w modelach makroskopowych. Niniejsza praca skupia się właśnie na modelach tego typu. W rozdziale tym skupiono się głównie na modelu Helbinga - sił społecznych i jego modyfikacjach wynikających z symulacji dynamiki płynów. Najpopularniejsze podejścia mikroskopowe opierają się bądź to na automatach komórkowych, bądź na systemach agentowych.

W rozdziale trzecim skupiono się na przedstawieniu modelu odległości społecznych, zaproponowanych przez promotora pracy doktorskiej w 2006 roku oraz opisano propozycje rozszerzenia powyższego modelu. Przedstawiono formalny opis nie tylko zachowania agenta-pieszego, proces podejmowania decyzji ale też algorytm ruchu. Wszystkie formalizmy opatrzone zostały szeregiem parametrów, które wpływają ostatecznie na statyczne i dynamiczne czynniki ruchu pieszego. Zdefiniowano również funkcję kosztu potencjalnego ruchu. Omówiono również problem rozwiązywania konfliktów. Większość tu omówionych aspektów jest zgodna z zasadami proksemiki, czyli nauki zajmującej się badaniem wzajemnego wpływu

relacji przestrzennych między osobami (odległości lub przestrzenie personalne) oraz między osobami a otoczeniem materialnym.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił propozycje weryfikacji i walidacji modeli symulacji dynamiki tłumu z uwzględnieniem parametrów ilościowych i jakościowych. Dokonano w tym miejscu przeglądu literaturowego, dotyczącego tego zakresu pracy. Skupiono się na analizie diagramów fundamentalnych w walidacji ilościowej modeli opartych na automatach komórkowych.

Te, wymienione powyżej rozdziały zaliczyłabym do części teoretycznej dysertacji. Zająłoby one 48 stron. Od strony 49 do 77 opisano część praktyczną pracy. W drugiej części dysertacji zawarto opis dokumentacji technicznej stworzonej aplikacji, co stanowiło rozdział piąty. W rozdziale szóstym zaś zawarto analizę wyników otrzymanych w trakcie symulacji dynamiki tłumu. Do badania przewidziano ewakuację z sali wykładowej, stadionu Wisły w Krakowie oraz stadionu Allianz Arena w Monachium, różnicując w ten sposób liczebność tłumu.

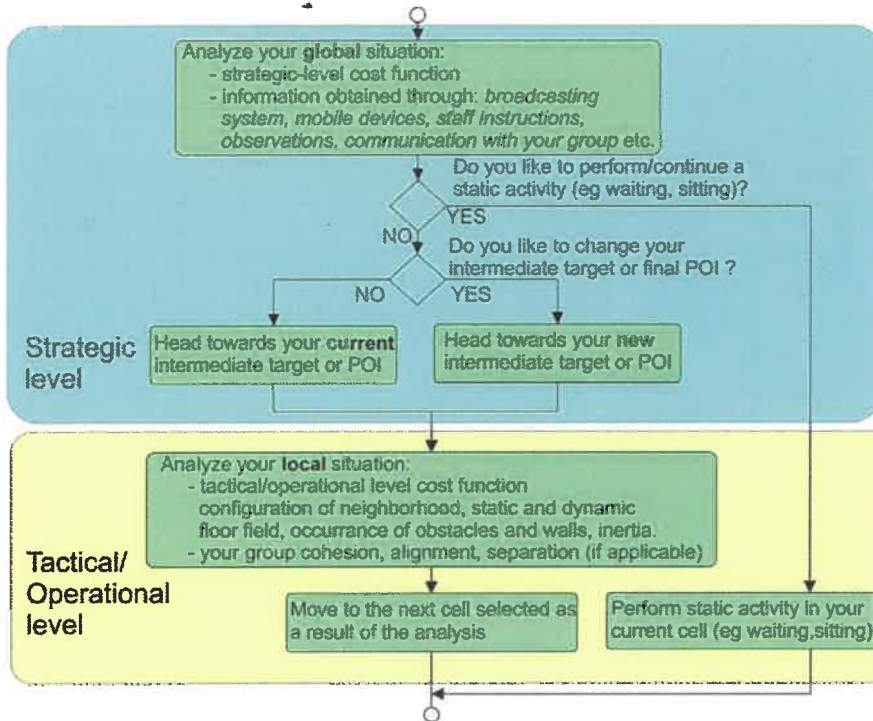
Praca kończy się podsumowaniem i bibliografią, zawierającą 70 pozycji literaturowych. Podsumowując przegląd treści stwierdzić można, że dysertacja ma charakter teoretyczno-symulacyjno-doświadczalny z pewną przewagą dwóch ostatnich elementów. Zaproponowana struktura rozprawy jest w zasadzie do zaakceptowania, dobór prezentowanego materiału jest podporządkowany przeprowadzeniu analizie modelu dynamiki tłumu bazującej na odległościach społecznych. Uwagi zgłosić można w stosunku do prezentacji I części pracy.

2. Problem naukowy (teza) rozprawy

Sposób sformułowania tezy omawianej dysertacji nie można poddać krytyce ze względu na jej brak w pracy przedstawionej do recenzji. W części wstępnej zawarto przesłanki i cele pracy. Pomimo rozwlekłości definiowania ww celów, uznać można za cel główny ten, który wskazuje (w tym przypadku) na poszukiwanie nowej specyficzniej uwarunkowanej, zasady badania dyskretnych symulacji dynamiki tłumów w symulacji rzeczywistości. Ze względu na rysującą się przed takimi systemami symulacji, konkretną perspektywę aplikacyjną, przeprowadzenie zasadności takich wywodów (łatwiej byłoby powiedzieć - zasadności takiej tezy) wypełniłoby, stojące przed dysertacją, cele zarówno poznawcze jak i użyteczne, których również nie wymieniono wprost. Należy zauważyć, że przekonywująca ocena zaproponowanego podejścia do budowy takich systemów wiązać się musi z pewną prototypową implementacją, testowaniem oraz oceną skuteczności i efektywności działania. W związku z tym uznać należy, że podjęcie tak sformułowanego zadania stanowi ambitne wyzwanie badawcze, któremu doktorant postanowił sprostać.

Zanim przejdę do merytorycznej oceny rozprawy, chciałabym podzielić się kilkoma refleksjami. Prace nad dynamiką tłumu w Akademii Górniczo-Hutniczej trwają już od kilku lat, gdzie znaczącą rolę odgrywają z pewnością publikacje Promotora recenzowanej pracy. W związku z tym trochę dziwi mnie fakt opieszłości, czy niefrasobliwości doktoranta w kwestii opisu teoretycznej części pracy, przedstawiania tak strony formalnej, jak i dyskretyzacji środowiska symulacyjnego, kwestii opisu poszczególnych składników, jak również pól dźwiękowych, widzialności, czy opisu agenta i ich interakcji i na końcu przedstawienia poziomu strategicznego i operacyjno-taktycznego w sposób mało uporządkowany i tym samym niejasny.

Zauważalna jest też pewnego rodzaju niefrasobliwość w uwypukleniu swej własnej roli w doskonaleniu omawianego modelu. Opierając się na wcześniejszych pracach doktoranta można znaleźć dokładny model wzorca zachowania agenta (ISO 13387-8 standard), przedstawiony poniżej:



Wystarczyłoby tylko przejść na j. polski i zamieścić ten schemat w pracy doktorskiej. Szkoda, że Autor dysertacji "szerokim łukiem" omija schematy blokowe, czy pseudokody, algorytmy słowne. Przedstawione wówczas procesy decyzyjne z wykorzystaniem języka informatycznego - tj. schematy blokowe lub pseudokody, byłyby przejrzyste i czytelne. Poniżej załączam publikacje doktoranta (jako współautora), które to opisują w znacznie lepszy sposób:

J. Wąs, R. Lubaś: Towards realistic and effective agent-based models of crowd dynamics, *Neurocomputing* 146, 199-209, Elsevier 2014.

R. Lubaś, J. Wąs, J. Porzycki: Cellular Automata as the basis of effective and realistic agent-based models of crowd behavior. *The Journal of Supercomputing* 72 (6), 2170-2196, Springer 2016.

Mimo tego "potknięcia" zauważonego w części poznawczej dysertacji, Autor w kolejnych rozdziałach mógł się wykazać ogromem prac implementacyjnych związanych już z praktyczną symulacją zaproponowanych rozwiązań.

3. Oryginalny dorobek Autora, jego znaczenie poznawcze oraz przydatność praktyczna dla nauki i techniki

Do najważniejszych osiągnięć Autora zaliczyłabym:

- opracowanie i zdefiniowanie metody pól słyszalności (dźwiękowych) w strategicznym schemacie podejmowania decyzji - rozdział 3.2.1;
- opracowanie i zdefiniowanie metody pól widzialności - na poziomie taktycznym i operacyjnym wraz z metodą rozwiązywania konfliktów - rozdział 3.2.2;
- stworzenie architektury i implementacja symulatora - rozdział 4. (dotyczy to schematu składników, hierarchii obiektów, synchronizacji wątków).
Powyższe stwierdzenia znajdują poparcie również w publikacji:

- R. Lubaś, J. Porzycki, J. Was, M. Mycek: Validation and Verification of CA-Based Pedestrian Dynamics Models. *Journal of Cellular Automata* 11 (4), 285-298, Old City Publishing, 2016.
- propozycje testów weryfikacyjno-walidacyjnych - rozdziały 2 oraz 3; J. Wąs, R. Lubaś Towards realistic and effective agent-based models of crowd dynamics, *Neurocomputing* 146, 199-209, Elsevier 2014.
- definicja dynamicznego pola potencjalnego, będącego pewną modyfikacją pola zaproponowanego przez prof. Katsuhiko Nishinari z University of Tokyo - rozdział 3.2;
- wykorzystanie funkcji kosztu, wcześniej zaproponowanej już w ramach prac prowadzonych wraz z promotorem - rozdział 3.3.1.

Środowisko symulacyjne w istotnym stopniu rozszerza możliwości badania zaproponowanych w dysertacji rozwiązań. Platforma symulacyjna przygotowana przez doktoranta samodzielnie umożliwia odwzorowanie mapy symulowanego środowiska, przygotowanie środowiska testowego i badanie zachowań tłumu w czasie wykonywania symulacji ewakuacji. Również w tym przypadku wykonano według różnorodnych scenariuszy wiele eksperymentów, które są raportowane w dysertacji i zilustrowane właściwymi wykresami.

W moim odczuciu - większość prac analitycznych i formalnych była prowadzona w zespole pod kierunkiem prof. J. Wąsa i w tym obszarze doktorant nie czuje się zbyt pewnie, za to w części utylitarnej, symulacyjnej wykazuje się biegłością. W mojej opinii wymienione metody są tymi, które miały duży wpływ na rozwój dyskretnej symulacji tłumu i zostały najbardziej dostrzeżone w środowisku międzynarodowym, o czym świadczy pokaźna liczba zagranicznych cytowań.

Wady i słabe strony rozprawy, uwagi dyskusyjne

Rozprawa jako całość nie ma istotnych wad. Wśród słabszych stron bądź uchybień można wymienić:

- a. Brak jednoznacznie sformułowanej tezy pracy stanowi pewne utrudnienie w ocenie ww pracy.
- b. Opiniowana praca jest dziełem oryginalnym, wnoszącym istotny wkład w rozwój dziedziny. Nasuwa się jednak pytanie o sprecyzowanie wkładu Autora w rozwój informatyki. Autor powinien wyjaśnić, czy i jak modyfikował istniejące algorytmy, czy zaadaptowanie przedstawionych technik wymagało od niego określonego „wysiłku programistycznego”. Niestety zakres poruszanych tematów jest tak szeroki, że Autor nie znalazł miejsca na wyjaśnienie tych kwestii w sposób jednoznaczny, szczególnie w kontekście opracowanych algorytmów.
- c. Mocną stroną pracy jest pomysł na powiązanie algorytmów rozwiązujących badane zagadnienia oraz sposób przeprowadzenia weryfikacji empirycznej, natomiast słabą stroną jest brak precyzji wywodu.

Pytania i uwagi szczegółowe

1. Czym jest zastosowany w pracy skrót HPP? (str.11)
2. Jak rozumieć definicję dyskretną czasu t poprzez $t+1$? (str. 12)
3. Dlaczego omawiane modele nie są nazywane w j. polskim: *Floor Field*, *FDS+EVAC*, *Social Distances*? (Przy okazji *dystans* to po polsku odległość).
4. Co znaczy zdanie: " obliczenia brały pod uwagę względną orientację dwóch elips...oraz na wielkość ich części wspólnej"?

5. Definicja 3.2.1 na str. 23 jest powtórzeniem def. 2.1.1 ze zmienionymi wielkościami liter i pismem pochyłym? Zaczyna się i kończy niebanalnie: Krotka...
6. Jak został zdefiniowany poziom ściśliwości - str.22.
7. Co znaczy zdanie: "*Na podstawie reguły: na końcu korytarza lub schodów, zaraz przed wejściem do halu ludzie mają tendencje do wybierania ostatecznego celu?*" (str. 24)
8. Na str. 27 autor opisuje koncepcję pola dynamicznego wprowadzonego przez Nishinari. Autor dysertacji mówi tu wprost o symulacji "*wirtualnego ogona*". Czy to pole widoczności dyfunduje, następuje rozpad tego pola. Co znaczy określenie "*efekt zamka błyskawicznego*"? (str. 28)
9. Na str. 29 zaproponowano funkcję kosztu bez jakiegokolwiek formy uzasadnienia. Dalej podano szereg wag, parametrów bez analizy ich wartości, po czym na str. 59 w tab. 6.1 podano bardzo dokładne wartości tych parametrów. Jaką metodą Autor posłużył się w celu określenia ich wartości?
10. Proces rozwiązywania konfliktów powinien być przedstawiony w postaci pseudokodu (str.31).
11. Brak definicji izotropii i szybkości jej utraty - str. 33.
12. Co znaczy zdanie: "*test jest przeznaczony do dyskretnej metody sprawdzania*" (str. 43). Czy weryfikacja tego, że dyskretyzacja pewnych wartości wpływa na przepływ pieszych może być w ten sposób określana? Dość niefortunne stwierdzenie.
13. Różnorodność form diagramów fundamentalnych powinna być szerzej skomentowana w recenzowanej pracy.
14. Wszystkie rysunki dotyczące analizy wyników powinny znaleźć swoje odniesienie w teście wraz z poszerzoną ich analizą. Większość komentarzy ogranicza się do pojedynczego stwierdzenia. Dotyczy to rysunków od 6.4, 6.6, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 do 6.13.
15. Czy zdanie; "*wyniki symulacji obu stadionów piłkarskich są dobrym przykładem skalowalności i wydajności*" jest dobrym i wnikliwym komentarzem do prowadzonych analiz?
16. Porównanie uogólnionego modelu odśrodkowego, hydrodynamicznego i odległości społecznych - kluczowe dla tej pracy powinno być szerzej potraktowane a w szczególności powinna być przedstawiona analiza statystyczna wyników ilościowych dla tych symulacji. Biorąc pod uwagę niedeterministyczny charakter tych eksperymentów, konieczne jest przedstawienie analizy testów statystycznych. Np zdanie "*wypływy wyprodukowane przez testowane modele*" nie wnosi nic ważnego do analizy wyników tych badań. Zdanie "*Efektywność (czego?) została zbadana poprzez analizę czasu wykonania kolejnych sekund symulacji*" jest dość trudne do interpretacji.
17. Rys. 6.23 jest zupełnie nieczytelny (i szaro-bury), w pracy opisywany następująco: "*cieplejsze kolory oznaczają wyższą częstotliwość odwiedzin i wyższe czasy ewakuacji*"?

Błędy językowe i interpunkcyjne

1. W pracy zauważono nagminny brak przecinków, w szczególności dotyczący zdań złożonych.
2. Brak podpisu pod rysunkiem na stronie 13.
3. Tabele posiadają swój numer i tytuł nad a nie pod tabelą.

4. Podpisy pod rysunkami nie kończą się kropką.
5. Pisownia błędna słów złożonych z dwu członów typu *samonapędzająca* (str. 18).
6. Modele dynamiki tłumu powinny być nazywane po polsku i przede wszystkim jednolicie.
7. Nie używa się zwrotu *w oparciu o*, lecz *opierając się na* (str.18 i w wielu innych miejscach, np str. 28).
8. Dystans to po polsku odległość.
9. Powinno być: autor *proponuje* a nie *proponują* oraz *poziom znajomości* agenta, a nie *znajomość*.
10. Styl zdania do poprawy: *...składa się z fazy związanej z poziomem strategicznym oraz z fazą związaną z poziomem taktyczno-operacyjnym* (str.24).
11. Rzeczownik agent (użyty tu w znaczeniu systemów wieloagentowych) powinien posiadać rodzaj nijaki- *te agenty*.
12. Zdanie do poprawy na str. 26 - *członkowie grupy posiadająca co najwyżej taką pożądaną prędkość*
13. Zdanie do poprawy na str. 26 - *Jako przykładem podejmowania decyzji na poziomie... bierze jest pod uwagę* (str. 30) i szereg innych tego typu błędów.
14. Rysunki posiadające część a) i b) powinny mieć swoje indywidualne podpisy, np. str. 31, rys.3.6, str.37, rys. 4.4, rys. 6.2 na str. 58.
15. Co znaczy podpis pod rysunkiem 4.5 na str. 39 : *pieszych najkrótszych lub najszybszych ścieżek*.
16. Nazwa *diagram fundamentalny* piszemy z małej litery.
17. Pola w tabelach powinny być wycelowane.
18. Model przez Autora jest często personalizowany i to on używa, uzyskuje itd. (str. 69 - *całkowity czas ewakuacji uzyskany każdego używanego modelu*).
19. Legenda w poszczególnych wykresach powinna być podana w j. polskim (str. 70, rys. 6.17, str. 74, rys. 6.22).

Konkluzja

W recenzowanej pracy doktorskiej przedstawiono szereg metod związanych z modelowaniem zachowania tłumu, pozwalającym na badanie zjawisk przemieszczania się tłumu w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu. Zaprezentowane autorskie rozwiązania w postaci hybrydowego i uogólnionego modelu pozwalają na płynne przejście między poziomami decyzyjnymi i działania, a tym samym pełniejszą symulację zjawisk, jakie mogą zachodzić w prawdziwym tłumie. Uwzględnienie zagadnienia proksemiki, takie jak wprowadzenie koncepcji pól dźwiękowych i widzialności pozwala na dokładniejsze odwzorowanie zachowania tłumu o różnych zagęszczeniach i rozmiarach a mechanizm rozwiązywania sytuacji konfliktowych wpłynął pozytywnie na symulację dużych tłumów. Przedstawione eksperymenty i wyniki pozwalają stwierdzić, że model i symulator mogą być doskonałym narzędziem do badania przystosowania obiektów aglomeracji do przemieszczania się dużych grup ludzi oraz analizy zachowania tłumu w sytuacjach kryzysowych.

Za podstawowe osiągnięcie doktoranta uważam oryginalnie opracowaną, zrealizowaną i zweryfikowaną część programistyczną w postaci symulatora, która

zapewnia realizację wszelkiego typu testów weryfikujących w odpowiednio opracowanym środowisku badawczym. System ten można uważać za prototyp, który może znaleźć rozwinięcie w zastosowaniach praktycznych.

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Roberta Lubasia, stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazując ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej informatyka a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późn. zm. Tym samym wnioskuję o dopuszczenie przedmiotowej dysertacji do obrony publicznej.

Wrszula Boryczka