

Bydgoszcz, 26 lutego 2025 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Marcina PERY

Metoda steganografii wideo odporna na zniekształcenia analogowe

Podstawą do przygotowania recenzji rozprawy Pana mgr. inż. Marcina Pery jest pismo Pana dr. hab. inż. Zbigniewa Tarapaty, profesora WAT, przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja* Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie z 12 lutego 2025 roku, informujące o uchwałach Rady Dyscypliny Naukowej *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja* Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego.

Opiniowana praca doktorska Pana Marcina Pery powstała pod naukowym kierunkiem promotora Pana dr. hab. inż. Tadeusza Nowickiego, profesora WAT oraz promotora pomocniczego Pana dr. inż. Roberta Waszkowskiego.

Praca została przedstawiona Radzie Dyscypliny Naukowej *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja* Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w trybie przewidzianym w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Rada Dyscypliny Naukowej podjęła uchwałę nr 50/RDN ITiT/2025 powierzając mi wykonanie recenzji pracy doktorskiej.

1

Konstrukcja rozprawy

Treść rozprawy Marcina Pery pt.: *Metoda steganografii wideo odporna na zniekształcenia analogowe* jest wydana przez Wydział Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Praca ma 253 numerowane strony.

Autor podzielił część merytoryczną rozprawy na pięć numerowanych rozdziałów.

Rozdziały te poprzedzone są streszczeniem i spisem treści. W końcowej części pracy umieszczono spisy: źródeł, pojęć, rysunków, tabel oraz kodów.

I tak, w pierwszym niewielkim rozdziale jest sprecyzowany cel i zakres pracy oraz są poczynione uwagi redakcyjne. Samo istnienie uwag redakcyjnych uważam za wielce chwalebne, natomiast do owych uwag i redakcji pracy mam sporo zastrzeżeń.

Olbrzymi rozdział drugi – liczący około 90 stron – jest według doktoranta wprowadzeniem do podstawowych zasad i pojęć steganologii. W istocie jest to skrócony podręcznik tej dyscypliny.

Zdefiniowanie problemu badawczego w rozdziale trzecim zajmuje autorowi kolejne prawie czterdzieści stron. Autor koncentruje się na steganografii wideo, a w szczególności zagadnieniu stosowania narzędzi steganografii do plików wideo w obecności (tak nazywanych przez Niego) „zniekształceń analogowych”.

Istota pracy jest zawarta w kolejnym czwartym rozdziale. Ten olbrzymi rozdział (około 80 stron) opisuje autorską metodę zwaną RAI (Robust Adaptive Incremental). Metoda zajmuje się przekazywaniem informacji wewnątrz plików wideo w taki sposób, aby zwiększyć pojemność steganograficzną i odporność na wykrycie po tzw. zniekształceniu analogowym steganogramu wideo. Badania były przeprowadzone w dwóch obszarach. Pierwszy dotyczył specyficznych właściwości nośników i steganogramów wideo w związku z problemem badawczym, drugi zaś obszar badań odnosił się do wrażliwości percepcji ludzkiego oka na zmiany wprowadzane przez proponowaną technikę steganograficzną w nośnikach. Tutaj też są omawiane wyniki eksperymentów badawczych.

Wnioski z przeprowadzonych badań oraz wybrane kierunki dalszych prac dotyczących tematu przedstawił doktorant w rozdziale piątym.

2

Ogólna formalna charakterystyka rozprawy

Istotą pracy doktorskiej jest opisanie metody RAI jako nowoczesnej metody steganograficznej. Metoda bazuje na zastosowaniu nośnika wideo, tutaj są to pliki MJPEG. Samo zastosowanie takiego nośnika nie jest nowością, gdyż znane są wykorzystania takiego nośnika. Doktorant tworzy swoją metodę na potrzeby sytuacji odkształcenia klatek w pliku MJPEG i zakłócenia transmisji tego pliku. Metoda działa nawet w obecności sporych zakłóceń i znacznych zniekształceń klatki obrazu. Metoda jest dobrze opracowana, zaś wyniki badań sprawiają znakomite wrażenie.

Niemniej mam sporo uwag, najpierw do formalnej strony pracy. A więc, struktura pracy i prezentowanie treści. Z jednej strony zawsze należy się cieszyć, kiedy rozprawa doktorska nie jest technicznym sprawozdaniem z badań, a staje się rozprawą właśnie, terenem, na którym autor rozprawia o temacie przedstawiając ów temat z różnych stron i pod różnymi kątami temat widząc, gdy autor ciągnie różne wątki pokazując, że wątki te dostrzega. Tak, tak napisana rozprawa jest bliska sercu starego badacza.

Ale tutaj nie mamy do czynienia z opisaną wyżej sytuacją. Znaczna część pracy ma – jak już wspomniałem – formę podręcznika. Prowadząc czytelnika po wielu terminach i pojęciach, autor sięga właściwie *ab ovo*, czyli do kultowego artykułu Shannona. To nie jest źle, że autor pokazuje swoje odczytanie, jednakże definiowanie takich pojęć jak kanał czy DTF wskazuje, na jakiego czytelnika liczy autor. Od doktoranta oczekujemy wiedzy informatycznej co najmniej na poziomie II stopnia studiów, więc definiowanie alfabetu teorii informacji jest tu nie na miejscu. Wycięcie podręcznikowych fragmentów znacznie pomogłoby pracy, czyniąc najważniejszym problemem zagadnienia badawcze.

Na marginesie powyższego chcę dodać, że materiał podręcznikowy jest podawany

dość składowanie i rozważyłbym – na miejscu autora – wydanie oddzielnego podręcznika do steganografii. Ale to nie jest elementem oceny ważnym w tej recenzji.

Kolejną moją uwagę dotyczy przytaczania źródeł. W naukach technicznych jednak obowiązuje standard numeryczny. W innych dyscyplinach można stosować inne przyjęte normy przywoływania źródeł, np. [autor, rok] albo [autor, numer]. Nie spotkałem jednak przytaczania całych tytułów. Poza tym do przytaczania bibliografii raczej zawsze wykorzystuje się nawiasy kwadratowe; obowiązuje tutaj zasada oszczędnej typografii, czyli jedno wyróżnienie na jeden element.

Z tą ostatnią zasadą doktorant ma problem. Po pierwsze, stosuje kursywę do wyróżniania pojęć i terminów ważnych w pracy. Jednocześnie stosuje kursywę do całych opisów źródeł (autor i tytuł). Robi się z tego bałagan i powstają fragmenty tekstu trudne do czytania.

Kursywą piszemy tytuły dzieł zwartych (tj. tytuły książek lub nazwy czasopism). Kursywę stosujemy też do znakowania wzorów i wyrażeń matematycznych. Wyjątkami są kilkuliterowe nazwy funkcji (np. log, sin, div), nazwy funkcji pochodzących od skrótów (np. PSWT, GSM, max, min).

Gwiazdka (asteriks) jest symbolem mnożenia wyłącznie w językach programowania. W zapisie matematycznym gwiazdka oznacza operację splotu, więc używamy tego znaku z wielką starannością (np. wzory 8 i 9 matematycznie są bez sensu).

Podobnie jest ze znakiem równości poprzedzonym dwukropkiem. Znak ten funkcjonuje w obrębie niektórych języków programowania, w matematyce nic nie oznacza.

Nie rozumiem uporu autora w stosowaniu terminu steganologia, steganologia wideo na przykład, ale już steganograf wideo. Cały świat używa raczej określenia steganografia, czego dowody daje sam autor przytaczając liczne źródła.

3

Ocena teoretycznej wiedzy doktoranta w zakresie właściwej dziedziny wiedzy

W tej części oceny tradycyjnie sprawdzam, czy autor nie popełnił jakiegoś ważnego błędu pojęciowego. Poza kilkoma drobiazgami żadnego istotnego przeoczenia doktoranta nie znalazłem. Przytoczę może tylko z niewłaściwą definicję kanału, która pojawia się przy omawianiu wspomnianej wcześniej pracy Shannona. Otóż Shannon w swojej pracy mówi wyłącznie o kanale transmisyjnym, a taki kanał to droga w sieci od jednego węzła do drugiego i to jednocześnie tylko w jedną stronę. Kanału nie można utożsamiać z medium. Informatykowi podpowiem, że parametryzacja medium i kanału występuje w różnych warstwach modelu OSI, więc nie mogą to być obiekty identyczne.

Doktorant ma szeroką wiedzę o podstawowych obszarach badawczych dziedziny. Zna postępy wiedzy w tych obszarach i zdaje sobie sprawę z ograniczeń.

Analizuje i ocenia właściwie prace badawcze z zakresu informatyki, szczególnie pod kątem postępów w interesujących obszarach. Potrafi też krytycznie ocenić badania, uwzględniając ich mocne i słabe strony. Świetnie identyfikuje problemy badawcze, określa metodologię, sprawnie formułuje wnioski.

Jasno i skutecznie przekazuje złożone koncepcje z zakresu informatyki. Ma szeroką wiedzę o przetwarzaniu sygnałów (z wyjątkiem, o którym piszę dalej), w szczególności o cyfryzacji sygnałów analogowych i wynikającej z tego nieuchronności utraty informacji. Zna podstawowe kroki cyfryzacji wie, co dzieje się z reprezentacją sygnału w poszczególnych krokach procedury cyfryzacji.

Również swobodnie doktorant porusza się po algorytmach i skryptach realizujących działanie tych algorytmów. Ilustrujące pracę skrypty przedstawione są w języku Python.

Mogę więc stwierdzić, że zakresie wiedzy właściwej dla informatyki technicznej i telekomunikacji, doktorant porusza się swobodnie.

4

Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Zacznę od tego, że praca jest napisana ładnym językiem polskim, co mając na uwadze liczne przykłady językowej barbarii, wcale nie jest oczywiste. Język jest nie tylko ładny, ale pozbawiony gwary informatycznej. Zdania są zbudowane poprawnie, a przekazywana informacja jest dobrze czytelna.

Opanowanie przez doktoranta metodologii badań uznaję za dobre, na co składa się zarówno znajomość różnorodnych metod badawczych, jak i umiejętność stosowania takich metod.

Doktorant opanował umiejętność krytycznego i analitycznego rozumowania, co dotyczy także czytania dostępnej literatury i dostrzegania luk w publikowanych rozwiązaniach. Analiza cytowanych źródeł jest dogłębna i krytyczna, wnioski z kolei są formułowane jasno i czytelnie.

Autor przytacza 138 pozycji źródłowych, przy czym ciężko się zorientować, czy każda jest cytowana w pracy. Jak na rozprawę doktorską w dość orientalnej tematyce, liczba źródeł wydaje spora (jednakże przeszukanie samej tylko biblioteki Xplore daje ponad 10 tysięcy rekordów). Źródła są raczej różnorodne. Mamy tu źródła pisane: artykuły, książki i doniesienia konferencyjne. Mamy też normy. Sposób opisu źródeł jest dziwaczny: tytuły są pisane italiką niezależnie czy są to tytuły książek, czy też artykuły.

Formalizm matematyczny wykorzystywany w pracy jest obliczeniowo poprawny, choć dodać należy, że opisywane zagadnienia nie wymagają matematyki wysokich lotów. O edycyjnej stronie wyrażen matematycznych pisałem już wyżej.

Grafika dobrana jest wyjątkowo poprawnie, co jednak nie dziwi w przypadku pracy o tej właśnie a nie innej tematyce. Również pozytywnie oceniam użycie koloru w materiale ilustracyjnym.

Zdecydowanie pochwalam umieszczanie grafik dosuniętych do góry bądź do dołu strony. Przy tak obfitym materiale graficznym jest to słuszny wybór.

Śmiesz mnie zawsze umieszczanie w podpisach pod rysunkami dopisku (opracowanie własne). Śmiesz, albowiem zasadą publikacji naukowych jest, iż wszystko co zapożyczone wymaga oznakowania i odwołania do źródła, natomiast cała reszta jest twórczością autora. Umieszczanie wspomnianego dopisku sugeruje, że tylko rysunki są tworem autora, a cała reszta bez takowego dopisku – jest zapożyczeniem.

W nauczaniu kompatybilności elektromagnetycznej duży nacisk kładziemy na zrozumienie i rozróżnianie pojęć: zakłóceń i zniekształceń. W celu skupienia uwagi przyjmijmy, że mówimy o transmisji sygnału przez kanał komunikacyjny. Jeśli sygnał na wyjściu kanału nie jest taki sam, jak sygnał na wejściu, to mówimy, że został odkształcony. Dopuszczalnymi zmianami są pewne operacje liniowe: np. przemnożenie przez stałą wartość czy stałe przesunięcie w czasie.

Odkształcenie najczęściej jest efektem zniekształcenia albo zakłócenia. Zakłóceniem nazywamy inny sygnał, który arbitralnie uznajemy za nieużyteczny. Sygnał zakłócający ma więc swoje źródło. Znamy szereg technik pozbywania się zakłócenia, np. ekranowanie, filtracja, symetryzacja, uziemianie itd.

Zniekształcenie zaś nie ma swojego źródła, ma natomiast przyczynę, którą jest niedopasowanie parametrów transmitowanego sygnału do parametrów kanału. Jedyne, co możemy zrobić, aby zapobiec zniekształceniu jest odpowiednie dopasowanie paramet-

trów sygnału do kanału transmisyjnego.

Omawiane rozróżnienie tych dwóch form odkształcenia sygnału jest ważne nie z przyczyn klasyfikacji. Etiologia odkształcenia pociąga za sobą skrajnie różne sposoby przeciwdziałania. Dlatego wrzucanie do jednego worka zniekształceń i zakłóceń i nazywanie tego „zniekształceniami analogowymi” jest błędem wynikającym z niedostatecznej wiedzy o klasycznym przetwarzaniu sygnałów.

Do zbędnego, moim zdaniem, rozděcia części podręcznikowo-teoretycznej, nie będę już wracał. Teraz chciałbym ocenić właściwą pracę zawartą w rozdziałach od trzeciego do końca.

Nie sposób prowadzić jakichkolwiek badań, jeśli nie sprecyzuje się obiektu badań i scenariusza zachowania się obiektu. Doktorant znakomicie sobie poradził z jedną i drugą sprawą. Zagadnienie badawcze zostało precyzyjnie nazwane, potrzeba utworzenia takich właśnie, a nie innych scenariuszy wskazana i uzasadniona.

Oczywiście, można dyskutować z autorem nad terminami analogowy i cyfrowy. Wydawać by się mogło, że w epoce cyfrowego świata informatyk będzie oba terminy pojmował poprawnie. Ze względu jednak na charakter pracy i przywołanie religijnej niemal pracy Shannona, należy chyba zwrócić uwagę na istotne różnice pomiędzy sygnałem analogowym i cyfrowym, a mianowicie na różnice w sposobie przenoszenia informacji. Bardzo obrazowo rzecz biorąc, w przypadku przekazu analogowego informacja jest zakodowana w amplitudzie sygnału, a dokładniej – w zmianach amplitudy. W sygnale cyfrowym informacja jest ukryta w liczbie impulsów.

O ile wartość amplitudy sygnału analogowego przebiega przedział liczb rzeczywistych, to liczba impulsów jest liczbą całkowitą. I to rodzi konsekwencje dotyczące utraty jakiejś części informacji.

Doktorant doskonale zdaje sobie sprawę z powyższych stwierdzeń. Jego metoda opiera się w końcu na wykorzystaniu między innymi tych cech. Pokazuje to umiejętności prowadzenia badań przez doktoranta z jak najlepszej strony

5

Ocena oryginalności rozprawy

Steganografia jest niezwykle popularnym tematem badań w ostatnich latach. Tajne przekazywanie informacji skupia uwagę licznej grupy badaczy. Osobiście nie jestem przekonany, czy dla profesjonalnego przekazywania tajnych informacji taka metoda jest najwłaściwsza. Stawiałbym raczej na specjalizowane systemy transmisji danych o dużym stopniu szczelności informacyjnej.

Z drugiej jednak strony, w rozwoju nauki i techniki obowiązują – podobnie jak w ewolucji zdobienia paznokci – mody i trendy. Nie sposób było na przykład przewidzieć takiej popularności SMS-ów. Dlatego też metody steganograficzne z pewnością znajdą użytkowników.

Na tle literatury przedmiotu, prezentowana metoda i związane z metodą badania jawią się jako nowe i oryginalne.

Do najważniejszych i mających zarówno naukowy, jak i praktyczny aspekt osiągnięć zaliczam:

- zaproponowanie nowej metody steganografii wideo RAI wraz z algorytmami tworzenia i odczytywania oraz miarami podstawowych parametrów steganograficznych,

- przeprowadzenie badań nad niewykrywalnością metody RAI na grupie osób wraz z próbą ustalenia rzeczywistych progów detekcji dla ludzkiej percepcji wzrokowej.

Biorąc to wszystko pod uwagę, nie mam wątpliwości, że nowatorska zawartość pracy jest duża i potencjalnie nadaje się do wdrożenia.

PODSUMOWANIE

Reasumując – uważam, iż recenzowana rozprawa doktorska jest ciekawą i oryginalną pracą badawczą. Przeprowadzając swoje wywody, autor wykazał się dobrą znajomością wiedzy teoretycznej i praktycznej w reprezentowanej przez niego dyscyplinie, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Doktorant osiągnął założone w pracy cele i wykazał dużą przydatność prezentowanych metod.

Jestem przekonany, że praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w obowiązujących przepisach i wnoszę o dopuszczenie pracy do obrony.

W trakcie postępowania **będę głosował za przyznaniem Marcinowi Pery stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.**