

Recenzja w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego p. dr. inż. Damianowi Karwowskiemu na podstawie osiągnięcia naukowego na temat: „Zaawansowane algorytmy estymacji prawdopodobieństw symboli danych w adaptacyjnym kodowaniu arytmetycznym, w zastosowaniu do wydajnej kompresji ruchomego obrazu. Analizy złożoności współczesnych metod kodowania arytmetycznego”.

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo prof. dr hab. inż. Andrzeja Jaskiewicza, Dziekana Wydziału Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej z dnia 25.01.2024 r. oraz pisma Rady Doskonałości naukowej z dnia 12.12.2023 r. i uchwały Rady Dyscypliny ITiT Politechniki Poznańskiej nr 2024-26-184 z dnia 23.01.2024 r.

Poniżej przywołuję zalecenia RDN dotyczące opiniowania wniosków kandydatów do stopnia dra habilitowanego:

„Opinia w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dotyczącej osiągnięć naukowych powinna zawierać następujące elementy:

1) stwierdzenie, czy wśród wskazanych do oceny osiągnięć naukowych znajduje się co najmniej:

a) 1 monografia naukowa wydana przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub

b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, z zastrzeżeniem, że w skład przedmiotowego cyklu mogą być zaliczone także artykuły naukowe opublikowane w czasopismach naukowych lub recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, ujętych w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b tej ustawy, przed dniem ogłoszenia tego wykazu lub opublikowane przed dniem 1 stycznia 2019 r. - w czasopismach naukowych, które były ujęte w części A albo C wykazu czasopism naukowych ustalonego na podstawie przepisów wydanych na podstawie art. 44 ust. 2 ustawy uchylanej w art. 169 pkt 4 i ogłoszonego komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 25 stycznia 2017 r. albo były ujęte w części B tego wykazu, przy czym artykułom naukowym w nich opublikowanym przyznanych było co najmniej 10 punktów,

lub c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;

2) ocena wraz z uzasadnieniem, czy wskazane osiągnięcia naukowe osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego stanowią znaczący wkład w rozwój określonej dyscypliny.

3) wykazuje się **istotną aktywnością naukową** albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, **w szczególności zagranicznej**.

W pierwszej kolejności odniosę się do stwierdzenia, że w przedłożonym do oceny wniosku oba punkty, tj. (1a) **monografia naukowa** oraz (1b) **cykl powiązanych tematycznie artykułów** zostały spełnione w stosunku do wymagań – z nadmiarem. Zostały one powiązane wspólnym tytułem: „**Zaawansowane algorytmy estymacji prawdopodobieństw symboli danych w adaptacyjnym kodowaniu arytmetycznym, w zastosowaniu do wydajnej kompresji ruchomego obrazu. Analizy złożoności współczesnych metod kodowania arytmetycznego**”.

W kontekście punktu 2., będę starała się wykazać, że prace przedstawione przez dra inż. Damiana Karwowskiego stanowią znaczący wkład lub ważny przyczynek w rozwój dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja. Habilitant przedstawił oświadczenia potwierdzające osobisty wkład habilitanta w powstanie współautorskich artykułów z cyklu. Świadczą one o znaczącym merytorycznym wkładzie dra Damiana Karwowskiego w przygotowanie i publikację artykułów oraz referatów konferencyjnych.

2. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Po zapoznaniu się z monografią oraz publikacjami p. dra inż. Damiana Karwowskiego stanowiącymi Osiągnięcie – zgodnie Wnioskiem z wytycznymi RDN – w swojej opinii odniosę się do wkładu w dyscyplinę ITiT.

Badania, które przeprowadził Habilitant dotyczyły technik kompresji hybrydowej **AVC** (Advanced Video Coding; ISO/IEC MPEG)/**H.264** (ITU-T)) oraz technik nowszej generacji: **HEVC** (High Efficiency Video Coding; ISO/IEC MPEG)/**H.265** (ITU-T)) oraz **VVC** (Versatile Video Coding; ISO/IEC MPEG)/**H.266** (ITU-T)), które zostały opracowane po 2000 roku. W szczególności istotna jest technika VVC, opracowana w 2. połowie 2020 roku, która obejmuje zbiór aktualnych rozwiązań dostępnych w kontekście hybrydowej kompresji wizji – obecnie wdrażanych w technologii transmisji (strumieniowania) obrazów ruchomych w formacie 4K i wyższym. U podstaw tych działań są nowatorskie rozwiązania techniki kompresji entropijnej danych, widoczne zarówno w obecnie dość obszernej literaturze tej tematyki, jak również stanowiące punkt wyjścia badań Kandydata. W tym kontekście głównym celem prac naukowych habilitanta była **poprawa efektywności współczesnych metod kompresji entropijnej**, stosowanych w kodowaniu danych w obrazie ruchomym. Proponowane metody były rozpatrywane w kontekście **analizy złożoności obliczeniowej kodowania entropijnego** danych. Warto też zwrócić uwagę, że wcześniejsze publikacje nt. kompresji stratnej obrazu ruchomego Habilitanta (tj. sprzed r. 2020), obok innych publikacji ze stanu wiedzy z tego okresu, mające charakter zarówno teoretyczny, jak i implementacyjny, w jakimś stopniu wymusiły dyskusję i prace grup standaryzujących nad nowymi, ulepszonymi wersjami kodeków i miały zapewne bezpośredni wpływ na zmianę technologii w tym obszarze. Niewątpliwie prezentowane prace mają charakter rozwojowy. Charakter rozwojowy prowadzonych przez Habilitanta badań wynika też ze specyfiki działania grup standaryzacyjnych, które – w uproszczeniu – po przyjęciu wstępnych założeń np. nowego kodeka generują zaproszenie do wzięcia udziału (CfP, ang. Call for proposals) w pracach nad danym tematem. Dopiero w kolejnych krokach (niekiedy po kilku latach) dochodzi do dyskusji nad uzyskanymi rezultatami w szerszych gronach dyskusyjnych. Ten nurt jest widoczny w literaturze tematu, gdyż w ostatnich kilku latach pojawiło się szereg prac poświęconych optymalizacji zaproponowanych nowych metod kompresji i kodowania sygnałów wideo.

Badania naukowe prowadzone przez dra inż. Damiana Karwowskiego w ogólności prezentują autorskie osiągnięcia w zakresie:

- **nowych metod estymacji prawdopodobieństw symboli danych w kodowaniu CABAC** (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding), które stanowi punkt odniesienia dla większości badań w kontekście kompresji entropijnej danych **oraz**

- **analiz złożoności metod kompresji entropijnej (z odmianą kodowania arytmetycznego).**

W kontekście rosnącego zapotrzebowania na wysokiej jakości wideo online (oraz TV wysokiej jakości, 4K) oraz ograniczeń przepustowości i przechowywania danych, nawet niewielkie ulepszenia w kompresji wideo, takie jak prezentowane przez Kandydata w cyklu publikacji, mogą mieć znaczny wpływ na dostępność i koszt dystrybucji treści cyfrowych. Warto też zauważyć, że niektóre z prac Autora wniosku zostały opublikowane zanim weszły w życie wymagania ekoprojektu unijnego znanego pod nazwą DIGITALEUROPE (**Rozporządzenie Komisji UE 2019/2021 z dnia 1 października 2019 r. ustanawiające wymagania dotyczące ekoprojektu dla wyświetlaczy elektronicznych**), które ograniczają zużycie energii (moc) sprzętu telewizyjnego, co pośrednio przekłada się na rozdzielczość obrazu (regulacje dotyczą głównie TV 8K). Oznacza to, że prowadzone badania mogą mieć istotne implikacje dla przemysłu mediów cyfrowych, telekomunikacyjnego oraz dla konsumentów treści wideo.

W porównaniu z wcześniejszą wersją standardu H.264/AVC (Advanced Video Coding) modyfikacja kodeka HEVC (High Efficiency Video Coding) zapewnia znacznie lepszą wydajność kodowania, umożliwiając redukcję przepływności o nawet 50% przy zachowaniu jednakowej jakości perceptualnej. Osiągnięto to dzięki zastosowaniu wielu efektywnych narzędzi kodowania, w tym struktury jednostki kodującej (CU)/jednostki predykcji (PU) opartej na użyciu metody ważenia drzewa kontekstów (czteroparametrowej), zaawansowanej predykcji wektora ruchu (AMVP), optymalizacji za pomocą techniki Cauchego, itd. Z drugiej strony, osiągnięcie tej wydajności wiąże się z 4- do 10-krotnie wyższą złożonością w porównaniu do H.264/AVC i do 5000 razy względem czasu rzeczywistego w aplikacjach wideo, co stanowi duże wyzwanie i dlatego stanowi wyzwanie zarówno dla środowiska akademickiego, jak i przemysłu. **Aktywność naukowa Habilitanta w ostatnich latach dotyczy właśnie aktualnych badań w zakresie efektywnej kompresji cyfrowych obrazów ruchomych**, przy czym efektywność proponowanych metod należy rozpatrywać zarówno w kontekście redukcji liczby bitów danych obrazu przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej, jak i złożoności obliczeniowej algorytmów. Bowiern zadanie kodowania nie ogranicza się do kompresji danych, ale również do operacji odwrotnej, tj. dekompresji, którą przeprowadza się za pomocą dekodera obrazu. Ze względu na bezpośrednie powiązanie efektywności technik kodowania obrazów ruchomych z ich praktycznym zastosowaniem w technologii, zagadnienia te są stałym i kluczowym elementem procesów standaryzacyjnych, jak również znajdują się w centrum zainteresowania zarówno ośrodków naukowo-badawczych, jak i centrów badawczo-rozwojowych dużych koncernów branży IT (Information Technology).

Habilitant podaje listę swoich autorskich osiągnięć, które znalazły potwierdzenie w zaprezentowanej do oceny monografii oraz cyklu prac:

- Współautorstwo mechanizmów szybkiego wyboru trybów w kodowaniu HEVC oraz metod sterowania prędkością bitową w koderze HEVC.

- Współautorstwo metod transkodowania strumieni wizyjnych w systemach z techniką HEVC.
- Opracowanie autorskich mechanizmów wyznaczania prawdopodobieństw symboli danych w adaptacyjnym koderze arytmetycznym technik kompresji AVC i HEVC.
- Opracowanie własnych (nowych) algorytmów estymacji prawdopodobieństw symboli danych w kodowaniu entropijnym CABAC. Zastosowanie metody uczenia maszynowego w zadaniu estymacji prawdopodobieństw symboli.
- Analiza złożoności współczesnych metod kompresji entropijnej.

Przywołane osiągnięcia są przedmiotem badań i przeprowadzonych eksperymentów, których wyniki zawarto w monografii oraz cyklu publikacji.

Uwagi szczegółowe:

1. Monografia: Damian Karwowski, „Zaawansowane kodowanie entropijne w hybrydowej kompresji wizji”, ISBN 978-83-7775-720-8, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2023.

Na wstępie należy zaznaczyć, że opracowana monografia stanowi cenne uzupełnienie cyklu publikacji przedstawionych równolegle do oceny, ale nie powiela treści zawartych w tych pracach, a raczej je konsoliduje. Ponadto jest to jedna z niewielu (a może nawet jedyna) syntetyczna publikacja w języku polskim, która odnosi się do zagadnień związanych z kodowaniem entropijnym w hybrydowej kompresji obrazu wizyjnego. W monografii przywołano zarówno podstawy kompresji stratnej obrazu wizyjnego, obejmujące zagadnienia nadmiarowości (w tym perceptualnej) oraz podziału obrazów na bloki, stąd mowa o kodowaniu hybrydowym opartym na blokach, narzędzia kompresji hybrydowej, tj. techniki predykcji wewnątrzobrazowej i międzyobrazowej, jak również kodowania stratnego transformatowego, operującego na poziomie bloków i wreszcie techniki entropijnego kodowania danych, wykorzystujące adaptacyjne kodowanie arytmetyczne. Dane, które są poddawane kompresji reprezentują elementy składni danej techniki kodowania i zawierają informacje sterujące, dane o ruchu w sekwencji oraz opisujące resztkowy sygnał predykcji.

Te wstępne zagadnienia stanowią wprowadzenie do zaawansowanego kodowania entropijnego, obejmującego zarówno wcześniejsze techniki, tj. kontekstowe adaptacyjne binarne kodowanie arytmetyczne (CABAC, Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding), jak również bardziej zaawansowane podejścia, rekomendowane przez autora monografii, tj. użycie metody ważenia drzewa kontekstów (Context-Tree Weighting, CTW oraz zastosowanie metody precyzyjnej estymacji prawdopodobieństw, wykorzystującej optymalizację Cauchy’ego. Ta ostatnia technika jest następnie ulepszana przez Kandydata i polega na wyznaczaniu wielu różnych prawdopodobieństw warunkowych, a dokładniej – stanowi ważoną sumę prawdopodobieństw warunkowych wyznaczanych w węzłach ścieżki kontekstu. Ze względu na pojawienie się nowych wersji techniki CABAC, dr Karwowski zaproponował również w tym aspekcie ulepszenie metody, która przeniosła punkt uwagi z mechanizmu estymacji prawdopodobieństw symboli jednoparametrowego modelu „starzenia wykładniczego” **modelem dwuparametrowym, obliczanych dodatkowo w obrębie poszczególnych podstrumieni symboli. Skuteczna i efektywna implementacja dwuparametrowej estymacji prawdopodobieństw wskazała dalszy kierunek rozwoju tej metodologii, ukierunkowanej na estymację 3- oraz 4-parametrową, co**

pozwoili na uzyskanie wikszej wydajnoici kodowania entropijnego. Waznym elementem oceny bylo stwierdzenie potrzeby kalibracji warunkowanych treścią poddawanej kodowaniu sekwencji. Istotne uzupełnienie przedstawionej do oceny monografii stanowi analiza efektywnoici oraz oszacowanie zlozonosci obliczeniowej zaimplementowanych technik kodowania entropijnego.

Autorskie rozwiazania Habilitanta obejmujaja w ramach przedstawionej do oceny monografii:

- wskazanie potrzeby niezaleznej kalibracji parametrów kodera entropijnego w obrazach poszczegolnych typów;
- propozycje optymalizacji sposobu wazenia czastkowych prawdopodobienstw symboli, wyznaczanych przez algorytm estymacji wieloparametrowej;
- propozycje estymacji wieloparametrowej – z zastosowaniem wikszej liczby parametrów modelu niz zachodzi to obecnie (trzy lub cztery parametry w miejsce obecnie stosowanych dwóch).

Cykl publikacji (z krótką charakterystyką tych prac) można przedstawić jako odniesienie do kilku osiagnieci. **Waznym watkiem badawczym jest estymacja prawdopodobienstw symboli w technice CABAC w kontekście propozycji ulepszen.** Do tych prac nalezaja:

1. Damian Karwowski, Marek Domański, Wen-Hsiao Peng, Hsueh-Ming Hang, „Analysis of the Limitations of Further Improvement of the Efficiency of VVC-CABAC”, in IEEE Access, vol. 11, pp. 16793-16800, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3245828.

Publikacja, którą Kandydat przedstawił w czasopiśmie IEEE Access, dotyczy zaawansowanych technik kompresji wideo, które odgrywaja kluczowa role zarówno w transmisji, jak i przechowywaniu danych wideo. Kluczowym elementem omawianej publikacji jest zastosowanie kodowania entropijnego, a konkretnie najnowszej wersji algorytmu Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC), która zostala wlaczona do nowej technologii kodowania wideo, tj. Versatile Video Coding (VVC). CABAC jest zaawansowana technika kompresji, która pozwala na wiksza redukcje rozmiaru danych wideo poprzez bardziej efektywne kodowanie informacji o scenie. **Waznym aspektem pracy jest propozycja rozszerzenia istniejacej metody CABAC poprzez wprowadzenie hipotez o trzech i czterech parametrach w celu dokladniejszego obliczania prawdopodobienstw symboli danych.** To podejscie ma na celu dalsze zwiekszenie efektywnoici kompresji poprzez lepsze dopasowanie parametrów algorytmu do charakterystyki kodowanych danych wideo. Warto zauwazyc, ze stwarza to potencjalna mozliwosc dalszego zwiekszenia efektywnoici kompresji wideo, co moze przekladać się na oszczednosc przestrzeni dyskowej i przepustowosc sieci przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości obrazu. **Przeprowadzone eksperymenty wskazujaja, ze wprowadzenie zaproponowanych rozszerzen moze poprawic efektywnosc kompresji o 0,11% do 0,167% w zalezności od zastosowanego modelu hipotezy.** Wartości te nalezy traktowac w odniesieniu nie do pojedynczego pliku wideo, ale w kontekście ogromnych ilosci danych wideo przesyłanych/zapisywanych w kazdej minucie, dlatego nawet niewielka poprawa efektywnoici kompresji moze przynieśc znaczace korzyści.

Optymalizacja technik kompresji wideo ma bowiem bezpośredni wpływ na przyszłość przechowywania i dystrybucji treści cyfrowych. Innowacje w tej dziedzinie są kluczowe dla rozwoju branży mediów cyfrowych, zwłaszcza w obliczu rosnącego zapotrzebowania na wysokiej jakości streaming wideo i usługi VOD (*video on demand*).

2. Damian Karwowski, „Precise Probability Estimation of Symbols in VVC CABAC Entropy Encoder”, in IEEE Access, vol. 9, pp. 65361-65368, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075875.

Przedłożony do oceny artykuł skupia się na zaawansowanych badaniach dotyczących kodowania entropijnego w kontekście technologii kodowania wideo, jaką jest technika Versatile Video Coding (VVC/H.266) i jej kluczowego elementu – techniki Kontekstowego Adaptacyjnego Binarnego Kodowania Arytmetycznego (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding; CABAC). Technika CABAC stanowi istotne narzędzie w kompresji danych wideo, pozwalającym na znaczące zmniejszenie ilości danych wymaganych do reprezentowania wideo poprzez skuteczniejsze kodowanie informacji.

Głównym wkładem pracy jest analiza możliwych rozszerzeń techniki CABAC, mających na celu dokładniejsze szacowanie prawdopodobieństw symboli danych, co ma kluczowe znaczenie dla efektywności kompresji. Autor przedstawia cztery własne przykłady takich rozszerzeń, analizując praktyczne ograniczenia związane z dalszym zwiększaniem efektywności najnowszej wersji CABAC używanej w VVC. Znaczenie tych badań można rozważać na płaszczyźnie wielowymiarowej. Praca pokazuje, w jakim stopniu nawet subtelne, ale zaawansowane w sensie matematycznym, ulepszenia w szacowaniu prawdopodobieństw symboli dla techniki CABAC mogą przekładać się na poprawę efektywności kompresji. Ten element jest kluczowy dla optymalizacji strumienia binarnego transmisji danych wideo. Jednocześnie uzyskane wyniki wskazują na praktyczne ograniczenia istniejących technik kompresji, co jest ważne dla kierunków przyszłych badań, wpływu na przyszłe standardy kompresji i ewentualnego rozwoju technologii strumieniowania obrazu ruchomego.

3. Damian Karwowski, „Precise Estimation of Probabilities in CABAC Using the Cauchy Optimization Method”, in IEEE Access, vol. 8, pp. 32088-32099, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2973549.

Najważniejszym osiągnięciem opisanym w tej publikacji jest opracowanie i zastosowanie zmodyfikowanej, ulepszonej wersji Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC), pod nazwą CABACC. Kluczowym elementem tej techniki jest zastosowanie bardziej precyzyjnego szacowania prawdopodobieństw symboli danych przy wykorzystaniu metody optymalizacji Cauchy'ego, co ma na celu zminimalizowanie liczby bitów produkowanych przez enkoder entropii. Istotą tego „ulepszenia” jest obliczanie wielu różnych warunkowych prawdopodobieństw dla symbolu binarnego zamiast ustalania tylko jednej wartości prawdopodobieństwa warunkowego, jak ma to miejsce w oryginalnej technice CABAC. Uzyskane prawdopodobieństwa są następnie ważone za pomocą konkretnych współczynników ważenia, aby uzyskać końcową wartość prawdopodobieństwa, która jest później wykorzystywana przez enkoder arytmetyczny. Właśnie w tym kontekście, do określenia odpowiednich wartości współczynników ważenia, autor zaproponował wykorzystanie metody optymalizacji Cauchy'ego. Optymalizacja ta umożliwia wybór takich wartości współczynników ważenia, które minimalizują liczbę bitów produkowanych przez enkoder

entropii. Praktyczne wdrożenie tej techniki w technologii High Efficiency Video Coding (HEVC) zwiększyło efektywność kompresji kodowania entropijnego z wartości 0,6% do 1,2%, w zależności od parametrów metody i scenariusza eksperymentów. Metodologia tego typu jest widoczna w literaturze, co potwierdza zasadność tego kierunku badań i prowadzonych eksperymentów.

4. Damian Karwowski, M. Domański, „Increased Compression Efficiency of AVC and HEVC CABAC by Precise Statistics Estimation”, International Journal of Electronics and Telecommunications, 2018, Vol. 64, No. 3, pp. 277-284. WoS

W artykule przedstawiono ulepszony algorytm kodowania arytmetycznego w zastosowaniu do przyszłych technologii kompresji wideo. Rozwiązanie to opiera się na technice Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC) i wykorzystuje autorski mechanizm szacowania prawdopodobieństwa symboli, który korzysta z techniki ważenia drzewa kontekstów Context-Tree Weighting (CTW). Kluczowym osiągnięciem jest wersja algorytmu, która umożliwia arbitralny wybór głębokości D drzew kontekstowych podczas aktywacji algorytmu w ramach enkoderów wideo AVC lub HEVC. Interesujący jest aspekt – w zależności od głębokości drzew kontekstowych - jednoczesnej redukcji przepływności bitowej, zysku kompresji przy jednoczesnym zwiększeniu złożoności samego enkodera entropii, co jednak nie powoduje wzrostu złożoności całego enkodera sygnału wideo.

Najważniejsze osiągnięcie przedstawione w tym artykule odnosi się do rozwoju i wdrożenia ulepszanego algorytmu kodowania arytmetycznego, który dzięki zastosowaniu techniki CTW i możliwości dostosowania głębokości drzew kontekstowych, umożliwia znaczną poprawę efektywności kompresji wideo do zastosowania w koderach AVC i HEVC. Należy zauważyć, że praca miała wyraźnie charakter rozwojowy, tj. zanim wprowadzono nowe kodeki H.265 (HEVC) oraz H.266 (VVC).

5. Damian Karwowski, M. Domański, „Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding with Precise Probability Estimation and Complexity Scalability for High-Efficiency Video Coding”, Journal of Electronic Imaging, 25(1), 013010 (January 20, 2016); DOI: 10.1117/1.JEI.25.1.013010. WoS

Należy zwrócić uwagę, że artykuł został opublikowany w 2016 roku, a więc na kilka lat przed wprowadzeniem nowych technik kodowania obrazu ruchomego. Jednak zgodnie z trendem, który jest widoczny w literaturze w tym okresie, autorzy przedstawiają ulepszenie algorytmu Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC), które polega na **zastosowaniu dokładniejszego mechanizmu do szacowania prawdopodobieństw symboli w standardowym algorytmie CABAC. Ulepszenie to opiera się na technice ważenia drzew kontekstowych (Context-Tree Weighting Technique) i estymacji statystyk danych**, przy czym dotyczy różnych schematów binaryzacji danych i różnej liczby podstrumieni wykorzystywanych w kodeku entropijnym.

Ulepszony CABAC (dla koderów wideo wysokiej efektywności HEVC), pozwala osiągnąć oszczędność przepływności bitową w znacznym stopniu, bo od wartości 0,7% do 4,5% w porównaniu z oryginalnym algorytmem CABAC. Zastosowanie proponowanego algorytmu tylko marginalnie wpływa na złożoność koderów wideo HEVC, jednak złożoność dekodera wideo wzrasta o 32% do 38%. Z kolei, aby zmniejszyć złożoność dekodowania wideo, autorzy zaproponowali nowe narzędzie dla ulepszanego CABAC, które

umożliwia skalowanie złożoności dekodera. Eksperymenty pokazują, że to narzędzie pozwala na redukcję czasu dekodowania o 5% do 7,5%, jednocześnie utrzymując wysoką efektywność kompresji danych. Jednak kluczowym osiągnięciem przedstawionych badań jest opracowanie i wdrożenie ulepszanego mechanizmu szacowania prawdopodobieństwa symboli w CABAC, który znacząco poprawia efektywność kompresji w koderach HEVC. Dodatkowo, innowacyjne narzędzie do skalowania złożoności dekodera pozwala na optymalizację procesu dekodowania, redukując czas i złożoność przy zachowaniu wysokiej jakości kompresji.

6. Damian Karwowski, M. Domański, „Improved Context – based Adaptive Binary Arithmetic Coding in MPEG-4 AVC/H.264 Video Codec”, Lecture Notes in Computer Science, no. 6375, ss. 25-32, wyd. Springer-Verlag, 2010. WoS

Głównym wynikiem przedstawionym w opublikowanym rozdziale był **ulepszony adaptacyjny kodek arytmetyczny CABAC, który wykorzystuje opracowany przez autorów dokładniejszy mechanizm szacowania prawdopodobieństwa warunkowego**. Eksperymenty wykazały lepszą wydajność kodowania ulepszanego CABAC w stosunku do najnowocześniejszego algorytmu CABAC. W porównaniu do oryginalnego kodera CABAC, ulepszony CABAC pozwala na 1,5%-8% redukcję przepływności, gdy jest stosowany w MPEG-4 AVC High Profile. Jednak i w tym przypadku, zaproponowany kodek CABAC charakteryzuje się większą złożonością niż jego oryginalna wersja. Wartość tę autorzy oszacowali na do 25% większą w przypadku sekwencji wysokiej rozdzielczości. Wyniki eksperymentalne wykazały, że różnica w wydajności kompresji między a oryginalnym CABAC silnie zależy od: wartości bitrate, zawartości sekwencji i typu klatki sekwencji i typu ramki. Trzy wyżej wymienione parametry wpływają na właściwości statystyczne sygnału resztkowego, który jest ostatecznie kodowany za pomocą kodera entropii. Jednak ulepszony algorytm CABAC pozwala na zmieniające się statystyki kodowanych danych, co nie jest możliwe w oryginalnym kodeku CABAC. W tym przypadku wykorzystuje się predefiniowany rozkład prawdopodobieństwa danych, co zmniejsza zdolność kodeka entropijnego do efektywnego śledzenia statystyk danych. Gdy rzeczywista statystyka danych różni się od założonej, wydajność kodowania standardowego CABAC spada. Skutkuje to zwiększoną redukcją przepływności przy wykorzystaniu ulepszanego kodek CABAC.

7. Damian Karwowski, M. Domański, „Optimized Architectures of CABAC Codec for IA-32-, DSP- and FPGA-based Platforms”, Image Processing and Communications, vol. 14, No. 2-3, ss. 5-12, 2009.

W ramach przeprowadzonych badań przedstawiono **dwie oryginalne architektury dekodera entropijnego CABAC, tj. wersję programową CABAC oraz wersję sprzętową CABAC**. Architektury te zostały zoptymalizowane algorytmicznie w odniesieniu do szybkości z uwzględnieniem cech platformy docelowej. Przepustowość obu wersji dekodera CABAC została przetestowana poprzez wykonanie serii eksperymentów dla testowych sekwencji wideo. Testy przeprowadzono na platformach IA-32, DSP i platformach FPGA. Wykazano, że maksymalne przepływności dla zakodowanych strumieni bitów, które mogą być przetwarzane z proponowanymi dekoderni CABAC w czasie rzeczywistym, są to odpowiednio: przepływności do 9-10 Mb/s dla wersji programowej CABAC (przy częstotliwości zegara 600 MHz) i do 80 Mb/s dla sprzętowej wersji CABAC (przy częstotliwości zegara 600 MHz) dla rozdzielczości czasowej 30 Hz

sekwencji wideo. Autorzy zwracają uwagę na fakt, że wersja sprzętowa CABAC charakteryzuje się znacznie wyższą przepustowością w stosunku do wersji programowej. Liczba cykli zegara, które jest potrzebna do przetworzenia symbolu binarnego za pomocą sprzętowego dekodera CABAC jest około 10 razy mniejsza w porównaniu do wersji programowej dekodera CABAC.

8. Damian Karwowski, „Ulepszone Adaptacyjne Kodowanie Arytmetyczne w Standardzie H.264/AVC”, Przegląd Telekomunikacyjny nr 6/2009, vol. LXXVI, ss. 501-506.

Pomimo iż praca przedstawiona do oceny została opublikowana w 2009 r., to jednak pozwoliła Habilitantowi na **zastosowanie w algorytmie CABAC autorskiego mechanizmu modelowania statystycznego, którego zadaniem była poprawa efektywności kodera entropijnego**. Habilitant uzyskał znaczący wzrost efektywności techniki CTW-CABAC w kodeku AVC, tj. kilkuprocentową redukcję prędkości transmisji, co w porównaniu do stanu wiedzy były jednym z najlepszych wyników. Należy przy tym dodać, że ten efekt został uzyskany kosztem wydłużenia czasu kodowania i dekodowania sekwencji. W stosunku do oryginalnego dekodera wizyjnego H.264/MPEG-4 AVC średni czas dekodowania sekwencji z użyciem ulepszonego dekodera H.264/MPEG-4 AVC jest większy o 5% - 10% oraz 15% - 30% odpowiednio dla sekwencji standardowej oraz wysokiej rozdzielczości. W ogólności, im większa prędkość transmisji, tym zwiększa się procentowy udział dekodowania entropijnego w łącznym czasie dekodowania sekwencji wizyjnej. Jednak przy zastosowaniu rozwiązań sprzętowych, czas ten może się znacząco zmniejszyć, co może prowadzić do realizację zaawansowanych technik kompresji obrazu w czasie rzeczywistym.

Badania, które prowadził Habilitant, obejmowały następujące prace szczegółowe:

- **Przygotowanie kodów programów** w języku programowania C/C++ dla zaproponowanych ulepszeń entropijnej kompresji danych.
- **Włączenie kodu tych programów do oprogramowania techniki CABAC**, działającej w strukturze dwóch różnych kodeków (koder i dekodery) dla ruchomego obrazu: kodeka AVC i kodeka HEVC. Habilitant wykorzystał w pracach programistycznych modelowe oprogramowanie, odpowiednio JM [AVCSofT] oraz HM [HEVCSoft], kodeków wizyjnych AVC i HEVC. Z uwagi na duży stopień skomplikowania kodu programu kodeków obrazu, które rozważano w badaniach, działania programistyczne stanowią bardzo czasochłonny etap badań.
- **Wprowadzenie ulepszeń kodu dla techniki VVC** (Versatile Video Coding) z 2020 r. za pomocą oprogramowania analizatora wydajności nowej techniki CABAC (również w wersji obejmującej autorskie ulepszenia tej techniki). Ponieważ VVC stanowi najbardziej zaawansowaną i jednocześnie najbardziej efektywną odmianę techniki kodowania entropijnego CABAC, dlatego zaproponowane ulepszenia tej techniki stanowią ważne osiągnięcie, zwłaszcza, że badania te były prowadzone w warunkach kompresji entropijnej rzeczywistych danych dotyczących elementów składni danej techniki kodowania z wykorzystaniem oprogramowania VTM [VVCSofT] kodeka VVC.

- **Ocenę wpływu wybranych parametrów proponowanych mechanizmów** na efektywność kodowania danych i złożoność obliczeniową danego wariantu metody. Wykorzystywane podejście analityczne było zgodne z zaleceniami grup eksperckich ISO/IEC MPEG oraz ITU-T VCEG, określającymi rekomendowane konfiguracje koderów obrazu, które powinno się uwzględnić w badaniach.
- **Realizację badań** zarówno na polu teoretycznym, jak i w praktycznych rozwiązaniach (implementacja algorytmiczna i sprzętowa).

3. Istotna aktywność naukowa albo artystyczna realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, **w szczególności zagranicznej.**

Kandydat wykazuje się istotną aktywnością naukową w kontekście współpracy zagranicznej. Dotyczy to **długoterminowej współpracy z Uniwersytetem na Tajwanie** (National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu City, Taiwan) w ramach projektu: „Energy-aware Compression of Video with the Use of Deep Learning” oraz **współpracy z ośrodkiem badawczo-rozwojowym firmy Mitsubishi Electric R&D Center Europe, Guilford, WB** w ramach projektu „Video Coding Technologies and Software”. Współpraca ta była prowadzona w ramach grantów badawczych realizowanych wspólnie z partnerem zagranicznym. Warto też zauważyć, że aktywność naukowa Habilitanta jest zdecydowanie szersza niż zaprezentowana w cyklu wybranych do oceny publikacji i mieści się w obszarze metod przetwarzania danych multimedialnych – z naciskiem na wydajność i efektywność implementowanych metod i algorytmów.

Osiągnięcia organizacyjne i dydaktyczne

Pomimo, iż wg RDN (i obowiązującej Ustawy) nie jest wymagane podanie innych osiągnięć niż tylko naukowe kandydata zgłoszone do oceny, to jednak należy podkreślić całościowy dorobek publikacyjny Habilitanta, który obejmuje wiele prac i wskazuje na spójne działanie w zakresie rozwoju naukowego w okresie po doktoracie do czasu przygotowania wniosku habilitacyjnego. **Można z pewnością stwierdzić, że jest to modelowe przygotowanie do uzyskania stopnia dra habilitowanego. Ten wysiłek został doceniony przez macierzystą Uczelnię Kandydata w postaci licznych nagród za działalność naukową** (jak również organizacyjną)

Ważna jest też działalność organizacyjna, która zaowocowała pozyskaniem licznych grantów badawczych. Szczególnie wśród osiągnięć organizacyjnych – warto zwrócić uwagę na uzyskane projekty: krajowe i międzynarodowe: Opus (NCN), Lider (NCBiR), 6th Polish-Taiwanese/Taiwanese-Polish Joint Research Call, Samsung, Mitsubishi Electric R&D Centre Europe B.V. (Guildford, UK) oraz granty własne Politechniki Poznańskiej, którymi dr inż. Damian Karwowski kierował bądź brał udział jako wykonawca. Szczególnie istotny jest też udział w pracach grupy eksperckiej w ramach stowarzyszenia MPEG oraz JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding).

Dotyczy to również **osiągnięć dydaktycznych**, lista prowadzonych przedmiotów, prowadzone prace dyplomowe oraz działanie jako promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim należy ocenić bardzo pozytywnie. Bardzo ważnym elementem tej działalności – na pograniczu dydaktyki i nauki jest książka

autorstwa habilitanta pt.:” „Zrozumieć Kompresję Obrazu”, ISBN: 978-83-953420-0-4, Poznań 2019”.
Pozycja ta na pewno jest przydatna dla studentów i młodych adeptów nauki w zakresie przetwarzania obrazu wizyjnego, a w ogólności – multimediiów.

W końcowej części podam wskaźniki naukometryczne Kandydata, które należy ocenić pozytywnie:

Wg Google Scholar: h-indeks: 9; cytowania: 324

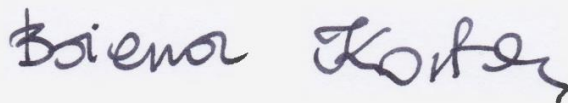
Wg bazy Scopus: h-indeks: 7, cytowania: 177 (bez cyt. wł.: 107)

Podsumowanie

Reasumując, ponieważ konkluzja dotycząca osiągnięć naukowych oraz istotnej aktywności realizowanej w więcej niż jednej uczelni, **w szczególności zagranicznej** jest zdecydowanie pozytywna, to tym bardziej można podkreślić pozostałe aspekty działalności Kandydata, tj. organizacyjne i dydaktyczne, które mieszczą się w szeroko rozumianej działalności naukowej, m.in. poprzez członkostwo w krajowych i międzynarodowych organizacjach naukowych i badawczych. Świadczy to o spójnych działaniach ukierunkowanych nie tylko na własną działalność naukowo-badawczą, ale również mającą szerszy aspekt – społeczny – w kontekście Uczelni, w której Kandydat jest zatrudniony.

Pragnę też dodać, że pozycja ośrodka, z którego Kandydat pochodzi, jest wiodąca, znana i ceniona w środowisku naukowców w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, w szczególności w obszarze kodowania i kompresji obrazów. Dotyczy to również osoby Habilitanta, który się z tą jednostką utożsamia i bierze udział w pracach grup standaryzacyjnych, co wskazuje – obok wartości naukowej dorobku – na wartość „użyteczną” prowadzonych badań.

W podsumowaniu niniejszej opinii chciałabym podkreślić, że osiągnięcia na polu nauki, dra inż. Damiana Karwowskiego spełniają wymagania stawiane kandydatowi w myśl obowiązującej Ustawy w celu uzyskania stopnia doktora habilitowanego. **Dlatego wnioskuję o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Damianowi Karwowskiemu w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.**



Beata Kofka