REVIEW

of the international scientific advisor on the dissertation of Sarmanbetov Sanjar Aitqaliuly titled "Hardware Implementation of Information-Entropy Signal Analysis", submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty "8D06201 – Radio Engineering, Electronics and Telecommunications"

The dissertation is dedicated to the current topic of signal classification and identification under conditions of high signal densities and unknown parameters of communication systems. The author demonstrates a deep understanding of the complexity of the modulation classification (MK) process, especially under low signal-to-noise ratio (SNR) conditions. The work has high theoretical and practical significance, which is confirmed by the consideration of a wide range of algorithms and methods to solve the problem.

The author systematically presents classification algorithms, dividing them into two main approaches: decision theory approach and statistical pattern recognition methodology. Attention is given to the features of feature extraction and classifier development. In particular, the author considers recent advancements in feature extraction and proposes new methods for signal modulation recognition, such as the use of Hamming distance and fourth and sixth order cumulants.

Special attention is given to entropy-based methods, highlighting the novelty and relevance of the research. The author carefully analyzes four different types of entropy (Shannon entropy, Rényi entropy, exponential entropy, and Tsallis entropy) and their application for extracting features of modulated signals. The research results show that Shannon entropy performs the best in classification, effectively distinguishing signals such as BPSK, QPSK, 16PSK, and 64PSK.

The practical significance of the work is confirmed by the use of the HisarMod2019.1 dataset, which includes 26 modulation types from five different families. The author conducts detailed experiments demonstrating the effectiveness of the proposed entropy-based feature extraction algorithm under various signal-to-noise ratio conditions.

The work stands out for its high level of theoretical and experimental elaboration, making it a significant contribution to the field of signal analysis and modulation classification. The author has shown high research competence by proposing new approaches and confirming their effectiveness through thorough experiments.

I recommend this dissertation for defense as it meets all the requirements for scientific research in this field and is of great importance for the further development of signal analysis theory and practice.

Vice-Rector for Research
at National Aviation University, Kyiv, Ukraine
D.Sc., Professor Sergiy Gnatyuk



Сарманбетов Санжар Айтқалиұлының «8D06201-Радиотехника, Электроника және Телекоммуникация» , білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған «Сигналдарды ақпараттық - энтропиялық талдауды аппараттық іске асыру» диссертациялық жұмысына халықаралық ғылыми жетекшінің

ПІКІРІ

Диссертациялық жұмыс байланыс жүйелерінің белгісіз параметрлері мен жоғары тығыздық жағдайындағы сигналдарды жіктеу және сәйкестендіру саласындағы өзекті тақырыпқа арналған. Автор модуляцияны жіктеу процесінің күрделілігін, әсіресе төмен сигнал/шу қатынасы жағдайында терең түсінетінін көрсетеді. Диссертациялық жұмыстың теориялық және практикалық маңызы жоғары, бұл қойылған міндеттерді шешуге арналған алгоритмдер мен әдістердің кең спектрін қарастыру арқылы дәлелденеді.

Автор жіктеу алгоритмдерін екі негізгі тәсілге бөлу арқылы жүйелейді: шешімді қабылдау теориясының тәсілі және үлгіні статистикалық тану әдістемесі. Ерекшеліктерді бөлектеу және жіктеулерді әзірлеу ерекшеліктеріне назар аударылады. Атап айтқанда, автор белгілерді бөлектеу саласындағы соңғы жетістіктерді қарастырады және сигналдарды Модуляциялауды танудың жаңа әдістерін ұсынады, мысалы, Хэмминг қашықтығын және төртінші және алтыншы ретті кумулянттарды пайдалану.

Энтропиялық әдістерге ерекше назар аударылады, бұл зерттеудің жаңалығы мен өзектілігін көрсетеді. Автор энтропияның төрт түрлі түрін (Шеннон энтропиясы, Реньи энтропиясы, экспоненциалды энтропия және Тсаллис энтропиясы) және олардың модуляцияланған сигналдардың сипаттамаларын алу үшін қолданылуын мұқият талдайды. Зерттеу нәтижелері бойынша Шеннон энтропиясы BPSK, QPSK, 16PSK және 64PSK сияқты сигналдарды тиімді ажырата отырып, жіктеу үшін ең қолайлы екені белгілі болды.

Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы бес түрлі тобындағы модуляцияның 26 түрін қамтитын, HisarMod2019.I деректер жиынтығын қолдану арқылы расталады. Автор әр түрлі сигнал/шу қатынасы жағдайында ұсынылған энтропияға негізделген ерекшеліктерді оқшаулау алгоритмінің тиімділігін көрсететін егжей-тегжейлі эксперименттер жүргізеді.

Диссертациялық жұмыс теориялық және эксперименттік пысықтаудың жоғары деңгейімен сипатталады, бұл оны сигналдарды талдау және модуляцияларды жіктеу саласына айтарлықтай үлес қосады. Автор жаңа тәсілдерді ұсыну және мұқият тәжірибелер арқылы олардың тиімділігін растау жолмен жоғары зерттеу құзыреттілігін көрсетті.

Мен, бұл диссертацияны қорғауға ұсынамын, өйткені ол осы саладағы ғылыми зерттеулерге қойылатын барлық талаптарға сәйкес келеді және сигналдарды талдау теориясы мен тәжірибесін одан әрі дамытуға үлкен мән береді.

Украина, Киев қаласының Ұлттық авиациялық университетінің ғылыми жұмыс жөніндегі проректоры
Ғылым докторы, профессор Сергей Гнатюк
/қолы/

*Мөр: /Украина білім және ғылым министрлігі * Ұлттық авиация университеті * Киев қаласы/*