

В.Ю. СЕМЕНОВ

Київський академічний університет; American University Kyiv, Київ, Україна,
e-mail: vasyi.delta@gmail.com.

Є.В. СЕМЕНОВА

Інститут математики НАН України, Київ, Україна, e-mail: semenovaevgen@gmail.com.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДО ДЕЯКИХ ПРОБЛЕМ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАДАЧАХ

Анотація. Розглянуто застосування методів машинного навчання до задач цифрового оброблення сигналів у телекомунікаційних системах, зокрема, задач автоматичної класифікації модуляції та подальшої демодуляції сигналу. Для автоматичної класифікації модуляції досліджено чотири методи машинного навчання: мультиноміальну регресію, метод найближчих сусідів, метод гауссівських сумішей та згорткову нейронну мережу. Експериментальні результати на штучних даних показали точність розпізнавання п'яти класів модуляції на рівні від 96 % до 99 %. Найвищу точність (99 %) забезпечила згорткова нейронна мережа. Проте три інші методи, що мають простішу структуру, демонструють задовільний компроміс між точністю та складністю реалізації. Перевірка на 89 сигналах від реальних модемів показала, що метод найближчих сусідів досягає найвищої точності класифікації (100 %), тоді як решта методів забезпечують точність на рівні 99 %. Це свідчить про те, що висока точність класифікації може бути досягнута за допомогою значно простіших методів порівняно із згортковими нейронними мережами. Запропоновано метод блокової демодуляції сигналів на основі мультиноміальної лінійної регресії та нейронної мережі прямого зв'язку, що має просту практичну реалізацію порівняно з іншими відомими методами. Показано, що у разі високих рівнів шуму запропонований метод забезпечує вищу точність відновлення сигналу порівняно з традиційним методом демодуляції на основі контурів Гарднера та Костаса, а також використовує меншу кількість параметрів ніж інші відомі методи.

Ключові слова: машинне навчання, глибоке навчання, цифрове оброблення сигналів, автоматична класифікація модуляції, демодуляція сигналів.

ВСТУП

Цифрове оброблення сигналів у телекомунікаціях охоплює широкий спектр задач — від виявлення, фільтрації, аналізу та демодуляції сигналів до їхнього відновлення та синтезу. Воно відіграє важливу роль у забезпеченні надійності та ефективності сучасних комунікаційних систем, зокрема, мобільного зв'язку, супутникових технологій, радіолокації та оброблення мультимедійного контенту. Обробляти сигнали можна за допомогою широкого спектра традиційних методів [1–3]. Наявність таких добре налагоджених методів встановлює високу планку для нових методів оброблення сигналів. Природно, що лише ті підходи, які будуть здатні забезпечити значні переваги над наявними методами, можуть внести вагомий внесок у розвиток телекомунікацій.

Машинне навчання (machine learning), зокрема, глибоке навчання (deep learning) спричинило суттєві зміни в багатьох галузях, дало змогу ефективно виявляти складні шаблони у великих наборах даних, перевершуючи традиційні для різних галузей методи [4–7]. Використання потужних архітектур, таких як згорткові нейронні мережі (convolutional neural networks, CNN), рекурентні нейронні мережі (recurrent neural networks, RNN) і трансформери [9], у поєднанні з прогресом обчислювальної потужності та доступністю великих баз даних дало змогу методам глибокого навчання забезпечувати високу продуктивність у широкому діапазоні задач.

Традиційні методи цифрового оброблення сигналів ґрунтуються на простих математичних моделях, які уможливають алгоритми детектування символів для різно-