

КВАНТОВІ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Гальченко К.Р.

e-mail: kyrylo.halchenko@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., доц. Кобилін О.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

The paper describes the promising directions of using quantum wavelet transforms (QWT) in the field of image processing, as well as the components of these transforms. The use of QWT allows for efficient image compression while preserving detail and more accurate color space information. For example, the quantum wavelet transform can be used to encode images in quantum states with subsequent restoration.

Квантові вейвлет-перетворення (Quantum Wavelet Transforms, QWT, КВП) – це квантові аналоги класичних вейвлет-перетворень, які використовуються для аналізу та обробки сигналів і зображень на різних масштабах. Вони дозволяють ефективно розкладати дані на частотні компоненти, що є важливим для таких задач, як стиснення, фільтрація, сегментація та розпізнавання зображень.

Основні концепції квантових вейвлет-перетворень нині можна розділити на два основні напрями.

По-перше, такими є вейвлет-перетворення в класичних обчисленнях, але з використанням квантових обчислювальних системах. У такому випадку вейвлет-перетворення розкладає сигнал або зображення на базисні функції (вейвлети), які локалізовані як у просторі, так і у частотній області. Це дозволяє аналізувати дані на різних масштабах, що є ключовим для багатьох задач обробки зображень.

По-друге, концепція квантових аналогів – квантові вейвлет-перетворення використовують квантові стани та оператори для реалізації аналогічних перетворень. Реалізувати їх можливо за допомогою квантових схем, які використовують квантові гейти. Такими схемами можна назвати, наприклад, гейти Адамара, фази та контрольовані операції.

Ключовими перевагами квантових вейвлет-перетворень можна назвати три напрями такі як: прискорення обчислень, ефективне використання пам'яті, можливість інтеграції в квантові нейронні мережі. Так квантові алгоритми можуть виконувати вейвлет-перетворення значно швидше завдяки паралелізму квантових обчислень.

Квантові стани дозволяють представляти великі обсяги даних у компактній формі. Це дозволяє ефективніше використовувати пам'ять у готовому результаті. Але слід відзначити, на нинішньому рівні досліджень – питання оперативної пам'яті квантових обчислювальних систем (КОС) досі є на етапі розробки більш продуктивніших рішень.

QWT можуть бути інтегровані в квантові нейронні мережі для обробки зображень. Так вже існує декілька програмно-технічних засобів, які дозволяють інтегрувати засоби ШІ, такі як IBM Qiskit.

Застосування QWT дозволяє ефективно стискати зображення, зберігаючи деталізацію та більш точну інформацію про кольоровий простір. Наприклад, квантове вейвлет-перетворення може бути використане для кодування зображень у квантових станах з подальшим відновленням. Таким чином, забезпечується оптимізація використання ресурсів КОС одночасно з виводом інформації у класичні системи обробки графіки.

QWT можуть бути використані для виділення корисних сигналів із шуму, що є важливим для медичних зображень або астрономічних даних. На нинішньому етапі системи КВП, все ще залежні від допоміжних рішень по типу вищезгаданих систем ШІ, але з ростом обчислювальних потужностей припустиме пряме використання перетворень у автономному режимі.

Використання QWT дозволяє розділяти зображення на області з різними характеристиками, що є ключовим для задач комп'ютерного зору, систем аналітики на основі штучного інтелекту, тощо.

Нині квантові вейвлет-перетворення реалізуються за допомогою квантових схем, які включають переважно три компоненти. Гейт Адамара використовується для створення суперпозиції станів.

Для реалізації складних перетворень передбачені контрольовані операції. Прикладами таких операцій можна назвати «контрольоване ні» (CNOT), «контрольований фазовий зсув» (CZ) чи «гейт Тоффоли» (CCNOT). Будь-яку контрольовану операцію можна реалізувати за допомогою комбінації однокубітних гейтів (наприклад, гейтів Адамара, фази) та двохкубітних гейтів по типу перелічених вище. Як частина процесу вейвлет-перетворення використовується квантове перетворення Фур'є (QFT).

Квантові вейвлет-перетворення є перспективним напрямком у квантовій обробці зображень, і їх розвиток може призвести до значних проривів у галузі комп'ютерного зору, медичної візуалізації та інших областях.

Список використаних джерел:

1. Siew C. S. Q., Vitevitch M. S. Investigating the influence of inverse preferential attachment on network development. *Entropy*. 2020. Vol. 22, no. 9. P. 1029. URL: <https://doi.org/10.3390/e22091029> (date of access: 05.03.2025).
2. Yan F., Venegas-Andraca S. E. *Quantum image processing*. Singapore : Springer Singapore, 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9331-1> (date of access: 05.03.2025).
3. Yanofsky N. S., Mannucci M. A. *Quantum computing for computer scientists*. Cambridge University Press, 2013.