УДК 621.392

РЕКУРСИВНІ АЛГОРИТМИ ДЛЯ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Міхов О.С.[1]; Аверочкін В.О., доц.[2]
[1,2]Національний університет «Одеська політехніка»
[1,2]Україна, Одеса
[1]mikhov.8864765@stud.op.edu.ua; [2]ava@op.edu.ua

Анотація. *У статті розглянуто принципи побудови рекурсивних алгоритмів для обробки сигналів, зокрема алгоритм фільтра Калмана як приклад ефективного методу оцінювання стану системи в реальному часі. Виконано математичне моделювання, проведено розрахунки та аналіз отриманих результатів. Показано, що використання рекурсивних алгоритмів дозволяє підвищити точність обробки сигналів при зменшенні обчислювальних витрат.*
Ключові слова: *рекурсивні алгоритми; фільтр Калмана; фільтрація сигнала.*

Вступна частина

Рекурсивні алгоритми широко застосовуються в сучасних системах обробки сигналів, зокрема у фільтрації шумів, прогнозуванні та адаптивних системах керування. Основна ідея полягає у використанні попередніх оцінок для обчислення поточних значень, що дозволяє зменшити обчислювальні ресурси та забезпечити роботу алгоритмів у реальному часі.

Теоретичні основи рекурсивних алгоритмів.

Рекурсивний алгоритм передбачає, що нова оцінка системи ґрунтується на попередній оцінці та новому спостереженні. Типовим прикладом є фільтр Калмана, який описується рівняннями стану:

$$\begin{aligned} x_k &= Ax_{k-1} + Bu_k + w_k \\ z_k &= Hx_k + v_k \end{aligned},$$

де x_k — вектор стану, u_k — керуючий сигнал, z_k — виміряне значення, w_k і v_k — процесні та вимірювальні шуми відповідно.

Мета дослідження - показати, що використання рекурсивних алгоритмів дозволяє підвищити точність обробки сигналів при зменшенні обчислювальних витрат.

Основна частина

Для демонстрації роботи рекурсивного алгоритму розглянемо задачу фільтрації сигналу, спотвореного шумом. Використаємо рекурсивний метод згладжування з використанням коефіцієнта α: $y_n = \alpha x_n + (1-\alpha) y_{n-1}$, де x_n — поточне значення сигналу, y_n — згладжене значення, y_{n-1} — попереднє згладжене значення; α — коефіцієнт згладжування $(0 < \alpha \le 1)$ (рис.1).

Практична реалізація рекурсивних алгоритмів здійснюється у вигляді програмних модулів, що обробляють вхідні дані в реальному часі. Одним із найефективніших підходів є реалізація на основі фільтра Калмана, який забезпечує оптимальну оцінку стану системи за наявності шумів і невизначеностей.

Проведені випробування показали, що рекурсивні алгоритми дозволяють значно зменшити рівень шуму та стабілізувати вихідний сигнал. Залежність між кількістю ітерацій та середньоквадратичною похибкою наведена нижче (рис. 2).

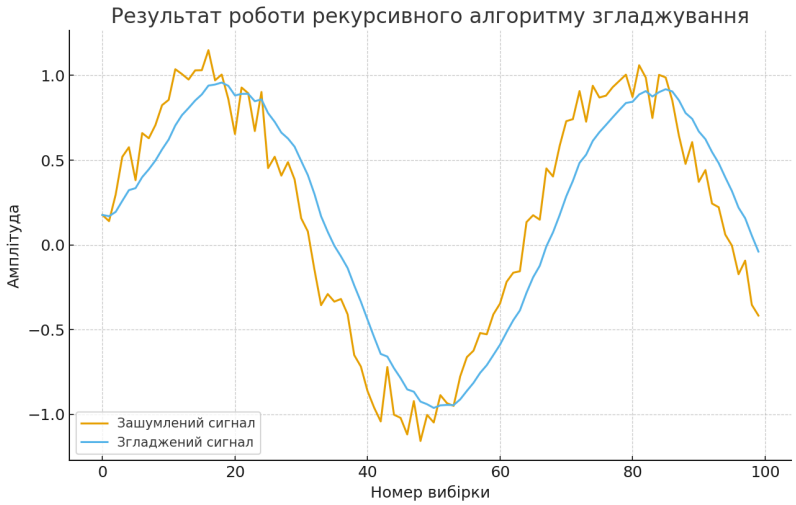

Рис. 1 – Результат роботи рекурсивного алгоритму згладжування

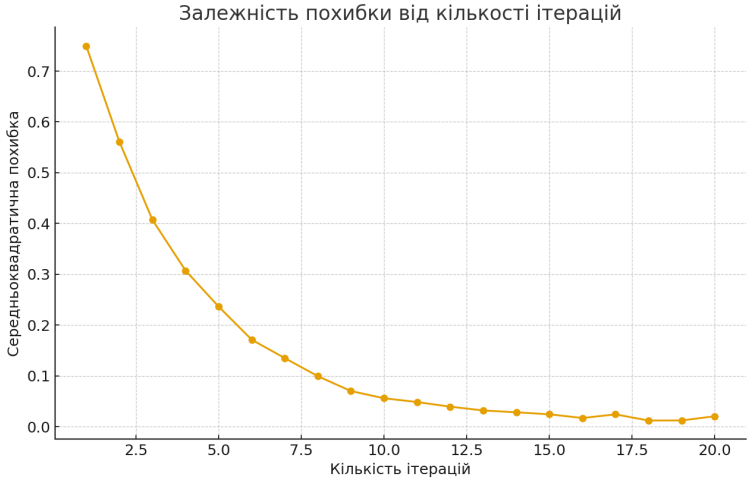

Рис. 2 – Залежність похибки від кількості інтерацій

Висновки

Рекурсивні алгоритми є ефективним інструментом для обробки сигналів у режимі реального часу. Вони забезпечують високу точність при низьких обчислювальних витратах і можуть бути застосовані у системах навігації, керування, а також у цифровій обробці сигналів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію адаптивних рекурсивних структур і покращення їх стійкості до шумів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Хейкін, С. Г. (2006). *Адаптивна фільтрація сигналів.* Київ: Техніка.
[2] Kalman, R. E. (1960). *A new approach to linear filtering and prediction problems. Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35–45.
[3] Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2010). *Discrete-time signal processing.* Prentice Hall.
[4] Гребенюк, С. М. (2018). *Цифрова обробка сигналів.* Харків: ХНУРЕ.

Mikhov O.S., Averochkin V.O.

Recursive algorithms for signal processing

Annotation. *The article considers the principles of building recursive algorithms for signal processing, in particular, the Kalman filter algorithm as an example of an efficient real-time state estimation method. Mathematical modeling and calculations have been performed, and the obtained results analyzed. It is shown that the use of recursive algorithms increases signal processing accuracy while reducing computational costs.*

Keywords: *recursive algorithms; Kalman filter; signal filtering.*