Eastern-European Journal of Enterprise Technologies
jet.com.ua

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ ЖУРНАЛ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1729-3774

1/7(43)
2010

информационные технологии
інформаційні технології
information technologies

новая экономика
нова економіка
new economy

промышленные технологии
промислові технології
industrial applications

УДК 621.391

ФІЛЬТРАЦІЯ ОПЕРАТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПІДСИСТЕМІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДИФУЗІЙНИМ ВІДДІЛЕННЯМ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

О.М. Зігунов
Аспірант*
Контактний тел.: 050-022-65-45
E-mail: aspirants@ukr.net

В.Д. Кишенько
Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: (044) 287-94-56, 050-696-54-11
E-mail: aspirants@ukr.net
*Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033

Наводяться основні типи вейвлетів, які використовуються для обробки оперативної інформації. Вирішується проблема фільтрації вейвлетами Морле. Розглядається питання застосування вищевказаних задач в рамках підсистеми технологічного моніторингу дифузійного відділення цукрового заводу

Ключові слова: технологічний моніторинг, вейвлет-аналіз, фільтрація

Приводятся основные типы вейвлетов, которые используются для обработки оперативной информации. Решается проблема фильтрации вейвлетами Морле. Рассматривается вопрос применения вышеуказанных задач в рамках подсистемы технологического мониторинга диффузионного отделения сахарного завода

Ключевые слова: технологический мониторинг, вейвлет-анализ, фильтрация

There are basic wavelet types, which use for operative information processing. These problems are carried filtration wavelet Morle. There tasks are done in technological monitoring subsystem frames diffusion department of sugar plant

Keywords: technological monitoring, the wavelet-analysis, filtration

1. Вступ

Сучасне харчове виробництво вимагає постійного контролю технологічних параметрів, їх своєчасного і точного регулювання та підтримки в заданих межах.

Для оцінки якості виробничого процесу підприємству необхідна спеціальна система – так звана система моніторингу процесів, яка може ефективно працювати, використовуючи відповідні початкові показники.

Реалізація моніторингу завжди має конкретну, чітко сформульовану мету, що визначається передусім предметною областю, до якої належить об'єкт моніторингу. Моніторинг необхідний в ситуації переходу системи від незмінного стабільного стану до режиму розвитку і свідомого впливу на ситуацію, що вимагає відстеження поточних станів. Особливістю моніторингового спостереження є об'єктивність і незалежність отримуваних даних і захист даних про параметри, що фіксуються кількісно, від суб'єктивної інтерпретації.

Ефективність роботи дифузійного апарата характеризується вихідними параметрами, до яких відносяться вміст цукру в дифузійному соці та видаленому з апарату жомі [1]. Характер протікання процесу знецукрення, розподілу концентрації цукру в різних точках апарата і відповідно, вихідні параметри залежать від багатьох факторів. До них відносяться: витрата бурякової стружки і води, їхня якість і температура, витрата гріючої пари, частота обертання транспортуючих органів, питоме навантаження апаратів, рівень і температура сокостружкової суміші і ряд інших, вплив яких важко врахувати.

У зв'язку з тим, що приладове вимірювання необхідних параметрів надзвичайно проблематично, необхідно використовувати методи непрямого контролю.

Одним зі шляхів поліпшення технологічних якостей приладів є впровадження новаторських програмно-апаратних засобів обробки даних, заснованих на останніх досягненнях в області інформатики, прикладній математиці і доступній апаратній базі. У результаті обробки спостережуваного сигналу, що несе інформацію про досліджуваний фізичний або технологічний процес, явище природи і т.п., повинна бути відновлена істинна форма корисного сигналу, спотвореного шумом і вимірювальним трактом приладу (апаратною функцією) або каналом зв'язку.

Абсолютно очевидно, що, чим вище якість алгоритму, який використовується для обробки сигналу, тим вищі вимоги пред'являються до самих обчислювальних пристроїв. Початок вісімдесятих років минулого сторіччя ознаменовано появою нового напрямку в області обробки даних - вейвлет-аналізу.

2. Результати досліджень

Цифрова обробка сигналу повинна відповідати декільком основним вимогам:

- повнота підсумкової інформації;
- об'єктивність результуючих даних;
- досить висока швидкість обчислень.

Для цього можна застосувати вейвлет-аналіз, що дає уявлення про сигнал у частотно-часовій області.

Впровадження в механізми обробки даних методів вейвлет-аналізу наочно показує їхня здатність комплексно підходити до рішення завдань. Найбільш відомі застосування вейвлет-аналізу для подавлення шуму [2].

Реальні дані часто містять випадаючі ділянки; для обробки таких сигналів розроблені адаптивні вейвлет-методи. Реалізація всіх цих властивостей вейвлетів іноді стримується значним обсягом необхідних обчислень, що приводить до низької швидкості обробки даних. Висока потреба в якісних алгоритмах частково задоволена розробленими методами швидких перетворень. Проте, ці методи не завжди придатні для аналізу довільних даних, що, у свою чергу, сприяє пошуку нових підходів зниження обчислювальних витрат.

Результатом виконання вейвлет-перетворення передбачається одержати образ у вигляді вектора властивостей, що відповідає поточному стану технологічного процесу.

Методи вейвлет-аналізу можливо застосувати до даних різної природи. Це можуть бути, наприклад, одномірні функції або двовимірні зображення. Грубу класифікацію вейвлет-алгоритмів можна зробити, виділивши безперервне (CWT - Continuous Wavelet Transform) і дискретне (DWT - Discrete Wavelet Transform) вейвлет-перетворення.

Вибір того або іншого методу залежить від поставленої задачі та типу наявних даних, які необхідно обробити, від можливостей обчислювальної техніки і від того, у якому вигляді необхідно представити результат.

Термін вейвлет-перетворення поєднує два види перетворень - пряме і зворотнє, які, відповідно, переводять досліджувану функцію f(x) у набір вейвлет-коефіцієнтів $W_{psi}(a,b)f$ і зворотно. Розрізняють безперервне і дискретне перетворення, надалі ми обмежимося розглядом в основному безперервного варіанту.

Безперервне вейвлет-перетворення (БВП) будується за допомогою безперервних масштабних перетворень і переносів вейвлета y(t) з довільними значеннями масштабного коефіцієнта a і параметра зсуву b [3]:

$$W(a,b)=|a|^{-1/2}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi^{*}(\frac{t-b}{a})dt\,, \qquad (1)$$

де символ * позначає операцію комплексного сполучення.

Вейвлет-перетворення обернене для функцій f з $L^2(R)$

$$f(t)=\int_{0}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} W(a,b)\psi(\frac{t-b}{a})\frac{dadb}{a^2} \qquad (2)$$

Таким чином, будь-яка функція з $L^2(R)$ може бути представлена суперпозицією масштабних перетворень і зрушень базисного вейвлета з коефіцієнтами, що залежать від масштабу (частоти) і параметра зсуву (часу).

Двопараметрична функція W(a,b) подає інформацію про зміну відносного внеску компонент різного масштабу в часі і називається спектром коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Маючи вейвлет-спектр, можна розрахувати повну енергію сигналу

$$E_f=\int f^2(t)dt=\int\int W^2(a,b)\frac{dadb}{a^2} \qquad (3)$$

і глобальний спектр енергії - розподіл повної енергії по масштабах (скейлограму вейвлет-перетворення)

$$E_w=(a)=\int W^2(a,b)db \qquad (4)$$

Скейлограма відповідає спектру потужності Фур'є-перетворення сигналу, згладженому на кожному масштабі спектром Фур'є, що аналізує вейвлет:

$$E_w(a)=\int\left|\hat{f}(\omega)\hat{\psi}(a\omega)\right|^2 d\omega \qquad (5)$$

де знак ^ позначає Фур'є-образ функції.

На практиці частіше доводиться мати справу із сигналами, заданими не аналітичними функціями, а з дискретним набором даних, визначеному на кінцевому часовому інтервалі. У цьому випадку приймається, що при $t_k\le t<t_{k+1}$, $f(t)=s_k$, k=1,2,...,n і формула (1) для коефіцієнтів вейвлет-перетворення модифікується таким чином:

$$W(a,b)=\frac{1}{a^{1/2}}\sum_{k} S_k(\Phi_{k+1}-\Phi_k) \qquad (6)$$

де $\Phi_k=|a|^{-1/2}\int_{-\infty}^{t_k}\psi^{*}(\frac{t-b}{a})dt$

Вибір того або іншого класу функцій, що аналізують, диктується специфікою завдання, тим, яку інформацію потрібно витягти із сигналу. У ряді випадків за допомогою різних вейвлетів можна більш повно виявити особливості аналізованого сигналу. Для аналізу технологічного процесу дифузії бурякової стружки використовувались вейвлети, наведені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1

Вейвлети	Аналітичний запис $\Psi(t)$	Спектральна щільність $\Psi(\omega)$
Дійсні безперервні базиси		
Гауссові: - першого порядку	$-t\cdot\exp(-t^2/2)$	$(i\omega)\sqrt{2\pi}\exp(-\omega^2/2)$
- другого порядку або МНАТ-вейвлет (мексиканський капелюх)	$(1-t^2)\cdot\exp(-t^2/2)$	$(i\omega)\sqrt{2\pi}\exp(-\omega^2/2)$
- n-го порядку	$(-1)\frac{d^n}{dt^n}[\exp(-t^2/2)]$	$(-1)^n(i\omega)\sqrt{2\pi}\cdot\exp(-\omega^2/2)$
DOG – difference of gaussians	$e^{-t^2/2}-0{,}5\cdot e^{-t^2/8}$	$\sqrt{2}(e^{-\omega^2/2}-e^{-2\omega^2}$
Дійсні дискретні		
HAAR-вайлет (такий як Db-l, Bior-l)	$\geq\begin{cases}1{,}0\leq\lvert1\rvert\leq1/2,\\-1{,}1/2\leq\lvert1\rvert1,\\0{,}1\prec0{,}1\prec0{,}1.\end{cases}$	$i\cdot e^{i\omega/2}\cdot\frac{\sin^2\omega/4}{\omega/4}$
Комплексні		
Морле (Morlet)	$e^{i\omega_0 t}\cdot e^{i_2/2}$	$\sigma(\omega)\sqrt{2\pi}\cdot e^{-(\omega-\omega_0)^2/2}$
Науля (Paul)	$(n+1)\frac{i^n}{(1-n)^{n+1}}$	$\sigma(\omega)\sqrt{2\pi}\cdot(\omega)^n\cdot e^{-\omega}$

Спектр вейвлет-перетворення одномірного сигналу представляє поверхню в тривимірному просторі.

Звичайне зображення спектра виконується шляхом проектування ліній постійного рівня поверхні на площину зі змінними: параметрами зсуву (по осі абсцис) і масштабом (по осі ординат), із градієнтним заливанням відтінками сірого кольору між лініями.

Реальні дані, отримані в результаті вимірювання технологічних змінних, практично завжди піддаються перешкодам - у більшому або меншому ступені. Зокрема, крім корисного сигналу, результат вимірювання містить небажаний додатковий шум.

В результаті досліджень були одержані графіки сигналу струмового навантаження на привід дифузійного апарату (рис. 1а), витрат дифузійного соку (рис. 2а) та бурякової стружки в дифузійний апарат (рис. 3а).

Для прикладу наведено використання вейвлету Морле для фільтрації часових рядів (рис. 1б, 2б, 3б).

Аналітичне представлення вейвлета Морле і його перетворення задається наступними виразами [5]:

$$\psi(t)=e^{-t^2/a^2}\left[e^{ik_0t}-e^{-k_0^2a^2/4}\right] \quad (7)$$

$$\hat{\psi}(\omega)=a\sqrt{\pi}\left[e^{a^2(k_0-\omega)^2/4}-e^{-a^2(k_0+\omega^2/4}\right] \quad (8)$$

Вейвлет Морле – це плоска хвиля, модульована гаусіаною.

Параметр α задає ширину гаусіани, параметр k_0 – частоту плоскої хвилі. Як правило, вибирають $\alpha^2=2$ и $k_0=2\pi$.

При цих значеннях з достатньою точністю можна прийняти:

$$\psi(t)=e^{-t^2/a^2}\cdot e^{i2\pi t} \quad (9)$$

$$\hat{\psi}(\omega)=a\sqrt{\pi}e^{-a^2(2\pi-\omega)^2/4} \quad (10)$$

Фільтрацією називають таке перетворення вихідної функції, яке призводить до змін у її спектрального складу. Задамо фільтр від функції f(t) за допомогою згортки

$$\phi(t)=\int_{-\infty}^{\infty}h(t')f(t-t')dt' \quad (11)$$

де h(t) – вагова функція фільтра, яка задовольняє вимогу

$$\int_{-\infty}^{\infty}h(t)dt=1 \quad (12)$$

Перетворюючи (11) за Фур'є, одержимо

$$\phi(t)=h(\omega)f(\omega) \quad (13)$$

При цьому рівність $h(\omega)$ – передаточна функція фільтра (11), яка є Фур'є-образом вагової функції.

$$h(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}h(t)e^{-i\omega t}dt \quad (14)$$

Інтегральне вейвлет–перетворення можна також вважати фільтром перехідної функції f(t).

Застосовуючи перетворення Фур'є за змінною b, одержуємо

$$\hat{W}(a,\omega)=\sqrt{a}\,\hat{\psi}^*(a\omega)\hat{f}(\omega) \quad (15)$$

звідки видно, що передаточна функція вейвлет-перетворення має вигляд.

$$H(\omega)=\sqrt{a}\,\hat{\psi}^*(a\omega) \quad (16)$$

З останнього рівняння маємо

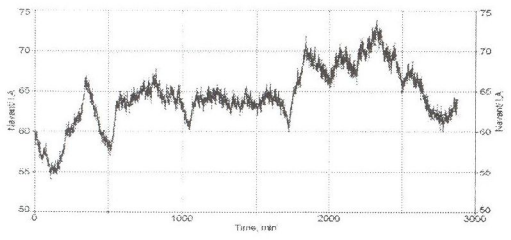
$$H(0)=0 \quad (17)$$

До цього необхідно додати, що для кожного значення масштабу $a>0$ максимум функції $H(\omega)$ лежить на частоті

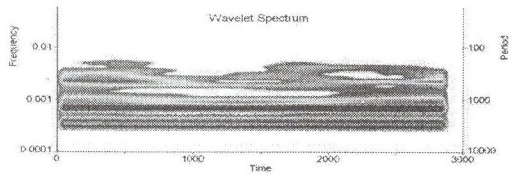
$$\omega_{max}=\frac{C}{a} \quad (18)$$

де величина C залежить від використаного вейвлета (для вейвлета Морле $C=k_0=2\pi$). Крім того, ефективна ширина функції $H(\omega)$ зменшується зі зростанням масштабу a.

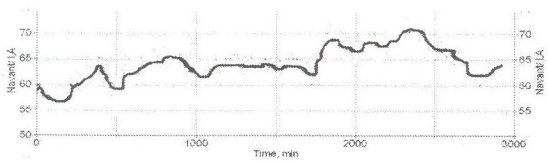
Таким чином, для кожного значення масштабного коефіцієнта $a>0$ величини W(a,b), визначені за допомогою вейвлет-перетворення представляють собою результат фільтрації вихідної функції в діапазоні частот центр якого визначається значенням масштабного коефіцієнта, а розмір – властивостями прийнятого аналізуючого вейвлета.



а)

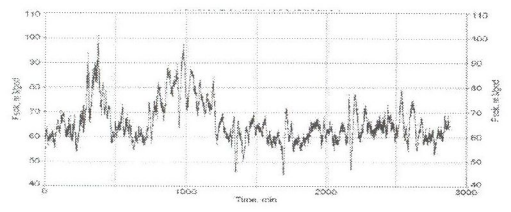


б)

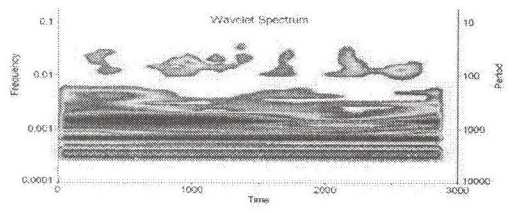


в)

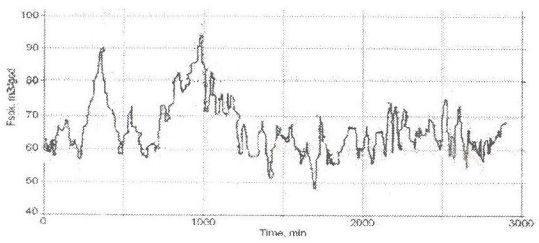
Рис. 1. Сигнал струмового навантаження на привід дифузійного апарату: а) сигнал з перешкодами, б) спектограма вейвлета Морле, в) відфільтрований сигнал



а)

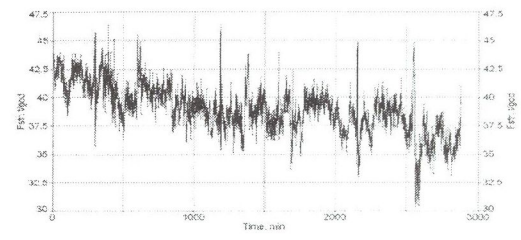


б)

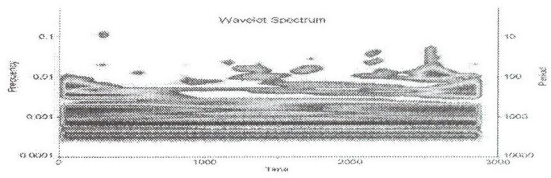


в)

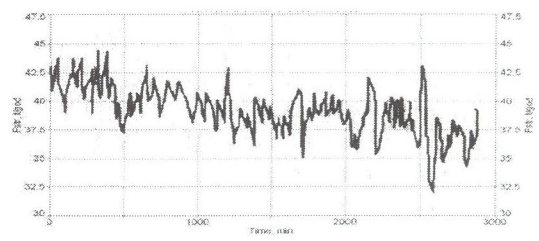
Рис. 2. Сигнал витрати дифузійного соку: а) сигнал з перешкодами, б) спектограма вейвлета Морле, в) відфільтрований сигнал



а)



б)



в)

Рис. 3. Сигнал витрати бурякової стружки: а) сигнал з перешкодами, б) спектограма вейвлета Морле, в) відфільтрований сигнал

3. Висновки

Однією з важливих задач технологічного моніторингу є обробка вхідної оперативної інформації з метою підвищення її достовірності та усунення невизначеності. Експериментальними дослідженнями об`єкта автоматизації дифузійного відділення цукрового завода було встановлено, що через багато причин, в основному технологічного характеру, часові ряди основних технологічних параметрів мають шумові складові. Для їх вилучення застосовувався апарат вейвлет-аналізу, який дозволив, в порівнянні із статистичними алгоритмами фільтрації, отримати кращі характеристики корисного сигналу, що підтверджено шляхом аналізу критеріїв якості фільтрації: ентропія, показник Херста та ін.

Література

1. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості.– К.: Аграрна освіта, 2001.
2. S. Mallat A wavelet tour of signal processing//Academic Press, 1999–637 p.
3. Вестник КРСУ/№2, 2002 г. Вейвлет-преобразование и анализ временных рядов. Н.В. Козлов, Б.Б. Чеп. - С.11-17.
4. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
5. Витязев В.В. Вейвлет-анализ врменных рядов: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. – 58с.