УДК 681.513

М. Паламар

ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ І ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ ЕРГ-СИГНАЛІВ.

В статті обгрунтовується необхідність застосування методів штучного інтелекту і адаптивних алгоритмів для дослідження зорової системи. Приведена алгоритмічна структура адаптиваної вимірювальної системи для реєстрації ЕРГ-сигналів і результати обробки сигналів згідно приведених алгоритмів.

Швидкі темпи розвитку мікроелектроніки, мікропроцесорів, засобів обчислювальної техніки зумовили створення дуже компактних економічних і надійних пристроїв обробки сигналів, які можуть конкурувати з біологічними нейронними системами за розмірами і перевершувати їх по швидкодії. Застосування мікропроцесорів і комп'ютерів в інформаційно-вимірювальних і керуючих системах радикально змінює властивості приладів, наділяє їх низкою можливостей, недоступних для схем на жорсткій логіці, завдяки наявності пам'яті і можливостям аналізу інформації. Внаслідок поєднання комп'ютерів і вимірювальних приладів виділився окремий клас інформаційно-вимірювальних систем - комп'ютерні вимірювальні системи [1], які можна вважати наділеними певним "інтелектом". Основними ознаками інтелектуальності вимірювальних і керуючих систем [2,3] можна вважати такі:

1. Врахування апріорної інформації про об'єкт вимірювання і керування;
2. Попередню ідентифікацію об'єкту;
3. Автоматичне планування вимірювального експерименту;
4. Самоперевірку;
5. Параметричну адаптацію вимірювального алгоритму;
6. Інтелектуальний інтерфейс оператора, взаємодію з зовнішнім світом через інформаційні канали зв'язку;

7. Сприйняття, накопичення і впорядкування нових знань, роботу з інформаційними базами даних;
8. Стискування вихідної інформації, видачу її з оцінкою достовірності.

Принциповою особливістю таких систем є те, що комп'ютер входить у склад вимірювального кола і приймає безпосередню участь в одержанні результату, реалізовує обробку аналогових сигналів у цифровій формі на програмній основі. Всі перелічені вище методи штучного інтелекту направлені на підвищення метрологічних характеристик вимірювальної системи. Значно зростає роль програмного забезпечення у вимірюванні і обробці сигналів. Впливаючи на точність, програма може змінювати конфігурацію вимірювального кола з врахуванням умов, що склалися і таким чином, комп'ютерні вимірювальні системи адаптуються до вимірювальної ситуації.

Адаптивний пристрій становить систему, структура якої в результаті взаємодії з оточуючим його середовищем змінюється або пристосовується таким чином, щоб його функціонування покращувалось у відповідності з певним підходящим критерієм. Як правило, такі системи повинні володіти такими властивостями [4]:

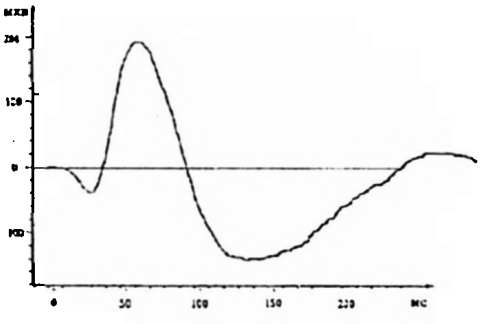
1. Можуть самооптимізуватись (адаптуватись) при зміні умов навколишнього середовища і вимог до системи.
2. Можуть навчатись для здійснення заданого виду фільтрації і виконання завдань, прийняття рішень. Системи з такими властивостями можна автоматично синтезувати через навчання. Адаптивні системи можна в деякому понятті "запрограмувати" процесом навчання.
3. Не вимагають детально розроблених методів синтезу, як правило, необхідних для неадаптивних систем. Навпаки, їх можна вважати "самоорганізовуваними".
4. Можуть екстраполювати модель поведінки для функціонування в нових умовах після навчання на кінцевому і часто невеликому числі навчаючих сигналів або ситуацій.
5. Можуть в певній мірі відновлюватись, тобто адаптуватись до певних внутрішніх дефектів.
6. Розглядаються як нелінійні системи із змінними в часі параметрами.
7. Складніше аналізуються, ніж неадаптивні системи, але вони дозволяють значно розширити область функціонування системи, коли параметри вхідного сигналу невідомі або змінюються в часі.

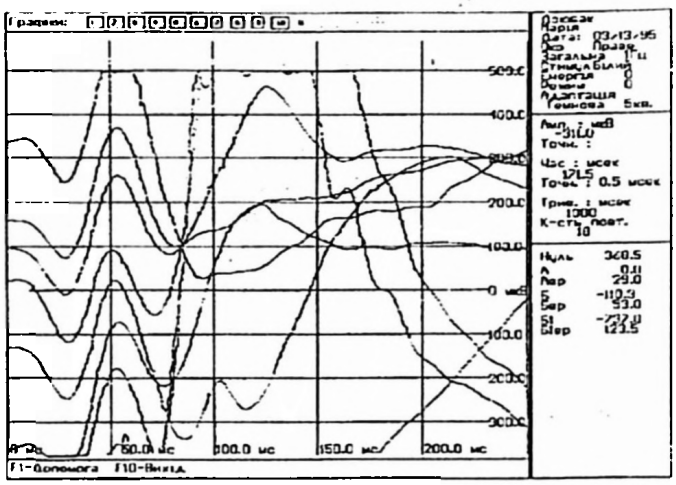
Для таких систем характерною особливістю є підхід до нормування метрологічних характеристик. Традиційні способи нормування метрологічних характеристик не дають повного уявлення про похибку результатів вимірювання із-за складності структур і алгоритмів роботи системи, а також із-за програмної обробки і корекції багатьох складових похибки. Разом з тим, маючи в складі такої системи додаткові засоби еталонних величин, калібраторів, завжди можна досить легко здійснити оперативний аналіз похибок вимірювання, самодіагностику системи. Тому роль нормованих характеристик системи зменшується і необхідною умовою вирішення проблеми нормування характеристики є практичне застосування і проведення експериментів із статистичною обробкою результатів.

Вказані зміни структури вимірювальних систем суттєво змінюють як їхні функціональні можливості, так і методи їх аналізу і синтезу. Можна виділити два аспекти проблеми створення таких систем на базі ЕОМ - системотехнічний і метрологічний. До першого відноситься забезпечення сумісності аналогових і цифрових вузлів, організація керування їх роботою, вибір і застосування стандартних інтерфейсів, розвиток системного

програмного забезпечення і розробка принципів системної уніфікації функціональних вузлів. До другого аспекту проблеми потрібно віднести забезпечення відповідності апаратних і програмних засобів вимогам до інформаційно-вимірювальних систем, раціонального розподілу функцій між аналоговою і цифровою частинами системи, а також розвиток метрології комп'ютерних вимірювальних систем в цілому.

Дослідження функцій зорової системи методом реєстрації ЕРГ-сигналів на рогівці ока пов'язані з значними труднощами через слабкі сигнали біопотенціалів, що виникають внаслідок світлового подразнення сітківки і значними стохастичними завадами, які можуть значно перевищувати корисні сигнали, а також неможливістю довготривалого дослідження. На рис. 1,а наведено типовий графік ЕРГ-сигналу, який формується рецепторами і іншими клітинними елементами сітківки.





а б

Рис.1. Графіки ЕРГ-сигналів: узагальнена норма (а); реальні сигнали без обробки, зареєстровані за допомогою програми "цифровий осцилограф" (б)

Проте, на практиці корисні сигнали сильно спотворені численними завадами, залежними від пацієнта, його психофізичного стану, і які можуть змінюватися в процесі реєстрації. На рис. 1,б показано реальний результат реєстрації сигналів без обробки за допомогою програми "цифровий осцилограф". Як видно з одержаних графіків, для виділення корисних сигналів із завад необхідне редагування одержаних сигналів, ідентифікація інформативних параметрів. Проблема реєстрації в певній мірі вирішується застосуванням вищеназваних принципів штучного інтелекту при проектуванні комп'ютерної вимірювальної системи для реалізації цього методу досліджень. Алгоритмічна структура адаптивної системи із зворотніми зв'язками приведена на рис.2.

Структура такої системи передбачає можливість зміни параметрів під час реєстрації: корекція зміщення і дрейфів зміщення, врахування температурної похибки, зміна коефіцієнту підсилення і врахування залишкового потенціалу від попереднього подразнення. Другий канал зворотнього зв'язку служить для адаптивного керування динамікою процесу. Це корекція моменту подачі стимулу у виділених межах регулювання на

основі аналізу стану вимірювального об'єкту, а також повторна реєстрація сигналу на основі оперативного аналізу результату.

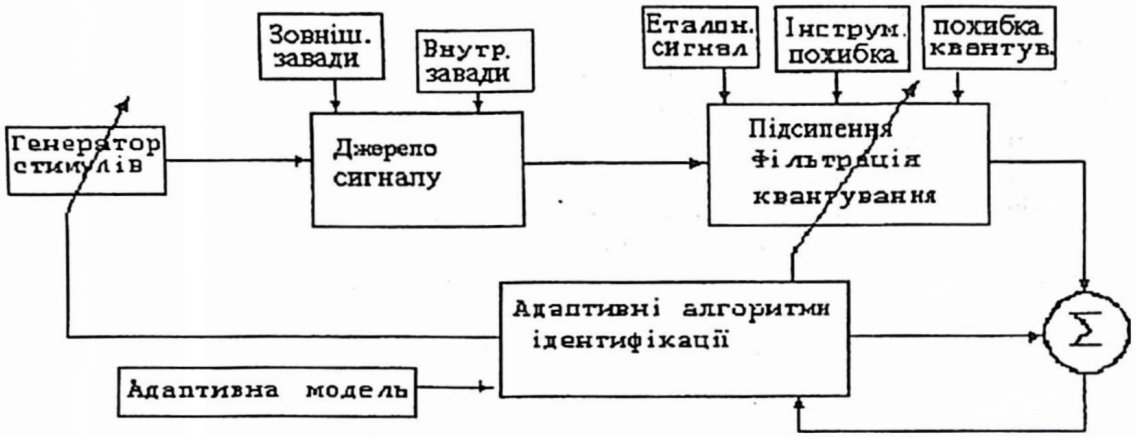


Рис. 2. Алгоритмічна структурна схема адаптивної системи реєстрації біопотенціалів зорового аналізатора

Адаптивний алгоритм обробки передбачає цифрову фільтрацію сигналів методом настройки коефіцієнтів адаптивного трансверсального фільтра по мінімуму середньоквадратичного відхилення сигналу від еталонної моделі сигналу норми D за мінімальну кількість реалізацій. Передаточна характеристика такого фільтра, структура якого подана на рис. 3, така:

$$x_k = \sum_{l=1}^{L} w_{lk} \cdot y_{k-l}, \tag{1}$$

або у векторній формі:

$$x_k = \mathbf{Y}_k^T \cdot \mathbf{W}_k = \mathbf{W}_k^T \cdot \mathbf{Y}_k, \tag{2}$$

де $W_k = [w_{0l} w_{1l} \ldots w_{lk}]^T$ - коефіцієнти фільтра.

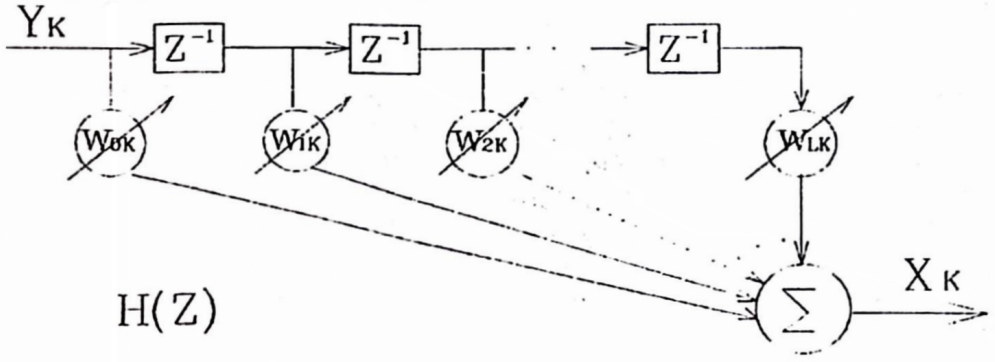


Рис.3. Структура адаптивного трансверсального фільтра

Квадратична функція помилки $\varepsilon_k = d_k - x_k$ такого фільтра рівна:

$$\varphi = E[\varepsilon_k^2] = E[d_k^2] + \mathbf{W}^T\mathbf{R}\mathbf{W} - 2\mathbf{P}^T\mathbf{W}. \tag{3}$$

де $\mathbf{R}$ - кореляційна матриця вхідних сигналів:

$$\mathbf{R} = E[\mathbf{Y}_k \mathbf{Y}_k^T] = E\begin{bmatrix} y_k^2 & y_k y_{k-1} & y_k y_{k-2} \text{ L} & y_k y_{k-L} \\ y_{k-1} y_k & y_{k-1}^2 & y_{k-1} y_{k-2} \text{ L} & y_{k-1} y_{k-L} \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} \\ y_{k-L} y_k & y_{k-L} y_{k-1} & y_{k-L} y_{k-2} \text{ L} & y_{k-L}^2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

P- взаємокореляційна функція відліків вхідних і еталонного сигналів:

$$\mathbf{P} = E[d_k \mathbf{Y}_k] = E[d_k y_k \quad d_k y_{k-1} \ldots d_k y_{k-L}]^T. \quad (5)$$

Оптимальне значення вектора коефіцієнтів фільтра знаходиться градієнтним методом - шляхом диференціювання функції середньо-квадратичного відхилення і прирівнювання її до нуля для оптимального вектора коефіцієнтів:

$$\nabla = \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{W}} = 2\mathbf{RW} - 2\mathbf{P} = 0, \quad (6)$$

звідки:

$$\mathbf{W}^* = \mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{P} \quad (7)$$

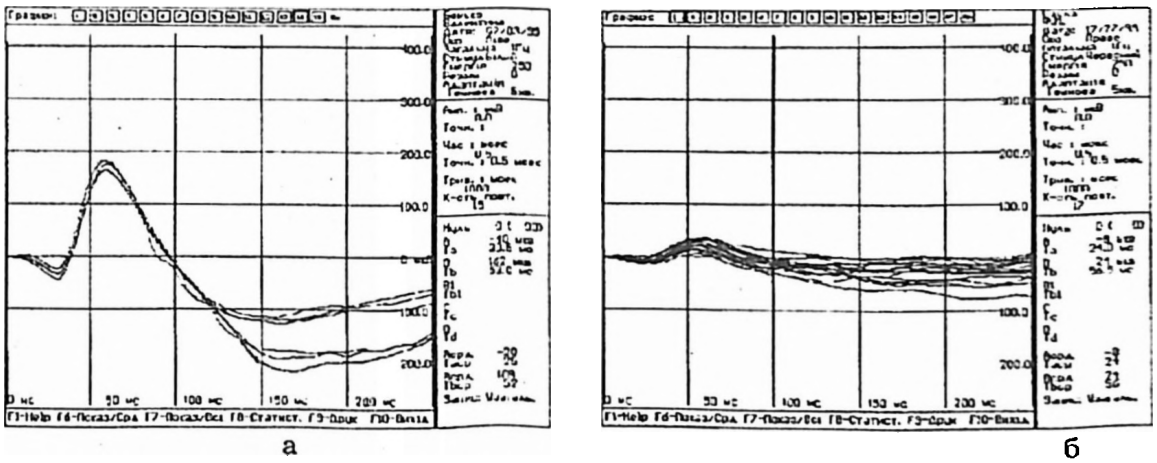
Оптимальні вагові коефіцієнти знаходимо за методом найменших квадратів або Уідроу-Хоффа:

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k + 2\mu\varepsilon_k \mathbf{Y}_k, \quad (8)$$

де μ- параметр, що визначає швидкість і стійкість процесу адаптації. Він залежить від енергетичних характеристик вхідних сигналів і кількості реалізацій згідно співвідношення:

$$0 < \mu < \frac{1}{(L+1) \cdot E[y_k^2]}. \quad (9)$$

У результаті застосування принципів штучного інтелекту і адаптивних алгоритмів при проектуванні комп'ютерної вимірювальної системи можна за мінімальну кількість реалізацій реєструвати як загальну, так і локальну електроретинограму, без порушення темнової адаптації ока, яка є необхідною передумовою проведення реєстрації. Результати реєстрації загальних (а) і локальних (б) ЕРГ-сигналів із застосуванням обробки інформації приведені на рис. 4.



а б

Рис. 4. Результати реєстрації загальної (а) і локальної (б) електроретинограми з обробкою інформації

Таким чином, завдяки застосуванню методів штучного інтелекту в комп'ютерній вимірювальній системі, адаптивних алгоритмів обробки і керування в процесі реєстрації ЕРГ-сигналів, збільшується надійність реєстрації, зменшується час обстеження пацієнта без порушення стаціонарності процесу.

Summary. In this paper is base ground of artificial intelligence method to need for visual system investigatin. Algorithmic structure of adaptive measuring system for the diagnostic system of vision function research and signals processing results is present.

Література:

1. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. - К.: УМК ВО, 1991. - 240 с.
2. Бунин В.И. О термине "Интеллектуальные средства измерений" // Приборы и системы управления, 1992.-№ 7.- С.14-15.
3. Толковый словарь по вычислительным системам / Под ред. В.Иллингоурта и др.: Пер. с англ. А.К. Белоцкого и др.; Под ред. Е.К. Масловского. - М.: Машиностроение. 1990. - 560 с.
4. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1989.-440 с.