

УДК 621.398

Т.І. Домінюк, О.В. Івахів, В.І. Резнік

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка"

ПОРІВНЯННЯ СЕРЕДНІХ ПОТУЖНОСТЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ АЛЬТЕРНАТИВНИХ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

© Домінюк Т.І., Івахів О.В., Резнік В.І., 2002

Досліджуються вимоги до середніх потужностей вимірювальних сигналів альтернативних багатоканальних засобів вимірювання – звичайних адаптивних та різницево-адаптивних, доведено ефективність останніх за цим критерієм.

The measurement signals average powers both the usual adaptive and the difference-adaptive multichannel measuring instrumentation are compared and the second ones effectiveness is proved in this paper.

Вступ. Засоби з адаптивним дискретизуванням аналогових вимірювальних сигналів, компресуючи вимірювальну інформацію, раціональніше використовують пропускну здатність каналів, менш вимогливі до швидкодії, ніж багатоканальні засоби з часовим розділенням каналів та регулярним дискретизуванням [1, 2]. Подальше підвищення їх ефективності можливе поєднанням адаптивного дискретизування з різницевим поданням [3, 4]. Відомі дослідження вимог до швидкодії засобів цього типу [5, 6]. Проте при проектуванні багатоканальних засобів вимірювання бажано мінімізувати вимоги не лише до швидкодії пристроїв опрацювання вимірювальної інформації, але й до середньої потужності вимірювальних сигналів. Обидва критерії характеризують енергетичні витрати на перетворення вимірювальної інформації з тією відмінністю, що в першому випадку ймовірність спотворення одного двійкового символу фіксована, а в другому – вона є внутрішнім параметром багатоканального засобу. Енергетичні підходи забезпечують одержання інтегральних оцінок вимірювальних перетворень [7]. Зокрема, при дії в лінії зв'язку білої гауссової завади й використанні для пересилання цифрових повідомлень кодо-імпульсного подання з подальшим застосуванням частотного модулювання ймовірність спотворення двійкового символу [1, 8, 9] така

$$p = \frac{1}{2} e^{-\frac{P_c}{2N_0R}}, \quad (1)$$

де P_c – середня потужність вимірювального сигналу, N_0 – спектральна щільність потужності білої завади, R – швидкість опрацювання вимірювальних сигналів (верхні індекси відповідають: А – звичайному адаптивному та РА – різницево-адаптивному засобів).

Середній квадрат сумарної похибки для засобів з адаптивним комутуванням має складові, зумовлені квантуванням $\delta_{кв_i}$, дискретизуванням аналогових вимірювальних сигналів $\delta_{д_i}$, впливом завад у лінії зв'язку $\delta_{кан_i}$ та інструментальною $\delta_{ап_i}$.

Формування енергетичних співвідношень. Використовуючи вирази для оцінювання середніх квадратів похибок відновлення i -го вимірювального сигналу порівнюваних цифрових багатоканальних засобів – звичайного адаптивного (з прогнозуванням чи адаптивним комутуванням) та відповідних різницево-адаптивних засобів [5], зауважимо, що вони відрізняються лише складовими, які оцінюють вплив завад у лінії зв'язку. Зокрема, оцінки середніх квадратів похибок від дії завад для звичайних засобів одержимо з відповідних рівнянь для різницево-адаптивних, задавши кількість приростів при $a_i = 0$.

Отже, для звичайних засобів з адаптивним комутуванням та прогнозуванням отримаємо, відповідно,

$$\delta_i^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{кві}^2 + \delta_{ді}^2 + \delta_{кані}^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{кві}^2 + \delta_{ді}^2 [1 + pm_c^A],$$

$$\delta_i^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{нрі}^2 + \delta_{змі}^2 + \delta_{амрі}^2 + \delta_{кані}^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{нрі}^2 + \delta_{змі}^2 + \delta_{амрі}^2 + \varepsilon^2 pm_c^A,$$

а для відповідних різницево-адаптивних:

$$\delta_i^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{кві}^2 + \delta_{ді}^2 + \delta_{кані}^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{кві}^2 + \delta_{ді}^2 [1 + pm_c^{PA}(a_i + 1)],$$

$$\delta_i^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{нрі}^2 + \delta_{змі}^2 + \delta_{амрі}^2 + \delta_{кані}^2 = \delta_{ani}^2 + \delta_{нрі}^2 + \delta_{змі}^2 + \delta_{амрі}^2 + \varepsilon^2 pm_c^{PA}(a_i + 1),$$

де m_c – еквівалентна кількість двійкових символів, що припадають на одне вибіркоче значення (індекс А стосується звичайних адаптивних засобів, а РА – різницево-адаптивних).

Для порівняння потужностей вимірювальних сигналів звичайного адаптивного та різницево-адаптивного рівноточних засобів виділимо складові, пов'язані з ймовірністю спотворення p , вважаючи всі інші однаковими, а саме: для звичайних засобів з прогнозуванням та адаптивним комутуванням, відповідно,

$$\left. \begin{aligned} \delta_i^2 - \delta_{ani}^2 - \delta_{кві}^2 &= \delta_{ді}^2 \Big|_A [1 + pm_c^A] \equiv D_{AK} \\ \delta_i^2 - \delta_{ani}^2 - \delta_{нрі}^2 - \delta_{змі}^2 - \delta_{амрі}^2 &= \varepsilon^2 pm_c^A \equiv D_{PP} \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Аналогічні перетворення застосуємо до виразів, пов'язаних з різницево-адаптивними засобами, а саме:

$$\left. \begin{aligned} \delta_i^2 - \delta_{ani}^2 - \delta_{кві}^2 &= \delta_{ді}^2 [1 + pm_c^{PA}(a_i + 1)] \equiv D_{AK} \\ \delta_i^2 - \delta_{ani}^2 - \delta_{нрі}^2 - \delta_{змі}^2 - \delta_{амрі}^2 &= \varepsilon^2 pm_c^{PA}(a_i + 1) \equiv D_{PP} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Виділяючи з рівнянь (2) та (3) ймовірність спотворення p та враховуючи вираз (1), знайдемо вимоги до середньої потужності вимірювального сигналу різницево-адаптивного та звичайного засобів з адаптивним комутуванням:

$$\left. \begin{aligned} P_c^{PA} &= 2N_0 R^{PA} \ln \frac{m_c^{PA}(a_i + 1)}{2[(D_{AK}/\delta_{ді}^2) - 1]} \\ P_c^A &= 2N_0 R^A \ln \frac{m_c^A}{2[(D_{AK}/\delta_{ді}^2) - 1]} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Знайдемо відношення першого рівняння системи (4) до другого, а саме:

$$\frac{P_c^{PA}}{P_c^A} = \frac{R^{PA}}{R^A} \left[\frac{\ln \frac{m_c^{PA}(a_i+1)}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}}{\ln \frac{m_c^A}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}} \right] \approx k_s \left[\frac{\ln \frac{m_c^{PA}(a_i+1)}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}}{\ln \frac{m_c^A}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}} \right], \quad (5)$$

тут $k_s = \frac{R^{PA}}{R^A}$.

Для того, щоби потужність вимірювального сигналу різницево-адаптивного засобу була меншою від потужності звичайного, необхідне виконання нерівності $(P_c^{PA}/P_c^A) < 1$. Тобто

$$k_s < \left[\frac{\ln \frac{m_c^A}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}}{\ln \frac{m_c^{PA}(a_i+1)}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}} \right] = \left[\frac{\ln \frac{m_c^A}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}}{\ln \frac{m_c^A + a_i(m_a + m_{\text{ш}} + 2)}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]}} \right] < 1,$$

що відповідає вимогам до швидкості опрацювання, оскільки при $\frac{m_c^A}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]} > 0$ та

$$\frac{m_c^{PA}(a_i+1)}{2[(D_{AK}/\delta_{\delta i}^2)-1]} > 0, \text{ маємо } m_c^A < m_c^{PA}(a_i+1).$$

Аналогічні процедури виконаємо з рівняннями систем (2) та (3), пов'язаними з прогнозуванням

$$\left. \begin{aligned} P_c^{PA} &= 2N_0 R^{PA} \ln \frac{\varepsilon^2 m_c^{PA}(a_i+1)}{2D_{\text{ПП}}} \\ P_c^A &= 2N_0 R^A \ln \frac{\varepsilon^2 m_c^A}{2D_{\text{ПП}}} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Знайдемо відношення першого рівняння системи (6) до другого, а саме:

$$\frac{P_c^{PA}}{P_c^A} = \frac{R^{PA}}{R^A} \left[\frac{\ln \frac{\varepsilon^2 m_c^{PA}(a_i+1)}{2D_{\text{ПП}}}}{\ln \frac{\varepsilon^2 m_c^A}{2D_{\text{ПП}}}} \right] \approx k_s \left[\frac{\ln \frac{\varepsilon^2 m_c^{PA}(a_i+1)}{2D_{\text{ПП}}}}{\ln \frac{\varepsilon^2 m_c^A}{2D_{\text{ПП}}}} \right]. \quad (7)$$

Для того, щоби потужність вимірювального сигналу різницево-адаптивного засобу була меншою від потужності звичайного, необхідне виконання нерівності $(P_c^{PA}/P_c^A) < 1$. Тобто

$$k_s < \left[\frac{\ln \frac{\varepsilon^2 m_c^A}{2D_{\text{ПП}}}}{\ln \frac{\varepsilon^2 m_c^{PA}(a_i+1)}{2D_{\text{ПП}}}} \right] = \left[\frac{\ln \frac{m_c^A}{2D_{\text{ПП}}/\varepsilon^2}}{\ln \frac{m_c^A + a_i(m_a + m_{\text{ш}} + 2)}{2D_{\text{ПП}}/\varepsilon^2}} \right] < 1,$$

оскільки $\frac{\varepsilon^2 m_c^A}{2D_{\text{пр}}} > 0$ та $\frac{\varepsilon^2 m_c^{PA}(a_i + 1)}{2D_{\text{пр}}} > 0$, то й $m_c^A < m_c^{PA}(a_i + 1)$. Отже, різницево-адаптивний

засіб вимірювання ефективніший від звичайного адаптивного внаслідок менших вимог не лише до швидкості опрацювання вимірювальних сигналів [5, 10], але й до середньої потужності вимірювального сигналу (5) та (7).

Висновки. У різницево-адаптивних багатоканальних засобах потужність вимірювального сигналу може бути у стільки разів меншою від потужності звичайного адаптивного засобу, у скільки кількість двійкових символів, що припадають на одне вибіркоче значення, для другого засобу менша, ніж для першого за тих самих вимог до точності відновлювання вимірювального сигналу. Зауважимо, що спостерігається рівність енергій сигналу в першому та другому випадках, а саме: здійснюється обмін між потужностями сигналів та можливою тривалістю опрацювання вимірювального сигналу. Вимоги до потужності сигналу та швидкодії засобу погоджені між собою при тій самій допустимій похибці відновлення вимірювального сигналу.

1. Калашников И.Д., Степанов В.С., Чуркин А.В. *Адаптивные системы сбора и передачи информации.* – М., 1975. 2. Mink A., Carpenter R., Nacht G., Roberts J. *Multiprocessor Performance-Measurement Instrumentation // Computer.* – September 1990. – №9. – P. 63 – 75. 3. Пилипчук Н.И., Яковлев В.П. *Адаптивная импульсно-кодовая модуляция.* – М., 1986. 4. Севастьянов А.К. *Полноотчетно-разностные методы совместного кодирования источника и канала // Средства получения и обработки цифровой информации: Сб. научн. тр.* – К., – 1993. – С. 58–64. 5. Івахів О.В. *Проектування багатоканальних різницево-адаптивних систем // Вимірювальна техніка та метрологія. Вип.52.* 1996. С. 122 – 128. 6. O.Ivakhiv. *Digital Multiplex Adaptive Measurement System with Deferencial Pulse Code Modulation. Proceedings of the V International Methrologyst Seminar “Methods and Technics of Signal Processing in Physical Measurements” Lviv , Ukraine - May 29-30, Rzeszow, Poland, November 20-24, 1997,* p.167-172. 7. Кочан В.А. *Максимальная чувствительность одинарного моста в равновесном состоянии // Измерительная техника.* – М. – 1959. -№3. – С. 3-8. 8. Тепляков И.М., Калашников И.Д., Роцин Б.В. *Радиолинии космических систем передачи информации.* – М., 1975. 9. Игнатов В.А. *Теория информации и передачи сигналов.* – М., 1979. 10. Ivakhiv O., Velgan R. *Digital Measurement Systems Comparison. Proceedings of the 10-th International Symposium on Development in Digital Measuring Instrumentation, Naples, Italy, (September 17-18).* – 1998. – V. 1. – P. 40 – 44.