

## **МЕТОДИ І СИСТЕМИ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННОЇ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ**

УДК 621.384; 621.398

### **ВИМІРЮВАННЯ МІНІМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ І ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ**

*Русняк І.М., Державне підприємство «Науково-дослідний інститут «Квант»»,  
м. Київ, Україна*

*Відношення сигнал/шум (SNR) є однією з основних характеристик сучасних телевізійних і тепловізійних систем автоматичного супроводження (ТСАС). Відомі способи визначення SNR в автоматичних системах придатні для систем автоматичного виявлення, але вони не враховують особливостей систем автоматичного супроводження, зокрема вимог до допустимої імовірності зриву супроводження. У статті розглянуто вплив вимог до імовірності зриву супроводження на вимірювання мінімального SNR в сигналі в ТСАС. Отримано формули розрахунку цього впливу, запропоновано послідовність проведення відповідних вимірювань. Визначено, що подальший напрямок досліджень пов'язаний з удосконаленням способів вимірювання амплітуди сигналу об'єкта і СКВ шуму у відеосигналі складної форми.*

**Ключові слова:** система автоматичного супроводження, відношення сигнал/шум.

#### **Вступ. Постановка задачі**

У сучасному оптично-електронному приладобудуванні значного розвитку набувають телевізійні і тепловізійні системи (ТСАС), основною функцією яких є автоматичне супроводження об'єктів. Зокрема збільшується попит на ТСАС, які здатні супроводжувати об'єкти з низьким відношенням сигнал/шум (SNR), що визначає максимальну дальність дії цих систем. Вимірювання мінімальних значень SNR, які здатна забезпечити ТСАС, є актуальною задачею як у дослідницькій діяльності з метою покращення технічних характеристик ТСАС, так і у виробництві і налагодженні зразків ТСАС з метою контролю відповідності розрахованих на етапі проектування технічних характеристик ТСАС реальним, які забезпечує виготовлений зразок системи.

Відомі методики визначення SNR, розроблені для телевізійних і тепловізійних автоматичних систем, базуються на необхідності задоволення вимог забезпечення необхідної імовірності виявлення об'єктів і допустимої імовірності помилкових тривог [1, 2]. Вони придатні для систем автоматичного виявлення і не враховують в повній мірі особливостей функціонування ТСАС. Зокрема вимірювання SNR в сигналі об'єкта в ТСАС має здійснюватись в основному режимі роботи цих систем, а саме в режимі автоматичного супроводження об'єктів. Важливою кількісною характеристикою роботи ТСАС у цьому режимі є імовірність зриву супроводження  $P_{\text{зд}}(t_{\text{нр}})$  об'єкта за час супроводження  $t_{\text{нр}}$ . Тому при вимірюванні SNR імовірність  $P_{\text{зд}}(t_{\text{нр}})$  також підлягає вимірюванню з метою її поточного контролю. Проте ця величина прямому експериментально-

му визначенню не піддається, що обумовлює необхідність застосування непрямих методів вимірювання.

### **Експериментальне визначення імовірності $P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}})$**

Імовірність  $P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}})$  оцінюється за результатами вимірювань частоти зривів супроводження  $p_{\varphi\delta}^*$ , приведеної до часу супроводження  $t_{\bar{m}}$  [3]. Частота  $p_{\varphi\delta}^*$  визначається через кількість зривів супроводження  $n_{\varphi\delta}$  за час вимірювань  $t_{\hat{a}ei}$  за формулою

$$p_{\varphi\delta}^* = \frac{n_{\varphi\delta} \times t_{\bar{m}}}{t_{\hat{a}ei}} = \frac{n_{\varphi\delta} \times t_{\bar{m}}}{N_{\hat{a}ea} \times T}, \quad (1)$$

де  $N_{\hat{a}ea}$  – кількість напівкадрів, яка складає об'єм вибірки вимірювань,  $T = 20$  мс – тривалість одного напівкадра.

Вимірювання кількості зривів супроводження  $n_{\varphi\delta}$  необхідно здійснювати за певною серією вимірювань. У поточному вимірюванні об'єкт з SNR береться на автоматичне супроводження, і вимірюється час  $t_{\hat{a}ei}$  або кількість напівкадрів

$n_i = \frac{t_{\hat{a}ei}}{T}$  до моменту зриву супроводження об'єкта. Вимірювання повторюються доти, доки загальна кількість напівкадрів не досягне заданої величини  $N_{\hat{a}ea}$ , тобто  $\sum_i n_i \geq N_{\hat{a}ea}$ . Кількість таких вимірювань являє собою кількість зривів супроводження  $n_{\varphi\delta}$ , і по ній визначається частота зривів  $p_{\varphi\delta}^*$  за формулою

$$p_{\varphi\delta}^* = \frac{n_{\varphi\delta} \times t_{\bar{m}}}{\sum_i n_i \times T}. \quad (2)$$

Експериментальний характер визначення частоти  $p_{\varphi\delta}^*$ , а по ній імовірності  $P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}})$ , обумовлює необхідність введення довірчого інтервалу  $|p_{\varphi\delta}^* - P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}})| \leq \epsilon_\gamma$  і довірчої імовірності  $\gamma$ . Зазвичай довірна імовірність в експериментальних дослідженнях приймається  $\gamma \geq 0,9$ . При розрахунку мінімально необхідного об'єму вибірки  $N_{\hat{a}ea}$  задамося наближенням нормального розподілу частоти  $p_{\varphi\delta}^*$ , що справджується при виконанні умови [3]

$$N_{\hat{a}ea} P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}}) \times \frac{T}{t_{\bar{m}}} \geq 4. \quad (3)$$

Звідси, для прикладу типових значень  $P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}}) = 0,1$ ;  $t_{\bar{m}} = 10$  с;  $T = 20$  мс об'єм

вибірки  $N_{\hat{a}ea}$  складає  $N_{\hat{a}ea} \geq 4 \frac{t_{\bar{m}}}{T P_{\varphi\delta}(t_{\bar{m}})} = 2 \times 10^4$  і відповідає часу вимірювань

$t_{\hat{a}ei} = N_{\hat{a}ea} T = 400$  с.

Межі довірчого інтервалу  $[p_1; p_2]$ , в яких має знаходитись вимірювана частота  $p_{\text{сд}}^*$ , розраховуються за формулами

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}}) - t_{\gamma} \sqrt{\frac{P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}}) (1 - P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}})) t_{\text{нр}}}{N_{\text{сд}} T}}; \\ p_2 &= P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}}) + t_{\gamma} \sqrt{\frac{P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}}) (1 - P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}})) t_{\text{нр}}}{N_{\text{сд}} T}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $t_{\gamma}$  – коефіцієнт Стюдента, для  $\gamma=0,9$   $t_{\gamma} = 1,645$ .

З формул (4) слідує, що для прикладу розрахунку  $P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}}) = 0,1$ ;  $t_{\text{нр}} = 10$  с;  $T = 20$  мс;  $N_{\text{сд}} = 2 \cdot 10^4$  межі довірчого інтервалу складають відповідно  $p_1 = 0,022$ ;  $p_2 = 0,178$  і вимірювана частота  $p_{\text{сд}}^*$  має знаходитись у цих межах. Якщо ж вимірювана частота  $p_{\text{сд}}^*$  виходить за межі інтервалу  $[p_1; p_2]$ , то в разі її більшого значення ( $p_{\text{сд}}^* > p_2$ ) SNR у сигналі об'єкта необхідно збільшити, а в разі її меншого значення ( $p_{\text{сд}}^* < p_1$ ) SNR у сигналі об'єкта необхідно зменшити. Після встановлення нового значення SNR вимірювання частоти  $p_{\text{сд}}^*$  повторюється. Вимірювана таким чином частота зривів супроводження  $p_{\text{сд}}^*$ , яка для наведеного вище прикладу розрахунку знаходиться в межах інтервалу  $[0,022; 0,178]$ , відповідає заданій імовірності  $P_{\text{сд}}(t_{\text{нр}}) = 0,1$  з довірчою імовірністю  $\gamma=0,9$ .

### Вимірювання величини SNR в сигналі об'єкта

Вимірювання величини SNR базується на тому, що за означенням  $\text{SNR} = \frac{\bar{U}_{\text{сд}}}{\sigma_{\text{сд}}}$ , і зводиться до вимірювань амплітуди сигналу об'єкта  $\bar{U}_{\text{сд}}$  і СКВ шуму в сигналі  $\sigma_{\text{сд}}$ . У телевізійних і тепловізійних системах спостереження і супроводження вимірювання величин  $\bar{U}_{\text{сд}}$  і  $\sigma_{\text{сд}}$  зазвичай здійснюється в відео-сигналі на виході телевізійної чи тепловізійної камери (ТБК). Пряме вимірювання величин  $\bar{U}_{\text{сд}}$  і  $\sigma_{\text{сд}}$  вольтметрами, що серійно випускаються, і іншими подібними вимірювальними приладами практично неможливе внаслідок складної структури відеосигналу, зокрема наявності у ньому сигналів синхронізації, які суттєво можуть спотворити результати вимірювань. Тому для проведення вимірювань можна використати осцилограф, який має на екрані калібровану вимірювальну сітку. Таке вимірювання базується на застосуванні відомого «правила трьох сигм», згідно з яким для нормально розподіленого шуму імовірність появи шумового імпульсу з амплітудою, що перевищує межі  $\pm 3 \cdot \sigma_{\text{сд}}$  складає  $P(|z| > 3 \cdot \sigma_{\text{сд}}) \approx 0,0027$ , тобто достатньо мала [4]. Тоді вимірювання СКВ шуму

$\sigma_{\sigma}$  зводиться до вимірювання по екрану осцилографа розмаху шумового сигналу  $6 \cdot \sigma_{\sigma}$ , а вимірювання амплітуди сигналу об'єкта  $\bar{U}_{i\dot{a}}$  – до вимірювання відстані між середніми значеннями шумового сигналу при наявності і відсутності сигналу об'єкта (рис. 1).

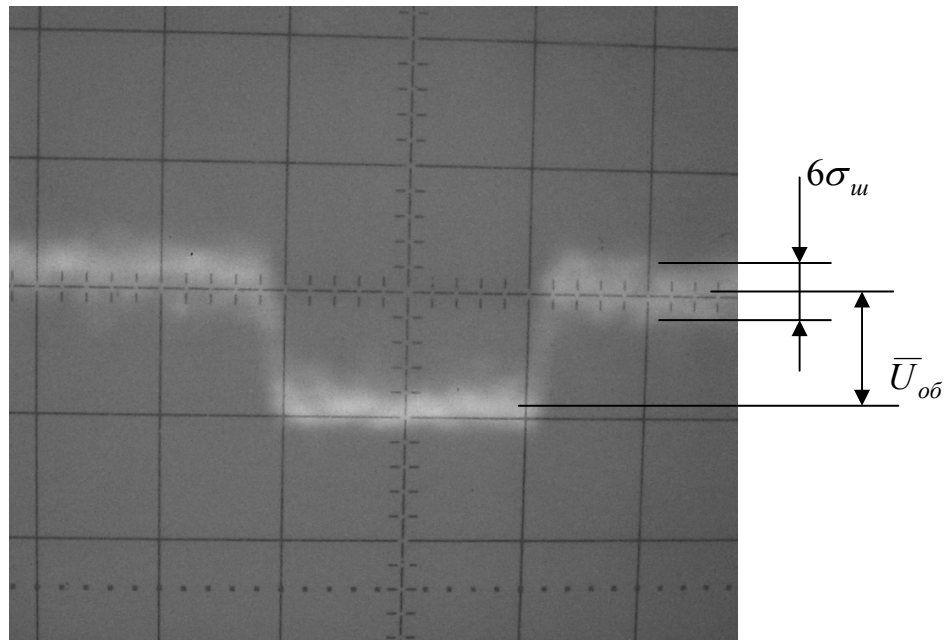


Рис. 1. Сигнал об'єкта  $\bar{U}_{i\dot{a}}$  і шум  $6\sigma_{\sigma}$  у зображенні відеосигналу на екрані осцилографа

### Послідовність проведення вимірювань мінімальних значень SNR

Отже, послідовність проведення вимірювань мінімальних значень SNR у сигналі об'єкта має такий вигляд:

1. ТВК орієнтується у просторі таким чином, щоб об'єкт знаходився в її полі зору. Марка строба супроводження накладається на об'єкт, у ТСАС вмикається режим автоматичного супроводження об'єкта.

2. Вимірюється кількість напівкадрів  $n_i$  від моменту взяття об'єкта на автоматичне супроводження до моменту зриву автоматичного супроводження.

3. Вимірювання значень  $n_i$  повторюється згідно з пп. 1 – 2 до тих пір, поки їх сума не досягне величини  $\sum_i n_i \geq N_{a\dot{e}\dot{a}} = 2 \cdot 10^4$ . Одночасно підраховується кількість зривів супроводження  $n_{\zeta\delta}$ .

4. По визначеній таким чином кількості зривів супроводження  $n_{\zeta\delta}$  за формулою (2) розраховується частота зривів супроводження  $p_{\zeta\delta}^*$ . Якщо частота  $p_{\zeta\delta}^*$  для розглянутого вище прикладу є у межах від  $p_1 = 0,022$  до  $p_2 = 0,178$ , то її ви-

значення вважається завершеним, і вона відповідає заданій імовірності зриву супроводження  $P_{\text{сб}}(t_{\text{нр}}) = 0,1$  з довірчою імовірністю  $\gamma = 0,9$ .

5. Якщо частота  $p_{\text{сб}}^* < p_1 = 0,022$ , то необхідно послабити потік випромінювання від об'єкта на вході ТВК, тобто зменшити значення SNR, і повторити послідовність вимірювань, зазначених в п.п. 1 – 4. Якщо частота  $p_{\text{сб}}^* > p_2 = 0,178$ , то необхідно посилити потік випромінювання від об'єкта на вході ТВК, тобто підвищити значення SNR, і повторити послідовність вимірювань, зазначених в п.п. 1 – 4.

6. Після завершення визначення частоти  $p_{\text{сб}}^*$  оцінюються за зображенням на екрані осцилографа відеосигналу на виході ТВК амплітуда сигналу об'єкта  $\bar{U}_{\text{іа}}$  і СКВ шуму в сигналі  $\sigma_{\text{o}}$ . За виміряними значеннями амплітуди  $\bar{U}_{\text{іа}}$  і СКВ  $\sigma_{\text{o}}$  визначається  $\text{SNR} = \frac{\bar{U}_{\text{іа}}}{\sigma_{\text{o}}}$ .

### **Висновки**

1. Для вимірювання мінімальних значень SNR в сигналі об'єкта в ТСАС необхідно враховувати вимоги до імовірності зриву супроводження об'єкта  $P_{\text{сб}}(t_{\text{нр}})$  за час супроводження  $t_{\text{нр}}$ . Імовірність  $P_{\text{сб}}(t_{\text{нр}})$  прямому вимірюванню не підлягає і її необхідно визначати непрямими методами.

2. Отримано формули (1)–(4) розрахунку ймовірності  $P_{\text{сб}}(t_{\text{нр}})$  через частоту зривів супроводження  $p_{\text{сб}}^*$  з урахуванням об'єму вибірки  $N_{\text{аеа}}$  і вимог до довірчого інтервалу частоти  $[p_1; p_2]$  при заданій довірчій імовірності  $\gamma$ . Наведено приклад розрахунку для типових значень  $P_{\text{сб}}(t_{\text{нр}})$  і  $t_{\text{нр}}$ .

3. Запропоновано послідовність проведення вимірювань мінімальних значень SNR у сигналі об'єкта в ТСАС з урахуванням вимог до імовірності  $P_{\text{сб}}(t_{\text{нр}})$  для складної форми відеосигналу на виході ТВК.

4. Подальший напрямок досліджень пов'язаний з удосконаленням способів визначення амплітуди сигналу об'єкта і СКВ шуму в сигналі в умовах складної форми відеосигналу. У даному випадку запропоновано проводити ці вимірювання по екрану осцилографа з використанням “правила трьох сигм”.

### **Література**

1. Грязин Г.Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства: Системы телевидения. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с.
2. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 696 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1969. – 576 с.
4. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1971. – 192 с.

**И. Н. Русняк**

*Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт «Квант»», г. Киев, Украина.*

**ИЗМЕРЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ**

Отношение сигнал/шум (SNR) является одной из основных характеристик современных телевизионных и тепловизионных систем автоматического сопровождения (ТСАС). Известные способы определения SNR в автоматических системах пригодны для систем автоматического обнаружения, однако они не учитывают особенностей систем автоматического сопровождения, в частности требований к допустимой вероятности срыва сопровождения. В данной статье рассмотрено влияние требований к вероятности срыва сопровождения на измерение минимального SNR в сигнале в ТСАС. Получены формулы расчета этого влияния, предложена последовательность проведения соответствующих измерений. Определено, что дальнейшее направление исследований связано с усовершенствованием способов измерения амплитуды сигнала объекта и СКО шума в видеосигнале сложной формы.

**Ключевые слова:** система автоматического сопровождения, отношение сигнал/шум.

**I. M. Rusnik**

*SE RI "Kvant", Kyiv, Ukraine*

**MEASURING OF MINIMUM VALUE OF SIGNAL TO NOISE RATIO IN TV AND IR AUTOMATIC TRACKING SYSTEMS**

Signal to noise ratio (SNR) is one of general characteristics in modern TV or IR automatic tracking systems (TATS). Well-known methods of determination of SNR in automatic systems utilizable for automatic detecting systems, but they do not take into account features of automatic tracking systems, specifically requirements to acceptable tracking loss probability. This article is devoted to consideration of effect of tracking loss probability requirements on measuring of signal to noise ratio in TATS. Formulas for calculation of this effect are equated, succession of conduction of fit measuring is proposed. It is determine that further direction of research get connected with improvement of methods of measuring of object signal amplitude and noise standard deviation in video signal with complex form.

**Keywords:** automatic tracking system, signal to noise ratio.

*Надійшла до редакції  
11 грудня 2009 року*

УДК 621.3

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ  
ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДАХ**

*Колобродов В.Г., Харитоненко К.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

*Останнім часом цифрова обробка зображень набула особливого поширення. Різноманітність методів і алгоритмів пов'язана з широким спектром проблем, які виникають в оптико-електронних приладах з МПВ, та особливостями функціонування конкретних приладів. Здійснено огляд, систематизацію та аналіз існуючих методів і алгоритмів цифрової обробки зображень, досліджено практичні та теоретичні проблеми їх використання. Зроблено висновки та запропоновано рекомендації стосовно застосування методів для розв'язання конкретних завдань, розглянуто перспективи розвитку напряму. Запропоновано декілька*