Механика Транспорт Комуникации

Научно списание

ISSN 1312-3823

брой 2, 2007 г.

статия № 0090

http://www.mtc-aj.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНВАРИАНТНОСТТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТ ПРИ ПРЕДАВАНЕ НА СЛОЖНИ СИГНАЛИ

Антонио Андонов, Галина Чернева

andonov@vtu.bg, cherneva@vtu.bg

ВТУ "Т. Каблешков" - София 1574, БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *Радиокомуникации, шумоустойчивост, инвариантност, сигнали с разширен спектър*

Резюме: *В настоящата работа се изследва инвариантността на характеристиките на шумоустойчивост относно съсредоточени по спектър смущения при предаване на сигнали със сложна структура и фиксиран алгоритъм на обработка.*

1.Въведение

За целите на предаване на информация по радиоканал, с изисквания за висока достоверност, е необходимо да се гарантира предварително зададено ниво на шумоустойчивост, независимо от изменящата се активност на канала. В системите за цифрово предаване на съобщения, количествен показател на шумоустойчивостта, като свойство на системата да противодейства на влиянието на различни смущаващи фактори, е вероятността за грешка. Тази характеристика зависи от статистическите параметри на сигнала и въздействащите смущения. При нестационарни канали за връзка вероятността за грешка е променлива величина. Осигуряването на средна стойност на вероятността за грешка, по-ниска от зададената допустима, не е достатъчно, тъй като в отделни интервали от време вероятността за грешка може да се установи по-голяма от допустимата стойност. Следователно, с цел качествено функциониране на реалната система за радиовръзка, в канал с променливи характеристики е необходимо да се поддържа вероятност за грешка на ниво, непревишаващо предварително зададена допустима стойност. Това може да се постигне, ако се осигури независимост (инвариантност – частична или пълна [1]) на характеристиките на шумоустойчивост от причините, предизвикващи нестационарността на канала за връзка.

Целта на настоящата работа е в изследване на възможностите за използване на сложни сигнали с оптимизирана структура за осигуряване на висока шумозащитеност на система за предаване на информация при въздействие на съсредоточени по спектър смущения.

2.Определяне на вероятността за грешка при кохерентно приемане на сложни сигнали

Оптималният оператор на приемника, обезпечаващ максимална шумоустойчивост, е алгоритъмът за кохерентно приемане. В системата за връзка се предават двоични противоположни сигнали.

Ако в канала въздейства само флуктуационен бял шум, шумоустойчивостта на системата зависи единствено от отношението:

(1) $h^2 = \frac{W_1}{\nu_0^2}$,

където W_1 е енергията на сигнала, а ν_0^2 е спектралната плътност на мощността на белия шум. Тогава вероятността за грешка се определя [2] с израза:

(2) $P = \frac{1}{2}\left[1 - \Phi\left(h\sqrt{2}\right)\right]$,

където Φ(.) е интегралната функция на разпределение на Крамп.

Когато в канала за връзка въздействат случайните реализации n(t) и $\varsigma(t)$, съответно на флуктуационен шум {N} и съсредоточени по спектър смущения {Ξ},то характеристиката на шумоустойчивост е функция и на двете смущения:

(3) $P = P(N, \Xi,)$.

Тя е напълно инвариантна относно съсредоточените по спектър смущения, когато е изпълнено:

(4) $P(n,\varsigma) = P(n,0) = P(n)$.

Ако характеристиката на шумоустойчивост зависи в някакава степен от смущенията Ξ и

(5) $\left|P(n,0) - P(n,\varsigma)\right| \le \varepsilon$,

то тя е инвариантна до ε в съответствие с избраната метрика, като ε е критерият за качество на реализация на относителната инвариантност на системата по отношение на $\varsigma(t)$ и представлява зададеното разстояние между $P(n,\varsigma)$ и $P(n,0)$.

Интензивността на съсредоточените по спектър смущения се определя от отношението:

(6) $\bar{h}_\varsigma^2 = \frac{W_\varsigma}{\nu_0^2}$,

където W_ς е енергията на смущението.

Взаимодействието между параметрите на сигнала и смущението върху честотно-времевата равнина се оценява чрез коефициента на взаимно различие [3], или неговата нормирана стойност, изразени чрез релефа на квадрата на

обвивката на двумерната взаимно корелационна функция на i-тия сигнал и j-тото смущение.

(7) $$\overline{G}_{0j}^{2} = \frac{h^2 K_0^2 K_\varsigma^2}{4P_i^2 T^2 h_\varsigma^2}\left[\int_0^T \dot{S}_i(t)\Sigma_{\varsigma j}^{*}(t)dt\right]^2 \quad , i=1,2 \ , j=1\ldots n_\varsigma \ ,$$

където: $\dot{S}_i(t)$ и $\Sigma_j^*(t)$ са комплексните функции на i-тия сигнал и j- тото смущение, K_0 , K_ς са амплитудните им коефициенти, T и P_i са съответно продължителност и средна мощност на i-тия вариант на сигнала .

Коефициентът G_{0j}^2 е мярка за различимостта на структурите на сигнала и смущенията в честотно-времевата равнина.

Характеристиката на шумоустойчивост в този случай зависи от взаимодействието между параметрите на сигнала и смущението. Тази зависимост [2] може да се изрази като:

(8) $$P = \frac{1}{2}\left[1 - \Phi\left(\sqrt{2}h_e\right)\right] \ ,$$

където

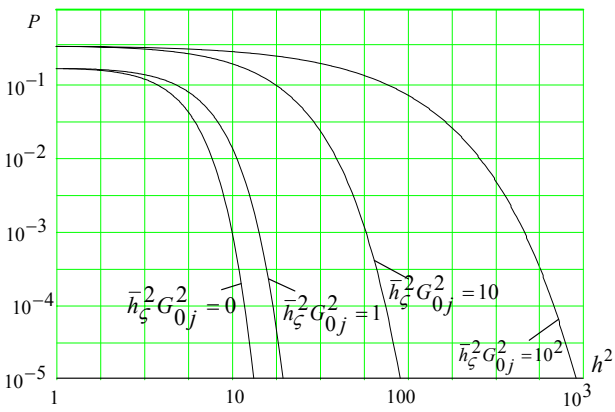
(9) $$h_e^2 = \frac{h^2}{1 + \overline{h}_\varsigma^2 G_{0j}^2} \quad .$$

Като се вземат пред вид зависимости (8) и (9), вероятността за грешка се получава:

(10) $$P = \frac{1}{2}\left\{1 - \Phi\left[\sqrt{2}h\left(1 + \overline{h}_\varsigma^2 G_{0j}^2\right)^{-\frac{1}{2}}\right]\right\}.$$

3. Изследване влиянието на параметрите на сигнала и смущението върху характеристиката на шумоустойчивост

Характеристиката на шумоустойчивост (10) при въздействие на съсредоточени по спектър смущения зависи както от параметрите на сигнала и смущението, така и от степента на съвпадение на структурите им върху честотно-времевата равнина. На фиг.1 е изследвана нейната зависимост от отношението h^2 при различни стойности на $\overline{h}_\varsigma^2\ \overline{G}_{0j}^2$. Вижда се, че най-добра шумоустойчивост системата има при $\overline{h}_\varsigma^2\ \overline{G}_{0j}^2$=0, което отговаря на ортого-налност на сигнала и смущението.



Фиг.1

За да се определи кои параметри на сигнала и смущението влияят върху

характеристиката на шумоустойчивост, се преобразува зависимост (7), като комплексните функции, участващи в нея, се изразяват както следва:

(11) $\dot{S}_i(t) = s_i(t) + j\tilde{s}_i(t) = S(t)e^{jk\omega_0 t}$, $\omega_0 = \dfrac{2\pi}{T}$, k –цяло число,

(12) $\Xi^*_{\mathcal{G}}(t) = \varsigma_j(t) - j\tilde{\varsigma}_j(t) = \Xi^*_j(t)e^{-j\overline{\omega}_{\varsigma_j} t}$,

където $\tilde{s}_i(t)$ и $\tilde{\varsigma}_j(t)$ са спрегнатите по Хилберт функции на i-тия сигнал и j- то смущение.

Тогава нормираният коефициент на взаимно различие се получава:

(13) $$G^2_{0j} = \frac{K_0^2 K^2_{\varsigma j}}{4\nu_0^4 h^2 h^2_{\varsigma j}} \left[\int_0^{T+\Delta\tau} S_i(t)\Xi^*_{\varsigma_j}\left(t \mp \Delta\tau_{\varsigma_j}\right) e^{\pm j\Delta\Omega_{\varsigma_j} t} dt \right]^2 ,$$

където:

(14) $\Delta\Omega_{\varsigma_j} = \left| k\omega_0 - \overline{\omega}_{\varsigma_j} \right|$

е разстройката между честотите на полезния сигнал и смущението, а $\pm\Delta\tau_{\varsigma_j}$ са възможните закъснения на *j*- тото смущение спрямо *i*-тия сигнал. Както следва непосредствено от израз (13), коефициентът G^2_{0j} се определя от стойностите на комплексните обвивки на сигнала и смущението $S_i(t)$ и $\Xi^*_j(t)$ и представлява функция на две променливи $\Delta\tau_{\varsigma_j}$ и $\Delta\Omega_{\varsigma_j}$. За произволни стойности на параметрите $\Delta\tau_{\varsigma_j}$ и $\Delta\Omega_{\varsigma_j}$, цялото множество коефициенти $G^2_{0j}\left(\Delta\tau_{\varsigma_j}, \Delta\Omega_{\varsigma_j}\right)$ се намира в интервала $0 \le G^2_{0j} \le 1$. В точки $\Delta\Omega_{\varsigma_j} = |k\omega_0|$ коефициент G^2_{0j} става равен на нула, което отговаря на ортогоналност на сигнала и смущението. Другата гранична стойност (G^2_{0j}=1) се достига в случаите, когато сигналът и смущението съвпадат по форма.

Следователно, колкото по-малък е коефициентът на взаимно различие, толкова по-слабо е взаимното влияние на сигнала и въздействащото смущение. При $\Delta\Omega_{\varsigma_j} = k\omega_0$, $k = \pm 1, \pm 2, ...$ съсредоточените смущения не оказват влияние на вероятността за грешка и нейният израз се свежда до този, определен за канали само с наличие на флуктуационен шум.

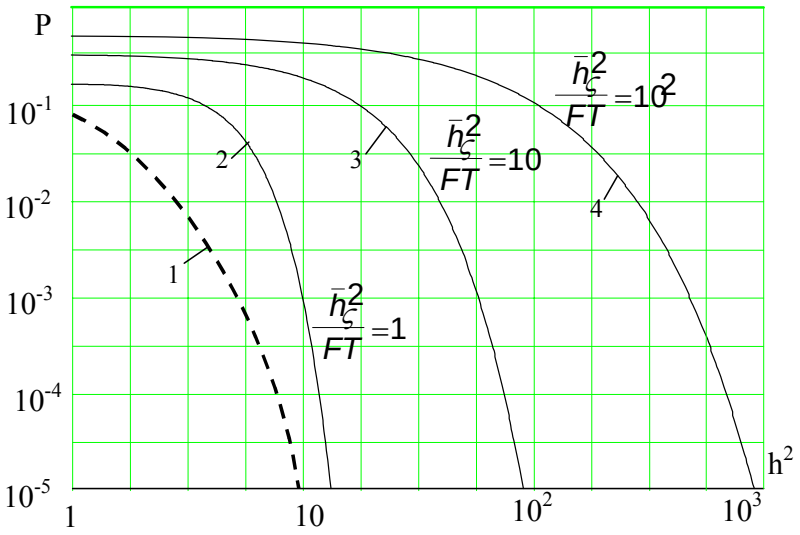
За радиоканалите от дециметровия обхват са характерни съсредоточени смущения с $\overline{h}^2_\varsigma = 10 - 10^4$. В този диапазон е изследвано до каква степен и при какъв коефициент на взаимно различие между сигнала и смущението, може да се осигури относителна инвариантност на характеристиката на шумоустойчивост, определена със зависимост (7). Установено е, че при $\overline{h}^2_\varsigma = 10^2$ и $G^2_{0j} = 10^{-3}$, в областта $P \le 10^{-2}$, се получава максимално нарастване на вероятността за грешка равно на $6{,}259.10^{-3}$. Следователно се постига относително инвариантна

характеристика на шумоустойчивост до $\varepsilon = 6{,}259.10^{-3}$ относно съсредоточени по спектър смущения с интензивност $\bar{h}_\varsigma^2 = 10^2$. Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1.

На фиг.2 е изследвана зависимостта на характеристиката на шумоустойчивост от базата на сигнала FT, като в качеството на параметър е взето отношението $\frac{\bar{h}_\varsigma^2}{FT}$. Резултатите показват, че най-близка до оптималната (крива 1 - при въздействие само на флуктуационен шум) е характеристиката, получена за $\frac{\bar{h}_\varsigma^2}{FT} = 1$. При $\frac{\bar{h}_\varsigma^2}{FT} \geq 10$ (криви 3 и 4) ефективността на разглеждания кохерентен приемник съществено намалява.

Табл.1

P(h)	
$\bar{h}_\varsigma^2 G_{0j}^2 = 0$	$\bar{h}_\varsigma^2 G_{0j}^2 = 0.1$
0.5	0.5
0.079	0.089
0.023	0.028
$7.153 \cdot 10^{-3}$	$9.759 \cdot 10^{-3}$
$2.339 \cdot 10^{-3}$	$3.5 \cdot 10^{-3}$
$7.827 \cdot 10^{-4}$	$1.284 \cdot 10^{-3}$
$2.66 \cdot 10^{-4}$	$4.785 \cdot 10^{-4}$
$9.141 \cdot 10^{-5}$	$1.802 \cdot 10^{-4}$
$3.167 \cdot 10^{-5}$	$6.841 \cdot 10^{-5}$
$1.105 \cdot 10^{-5}$	$2.614 \cdot 10^{-5}$
$3.872 \cdot 10^{-6}$	$1.004 \cdot 10^{-5}$
$1.363 \cdot 10^{-6}$	$3.872 \cdot 10^{-6}$
$4.817 \cdot 10^{-7}$	$1.499 \cdot 10^{-6}$
$1.707 \cdot 10^{-7}$	$5.818 \cdot 10^{-7}$
$6.066 \cdot 10^{-8}$	$2.265 \cdot 10^{-7}$
$2.16 \cdot 10^{-8}$	$8.834 \cdot 10^{-8}$



Фиг.2

Следователно, за да се обезпечи инвариантност относно съсредоточени по спектър смущения,е необходимо да се използват сложни сигнали с големина на базата, определена от отношението $\bar{h}_\varsigma^2$.

4. Изводи

Получените резултати показват, че може да се постигне относително инвариантна характеристика на шумоустойчивост, като се предават сигнали с разширен спектър, чиято минимална стойност на базата се определя от енергията на съсредоточените по спектър смущения. В предложената статия е обоснован възможен подход за оптимизация структурата на сигнала, при която да се минимизира стойността на коефициента на взаимно различие и следователно влиянието на смущенията върху полезния сигнал. В системите с разширен спектър решение на този проблем се търси чрез подходящ избор на разширяващата спектъра кодова последователност с променлива дължина на кодовите форми в програмно-управляем режим.

Литература:

[1] Петров Б.Н. Теория инвариантности автоматических систем, М. "Наука "1990г.

[2] Левин Б.Р., Теоретические основы статической радиотехники, М. "Радио и связь", 1999г. [3] Петров Б.Н. Теория инвариантности автоматических систем, М. "Наука "1990г.

[3] Чернева Г. Формиране и изследване на сигнали, съгласувани с комуникационни канали. Дисертация за присъждане на образователна и научна степен “доктор”

INVESTIGATION ON INVARIANCE OF NOISE-RESISTANCE FEATURES WHEN TRANSMITTING OF COMPLEX SIGNALS

Antonio Andonov, Galina Cherneva

Todor Kableshkov Higher School of Transport, Sofia 1574, BULGARIA

Key words: *Radio Communications, Noise- Resistance, Invariance, spread spectrum signals*

Abstract: *The paper is a study on the features of noise-resistance with respect to the spectrum-concentrated interferences with transmitting signals of complex structure with a fixed algorithm of processing.*