



КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ С ИНВАРИАНТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТТА

Антонио Андонов, Илка Стефанова
a.andonov@infotel.bg

Катедра "СОТС", ВТУ "Т. Каблешков"
София 1574, БЪЛГАРИЯ

Ключови думи Радиокомуникаци, шумоустойчивост, инвариантност

Резюме: Към съвременните радиокомуникационни системи с осигурителна отговорност се предявява изискването да се гарантира, че вероятността за грешка няма да надвиши предварително зададена допустима стойност, независимо от изменящата се активност на канала. В предложената работа се предлага подход за решаване на поставения проблем, като се изследват условията при които е възможно обезпечаване на свойството инвариантност на характеристиките на шумоустойчивостта на различни класове смущения

1. Увод

На настоящето ниво на развитие на мобилните радиокомуникационни системи, функциониращи в условия на комплексно въздействие на смущения, разработването на методи за повишаване на шумоустойчивостта им се развива в две основни направления. Първото от тях е свързано с използването на сигнали със сложна структура /шумоподобни сигнали/, канали с решаваща обратна връзка и със синтез на специални алгоритми, минимизиращи влиянието на смущенията върху шумоустойчивостта; второто - със синтез на алгоритми, обезпечавачи независимост на статистиката, анализирана от демодулатора, от въздействието на смущенията. В този случай структурата на демодулатора е инвариантна и съответства на оптимално приемане в гаусов канал. Следва да се подчертае, че развитието на първото направление е особено важно от теоретична гледна точка, тъй като при успешното решаване на задачата за синтез на алгоритми за предаване на информация в негаусови канали могат да бъдат получени нови, фундаментални резултати на теоретичната радиотехника. Например, в това направление особено актуално е обосноваването на показател на шумоустойчивостта, обобщаващ широко използваната вероятност за грешка / в дискретните системи за предаване на информация/, или средноквадратичната грешка на филтрация /в аналоговите

системи/. Трябва да се подчертае особената роля на изследването на алгоритми за предаване на информация с използване на шумоподобни сигнали с оптимизирана структура, позволяващи да се гарантират нивата на работоспособност на системата в различни ситуации, като се отчитат статистическите характеристики на сигнала, канала и шумовата обстановка [1]. Този път е свързан с двумерното /честотно-времево/ кодиране на всеки елемент на сигнала: чрез формиране на псевдослучайно превключване на работните честоти, или чрез използване на псевдослучайни последователности, манипулиращи фазата на сигнала. Използването на двата указани вида сложни, шумоподобни сигнали позволява значително да се повиши шумоустойчивостта на радиосистемите с цената на въвеждането на многократен честотно-времеви излишък в сигнала и съответното усложняване на неговата обработка в приемника. Този път е универсален, тъй като построяването на радиолинии с такива сигнали обезпечава висока достоверност на предаването на информация в условия на въздействие на смущения от произволен вид и се оказва практически единствена мярка за обезпечаване на устойчива връзка при въздействие върху системата на мощни преднамерени смущения [2].

Второто направление обединява различни способности за защита на приемниците от въздействието на различни негаусови смущения по пътя на въвеждането в алгоритмите за обработка на сигналите на безинерционни и адаптивни преобразуватели, обезпечаващи гаусовост на статистиката, анализирана от демодулатора [1].

2. Основни положения и принципи

В условията на работа на радиокомуникационните системи за подвижна радиовръзка в ж.п. транспорт определящо е влиянието на импулсните смущения при приемането на сигналите. Това влияние се проявява както в непосредствено изменение на дисперсията на смущенията, така и в откази на адаптивните устройства за пространствено-честотно-времева обработка на сигналите, синтезирани при предположението за квазистационарност и гаусовост /в обобщен смисъл/ на приеманата смес. В резултат ефективността на радиосистемата съществено се влошава при тяхното въздействие. Една от най-важните характеристики, определяща ефективността на радиосистемата, е шумоустойчивостта. Шумоустойчивостта се характеризира със зависимостта на достоверността на приеманите съобщения от енергийните параметри на линията, използваните алгоритми за предаване на информацията и статистическите характеристики на смущенията. В случай на аналогови системи, в качеството на мярка за достоверността, обикновено се използва средноквадратичната грешка за оценка на информационния параметър на сигнала от приемника, изразявана чрез отношението на мощността на сигнала към мощността на смущението в приеманата честотна лента, при зададени параметри на модема и алгоритъма на филтрация на информационния параметър. В случай на дискретна система, за оценка на достоверността обикновено се използва вероятността за грешка от различаването на сигналите, изразявана чрез отношението на енергията на сигнала за време, съответстващо на тактовия

интервал към средната спектрална плътност на мощността а смущението с отчитане на характеристиките на ансамбъла използвани сигнали и алгоритъма на приемане.

Необходимо е специално да се подчертае, че както средноквадратичната грешка на възпроизвеждане на сигнала, така и вероятността за грешно решение на демодулатора за предаваното дискретно съобщение не са напълно адекватни на реалните условия на връзката. В нестационарните канали на системите за подвижна радиовръзка, отношението сигнал/шум се изменя в процеса на функциониране на системата, и следователно се изменя и определяната по указания способ достоверност. Ако тези изменения за интервала на предаване на съобщението могат да се пренебрегнат, то канала се счита локално стационарен и в допълнение на средноквадратичната грешка или вероятността за грешка, за оценка на шумоустойчивостта е необходимо да се определи доверителната вероятност за това, че стойностите на тези величини няма да превишат допустимите. При въздействие обаче на импулсни смущения, постоянството на отношението сигнал/шум се нарушава от мощни кратковременни отскоци на електромагнитното поле на смущенията, които рязко изменят отношението сигнал/шум. Тогава оценката на шумоустойчивостта придобива специфични черти, на които е необходимо да се отдели специално внимание, тъй като влиянието на импулсните смущения може да доведе до сриване на връзката, при което повишаването на мощността на сигнала в редица случаи, даже с десетки децибели не обезпечават защита от въздействието им.

В каналите за радиовръзка с подвижни обекти вероятността за грешка е променлива величина /нееднороден канал с променливи характеристики/. В този случай, дори да се удаде обезпечаването на средна стойност на вероятността за грешка, по-ниска от зададената допустима, в отделни интервали от време вероятността за грешка е възможно да се установи на по-голяма от допустимата стойност. Освен това в нестационарни канали намаляването на средната вероятност за грешка не показва еднозначно повишаване на качеството на функциониране на системата. Така например, ако съвместно с намаляването на средната вероятност за грешка се увеличи процента на случаите, когато вероятността за грешка става по-голяма от допустимата, то следва да се счита, че шумоустойчивостта на системата не се подобрява, а намалява. Оттук следва в частност, че оптимизацията на радиосистемата в съответствие с широко използвания критерий за минимум на средната вероятност за грешка не обезпечават най-добро качество на функциониране на реалните системи в канал с променливи параметри. Изменението на характеристиките на канала за връзка се причинява от въздействието на разнообразни смущения. По принцип, обаче е възможно изменението на параметрите на канала да се изрази чрез изменение на параметрите на сигнала. Следователно, за обезпечаването на приемливо качество на 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. По

същество, това означава, че зададеното качество на функциониране на системата се постига благодарение на независимостта /частична или пълна/ на вероятността за грешка от причините предизвикващи нестационарността на канала за връзка. В теорията на автоматичното управление под независимост /инвариантност/ се разбира свойството на системата да се противопоставя на смущаващи въздействия [3]. Ако изходната координата на системата $y(t)$ не зависи от смущението $f(t)$ за произволен момент на времето t , то такава система се нарича система с абсолютна инвариантност спрямо $f(t)$, т.е. $y(t)=\text{invar } f(t)$. Ако това свойство се изпълнява приблизително /в някакъв определен смисъл/ то инвариантността се нарича с точност до ε/ε - инвариантност/, т.е.

$$y(t)=\text{invar } f(t).$$

В теорията на автоматичното управление проблемът за инвариантността е проблем за определяне на такива структури и параметри на системата за управление, при които влиянието на определени, произволно изменящи се външни смущения и собствени параметри на системата върху динамичните характеристики на процесите на управление могат да бъдат частично или напълно компенсирани. От съществено значение е, че формирането на системи за управление на базата на приложението на принципа на инвариантността се извършва при отсъствие на априорна информация за характера на външните смущения и изменението на параметрите на обекта на управление [3]. Типично за каналите на мобилната радиовръзка е ситуацията, при която характеристиката на шумоустойчивостта се определя от наличието на различни класове смущения, т.е.

$$(1) \quad p = f(Y, Y_c),$$

където Y и Y_c са множествата параметри на сигналите и смущенията, получени в резултат на усредняването на реализациите им $\{y\}$. Тогава абсолютна инвариантност се достига ако е изпълнено:

$$(2) \quad p = f(Y, Y_c) = f(Y, 0) = \text{invar } \{y\}$$

Относителната инвариантност ще отговаря на случая, когато характеристиката на шумоустойчивост зависи от множеството параметри Y_c незначително, т.е.

$$(3) \quad f(y) - f(Y, Y_c) < \varepsilon_{\max}$$

В указания смисъл може да се каже, че разглежданата характеристика на шумоустойчивостта е ε - инвариантна в съответствие с избрана върху сигналното пространство метрика. Ако се абстрахираме от възможностите за обезпечаване на функционална устойчивост на радиосистемите чрез използване на шумоустойчиво кодиране, то следва да се приеме, че при наличие на смущения в канала същите ще бъдат преобладаващо от този тип, т.е. с относително инвариантни характеристики на шумоустойчивостта. Този извод не изключва възможността за търсене на начини за създаване на абсолютно инвариантни към определени видове смущения радиокомуникационни

системи, по пътя на използването на ШПС в съчетание с принципа на двуканалността за изграждане на инвариантни системи [3]. Що се отнася до взаимовръзката между понятията инвариантност и функционална устойчивост, то тези понятия са взаимосвързани. Това произтича от следните съображения. Ако се разглежда инвариантността на характеристиките на шумоустойчивост, зададени във вид на функционална зависимост на вероятността за грешка от параметрите на сигнала и смущенията, при което ако системата има характеристика на шумоустойчивостта абсолютно инвариантна към определен клас смущения, то изследването на нейната функционална устойчивост губи смисъл. Ако системата има ε - инвариантна характеристика, то относителната инвариантност и функционална устойчивост са понятия до голяма степен еквивалентни. Функционалната устойчивост е по-широко понятие, което се свързва с изследването на възможностите, които се откриват с развитието на съвременната елементна база за реализация на принципите за осъществяване на функционална устойчивост на радиокомуникационните системи в изменяща се сигнално-шумова обстановка. Именно усъвършенстването на елементната база премахва препятствията, произтичащи от усложняването на апаратурата и е основния фактор, определящ темпа и достиженията на техническия прогрес.

3. Качествени показатели и количествена оценка на инвариантността на характеристиките на шумоустойчивостта

Характерна черта на съвременното ниво на развитие на системите за радиовръзка е повишения интерес към разработването на методи за изследване и проектиране на системи, съхраняващи устойчиви зададени показатели на качеството на функциониране в изменящите се условия на експлоатация. За количествена оценка на показателите за качество обикновено се използват различни аспекти на теорията на чувствителността [3]. От това може да се направи извода, че концепцията за оценка на функционалната устойчивост на средствата за радиовръзка се ориентира към чувствителността на характеристиките на шумоустойчивостта, определяща по същество качеството на демодулация на радиокомуникационната система /откриване или различаване на полезния сигнал/. Шумоустойчивостта, като свойство на системата да противодейства на влиянието на различни смущаващи фактори се определя количествено с помощта на редица характеристики и показатели. В системите за цифрово предаване на съобщенията, най-често използван показател на шумоустойчивостта е вероятността за грешка, при което този показател се адресира или към съвкупността предавани елементи, наречена блок или кодова комбинация, или към един елемент на системата. В последния случай показателят на шумоустойчивостта се нарича вероятност за грешка при поелементно приемане. Тази характеристика се разглежда като основополагаща характеристика на модема на системата и зависи на първо място от статистическите параметри и характеристики на въздействащите смущения в канала за връзка. Същата вероятност, получена чрез усредняване на сигналите и смущенията Y и Y_c (1), (2), може да се представи във вида:

$$(4) \quad p=f(Y, Y_c, G)$$

където :

$$Y=\{Y_1, \dots, Y_n\}; \quad Y_c=\{Y_{c1}, \dots, Y_{cn}\}. \quad G=\{g_{g1}, \dots, g_{gn}\}$$

е съответно множество, характеризиращо взаимодействието на параметрите на сигнала и смущенията, което ще бъде обект на определяне. Количествена мярка за функционалната устойчивост може да бъде въведена на базата на теорията на чувствителността. При зададена зависимост (4) за предположението, че същата е непрекъсната и диференцируема по отношение на указаните параметри /което е изпълнено за широк клас зависимости [1], то тя може да бъде разложена в ред на Тейлър. Ако се пренебрегнат производните от по-висок порядък, може да се запише:

$$(5) \quad p(Y + \Delta Y, Y_c + \Delta Y_c, G + \Delta G) \hat{=} p(Y, Y_c, G) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial p}{\partial Y_i} \Delta Y_i + \sum_{i=1}^m \frac{\partial p}{\partial Y_{ci}} \Delta Y_{ci} + \sum_{i=1}^k \frac{\partial p}{\partial g_i} \Delta g_i$$

където $\Delta Y, \Delta Y_c, \Delta G$ са множествата от нараствания на параметрите. Ако нарастванията са достатъчно малки, то нарастването на вероятността за грешка съответно е:

$$(6) \quad \Delta p = p(Y + \Delta Y, Y_c + \Delta Y_c, G + \Delta G) - p(Y, Y_c, G) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial p}{\partial Y_i} \Delta Y_i + \sum_{i=1}^m \frac{\partial p}{\partial Y_{ci}} \Delta Y_{ci} + \sum_{i=1}^k \frac{\partial p}{\partial g_i} \Delta g_i$$

Относителното нарастване на грешката съответно е:

$$(7) \quad \frac{\Delta p}{p} = \sum_{i=1}^n Z \frac{\Delta Y_i}{Y_i} + \sum_{i=1}^m Z_{Y_{ci}} \frac{\Delta Y_{ci}}{Y_{ci}} + \sum_{i=1}^k Z_{g_i} \frac{\Delta g_i}{g_i}$$

В (7) могат да се въведат коефициенти на относителна чувствителност, свързващи относителните изменения на вероятността за грешка $\Delta p / p$ с относителните нараствания на съответния параметър $\Delta Y_q / Y_q$.

$$(8) \quad Z_q = \frac{\partial p}{\partial Y_q} \frac{Y_q}{p} \hat{=} \frac{\Delta p}{p} \Big| \frac{\Delta Y_q}{Y_q}$$

$q \in \{1, 2, \dots, (n + m + k)\}$

Относителното нарастване на вероятността за грешка $\Delta p / p$ може да се разглежда като количествен израз на чувствителността на характеристиките на шумоустойчивостта $p=f(Y, Y_c, G)$ по отношение на вариациите на определен параметър Y_j . Тогава относителното нарастване на вероятността за грешка, изчислявано въз основа на (7) е количествен израз на чувствителността на системата по отношение на относителните вариации на параметрите на сигналите и смущенията от множествата Y, Y_c, G .

3. Заключение

Изложеното в настоящата статия показва, че проблемът за инвариантността на характеристиките на шумоустойчивостта относно комплексно въздействие на смущения е изключително актуален и придобива силно изразена приложна насоченост.

В предложената статия е показан един възможен подход за неговото решаване, като разгледаните въпроси имат принципен характер. Получените

решения показват конструктивността на предложения подход и илюстрират принципни възможности, а не завършеност на изследванията.

Чрез този подход е възможно да бъде решен проблемът за предаване по радиоканал на команди, изключващи опасни откази. Това от своя страна ще доведе до включването на железопътната радиовръзка в основните средства за управление движението на влаковете.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] ЛЕВИН Б.Р., Теоретические основы статической радиотехники, М. "Радио и связь", 1999г.
- [2] ДЖ.ВОЗЕНКРАФТ, И.ДЖЕКОБС, Теоретические основы техники связи, М. "Мир", 1989г.
- [3] ПЕТРОВ Б.Н. Теория инвариантности автоматических систем, М. "Наука" 1990г.
- [4] Holmes, J.K. Coherent Spread Spectrum Systems. New York, NY, Wiley, 1982.

COMMUNICATION SYSTEMS WITH INVARIANCE CHARACTERISTICS OF NOISE-RESISTANCE

Antonio Andonov, Ilka Stephanova

***Department of Communication and Safety Equipment and Systems, Todor
Kableshkov Higher School of Transport, Sofia 1574, BULGARIA***

Keywords: Radio Communications, Noise- Resistance, Invariance

Summary: The modern radio communication systems with safety responsibility are required to guarantee that the error-probability given will not exceed the preliminary specified permissible value independently of the variability activity of the channel.

The paper presents an approach of investigating the problem examine the conditions with which providing the property called invariance of noise-resistance characteristics of different classes disturbance is possible.