

ОСОБЛИВОСТІ АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

к.т.н. С.Т. Черепков, К.О. Рачинський, к.т.н. Д.П. Пашков
(подав д.т.н., проф. С.В. Козелков)

Досліджені умови і особливостей забезпечення робастності адаптивних методів для прийому цифрової інформації по диспергуючих каналах зв'язку.

Вступ. Прийом інформації по каналах з характеристиками, що змінюються в часі, в деяких випадках супроводжується неприпустимими втратами якості функціонування систем зв'язку [1]. Для ослаблення вказаної залежності ефективності дії даних систем від поточної якості каналу, що використовується, застосовуються адаптивні і робастні методи [2, 3], які іноді недостатньо обґрунтовано протиставляються один одному [4]. Тому метою даної статті є дослідження умов і особливостей забезпечення робастності адаптивних методів для випадку прийому цифрової інформації по диспергуючих каналах зв'язку. Робастність системи припускає її грубість і квазіоптимальність, а також порівняльну простоту технічної реалізації [3]. З цього слідує, що у разі некоректності оптимального алгоритму прийому сигналів вимагається його регуляризація по Тихонову, яка супроводжується деяким зниженням швидкості передачі інформації по радіоканалу [4].

При цьому спрощення апаратурної реалізації системи забезпечується введенням деякої кінцевої величини допустимої помилки $E_{\text{доп}}$, тобто [2]

$$I = N_p \Phi[\overline{h(t)} + E^2_{\text{доп}}], \quad (1)$$

де $\Phi[\cdot]$ – вибраний функціонал якості; $h(\cdot)$ – імпульсна перехідна функція системи; N_p – функціонал, мінімізація якого визначає рішення задачі оптимального синтезу; риса зверху – знак усереднювання, причому $E^2_{\text{доп}} > 0$.

Очевидно, що у виразі (1), «шум регуляризації» N_p виконує роль множника Лагранжа. Звідси витікає твердження про те, що швидкість передачі інформації довільної робастної системи строго менше швидкості передачі інформації оптимальної системи, побудованої відповідно до некоректного (тобто нерегуляризованого) алгоритму.

Наприклад, обмеження смуги прийому дискретних сигналів в системах, що реалізовувалися приводить до появи міжсимвольних спотворень

(МСС), що є фізичним аналогом «шумів регуляризації» [2]. Це істотно обмежує зверху практично досяжні швидкості передачі цифрових повідомлень по каналах зв'язку з кінцевою смугою пропускання унаслідок погіршень умов їх прийому [3]. Відомо також, що найефективніші способи зниження впливу МСС основані на використанні адаптивних методів компенсації (придушення) останніх [2]. При цьому умовами застосування даних та інших адаптивних методів є достатність статистики результатів оцінки поточних значень відповідних характеристик каналу, що використовується і (або) параметрів корисного сигналу і сигналів, що заважають, та шумів, а також висока швидкодія пристроїв контролю і контурів адаптації (перебудови, реорганізації і т.п.) при одночасному збереженні стійкості останніх у всьому робочому діапазоні [3]. В цьому випадку адаптивна система одночасно є і робастною, тобто її середня (гарантована) ефективність вища, ніж у довільних детермінованих систем. Це знайшло відображення в запропонованій класифікації адаптивних систем, яка представлена у табл. 1 (СС – ступінь свободи).

Таблиця 1

Класифікація адаптивних систем

Об'єкт адаптації	Приймач сигналів Передавач сигналів Середовище розповсюдження сигналів Комбінований	Потрібне введення спеціального каналу зворотного зв'язку
Об'єкт контролю	Сигнал, що приймається Канал передачі сигналів Якість інформації, що приймається (корисних повідомлень) Комбінований	
Мета адаптації	Оптимізація якості прийому сигналів Стабілізація якості прийому сигналів Комбінована	Максимізація виграшу Мінімізація програшу Стабілізація виграшу Стабілізація програшу
Рівень адаптації	За швидкістю передачі інформації із заданою якістю За якістю передачі інформації із заданою швидкістю За просторово-часовою обробкою електромагнітних коливань (хвиль) За прийомом і (або) передачею сигналів За обробкою (виділенням інформаційного портрета) – сигналів в модемі За обробкою інформації – в кодеку Комбіновані	
Глибина адаптації	Мала – $ (\Delta/\delta) \ll \delta $; середня – $ (\Delta/\delta) \sim \delta $; велика – $ (\Delta/\delta) \gg \delta $	
Кількість СС контролю	Однопараметричний контроль Багатопараметричний контроль	
Якість СС адаптації	Однопараметрична адаптація Багатопараметрична адаптація	

Необхідно відзначити, що з підвищенням швидкості прийому-передачі інформації, тобто з переходом на понадвисокочастотні (ПВЧ) і крайньовисокочастотні (КВЧ) діапазони, доцільність використання в радіоприймальних пристроях (РПРП) адаптивних методів зростає. Дійсно, тимчасові характеристики завмирань в лінійних диспергируючих каналах інваріантні до швидкості передачі повідомлень та інших параметрів сигналів, що передаються [4]. Крім того, збільшення швидкості передачі повідомлень зазвичай супроводжується розширенням потенційних можливостей здійснення оперативного контролю поточного стану каналу, що використовується (якості оброблюваної інформації або значень параметрів сигналів, що приймаються). Таким чином, із збільшенням швидкості передачі інформації (а значить і із зменшенням тривалості тактового інтервалу) скорочується період часу, який потрібно для здійснення достовірного контролю, тобто підвищується оперативність даного контролю. Відзначимо також, що збільшення швидкості передачі інформації і пов'язане з цим підвищення області частот, що використовуються, дозволяє розширити динамічний діапазон адаптації по багатьох параметрах (просторовим, частотним і т.п.) переданих сигналів і власне по швидкості передачі. Таким чином, з підвищенням швидкості передачі інформації збільшується гнучкість і розширюються функціональні можливості адаптивних систем зв'язку. В цілому

$$R \uparrow, \Rightarrow \overline{N}_n \uparrow, (\Delta/\delta) \uparrow, \Delta T_k,$$

де \overline{N}_n – середня довжина пакету помилок, причому $\overline{N}_n = \Delta \bar{t}_3 / \Delta t_T$; $\Delta \bar{t}_3$ – середня тривалість завмирань не менш деякої порогової, яка характеризується деякою достатньо високою вірогідністю появи корельованих помилок; Δt_T – тривалість тактового інтервалу, значення якого для заданого методу модуляції (і способу кодування дискретних) сигналів обернено пропорційна до величини швидкості передачі інформації R ; ΔT_k – період часу, що вимагається для достовірного контролю поточного стану каналу, що використовується та (або) параметрів корисного сигналу і сигналів, що заважають, та шумів або якості інформації, що приймається, причому $\Delta T_k = \Delta t_T \cdot M_d$; M_d – необхідне для забезпечення достатності статистики результатів контролю ($M_d > 1$ і $M_d \in \mathbb{N}$); \mathbb{N} – множина натуральних чисел; (Δ/δ) – динамічний діапазон адаптації; Δ – область перебудови; δ – робоча область.

В той же час необхідно відзначити, що з підвищенням швидкості передачі інформації зменшуються реальні можливості організації безінерційних каналів зворотного зв'язку в радіолініях заданої фізичної довжини. В першу чергу це відноситься до так званих «плавних» регулювань – адаптація в безперервному часі з континуальною безліччю значень (станів) перебудовуваного параметра. Зокрема, тривалість перехідних процесів (інерційність) в контролюючих і регулюючих пристроях, як правило, повинна бути істотно

менша тривалості елементарного тактового інтервалу. Тому для побудови високошвидкісних адаптивних систем зв'язку з швидкостями передачі інформації 100 – 110 біт/с потрібні перебудовувані елементи з гігагерцовими швидкостями спрацьовування, які в даний час реалізовані лише на основі надшвидкодійних цифрових схем перемикачів [5]. Звідси слідує також, що застосування зворотних зв'язків можливе лише в тих випадках, коли подвоєна затримка на розповсюдження сигналів від передавача до приймача не перевищує (або істотно не перевищує) тривалості інформаційного такту.

Висновок. Враховуючи визначальну роль особливостей і можливостей апаратної реалізації широкосмугових і (або) швидкодійних елементів ПВЧ і КВЧ діапазонів можна сформулювати наступні основні особливості робастних адаптивних високошвидкісних РПрП радіотехнічних систем управління космічними апаратами [5]: переважний об'єкт адаптації – приймач сигналів (особливо для високошвидкісних каналів цифрового зв'язку з достатньо великою фізичною протяжністю); доцільно використовувати вищі ієрархічні рівні адаптації (на рівні демодулятора і декодера), де простіше здійснюються регулювання з достатньо високою швидкодією; найпереважнішими є самоналагоджувальні і, особливо, адаптивні системи високошвидкісної передачі цифрової інформації, що самоорганізуються; бажано використовувати «відкриті» входи «консультуючого» типу з «м'яким» ухваленням рішень про результати контролю зовнішніх дій; доцільний контроль і/або адаптація в дискретному часі з рахунковою (як правило – кінцевим і, бажано, двійковим) безліччю значень контрольованих параметрів і перебудовуваних станів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Невдяев Л.М., Смирнов А.А. *Персональная спутниковая связь*. – М.: Экотрендз, 1998. – 216 с.
2. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. *Основы теории информации и кодирования*. – К.: Вища школа, 1986. – 238 с.
3. Игнатов В.И. *Теория информации и передачи сигналов*. – М.: Радио и связь, 1991. – 280 с.
4. Пенин П.И., Филиппов Л.И. *Радиотехнические системы передачи информации*. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.

Надійшла 30.11.2004

ЧЕРЕПКОВ Сергій Тимофійович, канд. техн. наук, доцент. Область наукових інтересів – інформаційні космічні системи та комплекси.

РАЧИНСЬКИЙ Костянтин Олександрович, закінчив ХВВКІУ РВ у 1970 році. Область наукових інтересів – інформаційні космічні системи та комплекси.

ПАШКОВ Дмитро Павлович, канд. техн. наук, викладач НАОУ. В 1993 році закінчив КВІРТУ, в 2000 році закінчив ХВУ. Область наукових інтересів – радіотехнічні системи та комплекси космічного призначення.