

# Розвиток радіотехнічного забезпечення та зв'язку Повітряних Сил

УДК 621.396

М.В. Бархударян, К.К. Кулагін, Б.О. Чумак

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ОБСЯГУ І ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Пропонується підхід щодо визначення показників якості функціонування інформаційно-вимірювальних систем в режимі приймання семантичної інформації з урахуванням перетворення безперервного параметру в двійкове число, що приводить до помилки за рахунок квантування величини, яка передається. В припущенні приймання інформаційно-вимірювальною системою ефемеридної інформації по радіолінії «борт-земля» обґрунтовані основні показники її функціонування та виконано розрахунки необхідної швидкості передавання та якості приймання даної інформації.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система, показник функціонування, швидкість передавання інформації.

### Вступ

**Аналіз літератури і постановка задачі.** Для передачі семантичної інформації по радіолініях «земля-борт» та «борт-земля» та забезпечення контролю руху різноманітних літальних апаратів (ЛА) під час визначення та прогнозування їх траєкторій, а також управління рухом на різних ділянках траєкторій польоту ЛА використовуються наземні інформаційно-вимірювальні системи (ІВС).

Дослідженню якості функціонування таких систем присвячена ціла низка робіт, у тому числі [1–4]. Проте, цілісна та обґрунтована оцінка показників якості функціонування (обсягу і швидкості передавання інформації) окремих каналів ІВС, яка є досить актуальною та важливою задачею, на сьогоднішній день відсутня.

Отже, метою статті є розробка підходу щодо обґрунтування зазначених вище показників якості функціонування окремих каналів ІВС.

### Викладання основного матеріалу

В ІВС кількісна інформація передається, як правило, двійковим кодом. Звичайно, при розрахунках задаються середньоквадратичною похибкою передавання даних  $\sigma_\lambda$ , яка відповідає точності визначення або вимірювання параметру  $\lambda$ .

Перетворення безперервного параметру в двійкове число приводить до помилки за рахунок квантування величини  $\lambda$  за рівнем, причому

$$\sigma_{\lambda\text{кв}} = \Delta_\lambda / (2\sqrt{3}), \quad (1)$$

де  $\Delta_\lambda$  – інтервал квантування.

В деяких джерелах [5] доведено, що відстань квантування можливо вибрати з умови

$$\sigma_{\lambda\text{кв}} = 0,1\sigma_\lambda, \quad (2)$$

так що

$$\Delta_\lambda = 2\sqrt{3} \cdot 0,1\sigma_\lambda \approx 0,346\sigma_\lambda. \quad (3)$$

Кількість повідомлень можливо визначити з формули

$$M_{\Pi} = \left[ \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{\Delta_\lambda} \right]_{(+)}, \quad (4)$$

де  $[\ ]_{(+)}$  – округлення в бік більшого числа.

Тепер безпосередньо визначається кількість розрядів двійкового коду

$$m = \lceil \log_2 M_{\Pi} \rceil_{(+)}. \quad (5)$$

Використовуючи даний підхід знайдемо, наприклад, обсяг інформації, який необхідно передавати в ІВС космічних комплексів при обслуговуванні навігаційних космічних апаратів. Припустимо, що при здійсненні зв'язку передається ефемеридна інформація. При цьому одна фраза такої інформації поставляє послідовність з семи даних  $(x_j, y_j, z_j, V_{xj}, V_{yj}, V_{zj}, t_j)$ . Звичайно, обсяг ефемеридної інформації формують на добовий термін часу, тобто  $(j = 1, 2, \dots, 1440)$ .

Нехай

$$\begin{aligned} x_{\max} &= y_{\max} = z_{\max} = 500 \text{ км}; \\ x_{\min} &= y_{\min} = z_{\min} = 400 \text{ км}; \\ V_{x\max} &= V_{y\max} = V_{z\max} = 10 \text{ км/с}; \\ V_{x\min} &= V_{y\min} = V_{z\min} = 0 \text{ км/с}; \\ \sigma_x &= \sigma_y = \sigma_z = 1 \text{ м}; \\ \sigma_{Vx} &= \sigma_{Vy} = \sigma_{Vz} = 1 \text{ см/с}. \end{aligned}$$

Враховуючи (3) – (5), маємо:

$$\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0,346 \text{ м};$$

$$\Delta_{V_x} = \Delta_{V_y} = \Delta_{V_z} = 0,346 \text{ см/с};$$

$$M_x = M_y = M_z = 10^5 / 0,346 \approx 2,9 \cdot 10^5;$$

$$M_{V_x} = M_{V_y} = M_{V_z} = 10^6 / 0,346 \approx 2,9 \cdot 10^6.$$

Таким чином,

$$m_x = m_y = m_z = \log_2(2,9 \cdot 10^5) \approx 19;$$

$$m_{V_x} = m_{V_y} = m_{V_z} = \log_2(2,9 \cdot 10^6) \approx 21,5.$$

Номер  $i$ -ої хвилинної мітки часу передається двійковим кодом, причому

$$m_{i(+)} = [\log_2 1440]_{(+)} = 11.$$

Обсяг  $V_j$  однієї фрази ефемеридної інформації складає

$$V_{j1} = 3m_x + 3m_{V_x} + m_t = \text{const}(j).$$

В даному випадку  $V_{j1} = 133$  дв. од. Повний обсяг ефемеридної інформації на добовому терміні часу дорівнює

$$V = 1440V_{j1} \quad (6)$$

(в даному випадку  $V = 191520$  дв. од.).

Якщо для передачі ефемеридної інформації відводиться час  $T$  (без врахування режиму роботи зі зворотним зв'язком і часу розповсюдження сигналу), то швидкість передавання даних визначається співвідношенням

$$R_{i\dot{\delta}} = V/T, \quad (7)$$

відкля безпосередньо знаходиться тривалість символу двійкового коду ( $V_0 = 1$  дв. од/с)

$$T_e = 1/R_{i\dot{\delta}}. \quad (8)$$

Визиває деякі труднощі визначення часу  $T$ , необхідного для передавання всього обсягу інформації. Для цього зробимо наступні припущення. По-перше, цей час можливо прив'язати до пропускної здатності ІВС, коли вона обслуговує відому кількість космічних апаратів. В цьому разі мінімальний час  $T$  буде визначатись виразом

$$T = \frac{2 \ln(1/P_{i\dot{\delta}}) + \ln M}{(P_c/N_0) \log_2 M}, \quad (9)$$

де  $P_{i\dot{\delta}}$  – повна ймовірність похибки розпізнавання сигналу;

$M$  – кількість застосованих ортогональних сигналів для передавання інформації (визначається по кількості об'єктів, що обслуговуються).

По друге, можливо прив'язатись до терміну сеансу зв'язку  $T_c$ , який визначимо, використовуючи співвідношення

$$\dot{\Theta}_{\hat{a}} = \frac{2\Theta_{\hat{a}}}{\Omega_0}, \quad (10)$$

де  $\Theta_{\hat{a}}$  – центральний кут видимості об'єкту;

$\Omega_0$  – кутова швидкість руху.

Так, наприклад, коли об'єкт рухається за круговою орбітою на висотах 400 км і 500 км, термін сеансу зв'язку складає відповідно 606 с і 630 с.

Як бачимо з розрахунків, цей час (за виразом (9)) в залежності від відношення сигнал/шум складає від 0,0005 с до 0,06 с.

При таких значеннях  $T$  швидкість передавання інформації, яка визначається співвідношенням (7), перевищує межі надшвидкісних систем передавання.

Тому підійдемо до визначення швидкості передавання інформації з іншого боку. Припустимо, що одночасно комплексом необхідно обслужити 10 об'єктів, які знаходяться в зоні видимості ІВС, хоча така їх кількість на сьогоднішній день дещо підвищена. При цьому час спостереження усіх об'єктів складає 650 с.

Таким чином на спостереження одного об'єкту необхідно  $T \leq 65$  с. Швидкість передавання вищезначеної інформації буде дорівнювати

$$R_{z\dot{\delta}} = V/T = 191520/65 = 2946,46 \text{ біт/с.}$$

Як показують дослідження, саме такі швидкості передавання інформації в ІВС забезпечують найефективніше їх застосування.

Далі необхідно визначити ймовірність хибного приймання інформації, яка вимагається в зазначеному випадку. Відомо [4], що середньоквадратична похибка передавання значення параметру  $\lambda$  двійковим кодом при рівномірному кодуванні визначається виразом

$$\tilde{\sigma}_{\lambda}^2 = \frac{\dot{I}^2 \Delta_{\lambda}^2}{3} P_{i\dot{\delta}} \cdot \dot{a}, \quad (11)$$

де  $\dot{I}$  – кількість повідомлень.

Припустимо, що

$$\tilde{\sigma}_{\lambda} = 0,1 \tilde{\sigma}_{\lambda \text{äi}}. \quad (12)$$

При цьому

$$\frac{\Delta_{\lambda}^2}{12} = \frac{\dot{I}^2 \Delta_{\lambda}^2}{3} P_{i\dot{\delta}} \cdot \dot{a}, \quad (13)$$

так що

$$P_{i\dot{\delta}} \cdot \dot{a} = 1/(4M^2). \quad (14)$$

Застосовуючи дані формули до наведеного вище прикладу, одержимо:

$$P_{\text{пох } e(x,y,z)} = 2,97 \cdot 10^{-12};$$

$$P_{\text{пох } e(V_x, V_y, V_z)} = 2,7 \cdot 10^{-14};$$

$$P_{\text{пох } e(t_j)} = 1,2 \cdot 10^{-7}.$$

Як бачимо, значення ймовірності похибки на елемент інформації, що вимагаються, достатньо високі. Такі вимоги можливо пояснити високими вимогами до перепускної здатності ІВС.

Доцільно при цьому визначити ймовірність виконання задачі інформаційним каналом в цілому  $R_{\text{інф}}$ . Цю ймовірність можливо знайти із наступних міркувань. Нехай ІВС обслуговує 10 об'єктів з ймовірністю виконання задачі  $P_{\text{ІВС}}$  і для кожного з них виконуються операції виявлення сигналу, вимірювання навігаційних параметрів ( $\ddot{A}$  і  $\dot{A}$ ), приймання і передавання інформації (усього 40 каналів  $N_k$ ). Тоді можливо записати

$$1 - P_{z_{i\dot{o}}} \approx (1 - P_{\text{ІВС}}) / N_k. \quad (15)$$

При цьому відомо, що

$$P_{i\dot{o} \ddot{a}} = (1 - P_{z_{i\dot{o}}}) / (mN), \quad (16)$$

де  $N$  – кількість смислових повідомлень (команд, слів програми);

$$m = [\log_2 N]_{(+)} [4, 5].$$

Припустимо, що  $N = 191520$ , тоді  $m = 18$ .

Враховуючи, (15) - (16), одержимо:

$$P_{\text{інф}} = 1 - P_{\text{пох}} e^{mNN_k} \quad (17)$$

(для даного конкретного випадку маємо  $P_{\text{інф}} = 1 - 2,97 \cdot 10^{-12} \cdot 18 \cdot 191520 \cdot 40 = 0,99959$ ).

$2,9 \cdot 10^{-12}$  необхідно забезпечити ймовірність виконання задачі інформаційним каналом ІВС, яка дорівнює 0,99959.

Дані вимоги є досить жорсткими і для їх забезпечення в реальних випадках необхідно враховувати та усувати впливи різноманітних факторів (зсунення частоти і затримки, завади, невірні цілевказівки, тощо), щоб забезпечувати велике відношення сигнал/шум на вході ІВС.

## Список літератури

1. Гуткин Л.С. Радиоуправление / Л.С. Гуткин, В.В. Пестряков, В.Н. Тупугин; под общ. ред. Л.С. Гуткина. – М.: Сов. радио, 1970. – 324 с.
2. Деденок Т.С. Принципи побудови системи обробки інформації в автоматизованій системі управління рухом космічного апарату по програмній траєкторії / Т.С. Деденок, І.Г. Лисаченко, О.М. Роянов, Б.О. Чумак // Системи обробки інформації. – Вип. 8(57). – Х.: ХУПС., 2006. – С. 44-48.
3. Чумак Б.А. Радиотехнические системы измерения параметров движения: учеб. пос.; Мин-во обороны СССР, ХВВКИУ РВ / Б.А. Чумак. – Х.: ХВВКИУ РВ, 1990. – 387 с.
4. Тепляков И.М. Радиосистемы передачи информации: учеб. пособие для вузов / И.М. Тепляков, Б.В. Роцин, А.И. Фомин и др.; под ред. И.М. Теплякова – М.: Радио и связь, 1982. – 264 с.
5. Хомяков Э.Н. Измерительно-информационные радиосистемы: учеб. пос.; Мин-во обороны СССР, ХВВКИУ РВ / Э.Н. Хомяков. – Х.: ВКИУ РВ, 1985. – 220 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЪЕМУ И СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Н.В. Бархударян, К.К. Кулагин, Б.А. Чумак

Предлагается подход к определению показателей качества функционирования информационно-измерительных систем в режиме принятия семантической информации с учетом преобразования непрерывного параметра в двоичное число, что приводит к ошибке за счет квантования передаваемой величины. При допущении о принятии информационно-измерительной системой эфемеридной информации по радиолинии «борт-земля» обоснованы основные показатели ее функционирования и выполнены расчеты скорости передачи и качества приема данной информации.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система, показатель качества функционирования, скорость передачи информации.

## REQUIREMENTS SUBSTANTIATION TO VOLUME AND SPEED OF INFORMATION PASSING IN INFORMATIVELY-MEASUREMENTS SYSTEMS

M.V. Barkhudaryan, K.K. Kulagin, B.O. Chumak

Offered approach to determination a quality indexes of functioning informatively-measuring systems in the mode of semantic information acceptance taking into account transducing of continuous parameter to the binary number, that results in an error due to the quantum of transferrable size. At assumption about acceptance of ephemeris information the informatively-measuring system on radio link «side-earth» the basic indexes of its functioning are grounded and the calculations of speed transmission and quality reception of this information are executed.

**Keywords:** informatively-measuring system, quality index of functioning, speed of information passing.