

## ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ОПИТУВАННЯ ДАВАЧІВ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ В АНАЛОГОВОМУ ІНТЕРФЕЙСІ

**Рудик А. В., к.т.н., доцент**  
**Національний авіаційний університет,**  
**м. Київ**

**Вступ.** В системі керування мобільного робототехнічного комплексу (МРТК) один давач може брати участь у формуванні керуючої дії для декількох виконавчих пристроїв, а сигнал, що подається на виконавчий пристрій, може залежати від сигналів декількох давачів. Така структура побудови системи керування МРТК не дозволяє використовувати традиційні способи визначення потрібних частот дискретизації [1, 2]. Крім того, програми вводу-виводу сигналів в системі керування через інтерфейсну шину також накладають свої додаткові вимоги на значення частот дискретизації. Тому значення частоти дискретизації аналогових сигналів давачів та виконавчих пристроїв в системах керування МРТК мають вибиратися з обов'язковим врахуванням структури системи.

**Метою статті** є оптимізація алгоритму знаходження підсумкової частоти дискретизації сигналів  $n$  давачів МРТК, які формують сигнал керування для  $m$  виконавчих пристроїв.

Аналоговий інтерфейс системи керування вводить інформацію від  $n$  давачів. Сигнал кожного давача в загальному випадку має власну частоту дискретизації  $f_{дi}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , яка визначається частотними властивостями давача, допустимою похибкою дискретизації-відновлення та порядком відновлюючого полінома [3], при цьому можна виділити давачі з  $f_{дiH.min}$  та  $f_{дiH.max}$ . Набір з  $n$  давачів характеризується мінімальною сумарною частотою дискретизації

$$f_{\Sigma Д} = \sum_{i=1}^n f_{дiH} \quad (1)$$

Сумарна частота дискретизації (1) фактично є тактовою частотою роботи аналогового інтерфейсу та визначає потрібну мінімальну швидкість вводу інформації в цифровій системі контролю та керування [3]. Циклом опитування давачів є часовий інтервал  $T_{Ц}$ , протягом якого будуть прийняті цифрові сигнали від усіх давачів. Тривалість циклу опитування визначається частотою опитування сигналу давача з мінімальною частотою  $f_{дiH.min}$ , при цьому під час циклу опитування цей давач буде опитаний тільки один раз, тобто

$$T_{Ц} = \frac{1}{f_{дiH.min}} \quad (2)$$

Якщо частоти дискретизації всіх давачів однакові, тобто

$$f_{дiH.min} = f_{дiH.max} \quad (3)$$

то алгоритм вводу інформації є циклічним. Якщо умова (3) не виконується, то алгоритм вводу інформації є програмним, при якому кількість тактів опитування в циклі  $l_{\Sigma}$  може значно перевищувати кількість давачів  $n$ :

$$l_{\Sigma} = \frac{f_{\Sigma Д}}{f_{дiH.min}} = \frac{1}{T_{\Sigma Д} f_{дiH.min}} = \frac{T_{Ц}}{T_{\Sigma Д}} \quad (4)$$

Особливістю програмного опитування є те, що окремі давачі в циклі опитуються декілька разів, при цьому кількість опитувань  $i$ -го давача в циклі

$$l_i = \frac{f_{ДН}}{f_{ДН.\min}}. \quad (5)$$

При цьому необхідно виконати умову рівності  $l_i$  інтервалів опитування давачів у циклі, а

$$l_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n l_i. \quad (6)$$

При використанні програмного опитування можливим є додаткове збільшення потрібної частоти вводу інформації в цифрову систему контролю та керування, що пов'язано з двома процесами [4]:

- приведенням кількості опитувань в циклі до цілих чисел ( $f_{\Sigma Д1}$ );
- розміщенням програми опитування всередині циклу ( $f_{\Sigma Д2}$ ).

Реально кількість опитувань одного давача може бути тільки цілим числом. Якщо позначити це число  $l_{i1}$ , то співвідношення (5) можна записати так:

$$l_{i1} = \left[ \frac{f_{ДН}}{f_{ДН.\min}} \right], \quad (7)$$

де оператор  $[ \ ]$  означає, що береться найближче більше ціле число.

Кількість тактів опитування в циклі  $l_{\Sigma 1}$  (на відміну від  $l_{\Sigma}$  з (6)):

$$l_{\Sigma 1} = \sum_{i=1}^n l_{i1}. \quad (8)$$

Це приводить до того, що частота роботи аналогового інтерфейсу для опитування  $n$  давачів  $f_{\Sigma Д}$  збільшиться у порівнянні з співвідношенням (1) до значення  $f_{\Sigma Д1}$ :

$$f_{\Sigma Д1} = f_{ДН.\min} \cdot \sum_{i=1}^n l_{i1}. \quad (9)$$

З співвідношень (7) та (9) можна отримати обмеження значення можливого збільшення частоти опитування давачів в аналоговому інтерфейсі:

$$f_{\Sigma Д1} = f_{\Sigma Д} + n \cdot f_{ДН.\min}. \quad (10)$$

Імпульси опитування кожного давача в циклі мають бути розташовані через однакову кількість тактів, що можна записати як

$$\frac{l_{\Sigma 1}}{l_{i1}} = q_i, \quad \text{де } q_i = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (11)$$

Якщо умова (11) не виконується, то окремі інтервали опитування всередині циклу необхідно коригувати, що відбувається при збільшенні  $f_{\Sigma Д2}$ . Проблема створення оптимальної програми опитування давачів в аналоговому інтерфейсі полягає в розв'язанні комбінаторної задачі повного перебору усіх можливих варіантів. Однак навіть для невеликої кількості давачів такий підхід є непридатним через велике обчислювальне навантаження та складне логічне описання задачі.

Результати проведених досліджень показали, що спеціальне завищення

значення частоти  $f_{дН.min}$  дозволяє оптимізувати значення потрібної частоти вводу інформації аналогового інтерфейсу після процедури приведення кількості опитувань в циклі до цілих чисел, наближаючи її до  $f_{\Sigma Д}$ . При реалізації такого алгоритму необхідно збільшувати значення  $f_{дН.min}$  з деяким визначеним кроком, однак штучне завищення  $f_{дН.min}$  суттєво змінює величину відношення  $\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$ . В таблиці 1 наведений приклад розрахунку частоти дискретизації  $f_{\Sigma Д1}$

для навігаційної системи МРТК з сімома давачами (по три акселерометри та гіроскопи за відповідними осями, а також висотомір) при різних значеннях  $f_{дН.min}$  [5]. Для розрахунків вважаємо, що частоти дискретизації давачів мають такі значення:  $f_{д1Н} = 15 \text{ Гц}$ ;  $f_{д2Н} = 25 \text{ Гц}$ ;  $f_{д3Н} = 27 \text{ Гц}$ ;  $f_{д4Н} = 31 \text{ Гц}$ ;  $f_{д5Н} = 35 \text{ Гц}$ ;  $f_{д6Н} = 40 \text{ Гц}$ ;  $f_{д7Н} = 60 \text{ Гц}$ .

Таблиця 1 – Результати розрахунку тактової частоти роботи інтерфейсу як функції мінімальної частоти дискретизації давачів

№	$f_{min}, \text{ Гц}$	$\left\lceil \frac{15}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{25}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{31}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{35}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{40}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{60}{f_{min}} \right\rceil$	$f_{\Sigma Д}, \text{ Гц}$	$f_{\Sigma Д1}, \text{ Гц}$	$\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$	$l_{\Sigma}$
1	15	1	2	2	3	3	3	4	233	270	1,159	18
2	15,5	1	2	2	2	3	3	4	233	263,5	1,131	17
3	16	1	2	2	2	3	3	4	233	272	1,167	17
4	16,5	1	2	2	2	3	3	4	233	280,5	1,204	17
5	17	1	2	2	2	3	3	4	233	289	1,24	17
6	18	1	2	2	2	2	3	4	233	288	1,236	16
7	19	1	2	2	2	2	3	4	233	304	1,305	16
8	20	1	2	2	2	2	2	3	233	280	1,202	14
9	30	1	1	1	2	2	2	2	233	330	1,416	11
10	60	1	1	1	1	1	1	1	233	420	1,806	7

На графіку рис. 1 показана залежність  $\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$  від  $f_{min}$ , на якій можна виділити мінімум відношення  $\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$ . Оптимальні значення отримують при виборі мінімальної частоти за умови

$$f_{min} = 0,5 \cdot f_{дН} \text{ при } i > 1. \tag{12}$$

Параметри аналогового інтерфейсу, які відповідають цим мінімумам, вважають потенційно близькими до оптимальних. В таблиці 1 ці варіанти  $f_{min}$  виділені жирним шрифтом. Для прийняття рішення про оптимальний варіант необхідно додатково розв'язати задачу складання програми опитування для виділених варіантів.

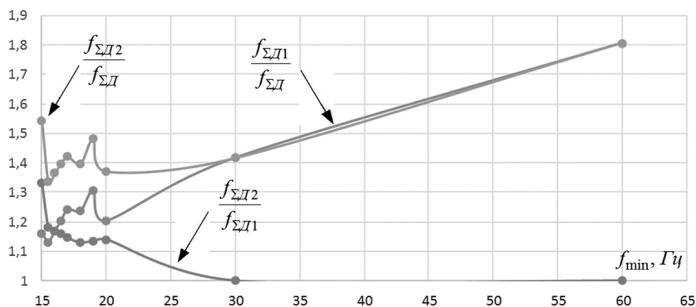


Рисунок 1 – Залежність тактових частот інтерфейсу від значення мінімальної частоти дискретизації давачів

Процедура розміщення програми опитування всередині циклу приводить до збільшення частоти роботи аналогового інтерфейсу до  $f_{\Sigma D2}$  тому, що:

- відношення  $\frac{l_{\Sigma 1}}{l_i} = q_i$  не є цілим числом;

- при розміщенні необхідно імпульс опитування в програмі опитування зміщувати з оптимального місця тому, що воно зайняте імпульсом іншого давача, який розподілявся раніше.

Для останнього варіанту №10 коефіцієнти  $\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D1}}$  та  $\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D}}$  можна отримати автоматично, тому що при циклічному опитуванні, якому відповідає такий варіант, програма опитування розподіляється в циклі без втрат, тобто  $\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D1}} = 1$ .

Розв’язок задачі розміщення програми опитування для варіантів №1 при  $l_{\Sigma} = 18$ , №2 при  $l_{\Sigma} = 17$ , №6 при  $l_{\Sigma} = 16$  та №8 при  $l_{\Sigma} = 14$  представлений на рис. 2, а результати розміщення для цих варіантів – в таблиці 2.

З таблиці 2 виходить, що варіант № 1 для задачі розміщення потребує збільшення частоти опитування в 1.33 рази, варіант № 2 – в 1.18 рази, варіант № 6 – в 1.13 рази, а варіант № 8 – в 1.14 рази.

Для варіантів № 9 і № 10 програма опитування розміщується без втрат, тобто  $\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D1}} = 1$ . Отримана в результаті розв’язання задачі розміщення програм всередині циклу інформація занесена в таблицю 3, де наведено виділені варіанти.

На графіку (рис. 1) наведені загальні результати формування програми опитування. Як видно з підсумкової залежності  $\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D1}} = F(f_{min})$ , наявним є мінімум функції. Варіанти формування програми опитування, що знаходяться в зоні цього мінімуму, будуть близькими до оптимальної.

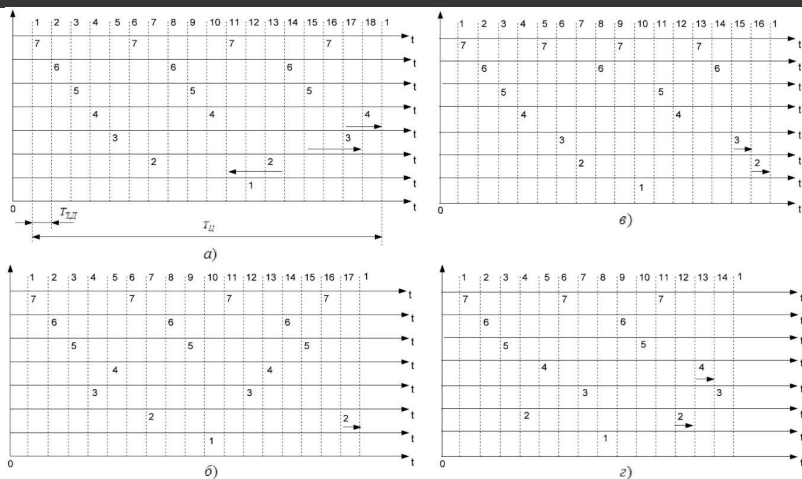


Рисунок 2 – Розміщення імпульсів опитування для різних варіантів:  
 а) – варіант № 1; б) – варіант № 2; в) – варіант № 6; г) – варіант № 8

Таблиця 2 – Результати розміщення для різних варіантів розв’язання задачі опитування

№ давача	Потрібний інтервал опитування давача в тактах $\frac{l_{\Sigma 1}}{l_i} = q_i$ для відповідного варіанту				Максимальний інтервал опитування давача в тактах $q_{i, \max}$ для відповідного варіанту				Необхідне збільшення сумарної частоти інтерфейсу в результаті розв’язання задачі розміщення $\frac{f_{\Sigma D 2}}{f_{\Sigma D 1}} = \frac{q_{i, \max}}{q_i}$			
	№1	№2	№6	№8	№1	№2	№6	№8	№1	№2	№6	№8
7	4,5	4,25	4	4,67	5	5	4	5	1,11	1,18	1	1,07
6	6	5,67	5,33	7	6	6	6	7	1	1,06	1,13	1
5	6	5,67	8	7	6	6	8	7	1	1,06	1	1
4	6	8,5	8	7	8	9	8	8	1,33	1,06	1	1,14
3	9	8,5	8	7	12	9	9	7	1,33	1,06	1,125	1
2	9	8,5	8	7	12	10	9	8	1,33	1,18	1,125	1,14
1	18	17	16	14	18	17	16	14	1	1	1	1

З таблиці 3 та графіків рис. 1 можна зробити висновок, що оптимальності варіантів № 2 та № 8 практично рівноцінні. Тому можна рекомендувати вибрати варіант № 8, який має меншу кількість імпульсів опитування (14 імпульсів) та більш наочну програму розміщення імпульсів опитування всередині циклу.

В розглянутому варіанті № 10 при використанні циклічного опитування частота опитування в аналоговому інтерфейсі збільшується у порівнянні з вибраним оптимальним варіантом №8 у  $1.806/1.37=1.318$  рази, при цьому розкид

між  $f_{\min}$  та  $f_{\max}$  невеликий і складає 4 рази. При великих значеннях розкиду між  $f_{\min}$  та  $f_{\max}$  частота опитування в аналоговому інтерфейсі при використанні циклічного опитування збільшується в рази у порівнянні з оптимальним варіантом.

Таблиця 3 – Підсумкові значення варіантів розміщення програми опитування

№	$f_{\min}$ , Гц	$\left\lceil \frac{15}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{25}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{31}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{35}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{40}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{60}{f_{\min}} \right\rceil$	$\frac{f_{\Sigma D1}}{f_{\Sigma D}}$	$I_{\Sigma}$	$\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D1}}$	$\frac{f_{\Sigma D2}}{f_{\Sigma D}}$
		1	15	1	2	2	3	3	3	4	1,159	18
2	15,5	1	2	2	2	3	3	4	1,131	17	1,18	1,335
6	18	1	2	2	2	2	3	4	1,236	16	1,13	1,397
8	20	1	2	2	2	2	2	3	1,202	14	1,14	1,37
9	30	1	1	1	2	2	2	2	1,416	11	1	1,416
10	60	1	1	1	1	1	1	1	1,806	7	1	1,806

**Висновки.** При програмному опитуванні тактова частота роботи аналогового інтерфейсу значно вище частоти дискретизації, необхідної з точки зору частотних властивостей давачів, похибки дискретизації-відновлення та умов відновлення інформації, що обумовлюється такими факторами:

- відношення частот дискретизації давачів до їх мінімальної частоти дискретизації не є цілими числами;
- відношення кількості імпульсів опитування в циклі до кількості імпульсів опитування давачів не є цілими числами;
- при розміщенні програми опитування необхідно зсувати імпульси опитування тому, що поточний такт опитування вже зайнятий іншим давачем.

Штучне завищення мінімальної частоти дискретизації давачів дозволяє отримати оптимальну програму опитування.

### Література

1. Баранов Л. А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
2. Maheshwari R., Bharadia M., Gupta M. Multirate DSP and its technique to reduce the cost of the analog signal conditional filters // International Journal of Computer Applications. – August 2010. – Vol. 4, № 10. – P. 27 – 34.
3. Самойлов Л.К., Палазиенко А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И. Дискретизация сигналов по времени (практика, алгоритмы). Монография. – Таганрог: Издательство ТРТУ, 2000. – 81 с.
4. Самойлов Л.К. Алгоритм оптимизации программы размещения команд опроса датчиков в аналоговом интерфейсе систем управления и контроля // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 2 (139). – С. 162 – 168.
5. Рудик А.В. Використання медіанної та діагностичної фільтрацій в мобільних робототехнічних комплексах для попередньої обробки сигналів // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – № 1 (8). – С. 73 – 78.