

УДК 62.501.12

Ю.В. Петрова

СТРУКТУРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗОРОВОГО КАНАЛУ ОПЕРАТОРА

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: fsu@nau.edu.ua

Розглянуто методику структурної ідентифікації зорового каналу оператора при стохастичній вхідній інформації, деякі її результати і критерій оцінки ефективності дій оператора.

Вступ

Проблема підвищення ефективності професійної підготовки операторів [1], пов'язаних із процесами керування об'єктами, що рухаються, (літаками, судами та ін.), з кожним роком стає все більш актуальною.

Оператор приймає, як правило, найбільш складні і відповідальні рішення щодо керування об'єктом, причому від правильності його дій, уміння вчасно знайти і реалізувати вірне рішення залежить не тільки виконання задач, покладених на керований технічний об'єкт, але в ряді випадків і цілісність самого об'єкта і безпека людей.

Як складна «динамічна система, що самоорганізується» оператор реагує на багато факторів навколишнього середовища. Наприклад, він сприймає інформацію зоровим, акселераційним та іншими каналами [1].

Важливим аспектом дослідження діяльності операторів є кількісна оцінка кожного каналу сприйняття інформації і помилок оператора, внесених ним при будь-якому виді робіт, наприклад, під час спостереження оператора за об'єктом, що рухається на екрані.

Під зоровим каналом оператора розуміємо канал сприйняття інформації, що складається з рецепторів ока людини, які сприймають роздратування зовнішнього середовища, центральної нервової системи, де обробляється інформація, й ефектора (у даному випадку руку оператора), функція якого відповідним чином відреагувати на подразнення.

Аналіз досліджень і публікацій

Якщо властивості акселераційного каналу при подачі на вхід стохастичних впливів вивчені досить повно [2], то зоровий канал, переважно, вивчається у разі подачі на його вхід детермінованих сигналів.

Східчастий сигнал використовувався для вивчення зорово-рухової реакції людини.

Синусоїдальні коливальні рухи застосовувалися в ранніх дослідженнях динамічних властивостей людини-оператора.

У результаті проведення цих робіт було встановлено, що вони непридатні для визначення частотних характеристик людини.

Випробувані оператори швидко «розшифровують» характер руху об'єкта і замість безперервного відстеження вхідного сигналу адаптуються до відтворення коливань заданої частоти й амплітуди. Для того щоб змусити оператора безупинно стежити за рухом об'єкта, необхідно утруднити йому можливість екстраполювати цей рух, тобто потрібно зробити зміни у вхідних сигналах непередбаченими. Для цього пропонується як вхідний сигнал використовувати стохастичний сигнал.

Постановка задачі

Поставимо задачу для експериментального визначення квазілінійної моделі зорового каналу оператора при подачі на вхід стохастичної інформації.

Оцінювати придатність оператора до даного виду робіт будемо після проведення структурної ідентифікації каналу оператора [2] за отриманою спектральною щільністю помилки, що кожен оператор вносить у систему при своїй роботі, – ремнанти оператора.

Задача полягає в тому, щоб за масивами сигналів «вхід-вихід» і відомому [3] алгоритмові ідентифікації визначити передавальну функцію зорового каналу пілота, спектральну щільність ремнанти, що супроводжує процес сприйняття пілотом вхідної інформації, і реакцію пілота на неї. Роботу оператора під час спостереження за об'єктом, що рухається, можна зобразити у вигляді блок-схеми (рис. 1).

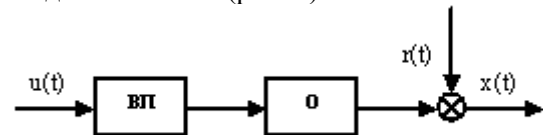


Рис. 1. Блок-схема системи сприйняття людиною зорової інформації

Вхідний сигнал системи $u(t)$ надходить на візуальний пристрій ВП (дисплей комп'ютера).

Оператор О сприймає цю інформацію і намагається найбільш точно відтворити вхідний стохастичний сигнал за допомогою маніпулятора типу «миша», вносячи ремнанту $r(t)$. Виходом системи є сигнал $x(t)$, що реєструється і вноситься в пам'ять комп'ютера.

Для вирішення поставленої задачі пропонується на вхід зорового каналу подавати центрований стаціонарний випадковий процес з відповідною спектральною щільністю шуму. Оператор повинен відтворити тестовий сигнал.

Вхідний і вихідний сигнали фіксуються. Для вирішення поставленої задачі застосовують:

– стандартну процедуру первинної обробки стаціонарних випадкових сигналів (процедура визначення спектральних та взаємних спектральних щільностей сигналів);

– частинний алгоритм структурної ідентифікації динаміки одновимірного стаціонарного об'єкта і неконтрольованого збурювання, яке кожний оператор вносить у систему;

– пакет прикладних програм розв'язання на ЕОМ задачі структурної ідентифікації, розроблений на кафедрі систем управління Національного авіаційного університету.

Алгоритм структурної ідентифікації моделі динамічної системи

Нехай під час експерименту визначаються масиви вхідного $u(t)$ і вихідного $x(t)$ сигналів досліджуваного об'єкта (рис. 2), поведження якого описується системою звичайних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами вигляду

$$Px = Mu + \psi, \quad (1)$$

де x , u – вектори вихідного і вхідного сигналів об'єкта відповідно; ψ – вектор сигналу неконтрольованого збурювання, що являє собою випадковий стаціонарний процес, некорельований із входом u ; P , M – матриці, елементи яких зображають поліноми аргументу $s = j\omega$.

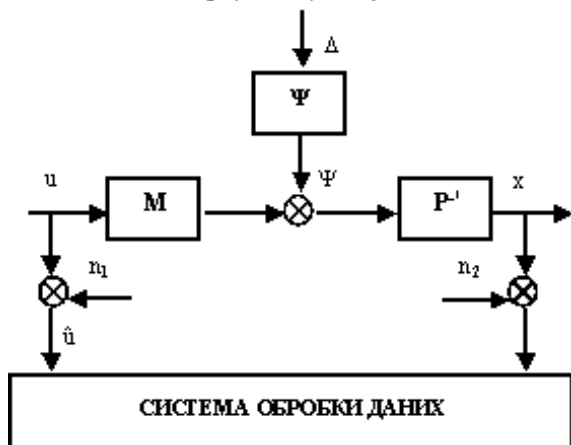


Рис. 2. Структурна схема ідентифікації динаміки об'єкта

У результаті проведення первинної обробки сигналів визначаються спектральна і взаємна спектральна щільності $S_{uu}(s)$, $S_{xx}(s)$, $S_{ux}(s)$, $S_{xu}(s)$.

Позначив $\psi = \Psi \Delta$, де Ψ – передавальна функція фільтра, що формує з вектора Фур'є-образів

«білих» шумів $\Delta(s)$ вектор ψ , перепишемо рівняння (1):

$$x = P^{-1}Mu + P^{-1}\Psi\Delta.$$

Вважаючи виміри сигналів u і x «ідеальними», складемо алгоритм структурної ідентифікації у вигляді

$$P^{-1}M = S_{ux}^T (S_{uu}^T)^{-1}; \quad (2)$$

$$P^{-1}\Psi S_{\Delta\Delta} \Psi^* P_*^{-1} = S_{xx}^T - S_{ux}^T (S_{uu}^T)^{-1} S_{xu}^T; \quad (3)$$

$$\Psi = \{P[S_{xx}^T - S_{ux}^T (S_{uu}^T)^{-1} S_{xu}^T] P_*\}^+, \quad (4)$$

де $*$ – знак ермітового спряження; індекс $+$ – знак операції факторизації [2].

Методика і результати оцінювання динаміки зорового каналу

Експеримент проводився з використанням спеціально розробленої програми визначення динамічних властивостей зорового каналу оператора. Людині подавали тестовий стохастичний сигнал – псевдобілий шум, пропущений через потрібний формуючий фільтр. Вхідний сигнал з'являється в строго визначеному вікні на дисплеї комп'ютера таким чином, що оператор бачить лише фрагмент сигналу, що рухається. Оператор для відпрацювання вхідного сигналу водить мишкою в іншому вікні, розташованому поруч з вікном тестового сигналу. Експеримент проводився з двома категоріями операторів у віці від 20 до 30 рр. – операторами, що працюють правою рукою, й операторами, що працюють лівою рукою. Після проведення експерименту дані про вхідний і вихідний сигнали надходили на стандартну первинну обробку, у результаті якої побудовані відповідні спектральні і взаємні спектральні щільності.

Спектральна амплітудна характеристика (АХ) взаємної спектральної щільності вхідного і вихідного сигналів подана на рис. 3, а. На рис. 3, б зображена фазова характеристика (ФХ) взаємної спектральної щільності.

На рис. 4, а наведено спектральні амплітудні характеристики взаємної спектральної щільності вхідного і вихідного сигналів оператора, що працює лівою рукою, на рис. 4, б – ФХ взаємної спектральної щільності.

На рис. 5 наведено логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) і логарифмічна фазово-частотна характеристика (ЛФЧХ) зорового каналу двох операторів під час спостереження за стохастичним сигналом.

Потім за допомогою пакета прикладних програм, що реалізують алгоритм структурної ідентифікації (2), (3) і (4), проведено послідовне розв'язання скалярних задач ідентифікації моделі зорового каналу оператора (рис. 6).

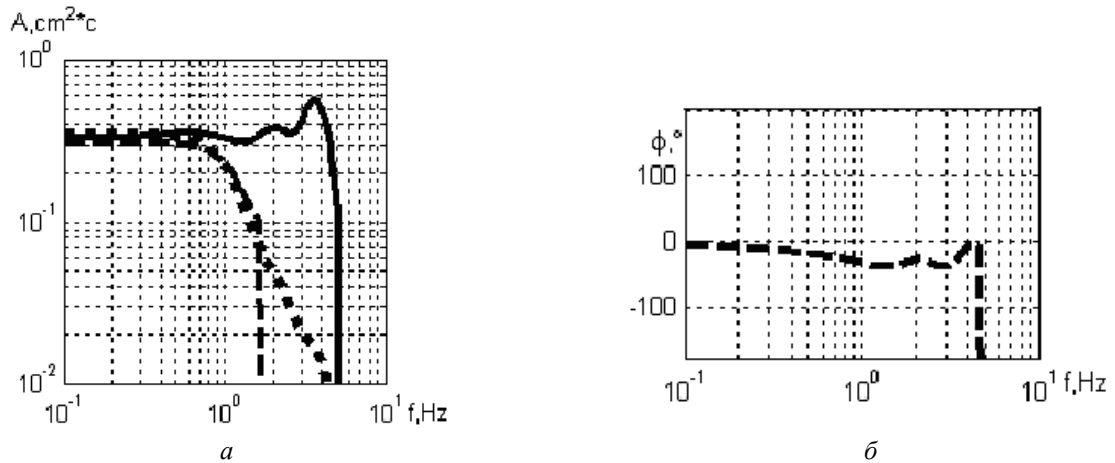


Рис. 3. Результати первинної обробки вхідного і вихідного сигналів оператора, що працює правою рукою:
a – АХ сигналів *u* і *x*: — спектральна щільність сигналу *u*; --- спектральна щільність сигналу *x*;
 ... — АХ взаємної спектральної щільності *u* і *x*;
 - - — ФХ взаємних спектральних щільностей сигналів *u* і *x*

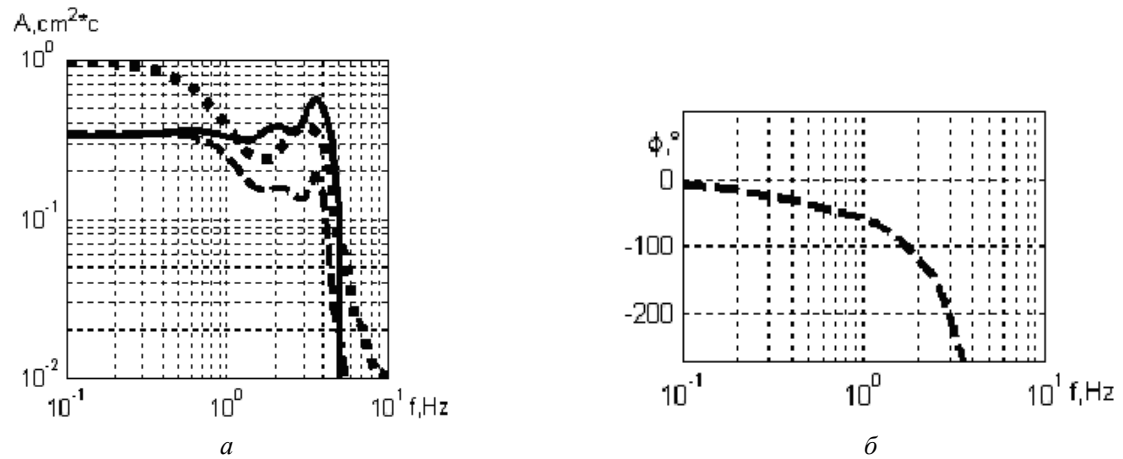


Рис. 4. Результати первинної обробки вхідного і вихідного сигналів оператора, що працює лівою рукою:
a – АХ сигналів *u* і *x*: — спектральна щільність сигналу *u*; ... спектральна щільність сигналу *x*; - - — АХ взаємної спектральної щільності *u* і *x*;
 б – ФХ взаємних спектральних щільностей сигналів *u* і *x*

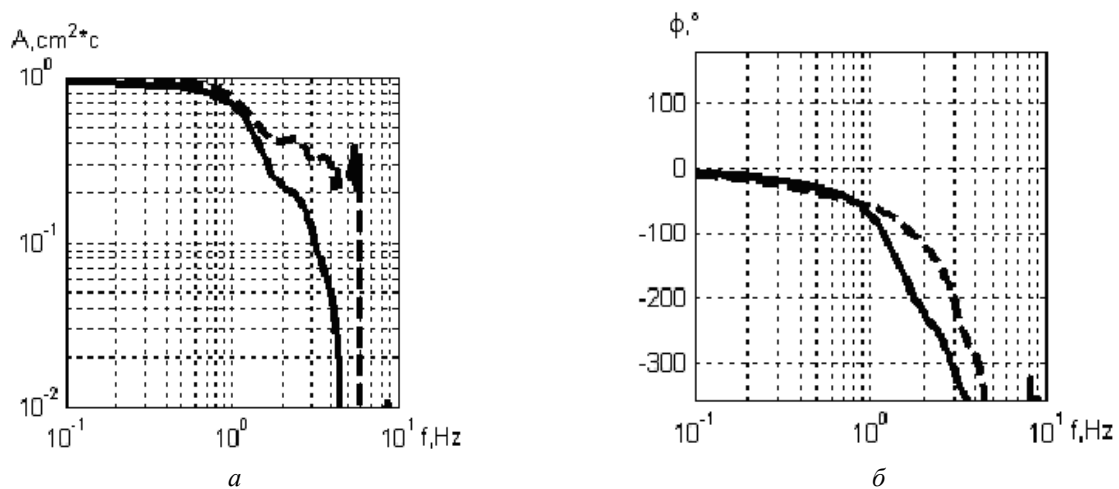


Рис. 5. Результати ідентифікації моделі зорового каналу оператора:
a – ЛАЧХ зорового каналу: — оператор, що працює правою рукою; - - оператор, що працює лівою рукою;
 б – ЛФЧХ зорового каналу: — оператор, що працює правою рукою; - - оператор, що працює лівою рукою

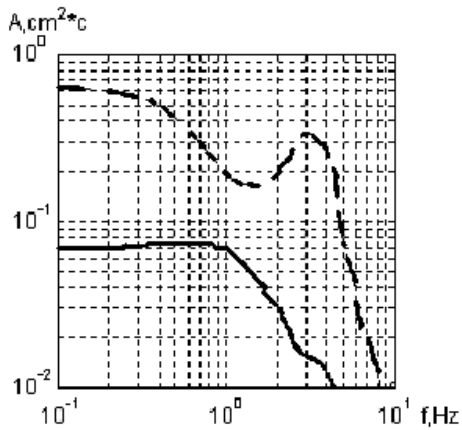


Рис. 6. Спектральна щільність ремнанти операторів, що працюють правою (—) і лівою (---)руками

Отримані таким чином ЛАЧХ і ЛФЧХ операторів фактично визначаються особливостями спектральних та взаємних спектральних щільностей вхідного та вихідного сигналів. Графіки спектральної щільності ремнанти, ЛАЧХ і ЛФЧХ зорового каналу оператора підлягали апроксимації аналітичними виразами. Апроксимацію зазначених характеристик здійснювали методом узагальнених логарифмічних характеристик.

На прикладі двох операторів, що працюють правою та лівою руками, розглянемо результати побудови моделі їх зорових каналів за допомогою запропонованої процедури структурної ідентифікації.

За допомогою апроксимації отриманих ЛАЧХ та ЛФЧХ складаємо моделі сприйняття оператором візуальних сигналів та знаходимо аналітичний вираз спектральної щільності ремнанти оператора. Далі знаходимо дисперсію ремнанти [2] для кількісної оцінки роботи оператора, що працює правою рукою:

$$W_x^u(s) = \frac{(0,53)^2}{\pi} \frac{1}{(0,18^2 s^2 + 2 \cdot 0,65 \cdot 0,18s + 1)} \times \frac{1}{(0,06^2 s^2 + 2 \cdot 0,36 \cdot 0,06s + 1)} e^{-0,15 s};$$

$$S_{rr}(s) = \frac{(0,3)^2}{\pi} \times \left| \frac{1}{(0,11s + 1)(0,03^2 s^2 + 2 \cdot 0,45 \cdot 0,03s + 1)} \right|^2,$$

Ю.В. Петрова

Структурная идентификация зрительного канала оператора

Рассмотрены методика структурной идентификации зрительного канала оператора при стохастической входной информации, некоторые ее результаты и критерий оценки эффективности действий оператора.

J.V. Petrova

Structural identification of the operator visual channel

Hire is presented to consider a method of the visual channel structural identification of the operator in the present of the stochastic entrance information, and to estimate some results of structural identification and also estimation criterion of the operator actions efficiency.

і для оператора, що працює лівою рукою:

$$W_x^u(s) = \frac{(0,56)^2}{\pi} \frac{(0,06s + 1)}{(0,12^2 s^2 + 2 \cdot 0,95 \cdot 0,12s + 1)} \times \frac{1}{(0,04^2 s^2 + 2 \cdot 0,35 \cdot 0,04s + 1)} e^{-0,15s};$$

$$S_{rr}(s) = \frac{(0,5)^2}{\pi} \left| \frac{(0,11^2 s^2 + 2 \cdot 0,67 \cdot 0,11s + 1)}{(0,3s + 1)} \right| \times \frac{1}{(0,035^2 s^2 + 2 \cdot 0,7 \cdot 0,035s + 1)} \times \left| \frac{1}{0,4^2 s^2 + 2 \cdot 0,7 \cdot 0,04s + 1} \right|^2.$$

Для оператора, що працює лівою рукою, дисперсія ремнанти становить 1,39 см², а для оператора, що працює правою рукою – 0,66 см².

Висновки

Запропонована методика дозволяє атестувати групи операторів за характеристиками зорового каналу. Важливим моментом у методиці ідентифікації моделі зорового каналу оператора є те, що за величиною дисперсії спектральної щільності ремнанти можна кількісно й оперативно оцінювати ефективність дій конкретного оператора при спостереженні. У результаті проведення експериментів було встановлено, що дисперсія спектральної щільності ремнанти оператора, що працює лівою рукою, в 1,5–2 рази перевищує дисперсію спектральної щільності ремнанти оператора, що працює правою рукою.

Список літератури

1. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н. Постановка, методика и некоторые результаты решения проблемы идентификации модели действия пилота при полуавтоматическом управлении полетом // Кибернетика и вычислительная техника. – 2004. – Вып. 140. – С. 12–22.
2. Блохин Л.Н. Оптимальные системы стабилизации. – К.: Техніка, 1982. – 144 с.
3. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Бурдин В.В., Воронин Л.И. Модель восприятия пилотом возмущенного углового движения кабины как часть его информационной модели //Космическая биология и авиакосмическая медицина. – 1991. – № 6. – С. 14–17.

Стаття надійшла до редакції 01.07.04.