

ПРИКЛАДНІ ДОМЕНИ І ПРИКЛАДНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

УДК 004.051:612.821(045)

В.Д.Кузовик, В.Г.Гамов, Ю.Ю.Оникієнко

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БІООБ'ЄКТУ

Інститут аерокосмічних систем управління Національного авіаційного університету
Кафедра біокібернетики та аерокосмічної медицини
bikam_nau@mail.ru, ukrspilka@nbi.com.ua, onik_j@ukr.net

Розглянуто принцип побудови та алгоритм роботи кефалографічного комплексу для оцінювання психофізіологічного стану оператора. Проведено оцінювання впливу деяких чинників на точність оцінки психофізіологічного стану оператора.

The principle of the construction and operation algorithm complex of kefalograf to assess the psycho-physiological state of the operator. Conducted evaluation of the influence of some factors on the accuracy assessment of psycho-physiological state of the operator.

Рассмотрен принцип построения и алгоритм работы кефалографического комплекса для оценки психофизиологического состояния оператора. Проведена оценка влияния некоторых факторов на точность оценки психофизиологического состояния оператора.

Ключові слова: кефалографія, психофізіологічний відбір, алгоритм, програмне забезпечення, невизначеність, kefalografiya, psychophysiological selection, algorithm, software, uncertainty, кефалография, психофизиологический отбор, алгоритм, программное обеспечение, неопределенность.

Вступ та постановка завдання. Останнім часом в практиці медичної діагностики інтенсивно розвиваються неінвазивні методи та засоби оцінки психофізіологічного стану людини. Різноманітність та кількість підходів до реалізації цього завдання дозволяє доводити необхідність розроблення саме таких методів та засобів, адже вони не тільки не шкідливі для організму, але й дають змогу отримати інформацію, яка при вірній трактовці може дуже багато розповісти про загальний стан організму людини.

Один із таких методів розроблений науковою групою кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету. В основі методу лежить інтегральне оцінювання нейрогуморальної системи організму людини через стан її вестибулярного апарату, який визначається за допомогою кефалографічного комплексу за результатами аналізу положення в просторі вертексу (центральної точки голови) при заданих лабораторних умовах дослідження.

Завданням даної роботи є аналіз невизначеності обчислення координат положення вертексу в просторі з метою підвищення точності його відображення зі збереженням реальних координат при обробленні та визначенні психофізіологічного

стану людини, а також використання результату цього аналізу при проектуванні необхідного програмного забезпечення процесу експериментальних досліджень біооб'єктів.

Основна частина. Аналіз принципів побудови існуючих кефалографів виявив, що одним з їх недоліків є наявність механічного зв'язку між оператором та установкою, що вносять спотворення в результати досліджень. В запропонованому варіанті кефалографічного комплексу цей зв'язок повністю виключається завдяки використанню оптичної фіксації даних за допомогою відеокамери.

Сутність підходу, що запропоновано, полягає в наступному. Оператору надягають на голову матерчатую шапочку, на зовнішній стороні якої нанесено маркер червоного кольору – круг заданого радіусу. На фіксованій відстані від голови у вертикальному напрямку розташовується відеокамера, яка кріпиться до штативу. Отримане камерою зображення передається в персональний комп'ютер, який в режимі реального часу аналізує отриману інформацію.

В результаті аналізу визначаються координати центру маркера в залежності від часу, будуються фазові портрети руху вертексу в двовимірному просторі, вносяться результати до існуючої бази даних.

Перед виконанням експерименту на кефалографічному комплексі необхідно віднести оператора до певної класифікаційної категорії [1]. Для цього:

- проводять загальне опитування та знімають антропометричні параметри;
- визначають тип темпераменту та рівень тривожності оператора;
- визначають рівень психічної критичності;

Кожна класифікаційна категорія характеризується набором якісних та кількісних параметрів оператора, які дозволяють чітко простежувати будь – які зміни під час проведення наступних етапів та підсумкового оцінювання психофізіологічного стану.

Робота кефалографічного комплексу складається з таких етапів:

- зняття координат положення вертексу оператора залежно від часу та режиму дослідження;
- побудова фазових портретів руху та внесення їх до бази даних;
- аналіз отриманих результатів фахівцями та внесення змін до бази знань;
- отримання висновку
- про психофізіологічний стан оператора.

Зазначені етапи є структурними частинами програмного комплексу даної методики.

Однією з основних задач при обробленні даних є визначення координат центру маркера. Отримані координати для кожного моменту часу зберігаються в пам'яті, сформований масив значень далі обробляється за заданим алгоритмом. В результаті отримують кількісні показники, що дадуть змогу приймати рішення щодо психофізіологічного стану оператора.

Структурна схема запропонованої реалізації кефалографічного комплексу наведена на рис. 1.

Така реалізація має ряд переваг над попередніми засобами [2, 3]:

- відсутній безпосередній вплив пристрою і дослідника на об'єкт дослідження;
- підвищена швидкість проведення дослідження;
- виключається людський фактор при обробленні інформації;
- зменшена кількість джерел, які вносять невизначеність в результати.

Необхідно звернути увагу на два достатньо складних моменти, а саме перетворення реальних координат положення вертексу в координати пристрою та розпізнавання границь маркеру.



Рис.1. Структурна схема запропонованого кефалографічного комплексу

Опис будь – якого об'єкту, що служить вхідною інформацією для графічної програми, подається в вигляді точного положення в зовнішній системі відліку, яке представляє собою нескінченно малі математичні точки. Однак, коли відбувається перетворення стандартів розгортки в буфері кадрів, вхідний опис трансформується в координати пікселів, що займають кінцеву площу екрана, тому отримане растрове зображення може не точно відповідати відносним розмірам заданого об'єкту.

Оскільки при зображенні маркера важливо зберегти притаманну йому геометрію, ефект перетворення математичних точок в пікселі з кінцевою площею треба компенсувати. Один з шляхів вирішення цієї проблеми являє собою підгін розміру пікселів зображення маркера таким чином, щоб вони відповідали розмірам, заданим в вхідному математичному описі сцени дослідження. Наприклад, необхідно реалізувати таке перетворення, щоб ширина кожного пікселя відповідала одному міліметру розмірів маркера.

Інший спосіб полягає в переводі зовнішніх координат в точки між пікселями на екрані, щоб границі маркера співпадали з границями пікселів, а не з їх центрами. В подальшому використовується саме цей підхід.

Процес формування двовимірного зображення застосований в даній роботі, включає в себе такі етапи:

- побудова сцени в зовнішніх координатах, використовуючи перетворення модельних координат;

- перехід від зовнішніх координат до координат спостереження;
- перетворення координат спостереження в нормовані координати;
- відображення нормованих координат в координати пристрою.

Розглянемо більш детально кожен з етапів. При двовимірному дослідженні застосовується «відсікання» прямокутним вікном, тобто всі частини сцени, які знаходяться поза вибраною частиною, «відсікаються», а на екран виводиться тільки та частина сцени, яка знаходиться всередині «відсікаючого вікна». Контроль розташування вікна зображення на екрані дисплею здійснюється за допомогою «поля відображення» [4].

Місцезнаходження маркера на екрані монітору виражається через екранні координати, які відповідають положенню пікселів в буфері кадру. Значення координат пікселів дають номер рядка розгортки (координата y) та номер стовпця (координата x в цьому рядку розгортки). Положення пікселів відраховуються від лівого верхнього кута екрану. Тоді рядкам розгортки присвоюються значення від 0 (верхній рядок екрану) до якогось цілого значення N (нижній рядок екрану), а положення пікселів в кожному стовпці розгортки нумеруються від 0 до M в напрямку зліва направо.

Початок двовимірної системи координат спостереження вибирається в деякій точці зовнішньої системи координат $P_0 = (x_0, y_0)$, орієнтацію можна задати використовуючи зовнішній вектор орієнтації V , котрий визначає напрям u_v . Перший етап в послідовності перетворень – транслявати початок координат системи спостереження в початок зовнішньої системи координат. Далі необхідно повернути систему спостереження так, щоб її початок координат співпав з зовнішньою системою координат. Для даного вектора орієнтації V можна знайти компоненти одиничних векторів $v = (v_x, v_y)$ та $u = (u_x, u_y)$ для вісі u_v та x_v відповідно. Ці одиничні вектори використовуються для формування першого та другого рядку матриці обертання R , яка переводить вісі системи спостереження x_v, y_v в зовнішні вісі x_w, y_w .

Далі положення маркера в зовнішніх координатах переводяться в координати спостереження за допомогою складної матриці двовимірного перетворення:

$$M_{wc,vc} = R \cdot T$$

де T – матриця трансляції, яка переносить початок координат системи спостереження P_0 в

початок зовнішньої системи координат, а R – матриця обертання, яка повертає систему спостереження до її співпадіння з зовнішньою системою координат.

Щоб процес спостереження був незалежним від вимог засобів виводу, в графічних системах опис об'єктів переводиться в нормовані координати і застосовуються процедури «відсікання». В одних системах використовують нормовані координати з діапазоном від 0 до 1, в інших з діапазоном від -1 до 1. В залежності від графічної бібліотеки, що використовується, поле спостереження визначається або в нормованих, або в екранних координатах після нормування.

Розглянемо процедуру нормування та перетворення поля спостереження для заданого маркера з координатами (x_w, y_w) в «відсікаючому вікні» з переходом в поле спостереження з координатами (x_v, y_v) .

Положення маркера в системі спостережень пов'язана з його положенням в зовнішній системі координат рівняннями:

$$\frac{x_v - x_{vmin}}{x_{vmax} - x_{vmin}} = \frac{x_w - x_{wmin}}{x_{wmax} - x_{wmin}}$$

$$\frac{y_v - y_{vmin}}{y_{vmax} - y_{vmin}} = \frac{y_w - y_{wmin}}{y_{wmax} - y_{wmin}}$$

де $x_{vmin}, x_{vmax}, y_{vmin}, y_{vmax}$ – мінімальні та максимальні значення координат в системі спостереження;

$x_{wmin}, x_{wmax}, y_{wmin}, y_{wmax}$ – мінімальні та максимальні значення координат в зовнішній системі.

Розв'язок цих рівнянь відносно координат маркера в полі спостереження (x_v, y_v) має вигляд

$$x_v = s_x x_w + t_x;$$

$$y_v = s_y y_w + t_y,$$

де s_x, s_y масштабні коефіцієнти:

$$s_x = \frac{x_{vmax} - x_{vmin}}{x_{wmax} - x_{wmin}}$$

$$s_y = \frac{y_{vmax} - y_{vmin}}{y_{wmax} - y_{wmin}};$$

t_x, t_y – коефіцієнти трансляції:

$$t_x = \frac{x_{wmax} x_{vmin} - x_{wmin} x_{vmax}}{x_{wmax} - x_{wmin}};$$

$$t_y = \frac{y_{wmax} y_{vmin} - y_{wmin} y_{vmax}}{y_{wmax} - y_{wmin}}.$$

Перетворення вікна в поле спостереження зберігає відносно розташування опису маркера.

Після відсікання нормовані координати переводяться в координати пристрою.

Отже, зображення представляє собою масив даних, індекси котрих являють собою перетворені координати реального зображення.

Колір кожного пікселя закодований трьома байтами. При цьому кожен байт відповідає за рівень насиченості червоного, зеленого та синього кольорів (RGB) в пікселі. Таким чином чистий червоний колір представлений вектором (255,0,0). Однак на практиці отримати чистий колір в звичайних умовах неможливо, адже на матрицю камери потрапляють не тільки промені відбиті від відмітки, а й промені, що відбилися від інших поверхонь (хоча й з меншою інтенсивністю). В такому випадку в кожен момент часу кожен окремих піксель на зображенні, що передається камерою та відповідає червоному кольору відмітки представляє собою вектор (R, G, B), де R, G, B - випадкові величини. При цьому виникає проблема з розпізнаванням границь маркера, з двох причин:

- внаслідок впливу відблисків, затінення та інших світлових ефектів не вся поверхня маркера розпізнається як червоний;

- форма та розміри маркера також додатково змінюються через те, що при відхиленнях голови від вертикального центру змінюється висота до камери, яка зафіксована.

Такі ефекти призводять до того, що в результаті аналізу отриманого з камери зображення алгоритм пошуку координат центра маркера видає не точні значення, тобто центр після розпізнавання не відповідає центру в дійсності, а має відхилення, значення якого залежить від координат X, Y, а також містить випадкову складову.

Для мінімізації описаних ефектів застосовуються різні прийоми, наприклад в приміщенні створюють сутінки, тобто закривають можливі джерела прямого попадання світла, але повністю позбавитись від невизначеності пошуку центру відмітки неможливо.

Так як результати подальших досліджень суттєво залежать від точності отриманих координат центру маркера, то важливим є кількісна оцінка невизначеності, що вноситься згаданими випадковими ефектами, для їх урахування при подальшій обробці.

Розглянемо та проаналізуємо вищезгадані моменти на предмет їх впливу на процес пошуку

центру маркера. При обчисленні координат центру маркера в алгоритмі реалізовано пошук елементів масиву даних, де для кожного пікселя значення насиченості червоного знаходиться в діапазоні [230 – 255], а насиченість зеленого та синього – в діапазоні [0, 25].

Зображення розглядається як двовимірний масив, кожний елемент якого представлений трьома значеннями (інтенсивність кольорів RGB). Алгоритм обчислення координат центру маркера виконує такі дії:

- визначає таку область зображення, де значення насиченості кожного елемент буде задовольняти вимоги:

$$R \in [230; 255], G, B \in [0; 25];$$

- знаходить мінімальні x_{\min} , y_{\min} та максимальні x_{\max} , y_{\max} значення насиченості по осям x та y , що входять до вказаної області;

- обчислює координати центру маркеру

$$X = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}, Y = \frac{y_{\min} + y_{\max}}{2}.$$

Таким чином визначається центр прямокутника, що описує область, розпізнану як червоний колір.

Проведемо оцінювання невизначеності знаходження координат центру маркера. На рис. 2 а) видно, що при значних відхиленнях від центру координат (точка прийнята за нуль – це точка, що відповідає положенню маркера на початку дослідження) точка А – дійсний центр відмітки та точка В – центр знайдений в результаті роботи алгоритму, не збігаються. Така розбіжність є джерелом невизначеності пошуку центру маркера. Окрім цього, внаслідок нерівномірності освітлення виникають зони засвітлення та затемнення (рис. 2 б). Це зменшує ймовірність того, що колір зображення в цих зонах буде розпізнаний як червоний і як наслідок змінюється форма розпізнаної області і координати центру. Також свій вклад до невизначеності пошуку центру маркера вносить роздільна здатність камери. Чим менше пікселів представляють маркер на зображенні, тобто чим менше роздільна здатність камери, тим менше точність визначення координат центру маркера.

На рис. 2 в) показано, що хоча дійсний центр знаходиться на межі чотирьох пікселів, в якості центру буде обрана координата центру одного з навколишніх квадратів.

Якщо для центральних областей зони спостереження камери така похибка не суттєва через більшу симетричність зображення маркера, то для великих відхилень від центру, коли зображення зменшується внаслідок зміни висоти,

такий фактор впливає на точність знаходження координат маркера.

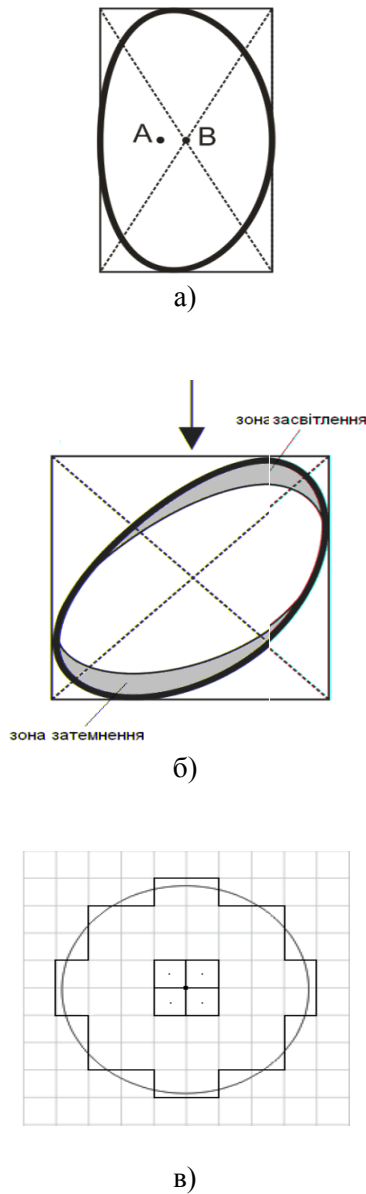


Рис. 2. Джерела, що вносять вклад в невизначеність центру відмітки.

Таким чином треба оцінити декілька складових невизначеності, а саме:

- невизначеність Δ_1 в результаті зміни форми маркера на зображенні при відхиленнях вертексу;
- невизначеність Δ_2 що виникає внаслідок неоднорідності освітлення;
- невизначеність Δ_3 через обмежену роздільну здатність камери.

Ці невизначеності можуть бути виражені через радіус маркера r на зображенні на початку дослідження.

Експериментальними дослідженнями були встановлені верхні границі для складових невизначеності при максимальних відхиленнях вертексу від початкового положення:

$$\Delta_1 < 0.5r; \Delta_2 < 0.3r; \Delta_3 < 0.2r.$$

Через відсутність інформації про розподіли величин Δ_1 , Δ_2 і Δ_3 для них прийнятий рівномірний розподіл. Таким чином для оцінки невизначеності пошуку центру маркера необхідно об'єднати три складові з рівномірним розподілом.

Оцінювання невизначеності знаходження центру маркера має бути проведено до виконання алгоритму обробки отриманих даних, де повинні працювати механізми врахування невизначеності при побудові розподілів ймовірності X , Y . Тому ця процедура має виконуватись автоматично для кожного дослідження (серії кадрів). Так як невизначеність оцінюється на основі апріорі висунутих гіпотез про розподіли Δ_1 , Δ_2 і Δ_3 , а не як результат статистичної обробки результатів прямих вимірювань, то невизначеність оцінюється по типу В, тобто не статистичними методами.

Зазвичай при об'єднанні невизначеностей використовують положення центральної граничної теореми [5], згідно з якою розподіл комбінованої невизначеності центру маркера може бути апроксимований нормальним розподілом.

Однак, у даному випадку комбінована невизначеність обчислюється лише для трьох складових, серед яких складова Δ_1 являється домінують, тому апроксимація комбінованої невизначеності нормальним законом буде незадовільною [6].

В такому разі для визначення закону розподілу комбінованої невизначеності використовувати операцію згортки розподілів, яка дає більш точні результати. Однак, так як оцінку невизначеності потрібно обчислювати для кожного дослідження, то реалізація процедури згортки потребує значних обчислювальних витрат.

Тому для пошуку розширеної невизначеності центру маркера, який орієнтований на випадки, коли центральна гранична теорема не може бути застосована, доцільно використовувати інтервальний аналіз з компенсацією.

В результаті проведеного дослідження були виявлені залежності, котрі дозволяють знаходити оптимальний рівень компенсації.

Були розраховані коефіцієнти поліномів четвертого ступеня, які можуть бути використані при розробленні програмного забезпечення для пошуку розширеної невизначеності.

Програмна реалізація інтервального аналізу не використовує операції згортки і реалізує лише функції пошуку максимуму та мінімуму, що значно спрощує оцінювання невизначеності. Ефективність отриманих результатів можна оцінити за даними з табл.1 та табл.2.

Таблиця 1.

Відносна похибка при об'єднанні трьох складових невизначеності для різних домінуючих законів з припущенням нормальності результуючого розподілу (без компенсації)

Закон \ P_D	Рівномірний	Сімпсона	Лапласа	Арксинусої-дальний
$P_D = 0.90$	3%	1%	6%	7%
$P_D = 0.95$	9,2%	2,6%	6%	14%
$P_D = 0.99$	21%	9,5%	6%	28%

Таблиця 2.

Відносна похибка при об'єднанні трьох складових невизначеності для різних домінуючих законів з використанням компенсації результатів інтервального аналізу

Закон \ P_D	Рівномірний	Сімпсона	Лапласа	Арксинусої-дальний
$P_D \approx 0.90$	1,5%	0,8%	0,6%	2%

Як видно з таблиць запропонований підхід при рівномірно розподіленій домінанті дозволяє зменшити відносну похибку знаходження розширеної невизначеності удвічі. Значне зменшення похибки спостерігається у випадку домінант з законами Лапласа та арксинусоїдальним. Незначне зменшення для закону Сімпсона пояснюється близькістю цього закону до нормального і в цьому випадку

результуючий розподіл добре наближається до нормального.

Блок – схема алгоритму роботи програми приведена на рис. 3.



Рис.3. Блок – схема алгоритму роботи програми

Відповідно до блок – схеми (рис. 3) з використання мови програмування C++, розроблена програма для кефалографічного комплексу, яка забезпечує процес зняття та обробки фазових портретів.

Кадри зображення надходять з частотою 10 Гц, тобто на оброблення одного кадру достатньо часу, щоб виконати цей алгоритм у реальних умовах.

Таким чином, отримані в результаті досліджень фазові портрети (рис. 4) представляють собою не тільки координати відзнятих точок, а й характеристики їх невизначеності, що дозволить більш точно опрацьовувати отримані дані.

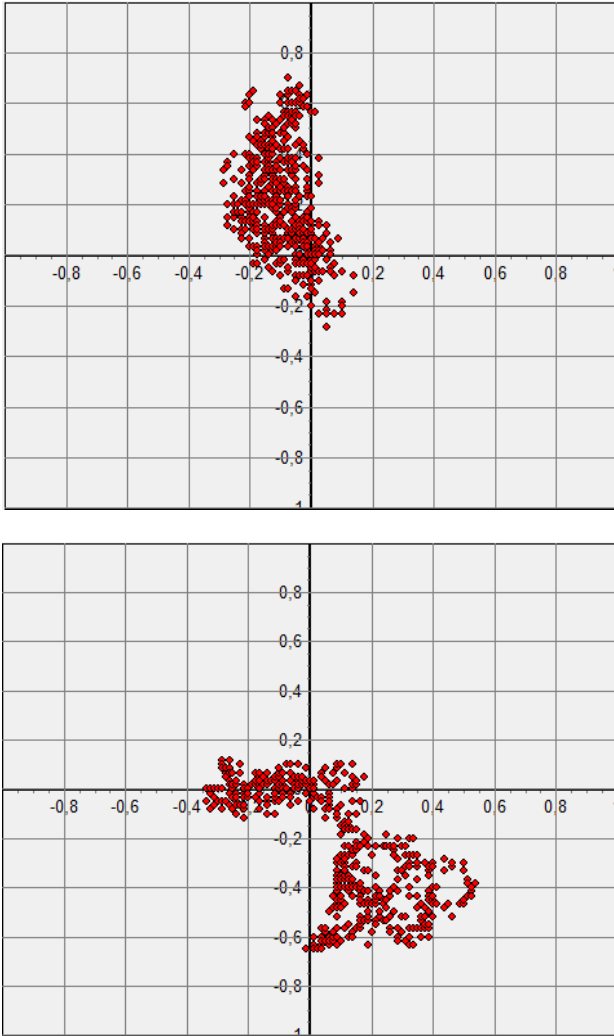


Рис.4. Типові фазові портрети.

Висновки.

Проведений аналіз показав що для зменшення обчислювальних затрат доцільно використовувати інтервальну оцінку невизначеності обчислення координат положення вертексу в просторі з компенсацією. Використання в алгоритмах обробки кефалографічних даних оцінок невизначеності результатів дозволяє підвищити точність знаходження центру маркера та побудови фазових портретів.

Список літератури

1. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Дворнік М.В., Оникієнко Ю.Ю. Використання мереж Петрі для топологічного моделювання. – К.: НАУ, Електроніка та системи управління. –2010 – №2. – С. 129 – 134
2. Бабияк В.И., Ланцов А.А., Базаров В.Г. Клиническая вестибулология: Руководство для врачей. - Ст-Петербург. Гиппократ.-1996
3. Паламарчук В.В. Портативная установка для кефалографии // Журнал ушных, носовых и горловых болезней. – 1982. - №5. С.76-77
4. Давид А. Форсайт, Джин Понс. Компьютерное зрение. Современный подход. - Ст-Петербург: Вільямс. – 2004. – 928 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.-М.: Наука.- 1969. – 576 с.
6. ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Додаток G.6.5.

Відомості про авторів



Кузовик В'ячеслав Данилович, д. т. н., проф., зав. кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету
E-mail: bikam_nau@mail.ru
тел. 406-71-98



Гамов В'ячеслав Георгієвич, голова комітету з фізичного виховання та спорту міністерства освіти та науки України
E-mail: ukrspilka@nbi.com.ua,
тел. 486-64-36



Оникієнко Юрій Юрійович, асистент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету
E-mail: onik_j@ukr.net,
тел.406-74-42

Стаття надійшла до редакції 15.05.2010 р.