

**Кутковецький В. Я.,**

д-р техн. наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна,  
valentin.kutkovetsky@gmail.com

**Турти М. Ю.,**

студент кафедри захисту інформації,  
Національний кораблебудівний університет ім. Адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна,  
turty@ua.com

**Гриза О. В.,**

магістрант кафедри комп'ютерної інженерії,  
ЧНУ ім. П. Могили,  
м. Миколаїв, Україна,  
hryza7@gmail.com

## ГРАНУЛЬОВАНИЙ ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБРАЗ ХВОРОБИ В N-ВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

*Розглянутий спосіб відображення у візуальному вигляді показників медичного датчика контролю стану здоров'я пацієнта, який спрямований на узагальнення даних різних датчиків. Система попереджає про перехід одного з параметрів визначеної межі, а також про небезпечне наближення кількох параметрів до значень, які у сукупності складають загрозу для здоров'я людини (хоча жоден з параметрів не перейшов визначену межу). Розглянутий спосіб візуальної інформації може бути застосованим також для будь-якої складної n-вимірної інтелектуальної системи з метою її захисту, керування роботою, прогнозування аварійних ситуацій, проектування ремонтних робіт тощо. На його основі можна оцінювати загальний стан системи без розгляду окремих її параметрів.*

**Ключові слова:** інтелектуальний медичний датчик; грануляція; рівень небезпеки стану здоров'я.

**Постановка проблеми.** При нагляді за допомогою інтелектуальної системи з використанням медичних датчиків за даними спортсменів, старих чи хворих дорослих людей та дітей стосовно їх поточного фізичного стану, які сигналізують про їх фізичні дані, обслуговуючий персонал найліпшим чином сприймає візуальну геометричну інформацію.

Тому для підвищення якості обслуговування пацієнта за допомогою інтелектуальної системи бажано на додаток до світлової, звукової та мовної інформації ввести візуальну геометричну інформацію про поточний стан хворого і ступень наближення його стану до небезпечних загроз.

Проблему відображення на площині поточної інформації стосовно геометричного образу хвороби у n-вимірному просторі можна розв'язати на основі аналітичної геометрії в n-вимірних тілесних кутах [1].

Питання відображення геометрії n-вимірного простору інтелектуальних систем спочатку розглянемо на прикладах одно-, дво- та трьох-вимірних систем.

Визначення рівня небезпеки для пацієнта суб'єктивно оцінює експерт. Небезпека і її рівень може залежати від багатьох чинників, включаючи стан здоров'я пацієнта і тому наведені нижче приклади приз-

начені лише для пояснення принципів аналізу процесів та експлуатації інтелектуальної системи.

**Метою** роботи є розгляд питань, потрібних для створення візуального геометричного відображення показників стану здоров'я пацієнту на моніторі, при наданні ієрархічного аварійного сигналу загрози у випадках:

- перевищення одним з параметрів дозволеної межі;
- зміни декількох параметрів, які, не переходячи заборонені границі, загрозово наближаються до цих границь;
- перевищення дозволених границь декількома параметрами з небезпечним зростанням інших параметрів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Гранульовані розрахунки (Granular Computing, GrC по даним не метричної природи (гуманітарних наук, хімії, біології, геології тощо) широко розповсюджені в системах штучного інтелекту [2-10].

Під гранулою розуміють: частка цілого, інтервал, кластер, множина (лінгвістична, нечітка, наближена, вкладена), підзадача, заданий діапазон значень змінних (у сенсі Л. Заде), одиниця знання. Гранули ді-

ляться на одно- і багато-вимірні; гранули знань; гранули даних; часові та просторові тощо. Рівень грануляції можна розглядати як число об'єктів універсуму, поділене на загальну кількість атомарних гранул. Гранули можуть об'єднуватись у більші гранули та роз'єднуватись на дрібніші гранули.

Множина гранул може утворювати універсум.

Засновником теорії грануляції інформації та гранульованих розрахунків є Л. Заде [7, 8].

По Л. Заде грануляційні розрахунки описуються засобами обмеженої природної мови на основі узагальнених обмежень. Основними задачами гранульованих розрахунків є будівництво, інтерпретація, використання гранул у візуально відображених образах. Л. Заде пропонує при роботі з неточною інформацією обирати найбільший рівень грануляції, який відповідає припустимому рівню неточності. Гранульовані розрахунки по Л. Заде – це новий напрямок обробки інформації, який охоплює методології, теорії, методи та інструментальні засоби по використанню гранул при розв'язку складних проблем на основі засобів обмеженої природної мови.

Окрема група об'єктів універсуму складають кластер (гранулу), якщо ці об'єкти мають ближчу відстань до центроїду кластера (до серединної точки даної групи, до «центру її тяжіння»), ніж до центроїду будь-якої іншої групи.

Грануляція на базі математичної оцінки сутності та взаємних зв'язків ознак призначена для поліпшення розуміння і наочного уявлення образів, якщо аналізуються неупорядковані, неформалізовані неметричні дані та дані з великим об'ємом інформації [2–10].

Наприклад, для отриманих з космосу даних по розподілу морського біопланктону необхідні математи-

чні моделі розвитку їх *геометричних форм* [6] та розв'язання задач збору, зберігання, передачі, обробки і аналізу багатовимірних даних. Ця задача може бути розв'язана на основі ідей розробленої Л. Заде теорії інформаційної грануляції [7, 8], яка дозволяє в десятки разів скоротити отриману інформацію. Для цього універсум розділяється на ряд *інформаційних гранул* з власними мірами схожості. *Складна гранула* може складатись з кількох *атомарних гранул*. Для деякої довільної гранули А на двовимірній мапі (на площині) визначаються проекції (координати)  $pr_x A$  та  $pr_y A$  і на цій базі задають інкапсулюючу декартову гранулу.

**Виклад основного матеріалу.** Припустимо, що у пацієнта вимірюється лише один параметр – температура  $t$ . У цьому випадку інформаційна система видає *графічний образ* розміщення параметра пацієнта у вигляді чорної точки на осі температури  $t$  з розмежуванням значень температури по степені їх небезпеки (рис. 1).

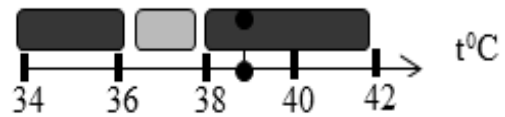


Рис. 1. Стан здоров'я пацієнта в одновимірному просторі

Якщо у пацієнта вимірюються два параметри (температура  $t$  та тиск  $p$ ), то геометричний образ хвороби в двовимірному просторі має вигляд рис. 2,а при роздільному аналізі параметрів та рис. 2,б при урахуванні їх сумісного впливу на здоров'я пацієнта.

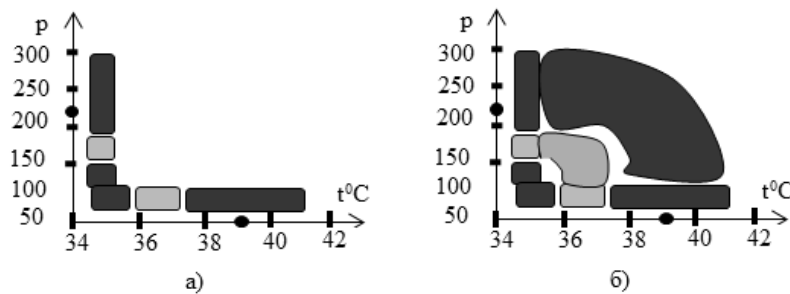
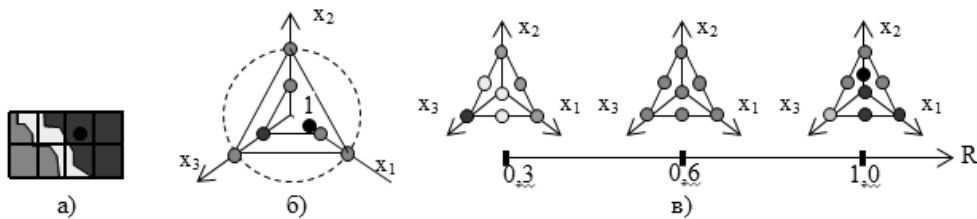


Рис. 2. Стан здоров'я пацієнта в двовимірному просторі

Якщо у пацієнта вимірюються три параметри (температура  $t$ , тиск  $p$  та серцебиття  $f$ ), то поверхня гіперсфери геометричного образу хвороби в трьохвимірному просторі може бути відображена згідно аналітичної геометрії в  $n$ -вимірних тілесних кутах [1] у вигляді 8-ми октантів рис. 3,а для  $n=3$ . При будь-яких параметрах пацієнта, його стан може поточно аналізуватись лише в одному активованому тілесному куті

на поверхні гіперсфери заданого радіусу (як це показано на рис. 3,а,б,в). Тілесні кути активуються по одному, по черзі, а всі інші тілесні кути не активовані. Методом зміни початку координат можна перевести всі процеси і стани, лише в один кут у вигляді рис. 3,в, на якій показані «гіперповерхні», як частки гіперсфер, для різних радіусів порожнистих «гіперкуль», що вкладені одна в одну [1].



**Рис. 3.** Умовний стан здоров'я пацієнта в трьохвимірному просторі (кольором показаний рівень загрози; чорна куля – стан пацієнта): а) – наведені всі тілесні кути при  $g=3$  і одному радіусі гіперсфери; б) – наведений один тілесний кут при двох радіусах «гіперсфери» (цифрою «1» вказаний поточний номер радіуса «гіперсфери»); в) – наведений один тілесний кут при трьох радіусах «гіперсфери».

Аналогічним чином наочну геометричну інформацію на поверхнях гіперсфер різних за радіусом  $R$  Т-кутів у 3-х вимірному «гіперпросторі» зобразимо на площинах трикутників рис. 3,в. Її зображено зміною кольорів кольорових кульок (прямокутників, трикутників чи інших фігур), розміщених по осях ( $x_1, x_2, x_3$ ), а також по площині. Форма фігур може свідчити про вимірювані дані, а колір – про ступень небезпеки для пацієнта.

З математичної точки зору змінні ( $t, p, f, v$ ) теж можна уявити незалежними і розміщеними по взаємно перпендикулярним осям. При відомих максимальних значеннях змінних ( $t, p, f, v$ ) всі практично можливі точки координат, які характеризують стан людини у вигляді деякої складної функції  $Q(t,p,f,v)$ , розміщуються всередині Т-кута з позитивними (у цьому випадку) значеннями координат всередині деякої кулі.

Геометричну наочну інформацію можна фіксувати у різному вигляді:

- ізолініями (гранулами) на поверхні гіперсфери;

- годографом вектора поточного стану пацієнта;
- розміщенням паралельно осей координат з вказівкою реальних параметрів і стану пацієнта з додаванням текстової та голосної інформації;
- положення окремих векторів та центроїда їх кластерів;
- положення стану пацієнта на кількох мапах при різних радіусах гіперкулі;
- текстових повідомлень та повідомлень голосом [1].

*Розглянемо графічну геометричну інформацію у n-вимірному просторі. Порядковий номер Т-кута 5-вимірного простору у двоїстому значенні визначається в результаті призначення коду «1» позитивній частці осі  $x_j$  і коду «0» – негативній частці  $x_j$  (табл. 1) [1]. Цей двоїстий номер переводиться у десятинний номер  $K_i$ . Позначення осей у цьому випадку приведена у зворотному напрямку.*

Таблиця 1

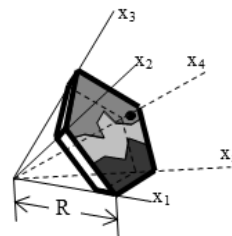
**Нумерація Т-кутів у 5-вимірному просторі [1]**

Номер $T_g^{n=5}$ -кута						Сусіди 4 (мають 4 збіжні біти)	...	Сусід 0 (всі біти незбіжні)
Десятинний номер $K_i$	Двоїстий номер							
	$x_5$	$x_4$	$x_3$	$x_2$	$x_1$			
0	0	0	0	0	0	1, 2, 4, 8, 16	...	31
1	0	0	0	0	1	0, 3, 5, 9, 17	...	30
2	0	0	0	1	0	0, 3, 6, 10, 18	...	29
...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	1	1	1	1	0	14, 22, 26, 28, 31	...	1
31	1	1	1	1	1	15, 23, 27, 29, 30	...	0

0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

Північний кут гіперкулі

Південний кут гіперкулі



а)

б)

**Рис. 4.** Геометрична інформація про рівень небезпеки у 5-вимірному просторі

На рис. 4,а наведена порядкова нумерація Т-кутів з виділенням на рис. 4,б графічного образу поверхні гіперсфери відповідного радіуса  $R$ .

На поверхні гіперсфери рис. 4,б показаний у вигляді чорного кола стан об'єкта, а ступінь загрози для

об'єкта позначений зеленим, жовтим та червоним кольором.

На рис. 5 наведений приклад надання геометричної інформації про рівень небезпеки у n-вимірному просторі.

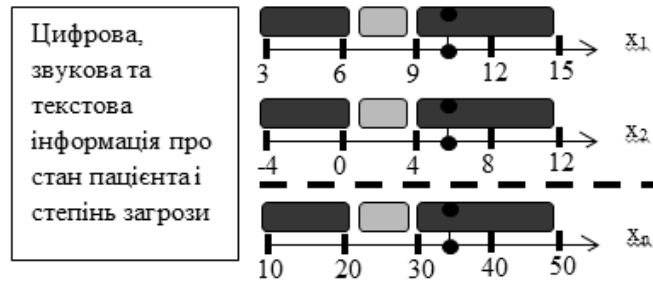


Рис. 5. Геометрична інформація про рівень небезпеки у n-вимірному просторі

Якщо у пацієнта вимірюються чотири параметри (температура  $t$ , тиск  $p$ , серцевиття  $f$  та вологість  $v$ ), то геометричний образ хвороби в чотирьохвимірному

просторі зображується на поверхні гіперсфери заданого радіусу [1] і може мати вигляд рис. 4.

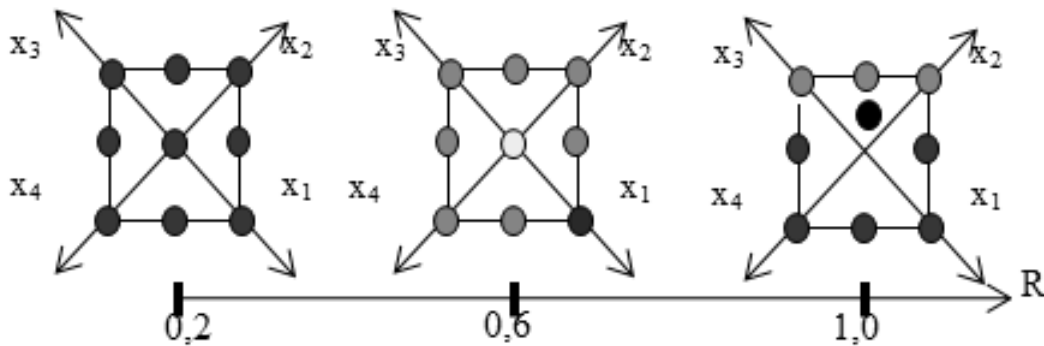


Рис. 6. Стан здоров'я пацієнта в чотирьохвимірному просторі

На цих Т-кутах можна відобразити поточне положення медичного стану пацієнта. Цей стан відображується на поверхнях порожнистих гіперкуль, вставлених одна в одну. Самі поверхні гіперкуль можуть вказувати кольором чи іншим заповненням ступень небезпеки для здоров'я людини. В історію хвороби поряд з іншими даними можуть записуватись числові значення координат змінних, які описують стан пацієнта, з позначенням кольором стану загрози.

Гіперкулею n-вимірного простору зветься геометричне тіло, всі точки якого з координатами  $X=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$  знаходяться від центру на відстані, не більшої за гіперрадіус (рис. 7)

$$R_1 = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j^2} \Rightarrow R_2 = \sqrt{t^2 + p^2 + f^2 + v^2} \quad (1)$$

де  $R_1, R_2$  – радіуси – вектори в n-вимірному просторі;  $x_j$  – змінна, яка характеризує стан хворої людини;  $j=1, 2, \dots, n$  – порядковий номер змінної  $x_j$ .

Тут змінні  $x_j$  [або  $(t, p, f, v)$ ] з метою запобігання неоднакового впливу на рішення малих і великих цифр параметрів представлені у відносних одиницях по відношенню до нормальних або деяких граничних значень.

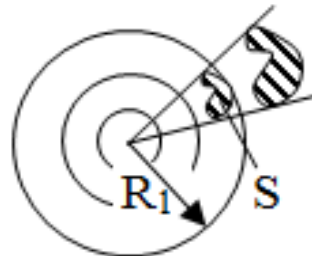


Рис. 7. Гіперкуля із зовнішнім радіусом  $R_1$  з вкладеними одна в одну порожнистими гіперкулями та тілесним гіперкутом, що спирається на площу  $S$  гіперсфери радіусом  $R_1$ .

В інтелектуальних системах ми розглядаємо деяку складну залежність  $Q(R)$ , де  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$  – радіус гіперкулі. З формули (1) випливає, що при нормалізації всіх змінних максимальні значення всіх параметрів тіла людини ( $t, p, f, v$ ) можуть бути обме-

жені значенням граничного радіусу  $R_i$  відповідної гіперкулі, де  $i=1, 2, 3$  – порядковий номер радіусу.

Подібна інформація має ту перевагу, що вона є чутливішою до випадків, коли одночасно кілька змінних наближуються до недозволеної границі, бо в існуючих інформаційних системах звичайно не розгляда-

ється небезпека здоров'ю людини у випадках, коли граничний рівень не перевищується, але разом з тим ряд параметрів може наближуватись до граничних рівнів.

Формула (1) встановлює загальний вигляд граничної геометричної залежності між змінними. Для більшої зручності у визначенні інформаційної функціональної залежності бажано, щоб параметри людини ( $t, p, f, v$ ) у нормальному стані давали інформацію у вигляді

$$R_3 = k_R \sqrt{\sum_{j=1}^n k_j x_j^2} \Rightarrow R_4 = k_R \sqrt{(k_t t)^2 + (k_p p)^2 + (k_f f)^2 + (k_v v)^2}, \quad (2)$$

де  $k_R = 0 \dots 1$  – коефіцієнт зведення радіусів  $R_3$  та  $R_4$  до 1 при нормальних параметрах ( $t, p, f, v$ ) здорової людини;  $k_t, k_p, k_f, k_v$  – коефіцієнти впливу, які змінюються у межах  $0 \dots 1$ , для урахування того, що різні координати - параметри ( $t, p, f, v$ ) по різному впливають на загрозу здоров'ю; ( $t, p, f, v$ ) – параметри, які представлені у відносних одиницях по відношенню до номінальних значень здорової людини. Відносні одиниці використані з метою запобігання неоднакового впливу на рішення малих і великих цифр параметрів.

Якщо  $R > R_i^{\max}$  (або  $R < R_i^{\min}$ ),  $i = 1, 2, 3$ , то використовують наступні найбільш розповсюджені три рівня аварійної сигналізації:

- $R_{r1}^{\max}$  ( $R_{r1}^{\min}$ ) – наближення до аварійної ситуації (постійний жовтий світловий сигнал);

- $R_{r2}^{\max}$  ( $R_{r2}^{\min}$ ) – аварійна ситуація (червоний світловий сигнал, звуковий сигнал);

- $R_{r3}^{\max}$  ( $R_{r3}^{\min}$ ) – аварійна ситуація підвищеного ризику (блискаючий червоний світловий сигнал, перериваний звуковий сигнал).

- $R_{r4}^{\max}$  ( $R_{r4}^{\min}$ ) – сигнал про аварійну ситуацію прийнятий обслуговуючим персоналом, але аварійний стан ще не усунений (червоний світловий сигнал без звукового сигналу).

Внаслідок складності обмежуючої функції (2), її коефіцієнти нелінійно залежать від змінних. Використання згідно аналітичної геометрії  $n$ -вимірних тілесних кутів двовимірної мапи для відображення процесів  $Q(R)$  в  $n$ -вимірному просторі підвищує наочність аналізу; дозволяє перевести всі процеси в один тілесний кут з відповідним графічним зображенням.

Хоча пропонується напрямком може бути розширеним на  $n$ -вимірний простір з довільною кількістю змінних і довільним характером інформації, нижче для спрощення ми будемо розглядати хвору людину, у якій контролюється лише температура тіла  $t$ , тиск крові  $p$ , ритм серця  $f$  та зволоження  $v$ .

ді радіуса  $R$ , рівного 1, зі збільшенням  $R_{при}$  подальшому зростанні ( $t, p, f, v$ ).

У формулі (1) потрібно урахувати:

- змінні ( $t, p, f, v$ ) у хворого є взаємно залежними: якщо  $t > T_{\max}$ , то інші змінні ( $p, f, v$ ) теж можуть збільшуватись;

- різні змінні по-різному впливають на рівень загрози щодо пацієнта.

Для аналізу пропонується використовувати модифіковану формулу (1), наприклад, у вигляді

Звичайно ці параметри контролюються окремими датчиками, які сигналізують про перевищення деякого граничного рівня ( $t > T_{\max}, p > P_{\max}, f > F_{\max}, v > V_{\max}$ ), або про не дозволене зниження числових значень параметрів ( $t < T_{\min}, p < P_{\min}, f < F_{\min}, v < V_{\min}$ ).

В подібних інтелектуальних системах виникає додаткова потреба у наявності загального сигналу із загальною характеристикою рівня безпеки одночасно по всім параметрам при довільному їх значенні, бо обслуговуючому персоналу насамперед потрібно знати загальний рівень безпеки і рівень потреби у допомозі у випадку одночасної появи аварійних сигналів від кількох пацієнтів.

#### Висновки.

1. Розглянута інтелектуальна система поряд з іншими сигналами видає **візуальний** ієрархічний аварійний сигнал загрози з вказівкою пріоритету надання медичної допомоги: якщо один з параметрів перевищив дозволувану межу; якщо декілька параметрів, не переходячи заборонені границі, загрозово наближаються до вказаних границь  $n$ -вимірного простору; якщо перевищення декількох параметрів супроводжується небезпечним зростанням інших параметрів.

2. Розглянута система спрямована на збереження здоров'я пацієнтів, поліпшення умов його обслуговування і полегшення умов роботи обслуговуючого персоналу за рахунок надання йому інформації про ієрархічність обслуговування пацієнтів. Система може бути пристосованою для використання бездротового зв'язку і для автоматизованого запису в історію хвороби.

3. Розглянутий спосіб візуальної інформації може бути застосованим також для будь-якої складної  $n$ -вимірної інтелектуальної системи з метою її захисту, керування роботою, прогнозування аварійних ситуацій, проектування ремонтних робіт тощо. На його основі можна оцінювати загальний стан системи без розгляду окремих її параметрів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кутковецький В.Я. Аналітична геометрія в  $n$  – вимірних тілесних кутах // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Вип. 254. – Т. 266. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. – С. 30 – 41.
2. Bargiela A., Pedrich W. Granular Computing: an Introduction/ - Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003. – P 425.
3. Pedrich W., Skowron A., Kreinovich V. Handbook of Granular Computing – New York: Wiley InterScience, 2008. – P 1116.
4. Kuznetsov, S.O., Ślęzak, D., Hepting, D.H., Mirkin, B.G. Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular Computing: 13th International Conference, RSFDGrC 2011, Moscow, Russia, June 25–27, 2011. – P 370.

5. Lin, T.Y.: Granular computing I: the concept of granulation and its formal model. International Journal of Granular Computing, Rough Sets and Intelligent Systems – P. 220.
6. Baltavias E., Hahn M. Integration Of Image Analysis And Gis //ISPS Comission IVS ymposium «GIS – between Visionand Application». – Stuttgart (Germany), 1999. – P. 669–676.
7. Zadeh L.A. Fuzzy Sets and Information Granularity // Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, M. Gupta, R. Ragade, and R. Yager, Eds. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland. – 1979. P. 3–18.
8. Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic // Fuzzy Sets Syst. – Vol. 90.–1997. – P. 111–127.
9. Бутенков С. А. Грануляция и инкапсуляция в системах эффективной обработки многомерной информации // Искусственный интеллект. 2005. №4. – С. 106–115.
10. Klein F. Elementarmathematik vorn Hoheren Standpunkte Aus Ester Band. – Berlin : Verlag von Julius Springer, 1924. – P. 322.

**В. Я. Кутковецкий,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
**М. Ю. Турты,**  
Национальный университет  
кораблестроения им. Адм. Макарова,  
**А. В. Грыза,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ОБРАЗ БОЛЕЗНИ В N-МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

*Рассмотрен способ отображения в визуальном виде показателей медицинского датчика для контроля состояния здоровья пациента, который обобщает данные различных датчиков. Система предупреждает о переходе одного из параметров определенной границы, а также об опасном приближении нескольких параметров до значений, которые в совокупности представляют угрозу для здоровья человека (хотя ни один из параметров не перешел запрещенную грань). Рассмотренный способ отображения визуальной информации может быть применен также для любой сложной n-мерной интеллектуальной системы с целью ее защиты, управления работой, прогнозирования аварийных ситуаций, проектирование ремонтных работ и тому подобное. Данный способ позволяет оценить общее состояние системы без рассмотрения отдельных ее параметров.*

**Ключевые слова:** интеллектуальный медицинский датчик; грануляция; уровень опасности для здоровья.

**V. Y. Kutkovetskiy,**  
Petro Mohyla Black Sea  
National University,  
**M. Y. Turty,**  
The Admiral Makarov National University  
of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine  
**O. V. Hryza,**  
Petro Mohyla Black Sea  
National University,  
Mykolaiv, Ukraine

## THE GEOMETRIC IMAGE OF THE DISEASE IN N-DIMENSIONAL SPACE

*It is considered the way of patients' medical visual health monitoring by the sensor, which summarizes the data from various another sensors. The system warns the transition of one of the parameters a certain limit, as well as the dangerous approach of several parameters to val-*

ues, which together represent a threat to human health (although none of the parameters are not passed forbidden limit).

The problem of display on the plane of the current information about the geometric form of the disease in the  $n$ -dimensional space can be solved on the basis of analytic geometry in the  $n$ -dimensional solid angles.

Granulation based on mathematical evaluation of the nature and mutual relations of variables is designed for visual presentation of images when is analyzed disordered, not formalized metric data and the data from the large amount of information.

It is considered a way to display the visual information, that can also be applied to any complex  $n$ -dimensional intellectual system with goal: to protect it, for performance of management, for forecasting of emergency situations, for the design of repairs and the like. This method makes it possible to assess the overall state of the system without consideration of its individual parameters.

**Key words:** intelligent medical sensors; granulation; the level of danger to health.

**Рецензенти:** д. п. н. проф. **О. П. Мещанінов;**  
д. т. н. проф. **М. П. Мусієнко.**

© Кутковецький В. Я., Турти М. Ю., Гриза О. В., 2016

Дата надходження статті до редколегії 28.03.16