

УДК 681.5.013 (045)

О. В. Вишнівський, канд. техн. наук

СИНТЕЗАТОР ЗВУКОВОГО РЯДУ НА ОСНОВІ ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУІнститут аерокосмічних систем управління, inbox@vishnevsky.org*Запропоновано модель структури, здатної формувати звуковий ряд для впливів на об'єкт керування – головний мозок людини.***Ключові слова:** звуковий ряд, випадковий процес, електронний композитор, алгоритм керування, об'єкт керування, нейронна мережа.

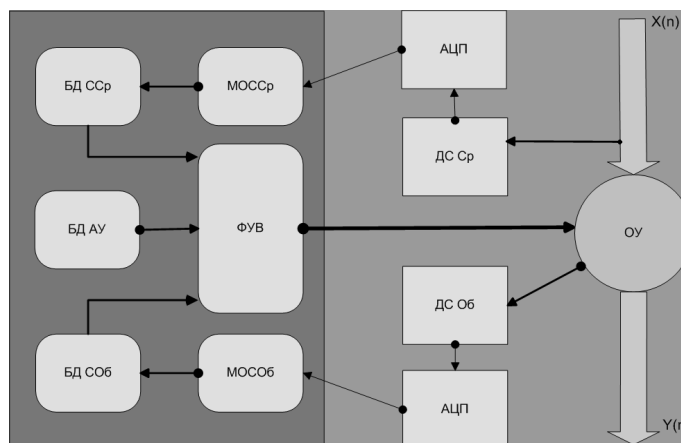
Вступ. Автоматизована система керування (АСК) (електронний композитор) *AQUARIUS* © (Водолій) є програмним продуктом, який дозволяє синтезувати програмним способом монофонічну, поліфонічну, діатонічну, пентатонічну та хроматичну музику з можливістю перетворення її як у стандартний *mp3*-файл, так і в класичну нотну партитуру, яку можна роздрукувати на принтері.

Постановка проблеми. Велика кількість професій потребує від людини високого ступеня концентрації уваги, доброї короткотермінової та довготермінової пам'яті, швидкої та безпомилкової рефлексивної здатності. Сучасне інформаційне суспільство та інформаційний світ потребують від людини максимальної трудової віддачі, яка неможлива без спеціальної підготовки, психотренінгів та релакс-терапії. Саме тому проблематика розроблення спеціальних методів інформаційної психопідготовки суб'єктів таких професій є актуальним завданням у відповідних наукових дослідженнях.

Аналіз досліджень та публікацій. Ідеологію моделювання було запропоновано в праці [1] та розвинено в [2]. Математику дробової похідної, використаної для формування функції активації об'єкта керування, запропонував доктор технічних наук В. В. Васильєв [3].

Постановка завдання. Метою дослідження є практична реалізація програмного коду, покликаною синтезувати звуковий ряд для подальшого використання у сфері системної психодіагностики, психокорекції та психорелаксації.

Реалізація завдання. Схему АСК *AQUARIUS*, створену на підставі посібника [4, с. 15], показано на рис. 1. Вона складається з 10 функціональних блоків.

Рис. 1. Структурна схема АСК *AQUARIUS* ©

Формувач керувальних впливів складається з послідовно з'єднаних (на рис. 1 не показано) блока формування оператора перенесення \mathfrak{R} та блока функції активації.

Функція активації. Використано функцію активації, що ґрунтується на розв'язанні лінійного диференціального рівняння з дробовою похідною за Капуто [3]

$${}_0^C D_x^\beta y(x) + a(x)y(x) = f(x), \quad (1)$$

з такими початковими умовами:

$$y(0) = y_0, 0 \leq x < X, 0 < \beta < 1,$$

де

$${}_0^C D_t^\beta y(x) = \frac{1}{\Gamma(n-\beta)} \int_0^x (x-\tau)^{n-\beta-1} \frac{dy^n(\tau)}{d\tau^n} d\tau, \quad n-1 < \beta < n;$$

$$\Gamma(n-\beta) = \int_0^\infty e^{-t} t^{n-\beta-1} dt, \quad \operatorname{Re}(n-\beta) > 0; \quad y(x) \text{ – сигнал на виході формувача керувальних}$$

впливів.

Дробову похідну порядку 1/2 використано для більш тонкої стимуляції об'єкта керування – головного мозку людини – який є за своєю суттю 3D фрактальним середовищем [5] та складається з 100 000 000 000 нервових клітин, з'єднаних між собою в складну нейронну мережу (рис. 2).

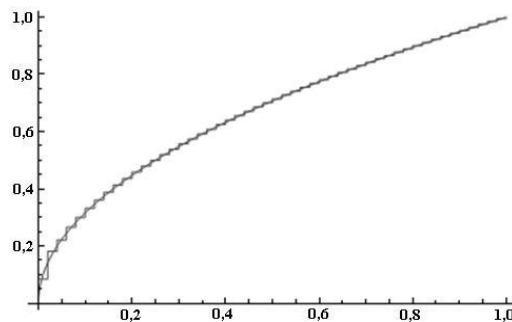


Рис. 2. Точний та апроксимаційний розв'язок рівняння (1) – активаційна функція

Блок формування оператора перенесення. Цей блок являє собою алгоритм, який програмним шляхом перетворює значення рівномірно розподіленої випадкової величини $w(n)$ на звуковий ряд, що визначається використанням оператором перенесення \mathfrak{R} . Наприклад, оператором перенесення шістнадцятої ноти `light_water::_16(int length)` («світлої», або «живої» води) є

```
void light_water::_16(int length)
{
    stream = fopen("out.mid", "a+");
    //light water
    length=length*16;
    for(int i=1;i<=length;i++)
    {
        ... //w
 $\mathfrak{R}_L =$  fprintf(stream, "%c", l[w]);
        fprintf(stream, "%c", 0x64);
        fprintf(stream, "%c", 0x1E);
        fprintf(stream, "%c", l[w]);
        fprintf(stream, "%c", 0);
        fprintf(stream, "%c", 0);
    }
    fclose(stream);
} //end_16
```

Тут з урахуванням діатонічного ладу:

```

|//////////light water array
|I[1]=40; I[2]=41; I[3]=43; I[4]=45; I[5]=47; I[6]=48; I[7]=50;
|I[8]=52; I[9]=43; I[10]=55; I[11]=57; I[12]=59; I[13]=60; I[14]=62;
|I[15]=64; I[16]=65; I[17]=67; I[18]=69; I[19]=71; I[20]=72; I[21]=74;
I[w]= |I[22]=76; I[23]=77; I[24]=79; I[25]=81; I[26]=83; I[27]=84; I[28]=86;
|I[29]=88; I[30]=89; I[31]=91; I[32]=93; I[33]=95; I[34]=96; I[35]=98;
|I[36]=100;I[37]=101;I[38]=103;I[39]=105;I[40]=107;I[41]=108;I[42]=110;
|I[43]=112;I[44]=113;I[45]=115;I[46]=117;I[47]=119;I[48]=120;I[49]=122;
|I[50]=124;I[51]=125;I[52]=127;

```

Вихідний сигнал отримаємо за формулою

$$Y(n) = \Re_L[X(n)],$$

де $X(n) = |w=\text{random}(42)+1$ - програмна модель випадкового процесу з рівномірним розподілом.

Оператором шістнадцятої ноти `dark_water::_16(int length)` («темної», або «мертвої» води) є

```

|void dark_water::_16(int length)
|{
|stream = fopen("out.mid", "a+");
|//dark water
|length=length*16;
|for(int i=1;i<=length;i++)
|{
|w=random(60)+41;
R_D = |fprintf(stream, "%c", d[w]);
|fprintf(stream, "%c", 0x64);
|fprintf(stream, "%c", 0x1E);
|fprintf(stream, "%c", d[w]);
|fprintf(stream, "%c", 0);
|fprintf(stream, "%c", 0);
|}
|fclose(stream);
|} //end_16

```

Хроматичний лад означає:

```

|dark_water::dark_water()
|{
d[w]= |for(int i=1;i<=120;i++)
|d[i]=i;
|}

```

Принцип конекціонізму, відомий у теорії нейронних мереж [4; 6], надає першочергового значення матриці вагових коефіцієнтів $|\Psi|$.

Тому можливе тут використання автобазисного оператора [4] перетворення вхідного сигналу $s(t)$ в дійсній або комплексній формі:

$$\begin{aligned}
 Y(t)_1 &= \begin{vmatrix} \Psi_{1,1} & \Psi_{1,2} & \dots & \Psi_{1,N} \\ \Psi_{2,1} & \Psi_{2,2} & \dots & \Psi_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{N,1} & \Psi_{N,2} & \dots & \Psi_{N,N} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} s(t)_1^1 \\ s(t)_2^1 \\ \dots \\ s(t)_N^1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s(t)_1^1 \\ s(t)_2^1 \\ \dots \\ s(t)_N^1 \end{vmatrix}^*, \\
 Y(t)_2 &= \begin{vmatrix} \Psi_{1,1} & \Psi_{1,2} & \dots & \Psi_{1,N} \\ \Psi_{2,1} & \Psi_{2,2} & \dots & \Psi_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{N,1} & \Psi_{N,2} & \dots & \Psi_{N,N} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} s(t)_1^2 \\ s(t)_2^2 \\ \dots \\ s(t)_N^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s(t)_1^2 \\ s(t)_2^2 \\ \dots \\ s(t)_N^2 \end{vmatrix}^*, \\
 &\dots \\
 Y(t)_N &= \begin{vmatrix} \Psi_{1,1} & \Psi_{1,2} & \dots & \Psi_{1,N} \\ \Psi_{2,1} & \Psi_{2,2} & \dots & \Psi_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{N,1} & \Psi_{N,2} & \dots & \Psi_{N,N} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} s(t)_1^N \\ s(t)_2^N \\ \dots \\ s(t)_N^N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s(t)_1^N \\ s(t)_2^N \\ \dots \\ s(t)_N^N \end{vmatrix}^*. \\
 Y(*)_1 &= \begin{vmatrix} \Psi_{1,1} e^{i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{1,2} e^{2i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{1,N} e^{Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\ \Psi_{2,1} e^{(N+1)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{2,2} e^{(N+2)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{2,N} e^{2Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{N,1} e^{(N \times N - (N-1))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{N,2} e^{(N \times N - (N-2))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{N,N} e^{N \times Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} s(t)_1^1 \\ s(t)_2^1 \\ \dots \\ s(t)_N^1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s(*)_1^1 \\ s(*)_2^1 \\ \dots \\ s(*)_N^1 \end{vmatrix}, \\
 Y(*)_2 &= \begin{vmatrix} \Psi_{1,1} e^{i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{1,2} e^{2i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{1,N} e^{Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\ \Psi_{2,1} e^{(N+1)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{2,2} e^{(N+2)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{2,N} e^{2Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{N,1} e^{(N \times N - (N-1))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{N,2} e^{(N \times N - (N-2))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{N,N} e^{N \times Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} s(t)_1^2 \\ s(t)_2^2 \\ \dots \\ s(t)_N^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s(*)_1^2 \\ s(*)_2^2 \\ \dots \\ s(*)_N^2 \end{vmatrix}, \\
 &\dots \\
 Y(*)_N &= \begin{vmatrix} \Psi_{1,1} e^{i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{1,2} e^{2i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{1,N} e^{Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\ \Psi_{2,1} e^{(N+1)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{2,2} e^{(N+2)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{2,N} e^{2Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{N,1} e^{(N \times N - (N-1))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{N,2} e^{(N \times N - (N-2))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{N,N} e^{N \times Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} s(t)_1^N \\ s(t)_2^N \\ \dots \\ s(t)_N^N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s(*)_1^N \\ s(*)_2^N \\ \dots \\ s(*)_N^N \end{vmatrix}.
 \end{aligned}$$

Це використання може бути зручним способом отримання автокорельованого сигналу для комп'ютеризованої композиції музики з використанням програмного забезпечення *AQUARIUS*.

У такий спосіб отримуємо N^2 точок на осі t , що подають цільовий сигнал (складений з точок початкового сигналу), автокорельованих з початковим сигналом за допомогою запропонованого автобазисного оператора.

Тут $\frac{180^\circ}{\pi}k$, $k \in 1, \dots, N^2$ – фазор.

Якщо взяти замість автобазисного оператора деяку сторонню структуру, яка може за своєю природою бути довільною, то це може призвести до взаємної кореляції початкового і цільового сигналів і породити деякий «зміщений» сигнал. Це може виявитись корисним у випадку застосування генетичних алгоритмів композиції звукового ряду.

Датчик стану середовища. Цей блок є реципієнтом та аналізатором вхідного сигналу, який у загальному випадку може бути як цифровим, так і аналоговим.

Датчик стану об'єкта вивчає вплив, здійснений АСК на об'єкт керування – головний мозок пацієнта. Ним може бути, наприклад, електроенцефалограф.

Аналогово-цифровий перетворювач потрібен для перетворення аналогового вхідного та вихідного сигналів у цифровий. У випадку цифрового вхідного або вихідного сигналу цей блок підлягає виключенню.

Модуль оцінювання стану об'єкта обробляє цифровий сигнал, отриманий з датчика стану об'єкта та поповнює базу даних стану об'єкта.

Модуль оцінювання стану середовища обробляє цифровий сигнал, отриманий з датчика стану середовища та поповнює базу даних стану середовища.

База даних стану середовища та база даних стану об'єкта необхідні для регулювання сигналу формувача керувальних впливів.

База даних алгоритмів керування зберігає сукупність операторів перенесення, які використовує формувач керувальних впливів при синтезі звукового ряду.

Об'єктом керування є головний мозок людини.

Звукові ряди, отримані за допомогою АСК *AQUARIUS* ©, зображено на рис. 3 для випадків «живої води» (а, в) та «мертвої води» (б, г).

Рис. 2. Діатонічна (а) та хроматична (б) монофонія; діатонічна (в) та хроматична (г) поліфонія

Дискусія. Сьогодні понад 100 університетів та коледжів світу пропонують курси з музичної терапії, по закінченні яких студенти отримують ступінь бакалавра, магістра або доктора. У мережі Internet можна знайти велику кількість посилань на теоретичні праці та практичні розробки у галузі музичної терапії [7]. На заході великі клініки та медичні центри давно вже використовують музичну терапію як допоміжний засіб та як додаток до основного курсу лікування. Наприклад, музичний терапевт Ендрю А. Стюарт, що працює в *VanElslander Cancer Center* (США), допомагаючи онкопацієнтам, які проходять курс хіміотерапії, говорив: «Людина має спочатку повірити на фундаментальному рівні у спроможність музики робити щось більше, ніж просто розважати» [8]. Це чудовий девіз на пряму науково-музичної думки. Арт-терапію (більш широке поняття, ніж музична терапія) офіційно визнано у Швейцарській федерації: «Федеральна служба професійної освіти і технології Швейцарії визнала дипломи арт-терапевтів... У Швейцарії цей вид лікування добре розвинений... Дипломовані арт-терапевти працюють індивідуально або у складі групи з кількох медиків. Вони практикують у шпиталях, центрах адаптації, у соціальних і педагогічних закладах» [9].

У Росії музична терапія стала офіційним методом лікування з 2003 р. [10].

В Україні цей напрям також починає активно розвиватися.

Висновок. Створено АСК, що дозволяє моделювати монофонічний та поліфонічний звуковий ряд; використовувати цей ряд для впливів на об'єкт керування – мозок пацієнта, авіаційного диспетчера, пілота, космонавта з метою підвищення його працездатності, психологічної витривалості, концентрації уваги.

Список літератури

1. *Елементи теорії образів: матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. «Авіа-2002».* / М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т. – К.: НАУ, 2003. – Т.3. – С. 13.119–13.122.
2. *Vishnevsky A. V. Self-basis operator and orthogonal stochastic basis application for information processing / A. V. Vishnevsky // Електроніка та системи управління. – 2011. – №2 (28). – С. 16–20.*
3. *Апроксимационно-операторный метод S-преобразований в моделировании динамических систем: материалы X міжнар. наук.-техн. конф. «Авіа-2011».* / М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т. – К.: НАУ, 2011. – Т.3. – С.20.31–20.34.
4. *Комарцева Л. Г. Нейрокомпьютеры: учеб. пособие для вузов / Л. Г. Комарцева, А. В. Максимов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 400 с.: ил. – (Информатика в техническом университете).*
5. *Mandelbrot B. B. Les objets fractals: forme, hasard et dimension / B. B. Mandelbrot. – Paris: Flammarion, 1975. – 192 p.*
6. *Martin T. Hagan Neural network design / Martin T. Hagan, Howard B. Demuth. – PWS Publishing company, 1996. – 736 p.*
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Music_therapy
8. <http://www.berklee.edu/careers/therapy.html>
9. <http://ubr.ua/labor-market/ukrainian-labor-market/art-terapu-ofcinou-viznali-specalnstu-83725>
10. http://doctor-art.ru/?page_id=3

А. В. Вишнеvский

Синтезатор звукового ряда на основе случайного процесса

Предложена модель структуры, способной формировать звуковой ряд для влияний на объект управления – головной мозг человека.

A. V. Vishnevsky

Synthesizer of voice series made on the basis of random process

The model of structure, able to form voice series for influences on the object of management – human brain – has been offered.