

УДК 621.391.828

І.Г. Прокопенко, К.І. Прокопенко

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Розроблено апаратно-програмний комплекс для реєстрації, моделювання і обробки сигналів в звуковому діапазоні. Наведено структуру комплексу, описано множину алгоритмів моделювання і обробки сигналів. З метою збільшення швидкості обробки запропоновано використання базисних функцій Хаара для корекції частотного спектру сигналів. Розглянуто порівняльні характеристики алгоритмів швидкої трансформації Фур'є та розкладення за базисними функціями Хаара.

Проблема оптимальної обробки сигналів належить до області штучного інтелекту. Потік публікацій, прив'язаних як спеціальним, так і мультимедійним застосуванням різних методів і алгоритмів обробки сигналів не зменшується. На ринку програмного забезпечення поширюються такі програми обробки сигналів, як Numeri[2], Sound Forge, Wave Lab, Sound Orcestrator, DCart, та ін. Проте це не вирішує усіх задач, що постають перед користувачами. Так, наприклад, відновлення старих записів на грамплатівках здійснюється неякісно. Задача виділення сигналів на фоні завад з довільним розподілом не вирішена в повній мірі. Крім того, зазначені програми є закритими і не дозволяють проводити проектування нових алгоритмів обробки сигналів з оцінкою їх якості.

Розглянемо розробку апаратно-програмного комплексу з використанням об'єктно-орієнтованого програмування [3], що дозволяє реєструвати електричні сигнали, аналізувати їх статистичні і спектральні характеристики та обробляти за допомогою різних алгоритмів. Комплекс повинен мати також можливість моделювати тестові сигнали та за їх допомогою оцінювати ефективність алгоритмів обробки.

Структура програмно-апаратного комплексу «SoftModel». Для роботи з дискретизованим звуком або електричним сигналом іншого походження програмно-апаратний комплекс «SoftModel» має широкий набір можливостей: зчитування та запис даних у форматі звукових файлів (*.Wav) з таких джерел, як звуковий файл, лінійний вхід звукової плати комп'ютера, мікрофонна система, вихід CD-програвача (програми «Furje», «SoftModel 2.0»); моделювання сигналів із заданими характеристиками та обчислення їх параметрів (програма «SoftModel 1.0»).

Загальна структурна схема (рис.1) комплексу "SoftModel" складається з апаратної (звукова плата, аудіомагнітофон, мікрофон з підсилювачем) та програмної (програми SoftModel 1.0, SoftModel 2.0, Furje) частин.

Апаратна частина комплексу. Комплекс обладнаний пристроями, що забезпечують ввід/вивід звукових чи інших сигналів. Це, в першу чергу, звукова плата аналого-цифрового перетворювача (цифро-аналогового перетворювача) фірми Creative Labs Sound Blaster 16. Ця плата надає можливість перетворювати сигнал із аналогової форми подання до цифрового вигляду і заносити перетворені дані до пам'яті комп'ютера. Дана звукова плата працює в широких частотному (20-22000 Гц) та динамічному (60дБ) діапазонах і має підтримку на рівні драйверів плати для різних операційних систем, які надані фірмою-виробником. Введення та виведення звукового потоку в реальному часі забезпечують підключені аудіо-магнітофон (через лінійний вхід до звукової плати) та мікрофонна система, що складається з мікрофону та підсилювача.

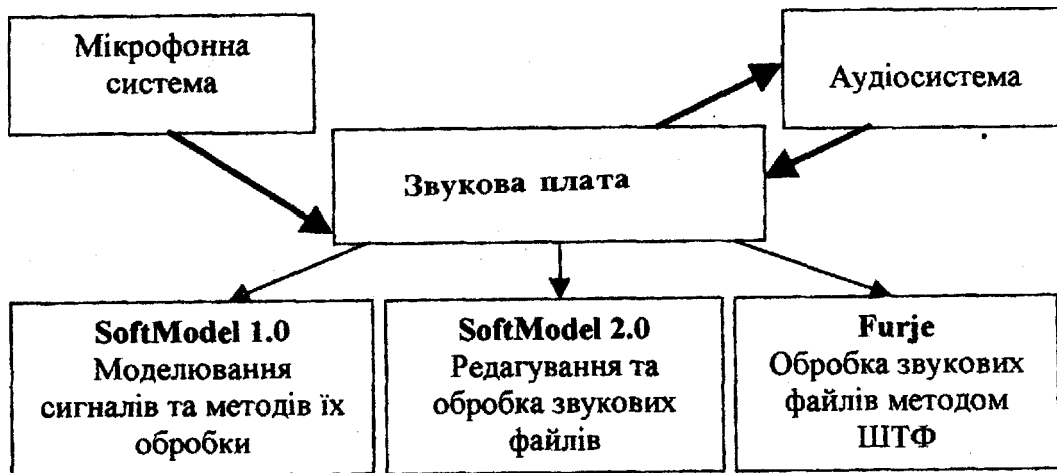


Рис. 1. Структурна схема комплексу Soft Model:
ШТФ – швидка трансформація Фур'є

Програмна частина комплексу. Програмна частина комплексу "Soft Model" складається з трьох автономних програм, що працюють в операційній системі Windows 98.

Призначення програми SoftModel 1.0 полягає в моделюванні різноманітних типів сигналів в суміші з завадами та методів їх обробки, а також в оцінюванні параметрів вхідних/вихідних сигналів з відображенням їх у графічному вигляді. У програмі моделюються такі **типи сигналів** [5]:

- шумоподібний із гауссівським та релеєвським розподілами;
- гармонічний з амплітудною, частотною та фазовою модуляціями;
- імпульсний;
- сигнали, що описуються довільними аналітичним виразами;
- сигнали, що читаються з файлів даних типу *.Wav.

В програмі генеруються такі **типи завад** :

- гауссівська корельована ;
- з полігауссівським розподілом;
- з релеєвським розподілом.

Програма також дозволяє проводити випробовування різних методів, що імітують схемну реалізацію пристроїв обробки сигналів.

В програмі SoftModel 1.0 моделюється робота таких пристроїв обробки сумішей сигналів і завад [6]:

- диференціюючого ланцюга;
- інтегруючого ланцюга;
- RLC – контура;
- підсилювача з автоматичним регулюванням коефіцієнта підсилення (АРУ);
- амплітудного детектора;
- частотного детектора;
- фазового детектора;
- черезперіодного компенсатора завад.

Користувачеві надається можливість оцінювати такі **параметри сумішей сигналів і завад** [4]:

- автокореляційну функцію;
- спектр потужності;

- одновимірну щільність розподілу імовірностей (гістограму);
- реалізації сумішей сигналів і завад до і після обробки.

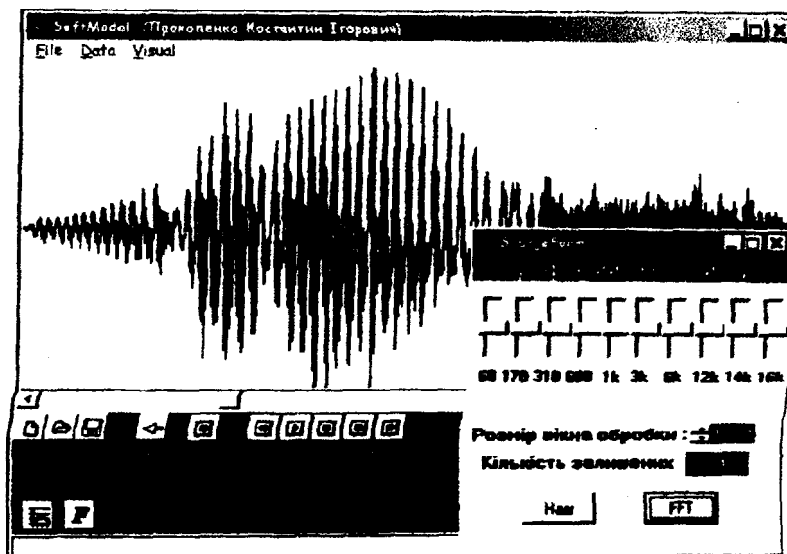


Рис. 2. Екранна форма програми SoftModel 2.0

Програма Soft Model 2.0 дозволяє користувачеві зчитувати та прослуховувати звукові файли у форматі Wave Codec, а також обробляти дискретизовані сигнали методами швидкого перетворення Фур'є [2] та методом розкладення за функціями Хаара. Зовнішній вигляд програми зображено на рис.2

Множину функцій Хаара [1] $\{har(n,m,t)\}$, що утворюють періодичну, ортонормовану та повну систему функцій, було запропоновано в 1910 році. На рис. 3 зображено перші вісім функцій Хаара.

Рекурентне співвідношення, що дозволяє отримати $\{har(n,m,t)\}$, має вигляд:

$$\begin{aligned}
 har(0,0,t) &= 1, \quad t \in [0,1); \\
 har(r,m,t) &= \begin{cases} 2^{r/2}, & \frac{m-1}{2^r} \leq t < \frac{m-1/2}{2^r}; \\ -2^{r/2}, & \frac{m-1/2}{2^r} \leq t < \frac{m}{2^r}; \\ 0, & \text{при інших } t \in [0,1), \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

де $0 \leq r < \log_2 N$ та $1 \leq m \leq 2^r$.

В результаті дискретизації системи функцій Хаара, показаних на рис. 3, одержуємо матрицю (рис.2, б), де кожний рядок є дискретною функцією Хаара $Har(r,m,t)$. Отримані таким чином матриці використовуються для перетворення Хаара та позначаються $H^*(n)$, де $n = \log_2 N$.

Коефіцієнти перетворення Хаара $Y_x(k)$, $k=0,1,\dots,N-1$, що відповідають вхідній послідовності $\{X(m)\} = \{X(0)X(1)\dots X(N-1)\}$, знаходять за допомогою перетворення

$$Y_x(n) = \frac{1}{N} H^*(n) X(n),$$

де $H^*(n)$ – матриця Хаара розміром $(N \times N)$. Матрицю $H^*(n)$ одержують в результа дискретизації множини функцій Хаара $\{\text{har}(r,m,t)\}$, визначених виразом (1).

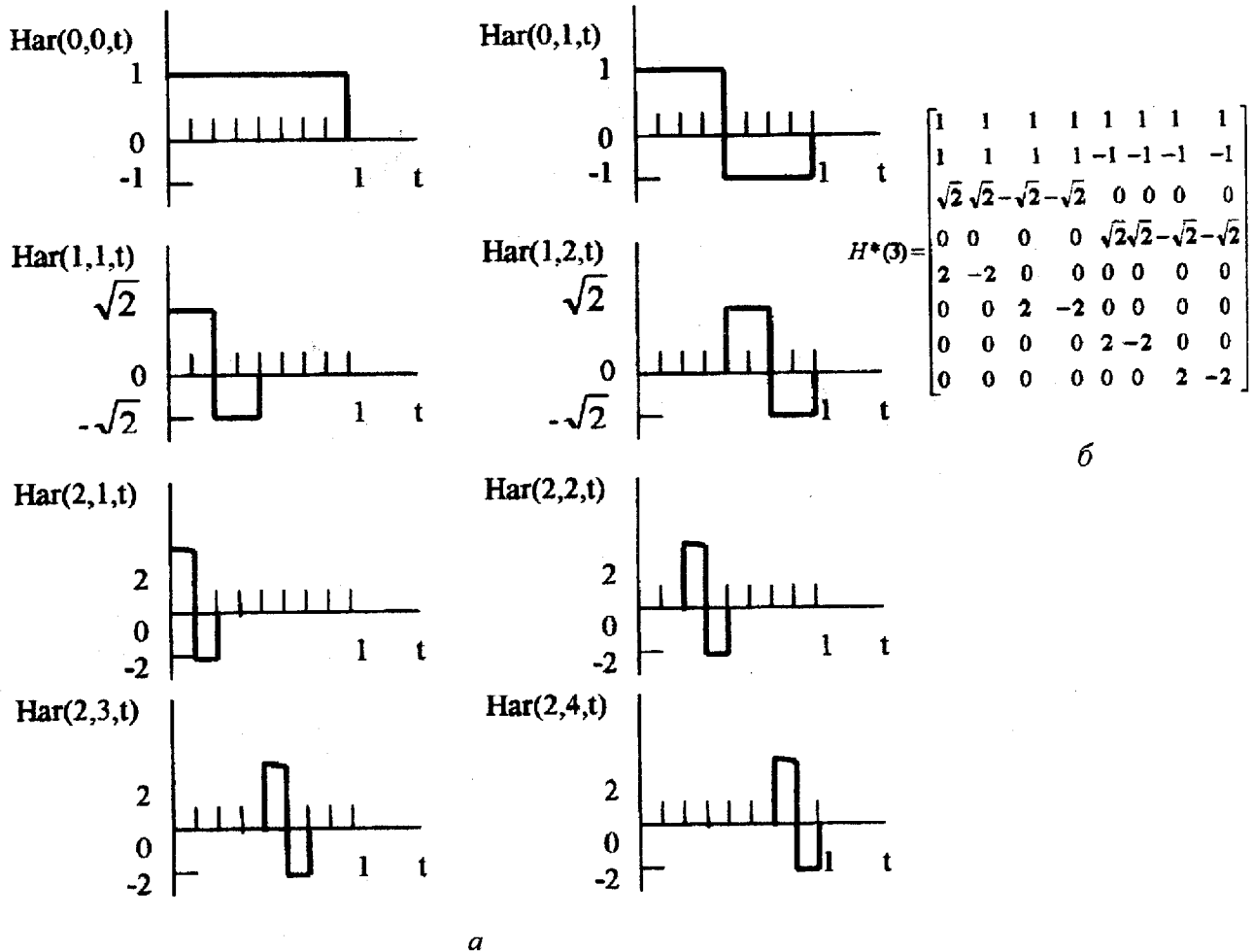


Рис. 3. Неперервні (а) та дискретні (б) функцій Хаара при $N=8$

Розглядаючи $H^*(3)$, бачимо, що $N/2$ коефіцієнтів перетворення Хаара відповідають кореляції двох сусідніх точок в просторі вхідних послідовностей, $N/4$ коефіцієнтів – зв'язкам чотирьох сусідніх точок і т.д. до N/N коефіцієнтів, що відповідають усім N координата простору вхідних послідовностей. Це означає, що область перетворення у випадку перетворення Хаара набуває властивостей як локальної, так і глобальної чутливості. При перетворенні Фур'є кожний коефіцієнт перетворення є функцією всіх координат простору вхідних послідовностей (властивість глобальної чутливості), а в перетворенні Хаара це відноситься лише до перших двох коефіцієнтів.

Оскільки функції Хаара мають кусково-постійний характер, це дає змогу суттєво зменшити кількість операцій множення при обчисленні коефіцієнтів розкладу. При розклад послідовності довжиною $N = 2^r$, $r \in \mathbb{Z}$ потрібно виконати 2^*N-1 операцію множення. Ця властивість розкладу дозволяє отримати суттєвий вигравш у швидкості у порівнянні :

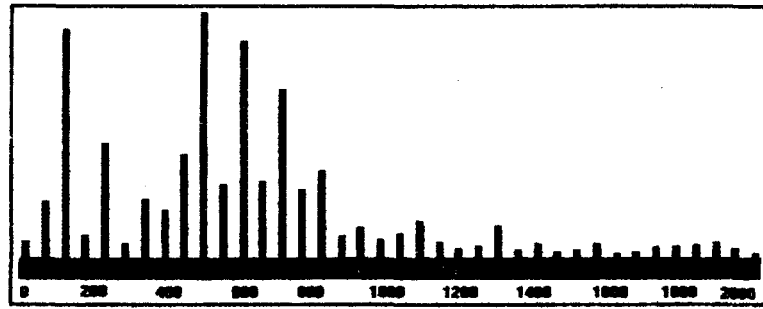


Рис. 6. Спектр звуку «А»

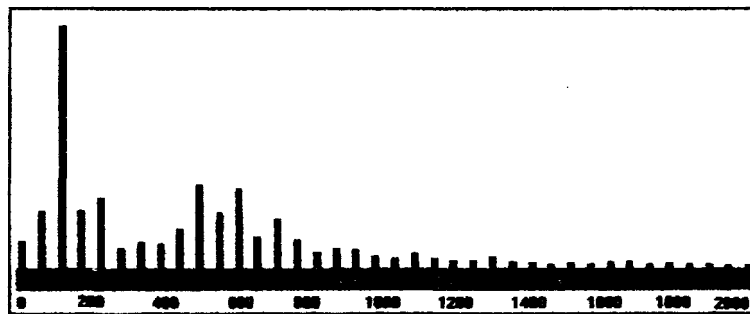


Рис. 7. Спектр звуку «А», представлений в базисі Хаара із стисненням у шість разів

Апаратно-програмний комплекс SoftModel може бути використаний як при дослідженні реальних сигналів і методів їх обробки, так і в навчальному процесі.

Список використаної літератури

1. *Ахмед, Рао.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов /Пер. с англ. Т.Э.Кренкеля. Под ред. И.Б.Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 280 с.
2. *Шрюфер Е.* Обработка сигналов : цифровая обработка дискретизованных сигналов : Підручник/За ред. В.П.Бабака. – К.:Либідь, 1992. – 296 с.
3. *Буч Г.* Объектно-ориентированое программирование с примерами применения /Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.
4. *Сейдж Э., Мелс Дж.* Теория оценивания и ее применение в связи и управлении /Пер. с англ; Под ред проф. Б.Р.Левина. – М.:Связь, 1976. – 496 с.
5. *Прокопенко І.Г., Корнільєв Е.А. Тарасенко С.А.* Математичні моделі в розрахунках на ЕОМ: Конспект лекцій. – К.: КМУЦА, 1992. – 68 с.
6. *Прокопенко І.Г.* Методи і засоби обробки сигналів. Оцінювання параметрів сумішей сигналів і завод: Навчальний посібник. – К.: КМУЦА, 1998. – 92 с.