

Аналітичні Мережі як Засіб Моделювання Складних Систем

Віктор Ровінський
кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
Івано-Франківськ, Україна
musicneutrino@gmail.com

Ольга Євчук
кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій і
систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
olga.yevchuk@gmail.com

Analytic Networks for Complex System Modeling

Victor Rovinsky
dept. of Computer Science
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
musicneutrino@gmail.com

Olga Yevchuk
dept. of Information and Telecommunication Technologies
and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olga.yevchuk@gmail.com

Анотація—Запропонований метод синтезу цифрових моделей для складних систем за відомими їх еталонними сигналами на основі аналітичних мереж. Робота аналітичних мереж ґрунтується на використанні модифікованого генетичного алгоритму та бібліотеки блоків незмінної функціональності.

Abstract—A method based on analytical networks for the synthesis of digital models for complex systems based on their known reference signals, is proposed. The work of analytical networks is based on the use of a modified genetic algorithm and a library of blocks with fixed functionality.

Ключові слова—аналітична мережа, генетичний алгоритм, музичний синтез

Keywords—analytic network, genetic algorithm, musical synthesis

I. ВСТУП

Процес синтезу сучасних систем, в багатьох випадках, вимагає значного часу і зусиль. При цьому успіх такого процесу ґрунтується на попередньому досвіді та інтуїції розробника. В зв'язку з цим процес конструювання таких систем може частково розглядатись, як творчий, з елементами, які притаманні мистецтву і не можуть бути формалізовані. При цьому доводиться виконувати роботу складання основної бази системи із відомих за конструкцією вузлів, провадити їх налаштування, оптимізацію конструкції на предмет можливості

використання одного і того ж блока для виконання декількох функцій, тощо. Невелика частина вузлів може мати потребу вдосконалення і пошуку нових принципів функціонування, що призводить до появи інноваційної складової, і в подальшому переважно надає конкурентну перевагу розроблюваній системі.

Розроблення нових систем передбачає також вивчення досвіду попередників, на основі аналізу будови систем-прототипів. Це дозволяє прискорено пройти еволюційний шлях розвитку заданого класу систем. При цьому слід зауважити, що нові схемні рішення часто захищені патентами, що додатково накладає обмеження на їх використання у власних розробках. Тому нерідко може використовуватись аналіз системи методом «чорної скриньки», що також вимагає значних часових ресурсів. Розроблення нових вузлів також може мати значну квазівипадкову основу, коли шляхом інтуїтивного добору створюються нові рішення, або виявляються нові, невідомі до того, властивості відомих об'єктів. Пошук таких рішень також може займати дуже значну кількість часу, з наперед невідомим результатом. Тому актуальним завданням є автоматизація творчого процесу проєктування систем.

Серед всього різноманіття систем можна виділити електронні, які мають свої програмні моделі, і можуть бути адекватно і швидко змодельовані за допомогою ЕОМ. Для механічних систем існуючі програмні моделі вимагають значної кількості обчислень і не можуть поки що бути

рекомендовані до числового моделювання на доступних обчислювальних засобах.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В даній роботі пропонується використати автоматизований метод проектування електронних систем за допомогою аналітичних мереж. Введемо поняття «аналітична мережа» (АМ) як мережі вузлів, які мають

набір наперед визначених функціональних блоків. Пропонується розглянути можливість функціонування АМ на прикладі ресинтезу музичного аналогового синтезатора за заданими зразками вихідного звуку. Типова структурна схема одного каналу аналогового синтезатора, придатного для відтворення однієї ноти заданого тембру, наведена на рис. 1 [1].

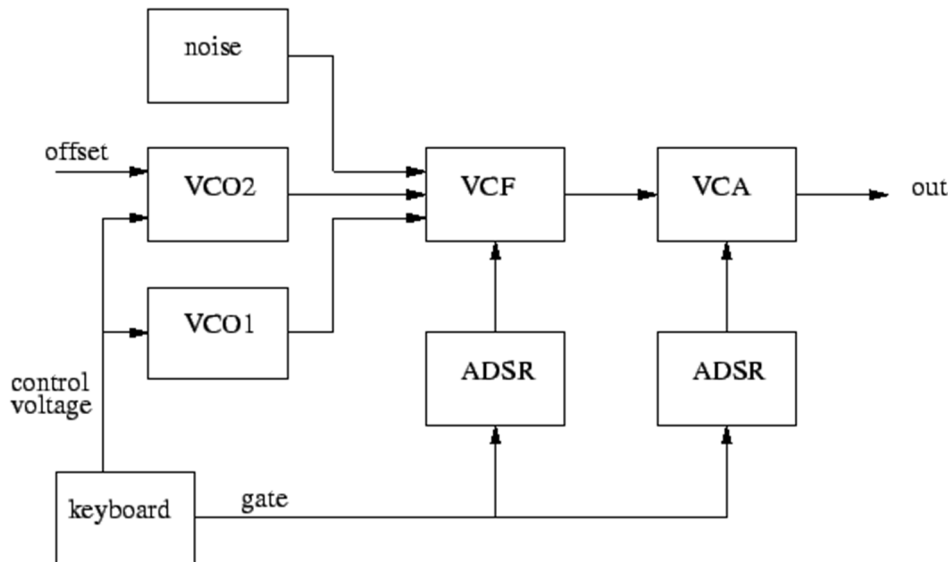


Рис. 1. Типова структурна схема одного каналу аналогового синтезатора

Синтезатор складається з клавіатури (keyboard) – єдиного механічного вузла, поведінка якого не симулюється, електрично-керованих генераторів (VCO1, VCO2) які формують коливання заданої частоти (наприклад 440Гц – нота «ля» першої октави), і заданої форми – пилоподібний, прямокутний, гармонічний, ШІМ, тощо. Кількість таких генераторів може складати від 2 до 4 і кожен забезпечує формування сигналу заданої амплітуди. Вони можуть бути частково розстроєними один відносно іншого за допомогою сигналу зміщення (offset), що надає природності звучання синтезованого звуку. До складу входить також генератор шуму (noise), який дозволяє імітувати шумові складові музичних звуків. Сумарний сигнал, одержаний від генераторів, надходить на вхід електрично-керованого фільтра (VCF), який забезпечує плавну зміну спектру по частоті. З виходу фільтра сигнал надходить на вхід електрично-керованого підсилювача (VCA), який формує обвідну сигналу. Керування фільтром та підсилювачем здійснюється за допомогою інфра-низькочастотних (ІНЧ) генераторів (ADSR), які працюють як одновібратори, формуючи напругу у відповідь на натискання клавіші на клавіатурі. Форма їх вихідного сигналу визначає час атаки, спадання, утримання та затухання після відпускання клавіші. Крім того, такі ІНЧ генератори можуть здійснювати періодичну модуляцію частоти та амплітуди сигналів, утворюючи ефекти «тремоло» та «вібрато».

Подібна задача може розв'язувалась за допомогою технологій ройових алгоритмів [3], прихованих

марківських моделей [4], неймереж [5], клітинних автоматів [6] та генетичних алгоритмів [7]. Проте наявні публікації (наприклад [2]) стосуються переважно налагоджування параметрів/коефіцієнтів існуючих апаратних засобів (у вигляді їх цифрової симуляції), без модифікації існуючої структури системи.

Генетичні (еволюційні) алгоритми можуть бути використані для вирішення такої проблеми. Завдання слід формалізувати таким чином, щоб її рішення могло бути закодовано у вигляді вектора «генів», де кожен ген може бути бітом, числом або складним об'єктом. У типових реалізаціях еволюційного алгоритму передбачається, що генотип має фіксовану довжину. Далі, певним чином створюється значна кількість генотипів початкової популяції. Вони оцінюються з використанням «функції пристосованості», в результаті чого з кожним генотипом асоціюється певне значення, яке визначає, наскільки добре фенотип, що ним описується, вирішує поставлене завдання.

З отриманої кількості рішень з урахуванням значення «пристосованості» вибираються кращі рішення, до яких застосовуються «генетичні оператори» (в більшості випадків «схрещування» - crossover і «мутація» - mutation), результатом чого є отримання нових рішень. Для них також обчислюється значення пристосованості, і потім проводиться відбір («селекція») кращих рішень в наступне покоління.

Цей набір дій повторюється ітеративно, і таким чином моделюється еволюційний процес, що триває кілька життєвих циклів, при яких продукується декілька поколінь, поки не буде виконано критерій зупинки алгоритму. Такими критеріями, як правило, можуть бути:

- знаходження оптимального, або квазі-оптимального рішення
- вичерпання числа поколінь, відпущених на еволюцію
- вичерпання часу, відпущеного на еволюцію
- вичерпання часу, на поліпшення попереднього результату

Однією з основних проблем в роботі еволюційних алгоритмів є критерій відбору. Механізм відбору повинен забезпечувати достатню швидкість, та точність селекції поколінь на основі заданих параметрів.

Використання генетичних алгоритмів в поєднанні із змішаним алгоритмом картезіанського генетичного програмування (Mixed Typed Cartesian Genetic Programming) для генерування структури графа розглядалося, наприклад, в [8], однак оскільки початкова структура графа формувалась випадковим чином, загальний час експерименту для 5000 поколінь при виконанні на розподіленому кластері склав 5 годин. Автори пропонують підвищувати швидкість шляхом ретельного налаштування параметрів алгоритму. Інший шлях, що пропонується в даній роботі, полягає у використанні інформації про типову структуру системи, де окремі блоки є фіксованими і потребують лише налаштування параметрів, а окремі підмережі є повністю варіативними, тобто для них налаштовуються типи блоків, параметри та зв'язки між ними.

III. АЛГОРИТМ РЕСИНТЕЗУ

Для автоматичного ресинтезу даного пристрою пропонуються структурні блоки АМ, які можуть містити, за потреби, в своєму складі наступні функціональні вузли:

- генератор коливань (керована пилка, керований прямокутник, синус, таблиця програмованих значень);
- генератор шуму;
- математичні операції (+, -, *, /);
- логічні операції (AND, OR, XOR, NOT);
- фільтри довільних типів на основі алгоритму швидкої згортки;
- блок пам'яті для запам'ятовування 1 сек цифрової інформації з можливістю зсуву та довільної вибірки даних;
- блок порівняння
- корелятор;
- нелінійний елемент;
- гістерезисний елемент;
- пряме і зворотне швидке косинусне перетворення;
- звукові ефекти типу хорус (фезер, флейнджер тощо).

Набір вузлів може бути розширений, враховуючи специфіку систем, що потребують ресинтезу.

Загальна схема ресинтезу системи може мати вигляд, показаний на рис.2:

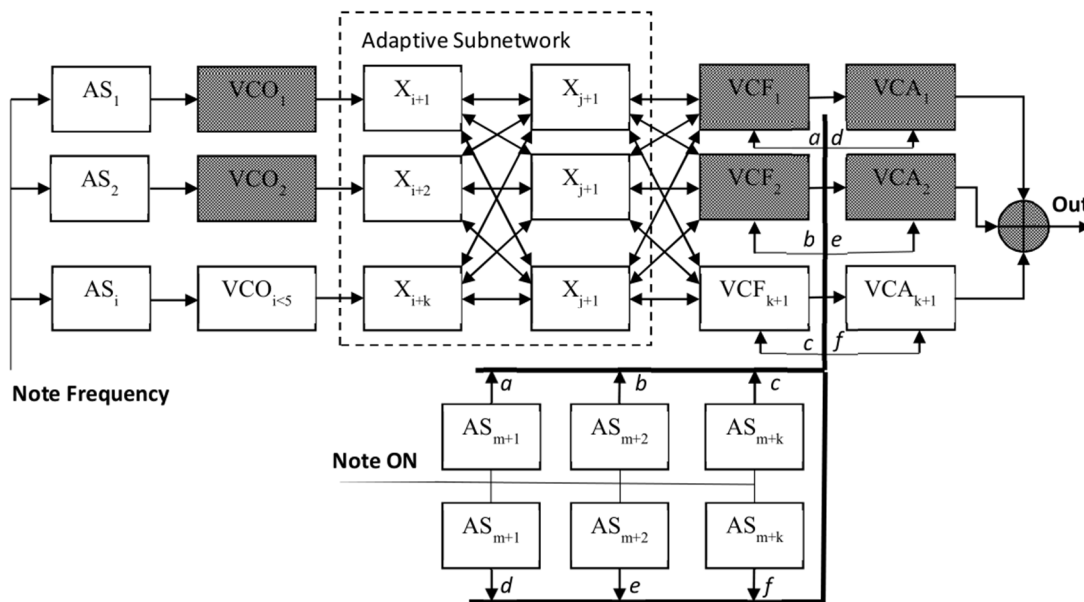


Рис. 2. Структурна схема ресинтезу синтезатора на основі аналітичної мережі, де X – довільні блоки з заданого набору, AS – адаптивна підмережа

Сірим позначені блоки, типи яких не можуть змінюватись в процесі селекції (фіксовані блоки). Для

таких блоків можуть підбиратись тільки внутрішні коефіцієнти та параметри, проте функціональне

призначення блоку не змінюється. Базова схема визначає «скелетну» будову синтезованого пристрою, навколо якого відбувається еволюційне нарощування «додаткових органів», які реалізують нюанси функціонування ресинтезованої системи, які неможливі у реалізації тільки «скелетною» схемою. Адаптивна підмережа AS_j – це, в загальному випадку, довільний набір блоків X_i, поєднаних між собою, що може мати необхідну кількість входів і виходів, а також довільну кількість каскадів та шарів. Кількість виходів і входів для неї визначається скелетною схемою, внутрішня структура AS підбирається за допомогою процесу селекції.

Процес селекції включає в себе формування структури адаптивних підмереж навколо скелетної схеми, заданої початково вручну, у випадку, коли наближено відома структура пристрою, який необхідно ресинтезувати. Процес розбивається на декілька фаз, кількість яких відповідає кількості заданих вихідних сигналів. Після додавання нового апаратного блоку X з типом, що найбільш ймовірно можуть застосовуватись поруч із скелетними блоками, проводиться повне налаштування всіх параметрів для всіх блоків системи, в прагненні досягнення максимального співпадіння вихідного сигналу із еталонним. Якщо сигнали не достатньо співпадають, змінюється тип блоку X на менш ймовірний і проводиться повторне налаштування одержаної системи. Після досягнення нижньої межі допустимої ймовірності використаних блоків, приймається рішення про додавання нового блоку в підмережу. Далі процес повторюється, аж до максимального досягнення співпадіння одержаного сигналу з еталонним. В наступній фазі – спробі синтезу наступного сигналу, спочатку змінюються всі регулятори синтезованої системи, і в разі, якщо заданими апаратними засобами неможливо відтворити заданий сигнал – починається додавання нових апаратних блоків. При цьому старі апаратні блоки фіксуються - залишаються незмінними в процесі ресинтезу.

В якості функції відбору пропонується використати двофазний алгоритм для грубої і точної оцінок одержаного результату. В першій (наближеній) фазі, продукований звуковий сигнал порівнюється з еталонним за допомогою мел-частотних кепстральних коефіцієнтів (МЧКК).

У процесі обробки звуку мел-частотний кепстр (МЧК) являє собою короточасний спектр потужності звукового сигналу, базований на лінійному косинусному перетворенні логарифмічного спектру потужності, що представлений на нелінійній частотній мел-шкалі.

Мел-частотні кепстральні коефіцієнти (МЧКК) - це коефіцієнти, які разом складають МЧК. Різниця між кепстром і мел-частотним кепстром полягає в тому, що в МЧК діапазони частот однаково розташовані на мел-шкалі, яка описує особливості чутливості людської слухової системи більш повно, ніж лінійно розташовані частотні діапазони, що використовуються в нормальному кепстрі [9].

Друга фаза порівняння базована на аналізі різниці спектральних характеристик, одержаних в діапазоні 50Гц – 10кГц. Даний діапазон вибраний, як найбільш суттєвий з

точки зору різниці тембрів. Така фаза потребує більшу кількість операцій, ніж МЧКК, тому використовується тільки на етапі фінального точного підстроювання регуляторів (управляючих коефіцієнтів) системи.

Реалізація алгоритму роботи аналітичної мережі здійснюється за допомогою управляючого блоку (УБ), який здійснює вибір блоків аналітичної мережі та налаштування всіх коефіцієнтів системи. Реалізація УБ і повної системи може бути здійснена повністю програмно за допомогою комп'ютера, або за допомогою масиву цифрових сигнальних процесорів (реалізація АМ) та процесора загального призначення (реалізація УБ).

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано використати аналітичні мережі як засіб цифрового моделювання складних систем на прикладі ресинтезу аналогового музичного синтезатора. Це дозволить більш точно відтворювати існуючі звукові моделі, оскільки під час цього процесу відбувається не тільки підбір параметрів моделі, але й динамічне вдосконалення самої моделі. За допомогою такого підходу можна також синтезувати нові електричні моделі для існуючих механіко-акустичних процесів, наприклад синтезувати структуру електро-фортепіано, на основі записаних звуків механічного фортепіано.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Kent H Lundberg. So you want to build an analog synthesizer? [Online]. Available: <http://web.mit.edu/klund/www/weblatex/node2.html>
- [2] A. Horner and J. Beauchamp and L. Haken, Machine tongues XVI: Genetic algorithms and their application to FM matching synthesis. *Computer Music Journal* 17, 4 (1993), 17–29
- [3] S. Heise, M. Hlatky, J. Lovisnach, “Automatic cloning of recorded sounds by software synthesizers.” in *Proceedings of the Audio Engineering Society Convention 127*, 2009, in press.
- [4] T. Yoshimura, K. Tokuda, T. Masuko, T. Kobayashi, T. Kitamura. “Simultaneous modeling of spectrum, pitch and duration in HMMbased speech synthesis”. in *Proceedings of the conference on Speech Communication and Technology*, 1999, [pp. 1315–1318], in press.
- [5] M. Roth, M. Yee-King. “A comparison of parametric optimization techniques for musical instrument tone matching”. in *Proceedings of the Audio Engineering Society Convention*, 2011, [pp. 972–980], in press.
- [6] J. Serquera, E. Miranda, “Evolutionary sound synthesis: rendering spectrograms from cellular automata histograms.” in *Applications of Evolutionary Computation*, 2010, [pp. 381–390], in press.
- [7] A. Horner, “Evolution in digital audio technology”. in *Evolutionary Computer Music*. Springer, 2007, [pp. 52– 78], in press.
- [8] M. Macret, P. Pasquier, “Automatic Design of Sound Synthesizers as Pure Data Patches using Coevolutionary Mixed-typed Cartesian Genetic Programming” [Online]. Available: <https://www.lri.fr/~hansen/proceedings/2014/GECCO/proceedings/p309.pdf>
- [9] G. Zheng, G. Zhang, Z. Song, “Comparison of Different Implementations of MFCC”, in *Journal of Computer Science & Technology*, vol. 16, 2001, [pp. 582–589], in press