

dr inż. GRZEGORZ MAKAREWICZ
 dr inż. WIKTOR M. ZAWIESKA
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy

Zastosowanie algorytmów genetycznych do aktywnej redukcji hałasu

Publikacja opracowana na podstawie wyników zadań badawczych wykonanych w ramach programu wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy”, dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy

Geneza algorytmów genetycznych¹ sięga prac zespołu badaczy kierowanych przez Johna Hollanda z Uniwersytetu Michigan. Celem prowadzonych prac było poznanie procesów adaptacyjnych występujących w świecie przyrody, oraz opracowanie oprogramowania, które modelowałoby mechanizmy rządzące systemami biologicznymi. W związku z tym, że (jak sama nazwa wskazuje) algorytmy genetyczne wywodzą się z genetyki, terminologia stosowana w tej dziedzinie odpowiada pojęciom stosowanym w naukach biologicznych.

Algorytmy genetyczne stanowią procedury poszukiwania najlepszego rozwiązania oparte na mechanizmach doboru naturalnego i dziedziczności. Stanowią one metodę optymalizacji wykorzystującą mechanizmy adaptacyjne wzorowane na systemach biologicznych. Przez optymalizację rozumiemy tutaj procedurę znajdowania rozwiązania określonego zadania dającego najlepsze, z punktu widzenia założonego celu rezultaty. Poszukiwanie rozwiązania odbywa się na podstawie jego parametrów, zaś jego ocena wykonywana jest na podstawie tzw. funk-

cji celu, która obrazuje jak dobre – według zadanych kryteriów – jest znalezione rozwiązanie. Algorytmy poszukiwania najlepszego rozwiązania nie zawsze prowadzą do jego znalezienia. Niektóre zadania są bardzo trudne do opisanego i niejako z natury opierają się metodom optymalizacji. Niedokładności opisu powodują, że niektóre algorytmy poszukiwania, charakteryzujące się małą odpornością na złożoność zadania i niedokładności jego opisu, nie mogą być w takich przypadkach stosowane. W porównaniu z innymi metodami poszukiwania, algorytmy genetyczne charakteryzują się dużą odpornością na złożoność zadania, wynikającą z faktu, że [1]:

- przetwarzają parametry zadania optymalizacji w formie zakodowanej, a nie bezpośrednio
- proces poszukiwania najlepszego rozwiązania prowadzą, wychodząc nie z pojedynczego punktu lecz ze zbioru (populacji) punktów
- korzystają bezpośrednio z funkcji celu, bez konieczności znajomości np. jej pochodnych
- stosują probabilistyczne reguły wyboru.

Elementarny algorytm genetyczny jest stosunkowo prosty i składa się z trzech powtarzanych cyklicznie operacji:

- reprodukcji
- krzyżowania
- mutacji.

W wyniku tych operacji z pokolenia rodzicielskiego tworzone jest pokolenie potomne, które podlega z kolei analogicznym procesom, stanowiąc bazę dla kolejnego pokolenia. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego kryterium wyboru osobników biorących udział w reprodukcji, każde kolejne pokolenie zawiera osobniki coraz lepiej przystosowane do stawianego im zadania. Proces tworzenia nowych generacji osobników zatrzymywany jest w momencie, gdy spełnione zo-

stanie kryterium świadczące o otrzymaniu osobnika lub osobników o cechach umożliwiających wykonanie zadania z założoną dokładnością.

Algorytmy genetyczne znajdują zastosowanie w wielu obszarach związanych ze stosowaniem metod aktywnych do redukcji hałasu. Są nimi m.in.:

- modelowanie i identyfikacja źródeł hałasu [4]
- znajdowanie najkorzystniejszego położenia źródeł kompensujących i elementów pomiarowych, stanowiących elementy składowe każdego systemu do aktywnej redukcji hałasu [2,3]
- adaptacja parametrów kontrolera systemu aktywnej redukcji [5].

Identyfikacja źródeł hałasu oraz możliwość wyznaczenia parametrów, które je charakteryzują ma bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia efektywności działań związanych ze zwalczaniem hałasu. Dotyczy to zresztą zarówno metod aktywnych jak i pasywnych. W przypadku metod aktywnych, identyfikacja źródeł hałasu w obszarach o złożonych kształtach i wielu źródłach emitujących hałas równocześnie (co ma często miejsce w sytuacjach spotykanych w rzeczywistości), jest bardzo ważna i ma wpływ na sposób rozmieszczenia źródeł wtórnych i elementów pomiarowych.

Metoda identyfikacji źródeł hałasu [4] polega na pomiarze parametrów obszaru propagacji hałasu pomiędzy źródłami hałasu i punktami rozłożonymi równomiernie w obszarze, w którym znajdują się te źródła. W kolejnym kroku tworzy się matematyczne odwzorowanie tego obszaru i umieszcza w nim modelowe źródła hałasu (w najprostszym przypadku źródła punktowe). Zmieniając położenie źródeł modelowych oraz ich parametry akustyczne, wyznacza się parametry obszarów pomiędzy tymi źródłami i punktami o współrzędnych odpowiadających punktom położenia mikrofonów podczas

¹ W literaturze tematu spotyka się również pojęcie algorytmu ewolucyjnego. Pojęcie to uznawane jest często jako szersze, a nawet zalecane jako lepiej oddające istotę rzeczy. W artykule zastosowano nazewnictwo przyjęte w pionierskich pracach dotyczących algorytmów genetycznych [1] oraz w pracach dotyczących zastosowania tych algorytmów do redukcji hałasu [2,3,4,5].

pomiarów w warunkach rzeczywistych. Miarą błędu związanego z przyjętą lokalizacją i parametrami źródeł modelowych są różnice w zmierzonych i wyznaczonych w wyniku obliczeń wartościach parametrów wspomnianych wcześniej obszarów.

Znalezienie właściwego rozkładu źródeł modelowych jest bardzo złożone obliczeniowo. Już przy niewielkiej liczbie źródeł zastosowanie do tego celu typowych algorytmów przeszukiwania, z uwagi na czas trwania obliczeń staje się niemożliwe. W tej sytuacji najlepszym podejściem jest zastosowanie algorytmów genetycznych.

Obok właściwie zaprojektowanej struktury kontrolera, na efektywność systemu aktywnej redukcji w istotny sposób wpływa położenie elementów wykonawczych (źródeł kompensujących) oraz elementów pomiarowych (mikrofonów mierzących parametry sygnałów błędu). Prawidłowe rozmieszczenie tych elementów zależy od tak wielu czynników, że nie jest możliwe opracowanie praktycznej metody analitycznego wyznaczenia ich najkorzystniejszych, z punktu widzenia redukcji hałasu współrzędnych przestrzennych. W tej sytuacji do dyspozycji pozostają metody poszukiwań. W przypadku małej liczby elementów pomiarowych i wykonawczych oraz niewielkiej liczby analizowanych położzeń, możliwe jest obliczenie w odniesieniu do wszystkich konfiguracji tych elementów, parametru charakteryzującego dobroć systemu aktywnej redukcji i na tej podstawie wybranie najlepszej konfiguracji.

Wraz ze wzrostem liczby elementów pomiarowych i wykonawczych oraz ich położzeń, liczba możliwych konfiguracji rośnie tak szybko, że znalezienie najlepszej konfiguracji przez przeszukanie wszystkich rozwiązań staje się niemożliwe.

Bardzo przekonująco przedstawiono ten problem w [2] na konkretnym przykładzie obliczeniowym. Założymy, że chcemy wykonać obliczenia dla wielokanałowego systemu aktywnej redukcji

zawierającego 26 elementów wykonawczych i 48 elementów pomiarowych [2]. Elementy wykonawcze można rozmieszczać w 52 pozycjach, zaś elementy pomiarowe w 80 pozycjach. Liczba możliwych do zastosowania konfiguracji wynosi:

$$\frac{52!}{26! \cdot 26!} \cdot \frac{80!}{32! \cdot 48!} \approx 1,087 \cdot 10^{37}$$

Zakładając, że obliczenie średniej redukcji hałasu dla pojedynczej konfiguracji trwa 1ms, znalezienie optymalnego wariantu położenia trwałoby w przybliżeniu:

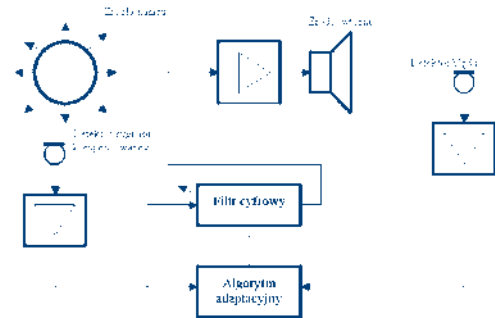
$$1,087 \cdot 10^{34} [\text{s}] \approx 3,45 \cdot 10^{26} [\text{lat}]$$

Zagadnienie najkorzystniejszego położenia elementów pomiarowych i wykonawczych może być zatem rozwiązane wyłącznie za pomocą metody przeszukiwania obdarzonej pewną „dozą inteligencji”, a taką właśnie charakteryzują się metody oparte na algorytmach genetycznych.

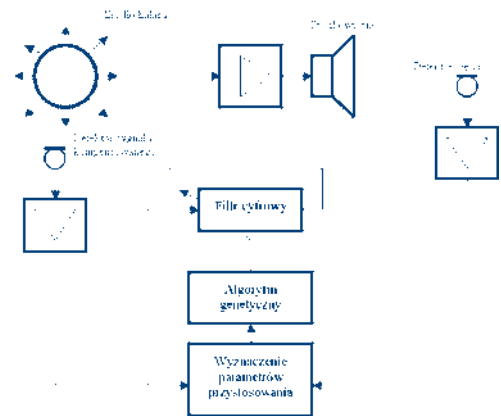
Adaptacja parametrów kontrolera systemu aktywnej redukcji

Algorytmy genetyczne mogą być stosowane do adaptacji parametrów kontrolera stanowiącego podstawowy element składowy każdego systemu aktywnej redukcji hałasu. Struktura systemu aktywnej redukcji, bazującego na algorytmie genetycznym w istocie nie różni się od struktury tradycyjnego systemu aktywnej redukcji. Dla porównania, na rys. 1. i rys. 2. przedstawiono system aktywnej redukcji hałasu z zastosowaniem algorytmu adaptacyjnego i algorytmu genetycznego.

W pierwszym przypadku współczynniki filtru cyfrowego w kolejnych krokach algorytmu adaptacyjnego zmieniane są w taki sposób, aby zminimalizować sygnał uzyskiwany za pomocą detektora błędu. W każdym kroku iteracji algorytmu adaptacyjnego filtr cyfrowy przekształcany jest w nowy filtr o wartościach



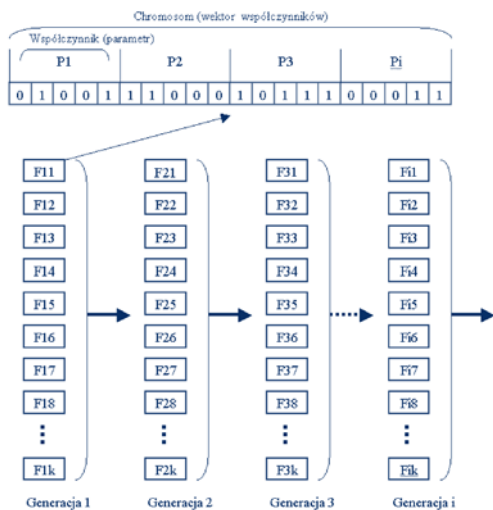
Rys. 1. Schemat blokowy systemu aktywnej redukcji z filtrem cyfrowym o parametrach ustalanych za pomocą algorytmu adaptacyjnego



Rys. 2. Schemat blokowy systemu aktywnej redukcji z filtrem cyfrowym o parametrach ustalanych za pomocą algorytmu genetycznego

współczynników dążących do pewnej zbioru wartości optymalnych. Słowo „przekształcany” dobrze ilustruje zasadę działania algorytmu, bowiem nowe wartości współczynników filtru wyznaczone są na podstawie starych wartości, które korygowane są w stopniu uzależnionym od wartości sygnału pochodzącego z detektora błędny (rys. 1.).

Kontroler działa według opisanego algorytmu cały czas, zarówno na etapie jego dostrajania, jak i podczas normalnej pracy systemu aktywnej redukcji. Każde odchylenie wartości parametrów filtru cyfrowego od zestawu optymalnego, powoduje natychmiastową reakcję polegającą na skorygowaniu współczynników filtru na podstawie powstałego w wyniku odchylenia sygnału błędny.



Rys. 3. Zasada działania algorytmu genetycznego w systemie aktywnej redukcji

W przypadku, gdy do wyznaczenia parametrów filtru stosowany jest algorytm genetyczny (rys. 2.), mimo analogicznej struktury kontrolera zasada jego pracy jest w istotny sposób odmienna. W kolejnych krokach algorytmu genetycznego filtr cyfrowy nie jest przekształcani, lecz zastępowany nowym filtrem zmniejszającym sygnał błędu. Ten nowy filtr nie jest uzyskiwany w wyniku adaptacji współczynników aktualnie wykorzystywanego filtru, lecz w wyniku wyboru filtru z pewnego zestawu/populacji filtrów.

Zasada działania algorytmu genetycznego została przedstawiona na rys. 3. W pierwszym kroku tworzony jest zestaw zawierający k filtrów cyfrowych (generacja 1.). Każdy filtr reprezentowany jest w postaci wektora współczynników, których wartości reprezentowane są np. w postaci dwójkowej (zero-jedynkowej), (rys. 3.). Wektor współczynników jest odpowiednikiem chromosomu (stosuje się również nazwę ciągu kodowego). Przyjęcie reprezentacji dwójkowej jest oczywiście tylko jednym z możliwych (współczynniki filtru mogą być zakodowane np. w postaci liczb zmiennoprzecinkowych).

Na podstawie pierwszego zestawu filtrów (generacja 1.), w wyniku operacji selekcji, krzyżowania i mutacji tworzony jest drugi zestaw filtrów (generacja 2.). Zestaw ten zawiera filtry o lepszych parametrach od filtrów pierwszego zestawu.

Operacja tworzenia nowych coraz lepszych generacji filtrów powtarzana jest do momentu, gdy znajdzie się w niej filtr spełniający postawione mu kryterium jakości. Takim kryterium jest osiągnięcie określonej redukcji hałasu.

Aby w kolejnych zestawach (generacjach) uzyskiwać filtry o lepszych parametrach, należy zastosować odpowiednie kryterium selekcji. Stanowi je obliczany w specjalnym bloku (rys. 2.) wskaźnik przystosowania filtru do stawianego mu zadania. Prawdopodobieństwo wyboru filtru do kolejnej generacji jest tym większe, im większy jest jego wskaźnik przystosowania.

Algorytm genetyczny jest niewrażliwy na typ filtru zastosowanego w kontrolerze systemu aktywnej redukcji. Tym samym daje on projektantom możliwość zastosowania filtru o strukturze jak najbardziej odpowiedniej do planowanego zadania. Możliwość wyboru dowolnej struktury filtru jest szczególnie przydatna w przypadku, gdy mamy do czynienia z obiektami nieliniowymi, których właściwości można odwzorować wyłącznie za pomocą filtrów nieliniowych. Taki filtr traktowany jest przez algorytm genetyczny jak „czarna skrzynka”, której wewnętrzna budowa nie wpływa na działanie algorytmu.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Goldberg D.E. *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998
- [2] Manolas D.A., Gialamas T., Tsahalis D.T. *A genetic algorithm for the simultaneous optimization of the sensor and actuator positions for an active noise and/or vibration control system*. Inter-Noise 96, 1187-1191
- [3] Pottie S., Botteldooren D. *Optimal placement of secondary sources for active noise control using a genetic algorithm*. Inter-Noise 96, 1101-1104
- [4] Suzuki T., Nelson P.A., Hamada H. *Searching and identification of noise sources using genetic algorithm*. Inter-Noise 96, 2815-2820
- [5] Werner J.C., Soletto J., Lima R.G., Fogarty T.C. *Active noise control in ducts using genetic algorithms*. Active 2002, 243-254

Kultura bezpieczeństwa jest to wynik indywidualnych i grupowych wartości, postaw, postrzegania, kompetencji i wzorów zachowań oraz stylu i jakości zarządzania bezpieczeństwem w organizacji.

Definicja Health and Safety Laboratory, Wielka Brytania

W Polsce wskaźniki częstotliwości śmiertelnych wypadków przy pracy oraz zapadalności na choroby zawodowe są wyższe od rejestrowanych w państwach Unii Europejskiej. O niskiej ogólnospołecznej kulturze bezpieczeństwa świadczą przyczyny wypadków przy pracy, bowiem aż 49,9% stanowią nieprawidłowe zachowania pracowników, a 14,6% niewłaściwa organizacja pracy lub stanowiska pracy spowodowane błędami kierownictwa, czyli **prawie 2/3 przyczyn wynika z niewystarczającej wiedzy i świadomości zarówno pracobiorców jak i pracodawców. Według wiarygodnych szacunków ogólne koszty wypadków przy pracy i chorób zawodowych wynoszą ok. 4% Produktu Krajowego Brutto, czyli ok. 24,6 mld zł. Zjawisko to ma więc swój ogromny wymiar humanitarny, społeczny i ekonomiczny.**

Do jednego z najbardziej wypadkogennych należy środowisko uczniowskie. Wskaźniki wypadkowości w tym środowisku, na wszystkich poziomach systemu oświatowego są alarmujące (16,5 wypadków na 1000 uczniów, wskaźnik dwukrotnie wyższy od średniej krajowej), przekraczają je tylko wskaźniki w sektorze górnictwa.

Gdyby rodzice mieli świadomość, że szkoła jest jednym z najniebezpieczniejszych miejsc z punktu widzenia wskaźnika wypadkowości, z pewnością byłby to jeden z najbardziej ważnych także dla nich problemów do rozwiązania.

Kształtowanie właściwych postaw w skali ogólnospołecznej jest zjawiskiem ciągłym i wymagającym czasu. Z doświadczeń krajów o wysokiej kulturze bezpieczeństwa wynika potrzeba rozpoczęcia działań od najwcześniejszych poziomów systemu edukacji narodowej.