

Mišrus genetinis algoritmas santvarų optimizavimui

Dmitrij ŠEŠOK (VGTU)

el. paštas: dsesok@gmail.com

Reziumė. Straipsnyje lyginamos dvi santvarų optimizavimo strategijos: nuoseklus ir sinchroninis topologijos bei formos optimizavimas. Optimizavimui naudojami genetiniai algoritmai. Sprendžiamas dvylikos galimų mazgų santvaros optimizavimo uždavinys. Tikslų funkcijai apskaičiuoti naudojamas baigtinių elementų metodas. Visos skaičiavimuose naudotos programos yra originalios ir sukurtos autoriaus.

Raktiniai žodžiai: globalioji optimizacija, baigtinių elementų metodas, genetiniai algoritmai, santvarų topologijos optimizavimas, santvarų formos optimizavimas.

1. Įvadas

Strypinių sistemų optimizavimu tyrėjai ir inžinieriai domisi jau daugiau nei 100 metų. Bet ir šiandien ši problema vis dar yra aktuali, nes strypinės konstrukcijos yra labai plačiai naudojamos inžinerinėje praktikoje. Šiame darbe lyginamos dvi galimos santvarų optimizavimo strategijos: nuoseklus ir sinchroninis topologijos bei formos optimizavimas. Kiekviena strategija naudojama sprendžiant dvylikos galimų mazgų santvaros optimizavimo uždavinį. Gauti rezultatai lyginami tarpusavyje.

Tikslų funkcija imama konstrukcijos masė ir sprendžiamas minimizavimo uždavinys:

$$\min M(x), \quad x \in D, \quad (1)$$

kur M yra konstrukcijos masė, D – galima santvaros konfigūracija, x – projektavimo kintamieji.

$$M = \sum_{e=1}^n L_e \rho_e A_e, \quad (2)$$

kur L_e – e -ojo elemento (strypo) ilgis, ρ_e – e -ojo elemento tankis, A_e – e -ojo elemento skerspjūvio plotas.

Santvaros charakteristikos nustatomos baigtinių elementų metodo [1] pagalba, t. y. sprendimas susiveda į lygčių sistemos $[K]\{U\} = \{F\}$ sprendimą, kur $[K]$ – standumo matrica, $\{U\}$ – poslinkių vektorius, $\{F\}$ – išorinių jėgų vektorius.

Sprendžiant optimizavimo uždavinį, naudojamos prielaidos:

- kraštinės sąlygos ir apkrovos fiksuotos;
- mazgų rinkinys – laisvas erdvėje;
- visų strypų skerspjūvis vienodas;
- tikrinamas tik lokalus stabilumas;

- strypai gali prasilenkti.

Lokalus stabilumas tikrinamas pagal formulę:

$$|F_e| \leq \frac{\pi^2 E_e I_e}{L_e^2}, \quad (3)$$

kur F_e – maksimali leistina gniuždymo jėga e -ame elemente, E_e – e -ojo elemento Jungo modulis, I_e – e -ojo elemento inercijos momentas, L_e – e -ojo elemento ilgis.

Uždaviniui taip pat įvedamas maksimalių įtempimų apribojimas:

$$|\sigma_e| \leq \sigma_{\max}, \quad (4)$$

kur σ_e – e -ojo strypo įtempimas, σ_{\max} – didžiausias leistinas įtempimas.

2. Uždavinio aprašymas

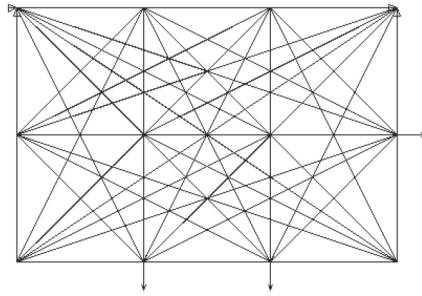
Panagrinėkime skaitinį dvylikos galimų mazgų santvaros optimizavimo pavyzdį. Tegul turime reguliarių mazgų tinklą su matmenimis 3×2 m. Du mazgai yra įtvirtinti. Dar trijuose mazguose pridėta nesimetrinė apkrova: dvi 25 kN ir 10 kN išorinės jėgos vertikalios kryptimi, ir viena išorinė jėga 15 kN – horizontalia kryptimi. Mazgai jungiami plieniniais strypais (medžiagos tamprumo modulis – 200 GPa, tankis – 7800 kg/m^3), kurių skerspjūvio plotas yra $5e - 4 \text{ m}^2$. Laikoma, kad įtempimai arba gniuždymai strypuose neturi viršyti 20 N/mm^2 .

Šiuo atveju turime 66 galimas strypų pozicijas (1 pav.).

Mazgų koordinatės pateiktos 1 lentelėje.

3. Uždavinio sprendimas

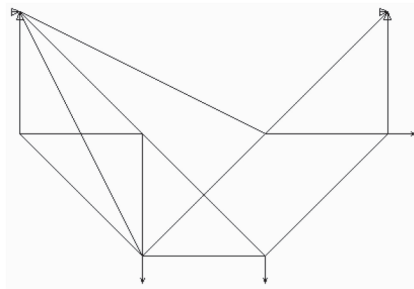
Naudojant modifikuotą genetinį algoritmą [2] iš pradžių buvo atliktas sprendžiamos santvaros topologijos optimizavimas, kurio rezultate buvo gauta santvara, kurios masė 79,4 kg (2 pav.). Vėliau, naudojant klasikinį genetinį algoritmą [3] buvo atliktas topologijos optimizavimo metu surastų santvaros formų optimizavimas. Gauta santvara turi masę 74,8 kg ir pavaizduota 3 pav.



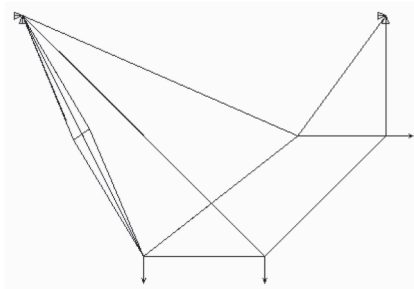
1 pav. Sujungimas visi-su-visais 12 galimų mazgų santvaroje.

1 lentelė. Mazgų koordinatės

Mazgo numeris	Koord. X	Koord. Y	Pastabos
1	1000	0	Pridėta išorinė jėga 25 kN vertikaliai žemyn
2	2000	0	Pridėta išorinė jėga 10 kN vertikaliai žemyn
3	3000	1000	Pridėta išorinė jėga 15 kN horizontaliai į dešinę
4	1000	2000	–
5	2000	2000	–
6	0	1000	–
7	1000	1000	–
8	2000	1000	–
9	0	0	–
10	3000	0	–
11	0	2000	Mazgas įtvirtintas
12	3000	2000	Mazgas įtvirtintas

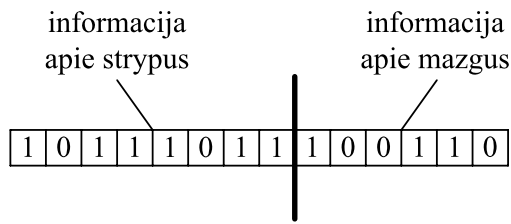


2 pav. Geriausias surastas 12 galimų mazgų santvaros topologijos optimizavimo uždavinio sprendinys.

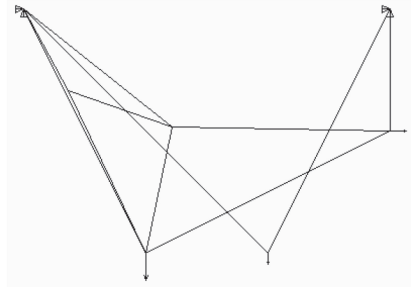


3 pav. Geriausias formos optimizavimo sprendinys.

Toliau buvo sprendžiamas sinchroninio topologijos bei formos optimizavimo uždavinys. Pirmiausia buvo konstruojamas genotipas į kurį įėjo kaip topologijos, taip ir formos optimizavimo kintamieji (4 pav.).



4 pav. Genotipas sinchroniniam topologijos ir formos optimizavimui.



5 pav. Geriausias sinchroninio topologijos ir formos optimizavimo sprendinys.

Toliau uždavinys buvo sprendžiamas mišriu genetiniu algoritmu, kuris yra panašus į modifikuotą genetinį algoritmą, tik naudoja sudėtingesnius kryžminimo ir mutacijos operatorius.

Rezultate buvo surasta santvara (5 pav.), kurios masė 70,5 kg, ir tai yra apie 6% geriau, negu atlikus topologijos ir formos optimizavimą nuosekliai.

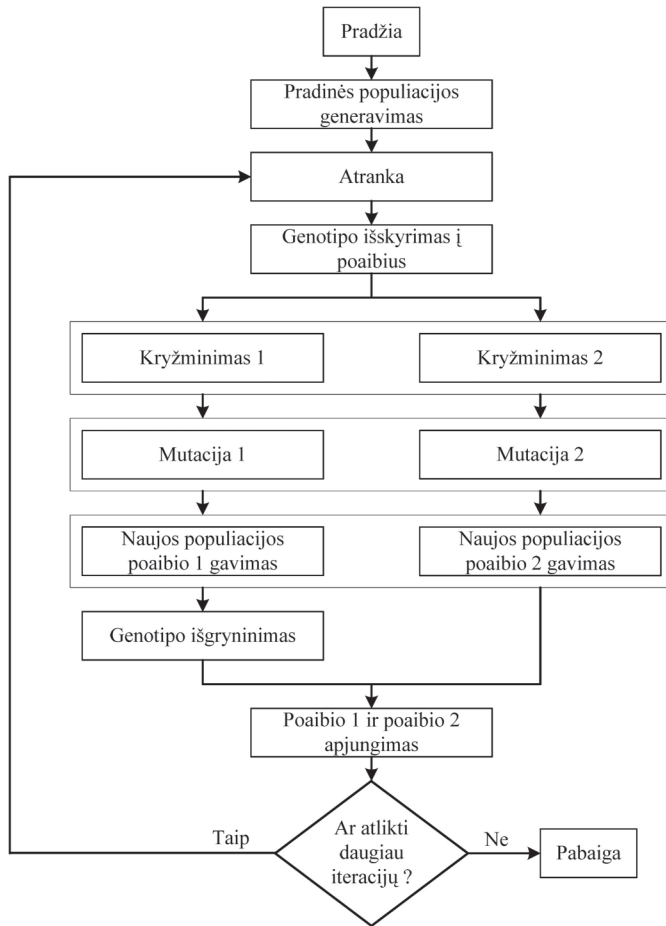
Mišraus genetinio algoritmo schema pavaizduota 6 pav.

Palyginus su modifikuotu genetiniu algoritmu, mišrus genetinius algoritmas turi kelias papildomas stadijas: genotipo išskyrimą į poaibius (7 pav. iš kairės) ir poaibių apjungimą (7 pav. iš dešinės).

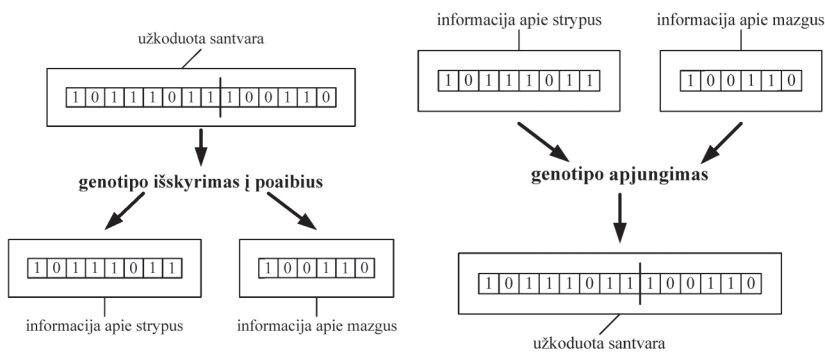
Genotipo išskyrimo į poaibius stadijos metu santvarą aprašanti bitų eilutė dalijama į dvi dalis: vienoje dalyje saugoma informacija apie strypus, kitoje – apie mazgų koordinates. Poaibių apjungimo stadija yra atvirkštinė genotipo išskyrimo į poaibius stadijai.

4. Apibendrinimai ir išvados

- Genetinius algoritmus galima taikyti santvarų topologijos optimizavimui.
- Genetinius algoritmus galima taikyti santvarų formos optimizavimui.
- Genetinius algoritmus galima taikyti sinchroniniam santvarų topologijos bei formos optimizavimui.
- Sinchroninis santvarų topologijos bei formos optimizavimas duoda geresnius rezultatus, negu nuoseklus topologijos ir formos optimizavimas.



6 pav. Mišrus GA, leidžiantis apjungti topologijos ir formos optimizavimus.



7 pav. Genotipo išskyrimo ir apjungimo stadijos.

Literatūra

1. C. Spyarakos, J. Raftoyiannis, *Linear and Nonlinear Finite Element Analysis in Engineering Practice*, Algor Publishing Division. Pittsburgh (1997).
2. D. Šešok, R. Belevičius, Modified genetic algorithm for optimal design of truss structures, *Mechanika*, 4(68), 53–59 (2007).
3. D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, New-York (1989).

SUMMARY

D. Šešok. Mixed genetic algorithm for optimization of trusses

In this paper two strategies of optimization are compared: sequential and synchronous topology and shape optimization of trusses. Genetic algorithms are used for optimization. A task of optimization of truss with twelve possible nodes is solved. Finite elements method is used to calculate an objective function value. Software used in calculations was created by the author.

Keywords: global optimization, finite elements method, genetic algorithms, topology optimization of trusses, shape optimization of trusses.