

## Simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos sintezė ir tyrimas

**A. Dambrauskas, D. Udris**

*Automatikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,*

*Aušros Vartų g. 7a, LT-2600 Vilnius, Lietuva, tel. (+3705)2627710; el.paštas dainius.udris@el.vtu.lt*

### Įvadas

Optimalių bei jiems artimų paieškos algoritmų sintezė yra vienas iš aktualiausių paieškinės optimizacijos teorijos uždavinių, įgalinančių priartėti prie tos klasės algoritmams maksimalaus paieškos efektyvumo ribos.

Ekstreminės sistemos optimaliu paieškos algoritmu laikytinas algoritmas, greičiausiai bei tiksliausiai pasiekiantis ekstremumą. Šios dvi sąlygos yra gana prieštaringos, todėl paieška skirstoma į du etapus – kopimo ir tikslinimo [1]. Kopimo etape paieškos algoritmo efektyvumo kriterijus yra simplekso centro poslinkio grad $Q$  kryptimi matematinės vilties maksimumas:

$$M[\Lambda] \rightarrow \max. \quad (1)$$

Tikslinimo etape paieškos algoritmo efektyvumo kriterijus yra atsitiktinio simplekso klaidžiojimo aplink ekstremumą vidutinio atstumo iki tikslo minimumas:

$$M[S] \rightarrow \min. \quad (2)$$

Įvairių simpleksinės paieškos algoritmų efektyvumo kriterijai (1) ir (2) skiriasi.

Esant aukštam trukdžių lygiui, tikslinga keisti paieškos strategiją – kopimo etape naudoti kryptį stabilizuojantį algoritmą, o tikslinimo etape – laisvai viršūnes atspindintį algoritmą.

Sudarant kintamosios strategijos paieškos algoritmą, reikia nustatyti, kokiomis sąlygomis naudotina viena paieškos strategija, kokiomis – kita. Pereinant iš kopimo etapo prie tikslinimo, reikia nustatyti, kada patenkama į ekstremumo sritį. Ekstremumo sritimi galima laikyti hipersferą, kurios orbitos spindulys  $S^*$ . Kai atstumas nuo simplekso centro iki ekstremumo  $S < S^*$ , galima tarti, kad ekstremumo sritis pasiekta. Kitaip tariant, kintamosios strategijos algoritmui reikalinga informacija apie atstumą iki ekstremumo. Kadangi optimizuojamo objekto matematinis modelis yra nežinomas, tiesiogiai apskaičiuoti šio atstumo neįmanoma, tačiau galima nustatyti netiesioginiais metodais [1]:

1. Esant aukštam trukdžių lygiui, patekimo į ekstremumo sritį momentą galima nustatyti pagal slenkamąjį vidurkį:

$$X_n = \frac{1}{G} \sum_{l=1-G+n}^n x_l^0. \quad (3)$$

Patekimo į ekstremumo sritį momentą galima suformuluoti taip: jeigu nuo paieškos žingsnio  $n_0$ , kai visi  $n > n_0$ , tenkinama sąlyga

$$\|X_n - X_{n+1}\| < \delta; \quad (4)$$

(čia  $\delta$  – pakankamai mažas dydis), tai žingsnis  $n_0$  nurodo patekimo į ekstremumo sritį momentą. Šio kriterijaus patikimumas labai priklauso nuo parametrų  $\delta$  ir  $G$  parinkimo pagal objekto savybes bei trukdžių lygį.

2. Galima taikyti funkcijos netiesiškumo ir kitus kriterijus, pvz., vidurkio pokyčio kriterijų – skirtumą tarp išmatuotos ir nuspėtos  $y$  vertės naujoje simplekso viršūnėje. Trūkumas – didelė priklausomybė nuo objekto savybių.

Paieškos strategijos įvertinimo kriterijumi gali būti laikomas santykinės simplekso centro poslinkio link tikslo matematinės vilties maksimumas:

$$M[\Omega | S] \rightarrow \max. \quad (5)$$

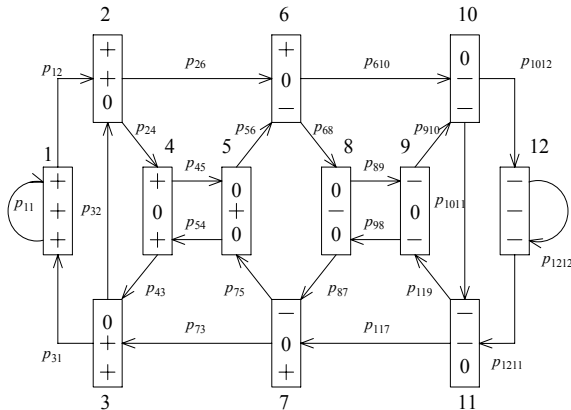
Šis kriterijus aktualus tiek kopimo, tiek tikslinimo etapuose – didėjant  $M[\Omega | S]$  vertei visiems  $S$ , didėja paieškos sparta toli nuo tikslo bei ekstremumo radimo tikslumas. Tiriant įvairių paieškos algoritmų charakteristikas (5), atsiranda galimybė sudaryti optimalią algoritmų taikymo seką konkrečiam objektui optimizuoti, kartu įrodant kintamosios strategijos paieškos algoritmų efektyvumą.

### Simpleksinė būsenas atpažįstanti paieška

Simpleksinė būsenas atpažįstanti paieška [2, 3] pagrįsta informacijos apie esamą paieškos žingsnį (žingsnių seką) analize bei taikymu kitame žingsnyje. Būseną apibrėžiama kaip paieškos fragmentas, atitinkantis sudėtingą daugiaryšės Markovo grandinės būseną. Būsenas atpažįstančio algoritmo taisyklės kiekviename paieškos žingsnyje sudaromos atsižvelgiant į sistemos būseną. Šios taisyklės perskirsto pereinamąsias tikimybes, laikinai pašalina kai kuriuos perėjimus tarp sistemos būsenų bei sudaro perėjimų, atitinkančių ciklinius procesus, sekas. Tokia adaptyvi kintamosios struktūros paieškos sistema, reaguojanti į optimizavimo proceso būsenas, pajėgi greitai pakeisti savo parametrus bei struktūrą, o tai labai padidina paieškos efektyvumą.

Galima būsenų atpažinimo įtaka paieškos algoritmui nagrinėjama analizuojant triryšę Markovo grandinę, aprašančią simpleksinės uždraustos grįžties paieškos kopimo etape tikimybinės savybes, kai  $k = 2$  (1 pav.).

Pasinaudojant būsenų atpažinimu, paieškos procese galima naudoti šią informaciją: kiekviename paieškos žingsnyje stebimų tikslo funkcijos verčių atmetamoje ir naujai gautoje simplekso viršūnėje skirtumus, viršūnių atspindėjimo seką, įvairius rodiklius bei įverčius, skaičiuojamus pasinaudojant turima informacija ir leidžiančius nustatyti simplekso judėjimo pobūdį (tiesiaeigį, apskritiminį ir kt.), įvertinti kelių paskutinių paieškos žingsnių sėkmę.



1 pav. Simpleksinės uždraustos grįžties paieškos kopimo etape Markovo grandinės stochastinis grafas

Jeigu su tam tikru patikimumu nustatėme, kad paieškos sistemos būsena atitinka 1-ąją sudėtingąją Markovo grandinės (1 pav.) būseną, kitu žingsniu tikslinga panaikinti perėjimą iš 1-osios būsenos į 2-ąją, t. y. nereikėtų keisti judėjimo krypties. Tai galima atlikti stabilizuojant judėjimo kryptį – atspindėti simplekso viršūnę, kuri nebuvo atmeta darant ankstesnius  $k + 1$  paieškos žingsnius, t. y. atspindėti seniausią viršūnę. Jeigu sistema yra 12-osios būsenos, reikėtų uždrausti grįžti į šią būseną, t. y. pakeisti simplekso judėjimo kryptį atspindint viršūnę, kuri nebuvo atmeta darant ankstesnius  $k$  paieškos žingsnių (antrą pagal senumą). Taip sudarytas algoritmas nesilaiko tradicinių optimizacijos taisyklių (atspindėti blogiausią simplekso viršūnę), tačiau padaro paieškos sistemą efektyvesnę sudėtingomis sąlygomis.

Sintezuojant simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmus, sprendžiami šie pagrindiniai uždaviniai:

1. Daugiaryšės Markovo grandinės struktūra sintezuojama pagal pasirinktą kriterijų, įvertinant priešistorę ir laikantis reikiamų apribojimų. Tokios sintezės rezultatas – Markovo grandinė, aprašanti bazinę strategiją esamam paieškos etapui (kopimo, tikslinimo, sekimo ir t. t.).

2. Markovo grandinės būsenos padalijamos į grupes, atitinkančias tam tikrą paieškos situaciją (slenkamojo judėjimo, pasisukimo ar kt.) ir skiriasi viena nuo kitos būdinga informacija apie viršūnių atspindėjimo seką ankstesniuose žingsniuose. Sudaromos taisyklės kiekvienai būsenų grupei atpažinti.

3. Pagal parinktą kriterijų optimizuojamos pereinamosios tikimybės kiekvienai paieškos situacijai. Taip perskirstomos pereinamosios tikimybės, panaikinami kai kurie perėjimai bei būsenos, sudaromi vieninteliai galimi perėjimai. Gaunami įvairių parametų ir struktūros Markovo grandinės variantai, atitinkantys kiekvieną paieškos situaciją arba sistemos būseną, įgalinantys sudaryti paieškos algoritmą.

### Simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmas kopimo etapui, esant toli nuo ekstremumo

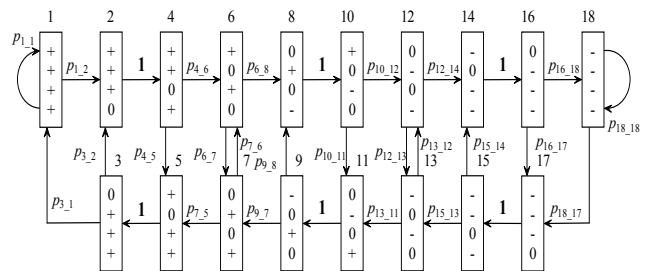
Paieškos statistinėms charakteristikoms tirti kopimo etape taikomas objekto matematinis modelis

$$y(x) = Q(x) + \varepsilon, \quad (6)$$

kurio

$$Q(x) = \sum_{i=1}^k a_i x_i \quad (7)$$

yra tiesinė funkcija, gerai išreiškianti lokalias objekto savybes toli nuo ekstremumo. Tarkim, kad  $k = 2$ , simpleksas yra orientuotas taip, jog viena jo briauna kolineari funkcijos  $Q(x)$  gradientui. Tada (ieškant maksimumo) taisyklingas žingsnis paslenka simplekso centrą  $\text{grad}Q$  kryptimi atstumu  $\lambda = \lambda'$ , o klaidingas žingsnis – atstumu  $\lambda = -\lambda'$  (čia  $\lambda$  – žingsnio projekcija  $\text{grad}Q$  kryptimi, o  $\lambda'$  – šios projekcijos modulis). Taip pat galimas nulinis žingsnis, nekeičiantis simplekso centro padėties  $\text{grad}Q$  kryptimi. Sintezuojant būsenas atpažįstančios paieškos algoritmą, pasižymintį maksimaliu simplekso centro poslinkiu link tikslo, gauta keturiryšė Markovo grandinė, kurios stochastinis grafas pavaizduotas 2 pav.



2 pav. Simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos kopimo etapui Markovo grandinės stochastinis grafas

Šiame simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritme kopimo etapui nėra perėjimų „0 0“, „+ -“, „- +“, t. y. neleidžiama judėti atgal. Pereinamosios tikimybės  $P_{2,4}, P_{5,3}, P_{8,10}, P_{11,9}, P_{14,16}, P_{17,15}$  lygios 1, t. y. priverstinai atspindimos senos viršūnės.

Tokio paieškos algoritmo pagrindinės taisyklės, ieškant maksimumo, gali būti tokios:

1. Surasti paskutinio simplekso seniausios viršūnės numerį  $m_r = \max \{m_j\}, j = 1, \dots, k + 1$ .

2. Nustatyti žingsnių, kurių metu viršūnė  $v_r$  nebuvo atmeta, skaičių:

a) jeigu  $m_r \geq k + 1$ , tai  $s = r$  ir reikia vykdyti 5 punktą;

b) jeigu  $m_r < k + 1$ , – vykdyti 3 punktą.

3. Atmetus numerį  $r$ , iš likusių rasti seniausią viršūnę  $p$ :

$$m_p = \max_{j \neq r} \{m_j\}, \quad j = 1, \dots, k + 1.$$

4. Išanalizuoti tikslo funkcijos pokytį  $\Delta y_p = y_p^H - y_p$ ,

gautą atspindėjus viršūnę  $v_p$ :

a) jeigu  $\Delta y_p \geq 0$ , tai  $s = r$ ;

b) jeigu  $\Delta y_p < 0$ , tai  $s = p$ .

5. Atspindėti viršūnę, kurios numeris  $s$ .

6. Surasti tikslo funkcijos vertę  $y_s^H$  naujoje viršūneje,

taip pat pokytį  $\Delta y_s = y_s^H - y_s$ .

7. Priskirti vertes

$$y_s = y_s^H, \quad m_j = m_j + 1, \quad j = 1, \dots, k + 1.$$

8. Grįžti į 1 punktą.

Aprašyto simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmo kopimo etapui statistines charakteristikas, kai  $k = 2$  ir objektas aprašomas modeliu (6), (7), galima rasti skaičiuojant pereinamąsias stochastinio grafo 2 pav. tikimybes:

$$\begin{aligned} p_{1\_1} = p_{3\_1} = p_{6\_7} = p_{9\_7} = p_{10\_11} = p_{13\_11} = \\ = p_{16\_17} = p_{18\_17} = p \left\{ \varepsilon_1 - \frac{3}{2} A < \varepsilon_0 \right\}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} p_{1\_2} = p_{3\_2} = p_{6\_8} = p_{9\_8} = p_{10\_12} = p_{13\_12} = \\ = p_{16\_18} = p_{18\_18} = 1 - p_{1\_1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{4\_5} = p_{4\_6} = p_{7\_5} = p_{7\_6} = p_{12\_13} = p_{12\_14} = \\ = p_{15\_13} = p_{15\_14} = p \left\{ \varepsilon_1 < \varepsilon_0 \right\} = 0,5; \end{aligned}$$

$$p_{2\_4} = p_{5\_3} = p_{8\_10} = p_{11\_9} = p_{14\_16} = p_{17\_15} = 1.$$

Stacionarųjį sudėtingų būsenų kitimo procesą apibūdinančios ribinės tikimybės randamos iš lygčių sistemos:

$$\begin{cases} p_b = \sum_{a=1}^{\psi'} p_a p_{ab}, & b = 1, \dots, \psi' - 1, \\ \sum_{a=1}^{\psi'} p_a = 1. \end{cases} \quad (9)$$

Pereinamosios tikimybės  $p_{1\_1}$  apskaičiuojamos Monte Karlo metodu, t. y. surandama  $N$  atsitiktinių nepriklausomų dydžių  $\varepsilon_1$  ir  $\varepsilon_0$  verčių, pasiskirsčiusių pagal normalųjį dėsnį su nuline matematine viltimi ir dispersija  $\sigma_\varepsilon^2 = 1$ . Tuomet pereinamosios tikimybės (8) įvertis apskaičiuojamas pagal formulę

$$\hat{p}_{1\_1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta(\varepsilon_0, \varepsilon_1); \quad (10)$$

čia

$$\theta(\varepsilon_0, \varepsilon_1) = \begin{cases} 1, & \text{kai } \varepsilon_1 - \varepsilon_0 < \frac{3}{2} A, \\ 0, & \text{kai } \varepsilon_1 - \varepsilon_0 \geq \frac{3}{2} A. \end{cases} \quad (11)$$

Paieškos sistemos paprastųjų būsenų ribinės tikimybės randamos sumuojant sudėtingųjų būsenų su vienodomis paskutinėmis būsenomis ribines tikimybes:

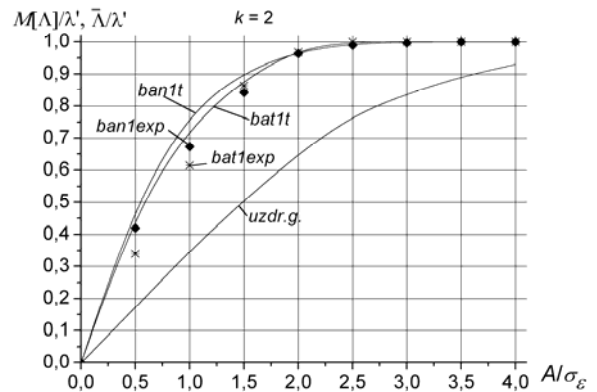
$$\begin{aligned} p_+ &= p_1 + p_3 + p_4 + p_5 + p_7 + p_{11}; \\ p_- &= p_8 + p_{12} + p_{14} + p_{15} + p_{16} + p_{18}; \\ p_0 &= p_2 + p_6 + p_9 + p_{10} + p_{13} + p_{17}. \end{aligned} \quad (12)$$

Simplekso poslinkio  $\text{grad}Q$  kryptimi per vieną paieškos žingsnį matematinė viltis

$$\frac{M[\Lambda]}{\lambda'} = p_+ - p_-. \quad (13)$$

Šių tikimybių vertėms apskaičiuoti buvo sudaryta kompiuterinė programa, atsitiktinių dydžių, pasiskirsčiusių pagal normalųjį dėsnį su nuline matematine viltimi ir dispersija  $\sigma_\varepsilon^2 = 1$ , vertes imanti iš 2500 elementų lentelės [4]. Atlikus  $N = 5000$  bandymų, apskaičiuotos teorinės simplekso poslinkio  $\text{grad}Q$  kryptimi per vieną paieškos žingsnį matematinės vilties, kai  $\lambda' = 1$ , priklausomybė nuo trukdžių lygio taip pat pavaizduota 3 pav.

Palyginimui 3 pav. pateikta uždraustos grįžties algoritmo simplekso centro poslinkio  $\text{grad}Q$  kryptimi per vieną paieškos žingsnį matematinės vilties priklausomybė nuo trukdžių lygio parodo akivaizdų būsenas atpažįstančios paieškos kopimo etapui algoritmo pranašumą.



3 pav. Būsenas atpažįstančios paieškos algoritmo kopimo etapui simplekso centro poslinkio  $\text{grad}Q$  kryptimi per vieną paieškos žingsnį priklausomybė nuo trukdžių lygio: teoriškai apskaičiuota (ban1t) bei eksperimentiškai gauta (ban1exp), esant normaliai pasiskirsčiusiam trukdžiui, ir teoriškai apskaičiuota (bat1t) bei eksperimentiškai gauta (bat1exp), esant tolygiai pasiskirsčiusiam trukdžiui

Šis simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmas ištirtas eksperimentiškai – pagal algoritmą sudaryta kompiuterinė paieškos programa, pagal (6) – tiriamo objekto modelis, pagal (7) – optimizuojamas rodiklis, trukdžiai – atsitiktiniai dydžiai, pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį su nuline matematine viltimi ir dispersija  $\sigma_\varepsilon^2 = 1$  iš tos pačios 2500 verčių lentelės [4]. Eksperimentinių tyrimų metu atlikta po 10000 paieškos žingsnių. Simplekso centro poslinkio  $\text{grad}Q$  kryptimi per vieną paieškos žingsnį vidurkis apskaičiuotas pagal formulę

$$\frac{\bar{\Lambda}}{\lambda'} = \frac{1}{\lambda' N} \sum_{n=1}^N \Lambda_n, \text{ kur } N = 10000, \quad (14)$$

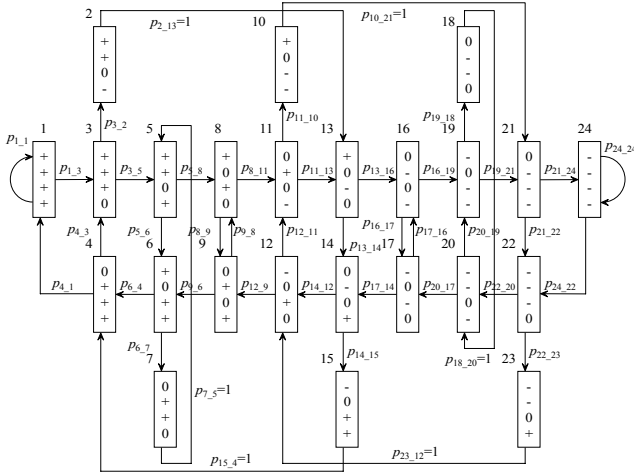
o gautos priklausomybės grafikai pateikti 3 pav. taškais.

Optimizuojant realius objektus trukdžiai gali turėti kitokių skirstinių, todėl surastos teorinės bei eksperimentinės paieškos charakteristikos, kai trukdžiai pasiskirstę tolygiai. Atsitiktinių tolygiai pasiskirsčiusių dydžių su nuline matematine viltimi ir dispersija  $\sigma_\varepsilon^2 = 1$  vertės paimtos iš 6250 elementų lentelės [4]. Skaičiavimams bei eksperimentams panaudotos tos pačios programos kaip ir trukdžių pasiskirsčiusių pagal normalųjį dėsnį, atveju. Gauti rezultatai pateikti 3 pav.

Kopimo etapui skirtas būsenas atpažįstančios paieškos algoritmas turi ribotą manevringumą ir tinka paieškai toli nuo ekstremumo. Artėjant prie tikslo funkcijos ekstremumo, būtina didinti paieškos manevringumą ir pereiti prie atsargesnės strategijos.

#### Simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmas kopimo etapui priartėjus prie ekstremumo srities

Kopimo etapui skirto simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmo manevringumą arti ekstremumo galima padidinti keičiant bazinę strategiją, pvz., priverstinai atspindint viršūnę ne kai  $m_r \geq k + 1$ , o kai  $m_r \geq k + 2$ . Paieškos algoritmas pakinta nedaug – tik vienos konstantos verte, tačiau jį aprašanti Markovo grandinė kitokia. Jos stochastinis grafas pateiktas 4 pav.



4 pav. Simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos kopimo etapui priartėjus prie pat ekstremumo srities Markovo grandinės stochastinis grafas

Šio padidinto manevringumo simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmo kopimo etapui statistines charakteristikas, kai  $k = 2$  ir objektas aprašomas modeliu (6), (7), galima rasti skaičiuojant pereinamąsias stochastinio grafo 4 pav. tikimybes:

$$\begin{aligned} p_{1_{-1}} &= p_{3_{-5}} = p_{4_{-1}} = p_{6_{-4}} = p_{8_{-9}} = \\ &= p_{12_{-9}} = p_{13_{-14}} = p_{17_{-14}} = p_{19_{-18}} = \\ &= p_{21_{-22}} = p_{22_{-23}} = p_{24_{-22}} = p\left(\varepsilon_1 - \frac{3}{2}A < \varepsilon_0\right); \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{1_{-3}} &= p_{3_{-2}} = p_{4_{-3}} = p_{6_{-7}} = p_{8_{-11}} = \\ &= p_{12_{-11}} = p_{13_{-16}} = p_{17_{-16}} = p_{19_{-21}} = \\ &= p_{21_{-24}} = p_{22_{-20}} = p_{24_{-24}} = 1 - p_{1_{-1}}; \\ p_{5_{-8}} &= p_{5_{-6}} = p_{9_{-6}} = p_{9_{-8}} = p_{11_{-13}} = \\ &= p_{11_{-10}} = p_{14_{-12}} = p_{14_{-15}} = p_{16_{-19}} = p_{16_{-17}} = \\ &= p_{20_{-19}} = p_{20_{-17}} = p(\varepsilon_1 < \varepsilon_0) = 0, 5; \end{aligned}$$

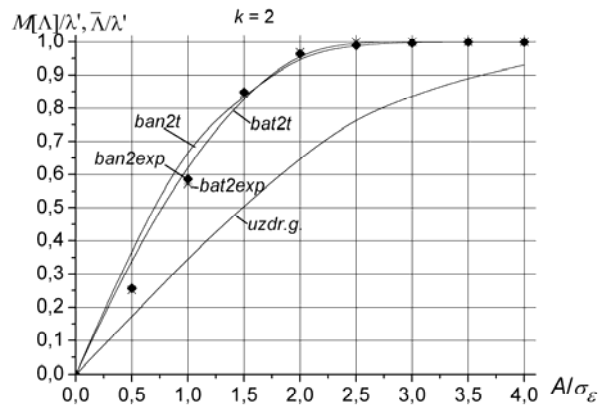
$$p_{2_{-13}} = p_{10_{-21}} = p_{18_{-20}} = p_{7_{-5}} = p_{15_{-4}} = p_{23_{-12}} = 1.$$

Stacionarųjį sudėtingųjų būsenų kaitos procesą apibūdinančios ribinės tikimybės randamos iš lygčių sistemos (9).

Pereinamosios tikimybės  $p_{1_{-1}}$  apskaičiuojamos Monte Karlo metodu, t. y. surandama  $N$  atsitiktinių nepriklausomų dydžių  $\varepsilon_1$  ir  $\varepsilon_0$  verčių, pasiskirsčiusių pagal normalųjį dėsnį su nuline matematine viltimi ir dispersija  $\sigma_\varepsilon^2 = 1$ , ir skaičiuojama naudojantis (10) ir (11) formulėmis.

Paieškos sistemos paprastųjų būsenų ribinės tikimybės randamos sumuojant sudėtingųjų būsenų su vienodomis paskutinėmis būsenomis ribines tikimybes:

$$\begin{aligned} p_+ &= p_1 + p_4 + p_5 + p_6 + p_9 + p_{14} + p_{15} + p_{23}; \\ p_- &= p_2 + p_{10} + p_{11} + p_{16} + p_{19} + p_{20} + p_{21} + p_{24}; \quad (16) \\ p_0 &= p_3 + p_7 + p_8 + p_{12} + p_{13} + p_{17} + p_{18} + p_{22}. \end{aligned}$$



5 pav. Būsenas atpažįstančios paieškos algoritmo kopimo etapui simplekso centro poslinkio gradQ kryptimi per vieną paieškos žingsnį priklausomybė nuo trukdžių lygio: teoriškai apskaičiuota (ban2t) bei eksperimentiškai gauta (ban2exp), esant normaliai pasiskirsčiusiam trukdžiui, ir teoriškai apskaičiuota (bat2t) bei eksperimentiškai gauta (bat2exp), esant tolygiai pasiskirsčiusiam trukdžiui

Simplekso poslinkio gradQ kryptimi per vieną paieškos žingsnį matematinė viltis apskaičiuojama pagal (13) formulę. Teoriniams skaičiavimams patikrinti pagal paieškos algoritmą sudaryta kompiuterinė programa ir atlikti eksperimentai. Simplekso centro poslinkio link tikslo vidurkis apskaičiuotas pagal (14) formulę. Skaičiavimo bei eksperimento rezultatai, esant normaliai bei tolygiai pasiskirsčiusiems trukdžiams, pateikti 5 pav.

Gauti rezultatai įrodo aukštą paieškos efektyvumą rodiklių trukdžių sąlygomis, netgi kai trukdžių lygis aukštesnis už naudingą signalą. Be to, paieškos efektyvumas nedaug priklauso nuo trukdžių pobūdžio –

gautos panašios priklausomybės esant tiek normaliai, tiek tolygiai pasiskirsčiusiam trukdžiai.

## Išvados

Būsenas atpažįstanti simpleksinė paieška pasižymi ypatingu efektyvumu, esant aukštam trukdžių lygiui:

1. Būsenas atpažįstančios simpleksinės paieškos algoritmo kopimo etapui su griežta paieškos krypties stabilizacija, esant normaliai pasiskirsčiusiam atsitiktiniam trukdžiui, greitaveika už uždraustos grįžties algoritmo yra didesnė: kai  $A/\sigma_\varepsilon = 0,5 - 2,78$  karto, kai  $A/\sigma_\varepsilon = 1 - 2,29$  karto.

2. Būsenas atpažįstančios simpleksinės paieškos algoritmo kopimo etapui su silpnesne paieškos krypties stabilizacija, esant normaliai pasiskirsčiusiam atsitiktiniam trukdžiui, greitaveika už uždraustos grįžties algoritmo yra didesnė: kai  $A/\sigma_\varepsilon = 0,5 - 2,11$  karto, kai  $A/\sigma_\varepsilon = 1 - 1,94$  karto.

3. Būsenas atpažįstančios simpleksinės paieškos algoritmų kopimo etapui greitaveika nedaug priklauso nuo atsitiktinių trukdžių pobūdžio – tiek teoriniai skaičiavimai,

tiek modeliavimo rezultatai esant normaliai bei tolygiai pasiskirsčiusiems atsitiktiniams trukdžiams skiriasi ne daugiau kaip 10%.

## Literatūra

1. **Dambrauskas A.** Simpleksinės paieškos metodai. - Vilnius: Technika, 1995. – P.192–202.
2. **Дамбраускас А. П., Кушнир В. П.** Симплексный поиск с распознаванием состояния // Математическое обеспечение исследований стохастических и детерминированных моделей. – Новосибирск: НЭТИ, 1986. – С. 90-102.
3. **Дамбраускас А. П., Кашеев В. А., Кошаев О. В.** Перспективные направления синтеза алгоритмов симплексного поиска // Оптимизация режимов работы систем электроприводов. – Красноярск: КПИ, 1982. – С. 148-156.
4. **Большев Л. Н., Смирнов Н. В.** Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983.

Pateikta spaudai 2003 06 17

**A. Dambrauskas, D. Udris. Simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos sintezė ir tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 7(49). – P.47-51.**

Pateikti simpleksinės būsenas atpažįstančios paieškos algoritmų sintezės principai, nurodyti paieškos efektyvumo kriterijai. Sudaryti ir ištirti du būsenas atpažįstančios simpleksinės paieškos algoritmai kopimo etapui. Pateiktos šiuos algoritmus aprašančios keturryšės Markovo grandinės bei pereinamųjų ir ribinių tikimybių matematinės išraiškos. Pateiktos teorinės ir eksperimentinės šių paieškos algoritmų efektyvumo priklausomybės nuo trukdžių lygio. Tyrimai atlikti su normaliai bei tolygiai pasiskirsčiusiais atsitiktiniais trukdžiais. Palyginimui pateikta uždraustos grįžties simpleksinės paieškos efektyvumo priklausomybė nuo trukdžių lygio. Gauti rezultatai įrodo būsenas atpažįstančios simpleksinės paieškos algoritmų pranašumą, palyginti su įprastine simpleksine paieška, eksperimentiniai tyrimai patvirtina teorinių skaičiavimų rezultatus, taip pat įrodo, kad paieškos efektyvumas beveik nepriklauso nuo trukdžių pasiskirstymo pobūdžio. Darbo rezultatai gali būti panaudoti kuriant naujus efektyvius simpleksinės paieškos algoritmus. II, 5, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**A. Dambrauskas, D. Udris. Synthesis and Analysis of Simplex Search With State Recognition // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003. – No. 7(49). – P.47-51.**

A synthesis method of simplex search with state recognition during the climbing stage was presented. The statistical analysis of simplex search with state recognition was made using a multiple Markov chain to describe the search process in noisy surrounding. Results of experimental investigation of simplex search with state recognition were presented too. The investigation showed that simplex search with state recognition is faster than ordinary simplex search when signal to noise ratio is less than 4. During the climbing stage it is invariant to the distribution type of the accidental noise, depends only on the dispersion. These results can be used to found new effective algorithms of simplex search. III, 5, bibl. 4 (in Lithuanian, Summaries in Lithuanian, English and Russian).

**А. Дамбраускас, Д. Удрис. Синтез и анализ симплексного поиска с распознаванием состояния // Электроника и электротехника. – Kaunas: Technologija, 2003. – № 7(49). – С.47-51.**

Представлены принципы синтеза алгоритмов симплексного поиска с распознаванием состояния, указаны критерии эффективности поиска. Составлены два алгоритма симплексного поиска с распознаванием состояния для этапа восхождения и произведен статистический анализ, применяя многосвязные цепи Маркова для описания процессов поиска в обстановке помех. Также произведено моделирование поиска при нормально и равномерно распределенных помехах. Полученные теоретические статистические характеристики совпадают с результатами моделирования и позволяют оценить высокое быстродействие поиска в этапе восхождения, доказывают его инвариантные свойства к характеру распределения помехи. Полученные результаты могут быть использованы при создании новых эффективных алгоритмов симплексного поиска. Ил. 5, библи. 4 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.11089