

Daugiaparametrinis prieigos tinklo aprėpčių zonų optimizavimas

Vitas GRIMAILA, Narimantas LISTOPADSKIS (KTU)

el. paštas: vgrimaila@takas.lt, narlis@ktu.lt

Pažangių telekomunikacijų tinklų technologijų atsiradimas, komutavimo bei naujų perdavimo principų naudojimas, įvairialypių paslaugų pateikimo sprendimų (VPN, VLAN ir kt.) taikymas, bei nauji tradicinių paslaugų perdavimo būdai (VoIP, VoMPLS ir kt.) kelia naujus reikalavimus telekomunikacijų teorijos pritaikymams, atsiranda poreikis naujiems optimizavimo bei telekomunikacijų sistemų analizės metodams. Aukštas šiuolaikinių technologijų integracijos ir sudėtingumo lygis, bei didelė šiuolaikinių telekomunikacinių sistemų kaina igalina tinklų struktūrų sudarymo, optimizavimo, modeliavimo, bei kokybės parametrų parinkimo klausimus spręsti remiantis objektyvia analize, taikant šiuolaikinius programinius metodus bei naujus modelius.

Telekomunikacijų tinklų optimizavimui pradedama naudoti šiuolaikiniai daugiakriteriniai, kombinatorinio optimizavimo pagrįsto genetiniais algoritmais, dinaminio programavimo ir kiti metodai. Tačiau šie metodai nėra universalūs dažniausiai taikomi gana „siauriems“ tinklo optimizavimo klausimams spręsti ir dėl to jų panaudojimas yra gana ribotas.

Bendru atveju daugiafunkcinio prieigos tinklo kaštų minimizavimo tikslo funkcija su n kintamųjų yra

$$Z_{opt} = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Tikslo funkcijos kintamaisiais gali būti įvairūs parametrai iš prieigos tinklo aprėpti bei technologijas aprašančios parametrų aibės, o taip pat kitos laisvai pasirenkamos parametrų aibės.

Ieškant optimalaus sprendimo naudojami daugiaparametrinio optimizavimo metodai. paieškos metu reikia kontroliuoti tam tikrus faktorius (pavyzdžiui, kokybę, patikimumą ir kt.), kurie tenkintų tam tikrus apribojimus. Kadangi dauguma kintamųjų su kokybės bei patikimumo rodikliais, susiję netiesinėmis priklausomybėmis, todėl daugiaparametrinis optimizavimo metodas su apribojimais suvedamas į netiesinio programavimo uždavinį. Prieigos tinklo optimizavimo atveju daugumos kintamųjų reikšmių aibės yra diskrečios, o kai kurių netgi neskaitinės, pavyzdžiui: moduliacijos tipų: QPSK, 4QAM, 16QAM ir pan. Todėl tolydaus programavimo metodai šio uždavinio sprendimui negali būti naudojami. Aprėpčių zonų ir jų sudedamųjų dalių – tinkelio elementų – dydžiai iš prigimties yra tolydūs, bet tradiciškai yra naudojamos tik diskrečios šių kintamųjų aibės. Be to, pasirinkus diskrečias kintamųjų aibes nereikia

naudoti sudėtingų mišraus programavimo metodų. Gauname diskretaus optimizavimo uždavinį.

Prieigos tinklo optimizavimo metodas

Prieigos tinklo optimizavimo metodo algoritmas sudaromas pasitelkiant ir apjungiant minimalių kaštų bei aprėpčių nustatymo pagal kokybės rodiklius metodus. Prieigos tinklo kaštų minimizavimo tikslo funkcija, pagal (1) išreiškiama tokia priklausomybe

$$C = f(A, T) \rightarrow \min, \quad \text{čia } A \in \mathbf{A} \text{ ir } T \in \mathbf{T}, \quad (2)$$

kai $A = (B, L)$, $T = (M, R, H, V, W, G)$. Šioje išraiškoje

C – tinklo įdiegimo kaštai;

A – prieigos tinklo aprėpties kintamieji:

B – tinklelio elemento dydis (plotas), km^2 ,

L – aprėpties zonos dydis (plotas), km^2 ;

T – tinklo prieigoje naudojamos technologijos kintamieji:

M – kanalo/perdavimo terpės tipas,

R – duomenų perdavimo sparta, kbps,

H – duomenų paketų aptarnavimo disciplina,

V – prieigos prie kanalo metodas,

W – moduliacijos tipas,

G – kodeko tipas.

(2) išraiškoje kintamųjų aibės aprašomos taip

$$\mathbf{A} = \mathbf{B} \times \mathbf{L} \quad \text{ir} \quad \mathbf{T} = \mathbf{M} \times \mathbf{R} \times \mathbf{H} \times \mathbf{V} \times \mathbf{W} \times \mathbf{G}, \quad (3)$$

čia

$\mathbf{B} = \{B_1, B_2, \dots, B_{n_1}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{B} = \{0, 1, 0, 2, 0, 3, \dots, 0, 6\}$;

$\mathbf{L} = \{L_1, L_2, \dots, L_{n_2}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{L} = \{1, 2, 3, \dots, 15\}$;

$\mathbf{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_{n_3}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{M} = \{\text{optika, radijo, laidinis}\}$;

$\mathbf{R} = \{R_1, R_2, \dots, R_{n_4}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{R} = \{64, 128, 192, \dots, 34000\}$;

$\mathbf{H} = \{H_1, H_2, \dots, H_{n_5}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{H} = \{\text{M/M/1, M/M/1/S, M/D/1, M/G/1, } \dots\}$;

$\mathbf{V} = \{V_1, V_2, \dots, V_{n_6}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{V} = \{\text{FDMA, TDMA, CDMA, CSMA/CA, } \dots\}$;

$\mathbf{W} = \{W_1, W_2, \dots, W_{n_7}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{W} = \{\text{QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, } \dots\}$;

$\mathbf{G} = \{G_1, G_2, \dots, G_{n_8}\}$, pavyzdžiui, $\mathbf{G} = \{G.711, G.722, G.726, G.728, G.729, \dots\}$;

n_1, n_2, \dots, n_8 – kintamųjų reikšmių skaičius.

Algoritmo veiksmų sumažinimo strategija

Optimizuojant prieigos tinklą naudojama daug kintamųjų. Paprasčiausiu atveju, ieškant leistinojo bei optimalaus sprendinio visos galimos kintamųjų reikšmės ir jų kombinacijos turi būti perrinktos. Tačiau pilnas kintamųjų perrinkimas, gali pareikalauti labai didelių laiko ir skaičiavimo resursų sąnaudų. Tarkim, n yra kintamųjų kiekis, o n_k – k -tojo kintamojo galimų reikšmių kiekis $k = 1, n$, tuomet pilnas perrinkimų skaičius Np nustatomas taip:

$$Np = \prod_{i=1}^n n_k. \quad (4)$$

Siekiant sumažinti galimų perrinkimų skaičių siūloma naudoti kintamųjų surikiavimo strategiją, kuri teoriškai pagrįsta klasikiniuose optimizavimo uždaviniuose (kuprinės [1], darbų išdėstymo vienam įrenginiui [2] uždaviniuose). Prieigos tinklo optimizavimo atveju atliekamas kintamųjų surikiavimas atskirai pagal jų poveikį tikslo funkcijai ir įvestoms apribojimų funkcijoms. Norint įvertinti šį poveikį reikia atlikti tikslo funkcijos (kaštų), apribojimų funkcijų (kokybės rodiklių), ir algoritmo kintamųjų priklausomybių analizę.

Prieigos tinklo optimizavimo uždavinys

Suformuluosime optimizavimo uždavinį: tarkim, duota funkcija $C = f(A, T)$ ir sąlygos, kurias tenkina nežinomieji (A, T) , reikia rasti kintamųjų reikšmes (A^*, T^*) , kurioms esant funkcijos reikšmė būtų minimali, t.y., $C_{\min} = f(A^*, T^*)$, ir būtų tenkinama apribojimų sistema

$$\begin{cases} Q_{1 \min} \leq Q_1(A^*, T^*) \leq Q_{1 \max}, \\ Q_{2 \min} \leq Q_2(A^*, T^*) \leq Q_{2 \max}, \\ \dots, \\ Q_{r \min} \leq Q_r(A^*, T^*) \leq Q_{r \max}. \end{cases} \quad (5)$$

Čia Q_1, Q_2, \dots, Q_r – iš pradinės prieigos tinklo struktūros nustatytas kokybės rodiklis; $Q_{1 \min}, Q_{2 \min}, \dots, Q_{r \min}, Q_{1 \max}, Q_{2 \max}, \dots, Q_{r \max}$ – užduoto kokybės rodiklio minimali/maksimali reikšmės.

Prieigos tinklo optimizavimo algoritmas

Optimizavimo algoritmą sudaro šie žingsniai:

1 žingsnis. Įvedami pradiniai duomenys: paruošiamas skaitmeninis GIS žemėlapis, nustatomas nagrinėjamos teritorijos plotas, prognozuojamas abonentų kiekis.

2 žingsnis. Užduodami r kokybės rodiklių apribojimai: $Q_{1 \min}, Q_{2 \min}, \dots, Q_{r \min}, Q_{1 \max}, Q_{2 \max}, \dots, Q_{r \max}$, kuriuos turi užtikrinti optimizuojamas prieigos tinklas.

3 žingsnis. Atliekamas kintamųjų B, L, M, R, H, V, W, G surikiavimas atskirai pagal jų poveikį tikslo funkcijai ir įvestoms apribojimų funkcijoms.

4 žingsnis. Optimizavimo algoritme priklausomai nuo pasirinktos prieigos tinklo technologijos nagrinėjama teritorija gali būti suskirstoma:

- a) laidinės prieigos atveju: stačiakampiais tinklelio elementais, iš kurių formuojamos L dydžio aprėpties zonos. Tinklelio elementų vienetų skaičius randamas taip:

$$N_B = \frac{S_{n.t.}}{B} = \frac{N_L \cdot L}{b_x \cdot b_y}; \quad (6)$$

čia $S_{n.t.}$ – nagrinėjamos teritorijos plotas; N_L – aprėpties zonų skaičius; L – aprėpties zonos plotas; B – tinklelio elemento plotas.

- b) bevielės prieigos atveju: kvadrato arba šešiakampio formos tinklelio elementais, jų dydis parenkamas pagal didžiausią aprėpties spindulį. Tuomet kvadrato formos

elementų vienetų skaičius randamas taip:

$$N_{kv.e} = \frac{S_{n.t.}}{L_{kv.e}} = \frac{S_{n.t.}}{S_{sekt} \cdot 4} = \frac{S_{n.t.}}{\left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot 4} = \frac{S_{n.t.}}{2 \cdot d^2}; \quad (7)$$

čia $S_{sekt.}$ – bazinės stoties sektoriaus plotas; d – didžiausias aprėpties spindulys.

Šešiakampių elementų atveju:

$$N_{šeš.e} = \frac{S_{n.t.}}{L_{šeš.e}} = \frac{S_{n.t.}}{\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot d^2}. \quad (8)$$

5 žingsnis. Nurodomas stočių kiekis N_s , skaičiuojamos stočių pastatymo vietos, fiksuojami jų paskirstymai (laikiniai).

- a) Laidinei prieigai stoties pastatymo vieta nustatoma pagal minimalių kaštų metodą.
- a) Bevielės prieigos atveju: priimama, kad stotis statoma kvadrato arba šešiakampio centre. Šiuo atveju pereinama į 7 žingsnį.

6 žingsnis. Nustatomos stočių aprėptys: skaičiuojami abonentų prijungimo prie stoties kaštai $C(E)$ ir vidutinis i -tojo tinklelio elemento atstumas iki stoties D_{Ei} .

Abonento, esančio (x, y) vietovėje ir priskirto apkrovos zonai A , prijungimo prie stoties E esančios (X_E, Y_E) kaštai išreiškiami:

$$C(E) = C_j(A, E) + C_b(E) + D_E \cdot C_s(D_E) + C_f. \quad (9)$$

Atstumas nuo stoties, esančios (X_E, Y_E) , iki atitinkamo taško (x, y) gali būti skaičiuojamas pagal statinį

$$D(X_E, Y_E, x, y) = \sqrt{|X_E - x| \cdot b_x + |Y_E - y| \cdot b_y}. \quad (10)$$

7 žingsnis. Leistinojo sprendinio paieška

1. Kintamieji ir jų reikšmės yra sutvarkyti pagal įtaką kaštams ir kokybės kriterijams:

$$(X_1^{k,l_1}, X_2^{k,l_2}, \dots, X_n^{k,l_n}); \quad (11)$$

čia k – kintamojo X įtakos tvarkos indeksas, $k = 0$ – kaštams, $k = \overline{1, r}$ – kokybės kriterijui Q_k , r – kokybės kriterijų (apribojimų) skaičius, $l_s \in \{1, 2, \dots, n\}$ – kintamojo vieta pradiniam kintamųjų sąrašė, n – kintamųjų skaičius.

Kintamojo $X_i^{k,l}$ reikšmių sutvarkyta aibė

$$\{X_{i,1}^{k,l_1,t_1}, x_{i,2}^{k,l_1,t_2}, \dots, x_{i,m_i}^{k,l_1,t_{m_i}}\}; \quad (12)$$

čia $t_j \in \{1, 2, \dots, m_i\}$ – kintamojo $X_i^{k,l}$ j -sios reikšmės vieta pradiniam kintamojo reikšmių sąrašė.

2. Pasirenkamas pradinis kintamųjų reikšmių rinkinys x_1, x_2, \dots, x_n (kintamųjų ir jų reikšmių indeksai pagal pradinius sąrašus).

3. Pagal pasirinktas kintamųjų reikšmes apskaičiuojami kokybės rodikliai Q_1, Q_2, \dots, Q_r .
4. Randamas apribojimų pažeidimų vektorius $P = (p_1, p_2, \dots, p_r)$:

$$p_k = \begin{cases} 0, & \text{jei } Q_{k \min} \leq Q_k \leq Q_{k \max}, \\ -1, & \text{jei } Q_k < Q_{k \min}, \\ 1, & \text{jei } Q_{k \max} < Q_k, \end{cases} \quad k = \overline{1, r}. \quad (13)$$

Jei $P = (0, \dots, 0)$, rastas leistinasis sprendinys ir pereinama į optimalaus sprendinio paiešką.

Jei atlikus kintamojo pakeitimą pažeidimų vektoriuje atsirado naujų pažeidimų, t.y., pažeidimų vektoriaus elementai vietoj nulinės reikšmės igijo -1 arba 1 , arba pasikeitė pažeidimo tipas, t.y., vietoj -1 atsirado 1 arba vietoj 1 atsirado -1 , tuomet atsisakoma to kintamojo reikšmės pakeitimo ir parenkamas naujas kintamasis. Jeigu parinkti naujo kintamojo negalima (kintamųjų jau nėra), tuomet fiksuojamas apribojimų konfliktas.

5. Eilės tvarka parenkamas kintamasis, mažinantis pažeidimus, ir nagrinėjamos jo reikšmės. Tarkime, kad k_p – pasirinktas kriterijus, kuriam $p_{k_p} = -1$ arba $p_{k_p} = 1$. Tada ieškomas kintamasis, kuriam

$$\begin{cases} \text{jei } p_{k_p} = -1, & \text{tai } Q_{k_p}(x_{i,j}^{k_p, l_i, t_j}) < Q_{k_p}(x_{i, j+1}^{k_p, l_i, t_{j+1}}), \\ \text{jei } p_{k_p} = 1, & \text{tai } Q_{k_p}(x_{i,j}^{k_p, l_i, t_j}) > Q_{k_p}(x_{i, j-1}^{k_p, l_i, t_{j-1}}), \end{cases} \quad (14)$$

ir visiems $k = \overline{1, r}, k \neq k_p$, turi būti tenkinama sąlyga

$$\begin{cases} \text{jei } p_k = -1, & \text{tai } Q_k(x_{u,v}^{k, l_u, t_v}) \leq Q_k(x_{u, v+v_u}^{k, l_u, t_{v+v_u}}), \\ \text{jei } p_k = 1, & \text{tai } Q_k(x_{u,v}^{k, l_u, t_v}) \geq Q_k(x_{u, v-v_u}^{k, l_u, t_{v-v_u}}), \end{cases} \quad (15)$$

čia $l_i = l_u, t_j = t_v, t_{j+1} = t_{v+v_u}$ arba $t_{j+1} = t_{v-v_u}$, arba $t_{j-1} = t_{v+v_u}$, arba $t_{j-1} = t_{v-v_u}, v_u \geq 1$.

Parinę tokį kintamąjį kartojame 2 punktą. Jei tokio kintamojo parinkti negalima, tai leistinųjų sprendinių aibė tuščia.

8 žingsnis. *Optimaliojo sprendinio paieška*

1. Eilės tvarka imamas kintamasis mažinantis tikslo funkcijos reikšmę C .

$$C(x_{i,j}^{0, l_i, t_j}) > C(x_{i, j-1}^{0, l_i, t_{j-1}}). \quad (16)$$

2. Tikrinama ar toks kintamojo reikšmės pakeitimas nepažeis apribojimų, t.y., ar galios nelygybės

$$Q_{k \min} \leq Q_k(x_{u,v}^{k, l_u, t_v}) \leq Q_{k \max}, \quad k = \overline{1, r}, \quad l_i = l_u, \quad t_{j-1} = t_v. \quad (17)$$

3. Jei apribojimai nepažeidžiami, keičiama pasirinkto kintamojo reikšmė (indeksas $j = j - 1$) ir kartojamas 2 punktą. Jei apribojimai pažeidžiami, kartojamas 1 punktą (indeksas $i = i + 1$).
4. Jei nerandama kintamojo, kurio reikšmę pakeitus mažėtų tikslo funkcijos reikšmė, tai gautas optimalus sprendinys.

Plačiajuostės bevielės prieigos tinklo optimizavimas

Plačiajuostės bevielės prieigos tinklo optimizavimas pagal 1 lentelėje pateiktus duomenis atliktas naudojant aukščiau pateiktą algoritmą. Gauta optimali pagal kaštus ir atitinkanti užduotus kokybės kriterijus plačiajuostės bevielės prieigos tinklo struktūra pateikta 1 pav.

1 lentelė. Pradiniai duomenys

<i>Parametras/kintamasis</i>	<i>Reikšmė</i>
Teritorijos plotas	100 km ²
Abonentų skaičius	220
PBR sistemos charakteristikos	Ps=19 dBm, Gs=15 dB, Gi=28 dB, f=24,5 GHz
<i>M</i>	radijo
$d_1, \dots, d_{20}; \Delta d$, šešiakampių elementų atveju: $d = \sqrt{L \cdot \frac{2}{3\sqrt{3}}}$	0,18 ... 3,5; 0,175 km
$R_1, \dots, R_{16}; \Delta R$	64...1024; 64 kbps
<i>H</i>	M/M/1/S
<i>V</i>	TDMA
<i>W</i> , ryšio linijos darbingumas	a) QPSK, 99,999% b) 16QAM, 99,997%
G_1, \dots, G_6	G.711, G.722, G.723, G.726, G.728, G.729
$Q_1\{t\}$ – duomenų paketų vėlinimas	$Q_{1\max} = 30$ ms
$Q_2\{S/Tr\}$ – signalo ir trukdžio santykis	$Q_{2\min} = 20,68$ dB

Išvados

Sukurtas daugiaparametrinis prieigos tinklo optimizavimo metodo algoritmas turintis tokius privalumus:

- leidžia atlikti prieigos tinklo optimizavimą minimizuojant kaštus ir tuo pačiu užtikrinti užduotą kokybės lygį, pagal *r* kokybės rodiklį;
- metode prieigos tinklo kokybę charakterizuojantys rodikliai pasirenkami laisvai, tai leidžia optimizuoti skirtingos paskirties prieigos tinklus, orientuotus į balso, duomenų arba kitų paslaugų perdavimą;
- metodo algoritmas panaudojamas tradicinėms laidinėms, xDSL, optinių skaidulų ir radijo technologijų bazėje sudaromiems prieigos tinklams optimizuoti;
- metodas gali būti naudojamas ir kitokių optimizavimo uždavinių su apribojimais sprendimui, kurių kintamųjų reikšmių aibės yra diskrečios ir sutvarkomos atskirai pagal įtaką tikslo ir apribojimų funkcijoms.



1 pav. Teritorijos padengimas, kai nepažeidžiami $Q_1\{t\}$ ir $Q_2\{S/Tr\}$ apribojimai.
Pagrindiniai tinklo parametrai: QPSK moduliacija, $N_s = 5$, didžiausias spindulys 2,8 km,
ryšio darbingumas 99,999%.

Literatūra

1. D. Coppersmith, Knapsack used in factoring, in: *Open Problems in Communication and Computation*, Springer-Verlag, New York (1987), pp.117–119.
2. H. Ramalhinho, Job-shop scheduling: computational study of local search and large-step optimization methods, *European Journal of Operational Research*, **83**(2), 347–364 (1995).

SUMMARY

V. Grimaila, N. Listopadskis. Multiparametric optimization of coverage for access network

An important part of the telecommunication network is subscriber access. The multiparametric method that was developed for the access sector optimization allows choosing the optimal access structure and the technology in respect to the costs with assurance of sufficient quality of service.

Keywords: multiparametric, optimization, access network, broadband.