NJSZT

NEUMANN JÁNOS SZÁMITÓGÉPTUDOMÁNYI TÁRSASÁG
KOMPUTOSCIENCA SOCIETO JOHANO NEUMANN

APLIKO de KOMPUTILOJ en INDUSTRIO kaj ADMINISTRADO

prelegoj de

INTERKOMPUTO
BUDAPEST 1982

Dr. JÁRMAI Károly /H/:

APLIKADO DE PROGRAMADAJ METODOJ ĈE LA OPTIMUMA DIMENSIUMADO DE METALAJ STRUKTUROJ

Resumo:

La artikolo konigas la principon de la optimuma dimensiumado, la eblajn variablojn, la dimensiumadajn kondiĉojn kaj kostofunkciojn. Ĝi prezentas la uzon de la diversaj algoritmoj - tiun de retropaŝo /„backtrack"/ la kompleksa kaj de la DSFD - por la optimuma dimensiumado de la teknikaj konstruaĵoj, kaze de nelineara celfunkcio kaj nelinearaj dimensiumadaj kondiĉoj. Mallonge ĝi konigas la algoritmojn, ĝi priskribas iliajn funkciadojn kaj uzadojn ĉe solvo de diversaj taskoj. Kompletigante per diskreta-valortakso la kompleksan kaj la DSFD-an algoritmojn, tiuj fariĝas kompareblaj kun la metodo de retropaŝo, kaj se ni konvene elektas la valorseriojn, ni ricevas praktike efektivigeblan rezultaton.

Ĝi komparas la tri metodojn helpe de konkreta ekzemplo, ĉe la dimensiumado de veldita halokadro, kie la po kvar grandecoj de la I-profilaj kolonoj kaj de la traboj sume donas al ni ok variablojn. Dimensiumada kondiĉo estas la limigo de tensio, la konkaviĝo en la spino kaj en la zono, ĉu ĉe la kolonoj ĉu ĉe la traboj. La avantaĝo de la metodo de retropaŝo estas, ke ĝi donas la plej bonan solvon kaze de diskretaj valoroj, ĝia malavantaĝo estas la granda tempobezono kaze de multe da variabloj. La kompleksa kaj la DSFD-a algoritmoj estas pli rapidaj, sed la diskreta valortakso okazos poste.

La avantaĝo de la DSFD-a algoritmo estas tio, ke ĝi ne bezonas komencopunkton konvenan, la nombro de la variabloj povas esti granda: $n > 20$, ĝia malavantaĝo estas, ke ĝi emas doni lokan optimumon.

1. Enkonduko

Nuntempe la projektanto de teknika konstruaĵo pli kaj pli devas konsideri tion, ke la strukturo havu minimumajn pezon kaj koston. La optimuma dimenziumado signifas la trovon de la „kiel eble plej bona" solvo, tiu strukturo kontentigu la dimensiumadan kondiĉon kaj la valoro de la kostofunkcio estu minimuma. La kostofunkcio povas enteni la materian, muntan, veldan, farban, laboradan, ktp kostojn de la strukturo.

La dimensiumadaj kondiĉoj povas esti: formoŝanĝiĝo de la strukturo, la grandeco de la normalaj kaj tondaj tensioj en ĝi estiĝintaj, la stabileco de enkonstruitaj lamenoj /konkaviĝo/, la maksimuma kaj minimuma valoroj de la grandecoj traktitaj kiel variabloj, la memfrekvenco de la strukturo, la amortizo de oscilado, ktp.

La plej racie projektita strukturo estas elektita el la multaj eblaj alternativoj.

La optimumigo povas esti farita analitike aŭ per helpo de programadaj metodoj. La analitika programado ĝenerale povas esti uzata nur ĉe simplaj strukturoj, se la nombro de la variabloj estas malmulte /$n \leq 4$/. Ĉe pli malsimplaj strukturoj, se la nombro de la variabloj estas pli multa /$4 \leq n \leq 20$/, oni povas atingi la celon per la uzo de perkomputila algoritmo konvena por kalkulo de kondiĉa ekstrema valoro. Oni devas apliki programadajn metodojn ankaŭ tiam, se la variabloj povas alpreni nur diskretajn valorojn.

Tiu ĉi artikolo volas mallonge konigi tri algoritmojn efike aplikeblajn ĉe la strukturoptimumigado kaj iliajn ĝisnunajn aplikojn, komparante la kalkuladajn rezultatojn ĉe konkreta teknika konstrukta tasko.

2. La programada metodo de retropaŝo /„backtrack"/

La metodo de retropaŝo estas kombinatorika programada metodo, kiu elektas la optimuman solvon el diskretaj valorserioj de ne tro multaj variabloj.

Ĝi serĉas tiun valoron de la vektoro $\underline{x}/x_1, x_2, \ldots x_n/$ – $x_1, x_2, \ldots, x_n$ estas la nekonataj grandecoj de la strukturo – kiu donas la minimumon de la kostofunkcio $k/\underline{x}/$ kaj kiu kontentigas la $g_j/x/ \geq 0$ $/j = 1, \ldots p/$ dimensiumadajn kondiĉojn. Diskreta valorserio validas por la unuopaj variabloj inter la limoj $X_{i\ min}$, $X_{i\ max}$ $/i = 1, \ldots, n/$ kun distanco ΔX_i

La esenco de la metodo estas, ke ĝi faras partan serĉon po unu variablo. Se tiuj ĉi eblecoj elĉerpiĝis, ĝi retropaŝas /„backtrack"/ kaj ĝi daŭrigas la serĉadon en la direkto de alia parta solvo. Ĝi estas priskribita en /1/. Ni sukcese aplikis la metodon por optimume dimensiumadi homogenajn kaj hibridajn velditajn I-profilojn /2/.

Ni determinis ankaŭ la optimumajn grandecojn de la profilaj sandviĉecaj teniloj /4, 5/ kie oni gluis inter du

aluminiajn kvadratajn truajn tenilojn unu bone oscilamorti-
zantan kaj sufiĉe rigidan gumplaton.

3. La „kompleksa" algoritmo

La funkciado de la algoritmo ellaborita de Box /6/ estas: ĝi minimumigas la nelinearan celfunkcion havantan la formon $y = f/x_1, x_2, \ldots, x_n/$ /kostofunkcio/, dume estas eksplicitaj /grandec-limigaj/ malegalecaj kondiĉoj por „n" variabloj: $x_i^L \leq x_i \leq x_i^U$ $i = 1, \ldots, n$, kie x_i^L kaj x_i^U estas la subaj kaj supraj limvaloroj, respektive la malegalecaj implicitaj kondiĉoj estas donitaj por la elkalkulendaj variabloj nombrantaj $(m-n)$ - on /elkalkulenda variablo povas esti iu mekanika grandeco: tensio, kliniĝo, ktp/.

$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U$ $i = n+1, \ldots, m$. La kalkulado komenciĝas per la generado de iu „kompleksaĵo", kiu entenas $k \geq n+1$ punktojn en la „n" - dimensia planada spaco. La generado okazas per hazardaj nombroj laŭ la subaj kaj supraj limvaloroj de la eksplicitaj kondiĉoj.

$$x_{ij} = x_i^L + r_{ij}/x_i^U - x_i^L/ \qquad i = 1 \ldots, n \quad j = 2 \ldots, k$$

Por difini la lokon de la optimumo, oni devas fari reflektadon, plilongigon, duonigadon ĉe la punktoj de la „kompleksaĵo" laŭ la sekva metodo:

reflekto: $x_{ij}^N = \alpha/x_{ic} - x_{ij}^W/ + x_{ic}$

kie la centroido

$$x_{ic} = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^{k} /x_{ij} - x_{ij}^W/ \qquad i = 1, \ldots, n$$

x_{ij}^N estas la nova punkto, x_{ij}^W estas la malnova.

Ĉar la konvena valoro de la reflekta koeficiento estas $\alpha = 1,3$, tial tiu ĉi paŝo estas samtempe ankaŭ plilongigo, ĝi pliampleksigas la grandecon de la „kompleksaĵo" en la „n" - dimensia spaco, tiel ĝi kompensas la efikon de la eventualaj dounigadoj.

duonigado $$x_{ij}^N = \frac{x_{ic} + x_{ij}^W}{2} \qquad i = 1, \ldots, n$$

Se la planada spaco estas konveksa, tiam la duonigado alportas ĝustan punkton. La kalkulado daŭras ĝis la plenumiĝo de la konverĝa kriterio

$$/f_{max} - f_{min}/ < \beta$$

Ni evoluigis la originalan programon per /7/.

Ĝi inkluzivas la plilongigadon kaj la duonigadon, la ŝanĝadon de la dimensiojn de la „kompleksaĵo", la ŝanĝadon de la parametroj $/\alpha, \beta/$ konverĝa kaj reflekta, cetere la enmeton de la diskretaj grandecoj /8/ detale priskribas tion.

4. La algoritmo Direct Search - Feasible Direction /DSFD/
[Direkta Serĉo-Farebla Direktado]

La algoritmon ellaboris Pappas /9, 10/. Ĝi elserĉas tiujn valorojn de la variabloj x_i, kiuj minimumigas la celfunkcion

$$f/x_i/ \qquad i = 1, 2, \ldots I$$

tiel, ke plenumiĝas ĉiuj dimensiumadaj kondiĉoj.

$$g_j/x_i/ \lesseqgtr 0 \qquad j = 1, \ldots, J$$

La unuopaj variabloj devas resti inter la konformaj subaj kaj supraj limvaloroj. La metodo samplas per turniĝaj koordinatoj. Ĝi unue paŝetas en la direkto antaŭdifinita, la sekvaj ekzamenaj direktoj estas ortaj al la antaŭaj. Ĝi moviĝas sur la celfunkcio, kiel sur surfaco pro la punfunkcio. Ĝi atingas la minimumon de la celfunkcio per la elserĉo de $F/\bar{x}_i/ = \min F/x_i/$, kie $F/x_i/ = f/x_i/ + P/x_i/$; $P/x_i/$ estas la plej granda el la punfunkcioj $p_j/x_i/$, kies formo estas

$$p_j/x_i/ = -\lambda_j/g_j/x_i//$$

Se $0 > g_j > -e_2$ tiam

$$F/x_j/ = 2\left[f/x_i/ - f/x_i + \Delta x_i/\right] / \left[g_j/x_i/ - g_j/x_i + \Delta x_i/\right]$$

kie

$$\Delta x_i = e_1 \nabla f/x_i^t// \left|\nabla f/x_i^t/\right|$$

e_1 estas laŭplaĉe malgranda reelo, el ĝi kalkuliĝas la paŝgrandeco Δx_i en la direkto de gradiento $f/x_i/$ kalkulita en la punkto x_i^t. Se unu kondiĉo ne plenumiĝas, tiam la metodo aplikas punfunkcion. Se la „difektado" de la kondiĉo estas pli granda ol antaŭdifinita valoro e_2, tiam ĝi kalkulas la valoron de λ_j, sed ĝi prenas ĝin laŭplaĉe granda, t.e.

$$g_j/x_i/ < -e_2, \qquad \lambda_j = k$$

K estas laŭplaĉe granda nombro.

Post la sampladoj ĉe nova punkto ĝi determinas la valoron de ĉiuj dimensiumadoj kondicoj, se

$$g_j/x_i/ \geq e_2$$

tiam la kondiĉo ne estas „aktiva", dum la kalkulado ĝi konsideras nur la „aktivajn" kondiĉojn.

Oni devas la sampladan esploron kompletigi per duafaza serĉado por ekscii, ĉu la rezultato estas optimuma aŭ ne, aŭ por determini la direkton, per kiu la serĉado rekomenciĝos.

Ĉe direktoserĉado x_i - oj estas donataj, la direktovektoro si estas nekonata. Tiu s_i rezultigas maximuman H - n kun la sekvaj kondiĉoj.

$$H > 0$$

$$/s_i/^T \nabla f/x_i/ + H < 0$$

$$/s_i/^T \nabla g_j/x_i/ + W_j H \leqq 0 \qquad j \in J_a$$

$$-1 \leqq s_k \leqq 0 \qquad K \in K_a^-$$

$$0 \leqq s_k < 1 \qquad K \in K_a^+$$

kie $/s_i/^T$ estas transpozo, W_j estas pezparametro, J_a enhavas la „aktivajn" kondiĉojn, K_a^- kaj K_a^+ estas la suba kaj supra limvaloroj de la aktiva dimensiumado. Pruveble estas, ke se s_i estas nulvektoro, tiam la punkto estas loka optimumo, se s_i ne estas nulvektoro, tiam ĝi donas la plej konvenan direkton. La duafazo serĉado signife plialtigas la fidindecon de la metodo. La metodo estas kompletigita per la diskreta valortaksado, ĝi elelektas el la diskreta valorserio la konvenajn valorojn proksimantaj la kontinuajn valorojn.

5. Dimensiumado de velditaj kradoj laŭ minimuma pezo

Ni faris la elastan dimensiumadon de dudimensia krado kunmetita el I-teniloj.

5.1. Dimensiumadaj datumoj

Ĉe la krado videbla sur bildo 1-a, ni elektis la grandecojn de la kolono kaj de la trabo diversaj, tiel ĉe la I-profilo la h, tw, b, t_f grandecoj estas la nekonataj. La nombro de la nekonataj variabloj estas ok.

La intenso de la homogene dividiĝanta ŝarĝado:

$$p = /1,1 \cdot 0,57 + 1,4 \cdot 1,0/\ 4,6 = 9,3242\ KN/m^2$$

La kvalito /speco/ de la ŝtalo estu F_e 360

5.2. Dimensiumadaj kondiĉoj

a/ Tensia kondiĉo

Ĉe la elaste kondutanta strukturo la maksimuma tensio - ĉu en la kolonoj, ĉu en traboj - devas esti malpli granda ol la limtensio.

Enkondukanta la proporcion de la inerta momanto

$$w = \frac{I_2}{I_1}$$

La maksimuma tensio ĉe la kolonoj aperas en la punkto A. Per la formuloj de Glushkov /11/

$$M_1 = \left| M_A \right| = \frac{3266,8895\,w + 989,5919}{1,0175w^2 + 13,8624w + 0,73031} \ \text{kNm}$$

$$N_1 = \left| N_A \right| = \frac{2ps^2}{1} = 116,6 \ \text{kN}$$

La maksimuma tensio ĉe la traboj aperas en la punkto F, kie estas la fino de la kejlado.

$$M_2 = \left| M_F \right| = 8,174696\, H_A - \left| M_A \right| - 206,2564$$

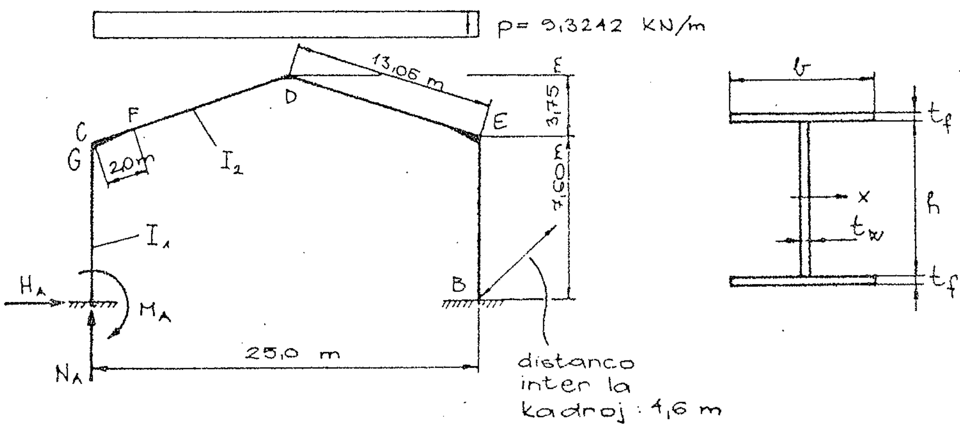
$$N_2 = \left| N_F \right| = 28,373 + 0,957826\, M_A$$

kie $M_C = \dfrac{4963,8363\,w + 88,6588}{1,0175w^2 + 13,86245w + 0,73031}$

$$H_A = \left\langle \left| M_A \right| + M_C \right\rangle / 7,6$$

La maksimumaj tensioj rezultiĝas el klinado kaj premado:

$$\sigma_{Mi} + \sigma_{Ni} = Mi/Ni + Ni/A_i \leq Ru$$



1-a bildo

La grandecoj de la sekcaĵo estas montritaj sur la 1-a bildo, laŭ tio la sekca areo

$$A_i = h_i t_{wi} + 2 b_i t_{fi}$$

la sekca koeficiento

$$W_i = h_i \langle b_i t_{fi} + h_i t_{wi} / 6 \rangle$$

la inerta momanto

$$I_i \cong W_i h_i/2 \qquad i = 1, 2$$

La indico 1 rilatas al la kolonoj, la indico 2 rilatas al la traboj.

La valoro de la limtensio $R_u = 200$ MPa

b/ Lokaj spinkonkaviĝaj kondiĉoj

Ĉe klinado kaj ĉe premado oni povas en la jena formo doni la konkaviĝajn kondiĉojn:

$$t_{wi} / h_i \geq c_1$$

$c_1 = 1/145$, se la ŝtalo estas Fe 360, kaj se temas pri klinado.

Se samtempe estas klinado /σ_M/, premado /σ_N/ kaj tondado /τ/, tiam la sekva formulo validas /12/

$$\frac{1}{c_1} = 145 \sqrt[4]{\frac{\langle 1 + \sigma_N/\sigma_M \rangle^2 + 3 \langle \tau/\sigma_M \rangle^2}{1 + 173 \langle \sigma_N/\sigma_M \rangle^2 + 20 \langle \tau/\sigma_M \rangle^2}}$$

Nun ni preterlasas la efikon de la tondado.

$$\frac{h_i}{t_{wi}} \leq 145 \sqrt[4]{\frac{1+\langle \sigma_{Ni} / \sigma_{Mi} \rangle^2}{1+173 \langle \sigma_{Ni} / \sigma_{Mi} \rangle^2}} \quad ; \qquad i = 1, 2$$

c/ Lokaj zonkonkaviĝaj kondiĉoj

La konkaviĝaj kondiĉoj ĉe premitaj zonoj

$$t_{fi} / bi \geq c_2 \qquad i = 1, 2$$

$c_2 = 1/30$, se la ŝtalo estas F_e 360

5.3. Kostofunkcio

Se ni konsideras nur la materialkoston.

$$F / x_i / = \sum_{i=1}^{p} \varrho A_i l_i$$

kie A_i kaj l_i estas la areo de la sekco kaj la longeco de la stango. Ĉar la kvalito de la uzita materialo estas kontanta, tial la volumo estas lineare proporcia kun la materialkosto.

$$v / x_i / = 2 \sum_{i=}^{2} l_i A_i$$

$$V = 2 / 7,6 A_1 + 13,05 A_2 / \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

6. La rezultatoj de la kalkulado

La programoj estis skribitaj en la programada lingvo Fortran IV, la plenumigo okazis per komputilo CDC 3300. La finrezultaton de la kradoproblemo kun ok variabloj la 1-a tabelo enhavas. La komencvaloro estis la supra limvaloro de la eksplicitaj variabloj.

7. Komparo de la metodoj

Laŭ la diversaj strukturoptimumigo fare de la programoj kaj laŭ la rezultatoj de la antaŭe konita ekzemplo ni povas taksi jene la tri algoritmojn.

a/ Ĉiuj tri metodoj estas efike uzeblaj por strukturoptimumigo; se la nombro de la variabloj kreskas tiam la tempobezona signife kreskas ĉe la metodo de retropaŝo. Ĝia avantaĝo estas, ke ĝi kalkulas per diskretaj valoroj kaj ĝi elkalkulas ĝenerale la plej malgrandan kostofunkcion.

b/ La tempo uzita de la komputilo ĉe la kompleksa metodo estas kvinono, dekono de tiu de la metodo de retropaŝo, depende de valoroj de k, α, β. La bezono je komputotempo ĉe la algoritmo de DSFD estas la sama. Ambaŭ metodaj estis kompletigitaj per posta diskreta valortaksado.

metodo	retropaŝo		kompleksa		D S F D		la subaj kaj la supraj limvaloroj de la eksplicitaj variabloj		paŝ- gra[...] de[...]
K	-	-	14	16					
α	-	-	1,3	1,3					
β	-	-	6oo	8oo					
la nombro de la kombinoj	$1,955.1o^9$ / $5,48.1o^8$		-	-					
$x_1=h_1$ /mm/	58o	58o	54o	6oo	66o	6oo	84o	52o	2o[...]
$x_2=t_{w1}$	5	5	4,5	5	5,5	5,5	13	4	o,[...]
$x_3=b_1$	24o	22o	28o	2oo	26o	17o	42o	1oo	2o[...]
$x_4=t_{f1}$	11	12	1o	13	9	17	2o	4	1[...]
$x_5=h_2$	5oo	52o	62o	56o	57o	52o	74o	42o	2o[...]
$x_6=t_{w2}$	5	5	6	5,5	5,5	5	12	4	o,[...]
$x_7=b_2$	1oo	12o	11o	17o	1oo	15o	42o	1oo	1o[...]
$x_8=t_{f2}$	16	12	9	9	12	1o	2o	4	5[...]
$V \cdot 10^{-8}$ /mm^3/	2,73	2,67	2,71	2,76	2,71	2,84	-	-	-
nombro de la iteracioj	-	-	154	149	15o	55	-	-	-
nombro de la ekzamenitaj	$1,1.1o^5$ / $3,3.1o^5$		-	-	-	-	-	-	-
kazoj	398	1o26	111,6	11o,4	158,6	113,2	-	-	-

1-a tabelo

c/ La avantaĝo de la metodo de DSFD estas, ke la komenc-punkto ne devas kontentigi la dimensiumadajn kondiĉojn, eĉ tia[...] ĝi donas la solvon.

Ĝia malavantaĝo estas, ke ĝi emas doni lokan optimumon, tial oni devas ĝin ekigi celhave el diversaj komencpunktoj.

d/ Ĉe la metodo de retropaŝo la komputotempo ne tre kreskas kun la kresko de la nombro de la variabloj, se ni pligrandigas la paŝgrandecon.

Ĉe la kompleksa metodo la konsilata maksimuma nombro de variabloj estas 20. Ĉe la algoritmo de DSFD ni povas uzi la plej multe da variabloj.

/1/ Golomb, S.W., Baumert, L.D.: Backtrack programming. J.Assoc. Comput. Machineny. 12 /1965/, 516-524.

/2/ Farkas, J., Szabó, L.: Optimum Design of Beams and Frames of Welded I- sections by Means of Backtrack Programming. Acta Techn. Acad. Sci. Hung. 91 /1980./, 121-135.

/3/ Farkas, J., Timár, I.: Fémszerkezetek optimális méretezése. Budapesti Müszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézete, 1980.

/4/ Jármai, K.: Profilos szendvicstartók szerkezetszintézise. Egyetemi doktori értekezés. Nehézipari Müszaki Egyetem Miskolc, 1979.

/5/ Farkas, J., Jármai, K.: Structural Synthesis of Sandwich Beams with Outer Layers of Box-section. Journal of Sound and Vibration /1982/ 83 /4/.

/6/ Box, M.I.: A new method of constrained optimization and a comparison with other methods. Computer Jowrnal, 8 /1965/, 42-52.

/7/ Ghani, S.N.: An improved complex method of function minimization. Computer Aided. Design, 1972. 71-78.

/8/ Jármai, K.: Optimal Design of Welded Frames by Complex Programming Method. Publ. Techn. Univ. for Heavy Industry, Miskolc, Series C. Machinery. 37 /1982/, 79-95.

/9/ Pappas, M.: A Direct Search Algorithm for Automated Optimum Structural Design.
AIAA J. 9 /3/, /1971/, 387-393.

/10/ Pappas, M.: An improved direct search numerical optimization procedure. Computers and Structures,
11 /1980/, 539-557.

/11/ Glushkov, G. et. al.: Formulas for designing frames, Moscow, Mir, 1925.

/12/ Farkas, J.: Minimization of the cross-section area of welded unstiffened plate and box girders subjected to bending and shear. Acta Techn. Acad. Sci. Hung.
87 /1978/, 295-306.