

# COLDIFG – ALGORITAM I PROGRAM ZA ANALIZU SPEKTRA KRIVULJA PROMJENA JEDNOG OBILJEŽJA U VIŠE VREMENSKIH TOČAKA

Ksenija Bosnar  
Konstantin Momirović  
Franjo Prot

Fakultet za fizičku kulturu  
Sveučilišta u Zagrebu

Originalni znanstveni članak  
UDK: 519

## SAŽETAK

Definiran je algoritam i napisan makro program COLDIFG namijenjen analizi spektra krivulja promjena u jednom obilježju registriranom na više entiteta u više vremenskih točaka. Spektralna dekompozicija izvodi se na matrici podataka centriranoj na najnižu vrijednost registriranih rezultata. Program izvodi taksonomizaciju vremenskih točaka, odnosno taksonomizaciju entiteta s obzirom na krivulje promjena, putem ortonormalnih transformacija koje zadovoljavaju varimax kriterij desnih, odnosno lijevih svojstvenih vektora matrice centriranih rezultata.

## 0. UVOD

Često je moguće registrirati rezultate skupa entiteta u jednoj varijabli u više ekvidistantnih vremenskih točaka, npr. efikasnost u nekoj kineziološkoj aktivnosti grupe subjekata podvrgnutoj nekom treningu, količina naučenog neke grupe subjekata podučavanih nekim simboličkim sadržajima ili vještini, rezultat na nekoj fiziološkoj varijabli grupe subjekata podvrgnutoj medicinskoj terapiji, stupanj adaptacije grupe subjekata podvrgnutoj nekom odgojnom postupku, itd.

Analizu ovih rezultata moguće je izvršiti putem spektralne dekompozicije trajektorije promjena, redukcijom na manji broj ortogonalnih komponenti promjena, što čini algoritam COLDIFF Momirovića i Karamana (1982). No, interpretaciju rezultata znatno olakšava eksplicitna taksonomizacija entiteta s obzirom na krivulje promjene i eksplicitna taksonomiza-

cija vremenskih točaka, pa je definiran algoritam i napisan program u GENSTAT jeziku koji osnovni cilj algoritma COLDIFF proširuje taksonomizacijom entiteta i vremenskih točaka putem ortonormalne transformacije uz varimax kriterij lijevih i desnih svojstvenih vektora matrice podataka.

## 1. ALGORITAM COLDIFG

Neka je  $E = \{ e_i; i=1, \dots, n \}$  skup entiteta i neka je  $T = \{ t_j; j=1, \dots, m \}$ ,  $m < n$ , uređeni skup ekvidistantnih točaka. Napravimo opis skupa entiteta nad jednom varijablom  $v$  u vremenskim točkama iz  $T$

$$B = E \otimes T = (b_{ij}) \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, m \end{array}$$

Pronađimo minimalnu vrijednost u podacima

$$b_{ij}^* = \min (b_{ij})$$

i centrirajmo matricu podataka na tu vrijednost

$$B^* = (b_{ij} - b_{ij}^*)$$

Dekomponirajmo matricu centriranih rezultata

$$B^* = \sum_{p=1}^m Y_p X_{pp}^{T\lambda}$$

na lijeve  $Y_p$  i desne  $X_p$  svojstvene vektore i singularne vrijednosti  $\lambda_p$ .

Zadržimo najvećih  $k$  singularnih vrijednosti koje zadovoljavaju unaprijed odabrani kriterij i njima pridružene svojstvene vektore. Kriteriji mogu biti  $k =$  unaprijed zadani broj,  $k = m$  ili

$$k = \text{mun} \left( \lambda_p \leq \sum_{p=1}^m \lambda_p \frac{1}{m} \right).$$

Formirajmo matrice

$$\begin{aligned} \Lambda &= (\lambda_p) \\ Y &= (Y_p) \\ X &= (X_p) \end{aligned} \quad p = 1, \dots, k.$$

Podvrgnimo ortonormalnoj transformaciji uz zadovoljavanje varimax kriterija matricu lijevih svojstvenih vektora

$$YT = W \begin{cases} n \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^k w_{ip}^2 - \sum_{p=1}^k \left( \sum_{i=1}^n w_{ip} \right)^2 \\ TT^T = TT^T = I. \end{cases}$$

Matrica  $W$  predstavljati će sklop taksona entiteta s obzirom na krivulje promjena.

Podvrgnimo ortonormalnoj transformaciji uz zadovoljavanje varimax kriterija matricu desnih svojstvenih vektora

$$XQ = V \begin{cases} m \sum_{i=1}^m \sum_{p=1}^k v_{ip}^4 - \sum_{p=1}^k \left( \sum_{i=1}^m v_{ip} \right)^2 = \max \\ QQ^T = Q^T Q = I. \end{cases}$$

U matricu  $V$  nalaziti će se sklop taksona vremenskih točaka.

## 2. PROGRAM COLDIFG

Ovaj makro program napisan je u programskom jeziku GENSTAT, verzija 4.04.

Njegova struktura dana je u nekoliko sekcija:

- (1) deklaracije,
- (2) centriranje matrice podataka na minimum svih vrijednosti,
- (3) spektralna dekompozicija matrice podataka,
- (4) određivanje broja značajnih svojstvenih vrijednosti,
- (5) parsimonijska transformacija lijevih i desnih svojstvenih vektora,
- (6) ispis rezultata,
- (7) pohranjivanje rezultata:
  - matrice lijevih svojstvenih vektora matrice podataka,
  - matrice desnih svojstvenih vektora matrice podataka,
  - matrice sklopa taksona entiteta,
  - matrice sklopa taksona vremenskih točaka.

Za aktiviranje programa COLDIFG potrebno je iz glavnog programa prenijeti:

- (1) matricu  $BB$  u čijim se retcima nalaze vrijednosti entiteta u vremenskim točkama,

- (2) dva POINTER vektora, RNAM i CNAM, za identifikaciju entiteta i vremenskih točaka,
- (3) vrijednosti skalara NCOMP kojim se određuje broj lijevih i desnih svojstvenih vektora matrice centriranih rezultata koji će biti podvrgnuti transformaciji:

NCOMP = 0 označava zahtjev da se transformiraju svi netrivialni lijevi i desni svojstveni vektori,

NCOMP = N označava zahtjev da se transformira prvih N lijevih i desnih svojstvenih vektora pridruženih svojstvenim vrijednostima poredanim po veličini,

NCOMP = -N označava zahtjev da se transformiraju lijevi i desni svojstveni vektori pridruženi svojstvenim vrijednostima natprosječne veličine,

- (4) vrijednosti skalara SAVCMP i SAVRX gdje veličina 1.0 označava zahtjev zahtjev za pohranjivanje matrice svojstvenih vektora, odnosno njihove transformacije, a vrijednost 0.0 odsustvo tog zahtjeva. Pohranjivanje se vrši u datoteku 3 pod imenom YK i XK za lijeve i desne svojstvene vektore odnosno pod imenom TAXY i TAXX za njihove transformacije.

Broj entiteta i broj vremenskih točaka, kao i omjer među njima, proizvoljan je sa stanovišta programa; međutim, upotreba ove metode je smisljena ukoliko je broj entiteta najmanje tri (inače se javlja specijalan slučaj) i ukoliko je broj vremenskih točaka toliki da daljnja, npr. polinomijalna analiza izlaznih rezultata ne podliježe predefiniranosti.

Program ispisuje poruke ukoliko je broj entiteta manji od tri ili broj vremenskih

točaka manji od šest, upozoravajući korisnike na moguću neupotrebljivost dobivenih rezultata. Program COLDIFG slijedi osnovnu zamisao algoritma i programa COLDIF (Karaman i Momirović, 1982) napisanog u SS-jeziku, a bazira se na Tuckerovom (1965) prijedlogu analize vremenskih serija, te provodi taksonomizaciju vremenskih točaka i krivulja promjena entiteta na sličan način kao što je opisan u algoritmima i programima TALAMBAS (Momirović, 1983) i AGRIKOLA (Momirović i Karaman, 1983).

Ovaj makro program pohranjen je u programskoj biblioteci SRCE\*GENS-MACRO i aktivira se upotrebom USE/R opcije.

### 3. NUMERIČKI PRIMJER

Program COLDIFG primijenjen je na rezultatima 90 studenata Fakulteta za fizičku kulturu koji su vozili bicikl ergometer 15 minuta najvećim mogućim brojem okretaja. Ispitanicima je registriran ukupni broj okretaja u svakoj pojedinoj minuti rada.

Kod ove vrste aktivnosti učinak je rezultanta više procesa koji se mogu uključivati u različitim vremenskim odsječcima rada i mogu djelovati i u suprotnom smjeru. Moguć je, na primjer, pozitivni efekt dovođenja na optimalni nivo sinergijskih fizioloških funkcija ("ugrijavanje") i pozitivni efekt ekonomičnijeg rada zbog učenja ili negativni efekt umora ili pada motivacije zbog monotone aktivnosti. Ukoliko jedan od navedenih procesa izrazito ne predominira, nemoguće ga je uočiti u krivuljama izvedenim iz ukupnih učinaka u vremenskim točkama, pa je stoga provedena analiza spektra krivulja promjena.

Broj značajnih vrijednosti spektra u

ovom je primjeru unaprijed određen kao 2, no apsolutna i relativna vrijednost druge svojstvene vrijednosti (tabela 1) upućuje na njezin mali značaj.

Prvi desni svojstveni vektor matrice podataka (tabela 2) sadrži vrlo slične vrijednosti za sve vremenske točke, što znači da je mehanizam koji je prvenstveno odgovoran za učinak stabilno funkcionirao tokom 15 minuta rada, uz neznatni pad u posljednjim minutama.

Drugim desnim svojstvenim vektorom matrice podataka razlikuju se početne minute s pozitivnim predznacima od završnih s negativnim predznacima, pa se može zaključiti da je u ukupnom rezultatu, mada mnogo manje važan, sudjelovao i neki mehanizam odgovoran za serijalni efekt.

Sklop taksona vremenskih točaka (tabela 3) također je pokazao da se točke mogu podijeliti s obzirom na položaj u seriji. Na prvoj taksonomskoj dimenziji, okrenutoj u negativnom smjeru, veličina koordinata raste prema kasnijim minutama. Na drugoj taksonomskoj dimenziji vrijednost koordinata pada i mijenja predznak za posljednje dvije minute.

Taksonomizacija entiteta s obzirom na vremenske krivulje može se objasniti usporedbom vrijednosti ispitanika na taksonomskim dimenzijama i njihovog učinka u vremenskim točkama. Prva taksonomska dimenzija na negativnom polu<sup>1</sup> je definirana ispitanicima sa stabilnim učinkom u vremenu. Drugu taksonomsku dimenziju na negativnom polu definiraju ispitanici sa znatnim porastom učinka u posljednjim minutama rada; ovo je ilustrirano podacima četiri izabrana ispitanika u tabeli 4. Rezultati su pokazali da studenti Fakulteta za fizičku kulturu posjeduju dovoljan nivo

sposobnosti, a vjerojatno i iskustva u toj vrsti rada, da je osigurana stabilna funkcija osnovnih mehanizama odgovornih za učinak na bicikl ergometru tokom 15 minuta. Analiza manje važnih procesa pokazuje da se ipak može utvrditi razlika u prvim i posljednjim minutama rada. To se očituje i u detekciji taksonomske dimenzije koju definiraju ispitanici s povećanim učinkom u zadnjim minutama rada, vjerojatno kao posljedica završnog elana ili planirane strategije.

Tabela 1

Svojstvene vrijednosti (LK) i relativne veličine svojstvenih vrijednosti (LKR)		
	LK	LKR
1	2352.90	0.77
2	130.11	0.04

Tabela 2

Desni svojstveni vektori matrice podataka		
	1	2
RD1501	-0.2531	0.2120
RD1502	-0.2448	0.2485
RD1503	-0.2409	0.2509
RD1504	-0.2414	0.2331
RD1505	-0.2441	0.2013
RD1506	-0.2431	0.1762
RD1507	-0.2526	0.2169
RD1508	-0.2484	0.2033
RD1509	-0.2513	0.0234
RD1510	-0.2569	-0.0412
RD1511	-0.2541	-0.0706
RD1512	-0.2621	-0.1221
RD1513	-0.2703	-0.2349
RD1514	-0.2776	-0.4282
RD1515	-0.3211	-0.5962

<sup>1</sup>Treba spomenuti da nema entiteta s koordinatama u prvom kvadrantu koordinatnog sistema taksonomskih dimenzija

Tabela 3

	Sklop taksona vremenskih tokača	
	1	2
RD1501	-0,0352	0.3283
RD1502	-0.0039	0.3489
RD1503	0.0006	0.3478
RD1504	-0.0121	0.3353
RD1505	-0.0361	0.3143
RD1506	-0.0528	0.2955
RD1507	-0.0314	0.3315
RD1508	-0.0379	0.3187
RD1509	-0.1648	0.1912
RD1510	-0.2136	0.1485
RD1511	-0.2320	0.1254
RD1512	-0.2735	0.0939
RD1513	-0.3576	0.0183
RD1514	-0.4970	-0.1158
RD1515	-0.6448	-0.2066

Tabela 4

Vrijednosti ispitanika 28, 48, 1 i 61 na taksonomskim dimenzijama TAX1 i TAX2; broj okretaja bicikl ergometra u sukcesivnim minutama za iste ispitanike				
ISPITANIK	TAX1	TAX2		
28	-.3116	.1536		
48	-.2154	.0387		
1	.0945	-.2351		
61	.1055	-.2694		

  

MINUTE	ISPITANIK			
	28	48	1	61
1	60	52	28	28
2	54	58	25	27
3	40	52	20	20
4	38	58	18	23
5	45	58	10	21
6	58	43	16	23
7	61	50	17	23
8	60	42	17	25
9	37	35	16	28
10	40	43	15	38
11	36	50	17	46
12	39	52	22	42
13	39	57	30	33
14	34	43	48	63
15	40	56	68	68

Ovaj numerički primjer izveden je jednim jednostavnim REFERENCE programom, kojem su pridružene i neophodne naredbe operacionog sistema (OS1100/37 R2D) računala UNIVAC 1100/42.

Glavni program prije aktivacije makro naredbe COLDIFG učitava makro naredbu iz sistemske makro biblioteke SRCE\*-

GENS-MACRO, postavlja imena varijabli i imena entiteta u pointer strukture (CNAM, RNAM), deklarira i učitava matricu ulaznih podataka (BB) i postavlja vrijednosti ostalih ulaznih parametara (NCOMP, SAVCMP, SAVRX). Makro naredbu COLDIFG § zatim aktivira sa 'USE/R' naredbom GENSTAT jezika.

∂ASG,A	GEN404*USERFILE.	F46,F47,F48,F49,F50,F51,
∂ASG,A	SRCE*GENS-MACRO.	F52,F53,F54,F55,F56,F57,
∂USE	27., SRCE*GENS-MACRO.	F58,F59,F60,F61,F62,F63,
∂GEN404*USERFILE.GENSTAT,TIME		F64,F65,F66,F67,F68,F69,
„100		F70,F71,F72,F73,F74,F75,
'REFE/NID=200, NUNN=200' COLDIFG		F76,F77,F78,F79,F80,F81,
'GET/FILE=+' COLDIFG § COLDIFG		F82,F83,F84,F85,F86,F87,
"	FUNKCIONALNI	F88,F89,F90
"		'MATRIX' BB § RNAM,CNAM
'POIN'	CNAM=	'SCAL' NCOMP = -1
	RD1501, RD1502, RD1503,	'SCAL' SAVCMP = 0.0
	RD1504, RD1505, RD1506,	'SCAL' SAVRX = 0.0
	RD1507, RD1508, RD1509,	'R'
	RD1510, RD1511, RD1512,	'READ/P, NUN=V' BB SF, 61X, 5(3.0), /,
	RD1513, RD1514, RD1515	4X, 5(3.0), 4X, 5(3.0), /
'POIN'	RNAM=	'NUN'
	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9,	∂ADD FFK*WORK.PROMJENE /-
	F10, F11, F12, F13, F14, F15,	FUN-15
	F16, F17, F18, F19, F20, F21,	'EOD'
	F22, F23, F24, F25, F26, F27,	'USE/R, PRINT=Y' COLDIFG §
	F28, F29, F30, F31, F32, F33,	'RUN'
	F34, F35, F36, F37, F38, F39,	'CLOSE'
	F40, F41, F42, F43, F44, F45,	'STOP'

## LITERATURA

1. CATTELL, R.B. (1966). Handbook of multivariate experimental psychology. Rand McNally, Chicago,
2. MOMIROVIĆ, K. i Ž. KARAMAN (1982). COLDIFT: Algoritam i program za analizu promjena spektralnom dekompozicijom multivarijatnih trajektorija. Kineziologija, 13, 2:9-11.
3. MOMIROVIĆ, K., F. PROT, D. DUGIĆ, Z. KNEZOVIĆ, K. BOSNAR, N. ERJAVEC, M. GREDELJ, J. KERN, V. DOBRIĆ i J. RADAKOVIĆ (1986). Metode, algoritmi i programi za analizu kvalitativnih i kvantitativnih promjena. Institut za kineziologiju, Zagreb (elaborat).

**COLDIFG – AN ALGORITHM AND A PROGRAM FOR SPECTRAL  
ANALYSIS OF CURVES DESCRIBING CHANGES OF ONE ASPECT  
IN SEVERAL TIME POINTS**

**Summary**

An algorithm is defined and the macro program COLDIFG for spectral analysis of curves describing changes in one aspect registered on several entities in several time points. Spectral decomposition is performed on a data matrix centered on the lowest value of registered results. Program accomplishes a taxonomy of time points, and taxonomy of entities by orthonormal transformations which satisfy varimax criterium of right and left characteristic vectors of the centered data matrix.