

## ALEXANDRU MIRCEA IMBROANE

### SISTEME INFORMATICE GEOGRAFICE

VOLUMUL II

**ANALIZĂ SPAȚIALĂ ȘI MODELARE**

PRESA UNIVERSITARĂ CLUJEANĂ

2018

## Cuprins

<b>Prefață .....</b>	<b>5</b>
<b>Capitolul 16. Interpolarea spațială.....</b>	<b>27</b>
1. Considerații generale .....	27
2. Tipuri de interpolatori .....	28
3. Datele pe care se fac interpolări.....	29
4. Interpolarea structurilor liniare .....	29
5. Netezirea poligoanelor .....	32
6. Netezirea curbelor în ArcGIS. Studiu de caz. ....	32
7. Îndesirea curbelor de nivel.....	36
8. Interpolarea suprafețelor .....	37
9. Implementarea într-un soft GIS a metodelor de interpolare.....	38
10. Metoda distanței inverse ponderate.....	39
10.1. Punerea problemei .....	39
10.2. Soluția problemei.....	40
10.3. Parametri de intrare pentru IDW .....	43
11. Metoda vecinilor naturali .....	44
12. Metoda vecinilor naturali implementată în ArcGIS .....	46
13. Interpolarea spline în 3D.....	47
13.1. Interpolarea spline în extensiile Spatial Analyst și 3D Analyst .....	48
13.2. Avantajele și limitările interpolatorului spline.....	49
13.3. Spline cu bariere .....	49
14. Metoda gradientului regresiv .....	49
15. Metoda Topogrid sau Topo to Raster .....	50
15.1. Comentarii privind utilizarea algoritmului .....	52
15.2. Crearea unui mozaic din DEM-uri adiacente .....	52
15.3. Topogrid vs. Topo to Raster.....	53
15.4. Câteva probleme care pot apărea la Topo to Raster.....	53
16. Alegerea metodei de interpolare .....	53
17. Acuratețea metodelor de interpolare .....	54
Bibliografie .....	54
<b>Capitolul 17. Metode de interpolare geostatistice .....</b>	<b>57</b>
1. Noțiunile de bază din Geostatistică.....	57
1.1. Variabila regionalizată .....	57
1.2. Variograma .....	58
2. Procese staționare și procese nestaționare.....	59

2.1. Procese staționare .....	60
2.2. Proces nestaționare .....	60
3. Metodele Kriging .....	60
4. Autocorelația spațială .....	62
4.1. Similaritate și disimilaritate .....	63
4.2. Variograma empirică .....	65
4.3. Variograma teoretică .....	69
4.4. Funcția de covarianță și legătura dintre funcția de covarianță și variogramă .....	71
4.5. Modele pentru semivariograme teoretice .....	73
5. Considerații privind valoarea medie .....	76
6. Estimarea .....	77
6.1. Restrângerea vecinătății punctului de interpolat .....	79
6.2. Acuratețea estimării .....	80
7. Anizotropia .....	83
7.1. Semivariograma empirică pe diferite direcții .....	85
7.2. Estimarea pentru cazul anizotrop .....	86
8. Cokriging .....	88
9. Analiza statistică preliminară a datelor de intrare .....	90
9.1. Explorarea datelor spațiale .....	90
9.2. Examinarea distribuției datelor .....	91
9.3. Examinarea valorilor excesiv de mari sau de mici .....	92
9.4. Examinarea variațiilor globale .....	93
9.5. Examinarea variațiilor locale .....	94
9.6. Examinarea autocorelației spațiale .....	95
9.7. Examinarea influențelor direcționale .....	96
9.8. Existența trendurilor .....	98
9.9. Corelația între două straturi .....	99
9.10. Compararea distribuțiilor univariată și multivariată .....	101
9.11. Normalizarea datelor .....	104
10. Etapele realizării unei interpolări kriging (rezumat) .....	105
Bibliografie .....	106

## **Capitolul 18. Generarea suprafețelor de teren prin TIN..... 107**

1. Fundamentele generării TIN .....	107
2. Triangulația Delaunay .....	109
3. Stocarea TIN. Topologia .....	110
4. Rafinarea TIN .....	111
5. TIN bazat pe o interpolare polinomială bivariată .....	114
6. Acuratețea TIN .....	115
7. Operații pe TIN .....	115
7.1. Panta .....	116
7.2. Aspectul .....	117
7.3. Panta și aspectul în ArcGIS .....	118
7.4. Hillshade .....	118
7.5. Profile pe TIN .....	118

7.6. Determinarea traseului de scurgere.....	119
7.7. Volume și arii.....	119
8. Conversia în TIN.....	119
Bibliografie.....	120

## **Capitolul 19. Modelarea terenului. Modele digitale de elevație..... 123**

1. Considerații generale .....	123
2. Noțiunea de model de date asociat cu model al terenului .....	124
3. Caracteristicile generale ale DEM .....	124
4. Date primare din care se obține DEM.....	126
5. Caracteristicile DEM raster.....	127
5.1. Rezoluția.....	127
5.2. Alegerea rezoluției optime.....	128
5.3. Defecțe ale DEM în format raster.....	130
5.4. Determinarea și înlăturarea zonelor cu sinks și peaks .....	131
5.5. Operația FillSink din ArcGIS .....	132
6. Ce metodă de interpolare alegem pentru generarea DEM?.....	134
7. Evaluarea calității DEM.....	135
7.1. Evaluarea cantitativă a acurateței DEM.....	136
7.2. Modelul de eroare.....	137
7.3. Clasificarea erorilor .....	138
7.4. Erori independente.....	139
7.5. Erori sistematice. Autocorelația spațială globală .....	139
7.6. Indicatori de autocorelație globală Moran și Geary.....	140
7.7. Indicatorul Moran în ArcGIS .....	144
7.8. Erori aleatoare. Metoda Monte Carlo .....	145
8. Considerații generale privind acuratețea DEM deduse prin procedee fotogrametrice.	148
9. Modele digitale ale terenului.....	150
9.1. Atributele topografice.....	150
9.2. Acuratețea DTM.....	151
Bibliografie.....	153

## **Capitolul 20. Operații pe structuri vectoriale ..... 155**

1. Considerații generale .....	155
2. Operații de editare .....	156
2.1. Operații pe straturi punct .....	157
2.2. Operații pe linii și pe poligoane .....	157
3. Operații de prelucrare .....	159
3.1. Operații pe puncte, linii și poligoane .....	160
3.2. Operații specifice doar poligoanelor .....	162
4. Operații pe tabele de atribut .....	164
4.1. Operații de tip local .....	164
4.2. Operații de tip global .....	165
5. Interogarea datelor geografice .....	166

5.1.	Limbajul SQL .....	166
5.2.	Concepția utilizatorului în interogarea spațială .....	167
5.3.	Obiecte spațiale .....	168
5.4.	Afișarea grafică .....	168
5.5.	Interogarea pe atrbute în ArcGIS .....	169
5.6.	Interogarea spațială în ArcGIS .....	171
5.7.	Spatial Join .....	173
6.	Conversii .....	173
6.1.	Conversia în cadrul structurilor vectoriale .....	173
6.2.	Conversia vector ↔ raster .....	174
6.3.	Import/export .....	175
6.4.	Conversia în format percepț de Google Earth .....	175
	Bibliografie .....	176
<b>Capitolul 21. Operații pe structuri raster .....</b>		<b>177</b>
1.	Considerații generale .....	177
2.	Clasificarea operațiilor pe rastere .....	178
3.	Map Algebra .....	179
4.	Funcții locale .....	180
4.1.	Operații aritmetice simple .....	181
4.2.	Aplicarea funcțiilor matematice pe rastere .....	184
4.3.	Operații logice .....	185
4.4.	Operații relaționale și operații condiționale .....	186
4.5.	Operații de tip overlay ponderat .....	187
5.	Funcții focale .....	191
6.	Funcții zonale .....	192
7.	Funcții globale .....	194
7.1.	Funcția Straight Line Distance .....	194
7.2.	Funcția Straight Line Allocation .....	196
7.3.	Funcția Straight Line Direction .....	196
7.4.	Funcția distanță cost ponderată .....	197
7.5.	Funcția alocare cost ponderată .....	200
7.6.	Funcția direcție cost ponderată .....	200
7.7.	Funcția drumul cel mai scurt .....	201
8.	Operații statistice .....	202
9.	Funcții specifice unor tipuri de aplicații .....	203
9.1.	Direcția scurgerii .....	204
9.2.	Acumularea scurgerii .....	207
10.	Interogarea datelor raster .....	207
11.	Alte operații .....	208
11.1.	Clip pe rastere .....	208
11.2.	Modificarea rezoluției .....	208
11.3.	Metode pentru reducerea rezoluției .....	209
11.4.	Modificarea rezoluției în imagini multispectrale .....	212
12.	Conversia rasterelor .....	213

<b>Capitolul 22. Operații pe DEM.....</b>	<b>215</b>
1. Considerații generale .....	215
2. Aplicații posibile .....	216
3. Generarea suprafețelor .....	217
4. Noțiunea de pantă .....	218
5. Gradientul .....	221
6. Curbura .....	223
7. Influența gradientului și a curburii în procesele de versant.....	226
8. Implementarea indicilor topografici în GIS .....	227
8.1. Metoda celor două puncte.....	228
8.2. Metoda celor trei puncte .....	229
8.3. Metoda celor patru puncte .....	229
8.4. Metoda celor opt puncte .....	229
8.5. Gradientul asociat cu algoritmul celor 8 puncte .....	231
8.6. Algoritmul pentru calcularea pantei în ArcGIS .....	232
8.7. Algoritmul pentru calcularea aspectului în ArcGIS.....	232
8.8. Algoritmul pentru calcularea curburii în ArcGIS .....	233
9. Interpretarea curburilor .....	235
10. Analiza de vizibilitate .....	236
10.1. Linia de vizibilitate.....	236
10.2. Suprafața de vizibilitate .....	238
11. Funcția hillshade .....	239
12. Determinarea altitudinii de-a lungul unui profil .....	244
13. Determinarea traseului de scurgere.....	244
14. Calculul ariei și a volumului .....	244
Bibliografie.....	246
<b>Capitolul 23. Principiile generale ale modelării.....</b>	<b>249</b>
1. Introducere .....	249
2. Definiția modelului .....	250
3. Clasificarea modelelor .....	252
4. Proprietățile generale ale modelelor.....	253
5. Etapele procesului de modelare .....	254
6. Formularea problemei .....	255
7. Rezolvarea problemei. Algoritmi.....	255
8. Verificare modelului .....	258
9. Calibrarea modelului.....	259
10. Construirea unui model experimental .....	259
11. Modele teoretice.....	260
11.1 Legi cu aplicabilitate generală .....	261

11.2. Modele pentru poluarea lacurilor .....	265
11.3. Modele de alunecare de teren .....	268
12. Conceptul de simulare.....	272
13. Exemple de simulări .....	274
14. Animatie.....	275
15. Concluzii.....	275
Bibliografie.....	276
<b>Capitolul 24. Modelarea spațială.....</b>	<b>279</b>
1. Considerații generale .....	279
2. Noțiunea de model spațial.....	280
2.1. Tipuri de modele spațiale .....	281
2.2. Model conceptual .....	283
3. Etapele realizării unui model spațial .....	284
4. Clasificarea modelelor spațiale .....	292
5. Modele hidrologice .....	294
6. Modelarea proceselor de versant.....	301
7. Modele bazate pe formule.....	308
7.1. Factorul de stabilitate pentru alunecări de teren .....	308
7.2. Procesarea imaginilor satelitare .....	311
8. Modele bazate pe interogări .....	311
9. Amplasarea optimă a panourilor solare.....	312
10. Modele generate cu overlay ponderat .....	317
11. Drumul cel mai scurt.....	318
12. Aplicații în arheologie.....	320
13. Amplasarea optimă a antenelor pentru telefonia mobilă.....	322
14. Simularea unei exploatari de suprafață .....	322
15. Modele obținute prin interpolare Kriging .....	323
16. Aplicații GIS în mediul de afaceri .....	331
Bibliografie.....	333
<b>Anexa VIII. Interpolarea .....</b>	<b>335</b>
<b>Anexa IX. Corelații statistice. Metoda celor mai mici pătrate.....</b>	<b>345</b>
<b>Anexa X. Complemente de Statistică .....</b>	<b>359</b>
<b>Anexa XI. Noțiuni de Teoria Probabilităților. Procese stochastice .....</b>	<b>373</b>
<b>Anexa XII. Complemente de Analiză Matematică .....</b>	<b>391</b>
<b>Summary. Geographical Information Systems. Volume II. Spatial Analysis and Modelling.....</b>	<b>413</b>

## Capitolul 16

### Interpolarea spațială

#### 1. Considerații generale

Interpolarea spațială ocupă un loc important în studiul fenomenelor geografice și nu numai. Algoritmii de interpolare sunt încorporați în softurile GIS prin programe care sunt activate prin intermediul meniurilor. Din păcate aceste proceduri sunt implementate astfel încât utilizatorul nu are posibilitatea întotdeauna de a alege cea mai bună metodă pentru o problemă concretă. De aceea acestea sunt considerate modele „black box” în care algoritmii sunt foarte clari și doar anumiți parametri de intrare pot fi modificați în cadrul procesului de calcul. Excepție fac metodele geostatistice, care necesită o prelucrare preliminară, astfel că din acest punct de vedere pot fi considerate modele „grey box”.

Deși există o mare varietate de aplicații în multe discipline, algoritmii s-au dezvoltat în domeniile în care firmele de software GIS și-au îndreptat atenția. Produsele GIS complete, precum și cele Open Source, oferă și posibilitatea de a implementa metode proprii ale utilizatorilor prin intermediul limbajelor oferite de acestea, cum au fost AML pentru ArcInfo și Avenue pentru ArcView 3.x, sau cum sunt acum C++ și Python pentru ArcGIS. Implementarea de metode noi nu este ușor de făcut, de aceea majoritatea utilizatorilor se mulțumesc cu ceea ce le oferă produsele soft, prin comenzi. Acest lucru este valabil nu numai pentru interpolare ci și pentru alte module de prelucrare. În cazul în care produsul soft oferă mai multe metode de interpolare este bine ca acestea să fie cunoscute (chiar și în linii mari), atât pentru a alege varianta cea mai bună cât și pentru a anticipa așteptările. Necunoașterea acestor metode poate avea urmări imprevizibile asupra rezultatelor. Să ne imaginăm că pe același set de puncte vom efectua toate metodele de interpolare oferite de soft. Este evident că vom obține rezultate diferite. Care rezultat este de fapt cel bun? Răspunsul la această întrebare poate fi dat doar dacă se cunosc aceste metode!

La modul general, prin interpolare se înțelege determinarea valorilor asociate unui proces sau fenomen în poziții necunoscute pe baza unor mărimi cunoscute (obținute din măsurători sau observații) din interiorul unui domeniu specificat. Extrapolarea se referă la determinarea mărimilor necunoscute din exteriorul domeniului pe baza funcțiilor de interpolare obținute.

Problema interpolării se pune atât în plan (2D) cât și în spațiu (3D). În GIS vom avea și situația în care o structură de date definită în plan va fi suportul creării unei structuri în spațiu, luându-se în considerare un atribut (cota în cazul DEM).

În acest capitol vom aborda principalele metode de interpolare, atât în plan (pentru linii), cât și în spațiu (pentru suprafețe), cu accent pe cele din urmă și care sunt implementate în majoritatea softurilor comerciale GIS, cu excepția Kriging pentru care am rezervat un capitol separat. De asemenea generarea suprafețelor prin TIN este tratată în alt capitol (18), în primul rând datorită faptului că TIN este o structură total diferită, care nu face parte din categoria vector sau raster și pentru că, conceptual, algoritmii de generare sunt diferiți și nu se încadrează în ceea ce se numește interpolare în sens matematic, ca și cele raster. și în fine pentru că operațiile pe TIN sunt de asemenea total diferite din punct de vedere al procedurilor.

Unele din metodele prezentate sunt mai simple și se pot înțelege ușor (cum este cazul IDW), altele sunt mai complicate și abordarea în detaliu a acestora nu poate fi făcută și de

aceea ele nu au fost expuse complet, urmând ca cititorul interesat să poată consulta alte lucrări cu grad mai mare de complexitate. De exemplu, în cazul interpolării spline bidimensionale am încercat să prezint metoda într-o manieră în care cititorul să poată „percepe” esența ei (absolut necesară pentru a o aplica pe un fenomen concret) fără a fi necesar să înțeleagă algoritmul implementat. În ArcGIS, de pildă, interpolarea spline implică calcul variațional (pentru găsirea suprafetei de curbură minimă) care necesită cunoștințe foarte avansate de matematică superioară. Tot pe calcul variațional se bazează și algoritmul Topogrid din ArcInfo Workstation, sau echivalentul său Topo to Raster din ArcGIS. În general firmele de soft GIS apelează la specialiști (matematicieni) pentru elaborarea algoritmilor ce urmează a fi implementați. Astfel, în manualele de utilizare și în Help avem tot o privire de ansamblu a metode cu trimitere la bibliografie. Sigur că pentru un utilizator GIS nu sunt importante detaliile de implementare ci doar anumite caracteristici ale metodei pentru a putea discerne dacă aceasta este potrivită sau nu să fie aplicată pe un fenomen particular.

Pentru o urmărire mai eficientă a acestui capitol vă recomand să parcurgeți anexa VIII, ale căror concepte sunt folosite aici, dar la care nu vom face referire întotdeauna. În anexă am acordat o importanță mai mare rigurozității, adică abordarea mai matematizată a subiectelor.

## 2. Tipuri de interpolatori

Prin interpolator vom înțelege o metodă de interpolare. Dintr-un anumit punct de vedere în GIS putem avea două categorii de interpolatori: **globali** și **locali**. Interpolatorii globali utilizează **toate** datele disponibile din arealul studiat în vederea obținerii valorilor estimate în puncte necunoscute, pe când cei locali folosesc datele doar dintr-o anumită vecinătate specificată. Interpolatorii globali se materializează printr-o singură funcție matematică care se aplică pe întregul areal de studiu. O modificare în valorile de intrare afectează întreaga structură finală. Interpolatorii globali se utilizează de regulă pentru o examinare de ansamblu a arealului, pentru detectarea variațiilor globale cauzate de trenduri majore sau de prezența unor valori ce pot prezenta anomalii. Odată acestea detectate, în anumite situații, se poate trece la interpolarea locală. Interpolatorii globali folosesc adesea analiza de variație și regresii din statistica clasică. Dar nu numai aceste tehnici sunt interpolatori globali. Topogrid este de asemenea un interpolator global. și transformarea Fourier este considerată un interpolator global. Aceasta se folosește în special pentru fenomene periodice și pentru operații de filtrare. Se regăsește rareori implementată în softurile GIS comerciale. În schimb ocupă un loc important în softurile de prelucrare de imagini.

Datorită faptului că locațiile aflate la distanță mică au similitudini între ele, se folosesc așa-numiții interpolatori locali. În acest caz funcțiile sunt definite pe subintervale (sau subdomenii în cazul 3D), în care sunt luate în calcul doar date dintr-o anumită vecinătate specificată așa cum am amintit mai sus. Cu alte cuvinte algoritmii se repetă pe subintervale sau subdomenii, cu valori diferite ale coeficienților funcțiilor. O modificare a valorilor de intrare afectează procesul doar într-o vecinătate.

Dintr-un alt punct de vedere există alte două abordări: **funcții de ajustare aplicate local** și **mediile ponderate**. Funcții de ajustare aplicate local (pe un subinterval sau subdomeniu) au un efect de netezire datorită unor comportamente locale ale domeniului de interpolat. Pe de altă parte, interpolarea prin tehnici mediilor ponderate, determină elevația (sau o caracteristică similară) în fiecare punct, printr-o medie ponderată a valorilor punctelor cunoscute din vecinătate fără a utiliza curbe sau suprafete definite parametric. Metodele care folosesc medii ponderate sunt IDW și Kriging pentru suprafete și media glisantă pentru linii.

Din alt punct de vedere, metodele de interpolare implementate în GIS se împart în: **metode deterministe și metode statistice**. Cele deterministe se mai numesc și interpolatori exacti. Într-o metodă de interpolare exactă se consideră că punctele sau liniile au caracteristici exacte (coordonate, atribute etc.), iar formulele generate de metode (funcții) sunt de asemenea considerate exacte. Exemplu: interpolarea liniară sau spline. Nu înseamnă că rezultatul este „exact”, ci doar că metoda este dată de o funcție clar definită (printr-o formulă). Orice altă metodă se numește interpolator inexact și de obicei se referă la puncte de măsurare sau observare pentru care, repetându-se măsurările, se vor obține alte valori (totuși apropriate). Acestea se tratează fie prin curbe de ajustare sau trenduri, fie prin metode geostatistice (kriging) pentru suprafete. La acestea din urmă diferența dintre valoarea prezisă și cea măsurată este un indicator al calității. Metodele geostatistice au la bază autocorelația spațială. Acestea se folosesc atunci când variația atributelor este atât de neregulată încât o metodă exactă sau chiar de ajustare nu au ca rezultat predicții corecte. De aceea, aceste metode sunt precedate de un studiu statistic preliminar prin care se elimină anumite valori care pot avea o influență negativă.

### 3. Datele pe care se fac interpolări

Trebuie să facem distincție între interpolarea liniară (2D) și cea de suprafață (3D). După scopul urmărit și algoritmul utilizat, cele două tipuri de interpolări sunt total diferite. Interpolarea în 2D se face în primul rând pentru netezirea structurilor liniare care inițial sunt compuse din segmente de dreaptă. Oarecum putem spune că, „din linii obținem alte linii”, sau mai exact din linii frânte se obțin curbe care să le înlocuiască pe acestea, din diferite motive. Dacă ați urmărit anexa referitoare la interpolare ați observat că întotdeauna aveam puncte poziționate în plan a căror valori erau definite pe funcții tabelare (exacte). Într-o structură digitizată fiecare segment de linie, care de fapt este format din segmente de dreaptă, conține vertex-uri (puncte intermediare) și pe acestea se face interpolarea. Pentru poligoane situația este similară. Din acest punct de vedere nu se face deosebire între linii și poligoane. Aici intervine însă o problemă de topologie deoarece contururile sunt deplasate și deci se poate să nu conserve contiguitatea. De reținut faptul că în această situație atributele nu joacă nici un rol.

În general interpolarea 3D se face pe structuri de puncte distribuite într-un plan  $xOy$ , ce conțin în atribut o valoare pentru  $z$  care poate fi elevația sau orice altă caracteristică (precipitații, temperaturi etc.). Deci suntem în spațiul tridimensional  $Oxyz$ . Este de preferat ca punctele să fie uniform distribuite și să fie cât mai multe. Nu există nici o regulă privitoare la numărul de puncte, dar dacă ele sunt puține, este clar că nu ne putem aștepta la rezultate realiste. Cu cât numărul de puncte în intrare este mai mare cu atât acuratețea este mai bună. De reținut că interpolarea se face pe valori ale atributelor.

Trebuie să facem distincție între **interpolarea în 3D și afișarea în 3D**. Se poate ca o interpolare 3D să fie afișată 2D, cum este cazul extensiei Spatial Analyst, sau să fie afișată 3D, cum este cazul extensiei 3D Analyst (cu aplicația Arc Scene), din cadrul ArcGIS.

În acest capitol vom aborda două tipuri de interpolări: **interpolarea liniilor** (2D) și **interpolarea suprafețelor** (3D).

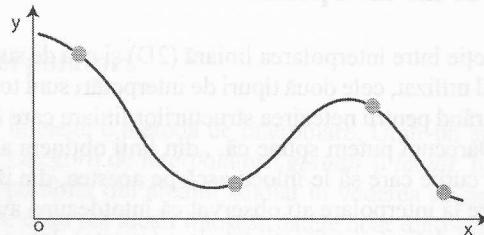
### 4. Interpolarea structurilor liniare

Am inclus și acest tip de interpolare deoarece multe produse GIS au încorporați algoritmi pentru interpolarea unor teme de tip linie, cum ar fi curbele de nivel, cursurile de apă etc. Scopul principal este netezirea acestor structuri pentru o înfățișare cartografică mai estetică. Din această categorie fac parte **funcțiile spline** și **curbele Bézier**.

În matematică, spline sunt o categorie specială de funcții polinomiale definite pe intervale (vezi Anexa VIII). În cadrul procesului de interpolare ele sunt preferate întrucât conduc la rezultate similare cu interpolarea polinomială clasică, chiar și atunci când gradul polinoamelor este mic. Sunt mai ușor de construit, pot aproxima forme complexe și au o acuratețe bună. Acesta este motivul pentru care au fost implementate de dezvoltatorii de soft pentru interpolare.

Denumirea de spline vine de la un dispozitiv mecanic care a fost utilizat de desenatorii tehniči pentru a trasa o curbă netedă. **Spline** este un instrument format dintr-o bară subțire cu greutăți ce pot fi astfel aranjate încât bara să treacă prin anumite puncte date. Numărul greutăților trebuie să fie mai mic sau egal cu numărul punctelor.

În spațiu bidimensional funcțiile spline aproximează o mulțime de puncte astfel încât curba rezultată să aibă curbura minimă. Conceptual, generarea curbei se face (asimilat cu instrumentul mai sus menționat) astfel: considerăm punctele în plan ca fiind materializate prin „ace”, iar o vergea elastică de dimensiune ceva mai mare decât dimensiunea intervalului de definiție este forțată să treacă prin aceste ace. Vergeaua va avea o curbă minimă, funcția corespunzătoare va fi continuă și derivabilă aşa cum vom vedea mai departe.



**Figura 1.** Spline bidimensional. Punctele reprezintă „ace”, iar curba este materializată printr-o vergea elastică ce trece prin ele.

Atunci când se generează o structură de tip linie, în majoritatea covârșitoare a aplicațiilor se generează segmente de dreaptă. Ele sunt preferate deoarece se pot edita curbe cu segmente aproape oricât de mici, astfel că linia va aproxima cam orice curbă. La o înfățișare cartografică acestea ar putea fi vizibile și de aceea se poate opta pentru o interpolare pe vertex-uri, aşa încât să avem curbe continue.

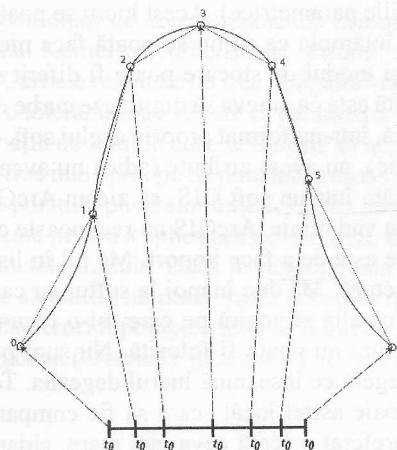
Cod linie	Coordonate
1	$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$
2	$(x_4, y_4), (x_5, y_5), (x_6, y_6), (x_7, y_7), (x_8, y_8)$
3	$(x_9, y_9), (x_{10}, y_{10}), (x_{11}, y_{11})$

**Tabelul 1.** Codificarea internă pentru segmente de dreaptă

Să ne imaginăm următorul grad de abstractizare, adică reprezentarea în cod intern a unor linii digitizate (vezi cap. 3). În tabelul spațial, care este transparent pentru utilizator, acesta fiind codat (Tabelul 1), se vor genera doar punctele (vertex-urile curbei), iar ecuațiile dreptelor sunt conținute implicit în programe (comenzi). Pentru a înregistra curbe în tabelul spațial este nevoie de un alt sistem de codificare, după cum vom vedea mai departe.

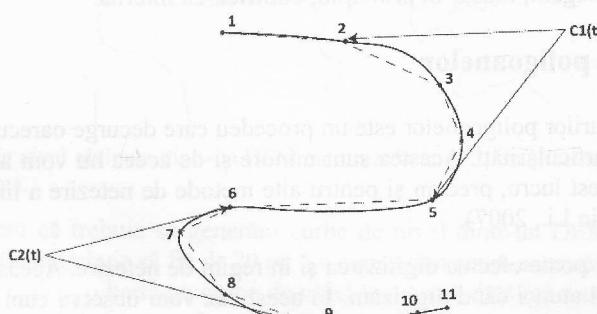
Folosirea funcțiilor pentru netezirea curbelor este destul de restricționată datorită definiției ei. Am putea avea ceva de genul fig. 2. Aici se vede clar că, dacă curba se întoarce înspre stânga (sau dreapta) nu mai avem o funcție, ci două sau mai multe, situație în care fiecare

trebuie definită într-un anumit sistem de coordonate. Acest lucru este foarte anevoie și de aceea se folosesc **ecuații de curbe definite parametric**.



**Figura 2.** O funcție definită pe un interval

În fig. 3 avem un astfel de caz. Datorită variației convexității într-o manieră aleatoare (uneori curba e mai „strânsă” altori mai „largă”), funcțiile de interpolare ale curbelor pot difera foarte mult și de aceea folosirea curbelor definite parametric este cea mai adecvată. Cele mai potrivite curbe pentru acest lucru sunt **B-spline** și **Bézier**.



**Figura 3.** Punctele 2, 3, 4 și 5 vor fi interpolate cu o curbă parametrică ( $C_1(t)$ ). Punctele 6, 7, 8 și 9 vor fi interpolate cu o curbă parametrică ( $C_2(t)$ ). Celelalte vor fi funcții liniare.

Dacă folosim o curbă parametrizată, ecuația acelei curbe trebuie memorată undeva. Pentru aceasta se va genera un nou tabel în care vor apărea codurile corespunzătoare ecuațiilor acelor curbe pe punctele respective (Tabelul 2). La redare se vor citi acele ecuații și apoi se vor afișa de un program care poate interpreta acest lucru.

Cod puncte	Ecuatie curbă
2, 3, 4, 5	$C_1$
6, 7, 8, 9	$C_2$

**Tabelul 2.** Cod intern pentru ecuațiile curbelor

Există mai multe softuri care generează curbe sub formă parametrică. Pentru ca aceste structuri să fie percepute de un anumit soft GIS, acesta din urmă trebuie să recunoască structura respectivă (ecuațiile parametrice). Acest lucru se poate realiza fie prin export, fie prin import. Dar se poate întâmpla ca să nu se poate face nici import nici export. Chiar dacă ecuațiile sunt aceleasi modul de stocare poate fi diferit și atunci nu pot fi citite. O situație care poate fi întâlnită este ca cineva să digitizeze curbe de nivel de pildă, cu regimul spline într-un soft de grafică, într-un format propriu aceluia soft. Curbele arată foarte frumos (dacă s-a digitizat cu atenție), nu avem attribute (adică nu avem cotele curbelor, pentru că aşa e situația), iar noi lucrăm într-un soft GIS, să zicem ArcGIS. Dacă încarc în ArcGIS structura, voi constata că nu văd nimic. ArcGIS nu recunoaște codul intern și în consecință nu-l poate afișa. Prima idee este de a face import. Mă uit în lista de comenzi și văd că nu există import din acea structură. Mă duc înapoi la softul cu care am digitizat și încerc un export în shapefile sau orice altă structură pe care mi-o recunoaște softul meu. Dacă nu găsesc nimic, practic structura nu poate fi folosită. Nu sunt puține astfel de situații care finalmente ne face să înțelegem ce înseamnă lucrul degeaba. Totuși ar fi o soluție. Listăm structura respectivă pe o foaie astfel încât scara să fie comparabilă cu cea după care s-a făcut digitizarea. Este de preferat o scară ceva mai mare, chiar dacă vom avea mai multe foi. Le scanăm, le referențiem, le ajustăm (Spatial Adjustment) și apoi facem o digitizare automată. Verificăm „la ochi” întreaga structură, facem corecțiile de rigoare (e bine să folosim topologia) și am scăpat de probleme. Sigur că efortul e relativ mare dar este de preferat decât să redigitizăm totul. Acuratețea trebuie verificată prin procedee externe. Nu vom fi capabili să îmbunătățim acuratețea inițială, pe care oricum nu o cunoaștem. Sigur că trebuie să știm scopul pentru care se face acest lucru. Poate acum este mai clar de ce este important să înțelegem, măcar în principiu, codificarea internă.

## 5. Netezirea poligoanelor

Netezirea contururilor poligoanelor este un procedeu care decurge oarecum similar dar care are și anumite particularități. Acestea sunt minore și de aceea nu vom aborda această problemă. Pentru acest lucru, precum și pentru alte metode de netezire a liniilor vă recomand bibliografia (Zhilin Li., 2007).

**Observația 1.** Se poate efectua digitizarea și în regim de netezire. Aceasta însemnă că, comanda este activă atunci când digitizăm. În acest caz vom observa cum la încheierea unei linii aceasta va fi trasată automat și nu tocmai pe unde ne așteptam. Dacă distanța dintre vertex-uri este mai mare este foarte posibil ca linia să iasă de pe traseul indicat de harta scanată sau de imagine. Dacă dorim după aceea să refacem forma (Reshape), vom observa că modificarea nu se va face chiar pe unde am fi dorit. De aceea este bine ca această comandă să nu fie folosită în regim de editare. Mai exact, dacă știm că urmează să efectuă corecții pe stratul respectiv să nu folosim netezirea. Se va face la sfârșit.

**Observația 2.** Pentru interpolarea curbelor utilizatorul nu trebuie să facă prea mare efort. El trebuie să știe doar comenzi care realizează acest lucru și să anticipateze dacă pot fi încălcate sau nu anumite reguli topologice.

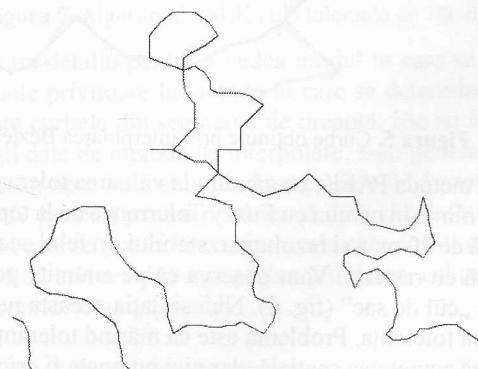
## 6. Netezirea curbelor în ArcGIS. Studiu de caz.

Fiecare soft are propriile soluții pentru netezirea curbelor. Din păcate majoritatea lor nu dau algoritmii de calcul fie deloc, fie vag, sau în cel mai bun caz, cu trimiter la bibliografie. În

**Libris .RO**  
Respect pentru oameni și cărți

cele ce urmează vom expune pe scurt algoritmii de netezire prezenți în ArcGIS, aplicat pe un caz real.

Există doi algoritmi gestionări de aceeași comandă (Smooth Line): PAEK (Polynomial Approximation Exponential Kernel) și curbe Bézier. Primul, aşa cum indică numele, este o aproximare polinomială. Curbele rezultate nu trec obligatoriu prin punctele inițiale. Depărarea de puncte este dată de o toleranță care se cere ca parametru, la activarea comenzi. Această toleranță se fixează în funcție de felul în care se dorește să arate structura finală. Cu cât este mai mică, cu atât curbele trec mai aproape de punctele inițiale și cu cât este mai mare, cu atât mai mult se depărtează de pozițiile punctelor inițiale. ESRI nu dă prea multe detalii privitoare la metodă, dar sunt suficiente pentru a aplica aceste comenzi. Curbele Bézier nu cer toleranță deoarece ele trec prin punctele inițiale. Dacă în output avem shapefile curbele Bézier sunt doar approximate deoarece shapefile nu poate stoca ecuațiile reale. Ambele metode, dar mai ales curbele Bézier introduc erori topologice cum ar fi intersecția de linii (Self Intersection) sau suprapunerea de poligoane (Overlap). Și acum să vedem cum arată curbele rezultate pe un exemplu concret.



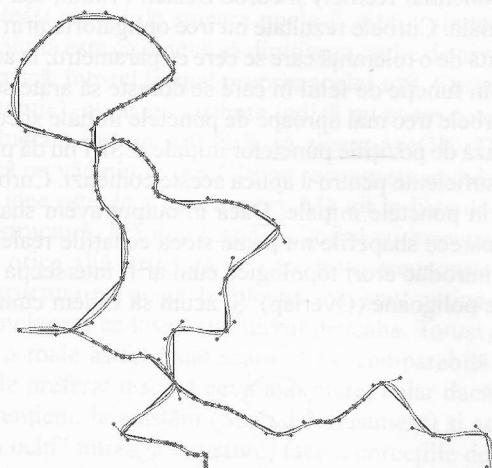
**Figura 4.** Curbe de nivel obținute dintr-un DEM cu o rezoluție de 30 m și echidistanță de 20 m. Aici linia are aceeași cotă.

Să presupunem că trebuie să generăm curbe de nivel dintr-un DEM cu o rezoluție de 30 m, iar echidistanța trebuie să fie de 20 m. Nu comentăm acum această situație anacronică. Scopul este de a realiza o hartă cu curbe de nivel la o scară dată (să zicem 1:50.000), adică să fie, din punct de vedere cartografic, estetică. De aceea nu prea contează acuratețea spațială. Ca urmare a acestor cerințe, rezultă o structură foarte neașteptată, cu linii de lungimi foarte mici (chiar de dimensiunea pixelului), linii care se intersectează, cu „cul de sac”, unghiuri foarte ascuțite etc. (fig. 4). Dacă structura e mică se poate edita „la ochi” și nu sunt probleme. Dar dacă structura e mare, să zicem 500.000 de linii, sau 1.000.000 de linii, situația este cu totul alta și trebuie să găsim o metodă automată de rezolvare a acestei probleme. De aceea, dar și din alte motive (posibilitatea de a folosi reguli topologice, volum de date mai mic), este de preferat ca structura să fie feature class în cadrul GDB și nu shapefile.

Prima acțiune este de a șterge toate liniile fără semnificație (de lungime mică, alungite etc.). Acest lucru se face prin interogarea tabelei de atribut selectând liniile care sunt sub o anumită lungime. După care se va face o vizualizare „la ochi”, să vedem care linii ar mai trebui șterse. Se repetă operațiunea până la dispariția tuturor liniilor de care suntem siguri că sunt în plus.

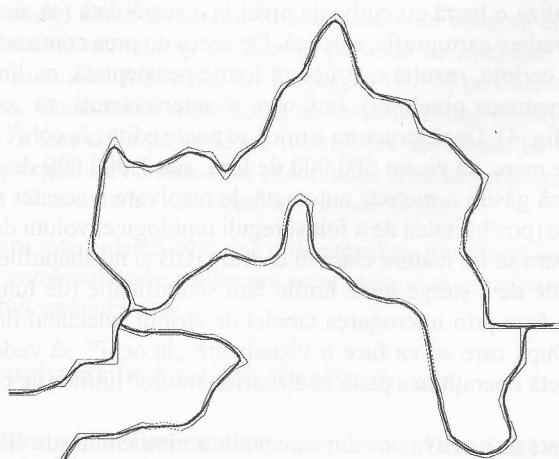
A doua acțiune este de a activa una din comenziile amintite mai sus. Să începem cu curbele Bézier. În fig. 5 avem generate curbe de nivel prin interpolarea Bézier. Se observă că noua

curbă este destul de aproape de structura inițială și practic nu rezolvă probleme privitoare la liniile care se intersectează precum și „cul de sac”, ceea ce din punct de vedere estetic este inacceptabil. Metoda este abandonată.



**Figura 5.** Curbe obținute prin interpolarea Bézier

Înainte de a încerca metoda PAEK, ne gândim la valoarea toleranței. Trebuie să constăm că aceasta nu are nimic în comun cu Fuzzy Tolerrance de la topologia GDB. Prima idee este de a fixa o toleranță de 30 m, a și rezoluția rasterului. În felul acesta vom avea o acuratețe pozițională comparabilă cu rasterul. Vom observa că pe anumite porțiuni nu sunt rezolvate nici intersecțiile și nici „cul de sac” (fig. 6). Nici situația aceasta nu este acceptabilă. Astfel suntem nevoiți să mărim toleranța. Problema este că mărind toleranța slăbim acuratețea. Am spus că nu prea contează acuratețea spațială, dar nici nu poate fi oricât de slabă. Să rămânem la măsura toleranței la nivelul dimensiunii pixelului. Dacă mărim toleranța la 60 m vom obține o structură mai bună dar nu satisfăcătoare. Încă multe probleme din cele expuse mai sus nu sunt rezolvate. La o toleranță de 100 m lucrurile stau ceva mai bine, dar la un control topologic vom avea destule erori.



**Figura 6.** Algoritmul PAEK, cu o toleranță de 30 m