

MODELAREA TRIDIMENSIONALĂ ÎN GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS)

mat. A. Ioniță
mat. T. Macovei

Institutul de Cercetări în Informatică

Rezumat: Modelarea datelor și proiectarea bazei de date în Geographical Information System (GIS) sunt dependente de structurile fundamentale de date. În timp ce cercetările de până acum s-au concentrat pe o legătură eficientă între date bidimensionale în general și atributele corespunzătoare, integrarea datelor de teren necesită structuri de date în 3D.

Articolul începe cu modele de date folosite în grafica pe calculator care descriu date în 3D. Rezultă că, descompunerile regulate în 3D nu sunt corespunzătoare cu datele GIS.

În termenii unei topologii bidimensionale datele geometrice neregulate ale unei suprafețe de teren pot fi descrise în mod eficient prin descrierea marginilor. Aceste descrieri se potrivesc foarte bine cu orientarea obiect, în comparație cu modelul geometric, constând din coordonate și topologie. Se poate obține o separare a datelor relativ la densitatea datelor de teren, conform cu densitatea datelor reflectând situarea (așezarea).

Cuvinte cheie: Digital Terrain Models (DTM), Instanțiere Primitivă (PI), Enumerarea Ocupării Spațiale (EOS), Boundary Representation Models (BRM), Descompunere Celulară (DC), Reprezentare prin Granițe (RG), Geometria Solidului Constructiv (GSC), Geographical Information System (GIS), Object Oriented Programming (OOP), Rețele Neregulate de Triangularizare (TIN), Modelare Geometrică.

1. Introducere

Integrarea datelor de teren digitizate (Digital Terrain Models=DTM) într-un GIS a fost propusă de Makarovic [1] și a devenit subiectul unor investigații detaliate, datorate lui R. Adler [2]. În timpul anilor '70, cercetarea era orientată către baze de date pentru DTM [3], [4], [5], [6], dar lipseau cunoștințe referitoare la structurile fundamentale pentru GIS. În cadrul acestora din urmă, investigațiile au fost direcționate către managementul datelor cartografice în general. Este important de reținut că GIS este un domeniu interdisciplinar și că majoritatea problemelor GIS pot fi rezolvate cu ajutorul structurilor 2.5 D, care conduc la manipularea de atribute ale datelor de teren. Mai târziu, structurile de date pentru GIS devin mai transparente [7], [8], [9], [10]. Aceasta a condus la investigații fundamentale și realizări ale integrării noțiunii de înălțime în GIS, în care DTM-urile nu sunt numai constituenți ai bazelor de date GIS, ci contribuie la o lărgire considerabilă a aplicațiilor GIS [13].

2. Modelare geometrică

Modelarea geometrică este o parte substanțială a graficii computerizate [14]. Relativ la descrierea conceptelor de modele 3D se poate face o diferențiere între:

- instanțiere primitivă (PI), care face ca un obiect să fie reprezentat printr-un număr fix de parametri (de exemplu, un cub poate fi descris prin lungimea laturii);
- enumerarea ocupării spațiale (EOS), în care obiectul este definit prin celule spațiale de dimensiune fixă. EOS este de obicei folosit în tomografia computerizată;
- descompunerea celulară (DC) reprezintă obiecte de dimensiuni arbitrare, compuse din elemente spațiale simple. Contrar EOS, spațiul nu este împărțit în celule spațiale uniforme, DC permițând celule de diferite forme și dimensiuni;
- reprezentarea granițelor (RG), în care un obiect în 3D poate fi descris prin elementele lui de graniță, de exemplu, prin suprafețe (blocuri), muchii (linii) și noduri (puncte). Aceasta conduce la reprezentarea topologică bidimensională a suprafețelor tridimensionale, acesta fiind fenomenul cel mai important al RG;
- geometria solidului constructiv (GSC) folosește primitive standard din spațiul euclidian pentru modelarea geometrică.

La prima vedere unele metode de modelare geometrică pot fi folosite pentru a dezvolta structuri de date tridimensionale pentru date GIS. Dar, dacă se are în vedere o descompunere topologică totală, care să fie bidimensională și care să se potrivească cu structurile curente de date GIS, utilizarea BRM va fi preferată. Dar BRM poate fi îmbogățită -prin adaugarea altor metode - pentru a lua în considerare obiecte antropologice, conducând la o combinație a geometriei corpului solid și a reprezentării de graniță.

3. Reprezentarea de graniță a datelor spațiale

În reprezentările de graniță există două modele care descriu setul de date spațiale:

- modelul muchiei în care obiectul este dat prin conexiunea a n noduri: în acest context, muchiile e sunt descrise ca $e=e(n)$. De exemplu, o triangularizare a datelor de teren poate fi descrisă printr-un "model de graniță";
- modelul bloc: constă din suprafețe de constrângere, respectiv de aproximare. În timp ce suprafețele de constrângere sunt date explicit de conexiunea nodurilor (de exemplu, parcele), celelalte se pot determina folosind puncte de

referință, muchii, vectori tangenți sau curburi. Descrierea funcțională a blocurilor b poate fi dată prin $b = b(e,n)$. Un model rețea, care descrie datele unui teren nu este altceva decât un model bloc.

În figura 1, se poate vedea reprezentarea de graniță a obiectului contiguu în spațiul R^3 . Obiectul constă dintr-o rețea regulată cu patru cadrane. Topologia bidimensională a acestuia folosește nodurile, muchiile și blocurile pentru o descriere totală în termenii unui model combinat (de exemplu: modelul muchie și modelul bloc). Informația numerică, (coordonatele x, y, z) se situează la nivelul cel mai de jos al RG.

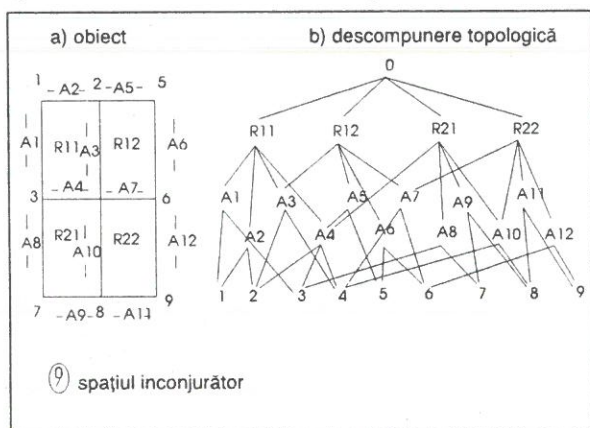


Figura 1. Reprezentarea de graniță a unui obiect simplu

Consistența topologiei bidimensionale (geometria interioară a obiectului) se poate demonstra prin teorema lui Euler.

Teorema 1: Pentru orice hartă contiguă cu n noduri, e muchii și b blocuri, se verifică relația:

$$C = n - e + b = 2 \quad (1)$$

C este caracteristica hărții sau a obiectelor spațiale și trebuie să includă spațiul exterior ϕ ; în exemplul de mai sus, teorema lui Euler conduce la: $9 - 12 + 5 = 2$ (2)

4. Modelarea orientată obiect

RG nu este suficientă în descrierea datelor spațiale într-un GIS. Sînt necesare descrieri mai complexe ale obiectului, în sensul că un obiect simplu poate fi inclus într-un obiect mai complex, ș.a.m.d. Aceasta conduce la definirea de hiperobiecte sau superobiecte care sînt administrate prin modele tematice sau bazate pe caracteristici [15].

Realizarea modelelor bazate pe caracteristici se face pe baza diferitelor strategii care se regăsesc în practica GIS. Există două filozofii principale:

- object oriented management (OOM);
- object oriented programming (OOP).

OOM este simplu de realizat și a devenit între timp standard în GIS. El extinde BRM în sensul că o nouă ierarhie se formează din obiecte complexe, clase de obiecte și elemente ale obiectelor. Această ierarhie se suprapune peste BRM, ceea ce face ca modelul tematic să fie pe primul loc, modelul topologiei pe locul din mijloc, iar coordonatele pe ultimul loc (conform figurii 2).

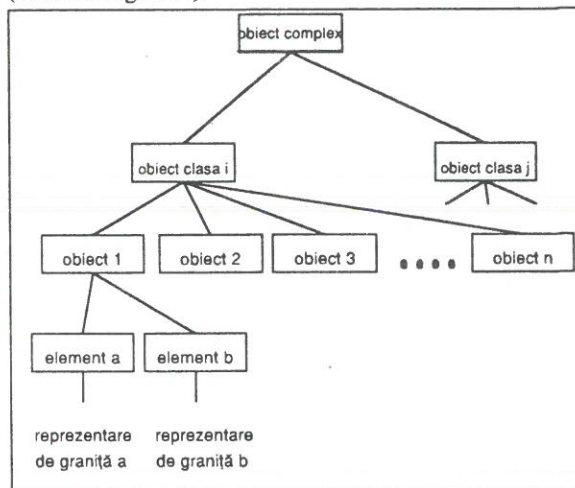
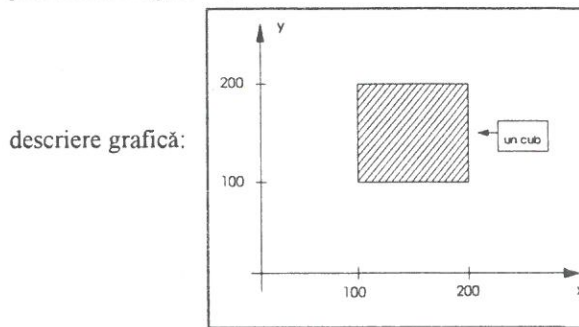


Figura 2. Management orientat obiect

Tendințele în OOP combină bazele de date relaționale cu tratarea orientată obiect. Principalul obiectiv este aici mărirea productivității software-ului prin extinderea modularizării [16], [17], [18]. Ne putem aștepta ca limbajele de programare curente, precum C, Pascal, Lisp, să integreze în viitor din ce în ce mai multe elemente orientate obiect. În acest sens, sînt concludente modurile în care au demarat limbajele orientate obiect C++ și Common Lisp. În figura 3 este prezentată o procedură OOP pentru un obiect simplu în 3D (un cub).

OBIECTE

Un obiect este o înregistrare cu cimpuri care păstrează înregistrări.



definirea obiectului:

a:cub:= make cub (make point (100,100,100), 100,100,100)

descrierea obiectului:

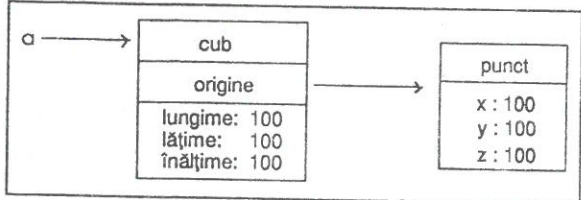


Figura 3. Tehnici OOP pentru un cub

Tehnicile Object Oriented Programming (OOP) datează încă din anii '60, când au fost introduse tipurile de date abstracte (TDA). În TDA operațiile și reprezentările datelor sînt împreună într-un modul, astfel încît accesul la date este posibil numai prin acest modul. În OOP structura unui program constă din TDA în loc de proceduri. Prin urmare, structurile de date cele mai eficiente pot fi extinse astfel încît să genereze aplicații mult mai ușor.

4. Structuri de date tridimensionale

Integrarea totală a unui DTM într-un GIS necesită o unificare totală a seturilor de date fundamentale și a metodelor aplicate. În general, se utilizează două proceduri care se combină între ele:

- coordonate tridimensionale pentru toate elementele geografice;
- modele de teren digitizate ca și componente ale bazei de date geografice.

În timp ce prima abordare este costisitoare ca necesar de memorie, a doua este mai ușor abordabilă atît în concepție, cît și în realizare. Mai mult, datele de situare (așezare) sînt dense numai în regiunile dens populate; oricum, în zonele agricole, ca și în regiunile slab populate, zonele marcate trebuie eliminate: prin urmare, integrarea unui DTM într-un GIS este mult mai pragmatică din acest punct de vedere. Trebuie luate în considerare următoarele constrîngerii: pe de o parte memorarea datelor va fi neredundantă, conducînd la un set de date de dimensiune minimă și, pe de altă parte, timpul de răspuns al sistemului trebuie să fie rezonabil.

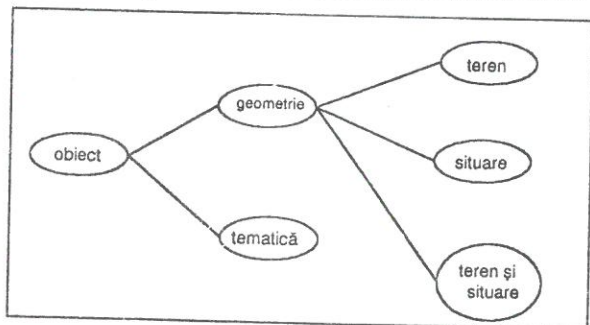


Figura 4. Definiție obiect

Pentru a dezvolta structuri de date 3D, informația din teren trebuie conectată cu informația despre situare (conform figurii 4).

Această conexiune este o necesitate - fapt care se demonstrează prin următoarele trei exemple:

- o muchie în teren poate să fie marginea unei străzi;
- o "zonă moartă" a unui DTM se poate compune din conturul malului unui lac;
- geometria în x, y a unei construcții trebuie să fie o "zonă moartă" a unui DTM.

Din acest motiv, elementele geometrice trebuie să conțină noi identificatori tematici (semantici) pentru a permite interogări separate în legatură cu situarea și terenul. De exemplu, un punct de referință al unui DTM poate fi:

- un nod de situare,
- un nod de înălțime specială,
- un punct neutilizabil.

Este posibilă aceeași subdiviziune pentru muchii și blocuri.

În figura 5 este arătat un obiect spațial simplu - o parcelă - cu o triangularizare corespunzătoare pentru datele din teren, zugrăvind astfel o structură de date tridimensională totală.

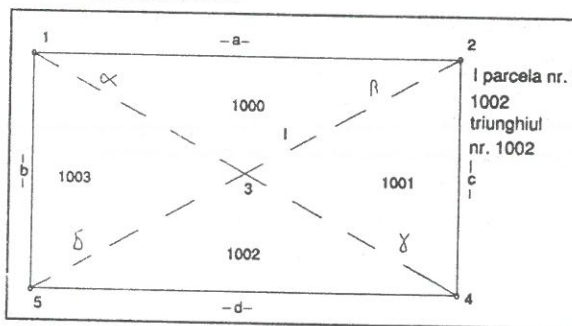


Figura 5. Obiectul tridimensional "parcela"

Se demonstrează, în continuare, că aceste date pot fi organizate într-o listă circulară, conducînd la un model rețea, sau într-un mod relațional simplu (figura 6).

nod	coordonate	muchii situare	muchii teren
1	x_1, y_1, z_1	a, b	a, α , b
2	x_2, y_2, z_2	a, c	a, β , c
3	x_3, y_3, z_3	- -	α , β , γ , δ
4	x_4, y_4, z_4	c, d	c, γ , d
5	x_5, y_5, z_5	b, d	b, δ , d

"0 - tabela" (noduri)

muchie	nod		bloc situare		teren	
	inceput	sfrșit	stînga	dreapta	bloc dreapta	bloc stînga
a	1	2	O	I	0	1000
b	1	5	I	O	1003	0
c	2	4	O	I	0	1001
d	4	5	O	I	0	1002
α	1	3	-	-	1000	1003
β	2	3	-	-	1001	1000
γ	3	4	-	-	1001	1002
δ	3	5	-	-	1002	1003

"1 - tabela" (muchii)

bloc (situare)	nr. bloc (ID)	muchii
1	I	a,b,c,d

"2 - tabela" (blocuri de situare)

bloc (teren)	muchii
1000	a, α , β
1001	c, β , γ
1002	d, γ , δ
1004	b, α , δ

hull information noduri	
1	
2	
4	
5	

"2 - tabela" (blocuri de teren)

obiect	nume obiect
1	parcela I

tabela obiect

bloc	dimensiune	proprietar
1	350 m ²	Dan Popescu, xCity

"tabela proprietar"

Figura 6. Memorarea datelor tridimensionale ale unei parcele folosind triangularizarea pentru datele de teren

Triangularizarea poate fi derivată printr-o abordare Delauney cu restricții sau triangularizarea restricționată cu o pondere minimă [11]. Aceasta triangularizare este organizată pe baza blocurilor și a muchiilor sau într-un mod combinat (ca în exemplul anterior).

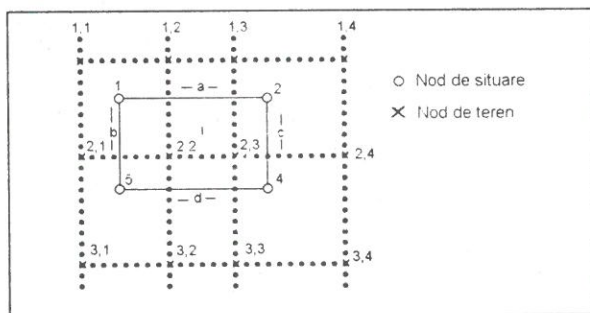


Figura 7. Obiectul tridimensional "parcela"

Folosind un model rețea pentru descrierea informației de teren, memoria necesară se reduce la minimum. În figura 7, parcela I este acoperită cu o rețea uniformă. Datele memorate sînt date de figura 8, unde se folosește din nou un model de date relațional.

Datele de teren pentru situarea nodurilor nu sînt disponibile în mod explicit; ele trebuie obținute printr-o metoda de interpolare, ceea ce conduce la o zonă minimă de memorie pentru stocarea datelor. Pentru

acest motiv, sistemele de baze de date tridimensionale cu rețele neregulate de triangularizare integrate (TIN) nu reacționează atît de repede, în comparație cu modelele rețea integrate. Folosind structurile de date disponibile pentru date DTM - TIN, GRID și HYBRID (TIN în cadrul GRID) - tabelul 1 dă caracteristicile de performanță ale bazelor de date 3D.

nod	coordonate	muchii
1	x ₁ ,y ₁	a,b
2	x ₂ ,y ₂	a,c
4	x ₄ ,y ₄	c,d
5	x ₅ ,y ₅	b,d

"0 - tabela" (noduri)

i \ j	1	2	3	4
1	z ₁₁	z ₁₂	z ₁₃	z ₁₄
2	z ₂₁	z ₂₂	z ₂₃	z ₂₄
3	z ₃₁	z ₃₂	z ₃₃	z ₃₄
4	z ₄₁	z ₄₂	z ₄₃	z ₄₄

"0 - tabela" (teren)

muchie	nod		bloc drept	bloc stîng
	start	sîrșit		
a	1	2	O	I
b	1	5	I	O
c	2	4	O	I
d	4	5	O	I

"1 - tabela" (situare)

bloc	bloc nr.	muchii
1	I	a,b,c,d

"2 - tabela" (situare)

Figura 8- Memorarea datelor tridimensionale ale parcelei I folosind un model rețea pentru date de teren (a se vedea tabela obiect și tabela din figura 6)

Modelul de teren	Accesul la date	Cantitatea de date	Performanța
GRID	foarte rapid	mică	săracă
TIN	lent	mare	excelentă
HYBRID	rapid	rezonabilă	excelentă

Tabelul 1 - Caracteristicile bazelor de date în 3D

5. Managementul datelor separate

Descrierile complete în 3D cer date suficienți pentru toate regiunile de interes. În timp ce se produc achiziția de date pentru elementele de situare trebuie achiziționate separat date de geomorfologie. Rezultatul este o reprezentare separată de granița care se poate transforma într-un model complet prin intermediul Object Oriented Management (OOM). Următorul exemplu va demonstra această abordare, în care două parcele contigue (nr.1: mică, cu o construcție, nr.2: mare, fără construcție) au fost descrise în R³ (figura 9)

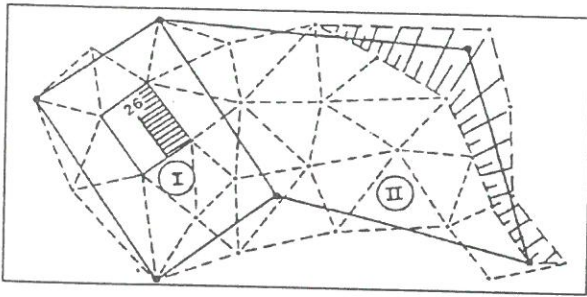


Figura 9. Geometria 2D a unui obiect 3D

feature class : parcels
 feature 1 : parcels 1
 feature 2 : parcels 2
 feature 3 : geomorphology
 feature item 1a: parcel
 feature item 1b: building
 feature item 2a: parcel
 feature item 3a: reference points with edge informations
 and dead areas
 block model 1a: BR by means nodes.

Managementul în această schemă permite interogări de tipul:

- reprezentarea construcțiilor în 3D,
- detaliile geomorfologice (de exemplu, pante),
- interpolarea punctelor de interes,

pentru a numi numai câteva. Consecința este că vor exista două baze de date pentru geometrie:

- una pentru datele de situație,
- una pentru datele de teren.

Incluzind o a treia bază pentru date nongrafice (atribute), trebuie umplută o bază de date hibridă (conform figurii 10).

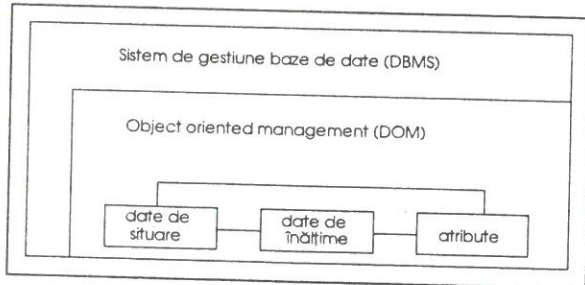


Figura 10. Baza de date hibridă

6. Concluzii

Structurile de date tridimensionale vor fi utilizate din ce în ce mai mult în aplicațiile GIS, în special în ecologie și cercetările pentru protecția mediului. Prin urmare, soluțiile în 2.5 D nu mai sînt suficiente. Articolul a arătat că structurile de date DTM pot fi integrate în GIS-urile existente în două moduri: folosind un model în 3D sau unul separat pentru situație și înălțime. Deși modelarea geometrică este un subiect ce încă oferă arii de investigat, există instrumente disponibile pentru a produce o descriere completă în

3D. Dezvoltările ulterioare în OOP vor deveni elegante formulări 3D.

Bibliografie

1. **MAKAROVIC, B.:** Digital Terrain Models-A Constituent of Geo-Information Systems. In: Proc. Symp. Topol. Data Structures for Geographic Information Systems, 1, 1977, pp. 1-21.
2. **ADLER, R.:** Organisation und Struktur digitaler Gelandemodelle, Land informations Systeme, Schrift, Reihe Wiss., Technik, 11., 1978.
3. **NOMA, A.A.:** Toward Creation of a Digital Terrain Data Base, Pres. Pap., 34., 1974.
4. **JANCAITIS, J.R.:** Statement of Work for Basic Digital Terrain Data Base Software, TR Topogr. Lab., Belvois, 1976.
5. **ELASSAL, A.A.:** USGS Digital Cartographic File Management System. In: Proc. DTM Symp., 1978, pp. 16-23.
6. **NOMA, A.A., SPENCER, N.:** Development of a DMAC Digital Terrain Data Base In: Proc. DTM Symp., 1978, pp. 493-505.
7. **DATE, C.J.:** An Introduction to Database Systems, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1986.
8. **BURROUGH, P.A.:** Principles of GIS for LAND Ressources Assessment, Clarendon Press, Oxford, 1986.
9. **MOLENAAR, M.:** Single Valued Vector Maps-A Concept in GIS, 1989, nr. 2, pp. 18-26.
10. **FRITSCH, D.:** Acquisition topology and Structuring of Spatial Data. In: Proc. 42. Photogr. Week, Inst. Photogr., Stuttgart, Univ. Stuttgart, 1989, pp. 87-104.
11. **FRITSCH, D.:** Raumbezogene Informationssysteme und Digitale Gelande-modelle, Univ Munchen, 1988.
12. **EBNER, H., ș.a.:** Integration von digitalen Gelandemodellen in GIS-Konzept und Realisierung, (in print), 1990.
13. **RIEGGER, P.:** Die Bedeutung der Grafik in einem Umweltinformationssystem, in GIS, Ed. M. Schilche, 1989, pp. 181-189.
14. **MEIER, A.:** Methoden der grafischen und geometrischen Datenverarbeitung, Teubner, Stuttgart, 1986.
15. **BARTELME, M.:** GIS Technology, Springer, Berlin, 1989
16. **HERRING, J.R. TIGRIS:** Topologically Integrated GIS. In: Proc. AUTOCARTA 8, Baltimore, S.U.A., 1987, pp. 282-291.
17. **SCHEK, H.J.:** Perspektiven zukunftiger Datenbanksysteme - Erweiterbarkeit und Objektorientierung. Tagungsband AM/FM Regionalkonferenz Siegen, Nachtrag, Siegen, 1988.
18. **L. ROWE:** OOP und RDMS verknupfen, CHIP Plus, febr. 1990.

