

JAROMÍR KOLEJKA

EXPERTNÍ SYSTÉMY V GEOGRAFICKÉ INFORMATICE

J. Kolečka: *Expert Systems in Geographical Informatics*. — Sborník ČGS, 97, 4, p. 253—260 (1992). — The advanced GIS are equipped both by a database and a knowledge base. The knowledge base contains a system of rules for the purpose oriented data management and processing, which simulate the process of decision-making carried out by an expert. The principles of and experience with expert system creation are described. The expert system applications were tested in the territorial data analysis, the natural phenomena modelling, the remotely sensed data interpretation, the cartographic processes, the artificial intelligence experiments, etc.

KEY WORDS: geographical information system, expert systems, knowledge base applications.

1. Úvod do terminologie

Pro rozsáhlé regiony, obvykle administrativní jednotky vyšších řádů — jsou v jednotlivých zemích budovány geografické informační systémy (GIS), které mají jednak za cíl shromažďovat relevantní údaje o sledované oblasti a jednak, a to především, je využít pro nejrůznější účely. V úvahu přicházejí regionální popisné, inventarizační, vyhledávací, hodnotící, výstražné a plánovací studie. Regionální GIS shromažďují velké soubory údajů, často velmi odlišného obsahového charakteru a formy, jejichž společnou vlastností je pouze lokalizace v zájmovém území. V podstatě existují dva základní důvody, podle kterých jsou databáze (KS — knowledge sources) regionálních GIS vytvářeny:

- a) potřeba převedení grafické, textové, tabulkové a pod. informace z původních médií na snáze dostupné a ovladatelné systémy,
- b) sestavování účelových souborů informací podle potřeb a požadavků řešení konkrétního prostorového úkolu či studie (viz výše).

Požadavky kladené na regionální GIS znamenají jak podávání analytických informací — neboli editování uložených údajů, tak zejména jistým způsobem integrovanou komplexnější informaci, mající již účelový charakter. Do GIS jsou proto vkládány, nad úroveň lokalizovaných informací (databázi), formalizované postupy, jak dílčí informace skládat a jaké výsledky požadovat. Soubor postupů výběru potřebných údajů, způsobu jejich použití a forem očekávaných výsledků na běžné úrovni — čili manipulace s daty, je obsažena v tzv. řídicím systému databáze (DBMS — Database Management System). Řídicímu systému je nadřazena tzv. poznatková základna (KB — knowledge base), která obsahuje bezprostřední PRAVIDLA (rules) pro skládání tematicky i formou odlišných údajů a zdůvodňuje, proč a jak jsou určité údaje použity a jaké operace je integrují. Pro zabezpečení procesu přetváření uložených dat na bázi poznatkových pravidel je do GIS instalována inference engine (IE) jako řídicí složka systému ve smyslu tvorby vstupů z poznatkové základny a zamezení realizace nerozumných kroků.

Z organizačního hlediska GIS pak datové soubory (KS nebo DB — database)

a řídicí systém databáze (DBMS) tvoří jeho informační základnu (datový systém) a poznatková základna (KB) s inference engine (IE) aplikační, tj. tzv. EXPERTNÍ SYSTÉM (ES). ES je doplněna tzv. pracovní pamětí (WM – working memory), jakožto prostorem pro ukládání průběžných a částečných výsledků získaných při řešení úkolu, a justifikátorem (JU – justifier), vysvětlujícím linii uvažování systému po zadání dotazu ze strany uživatele. Vedle uložených údajů a formulací úkolů uživatelem je EXPERTNÍ SYSTÉM klíčovou součástí soudobého účelového GIS.

2. Umělá inteligence a expertní systémy

Ústředním problémem formování účelového GIS je precizní formulování funkce (1):

$$R = \{f_j(x_i)\}, \quad (1)$$

kde R je očekávaný výsledek, x_i jsou použité proměnné z datové základny a f_j jsou pravidla, podle kterých jsou z dat docilovány výsledky. V běžném životě je proces vytváření rozumných i nerozumných závěrů velmi komplikovanou obdobou chemické reakce, do které vstupují reagující látky (nepotřebné buď nevstupují, anebo zůstávají v latentním stavu), jež se za určitých vnitřních i vnějších podmínek přetvářejí v látky nové. Integrace dřívějších skutečných poznatků tedy rozhodně nemusí znamenat vytváření složitějších (ve formě) nových údajů. Myšlení je tedy založeno na vědomostech a omezeních jejich realizace v myšlenkové i aplikační sféře.

Při rozhodovacích procesech ve velkých územích (objemem dat) je zapotřebí zohlednit jak velké objemy monotematické informace, tak kvalitativně odlišné údaje, a to vše v rozumné době. Provozní kapacita lidského mozku je přirozeně omezena, a proto z důvodu maximálního předejití možných omylů anebo zkrácení jinak velmi dlouhé doby vyhodnocení údajů je proces myšlení člověka simulován počítačovou technikou. Programové vybavení, které má zastoupit myšlení člověka, se nazývá UMĚLÁ INTELIGENCE.

„Umělá inteligence zahrnuje studium a aplikaci speciálních datových struktur, procedur, řídicích struktur a počítačové architektury, což společně s heuristicky pojatou oborově specifikovanou poznatkovou základnou umožňuje řešení problémů počítačovými prostředky“ (NCGIA, 14, str. 128). Z hlediska konstrukčního představuje umělá inteligence (artificial intelligence – AI) soubor počítačových technik, použitelných k nalezení přijatelných odpovědí na problémy, které člověk může řešit, avšak pro něž buď přesná řešení nejsou definována anebo jsou jinak než počítačem nerealizovatelné. Z čistě gnozeologického aspektu AI slouží počítačům k odhalení principu inteligence obecně a lidského myšlení konkrétně. V geografické sféře poznání a při aplikaci geografických poznatků AI simuluje atomizovaně proces poznávání geografických objektů (a jevů, tj. entit) z hlediska strukturního i dynamického a formuluje popis jejich možných stavů za předem stanovených podmínek. Vzhledem k tomu, že geografie je syntetizující vědou o prostoru a jeho změnách, myšlenková i poznatková základna je velmi komplikovaná. O to více se jeví účelným rozvíjet geografické aplikace AI, neboť jen tak lze obsáhnout velké objemy dat, podmínek a pravidel.

Při řešení konkrétních problémů (nejen grafických) je AI uplatňována prostřednictvím ES. Expertní systémy jsou (podle A. Goodhalla, in Beynon-Davies, 1, str. 34) počítačové systémy provádějící funkce podobné těm, které činí lidský expert. Neboli, ES je počítačový systém využívající reprezentace lidské expertízy v určité oblasti

s cílem provést funkce podobné těm, které dělá lidský expert ve svém oboru. Expertní systémy jsou počítačové systémy dohlížející a pomáhající řešit reálné problémy, které normálně vyžadují interpretaci lidským expertem. Takové systémy řeší problém počítačovým modelem lidského experta. Jsou koncipovány tak, aby dospěly ke stejnému závěru, který by byl očekáván lidským expertem, pokud by byl postaven před stejný problém (Weiss, Kulikowski, in Robinson, Frank, 18).

„Počítačové software, které pomáhají uživateli provádět rozhodnutí založená na složitém myšlení využívajícím „expertní“ znalosti, často o neznámé realitě, jsou označována jako expertní systémy“ (Natural Environment Research Council, 13, str. 5). Z realizačního hlediska je tedy ES počítačovým systémem, který funguje na bázi využití inferenčního mechanismu, tvořeného formalizovanou poznatkovou základnou, a vsazeného do posuzovacího procesu prováděného neoborníkem. Expert formuluje pravidla a systém, který může být obsluhován specialistou v odlišném oboru, poskytuje relevantní výsledky. Obecně je ES rozhodovací pomůcka pro uspořádání složité oblasti problému, která je teritoriem lidí zvaných „experti“ (Webster, Siang, Wislocki, 25).

Pro EC obecně platí řada vlastností (Ripple, Ulshoefer, 17; Robinson, Frank, 18; Frank, 5; Usery et al., 19; Webster, 24; Beyon-Davies, J):

- s uživatelem mají komunikovat prostřednictvím přirozené problémově orientované řeči,
- mají vysvětlovat postup systému a zdůvodňovat výsledky,
- mají zvažovat a hodnotit možné hypotézy a podle nich zdůvodňovat potřebu dalších dat,
- jsou založeny na vyhovující reprezentaci určité poznatkové oblasti a jí se řídí,
- mají fungovat bez ohledu na chyby v datech a nepřesnosti v pravidlech,
- musí mít schopnost ověřovat platnost svých funkcí na prototypovém případě, aj.

Aby konkrétní lokální účelový GIS mohl plnit funkci ES, je zapotřebí formulovat, resp. zajistit:

- a) pravidla – v poznatkové základně (KB),
- b) data – v datové základně (KS),

Poznatky mohou být reprezentovány třemi způsoby (Robinson, Frank, 18):

- a) predikační logikou,
- b) sémantickou sítí – modelem asociační lidské paměti (objekty = uzly, vztahy = oblouky v grafu),
- c) rámy – reprezentace deklarativních znalostí (údaje o objektu společně).

Obecným požadavkem, kladeným na pravidla, je atomizace formulací. Mají být natolik jednoduché, aby reakce ES v GIS byla buď jen kladná v jednom přesně určeném směru (odpověď ANO), anebo se další postup v daném směru neprovede (odpověď NE).

Uspořádání databázových systémů je doposud předmětem diskuse. V podstatě lze uvažovat o trojici nevhodnějších datových modelů (Webster, 24):

- a) s vektorovým popisem – definování geometrie a topologie objektu,
- b) s logickou strukturou – geografické objekty jsou reprezentovány logickou klauzulí (atributy prostoru – body, čáry, ...).
- c) s relační strukturou – k atributům prostoru jsou přidány další identifikační údaje (jméno, typ, ...).

Vlastní struktura databázi může mít hierarchickou, síťovou, relační nebo sémantickou formu (Beynon-Davies, 1), data musejí být imunní ke změnám struktury ukládání a přístupu k nim (nezávislost dat), použitelná a neduplicitní (integrace dat),

žádná nedůslednost v manipulaci s nimi se na nich zpětně nesmí odrazit (integrita dat) a musí být oddělen logický a fyzický aspekt dat (data mají určité hodnoty). Pro vlastní strukturalizaci dat v databázi připadají v úvahu tři systémy (prostorové modely dat – Ripple, Ulshoefer, 17):

1. Pyramidový (exponenciální), kdy údaje jsou na každé rozlišovací úrovni popsány vyčerpávajícím způsobem s obsazením všech možných kvalitativních kombinací (např. obrazové údaje snímku, mapy různé podrobnosti a další pozemní údaje), tj. podklad obsahuje homogenní údaje jen jedné podrobnostní úrovně (rastrová data).

2. Dendrogramový (quadtree) neboli proměnlivý rozlišovací model, v němž údaje jsou uspořádány hierarchicky s tím, že v případě potřeby je jejich obsah i vícekrát upřesňován, uloženy mohou být vedle sebe heterogenní informace vzájemně rozdílné podrobnosti, tj. hierarchické úrovně, což je výhodné pro řadu operací s geografickými údaji (tento způsob uložení usnadňuje vyhledávání, rychlé změny rozlišovací úrovně, je zřejmá vzájemná příbuznost údajů v horizontálním i vertikálním směru).

3. Hybridní (kombinovaný) model, je zatím ve stádiu teoretických rozpracování dvou variant: vaster model (raster/vector) – obsahuje oba druhy dat, quadtree/frame – předpokládající již GIS založené na AI.

Určitý obecný problém při zařazování údajů do tříd tvoří skutečnost, že informace některých druhů mohou být obsaženy ve dvou nebo více položkách (souborech) kteréhokoliv ze tří výše uvedených prostorových datových systémů na téže hierarchické úrovni. Je to typické právě pro geografické objekty (také pro údaje DPZ), kdy po zadání polohy, velikosti, tvaru, rozsahu atd. (= geometrické informace) jsou dále uváděny již jen neprostorové atributy. Přestože v každé položce (souboru, třídě) jedné hierarchické úrovně může být geografická entita (objekt, jev) popsána, jen jedním atributem (definičním pro zařazení do položky, souboru, třídy), problém je v tom, že entita může být současně definována více atributy na téže hierarchické úrovni, a proto se může vyskytnout jeden objekt (atd.) ve více souborech (např. smíšené pixely mohou být ve více třídách podle toho, které kategorie objektu zčásti zachycují, ...). Zavedením fuzzy teorie (Wang, Hall, Subaryono, 23) do prostorových datových modelů je tento nedostatek geografických dat omežován tak, že jsou vytvářeny fuzzy soubory (třídy, položky – fuzzy sets) a každá areálová geografická informace, resp. její prostorový průmět (prostorová entita) se stává prvkem souboru. Jeden prvek tedy může být asociován do více fuzzy souborů s udáním různých stupňů členství v nich. Táž územní geografická entita se tedy ve zpracování dat může objevit vícekrát v různých kategoriích (typech) území (objektu). Upravený datový model je nazýván Fuzzy Relational Data Model.

ES se uvádí do chodu zadáváním dotazu (příkazu) v SQL (Structured Query Language), což je v podstatě dotazový jazyk, založený na relačních výpočtech, které nedisponují procedurální silou. Jazyk má tři specializované součásti pro definování, manipulaci a řízení dat (Beynon-Davies, 1). Při zpracování dat DPZ je vhodné rozlišovat jazyk pracující s KB, tzv. knowledgeguided query language, a jazyk pro komunikaci s monitorem, tzv. visual query language (Wu et al., 29). Aby byly operace prováděny co nejefektivněji, tj. aby se zpracovaly velké objemy dat v co nejkratším čase, daly požadované výsledky v co nejlepší kvalitě, jsou testovány různé řešitelské strategie. Pomocí tzv. Query Optimization jsou vypracovány strategie úprav specifických dotazů a vybírá se postup, který je nejefektivnější (Egenhofer, Frank, 3). Optimální strategie je hledaná pro dvě základní varianty využití znalostí a pravidel při hledání cesty k výsledkům (Robinson, Frank, 18):

– řetězení vpřed (forward chaining) – kdy je postup v podstatě řízený daty a po

určitých krocích se má dospět k rámcově definovanému výsledku, který může být předmětem dalšího hodnocení,

- řetězení vzad (backward chaining) – znamená postup řízený cílem, kdy cíl je poměrně velmi přesně definován a hledá se cesta k němu, jak na bázi dostupných dat, tak s formulováním požadavků na chybějící údaje.

Realizace postupu probíhá v krocích. Na výsledku předchozího kroku záleží orientace kroku následujícího. První (předchozí) krok je ukončen až tehdy, až je zcela zřejmé, že zadaná data byla zpracována pouze podle jednoho pravidla. Je-li neobvykle na jedné rozhodovací úrovni více pravidel, nastává konfliktní situace, kterou lze řešit několika strategiemi (Beynon-Davies, 1):

- prioritizaci určitého pravidla (subjektivně),
- vloží se dočasně platné rozhodující pravidlo (pro aplikaci je zrušeno v souboru pravidel),
- specifikaci pravidel (použije se pravidlo konkrétnější s předností před obecným).

Po vyřešení konfliktní situace výběrem pravidla je krok realizovatelný. Procesem backtracking je zabezpečeno provádění pouze produktivních alternativ (nová informace nemůže být na úrovni předchozího kroku – kontrola prostřednictvím IE). Ve druhém (následujícím) kroku je opět proveden test použití pravidla (pravidel) tohoto kroku a na datech (výsledcích předchozího kroku, uložených v pracovní paměti) je pak podle jediného z nich provedena příslušná operace. Tak je postupně odvozována buď informace hledané úrovně (řetězením vpřed), nebo realizována cesta k hledané informaci (řetězením vzad).

Činností ES GIS je neustále ověřována funkčnost jeho součástí a platnost poznatkové (KB) a datové (KS) základny. Obdobně je nezbytné neustálé vylepšování uživatelského interface, což je základní podmínkou pro stále širší, rychlejší a spolehlivější uplatnění ES při řešení prostorových úkolů.

3. Dosavadní zkušenosti z aplikace ES v GIS

Expertní systémy jsou doposud výhradně součástí účelových GIS, které jsou budovány pro řešení konkrétního výzkumného nebo praktického úkolu. Z aplikačního hlediska se ES v GIS různého charakteru stávají v současnosti oblasti nejširšího použití GEOGRAFICKÉ INTELIGENCE na bázi plně technizované poznatkové základny (Webster, Siong, Wislocki, 25). Vzhledem k náročnosti budování databází (zejména sběr velkých objemů dat), je často zapotřebí zohlednit stávající datové systémy a využít je pro vhodně vytvořené ES. V současné době jsou k dispozici zkušenosti z aplikace ES v několika oblastech geografické práce (NCGIA, 14):

- statistická analýza prostorových dat,
- modelování vybraných prostorových jevů,
- interpretace obrazu,
- simulace myšlenkových procesů lidských expertů při lokálním rozhodování,
- kartografická tvorba,
- kartografická generalizace.

STATISTICKÁ ANALÝZA PROSTOROVÝCH DAT – je velmi komplikovanou problémovou oblastí. Prostorová analýza vychází ze zkušeností v prostorové statistice, závisí na kvalitě a struktuře dat a na výběru kombinovaných technik k řešení určitého problému (Robinson, Frank, 18). Při účelové aplikaci ES v zásadě jde o prostorový výběr různých vhodných ploch pro určitý cíl(e) na základě jistých

pravidel (rule-based spatial search). Výsledkem takového postupu je buď definování a lokalizace určitých specifických ploch (vhodnosti, nevhodnosti, hazardu, ...), anebo regionalizace zájmového území podle určitých kritérií (vhodnosti, ...). Výběrové nebo pokravné evaluační programy založené na ES byly realizovány za účelem posouzení sesuvného rizika ve Velké Británii a na Kypru (Webster, Siong, Wislocki, 25; Webster, 24; Wislocki, Bentley, 28; Pearson, Wadge, Wislocki, 15), vlivu skládek na okolí (Estes, McGwire, Fletcher, Foresman, 4), ohrožení území požáry v USA (Van Wagtendonk, 21; Knifson, Douhan, 8), vhodnosti pro pěstování obilí v Indonésii (Wang, Hall, Subaryono, 23), stavebně geologické hodnocení (Usey, Altheide, Deister, Barr, 19), hodnocení ekologické stability krajiny a projekci ekologických teritoriálních stabilizačních systémů (Kolejka, 6, 7).

MODELOVÁNÍ VYBRANÝCH PROSTOROVÝCH JEVŮ – znamená tvorbu retrospektivních nebo perspektivních modelů některých jevů v krajinné sféře bez ohledu na skutečnou délku jejich trvání ve skutečnost. Cílem je:

- a) pokud možno vyčerpávajícím způsobem popsat určitý jev a vizuálně jej demonstrovat,
- b) na bázi předchozích ověřených modelů simulovat analogickou situaci nebo různé situace a sledovat a prognózovat chování jevů v nich,
- c) lokalizovat oblasti s obdobnými jevy a na základě analogie vyhledávat výsledky těchto jevů.

Příkladem jsou četné geologické studie, analyzující vznik geologických objektů (nejčastěji rudných ložisek), které usnadňují na základě znalostí určitých indikátorů těchto procesů detekovat jejich průběh a výsledky, čili lokalizovat výskyt zatím neznámých nalezišť, např. výsledky procesu mineralizace (Wadge, Young, Mason, 22). Obdobně lze modelovat chování některých rostlinných a živočišných druhů při osídlování nových území nebo naopak opouštění areálů za určitých okolností (Mueller, 12). Mimořádný význam (prognostický, výukový, operační) mohou nabýt počítačové (2D nebo 3D) simulace některých atmosférických jevů (tvorba oblačnosti, vznik a pohyb tornád, vznik a šíření mlh) a katastrofických přírodních a člověkem akcelerovaných jevů (povodně, požáry). Model postavený na quadrické simulaci a heuristických odhadech (Wertz, 26) dovoluje názorně modelovat jak aktuální krajinu, tak daný proces v ní v celém jeho průběhu za měnících se hodnot parametrů, které je ovlivňují.

INTERPRETACE OBRAZU – je klasickou oblastí aplikace AI a ES (KB) při zpracování obrazových informací, zejména dat dálkového průzkumu Země. KB se může uplatnit v různých fázích zpracování dat a může nabýt různých forem. Pokud jde o etapu zařazení (Mason et al., 9), funkce KB může spočívat v předklasifikačním rozvrstvení údajů (stratifikaci), v regulaci klasifikačního procesu (classifier modification) nebo v poklasifikačním přehodnocení výsledků (postclassifier sorting).

V předklasifikační etapě jsou pravidla z KB zakódována do hypotéz a vlastní zpracování je určitou formou aproximace. Při segmentaci obrazu (Mason et al., 9) je obraz nejprve rozdělen do homogenních segmentů, které jako areály jsou předmětem klasifikace. Klasifikace probíhá hierarchickým postupem, kde každá třída má přesně definované podtřídy a míru jejich důvěryhodnosti. Obdobně v přísně klasifikační hierarchii pracuje tzv. Gordonův-Shortliffův algoritmus (G-S algoritmus), spočívající v postupné akumulaci (upřesňování) důkazů o určité třídě objektů (Wilkinson, Mégier, 27), včetně regionálně proměnlivých hodnot pravděpodobnosti výskytu, odečítaných z KB. Vlastní proces klasifikace lze ovlivňovat fuzzy matematikou (Wu et al., 29) využívající statistický výpočet tzv. faktoru jistoty (váhy – tj. pravděpodobnosti zařazení určitého pixelu do určité třídy – certainty factor) a dal-

ších objektivě orientovaných (geografických) a relačních údajů. Transformaci raster/vektor (po zpracování snímku) použili G. Mehltau a R. A. Schowengerdt (10) pro analýzu výsledků interpretace na bázi spektrálních, geometrických a kontextuálních znalostí o různých typech objektů (např. „řeka“). Upravený výsledek znázornili po transformaci vektor/raster v mapě.

Zvláštním případem využití KB při interpretaci obrazu je extrakce vybraných prvků, nejčastěji komunikací a toků (Van Cleynenbreugel et al., 20; Rangachar et al., 16, aj.).

KARTOGRAFICKÉ APLIKACE – pokud přímo nenavazují na problematiku znázornění výsledků, získaných při zpracování dat v GIS nebo dat DPZ, ev. jejich kombinací, se dotýkají především otázky generalizace. KB se může uplatnit v několika etapách generalizačního procesu, považovaného za speciální variantu prostorového modelování (Brassel, Weibel, 2): poznávání struktury, poznávání procesu, modelování procesu, zajištění (provedení) procesu a displej (znázornění výsledků). Generalizace má dvě formy: statistickou – zahrnující výpočty v pozadí, a kartografickou – pro vizuální interaktivní komunikaci na grafickém monitoru. K dispozici jsou i československé zkušenosti (Mitášová, Veverka, Pezlár, 11).

Na bázi dostupných teoretických poznatků, specifické problematiky lokálních datových souborů a účelových požadavků jsou ve spolupráci československých a britských geografů budovány GIS vybavené ES pro okolí Kyjova (grant č. 31428 „Principy a modely geoinformačního zabezpečení podniků rizikových výroby“) a hrabství Cheshire (grant “Knowledge Based Systems”).

Literatura:

1. BEYNON-DAVIES, P.: Expert Database Systems. A Gentle Introduction. McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd., Maidenhead 1991, 186 s.
2. BRASSEL, K. E., WEIBEL, R.: A review and conceptual framework of automated map generation. *International Journal of GIS*, r. 2, č. 3, 1988, s. 229–244.
3. EGENHOFER, M. J., FRANK, A. U.: LOBSTER: Combining AI and Database Techniques for GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, r. 56, č. 6, 1990, s. 919–926.
4. ESTES, J. E., MCGWIRE, K. C., FLETCHER, G. A., FORESMAN, T. W.: Coordinating hazardous waste management activities using geographical information systems. *International Journal of GIS*, r. 1, č. 4, 1987, s. 359–377.
5. FRANK, A. U.: Requirements for Database Management Systems for a GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, r. 54, č. 11, 1988, s. 1557–1564.
6. KOLEJKA, J.: Geografické hodnocení údajů o opakovaných změnách funkčnosti ploch a možnosti jejich využití při přípravě systémů ekologické stability území. *Zprávy GÚ ČSAV*, r. 26, 1989, č. 1, s. 5–23.
7. KOLEJKA, J.: Local GIS application in planning of Ecological landscape stability system (manuskript). IGU GIS' 91 Conference, Brno 1991, 9 s.
8. KNIFSON, R. L., DOUHAN, C.: GIS Use at Indiana Dunes National Lakes. *GIS World*, r. 4, č. 3, 1991, s. 51–52.
9. MASON, D. C., et al.: The use of digital map data in the segmentation and classification of remotely-sensed images. *International Journal of GIS*, r. 2, č. 3, 1988, s. 195–215.
10. MEHLTAU, G., SCHOWENGERDT, R. A.: A C-Extension for Rule Based Image Classification Systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, r. 56, č. 6, 1990, s. 887–892.
11. MITÁŠOVÁ, I., VEVERKA, B., PEZLÁR, Z.: *Základy teorie systémů a kybernetiky s aplikacemi v geodézii a kartografii*. ALFA, Bratislava 1990, 247 s.
12. MUELLER, H.: Object-oriented Simulation. A New Ecological Tool Emerges. *GIS World*, r. 4, č. 5, 1991, s. 42–44.
13. NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL: Report of the NERC Unit for Thematic Information Systems 1989/91. NERC, Reading 1991, 15 + 7 s.
14. NCGIA: The research plan of the National Center for Geographic Information and Analysis. *International Journal of GIS*, r. 3, č. 2, 1989, s. 117–136.

15. PEARSON, E. J., WADGE, G., WISLOCKI, A. P.: Mapping Natural Hazards with Spatial Modelling Systems. (Manuskript). EGIS' 91 Conference, 2.—5. 04. 1991, Brussels 1991, 9 s.
16. RANGACHAR, K., RODNEY, F., MUKESH, L. A., WU-CHUN, F.: Map Data Processing in Geographic Information Systems. Computer, r. 22, č. 12, 1989, s. 10—21.
17. RIPPLE, W. J., ULSHOEFER, V. S.: Expert Systems and Spatial Data Models for Efficient Geographic Data Handling. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, r. 53, č. 10, 1987, s. 1431—1433.
18. ROBINSON, V. B., FRANK, A. U.: Expert Systems for Geographic Information Systems. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, r. 53, č. 10, 1987, s. 1435—1441.
19. USERY, E. L., ALTHEIDE, P., DEISTER, R. R. P., BARR, D. J.: Knowledge-Based GIS Techniques Applied to Geological Engineering. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, r. 54, č. 11, 1988, s. 1623—1628.
20. VAN CLEYNENBREUGEL, J., FIERENS, F., SUETENS, P., OOSTERLINCK, A.: Delineating Roads Structures on Satellite Imagery by a GIS-Guided Technique. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, r. 56, č. 6, 1990, s. 893—898.
21. VAN WAGTENDONK, J.: 1990 GIS Highlights at Yosemite National Park. GIS World, r. 4, č. 3, 1991, s. 55—56.
22. WADGE, G., YOUNG, P. A. V., MASON, D. C.: Simulation of Geological Processes Using an Image-Based Expert System. (Manuskript pro Journal of the Geological Society, London). NERC Unit for Thematic Information Systems, Department of Geography, University of Reading, Reading 1991, 25 + 5 s.
23. WANG, F., HALL, G. B., SUBARYONO: Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application. International Journal of GIS, r. 4, č. 3, 1990, s. 261—283.
24. WEBSTER, C.: Rule-based spatial search. International Journal of GIS, r. 4, č. 3, 1990, s. 241—259.
25. WEBSTER, C., SIONG, H. C., WISLOCKI, T.: Text Animation or Knowledge Engineering? Two Approaches to Expert System Design. Technical Reports in Geo-Information Systems, Computing and Cartography, c. 18, Wales and South West Regional Research Laboratory, Cardiff—Bath—Southampton 1989, 24 s.
26. WERTZ, W.: Dynamic Fire Simulation for Training and Prediction. GIS World, r. 4, č. 3, 1991, s. 78—81.
27. WILKINSON, G. G., MÉGIER, J.: Evidential reasoning in a pixel classification hierarchy — a potential method for integrating image classifiers and expert system rules based on geographic context. International Journal of Remote Sensing, r. 11, č. 10, 1990, s. 1963 to 1968.
28. WISLOCKI, A. P., BENTLEY, S. P.: An Expert system for Landslide Hazard and Risk Assessment. Computers and Structures, r. 40, č. 1, 1991, s. 169—172.
29. WU, J.-K., CHENG, D.-S., WANG, W.-T., CAI, D.-L.: Model-based remotely-sensed imagery interpretation. International Journal of Remote Sensing, r. 9, č. 8, 1988, s. 1347 to 1356.

(Pracoviště autora: katedra životního prostředí přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity, Koutářská 2, 611 37 Brno.)

Došlo do redakce 25. 9. 1991

Lektoroval Bohuslav Veverka