

Objektovo orientovaná architektúra geografických informacných systémov

Augustin Mrázik (Kremel'ská 13, 845 03 Bratislava, ArtInAppleS spol. s r.o.)

1 Úvod

V posledných rokoch sa v oblasti informatiky stala téma objektov a objektovej orientovanosti jednou z najfrekvencovanejších a najdiskutovanejších. V oblasti teórie aj praxe softverových systémov priniesla nové programovacie jazyky a systémy, nové databázové systémy a nové metodiky analýzy a návrhu programových systémov. Hlavnou črtou tejto novej technológie je prirodzený spôsob modelovania reálnych entít v programovacom prostredí. Tento prístup robí celý systém pochopiteľnejším aj pre konečného užívateľa a umožňuje tak modelovať aj systémy vysokej zložitosti.

Oblasti softverových prostredí určených na budovanie geografických informacných systémov sa napodiv táto progresívna technológia dotkla zatiaľ len okrajovo. Prítom práve oblasť GIS zaznamenáva v posledných rokoch neobyčajný rozmach.

Následujúci príspevok predstavuje model objektovo orientovaného prístupu k návrhu architektúry prostredia pre budovanie GIS.

2 Objekty

Objekt umožňuje jednotnú reprezentáciu realnej entity z hľadiska jej vlastností aj správania (dynamiky, pravidiel). S takýmto objektom sa v programovom prostredí narába ako s jediným prvkom (podobne ako v realite s príslušnou entitou), na rozdiel od oddeleného prístupu reprezentácie pri klasických programovacích jazykoch (oddelenie údajov od procedúr).

Samotný názov objekt vychádza z tohto konceptu a evokuje predstavu hmotného priestorového objektu (jednoduché priestorové objekty ako guľa, kocka, valec sú aj často používané na grafickú prezentáciu objektového prístupu napr. v reklamách).

Vlastnosti realnej entity sú reprezentované **atribútmi** objektu a jej správanie **metodami** objektu.

Atribútom objektu je vo všeobecnosti iný objekt, spravidla jednoduchého typu (číslo, farba, text). Každý atribút má v rámci objektu svoj názov (symbolické označenie), napr. výška, objem a pod. Prostredníctvom názvu môže byť atribút identifikovaný a sprístupňovaný (napr. za účelom zistenia jeho hodnoty alebo jej zmeny).

Metóda predstavuje popis určitej činnosti, ktorú je objekt schopný vykonávať. Podobne ako atribút, aj každá metóda má svoje symbolické označenie, prostredníctvom ktorej ju môžeme identifikovať.

Atribúty objektu môže sprístupniť alebo zmeniť len ich vlastník, t.j. objekt sám, a to prostredníctvom vykonania určitej metódy. Na vykonanie metódy je potrebné poslať objektu **spravu** zhodnú s názvom metódy. Správa môže obsahovať aj argumenty (atribúty spravy), ktoré môže vyvolať metóda použiť (napr. číslo alebo farbu).

3 Objektový prístup

Objektový prístup (object-based) predstavuje reprezentáciu reálnych entít prostredníctvom objektov určených typov. Príkladom môže byť grafický editor, ktorý predstavuje užívateľské rozhranie pre interakciu užívateľa s objektami a umožňuje vytváranie nových objektov určených typov (bod, línia, obdĺžnik, elipsa) a ich modifikáciu prostredníctvom priamej manipulácie (editovanie) alebo nepriamo (napr. prostredníctvom ponuky - menu). Samotný editor konvertuje tieto interakcie užívateľa na odpovedajúce správy (posun bodu, zmena farby a pod.) a sprostredkuje ich vyselektovaným objektom.

Typy objektov pri objektovom prístupe spravidla definujú len atribúty objektov a nemajú možnosť definovať ich správanie. Určitou náhradou správania býva možnosť definovať určité základné vlastnosti a vzťahy medzi atribútmi (spravidla parametrizované vo forme masiek), ktoré sú potom interpretované príslušným programovým prostredím a pri interakcii s objektami vytvárajú dojem správania objektov. Takto je možné, že objekty rôzneho typu zareagujú na správu rozdielnym spôsobom, napr. na správy zmeny vyplnovej farby na modru zareaguje plošný objekt podľa predpokladu, avšak líniový a bodový objekt zareagujú chybovým oznamom.

4 Objektovo orientovaný prístup

Objektovo orientovaný prístup (object-oriented) rozširuje uvedené koncepty najmä o plnohodnotné správanie objektov, triedy, dedenie a vzťahy medzi objektami.

Triedy sú objekty, ktoré zovšeobecňujú pojem typu. Triedy definujú množinu premenných objektu a množinu metód. Premenné objektu uchovávajú atribúty objektu a väzby objektu na iné objekty (t.j. vzťahy medzi objektami). Metódy objektu určujú správanie sa objektov patriacich k príslušnej triede.

Základnými **vzťahmi medzi objektami** sú:

- **príslušnosť objektu k triede** - vzťah IS-A, objekt sa nazýva aj *instanciou* príslušnej *triedy*;
- **dedenie medzi triedami** - vzťah IS-KIND-OF umožňuje triede prebrať všetky vlastnosti inej triedy (atribúty, metódy) a tieto špecializovať (dedefinovať nové alebo redefinovať prebrate); trieda sa potom nazýva *podtriedou* svojej *nadtriedy*.

Tieto základne vzťahy bývajú v programových systémoch uložené v objektoch interne (nepriístupne užívateľovi) a spravované samotným systémom.

Ako ďalší základný vzťah býva uvádzané **zloženie objektu z častí** - vzťah IS-PART-OF, objekt ako *celok sa skladá z častí*, ktoré sú tiež objektami (tej istej triedy alebo iných tried).

Vzťahy medzi objektami sú obojsmerne a spravidla nesymetrické, napr. jeden objekt je vo vzťahu k druhému jeho triedou a naopak druhý objekt je instanciou prvého. Označenie vzťahu na strane objektu označujeme **uloha** objektu v príslušnom vzťahu, napr. jeden objekt má ulohu triedy a druhý má ulohu instance v spoločnom vzťahu.

Popri týchto základných vzťahoch môže mať objekt definované ľubovoľne ďalšie vzťahy k iným objektom. Tieto vzťahy sú uchovávané prostredníctvom premenných objektu. Názov premennej spravidla označuje ulohu príslušného objektu v danom vzťahu. Príkladom môže byť vzťah **otec-syn**, kde jeden objekt má ulohu otca vo vzťahu k druhému a tento má ulohu syna. V tomto prípade má objekt-otec premennú **syn**, v ktorej je uložená referencia na druhý objekt a vice versa.

Správa vzťahov medzi objektami (okrem uvedených základných) je ulohou samotných objektov, t.j. ich metod. V zložitejších prípadoch býva vzťah sám definovaný triedou a tak sa podieľa na konzistentnosti objektov.

5 Geografické objekty

Pri **modelovaní geografických objektov** v objektovo orientovanom prostredí umožňujú uvedené vlastnosti v podstate bez akýchkoľvek rozšírení prirodzenú reprezentáciu radu ich významných vlastností:

- **druhy geografických objektov** reprezentované triedami, umožňujúcimi navyše špecializáciu druhov - napr. les -> ihličnatý les -> borovicový les; takto je možné vytvoriť systematickú geografických typov (napr. vrátane grafických atribútov), ktorú je možné využívať bez úprav alebo ďalej špecializovať,
- **príslušnosť konkrétneho objektu k určitému druhu** - priradenie konkrétneho plošného útvaru ako instance triedy borovicový les, čím popri priradení kvality (druhu) získava automaticky všetky vlastnosti definované príslušnou triedou (vlastné atribúty, všeobecné grafické atribúty platné pre príslušnú triedu a definovanú funkčnosť),
- **individuálne vlastnosti konkrétneho geografického objektu** definované v premenných jeho triedy a umožňujúce určovať individuálne atribúty konkrétnych objektov (napr. individuálnu zobrazovaciu farbu), ako aj vzťahy voči iným objektom (napr. vzťah parcela-kataster, kde každá parcela priamo pozná svoj kataster a kataster pozná všetky parcely),
- **funkčnosť geografických objektov** - možnosť reprezentovania správania sa príslušných geografických objektov (napr. s cieľom simulácie dynamických javov v území), kontroly správneho vytvárania vzťahov voči iným objektom (napojenie pripojky vodovodu na rozvodné vedenie miestnej vodovodnej siete) a pod.

Nutnou podmienkou je samozrejme reprezentácia priestorových vlastností príslušného geografického objektu (tela) prostredníctvom príslušných **geometrických objektov**, napr. bod, línia, plošný útvar. Základné typy geometrických objektov bývajú spravidla súčasťou štandardného vybavenia objektovo orientovaných programovacích systémov.

Rozdelenie geografických objektov do **samosostatných vrstiev**, čo je bežný prístup k návrhu vnútornej štruktúry geografického informacného systému, býva podporované triedami umožňujúcimi správu množín objektov. Zavedenie **topologie** do takýchto vrstiev (spôsobom známym z topologických GIS) je možné jednoduchým zdieľaním častí analytických definícií tela geografických objektov (napr. zdieľanie líniového úseku spoločnej hranice medzi dvoma plošnými útvarmi, zdieľanie spoločného bodu na trojmedzi). Zdieľanie týchto objektov súčasne **zaručuje automatickú aktualizáciu topologických vzťahov** bez nutnosti znovupostavenia topologie po modifikácii geometrických vlastností niektorých objektov príslušnej vrstvy.

Samozrejme, popri popisovaných vlastnostiach, ktoré sa získajú automaticky len využitím objektovo orientovaného prostredia na reprezentáciu geografických objektov, implementácia prostredia pre tvorbu GIS s plnou funkčnosťou podporujúcou napr. geografické analýzy a dotazy, nie je triviálna. Na druhej strane získaná funkčnosť a vlastnosti geografických objektov už značne predčia funkčnosť známych GIS technológií (napr. dynamickosť objektov a reprezentovanie vzťahov medzi objektami).

Objektovo orientovaný prístup však ponúka možnosť modelovať aj vzťahy a vlastnosti reálnych geografických objektov a systémov, ktoré doterajšie prístupy neumožňovali vôbec. Vzhľadom na úplnosť v nasledujúcej časti stručne predstavíme architektúru komplexného modelovania geografických objektov a systémov vrátane tých vlastností, ktoré sme už okrajovo spomenuli.

6 Komplexné modelovanie priestorových objektov

Základnou triedou je abstraktná trieda **GeObject**, určená na reprezentovanie **základných vlastností a správania sa priestorových objektov**. Ako už bolo spomínané v časti 4, vlastnosti a správanie sa objektov sú modelované **vzťahmi medzi objektami**. Základnými vzťahmi pri objektovo orientovanom prístupe sú vzťahy príslušnosti k triede IS-A a dedenia medzi triedami IS-KIND-OF, v prípade kompozitných objektov aj IS-PART-OF. Komplexnosť vlastností priestorových objektov vnáša do týchto princípov nové vzťahy, ktoré sú základom nášho prístupu.

Navrhovana objektovo orientovaná architektúra reprezentácie priestorových objektov je založená na systéme nasledovných vzťahov:

- **funkčnosť objektu** daná jeho príslušnosťou k triede - IS-A,
- **systematika funkcií** určená hierarchiou tried - IS-KIND-OF,
- **priestorovosť objektu** určená jeho geometrickou reprezentáciou - BODY-IS,
- **kompozitnosť objektu** definujúca časti objektu - PARTS-ARE,
- **topologická príslušnosť objektu** určujúca spôsob umiestnenia objektu v priestore vo vzťahu k iným objektom - DEFINED-IN.

6.1 Funkčnosť objektu

Funkčnosť priestorového objektu, t.j. vzťah IS-A, je určená jeho príslušnosťou k príslušnej triede definujúcej jeho vlastnosti a správanie. Táto trieda musí byť podtriedou menovanej triedy GeObject, ktorá reprezentuje základ predloženého objektového modelu pre priestorové objekty.

Prostredníctvom príslušnosti k určitej triede okrem popisovaných vlastností objekty zdieľajú aj rad ďalších vlastností, ako sú všeobecné grafické atribúty pre zobrazovanie (legenda), možnosť definovania individuálnych grafických atribútov konkrétnemu objektu a pod.

6.2 Systematika funkcií

Podtriedy triedy GeObject reprezentujú **systematiku (hierarchiu) reálnych objektov z funkčného hľadiska**. Príklad tejto hierarchie môže byť:

GeObject

```

...
  Zelen
    ...
    Les
      Ihlicnatý les
      Borovicový les
      ...
      Listnatý les
    ...
  Voda
    Vodný tok
    ...
    Vodná plocha
  ...

```

Jednotlivé konkrétne triedy **dedia** všetky vlastnosti definované v svojej nadtriede a môžu tieto vlastnosti špecializovať - rozšíriť alebo redefinovať. Tak môže napr. trieda **Les** definovať základné grafické atribúty pre zobrazovanie lesov (napr. tmavozelená farba výplne plochy) a jej podtriedy môžu tieto vlastnosti špecializovať (napr. doplniť znak ihlicnateho stromka ako výplňový vzor alebo zmeniť farbu).

6.3 Priestorovosť objektu

Priestorovosť objektu je určená jeho **geometrickou reprezentáciou**, čo je jeho vzťah BODY-IS na iný objekt definujúci geometrické vlastnosti. Bez priestorovosti objektu nie je v našom prípade priestorových objektov predstaviteľná ani kompozitnosť objektu, t.j. zloženia objektu z častí. Obe vlastnosti sú v prípade geografických informacných systémov kľúčové.

Objekty predstavujúce geometrickú reprezentáciu GeObjectov sú instance niektorej konkrétnej podtriedy triedy GeometricObject. Tieto musia mať možnosť definovať typy bodových, líniových a plošných objektov (javov). Z dôvodu požiadavky uzavretosti systému vzhľadom na operácie (najmä prienik a zjednotenie) je samozrejme hierarchia tried a ich funkčnosť komplikovanejšia než zadefinovanie jednoduchých geometrických primitív.

Hierarchia (zjednodušená) týchto tried je nasledovná:

GeometricObject - abstraktná trieda,

Figure - priestorovo súvislé geometrické objekty,

ProperFigure - konkrétne objekty,

Area - plocha,

Line - línia,

Point - bod,

Plane - celý dvojrozmerný priestor,

Void - prázdny objekt,

DisjointFigure - nesúvislý objekt pozostávajúci z viacerých objektov,

GeometricForm - objekt obsahujúci aj diery.

Kazdy GeObject obsahuje svoju priestorovu reprezentáciu - svoje telo - vo forme konkrétnej môže aj vstupovať do priestorových relácií z operácií, napr. porovnávania obsiahnutia iných objektov, prieniku, zjednotenia a podobne. V prípade operácií (napr. prieniku dvoch GeObjectov) vzniká nový GeObject, ktorého telo je prienikom ich tiel. Problematika prislusnosti k triede a vlastnosti, ktoré prebera z povodných objektov, sú nad rámec tohto príspevku.

6.4 Kompozitnosť objektu

Realne priestorové objekty sa skladajú zo svojich častí a tieto z ich častí, až po atómicke priestorové objekty (na určitej úrovni analýzy). Časti objektu sú zväčša inej kvality, t.j. ide o rôzne funkčné objekty (instancie rôznych tried, ktoré medzi sebou priamo nemusia ani dediť), napr. okres sa skladá z katastrov a tie sa skladajú z parciel.

Na modelovanie tejto vlastnosti kompozitných (t.j. neatómickejších) priestorových objektov definujeme vzťah PARTS-ARE, ktorý pre príslušný objekt definuje množinu jeho častí.

Častým je však prípad, že časti kompozitného objektu je potrebné určitým spôsobom klasifikovať. Napr. v rámci mesta chceme oddeliť jeho časti s funkciou byvania, dopravy, výroby a podobne. Na tento účel slúži rozšírenie uvedenej relácie na CLASSIFIED-PARTS-ARE, ktorý definuje pomenované množiny častí. V jednoduchších prípadoch sú samotné objekty týchto množín priestorov disjunktné (napr. v hore uvedenom prípade), môžu však nastať aj komplexnejšie prípady, ktoré je možné prostredníctvom tejto relácie reprezentovať (napr. delenie územia z hľadiska majetko-právnych vzťahov na parcely a súčasne delenie z hľadiska technického na plochy, budovy a stavby).

Na definovanie kompozitnosti GeObjectov sú určené nasledovne dve podtriedy triedy **GeObject**, ktorých funkčnosť už bola popísaná:

GeObject

CompositeGeObject

ClassifiedCompositeGeObject

Jednotlivo klasifikované množiny častí klasifikovaného kompozitného objektu nazývame **temy**. Funkčnosť častí kompozitného objektu, ako aj množina tém (základná klasifikácia) a ich funkčnosť v prípade klasifikovaného kompozitného objektu sú definované v príslušných triedach (napr. v triede Mesto je určené, že ako kompozitný objekt sa skladá z mestských častí).

6.5 Topologická prislusnosť objektu

Realne priestorové objekty sa nevznášajú vo vzduchoprázdne, ale majú v priestore svoje miesto a susedia alebo sa prekrývajú s inými objektami, t.j. majú medzi sebou **topologické vzťahy**. Tieto vzťahy v skutočnosti znamenajú, že (v prípade susedstva) geometrické objekty definujúce telo GeObjectov majú spoločnú časť hranice. Toto zdieľanie useku hranice je ešte zreteľnejšie v prípade kompozitného objektu, ktorého časti s ním zdieľajú useky obvodových hraníc a medzi sebou useky vnútorných hraníc.

Preto na reprezentovanie topologických vzťahov zavádzame pojem **topologická rovina**, ktorá predstavuje množinu všetkých zdieľaných bodov a líniových usekov, z ktorých sú potom vyskladané definície geometrických objektov.

Prislusnosť k topologickej rovine je vlastnosť GeObjectov, určená vzťahom DEFINED-IN. Táto prislusnosť je definovaná v jednotlivých funkčných triedach, napr. instance katastra a parciel vedia, že patria do spoločnej topologickej roviny.

Medzi týmito klasifikovanými kompozitnými objektami však často vzniká aj situácia, keď dve funkčné triedy patria do rôznych topologických rovín, avšak obidve súčasne zdieľajú hranice s inou funkčnou triedou (t.j. mali by s ňou byť v spoločnej topologickej rovine). Príkladom môže byť uličná čiara, ktorá je zdieľaná v topologickej rovine majetko-právnych vzťahov aj v technickej rovine. Táto situácia je riešená **hierarchiou topologických rovín a dedením ich obsahu**.

7 Záver

Predložený model objektovo orientovaného prístupu k reprezentovaniu priestorových objektov a vzťahov medzi nimi predstavuje teoretický základ, ktorý môže byť základom pre návrh a implementáciu konkrétnych programových prostredí pre realizáciu geografických informacných systémov. Ako implementačné prostredie je najvhodnejšie použiť niektorý čisto objektovo orientovaný programovací systém (napr. na báze jazyka Smalltalk alebo LISP).

Model môže slúžiť aj ako základ pre komplexnejšiu analýzu reálnych systémov a následnú implementáciu GIS v prostredí niektorého klasického GIS alebo CAD systému s programovacou nadstavbou (Arc/INFO, Microstation, GDS). Vzhľadom na uzavretosť týchto systémov z hľadiska údajového modelu bude však v jednotlivých prípadoch nutné zjednodušiť úplný model vzťahov a reprezentovať len niektoré z nich (napr. vôbec možnosť zdieľania geometrických primitív je bez rozsiahlejších programátorských nastavení možná len v GDS).

Predložený príspevok mal za cieľ načrtnúť len základnú architektúru a princípy. Podrobnejšie vlastnosti (napr. problematiky rastrových údajov, užívateľských rozhraní, grafických atributov a pod.) by boli nad rámec príspevku.