



Βάσεις Χωρικών Δεδομένων

ΔΙΑΛΕΞΗ 5^η

Μοντέλα, Δομές & Διαχείριση Χωρικών Δεδομένων

Νικόλαος Μήτρου
Καθ. ΕΜΠ



Μοντέλα, Δομές & Διαχείριση Χωρικών Δεδομένων

Περιεχόμενα

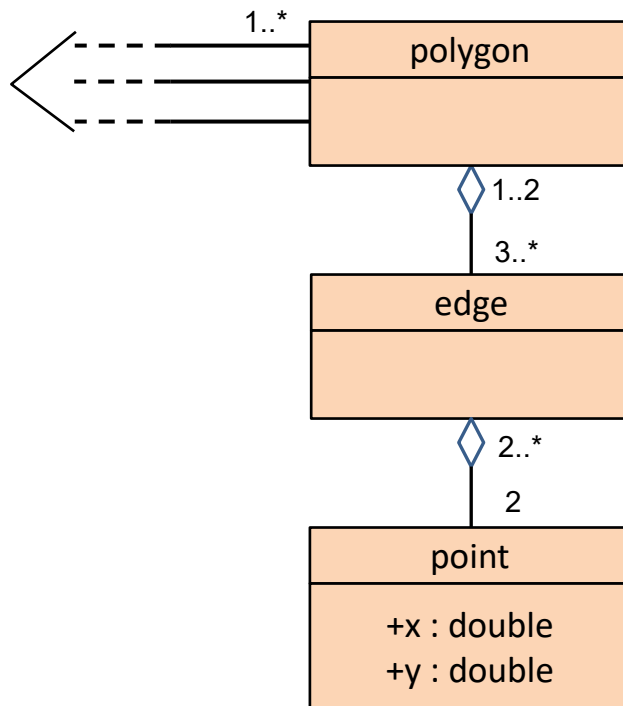
- Παράσταση και Διαχείριση χωρικών δεδομένων (γενικά)
- Γενικευμένοι τύποι δεδομένων και απλές οντότητες κατά OGC
- Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών
- Βασικές πράξεις/λειτουργίες
- Τοπολογικές Συσχετίσεις
- Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων
- Χωρικοί Τελεστές
- Γεωμετρικοί τύποι σε μορφή SQL Text
- Ερωτήματα με χωρικό Join
- Αναφορές



Παράσταση & Διαχείριση Χωρικών Δεδομένων

A. Με χωριστούς πίνακες στο Σχεσιακό Μοντέλο

Επίπεδα γεωμετρικά ή
γεωγραφικά στοιχεία



- Επίπεδα γεωμετρικά ή γεωγραφικά αντικείμενα συσχετίζονται με ένα ή περισσότερα πολύγωνα
- Κάθε πολύγωνο απαρτίζεται από ένα σύνολο πλευρών (ή ακμών, τρεις ή περισσότερες). Κάθε πλευρά συμμετέχει στην περίμετρο ενός ή δύο μη επικαλυπτόμενων πολυγώνων
- Κάθε ακμή ορίζεται από ακριβώς δύο σημεία. Κάθε σημείο συμμετέχει στον ορισμό δύο ή περισσότερων ακμών



Παράσταση & Διαχείριση χωρικών δεδομένων (συνέχεια)

Μειονεκτήματα

- Η διαχείριση χωρικών δεδομένων σε ΣΒΔ, ως συμβατικών πινάκων της ιεραρχίας <πολύγωνο><ακμή><σημείο>, όπως σε προηγούμενα παραδείγματα, είναι πολύπλοκη και επιρρεπής σε λάθη:
 - Τα ερωτήματα ενημέρωσης και αναζήτησης είναι πολύπλοκα
 - Όλοι οι υπολογισμοί πρέπει να γίνουν στο πρόγραμμα εφαρμογής (εκτός συστήματος διαχείρισης)
 - Οποιαδήποτε αναδόμηση των δεδομένων επιφέρει αλλαγές στα προγράμματα εφαρμογών
 - Ευρετήρια (Indexing) ??



Παράσταση & Διαχείριση χωρικών δεδομένων (συνέχεια)

B. Με ενσωμάτωσή τους στα ΣΔΒΔ (μετά από κατάλληλες επεκτάσεις των ΣΔΒΔ)

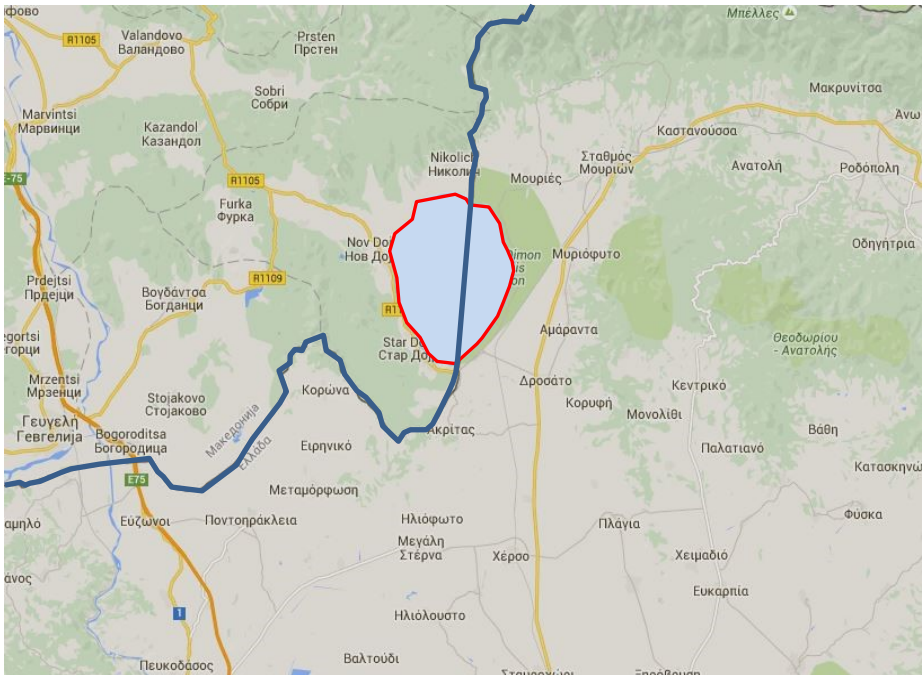
- Εισάγονται ειδικές στήλες «γεωμετρίας» σε πίνακες θεματικών δεδομένων γεωμετρικών ή γεωγραφικών οντοτήτων (**abstract data types**)
- Διατίθεται ένα πλούσιο ρεπερτόριο συναρτήσεων για τις συνηθέστερες λειτουργίες και τους αναγκαίους υπολογισμούς, εντός του συστήματος διαχείρισης
- **Υποστηρίζονται χωρικά ευρετήρια (spatial indexes)**
- Τα γνωστά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS) προσφέρουν επεκτάσεις με μια τέτοια λειτουργικότητα





Ενσωματωμένη διαχείριση χωρικών δεδομένων


Παράδειγμα γενικευμένων χωρικών δεδομένων (abstract data types)



```
CREATE TABLE lakes (
```

```
  IDlake VARCHAR(20) PRIMARY KEY,  
  name VARCHAR (50));
```


```
SELECT AddGeometryColumn('lakes',  
  'lake_geom', 4326, 'POLYGON', 2);
```

| IDlake | name | lake_geom |
|---------|---------|---|
| GR_L021 | Δοϊράνη |  |

```
CREATE TABLE borders (
```

```
  IDborders VARCHAR(20) PRIMARY KEY);
```

```
SELECT AddGeometryColumn('borders',  
  'border_geom', 4326, 'LINESTRING', 2);
```

| IDborders | Border_geom |
|-----------|---|
| GR_B042 |  |



Ενσωματωμένη διαχείριση χωρικών δεδομένων (συνεχεια)

- Οι συναρτήσεις **AddGeometryColumn()** στην PostGIS

The screenshot shows the QGIS interface with the 'Function addgeometrycolumn' dialog box open. The 'Parameters' tab is selected, displaying a table of parameters. A red box highlights the table, and a red arrow points from the 'addgeometrycolumn' function in the left-hand list to the table.

| Type | Mode | Name | Default Value |
|------------------|------|-------------|---------------|
| character var... | | table_name | |
| character var... | | column_name | |
| integer | | new_srid | |
| character var... | | new_type | |
| integer | | new_dim | |
| boolean | | use_typmod | true |

Datatype:

Mode: IN OUT IN OUT VARIADIC

Argument name:



Γενικευμένοι τύποι δεδομένων

(abstract data types)

- Ένας **γενικευμένος τύπος δεδομένων** (ΓΤΔ – ADT) είναι μια αναπαράσταση τιμών δεδομένων και πράξεων επ' αυτών **χωρίς αναφορά σε και ανεξάρτητη από υλοποίηση**.
- Στο δικό μας συγκείμενο, οι ΓΤΔ έχουν τα εξής επιθυμητά χαρακτηριστικά (αντικειμενοστραφή – object-oriented):
 - Μπορούν να παραστήσουν ευκολότερα **σύνθετους τύπους δεδομένων**, όπως π.χ. ένα πολύγωνο να παραστήσει μία στήλη σε μια ΣΒΔ
 - **Ενθυλάκωση (Encapsulation)**: Η εσωτερική δομή είναι **αόρατη στο χρήστη** (π.χ. η πραγματική δομή δεδομένων για τον ΓΤΔ POLYGON που χρησιμοποιήσαμε ως lake_geom στο προηγούμενο παράδειγμα, είναι 'αόρατη' για τον έξω κόσμο)
 - **Διεπαφή (Interface)**: Η πρόσβαση από τον έξω κόσμο περιορίζεται σε **προκαθορισμένες πράξεις** (π.χ. ανάγνωση ή αντικατάσταση της τιμής μιας παραμέτρου)



Απλές οντότητες κατά OGC

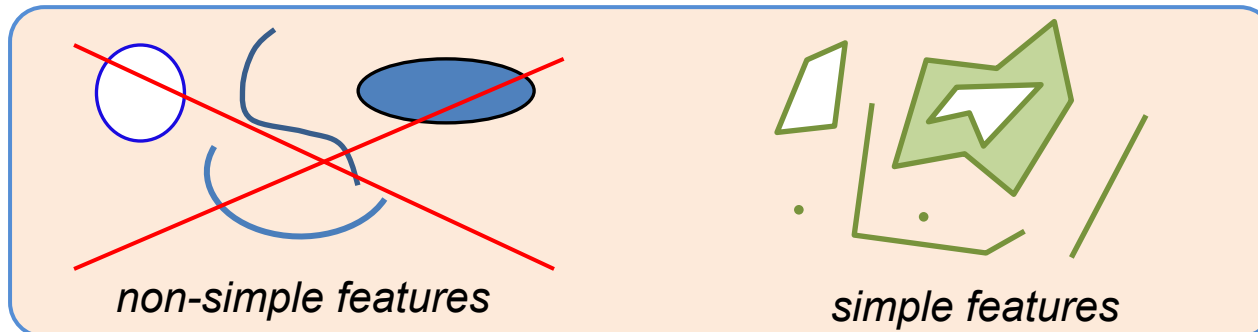
- Το **Open Geospatial Consortium (OGC)** είναι ένας μη εμπορικός οργανισμός (κοινοπραξία), απαρτιζόμενος από Πανεπιστήμια, Εταιρείες και Αρχές. Μεταξύ άλλων προσφέρει πρότυπα για **simple feature access**:
 - Πρότυπο OGC και ISO (**ISO 19125**) για αποθήκευση και πρόσβαση σε 2D γεωχωρικά δεδομένα
 - Δύο μέρη:
 - **ISO 19125-1** ορίζει την κοινή αρχιτεκτονική
 - **ISO 19125-2** ορίζει μια υλοποίηση με SQL



Απλές οντότητες κατά OGC (συνέχεια)

Χαρακτηριστικά (features):

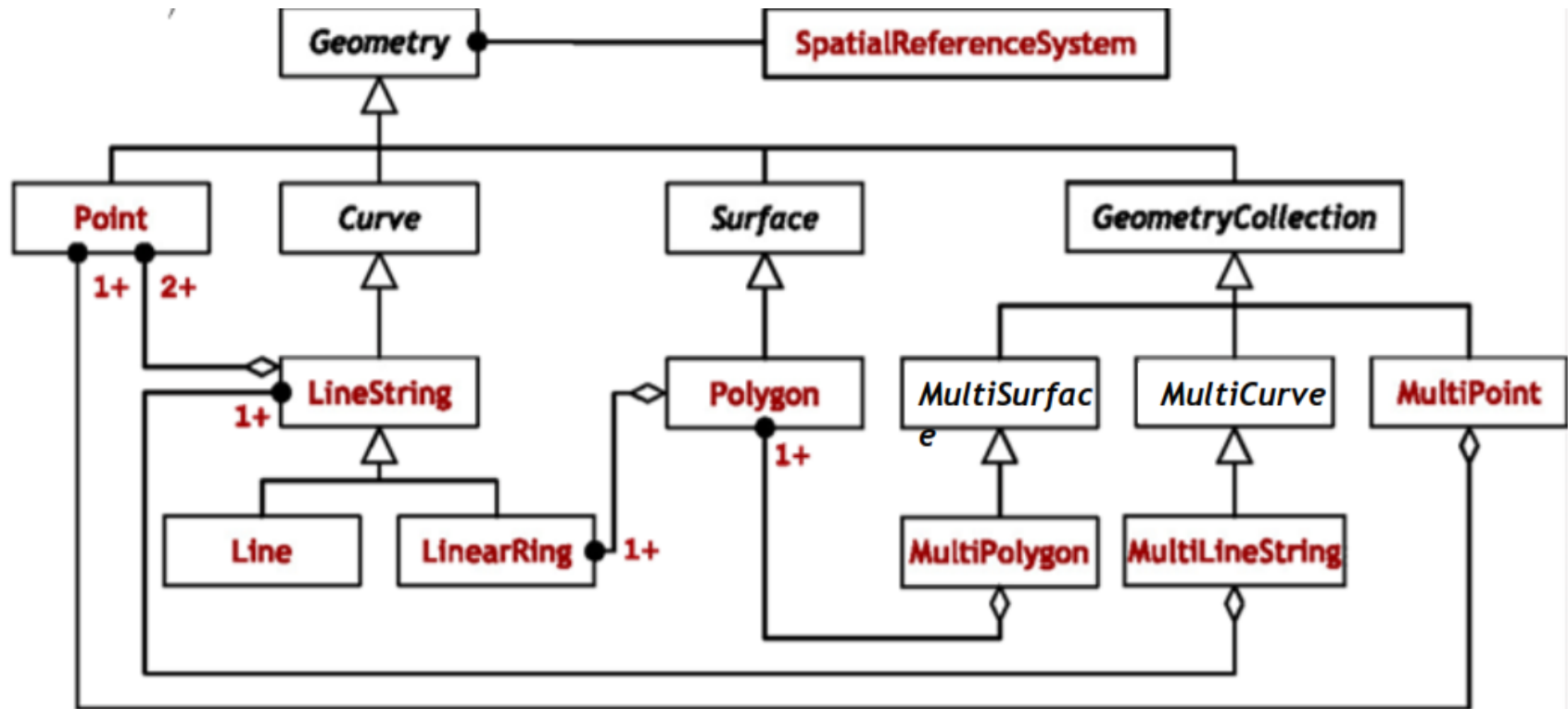
- **Ο όρος χαρακτηριστικό (feature):** είναι αφαιρετική περιγραφή ενός φαινομένου ή αντικειμένου (οντότητας) του πραγματικού κόσμου (γεωχωρικές οντότητες: πόλεις, κτήρια, δάση, δένδρα, ...)
- Ένα **χαρακτηριστικό** αποθηκεύεται ως σύνολο δεδομένων (dataset) σε έναν **πίνακα χαρακτηριστικού (feature table)**
- **Μοντελοποίηση της γεωμετρίας γεωχωρικών αντικειμένων**
 - κυρίως αντικείμενα 0-2 διαστάσεων
 - μόνο γραμμική παρεμβολή μεταξύ σημείων
 - Χωρίς ρητή παράσταση της τοπολογίας





Απλές οντότητες κατά OGC (συνέχεια)

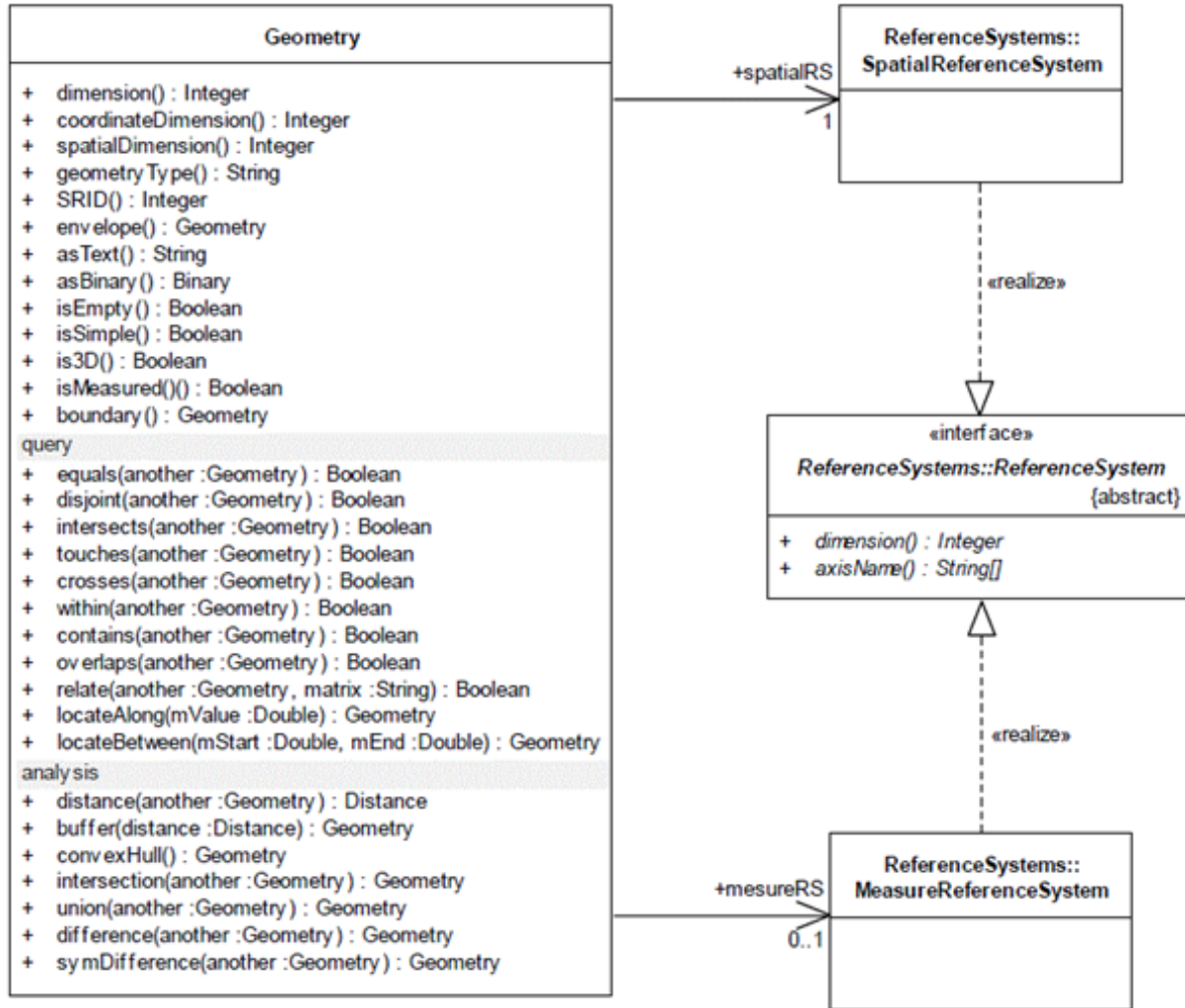
Η ιεραρχία απλών (γεωμετρικών) οντοτήτων
(simple features) κατά OGC





Η μητρική κλάση γεωμετρίας

functions

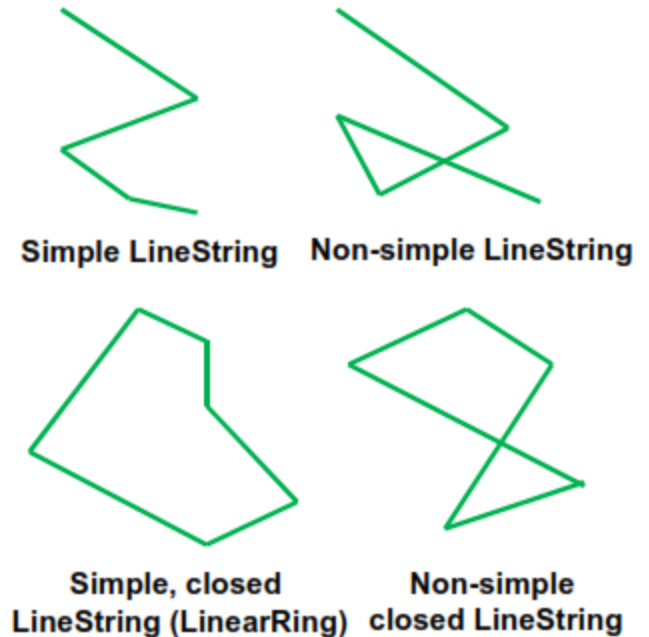
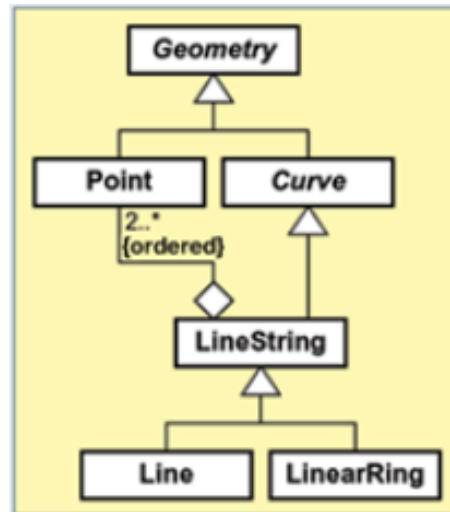




Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών

Line, LineString, LineRing

- **LineString**: τμηματικά γραμμική καμπύλη (με γραμμική παρεμβολή μεταξύ Σημείων)
- **Line**: ένα LineString με ακριβώς 2 Σημεία
- **LineRing**: ένα LineString κλειστό και απλό

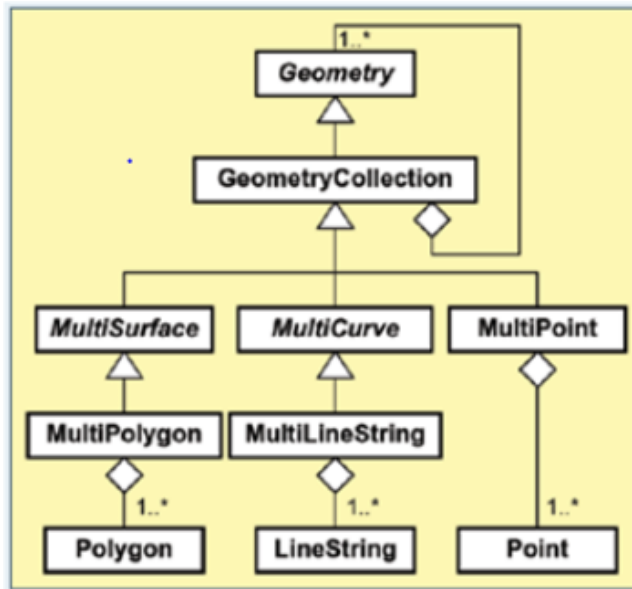




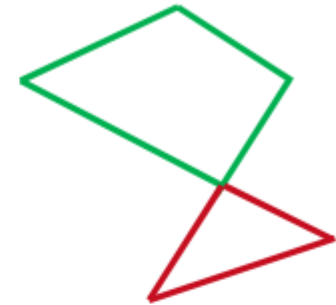
Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (συνέχεια)

MultiLineString

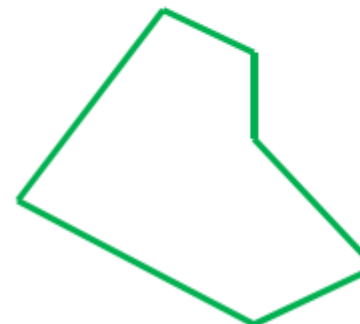
- **MultiLineString**: μια πολυ-καμπύλη με στοιχεία LineStrings



Simple
MultiLineString



Non-simple
closed MultiLineString
with 2 elements



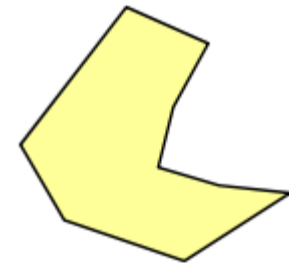
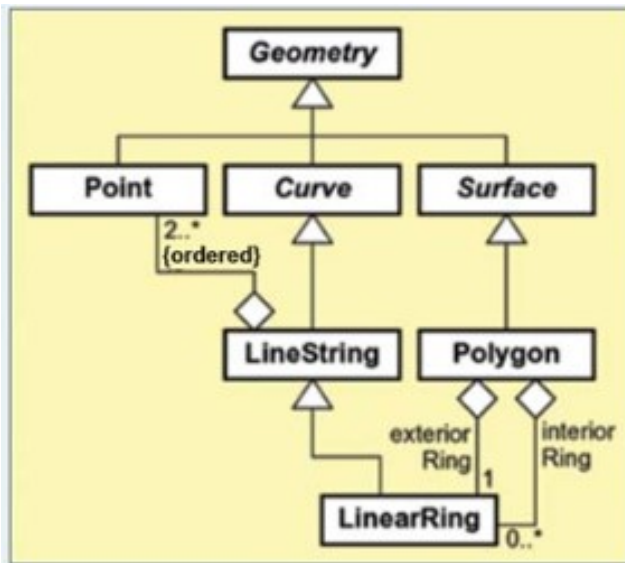
Non-simple
MultiLineString with 2 elements



Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (συνέχεια)

Polygon

Ένα **Polygon** είναι ένα επίπεδο σχήμα με 1 εξωτερικό όριο (δακτύλιο) και 0 ή περισσότερα εσωτερικά. Κάθε εσωτερικό όριο ορίζει μια οπή στο πολύγωνο.



Polygon with 1 ring



Polygon with 2 rings



Polygon with 3 rings

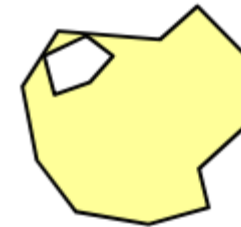


Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (συνέχεια)

Οι προϋποθέσεις για δόκιμα **Polygons** είναι:

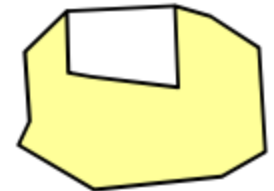
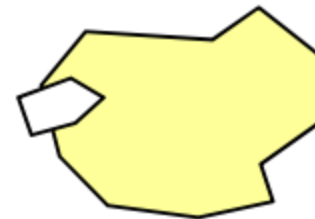
- Πρέπει να είναι τοπολογικά κλειστά
- Τα όριά τους απαρτίζονται από γραμμικούς δακτυλίους (LinearRings), οι οποίοι ορίζουν τα εσωτερικά και εξωτερικά όρια
- Οι δακτύλιοι δεν τέμνονται, μπορούν ωστόσο να εφάπτονται σε μεμονωμένα σημεία
- Ένα Polygon δεν μπορεί να έχει κομμένες γραμμές ή εξοχές
- Ένα Polygon είναι ένα συμπαγές και συνεκτικό σύνολο σημείων
- Το εξωτερικό ενός Polygon με μία ή περισσότερες οπές δεν είναι συμπαγές/συνεκτικό. Κάθε οπή ορίζει ένα συμπαγές στοιχείο του εξωτερικού του Polygon.

Μη δόκιμα πολύγωνα



?

(να ελεγχθεί η ορθότητα)

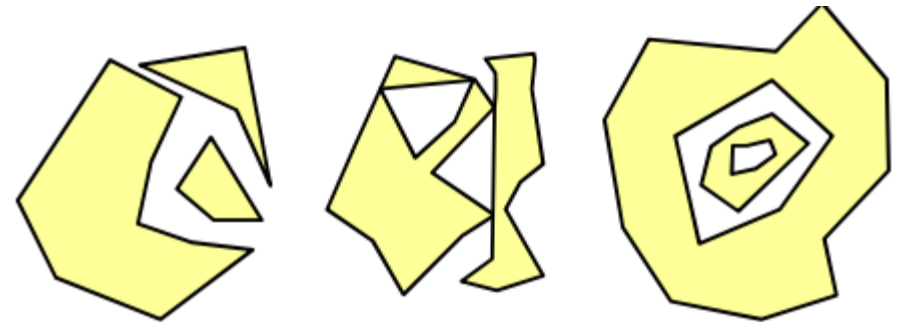
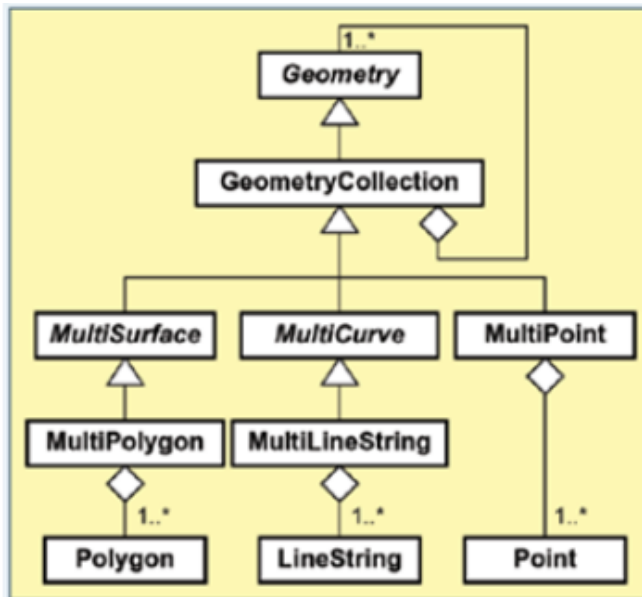




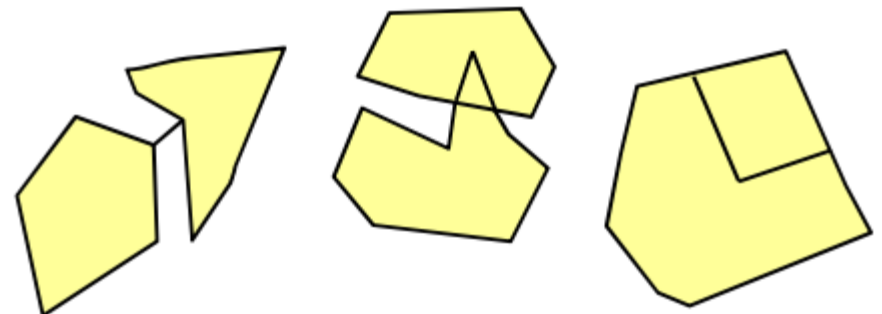
Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (συνέχεια)

MultiPolygon

Ένα **MultiPolygon** είναι μια πολυεπιφάνεια (MultiSurface) που απαρτίζεται από πολύγωνα.



Δόκιμα MultiPolygons



Μη δόκιμα MultiPolygons



Βασικές πράξεις/λειτουργίες

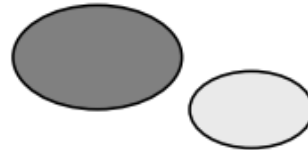
Το OGC ορίζει τις ακόλουθες πράξεις/λειτουργίες
(το **g** σημαίνει **geometry**)

- **Dimension (g)** : επιστρέφει τη διάσταση της γεωμετρίας
- **GeometryType (g)** : επιστρέφει το όνομα του γεωμετρικού τύπου της **g** (π.χ. **LINestring**, **POLYGON**, **MULTICURVE**,...)
- **AsText (g)** : μετατρέπει τη γεωμετρία **g** σε “SQL text format” για εξαγωγή σε άλλες εφαρμογές (π.χ. **LINestring(0 0,10 10,10 20)**)
- **AsBinary (g)** : μετατρέπει τη γεωμετρία **g** σε binary format για εξαγωγή σε άλλες εφαρμογές
- **SRID (g)** : επιστρέφει το αναγνωριστικό (ID) του συστήματος γεωαναφοράς (Spatial Reference system ID)
- **IsEmpty (g)** : ελέγχει αν η **g** είναι κενή
- **IsSimple (g)** : ελέγχει αν η **g** είναι απλή (κατά OGC)
- **Boundary (g)** : επιστρέφει το όριο ενός αντικειμένου
- **Envelope (g)** : επιστρέφει την ελάχιστη περιβάλλουσα (περιγεγραμμένο Minimum Bounding Rectangle – MBR)



Τοπολογικές Συσχετίσεις

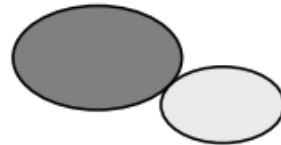
- 8 Τοπολογικές συσχετίσεις (κατά Egenhofer)



disjoint
η A είναι ξένη της B



contain
η A περιέχει τη B



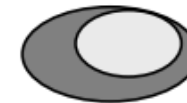
meet
η A εφάπτεται της B



covered-by
η A επικαλύπτεται (πλήρως) από τη B



overlap
η A επικαλύπτει (μερικώς) τη B



cover
η A επικαλύπτει (πλήρως) τη B



inside
η A κείται εντός της B



equal
η A ταυτίζεται με τη B



Τοπολογικές Συσχετίσεις (συνέχεια)

- Ορισμός (κατά Egenhofer) Τοπολογικών Συσχετίσεων
 - με βάση τους πιθανούς συνδυασμούς μεταξύ περιμέτρου (Π) και εσωτερικού (E) των δύο αντικειμένων A και B

| | $\Pi_A \cap \Pi_B$ | $E_A \cap E_B$ | $\Pi_A \cap E_B$ | $E_A \cap \Pi_B$ |
|--|--------------------|------------------|------------------|------------------|
|  disjoint | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset |
|  meet | $\neq \emptyset$ | \emptyset | \emptyset | \emptyset |
|  overlap | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ |
|  inside | \emptyset | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | \emptyset |
|  contain | \emptyset | $\neq \emptyset$ | \emptyset | $\neq \emptyset$ |
|  covered-by | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | \emptyset |
|  cover | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | \emptyset | $\neq \emptyset$ |
|  equal | $\neq \emptyset$ | $\neq \emptyset$ | \emptyset | \emptyset |

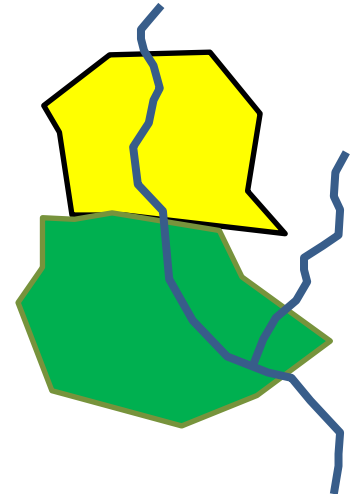


Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων

Σε ένα περιβάλλον SQL, συμβατό με OGC, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ελέγχου τοπολογικών συσχετίσεων

Παράδειγμα: Από ποιους νομούς περνάει ένα ποτάμι

```
SELECT nomos.name  
FROM nomos JOIN potamos ON  
CROSSES (nomos.geometry, potamos.geometry)=1;
```



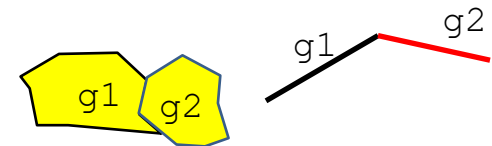


Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων (συνέχεια)

Τα κατηγορήματα (attributes) των Τοπολογικών Συσχετίσεων

Οι παράμετροι είναι δύο γεωμετρίες και η επιστρεφόμενη τιμή ένας ακέραιος:

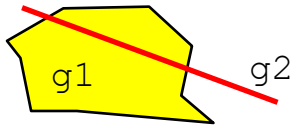
- **0/1** για: η **συσχέτιση** μεταξύ των γεωχωρικών αντικειμένων **is not true / is true**
- **-1** για: **unknown**, που σημαίνει ότι μία από τις παραμέτρους έχει τιμή NULL
 - **Equals (g1, g2)** : οι **g1** και **g2** ταυτίζονται
 - **Disjoint (g1, g2) \leftrightarrow NOT Intersects (g1, g2)** : οι **g1** και **g2** είναι χωρικά ξένες
 - **Touches (g1, g2)** : τα όρια των **g1** και **g2** τέμνονται, αλλά όχι και τα εσωτερικά τους



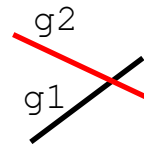


Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων (συνέχεια)

- **Within** ($g1, g2$) \leftrightarrow **Contains** ($g2, g1$): η $g1$ βρίσκεται εξ ολοκλήρου εντός της $g2$
- **Crosses** ($g1, g2$): η διάσταση της τομής των $g1$ και $g2$ είναι μικρότερη της μέγιστης διάστασης αυτών και η τομή περιλαμβάνει εσωτερικά σημεία τους και η τομή δεν είναι ίση με $g1$ ή $g2$.

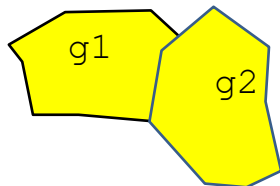


$\dim(g1)=2, \dim(g2)=1$
 $\dim(g1 \cap g2)=1,$
 $g1 \cap g2 \in g1, g1 \cap g2 \in g2$
 $g1 \cap g2 \neq g1, g1 \cap g2 \neq g2$



$\dim(g1) = \dim(g2)=1$
 $\dim(g1 \cap g2)=0,$
 $g1 \cap g2 \in g1, g1 \cap g2 \in g2$
 $g1 \cap g2 \neq g1, g1 \cap g2 \neq g2$

- **Overlaps** ($g1, g2$): η διάσταση της τομής των $g1$ και $g2$ ισούται με τη διάσταση των $g1$ και $g2$ και η τομή δεν είναι ίση με $g1$ ή $g2$.



$\dim(g1) = \dim(g2)=2$
 $\dim(g1 \cap g2)=2,$
 $g1 \cap g2 \neq g1, g1 \cap g2 \neq g2$



Χωρικοί τελεστές

Ο μετρικός τελεστής **Distance** υπολογίζει τη μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο **geometries** στο αντίστοιχο σύστημα αναφοράς. Οι ακόλουθοι τελεστές παράγουν νέα γεωμετρικά αντικείμενα:

- **Buffer (g, d)** : υπολογίζει τη γεωμετρία ενός **απομονωτή (buffer)** μεγέθους **d** γύρω από την **g**.
- **ConvexHull (g)** : υπολογίζει τη γεωμετρία (**convex hull*** of **g**).
- **Intersection (g1, g2)** : υπολογίζει τη γεωμετρία που σχηματίζει η τομή των **g1** ή **g2**.
- **Union (g1, g2)** : υπολογίζει τη γεωμετρία που σχηματίζει η ένωση των **g1** ή **g2**.
- **Difference (g1, g2)** : υπολογίζει τη γεωμετρία που σχηματίζει η (κλειστή) διαφορά συνόλων των **g1** ή **g2** (**g1-g2**).
- **SymDifference (g1, g2)** : υπολογίζει τη γεωμετρία που σχηματίζει η (κλειστή) συμμετρική διαφορά συνόλων των **g1** ή **g2** (**g1-g2**).

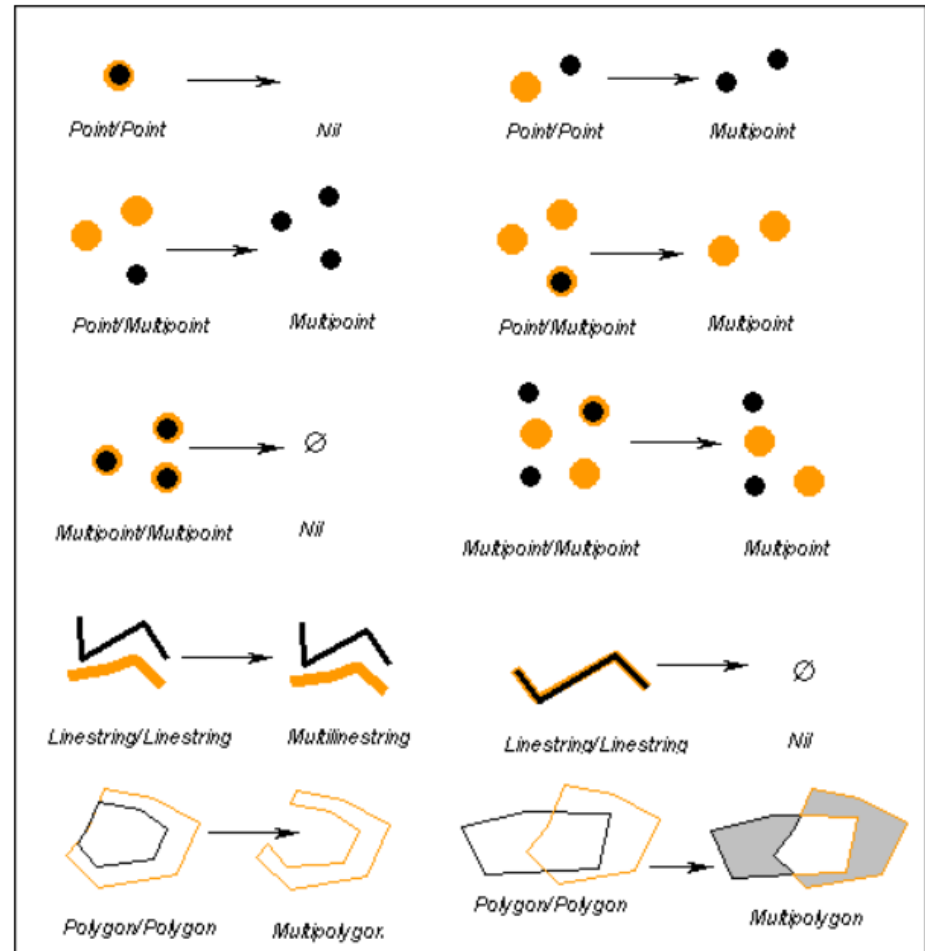
* Το μικρότερο κυρτό σύνολο που περικλείει την **g**



Χωρικοί τελεστές (συνέχεια)

- Συμμετρική Διαφορά

Επιστρέφει τα μέρη των γεωμετριών που δεν είναι μέρος της τομής τους. Οι γεωμετρίες πρέπει να είναι της ίδιας διάστασης





Γεωμετρικοί τύποι σε μορφή SQL Text

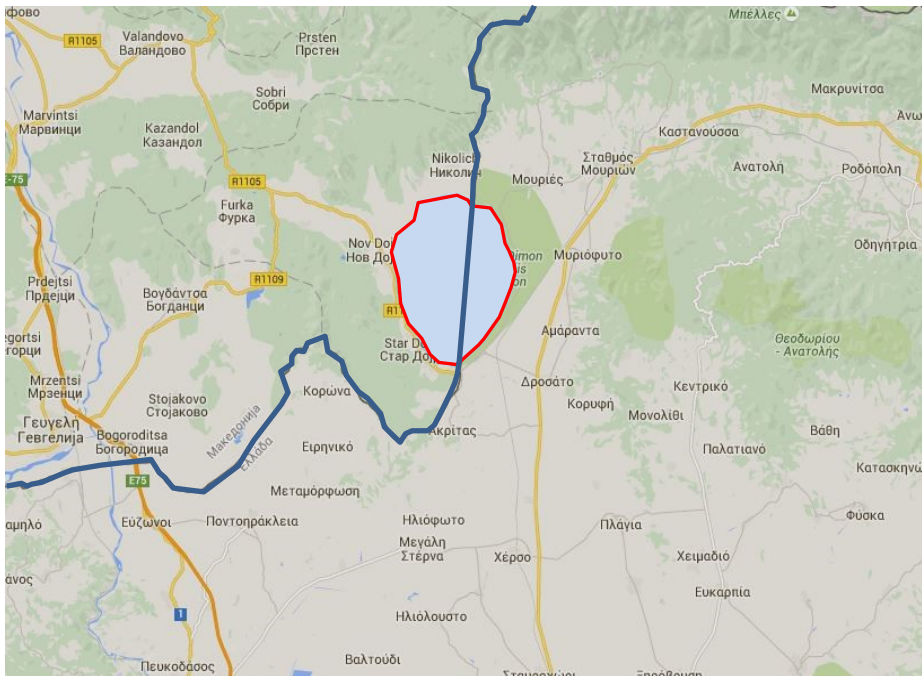
Για την κατασκευή γεωμετρικών αντικειμένων, π.χ. με SQL ερωτήματα, και για την ανταλλαγή δεδομένων, το OGC έχει προδιαγράψει μορφότυπο κειμένου, το **Well Known Text (WKT)**

| Geometric type | SQL text format | Comment |
|------------------------|--|--|
| Point | <code>POINT (10 10)</code> | <i>point</i> |
| LineString | <code>LINESTRING (10 10,20 20,30 40)</code> | <i>LineString with 3 points</i> |
| Polygon | <code>POLYGON ((10 10,10 20, 20 20,20 15,10 10))</code> | <i>Polygon</i> |
| Multipoint | <code>MULTIPOINT (10 10, 20 20)</code> | <i>MultiPoint with 2 points</i> |
| MultiLineString | <code>MULTILINESTRING ((10 10, 20 20) , (15 15 ,30 15))</code> | <i>MultiLineString with 2 LineStrings</i> |
| MultiPolygon | <code>MULTIPOLYGON (((0 0, 0 20, 20 20, 20 0, 0 0) , (5 5, 5 15, 15 15, 15 5, 5 5)) , ((30 30, 30 40, 40 40, 40 30, 30 30)))</code> | <i>MultiPolygon with 2 polygons, first one with inner ring</i> |
| Geometry Collection | <code>GEOMETRYCOLLECTION (POINT (10 10) , POINT (30 30) , LINESTRING (15 15, 20 20))</code> | <i>GeometryCollection comprising 2 points and one LineString</i> |



Γεωμετρικοί τύποι σε μορφή SQL Text (συνέχεια)

Εισαγωγή πολυγώνου σε βάση με ερωτήματα SQL σε μορφή text



```
CREATE TABLE lakes (
```

```
  IDlake VARCHAR(20) PRIMARY KEY,  
  name VARCHAR(50));
```

```
SELECT AddGeometryColumn('lakes',  
  'lake_geom', 2100, 'POLYGON', 2);
```

| IDlake | name | lake_geom |
|--------|------|-----------|
| | | |

```
INSERT INTO lakes VALUES (  
  'GR_L021', 'Δοϊράνη',  
  ST_GeomFromText("POLYGON((478895 4204061,  
  479267 4204500 , ... ))", 2100) );
```


Spatial Type

| IDlake | name | lake_geom |
|---------|---------|-----------|
| GR_L021 | Δοϊράνη | |



Γεωμετρικοί τύποι σε μορφή SQL Text (συνέχεια)

Ερώτημα εκτύπωσης γεωμετρικού αντικειμένου

| Idlake | name | lake_geom |
|---------|---------|---|
| GR_L021 | Δοϊράνη |  |

```
SELECT name AS Όνομα, ST_AsText(lake_geom) AS Γεωμετρία  
FROM lakes  
WHERE Idlake='GR_L021'
```

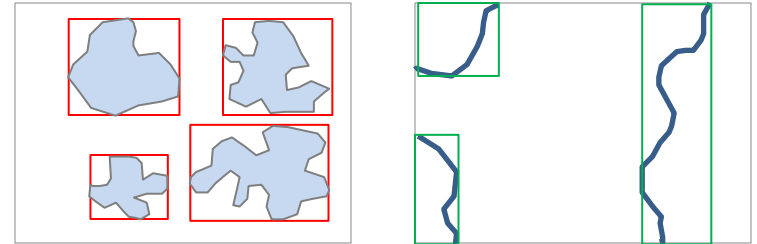


| Όνομα | Γεωμετρία |
|---------|---|
| Δοϊράνη | POLYGON((478895 4204061 , 479267 4204500 , ...)) |



Ερωτήματα με χωρικό Join

- Το **χωρικό join** είναι ένα γενικό join, το οποίο συνδυάζει και **χωρικά κατηγορήματα** στη συνθήκη του ερωτήματος.



- Παράδειγμα:

***Μέσα από ποιους νομούς
περνάει ένα ποτάμι;***

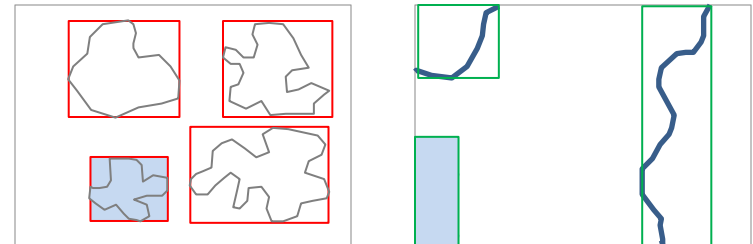
- 1 Υπολογίζονται τα ελάχιστα περιβάλλοντα ορθογώνια (MBB) για τα στοιχεία των δύο κλάσεων

```
SELECT nomos.name, potamos.name
FROM nomos JOIN potamos ON
  CROSSES (nomos.geometry,
potamos.geometry)=1;
```



Ερωτήματα με χωρικό Join

- Το **χωρικό join** είναι ένα γενικό join, το οποίο συνδυάζει και **χωρικά κατηγορήματα** στη συνθήκη του ερωτήματος.

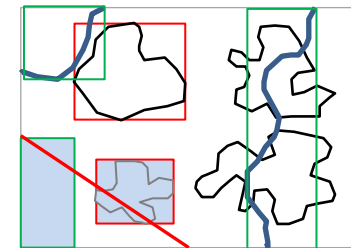


- Παράδειγμα:

Μέσα από ποιους νομούς περνάει ένα ποτάμι;

```
SELECT nomos.name, potamos.name
FROM nomos JOIN potamos ON
  CROSSES (nomos.geometry,
potamos.geometry)=1;
```

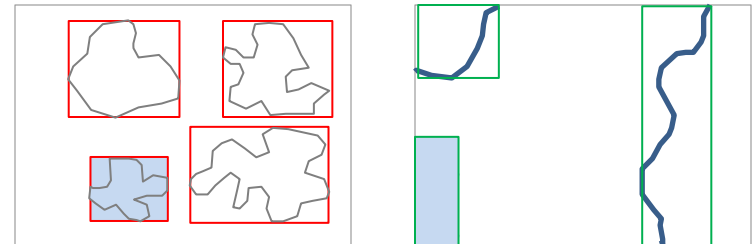
- 1 Υπολογίζονται τα ελάχιστα περιβάλλοντα ορθογώνια (MBB) για τα στοιχεία των δύο κλάσεων
- 2 Επιλέγονται τα υποψήφια εξ αυτών (όσα τέμνονται με αντίστοιχα της άλλης κλάσης, εξαιρώντας τα υπόλοιπα)





Ερωτήματα με χωρικό Join

- Το **χωρικό join** είναι ένα γενικό join, το οποίο συνδυάζει και **χωρικά κατηγορήματα** στη συνθήκη του ερωτήματος.

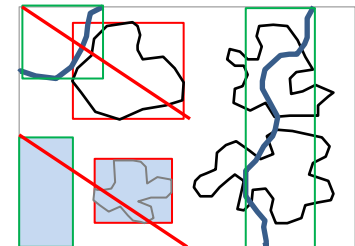


- Παράδειγμα:

Μέσα από ποιους νομούς περνάει ένα ποτάμι;

```
SELECT nomos.name, potamos.name  
FROM nomos JOIN potamos ON  
CROSSES (nomos.geometry,  
potamos.geometry)=1;
```

- 1 Υπολογίζονται τα ελάχιστα περιβάλλοντα ορθογώνια (MBB) για τα στοιχεία των δύο κλάσεων
- 2 Επιλέγονται τα υποψήφια εξ αυτών (όσα τέμνονται με αντίστοιχα της άλλης κλάσης, εξαιρώντας τα υπόλοιπα)
- 3 Βρίσκονται τα στοιχεία που πραγματικά τέμνονται και επιστρέφονται τα τεμνόμενα ζεύγη





Αναφορές

- J. R. Herring, OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture, <http://www.opengeospatial.org/standards/sfa>
- J.R. Herring, OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 2: SQL option, <http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>
- E. Clementini, P. Di Felice, **A Comparison of Methods for Representing Topological Relationships**, *Information Sciences 80*, 1-34, 1994
- E. Clementini, P. Di Felice, **A Model for Representing Topological Relationships Between Complex Geometric Features in Spatial Databases**, *Information Sciences 90 (1-4):121-136* , 199
- Philippe Rigaux, Marc Scholl, Agnes Voisard, *Spatial Databases – With Applications to GIS*, Morgan Kaufmann, 2002, pp. 238-257