



SPATIAL DATABASES

LECTURE 6th

**Μοντέλα και Δομές Χωρικών Δεδομένων -
Διαχείριση με ΣΔΒΔ**

Τοπολογικές Συσχετίσεις

**Models and structures of Spatial Data -
Handling with DBMS
Topological relationships**

Νικόλαος Μήτρου
Καθ. ΕΜΠ



Models and structures of Spatial Data - Handling with DBMS

Περιεχόμενα (*Topics*)

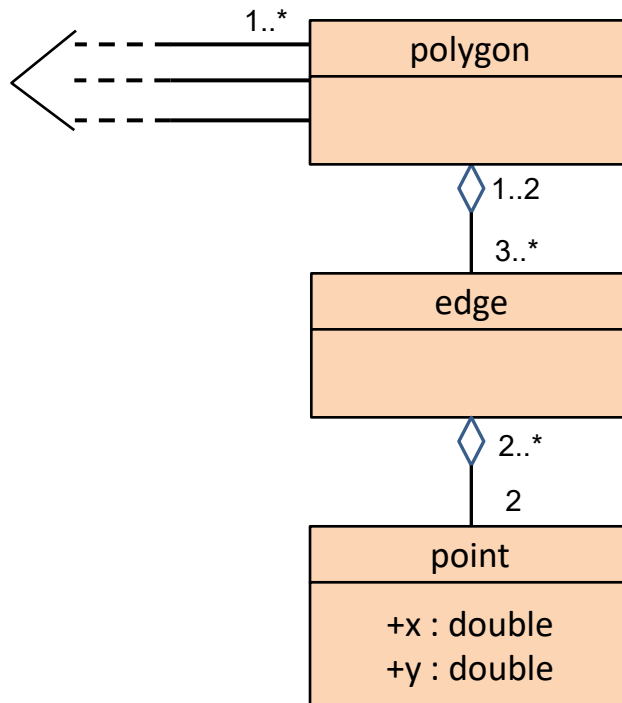
- Παράσταση και Διαχείριση χωρικών δεδομένων (γενικά)
- Γενικευμένοι τύποι δεδομένων και απλές οντότητες κατά OGC (*Abstract data types and simple features according to OGC*)
- Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (*models of simple features*)
- Βασικές πράξεις/λειτουργίες (*basic functions/operations*)
- Τοπολογικές Συσχετίσεις (*Topological relationships*)
- Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων (*check of " "*)
- Χωρικοί Τελεστές (*spatial operators*)
- Γεωμετρικοί τύποι σε μορφή SQL Text (*Geometry types*)
- Ερωτήματα με χωρικό JOIN (*Queries with spatial JOIN*)
- Αναφορές (*References*)



Παράσταση & Διαχείριση Χωρικών Δεδομένων (Modeling and handling of spatial data)

A. Χωριστοί πίνακες στοιχείων στο Σχεσιακό Μοντέλο (separate element tables in the relational model)

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 (*Disadvantages*)

- Η διαχείριση χωρικών δεδομένων σε ΣΒΔ, ως συμβατικών πινάκων της ιεραρχίας <πολύγωνο><ακμή><σημείο>, όπως σε προηγούμενα παραδείγματα, είναι πολύπλοκη και επιρρεπής σε λάθη (**complicated and error-prone**)
 - Τα ερωτήματα ενημέρωσης και αναζήτησης είναι πολύπλοκα (**complex queries**)
 - Όλοι οι υπολογισμοί πρέπει να γίνουν στο πρόγραμμα εφαρμογής -εκτός συστήματος διαχείρισης. Οποιαδήποτε αναδόμηση των δεδομένων επιφέρει αλλαγές στα προγράμματα εφαρμογών
(**All computations in the application programs. Changes in the data imply changes in the application programs**)
 - Δύσκολη η ανάπτυξη Ευρετηρίων (**Difficult indexing**)



Παράσταση & Διαχείριση χωρικών δεδομένων (**Modeling and handling of spatial data**) (cont.)

B. Ενσωμάτωσή τους στα ΣΔΒΔ με κατάλληλες επεκτάσεις (**Integration into the DBMS with suitable extensions**)

- Εισάγονται ειδικές στήλες «γεωμετρίας» σε πίνακες θεματικών δεδομένων γεωμετρικών ή γεωγραφικών οντοτήτων (**Special Geometry columns of abstract data types**)
- Πλούσιο ρεπερτόριο συναρτήσεων για τις συνηθέστερες λειτουργίες και υπολογισμούς, εντός του ΣΔΒΔ
- (**Rich set of operations/calculations within the DBMS**)
- Υποστηρίζονται χωρικά ευρετήρια (**support of spatial indexes**)
- Τα γνωστά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS) προσφέρουν επεκτάσεις με μια τέτοια λειτουργικότητα
- **Extensions:**

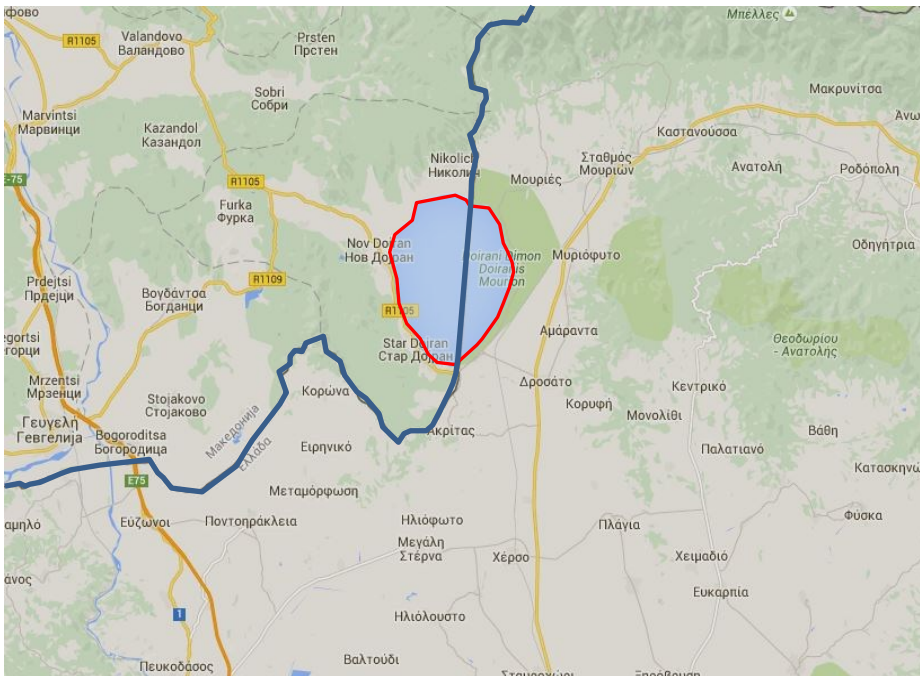
ORACLE
SPATIAL





Ενσωματωμένη διαχείριση χωρικών δεδομένων (Handling spatial data integrated into the DBMS)

Example of abstract spatial data



```
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 (**Handling spatial data integrated into the DBMS**) (cont)

- Functions **AddGeometryColumn ()** in PostGIS

The screenshot displays the PostgreSQL/PostGIS Function Editor. On the left, a list of functions is shown, with `addgeometrycolumn(character varying, character varying, integer, integer, boolean)` highlighted in a green box. A red arrow points from this function to the 'Parameters' tab of the function editor on the right. The 'Parameters' tab shows a table with the following parameters:

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_typedmod	true

Below the table, the 'Datatype' field is empty, and the 'Mode' is set to 'IN'. The 'Argument name' field is also empty.



Γενικευμένοι τύποι δεδομένων (abstract data types)

Ορισμός

- Ένας **γενικευμένος τύπος δεδομένων** (ΓΤΔ) είναι μια αναπαράσταση τιμών δεδομένων και πράξεων επ' αυτών χωρίς αναφορά σε/ ανεξάρτητη από υλοποίηση

Definition

- An **abstract data type (ADT)** is a data structure (template), **independent of/without reference to any implementation** (we have seen the **abstract classes**)



Γενικευμένοι τύποι δεδομένων

(**Abstract data types**) (cont)

- Στο δικό μας συγκείμενο, οι ΓΤΔ-**ADT** έχουν τα εξής επιθυμητά αντικειμενοστραφή χαρακτηριστικά (**object-oriented characteristics**):
 - Μπορούν να παραστήσουν ευκολότερα **σύνθετους τύπους δεδομένων**, όπως π.χ. ένα πολύγωνο να παραστήσει μία στήλη σε μια ΣΒΔ
(Can more easily represent **complex data types**)
 - **Ενθυλάκωση**: 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)
(**Encapsulation: The inner structure is invisible** – e.g. the actual structure of the ADT POLYGON in the previous example is not visible)
 - **Διεπαφή**: Η πρόσβαση από τον έξω κόσμο περιορίζεται σε προκαθορισμένες πράξεις (π.χ. ανάγνωση ή αντικατάσταση της τιμής μιας παραμέτρου)
(**Interface**: Access to values is limited to certain operations, e.g. read, set)



Απλές οντότητες κατά OGC

(Simple entities according to OGC)

- Το **Open Geospatial Consortium (OGC)** είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός (κοινοπραξία), απαρτιζόμενος από Πανεπιστήμια, Εταιρείες και Αρχές. Μεταξύ άλλων προσφέρει πρότυπα για simple feature access
(**Non-Profit Consortium (including Universities, Companies, Authorities - Issued standards for simple features**
 - Πρότυπο OGC και ISO (**ISO Standard 19125**) για αποθήκευση και πρόσβαση σε 2D γεωχωρικά δεδομένα
 - Δύο μέρη (**two parts**):
 - **ISO 19125-1** Common architecture
 - **ISO 19125-2** an SQL implementation

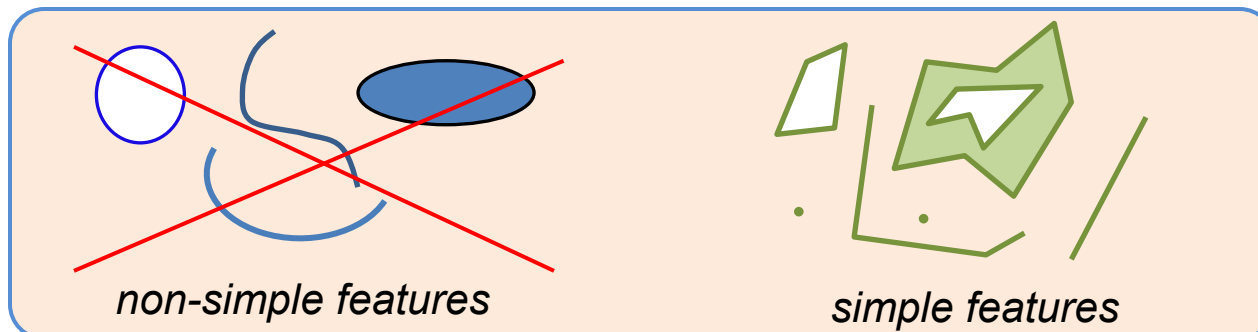


Απλές οντότητες κατά OGC

(Simple entities according OGC) (cont)

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 σε έναν **πίνακα χαρακτηριστικού (A feature is stored as a dataset in a feature table)**
- Μοντελοποίηση της γεωμετρίας γεωχωρικών αντικειμένων (**Modeling of geospatial object geometries**)
 - κυρίως αντικείμενα 0-2 διαστάσεων (**mainly of 0-2 dimensions**)
 - μόνο γραμμική παρεμβολή μεταξύ σημείων (**linear interpolation between points**)
 - Χωρίς ρητή παράσταση της τοπολογίας (**without explicit representation of the topology**)

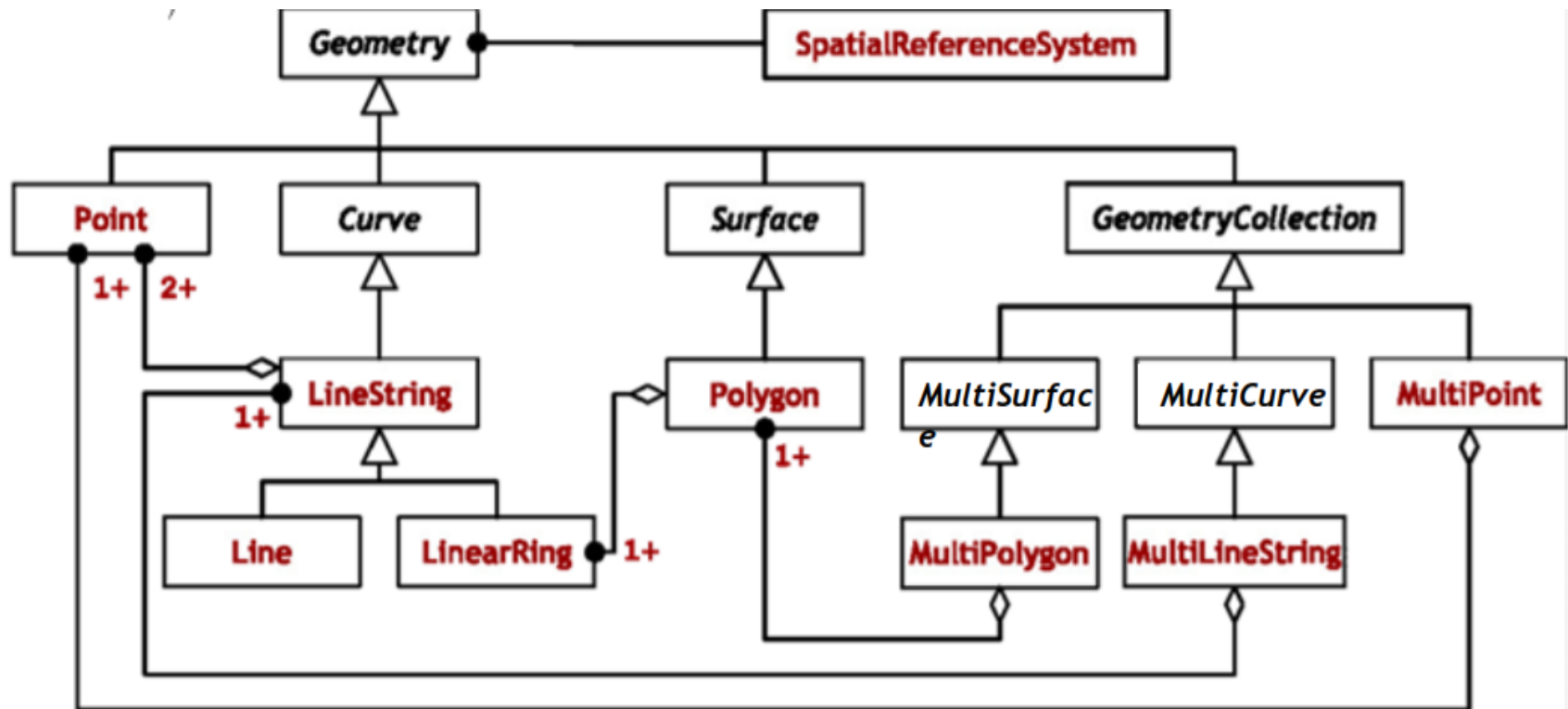




Απλές οντότητες κατά OGC

(**Simple entities according OGC**) (cont)

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



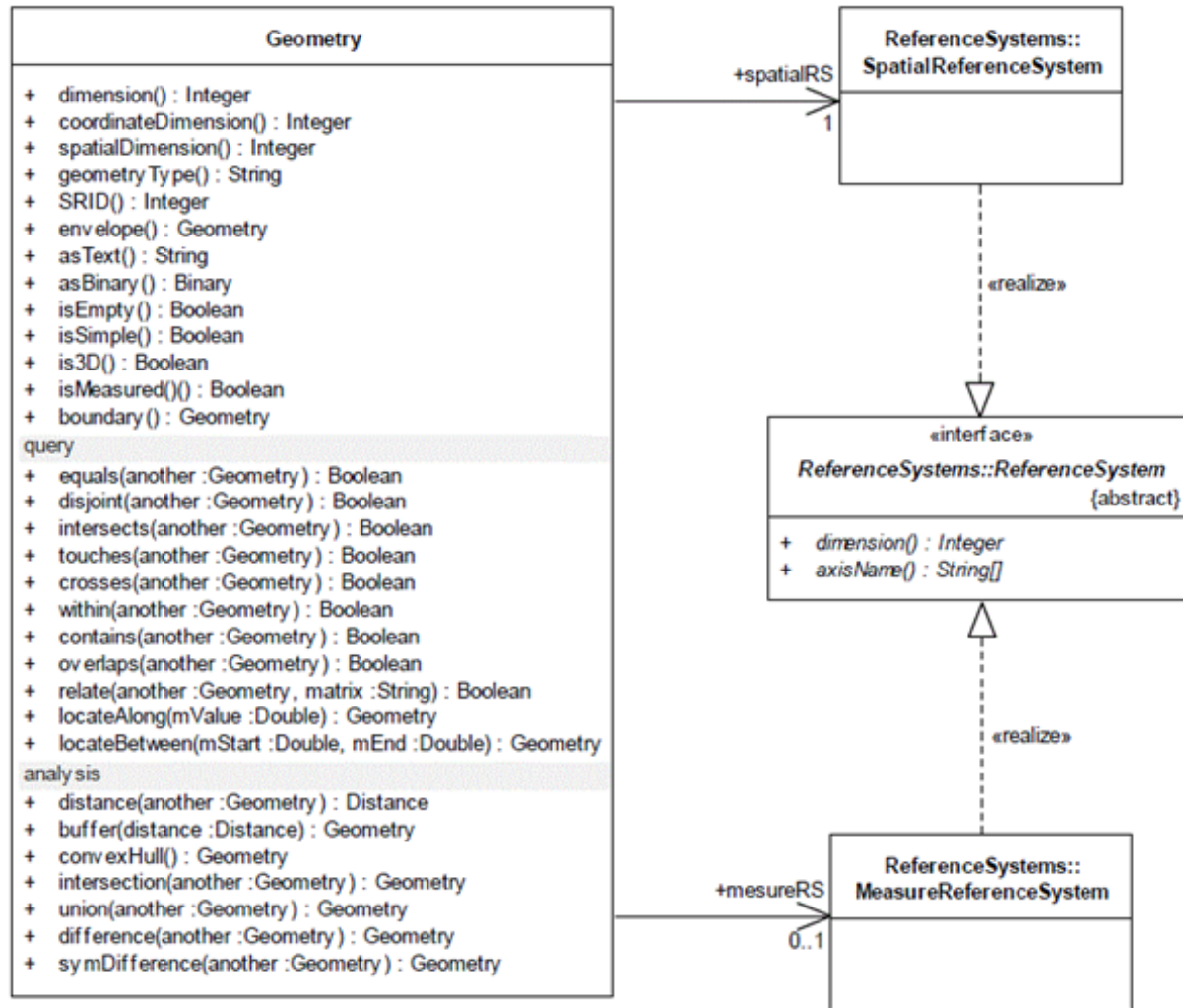
See taxonomy:

https://opengeospatial.github.io/ogc-geosparql/geosparql11/sf_geometries.html



The Geometry class

functions

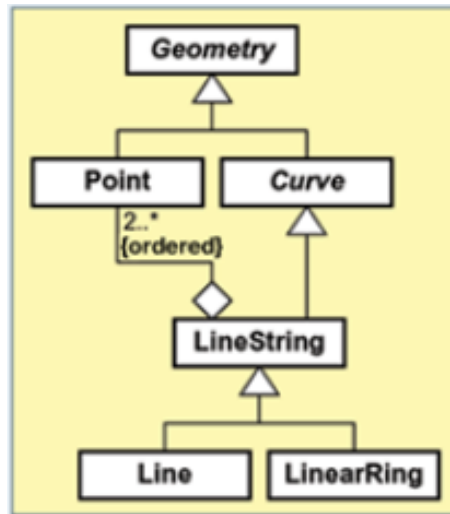




Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (Simple feature models)

Line, LineString, LineRing

- **LineString**: a continuous set of linear segments (linear interpolation between edge points), not crossing each other
- **Line**: LineString with one segment (2 points)
- **LineRing**: LineString simple and closed



Simple LineString



Non-simple LineString



Simple, closed
LineString (LinearRing)



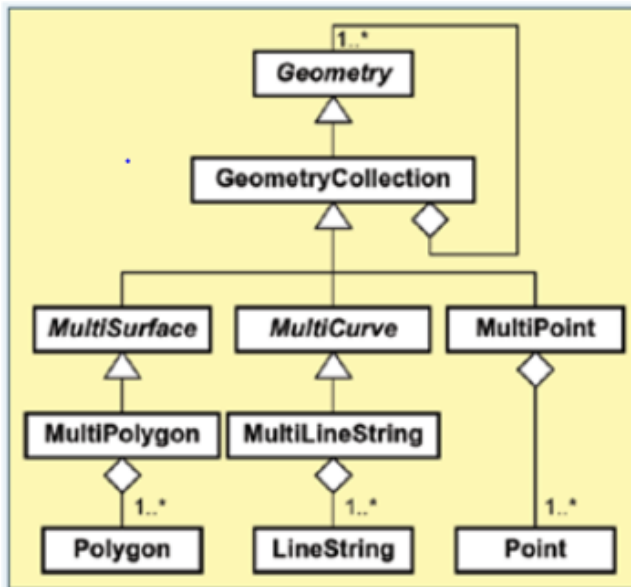
Non-simple
closed LineString



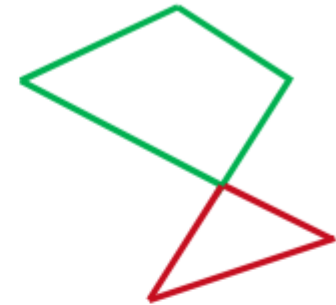
Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (Simple feature models) (cont)

MultiLineString

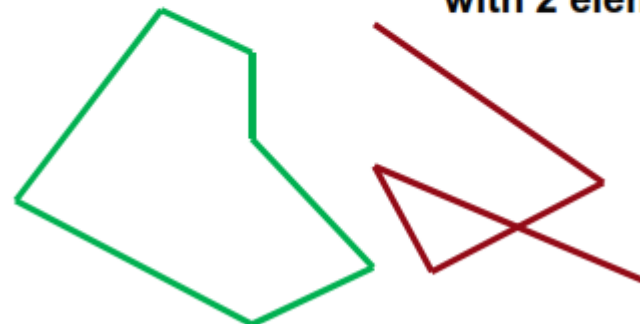
- **MultiLineString**: a set or string consisting of LineStrings, non-closed not crossing each other.



Simple
MultiLineString



Non-simple
closed MultiLineString
with 2 elements



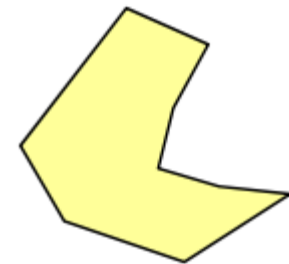
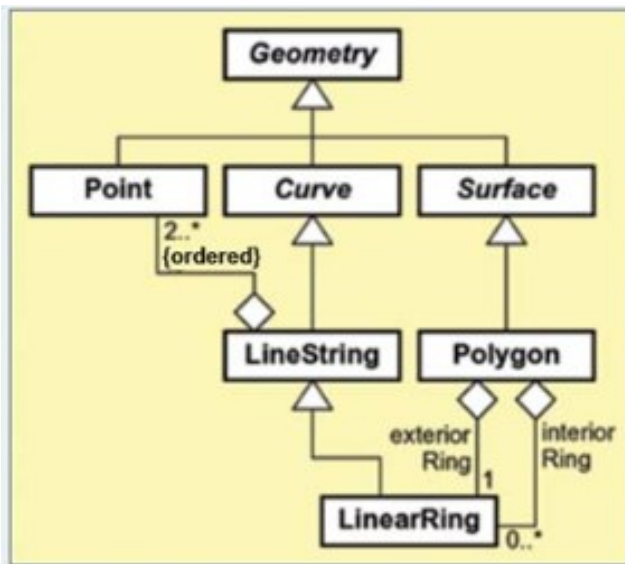
Non-simple
MultiLineString with 2 elements



Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (Simple feature models) (cont)

Polygon

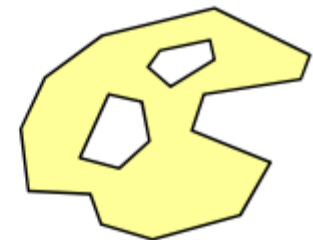
Polygon: a planar surface, with one outer boundary (ring) and zero or more inner boundaries. Each inner boundary defines a hole in the polygon.



Polygon with 1 ring



Polygon with 2 rings



Polygon with 3 rings



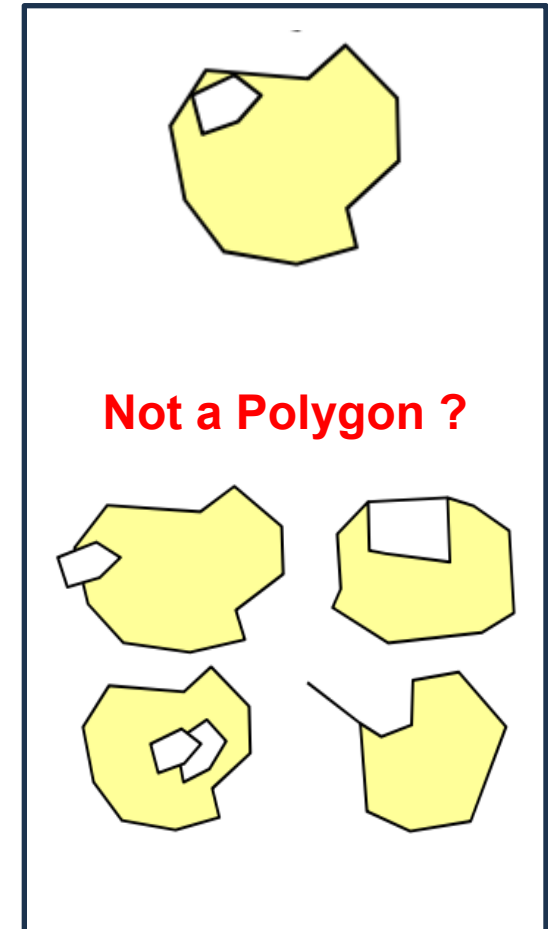
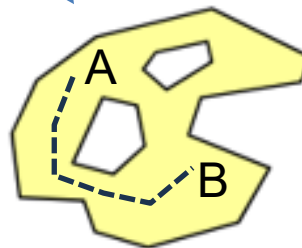
Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (Simple feature models) (cont)

Requirements for a **Polygon**:

- Topologically closed
- The boundaries (outer and inner) are LinearRings
- The rings must not intersect. However, they can touch at individual (isolated) points
- A Polygon cannot have cut lines, spikes or punctures
- Ένα Polygon είναι ένα συμπαγές και συνεκτικό σύνολο σημείων

A polygon is a compact and cohesive set of points

closed and bounded
(every accumulation
point belongs to the set)

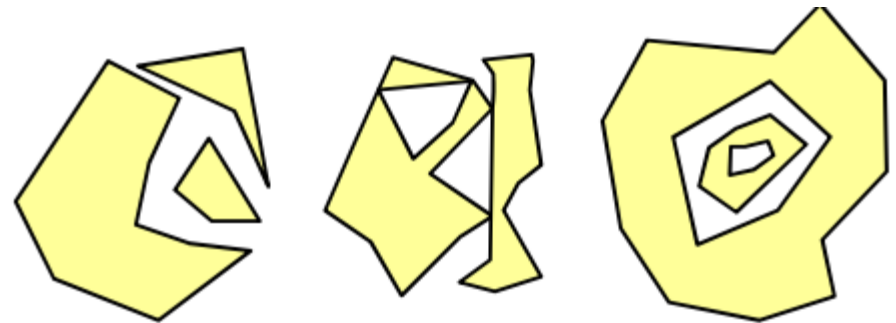
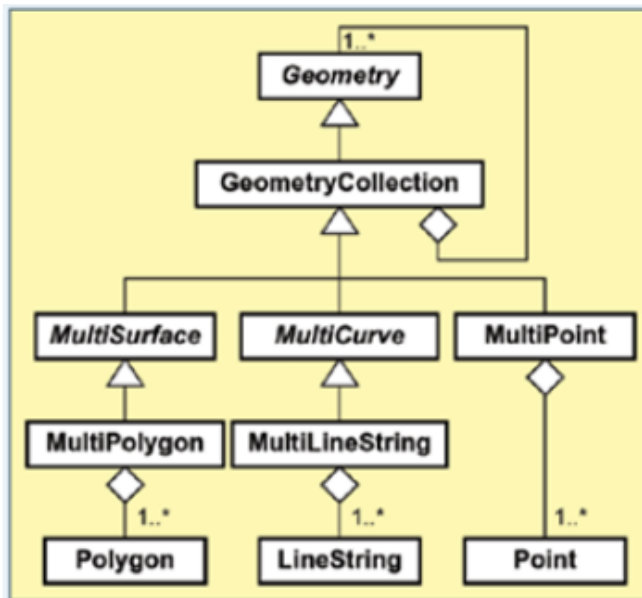




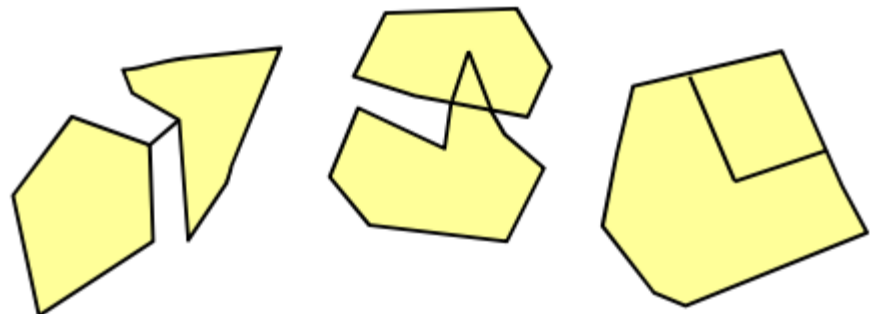
Μοντέλα απλών χαρακτηριστικών (συνέχεια)

MultiPolygon

MultiPolygon: a MultiSurface consisting of multiple polygons



acceptable MultiPolygons



Non-acceptable MultiPolygons



Βασικές λειτουργίες/συναρτήσεις (OGC basic operations/functions)

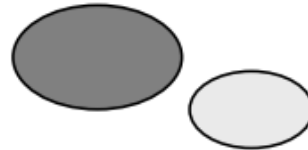
OGC defines specific operations/functions on geometries
(**g** stands for **geometry**)

- **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 (Topological relationships)

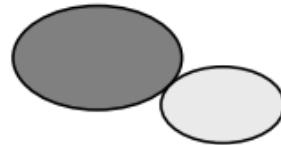
- 8 Topological relationships
(by Egenhofer)



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 ταυνίζεται με τη B



Τοπολογικές Συσχετίσεις

(Topological relationships)(cont)

- Definitions (Egenhofer)

- Π_A the boundary of A,
- E_A the inner space of A

		$\Pi_A \cap \Pi_B$	$E_A \cap E_B$	$\Pi_A \cap E_B$	$E_A \cap \Pi_B$
	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	$\neq \emptyset$	$\neq \emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

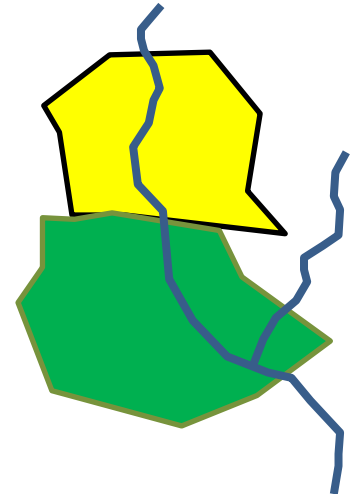


Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων (**Check of topological relationships**)

In an SQL context, compatible with OGC, user can check the topological relationships

Example: Find the regions through which a river passes

```
SELECT region.name  
FROM region JOIN river ON  
    CROSSES (region.geometry, river.geometry)=1;
```





Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων (**Check of topological relationships**) (cont)

➤ Παράμετροι - **Attributes of topological relationships**

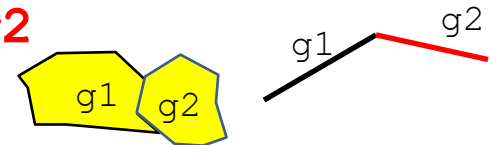
Input: Two geometries

Output: an integer (-1, 0, 1)

- **0**: is not true
- **1**: is true
- **-1**: **unknown**, when one of the input geometries is NULL

➤ Examples

- **Equals** ($g1, g2$) : $g1$ and $g2$ coincide
- **Disjoint** ($g1, g2$) $\leftrightarrow$ **NOT Intersects** ($g1, g2$) :
 $g1$ and $g2$ are topologically apart
- **Touches** ($g1, g2$) : the boundaries of $g1$ and $g2$ intersect, but not their interior

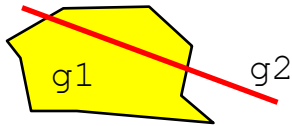




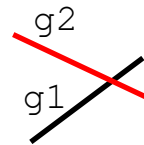
Έλεγχος Τοπολογικών Συσχετίσεων

(Check of topological relationships) (cont)

- **Within** ($g1, g2$) $\leftrightarrow$ **Contains** ($g2, g1$): $g1$ is located entirely in the interior of $g2$
- **Crosses** ($g1, g2$): the intersection of $g1$ and $g2$ has dimension less than the maximum of their dimensions, contains internal points of them and is not equal to any of them.

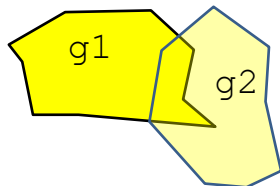


$\dim(g1)=2, \dim(g2)=1$
 $\dim(g1 \cap g2)=1,$
 $g1 \cap g2 \in g1, g1 \cap g2 \in g2$
 $g1 \cap g2 \neq g1, g1 \cap g2 \neq g2$



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

- **Overlaps** ($g1, g2$): the intersection of $g1$ and $g2$ has dimension equal to the dimension of $g1$ and $g2$ and it is not equal to either $g1$ or $g2$.



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



Χωρικοί τελεστές (**Spatial Operators**)

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

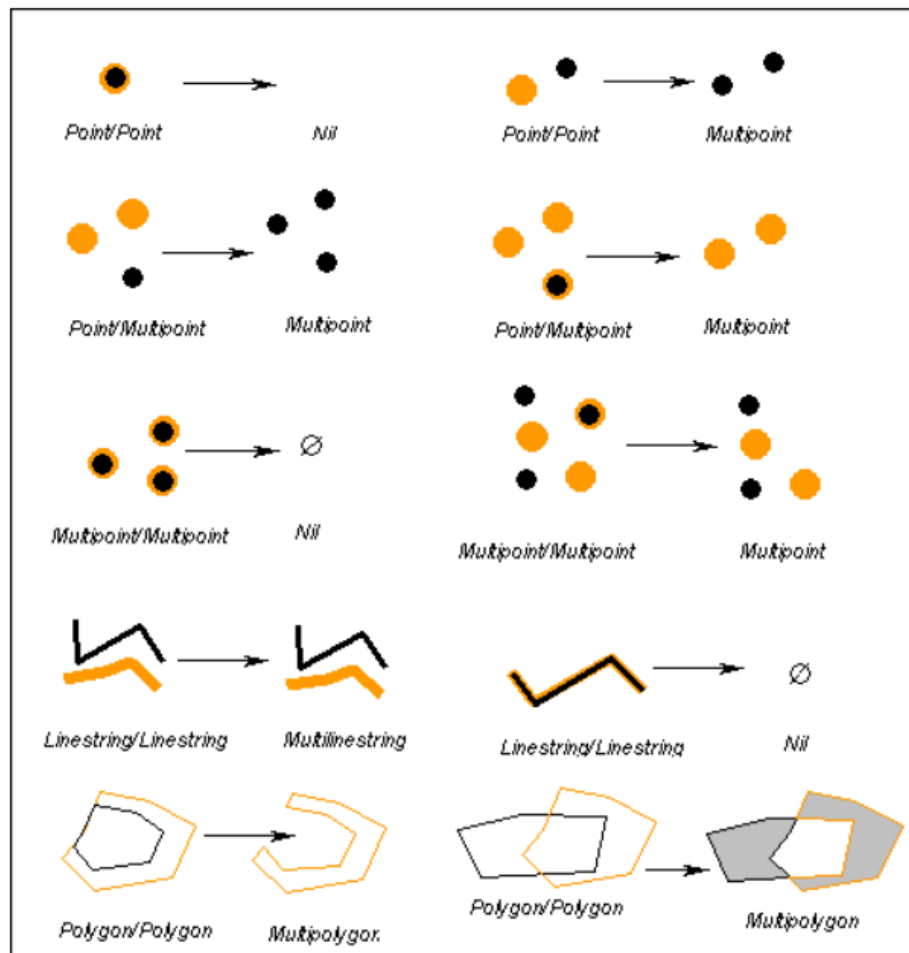


Χωρικοί τελεστές (**Spatial Operators**)(cont)

- Symmetric difference**

Gives the parts of the geometries that do not belong to their intersection.

Geometries must share the same dimension





Γεωμετρικοί τύποι σε μορφή SQL Text

(Geometric types in the form of SQL Text)

For the construction of geometric objects, e.g. with SQL queries, and for the exchange of data, OGC has specified a text format, the **Well Known Text (WKT)**

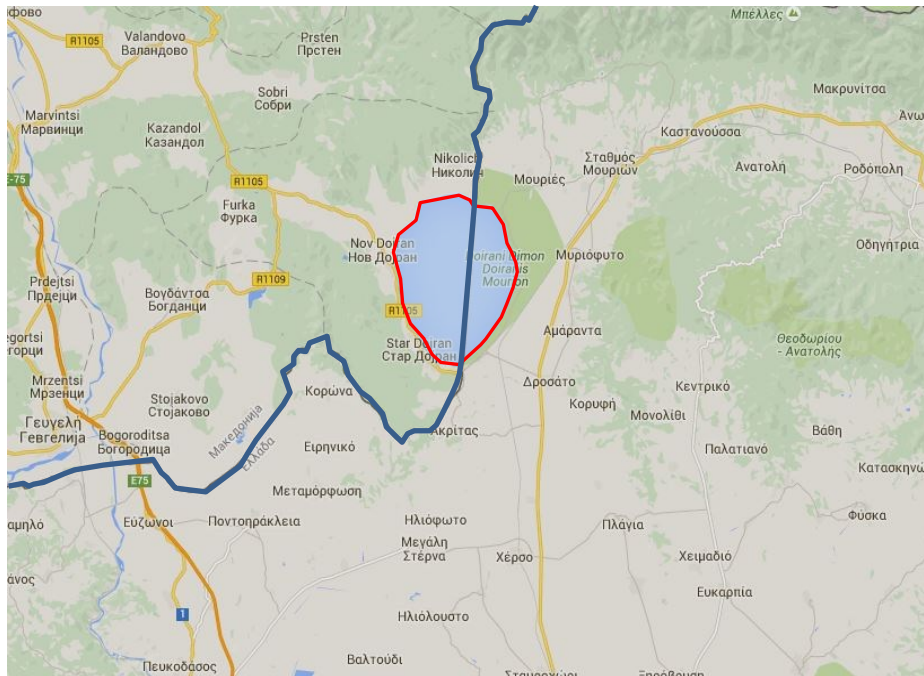
Geometric type	SQL text format	Comment
Point	<code>POINT(10 10)</code>	<i>point</i>
LineString	<code>LINESTRING(10 10,20 20,30 40)</code>	<i>LineString with 3 points</i>
Polygon	<code>POLYGON((10 10,10 20,20 20,20 15,10 10))</code>	<i>Polygon</i>
Multipoint	<code>MULTIPOINT(10 10, 20 20)</code>	<i>MultiPoint 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

(Geometric types in the form of SQL Text) (cont)

Insertion of Polygone data into a database with SQL query as 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

(Geometric types in the form of SQL Text) (cont)

Export of a geometric object as text

Idlake	name	lake_geom
GR_L021	Δοϊράνη	

```
SELECT name AS 'Όνομα', ST_AsText(lake_geom) AS Γεωμετρία
FROM lakes
WHERE Idlake='GR_L021';
-- ST_ means Spatial Type
```

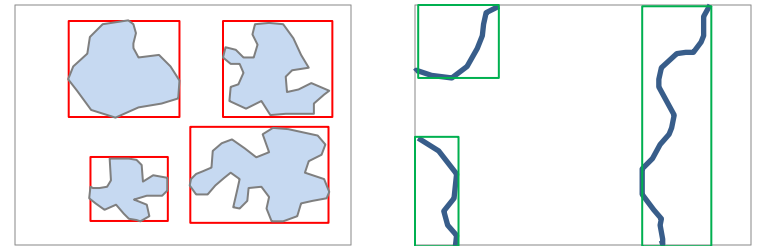


Όνομα	Γεωμετρία
Δοϊράνη	POLYGON((478895 4204061 , 479267 4204500 , ...))



Queries with spatial **Join**

- The **spatial join** is a general join, which comprises spatial attributes in the query conditions



- Example:

① Calculates the Minimum Bounding Boxes (MBB) for the elements of the two classes

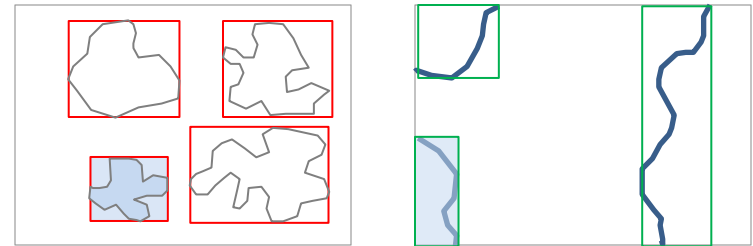
Which regions do rivers pass through?

```
SELECT region.name, river.name
FROM region JOIN river ON
    CROSSES (region.geometry,river.geometry) ;
```



Queries with spatial **Join** (cont)

- The **spatial join** is a general join, which comprises spatial attributes in the query conditions

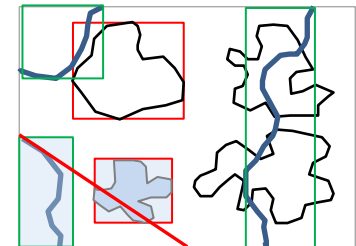


- Example:

Which regions do rivers pass through?

- 1 Calculates the Minimum Bounding Boxes (MBB) for the elements of the two classes
- 2 Candidate elements are selected (the ones that intersect) and the rest are ignored

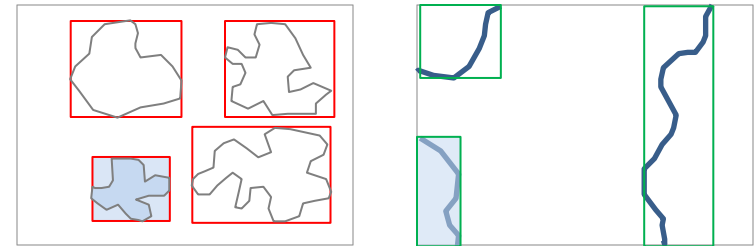
```
SELECT region.name, river.name
FROM region JOIN river ON
  CROSSES (region.geometry,river.geometry) ;
```





Queries with spatial **Join** (cont)

- The **spatial join** is a general join, which comprises spatial attributes in the query conditions

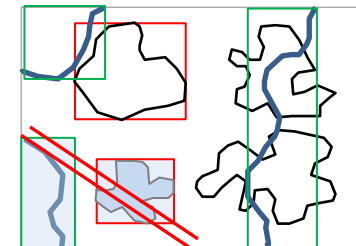


- Example:

Which regions do rivers pass through?

- 1 Calculates the Minimum Bounding Boxes (MBB) for the elements of the
- 2 Candidate elements are selected (the ones that intersect) and the rest are ignored
- 3 The elements that are really intersected are selected

```
SELECT region.name, river.name
FROM region JOIN river ON
  CROSSES (region.geometry,river.geometry);
```





References

- 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