

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNDE ONTOLOJİLERİN KULLANIMI

M. Komesli¹

¹Yaşar Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, murat.komesli@yasar.edu.tr

ÖZET

İnternet üzerinde birçok coğrafi verinin mevcut olduğu bilinmektedir. Bu coğrafi verileri anlamsal web üzerinde kullanabilmek için, OWL (Web Ontology Language) dili kullanılarak coğrafi ontolojilerin hazırlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca cevap vermek amacıyla, Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anlamsal Web Laboratuvarı'nda icra edilen çalışma ile Protégé ve SWOOP yazılımları kullanarak bir coğrafi ontoloji geliştirilmiştir. Coğrafi ontoloji, tipik coğrafi detay sınıflarını içermektedir. OWL dili kullanıldığı için, RDF (Resource Description Framework)'e dayalı olan diğer coğrafi ontolojilerle beraber kullanılabilir. Çalışma esnasında, ontoloji kullanarak heterojen veritabanlarına sahip uygulamalar arasında coğrafi olarak referans edilmiş verilerin paylaşımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: CBS Birlikte Çalışabilirlik, Coğrafi Veri Altyapısı

ABSTRACT

THE USAGE OF ONTOLOGIES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

It is known that there are a lot of geographic data on the Internet. In order to utilize this data on the Semantic Web, geographic ontologies are needed to be prepared in OWL language. To meet this requirement, a geographic ontology is developed by using Protégé and SWOOP application software in Ege University Computer Engineering Department Semantic Web Lab. The geographic ontology contains typical geographic feature classes. Since OWL language is used, ontology will be used together with the other ontologies based on RDF. In this work, the exchange of geographic data is achieved among the heterogeneous geographical information systems' databases by using ontologies.

Keywords: GIS Interoperability, Geographic Data Infrastructure

1. GİRİŞ

Veri tabanlarında, aynı kavramlar için farklı tanımlar kullanılmaktadır. Bu tür problemler, aynı veritabanını kullanan veya geliştirenler için sözlükler kullanılarak giderilmektedir. Ancak, farklı veri tabanlarındaki aynı kavramlar için henüz tam anlamıyla bir çözüm bulunabilmiş değildir. Anlamsal Web'de ontolojiler kullanılarak bu tür problemler çözülmeye çalışılmaktadır. Bir anlamsal web dokümanı, terimlerin anlamlarını ve bu terimler arası ilişkileri ifade etmek için bir ontolojiye işaret etmektedir.

Günümüzde web üzerinde coğrafi verilerin kolay bulunabilmesi amacıyla, coğrafi veri portalları ortaya çıkmaya başlamıştır. Yakın gelecekte anlamsal web sayesinde bilgi üreten akıllı etmenler daha çok kullanıma girecektir. Bunun sonucunda ise, mekânsal karar verme daha kolay mümkün olabilecektir. Mekânsal Karar Destek Sistemi (MKDS)'ndeki mekânsal karar verme işleminde tipik olarak heterojen mekânsal ve mekânsal olmayan veriler birleştirilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nde, coğrafi bilginin anlamsal içeriğine dayalı olarak, fakat gösterim şekli ile bağlantısız şekilde diğer bilgilerle pürüzsüz bütünleştirme gerçekleştirilmektedir. Anlamsal olarak birlikte çalışılabilirlik (Semantic Interoperability) düzgün olarak tanımlanmıştır. Bunun yanı sıra, ontolojiler içerisinde açıklanabilen kavram ve terimlere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Ontoloji, sözlük anlamı olarak “varolma bilimi” diye tanımlanmaktadır. Günümüzde çoğunlukla kabul gördüğü üzere ontoloji, “kavramlaştırmanın kesin tanımı” veya “kontrol edilebilir bir sözlük” olarak tarif edilmektedir. Bir tanımlı ontoloji olarak adlandırmak için istenen özellikler ifade edilmek istenirse, bunların başında “sınırlanmış kontrollü sözlük” olması, “belirli anlamdaki terim ve sınıf ilişkileri” ile “sınıflar arasındaki hiyerarşik alt sınıf ilişkileri”nin ifade edilmesi söylenebilir.

İnternet üzerinde birçok coğrafi verinin mevcut olduğu bilinmektedir. İşte bu coğrafi verileri, anlamsal web üzerinde kullanabilmek için, OWL (Web Ontology Language) (OWL, 2006) dili kullanılarak coğrafi ontolojilerin hazırlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca cevap vermek amacıyla, Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anlamsal Web Laboratuvarı'nda icra edilen çalışma ile Protégé ve SWOOP yazılımları kullanarak bir coğrafi ontoloji geliştirilmiştir. Coğrafi ontoloji, tipik coğrafi detay sınıflarını içermektedir. OWL dili kullanıldığı için, RDF (Resource Description Framework) (RDF, 2006)'e dayalı olan diğer coğrafi ontolojilerle beraber

kullanılabilecektir. Çalışma esnasında, ontoloji kullanarak heterojen veritabanlarına sahip uygulamalar arasında coğrafi olarak referans edilmiş verilerin paylaşımı gerçekleştirilmiştir.

Coğrafi ontoloji geliştirilmesinde temel amaç, geliştirilen araç yazılımları test etmek için uygun coğrafi referanslar sağlamak ve coğrafi detaylar arasındaki topolojik, yön ve mesafe ilişkilerini ifade etmektir. Böylelikle “Anlamsal Coğrafi Bilgi Sistemleri”nin ilk adımı atılmış sayılabilir.

Bildirinin ikinci bölümünde, ontoloji hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen coğrafi ontoloji anlatılmıştır. Ayrıca, halen mevcut ontoloji geliştirme araç yazılımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Son olarak, dördüncü bölümde ise, bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve Anlamsal Coğrafi Bilgi Sistemlerinin gelecekteki yeri tartışılmıştır.

2. ONTOLOJİ

Ontoloji, sözlük anlamı olarak “varolma bilimi” diye tanımlanmaktadır. Gruber, günümüzde çoğunlukla kabul gördüğü üzere, ontolojiyi “kavramlaştırmanın kesin tanımı” olarak tarif etmiştir (Gruber, 1993a, 1993b). Olası bir ontolojinin en basit tanımlarından birisi de “kontrol edilebilir bir sözlük” olabilir. Buna örnek olarak kısıtlı sayıdaki terimlerin bir listesi gösterilebilir. Ayrıca, katologlar da terimlerin belirli anlamlarını ifade ettiklerinden dolayı, bu tanıma örnek teşkil edebilirler. Sözlükler de aynı zamanda, kullanıcıların anlayabildikleri bir dilde terimlerin basitçe anlamlarını ifade ettiklerinden dolayı bir anlamsallık (semantics) içermektedirler. Fakat, sözlüklerdeki izah edici tanımlar, belirli olmadıkları için etmenler tarafından uygun olarak algılanamamakta ve dolayısıyla bilgisayar ortamında işlenebilirliği olmamaktadır.

2.1. Ontoloji Özellikleri

Bir tanımı ontoloji olarak adlandırmak için aşağıdaki özelliklerin mevcut olması gerekmektedir (McGuinness, 2002):

- sınırlı kontrollü sözlükler
- belirli anlamdaki terim ve sınıf ilişkileri
- sınıflar arasındaki hiyerarşik alt sınıf ilişkileri

Bu özelliklere sahip olan tanımlar, basit ontolojiler diye adlandırılmaktadır. Ayrıca, zorunlu olmayan tipik özellikler ise şunlardır:

- her sınıf için özellik tanımlamaları
- ontolojiye münferit olarak dahil olma
- her sınıf için değer kısıtlama tanımı

Son olarak, olması arzulanan, fakat zorunlu ve tipik olmayan özellikler ise şunlardır:

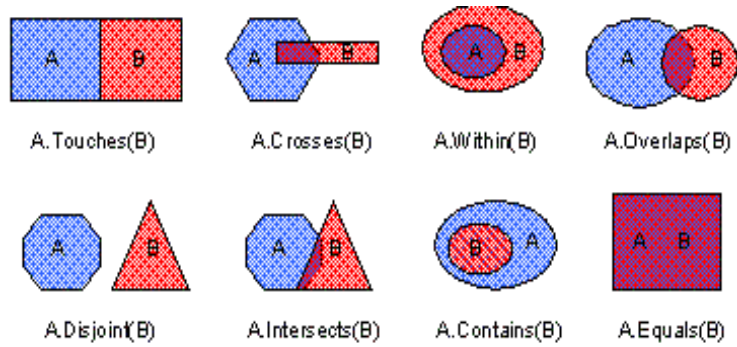
- ayırık sınıfların tanımlanması
- terimler arası mantıksal ilişkilerin tanımlanması.

2.2. Topolojik İlişkiler

OGC (Open Geospatial Consortium) (OGC, 2007)’nin basit detay tanımlamalarında topolojik ilişkiler standartları Şekil 1’de gösterilen sekiz ilişkiyi içermektedir (Clementini et al., 1995; Egenhofer et al., 1990):

- eşittir (equals)
- ayırık (disjoints)
- kesişir (intersects)
- temas eder (touches)
- çaprazlar (crosses)
- içinde (within)
- içerir (contains)
- örtüşür (overlaps)

Ontoloji, bir temel nesne, referans nesnesi ve düşünce çerçevesi (frame of reference) ile birlikte uygulanacak kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitelikli) mesafe ilişkilerine imkan vermektedir (Kuhn, 2003). Örneğin, yönlerin kalitatif (nitelikli) tanımı olarak, esas (cardinal) yönler 8 model uygulanabilir: Kuzey, Kuzeydoğu, Doğu, Güneydoğu, Güney, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı.



Şekil 1: Topolojik ilişkiler.

RDF olarak yaratılan tipik topolojik ilişkiler ise, Şekil 2’de gösterilmiştir.

```
<rdf:RDF
  xmlns:j.0="http://www.mindswap.org/2003/owl/geo/geoRelations.owl#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:j.1="http://www.mindswap.org/2003/owl/geo/geoFeatures.owl#" >
  <rdf:Description rdf:nodeID="A0">
    <rdf:type rdf:resource="http://www.mindswap.org/2003/owl/geo/geoFeatures.owl#Polygon"/>
    <j.1:xyCoordinates>138.75,75.5 ...</j.1:xyCoordinates>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="http://nurl.org/feature/10">
    <j.0:intersects rdf:resource="http://nurl.org/feature/11"/>
    <j.0:crosses rdf:resource="http://nurl.org/feature/11"/>
    <j.1:shape rdf:nodeID="A0"/>
    <j.0:overlaps rdf:resource="http://nurl.org/feature/11"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:nodeID="A1">
    <j.1:xyCoordinates>154.25,90.5 ...</j.1:xyCoordinates>
    <rdf:type rdf:resource="http://www.mindswap.org/2003/owl/geo/geoFeatures.owl#Polygon"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="http://nurl.org/feature/11">
    <j.0:intersects rdf:resource="http://nurl.org/feature/10"/>
    <j.1:shape rdf:nodeID="A1"/>
    <j.0:overlaps rdf:resource="http://nurl.org/feature/10"/>
    <j.0:crosses rdf:resource="http://nurl.org/feature/10"/>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Şekil 2: Topolojik ilişkiler Ontolojisi (MINDSWAP, 2007).

Ayrıca, yön ilişkileri iki kısıtlama (constraint) seviyesinde tanımlanabilmektedir:

A isNorthOf B to be true if the northern most point of A is further north than northern most point of B
A is CompletelyNorthOf B to be true if the southern most point of A is north of the northern most point of B
Therefore, if A isCompletelyNorthOf B, the relation A isNorthOf B is also true.

Coğrafi detay sınıfları, RDF temellerine dayalı şekilde, diğer ontoloji ve isim uzayları kullanarak *label*, *administrative codes*, *statistical data* gibi özelliklere sahip olabilirler. Bu, kullanıcılara mekansal verilerle, anlamsal web üzerinde açıklanan herhangi formdaki bilgiler (spatial ve non-spatial veriler) ile *reasoning* ve *inference*’ı hızlandırmaya yarayan OWL (*sameAs predicate* gibi) ile ilişkilendirmemizi imkan vermektedir.

Coğrafi örnekler, “ESRI ArcExplorer” kullanılarak mekansal veri kümeleri içerisinde GML’e çevrilebilmektedir. Daha sonra, XSLT *style sheet* kullanılarak OWL’a çevrilebilir. Özel bir URI’e tahsis ederek, bu bilgi ağ üzerinde paylaşımına açılabilir. Şekil 3’de örnek bir olgu gösterilmiştir.

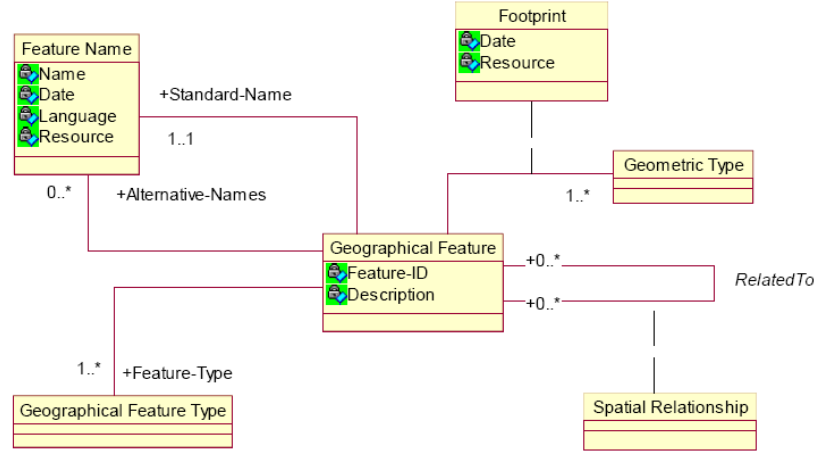
```
<geo:Country rdf:ID="Türkiye">
  <rdfs:label>Türkiye</rdfs:label>
  <geo:shape>
    <geo:MultiPolygon rdf:nodeID="TürkiyeShape">
      <geo:xyCoordinates>
        -171.848052 9.218889, ...
      </geo:xyCoordinates>
      <geo:xyCoordinates>
        ....
      </geo:xyCoordinates>
    </geo:MultiPolygon>
  </geo:shape>
</geo:Country>
```

Şekil 3: Örnek bir olgu (İsimuzayı göz ardı edilmiştir.)

Benzer konuda yapılan çalışmalara örnek olarak, İngiltere Cardiff Üniversitesi'nde yürütülmekte olan SPIRIT (Spatially Aware Information Retrieval on the Internet), (Jones et al., 2001, 2003) projesi gösterilebilir. Bu proje, Avrupa Anlamsal Web projesinin bir parçası olarak faaliyet göstermekte ve web tabanlı, akıllı bir coğrafi veri arama motoru sunmayı amaçlamaktadır. SPIRIT sisteminin merkezinde, sistemin farklı parçalarına destek veren bir coğrafi ontoloji bulunmaktadır. Ontoloji,

- sorgunun belirsizliğinin giderilmesinde (disambiguation),
- istenen sorgunun sorgu terimlerinin genişletilmesinde,
- alınan sorgu sonuçlarının konularına göre sıralanmasında,
- aramanın desteklenmesi için mekansal indekslerin yaratılmasında ve
- web dokümanları, coğrafi veri kümeleri gibi web kaynaklarının açıklayıcı olarak notlandırılmasında önemli rol oynamaktadır.

SPIRIT projesinde sunulan Coğrafi Ontoloji Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4: Coğrafi Detay Ontolojisinin Ana Şeması (C.B. Jones et al. 2003)

Coğrafi ontolojinin gösterimi için, bazı gösterim dilleri mevcuttur. Bunlardan bazıları, betim mantığı tabanlı (description logic-based) DAML+OIL (Ian Horrocks, 2002) ve XML tabanlı (XML, 2007)'dir. SPIRIT Ontolojisi, dillerin değerlendirmesinin yapılabilmesi için örnek bir çalışma olarak alınabilir ve her iki dilin örnekleri sunulan fikirleri destekleme amacıyla verilebilir.

SPIRIT projesinde, hem bir coğrafi ontoloji geliştirme alanıyla ilgili çalışmalar, hem de GML ve DAML+OIL ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Her iki dilin coğrafi ontolojiyi destekleme ve gösterme imkanları ile kısıtlamaları üzerinde çalışılmıştır. Aynı zamanda, bir coğrafi ontoloji için gereken detaylar (features) kümesi önerilmiştir.

DAML+OIL ve diğer ontoloji dillerinin yeteneklerinin tam olarak anlaşılabilmesi için; bir gereksinim tanımlaması yapılması, çeşitli prototip ontolojiler geliştirilmesi, test edilmesi ve her dilin gereksinimi karşılamadaki yeteneklerinin ölçülmesi gereklidir. (Horrocks et al., 2004)

2.3. Coğrafi Ontoloji Dili Özellikleri

Bir coğrafi ontoloji gösterim dilinde, temel olarak dilin temel fonksiyonel yeterliliğinin olmasının yanı sıra gerekli özellikler şunlardır (Fonseca et al., 1999, 2002):

- Yeryüzündeki gerçek coğrafi kavramların gösterimi
- Her coğrafi kavram için veri özelliklerinin (data properties) gösterimi
- Kavramlar arası ilişkilerin gösterimi
- Özelleştirme/genelleştirme kavram hiyerarşilerinin gösterimi
- Diğer kavramlar kümesinden oluşan kavramlar gibi basit birleşim hiyerarşilerinin gösterimi

Diğer taraftan bir dilin aşağıdaki fonksiyonları sağlaması istenebilir:

- Kavramların veri özellikleri (data properties) üzerindeki kısıtlamalarının gösterimi
- İlişkilerdeki kısıtlamaların gösterimi
- Tek varlıklar (individuals-single entity) üzerinde bütünlük kurallarının (integrity rules) ifade edilmesi
- Farklı kavramlara ait tek varlıklar (individuals-single entity) üzerinde bütünlük kurallarının (integrity rules) ifade edilmesi
- Bir karayolunun 10 km. çevresindeki bütün evlerin sınıfı (class) gibi ileri düzeyde birleşim hiyerarşilerinin gösterimi

3. COĞRAFI ONTOLOJİ

Bu çalışmada Protégé ve SWOOP yazılımları kullanarak hazırlanan coğrafi ontolojinin bir bölümü aşağıda gösterilmektedir. Projede kullanılan coğrafi mekansal yer varlıkları (geospatial entity)'nin ifade edilebilmesi maksadıyla geliştirilen, ortak bir sözlüktür. WGS84 datumuna göre yer yüzeyi ve coğrafi mekansal konseptlerin ifade edilebilmesi için imkan sunmaktadır. Coğrafi Ontoloji; geliştirilen araç yazılım(tool)ları test etmek amacıyla uygun coğrafik referanslar sağlamak ve coğrafik detaylar arasındaki topolojik, yön ve mesafe ilişkilerini ifade etmek için geliştirilmiştir. Örneğin, ülke, şehir ve kıta olarak sınıfları ve topolojik ilişkileri ifade etmek gibi.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE rdf:RDF [
  <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#">
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#">
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#">
]>
<rdf:RDF xml:base="&Location;"
  xmlns:owl="&owl;"
  xmlns:rdf="&rdf;"
  xmlns:rdfs="&rdfs;">

  <!-- Ontology Information -->
  <owl:Ontology rdf:about="">
    <rdfs:label rdf:datatype="&xsd:string">Geo ontology</rdfs:label>
    <owl:versionInfo rdf:datatype="&xsd:string">0.9 $Id: Location.owl 621 2006-04-
17 15:53:08Z komesli $</owl:versionInfo>
  </owl:Ontology>

  <!-- Classes -->
  <owl:Class rdf:about="&Corridor">
    <rdfs:label rdf:datatype="&xsd:string">Corridor</rdfs:label>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Point"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Polygon"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Polyline"/>
  </owl:Class>

  <owl:Class rdf:about="&Point">
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string">A location represented by a single
coordinate.</rdfs:comment>
    <rdfs:label rdf:datatype="&xsd:string">Point</rdfs:label>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Corridor"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Ellipse"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&GeoRef"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Leg"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Polygon"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Polyline"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Sector"/>
  </owl:Class>

  <owl:Class rdf:about="&Polygon">
    <rdfs:label rdf:datatype="&xsd:string">Polygon</rdfs:label>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Corridor"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Ellipse"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&GeoRef"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Leg"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Point"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Polyline"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Sector"/>
  </owl:Class>

  <owl:Class rdf:about="&Polyline">
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string">A location represented by a series of
connected coordinates.</rdfs:comment>
    <rdfs:label rdf:datatype="&xsd:string">Polyline</rdfs:label>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Corridor"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Ellipse"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&GeoRef"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Leg"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Point"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Polygon"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="&Sector"/>
  </owl:Class>
```

3.1. SWOOP ve Protégé Yazılımlarının Karşılaştırılması

Bu çalışma esnasında ontoloji yaratmak amacıyla, önceleri Protégé 3.2 Beta yazılımı kullanılmıştır. Daha sonra, çalışmanın amacına daha uygun olduğu değerlendirilen SWOOP 2.3 Beta 3 yazılımı kullanılmıştır. Protégé yazılımı, Stanford Üniversitesi'nde "Stanford Medical Informatics" çalışma grubu tarafından geliştirilmiştir (<http://protege.stanford.edu>, 2006). SWOOP yazılımı, Maryland Üniversitesi'nde Prof. James Handler başkanlığındaki bir çalışma grubu tarafından geliştirilmiş web tabanlı bir ontoloji yaratma ve gösterme aracıdır. Kullanıcı arayüzü olarak temel web tarayıcısına benzer şekilde adres çubukları, menüler, vb. özellikleri içermektedir (<http://www.mindswap.org/2004/SWOOP>, 2006). Protégé yazılımına göre farklılıkları aşağıda sıralanmıştır:

- Ontolojilerin web ortamından yüklenmesi ve birbirleri arasında dolaşımı oldukça basittir.
- Birden fazla ontoloji, aynı anda yüklenebilmektedir.
- Ontoloji, "class", "property" ve "individual" özelliklerinin yüksek seviyede ve ulaşılabilir durumda kolayca gösterimi (render) mümkündür.
- Ontoloji ve varlıklarının çeşitli sözdizimlerde gösterimi (RDF/XML, the OWL Abstract Syntax, Turtle) mümkündür.
- Ontolojilerdeki açıklamaların (annotations) Annotea Protokolü kullanarak paylaşımı daha kolaydır.
- "Class" hiyerarşisinin dairelerle gösterimi mümkündür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgisayarlar, coğrafi referansları, web'de esnek olarak işlemeleri halinde, harita üzerinde simge yerleştirmekten daha ileride olarak, açıklayıcı coğrafi bilgileri de yaratabileceklerdir. Bu, ilgili ontolojiye dayalı olarak yeni yöntemlerle bilginin otomatik kullanılmasını sağlayan Anlamsal Web ile gerçekleştirilmektedir. Örneğin, web sayfalarındaki coğrafi referansları birbirine bağlayarak ve insanların düşünmekten ziyade sezgi yolu ile öğrendiği referansları içeren bilgileri çekerek, bir seyahat rehberi oluşturmak mümkün olabilecektir. Böylelikle, Anlamsal Coğrafi Bilgi Sistemleri ortaya çıkmış olacaktır.

Mekansal ilişkiler, ontolojiler içinde ifade edilmesine rağmen, karmaşık mekansal çıkarımlar yüklemek oldukça zordur. Kalitatif (nitel) mekansal ilişkiler hakkında çıkarsamada bulunulamayacağından dolayı, OWL ile mekansal ilişkilerin ifade edilmesi kısıtlıdır. Daha da açıklamak gerekirse, kalitatif (nitel) mekansal ilişkiler, koordinat tabanlı servislere dayalıdır.

KAYNAKLAR

Clemintini E., Di Felice P., 1995, *A Comparison of Methods for Representing Topological Relationships*, Information Sciences 3: 149-178.

Egenhofer M., Herring J., 1990, *A Mathematical Framework for the Definition of Topological Relationships*, Fourth International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Switzerland, pp. 803-813.

Fonseca F., Egenhofer M., 1999, *Ontology-Driven Geographic Information Systems*, 7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems, Kansas City, MO.

Fonseca F., Egenhofer M., Agouris P., Câmara G., 2002, *Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems*. *Transactions in GIS*, 6(3): 231-257.

GML, 2007, GML Specification Profile, <http://www.opengeospatial.org/profile>, 2007.

Gruber, T., 1993, *A translation approach to portable ontologies*, *Knowledge Acquisition*, 5: 199-220.

Gruber, T., 1993, *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*, *International Journal of Human and Computer Studies*, 43(5/6): 907-928.

Horrocks I., 2002, {DAML}+{OIL}: A Reasonable Web Ontology Language, <http://citeseer.nj.nec.com/579456.html>

Horrocks I., Sean Bechhofer, Carole Goble and Agent Cities, 2004, DAML+OIL Urban Ontology, <http://iscte.pt/~lhrm/daml/location>

Jones C., Alani H., Tudhope D., 2001, *Geographical Information Retrieval with Ontologies of Place*, In *Proceedings of COSIT'01*, pp. 322-335,

Jones C.B., Abdelmoty A.I., and Fu Gaihua, 2003, *Maintaining Ontologies for Geographical Information Retrieval on the Web*, *Ontologies, Databases, and Applications of Semantics for Large Scale Information Systems (ODBASE'03)*, *Proceedings of the OTM Confederated Int. Conf.*, Springer Verlag, LNCS 2888, pp. 934-951.

Kuhn W., 2003, *Semantic Reference Systems*, International Journal of Geographic Information Science, 17(5): pp. 405-409.

McGuinness D., 2002, *Ontologies Come of Age, Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential*, MIT Press.

MINDSWAP, Maryland Information and Network Dynamics Lab Semantic Web Agents Project, <http://www.mindswap.org>, 2007.

OGC, Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org>, 2007.

OWL, Web Ontology Language, <http://www.w3c.org/TR/owl-features>, 2007.

Protégé, <http://protege.stanford.edu>, 2007.

RDF, Resource Description Framework, <http://www.w3c.org/RDF>, 2007.

SWOOP, www.mindswap.org/2004/SWOOP, 2007.

XML, eXtended Markup Language, <http://www.w3c.org/XML>, 2007.