

# 온톨로지 매핑 정보를 이용한 웹 서비스 자동발견

송재경\* · 김도현\*\* · 변영철\*\* · 이상준\*\*

## Automatic Web Service Discovery using Ontology Mapping Information

Jae-Kyoung Song\* Do-Hyun Kim\*\* Yung-Cheol Byun\*\* Sang-Joon Lee\*\*

### ABSTRACT

Web Service is a new model based on web to offer dynamic information for a user's request. Currently, the web service discovery mechanism is not efficient because it does not support automatic discovery based on the semantics or capabilities of a web service. The language for semantic web service, such as OWL-S, is being developed to express the capability of a web service semantically. Such semantics can support the more flexible discovery of web services. Web service discovery occurs when the provider's description matches to that of requester. But the matching can fail when the ontologies of service description differ from that of the requester although the requester wants that Web Service. In distributed environment service providers develop their semantic web services independently and tend to use their ontologies to describe web services. So a new approach must be required to avoid service discovery failure. In this paper, a method of annotating the query of requester and discovering semantic web services without service discovery failure is proposed.

**Key Words :** Semantic web service, automatic discovery, ontology mapping, matchmaker

### 1. 서론

웹 서비스는 사용자의 요구에 따른 동적 정보를 제공하기 위한 웹의 새로운 모델로서, 기존의 비즈니스 로직에 비해 보다 빠르며, 사용 및 시스템 통합에 있어서 높은 효율성을 제공한다. 하지

만 현재의 웹 서비스를 실제 e-business 에 적용하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 진행되어야 한다 [1].

사용자의 요구를 해결할 수 있는 비즈니스 로직을 자동적으로 발견하는 웹 서비스 발견 분야 또한 이러한 연구의 한 분야이다.

인터넷 상에는 사용자, 즉 서비스 요구자가 문제를 해결하기 위해 직접 찾은 서비스보다 더 나은 문제해결 능력을 갖는 서비스가 존재할 수 있다. 그러므로 보다 나은 서비스를 자동으로 찾아 서비스 요구자의 문제 해결에 사용할 수 있다면 문제 해결의 효율성이 높아지게 되며, 또한 이러한 자동발견을 기반으로 발견된 서비스들 간의 상호운영을 통해 보다 복잡한 서비스 로직의 제공 또한 가능하게 된다[2].

\* 제주대학교 대학원 컴퓨터공학과  
Dept. of Computer Engineering, Cheju National University  
\*\* 제주대학교 통신컴퓨터공학부, 첨단기술연구소  
Faculty of Telecommunication and Computer Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju National University

현재의 웹 서비스의 구성요소 중 서비스의 설명을 담당하는 표준인 WSDL은 서비스의 내용, 즉 서비스가 어떠한 일을 할 수 있는가에 대한 의미적인 기술이 불가능하며, 서비스 발견을 위한 UDDI 또한 서비스 자체의 내용보다는 키워드 기반의 고정된 검색만을 제공함으로써 실제 서비스의 능력 혹은 의미에 따른 발견이 불가능하다는 한계를 가지고 있다. 그러므로 웹 서비스의 자동발견이 가능해지도록 하려면 몇 가지 전제조건이 필요하다.

첫째로, 웹 서비스의 능력, 즉 웹 서비스가 어떠한 일을 할 수 있는지를 의미적으로 표현할 수 있는 언어가 필요하다. 이러한 언어에 관한 연구로는, 현재 시맨틱 웹 기술을 웹 서비스 기술에 접목시켜 웹 서비스를 의미적으로 표현하고자 하는 언어인 ontology web language for services (OWL-S)가 DARPA 그룹에서 진행되고 있다[3].

DARPA 그룹의 OWL-S는 OWL 온톨로지를 이용하여 웹 서비스의 능력과 속성을 의미적으로 표현함으로써 기존의 웹 서비스를 의미정보를 가지고 있는 시맨틱 웹 서비스로 표현한다. OWL-S는 서비스 프로파일, 서비스 모델, 서비스 그라운드 이라는 세 가지 모듈로 시맨틱 웹 서비스를 기술하는데, 이 중에서 서비스 제공자에 대한 정보 및 추상적 수준에서의 서비스의 능력을 기술하는 서비스 프로파일이 해당 서비스가 무엇을 하는 서비스 인지를 나타내어줌으로서 서비스 발견에 사용된다.

서비스 프로파일이 서비스가 무엇을 하는가를 기술하는 방법은, "translation service" 또는 "wine selling"과 같이 그 기능을 대표할 수 있는 개념의 하위 클래스로 서비스를 표현하는 방법과, 서비스의 input, precondition, output 과 effect를 온톨로지 기반으로 기술함으로써 하나의 상태에서 다른 상태로의 상태변화를 통해 서비스를 기술하는 방법을 사용한다[4].

웹 서비스 자동발견을 위한 두 번째 전제조건은 서비스 게시자와 서비스 요구자를 연결해주는 매칭 방법이 필요하다는 것이다. 현재 이를 위해 시맨틱 매치 메이킹에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다[5-7].

시맨틱 매치 메이킹은 서비스 요구자의 질의와 서비스들이 사용한 온톨로지 간의 관계의 추론과 의미적인 매치를 통해 서비스 요구자의 문

제를 해결할 수 있는 서비스 제공자를 발견하는 과정이다. 현재 이러한 매치 메이킹의 연구들은 게시자와 요구자의 온톨로지가 동일한 온톨로지 에서 파생된 온톨로지를 사용하고 있다는 전제 하에서 연구되고 있으며, 그 전제가 만족되지 않을 때는 어떠한 매치도 이루어지지 않는다[5].

웹 서비스를 개발하고 제공하는 서비스 제공자들은 자신의 웹 서비스를 보다 많은 사용자들이 사용하기를 원하기 때문에, 자신의 웹 서비스를 효과적으로 표현할 수 있는 온톨로지를 사용하여 웹 서비스를 표현할 것이다. 그러나 이러한 웹 서비스 기술에 사용되는 온톨로지는 분산 환경이라는 특성 상 특정 온톨로지에 종속되지 않으며 또한 동적으로 변할 수 있다. 또한 그 서비스들이 제공하는 분야들은 하나의 온톨로지로 모두를 표현하기에는 너무나 다양한 분야를 다루고 있는 것이 현실이다.

따라서 본 논문에서는 효율적인 웹 서비스의 발견이 이루어질 수 있도록 동적으로 변하는 서비스 게시자들의 서로 다른 온톨로지들을 검색, 분석하여 비슷한 개념을 다루는 온톨로지 용어들을 매핑 과정으로 통해 연결하고, 이러한 매핑된 온톨로지를 이용하여 서비스 요구자의 질의를 어노테이션하기 위한 방법을 제시한다. 이러한 온톨로지 매핑 방법을 통해 게시자와 요구자의 온톨로지가 같은 의미를 나타내고 있음에도 같은 온톨로지 에서 파생되지 않아 매칭에 실패하는 문제를 해결할 수 있으며, 부가적으로 서비스 요구자가 자신의 질의를 생성하는데 사용할 온톨로지 용어들을 제시함으로써 질의 생성의 효율성이 증가되어, 웹 서비스를 효율적인 자동발견이 가능하다.

## II. 관련연구

### 2.1. 온톨로지 매핑

웹에서 유통되는 데이터들에 대한 의미를 기술함으로써 기계가 그 데이터를 이해할 수 있도록 도와주는 온톨로지는 차세대 웹이라 불리는 시맨틱 웹에서 가장 중요한 역할을 담당하고 있으며, 현재 많은 온톨로지가 개발되어 공개되고 있다. 그러나 이러한 다양한 온톨로지의 개발은,

분산 환경이라는 시맨틱 웹 환경의 특성 상 같은 분야상의 같은 의미를 표현하고 있으나, 다른 용어들을 사용하는 다양한 온톨로지들의 개발 또한 발생시키고 있다. 그러므로 분산된 환경 상에서 여러 어플리케이션들이 다양한 서로 다른 온톨로지에 접근하여 처리를 할 수 있도록 하는 연구가 필요하게 되었다. 이를 위해 다양한 온톨로지 간의 정보 교환 및 접근성을 높이기 위한 온톨로지 매핑에 관한 연구들이 진행되고 있다[8-10].

본 논문에서의 온톨로지 매핑은 온톨로지 용어들 간의 유사성을 나타내는 몇 가지 정의를 가지고 있는 GLUE[8]의 온톨로지 매핑방법을 따른다. GLUE는 서로 다른 온톨로지에서 나타나는 두 개의 용어 간의 유사성을 크게 두 용어가 동일한 용어임을 나타내는 *exact*, 서로 완전히 다른 용어임을 나타내는 *different*, 하나의 용어가 다른 용어를 포함하는 *most-specific-parent*, 그 반대인 개념을 갖는 *most-specific-child* 등의 4가지 정의로 나타내는데, 이러한 개념은 OWL이 제공하는 *EquivalentClass*, *SameAs*, *DifferentFrom*, *SubClassOf* 등으로 나타낼 수 있음으로서, OWL로의 변환이 손쉬우며, 이를 기반으로 다음 절에서 설명하는 매치 메이킹에서의 매핑정보 사용에 효율적이다.

## 2.2. 매치 메이킹

매치 메이킹은 서비스 요구자의 문제를 해결할 수 있는 서비스 제공자를 연결하는 과정으로서, 서비스들 사이의 관계를 추론하고 그 의미적인 매치가 가능하여야 한다. 시맨틱 웹 기술을 기반으로 매칭을 실행하는 매치 메이킹의 과정은 다음과 같다.

서비스 요구자는 자신이 원하는 서비스의 입출력들을 온톨로지로 표현한 질의를 생성하고 이를 매치 메이커에게 제출한다. 매치 메이커는 이러한 질의를 서비스 제공자가 제공하는 웹 서비스 기술에 있는 입출력 온톨로지와 비교하며, 그 온톨로지에서의 관계를 기반으로 *exact*, *plugIn*, *subsume*, *fail* 등의 네 가지 결과를 요구자에게 제시한다[5].

Fig. 1은 매칭 결과를 결정하는 규칙의 예이다. 서비스 게시자의 출력 개념과 요구자의 출력

개념이 동일하거나 요구자의 출력 개념이 게시자의 출력 개념의 *SubClass* 관계라면 결과는 *exact*가 되며, 게시자의 출력이 요구자의 출력을 포함하는 개념이면 *plugin*, 반대인 경우는 *subsume*, 그 외의 경우에는 *fail* 결과를 나타낸다.

```

degreeOfMatch(outR, outA):
  if outA=outR then
    return exact
  if outR subClassOf outA then
    return exact
  if outA subsume outR then
    return plugin
  if outR subsume outA then
    return subsume
  otherwise fail
  
```

Fig.1 Matching result

한편, 이렇게 게시자의 서비스가 제공하는 입출력과 요구자가 원하는 입출력 용어들의 온톨로지에서의 관계를 비교하기 위해서는, 양측에서 사용한 온톨로지가 같은 온톨로지이거나 같은 온톨로지에서 파생된 온톨로지 여야만 한다는 제약이 따르게 된다. 만일 서로가 같은 의미를 갖는 입출력 개념을 사용하였다 하더라도, 같은 온톨로지의 용어를 사용하지 않았다면 그 두 용어 간의 관계를 추론할 방법이 없으므로 매칭은 실패하게 된다.

## 2.3. METEOR-S

METEOR-S [11]는 georgia 대학의 LSDIS 연구실에서 진행되고 있는 시맨틱 웹 서비스 관련 프로젝트로서, WSDL의 어노테이팅을 통한 시맨틱 웹 서비스 개발, 이를 기반으로 한 웹 서비스의 발견, 발견된 웹 서비스의 조합 등 시맨틱 웹 서비스의 전 분야를 다룰 수 있는 연구로 진행 중이다[12-15]. 우선 METEOR-S는 registries ontology를 기반으로 웹 서비스를 어노테이팅하여 시맨틱 웹 서비스로 기술하며[12], registries ontology를 이용하여 서비스 요구자의 질의를 기술함으로써 서비스를 발견한다.

METEOR-S는 운영에 있어서 registries

ontology라는 개념을 사용하는데, 이것은 특정 분야에 한정된, 그 분야를 표현할 수 있는 온톨로지를 의미한다[13]. 즉 METEOR-S는 특정 베이스 온톨로지를 이용하여 웹 서비스와 서비스 요구자의 질의를 기술함으로써 2.2 절에서 기술한 매치 메이킹의 단점을 해결하고 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 베이스 온톨로지를 이용하여 서비스와 질의를 기술하는 접근방법은, 시스템 내의 베이스 온톨로지가 모든 분야를 다루는 것이 아니라 특정 분야만을 다룸으로서, 베이스 온톨로지가 다루는 분야 외의 웹 서비스 기술에는 제약이 있다는 문제와, METEOR-S가 제공하는 베이스 온톨로지만을 가지고 서비스 게시자가 자신의 웹 서비스의 능력을 정확히 표현할 수 있는가에 대한 문제가 고려되어야 한다.

### III. 제안하는 방법

이 장에서는 웹 서비스의 자동발견을 위한 전체 시스템 구조와, 이를 구성하는 주요 구성 부분들에 대해서 서술한다. 본 논문에서 제안하는 시스템의 전체 구조는 Fig. 2 와 같다.

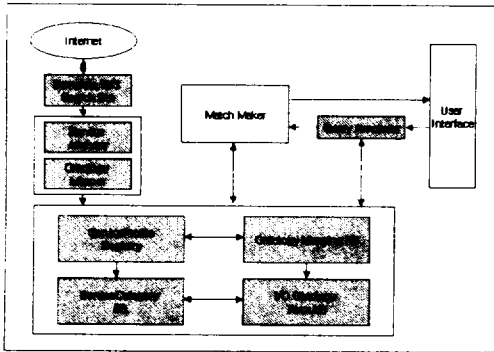


Fig. 2 Proposed approach

전체 시스템은 크게 네 부분으로 나누어 볼 수 있다. 인터넷에서 검색된 시맨틱 웹 서비스가 다루는 분야와 해당 서비스를 기술하기 위해 사용된 온톨로지를 분석하여 비슷한 개념의 온톨로지 용어들끼리의 매핑 정보를 생성하는 service analyzer, ontology mapper 모듈과, 여기에서 분석된 내용과 매핑 정보들을 저장하여 요구자의 질의 작성과 매치 메이킹 수행시 사용되는 registry

와 knowledge base 모듈, 그리고 서비스 요구자에게 찾고자 하는 서비스 분야 및 질의에 사용할 온톨로지 용어들을 제공하여 서비스 요구자가 쉽게 자신의 질의를 작성할 수 있도록 도와주는 query annotator 모듈, 마지막으로 어노테이팅된 요구자의 질의를 이용하여 실제 매치 메이킹을 수행하여 서비스를 발견하는 부분이다.

### 3.1. 웹 서비스의 분석 및 매핑정보 생성

service analyzer 모듈은 semantic w/s search bot 을 통해 인터넷에서 검색된 시맨틱 웹 서비스를 분석하여 서비스 프로파일을 지식 베이스 내의 service profile registry에 저장하고, 해당 웹 서비스가 어떠한 분야에 속하는 서비스인지를 결정한다. 서비스의 분야는 서비스 프로파일 내의 서비스 분류 체계 온톨로지에 해당하는 ProfileHierarchy를 통해 결정되며, 이러한 분류체계 온톨로지는 지식 베이스 내의 service category KB 에 저장되어 시스템에 의해 관리된다.

또한, 해당 웹 서비스에서 입력된 온톨로지를 읽어 서비스에서 사용되는 용어들을 I/O ontology term KB에 저장하는데, 이러한 용어들은 ontology mapper 를 통해 기존에 저장된 웹 서비스들이 사용하는 온톨로지 용어들과의 매핑 과정을 거친다. Fig. 3은 이러한 온톨로지 매핑의 예를 보여 준다.

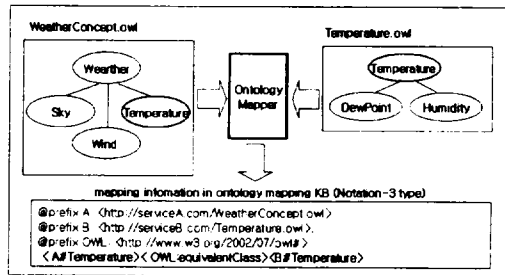


Fig.3 Ontology mapping

만일 검색된 웹 서비스의 출력 온톨로지가 WeatherConcept.owl 내의 용어들을 사용한다고 할 때, 기존 I/O ontology term KB 내에 저장된 Temperature.owl 를 기반으로 한 용어들과의 유사성이 발견되어진다. 이때 ontology mapper 모듈은

두 온톨로지에서 사용된 용어에서 temperature 라는 용어가 서로 같은 개념이라는 매핑정보를 생성 시켜줌으로서 서로 다른 WeatherConcept.owl 과 Temperature.owl 온톨로지 간의 관계를 만들어 낼 수 있다. 이를 통해 서비스 요구자가 Temperature.owl 온톨로지를 기반으로 한 출력인 temperature를 원한다고 할 때 WeatherConcept.owl 의 weather 개념의 출력을 생성하는 웹 서비스의 발견까지 가능해진다. 이렇게 ontology mapper 에 의해 생성된 매핑 정보는 지식 베이스 내의 ontology mapping KB 에 저장되어 시스템에 의해 관리된다.

### 3.2. 지식 베이스의 구성

지식 베이스는 전체 시스템의 기반이 되는 모듈로서 총 4개의 저장소로 구성이 된다. 먼저 service profile registry 는 검색 및 분석된 웹 서비스의 서비스 프로파일이 저장되는 곳으로서, 이렇게 저장된 서비스 프로파일은 매치 메이킹 수행시 웹 서비스가 참조하고 있는 온톨로지를 참고하는데 사용된다.

service category KB 는 웹 서비스들의 분류체계를 저장하고 있는데, 이러한 분류는 다양한 서비스들을 카테고리별로 분류할 수 있도록 함으로서 같은 분야의 웹 서비스들의 관리 효율성을 높이고, 서비스 요구자가 자신이 찾고자 하는 웹 서비스가 어떠한 분류에 속하는지 결정하는 참고 자료로 사용된다.

ontology mapping KB 는 ontology mapper 에 의해 생성된 매핑 정보를 저장하며, 이 정보는 매치 메이킹 수행시 온톨로지 간의 관계 정보를 제공함으로써 서비스 발견의 효율성을 높여준다.

마지막으로 I/O ontology term KB는 웹 서비스들이 사용하는 입출력 온톨로지에 기반을 둔 용어들을 저장함으로써, 매핑 정보의 생성과 서비스 요구자의 질의 생성 시 참고 자료로 사용된다.

### 3.3. 서비스 요구자의 질의 기술

서비스 요구자는 자신의 문제를 해결하기 위한 질의를 사용자 인터페이스를 통해 생성한다.

먼저 query annotator 모듈은 service category KB 내의 카테고리에 근거하여 서비스 요구자의 문제를 해결하기 위한 가장 적절한 카테고리를 선택할 수 있도록 한다. 서비스 요구자가 특정 카테고리를 선택했다면, query annotator 모듈은 선택된 카테고리에 속하는 서비스들에서 사용되는 용어들을 I/O ontology term KB에서 추출하여 이를 기반으로 서비스 요구자가 자신의 질의를 어노테이팅 할 수 있도록 제공한다. 이러한 카테고리 선택과 입출력 개념의 어노테이팅으로 생성되는 서비스 요구자의 질의는 그 자체로 시맨틱 정보를 가지게 되며, 시맨틱 매치 메이커로 하여금 최적의 서비스를 검색할 수 있도록 하는 입력으로 주어지게 된다.

### 3.4. 시맨틱 매치 메이킹의 서비스 발견

Fig. 4 는 매치 메이킹의 동작 과정을 예를 들어 보이고 있다. query annotator 모듈을 통해 매치 메이커로 넘어오는 서비스 요구자의 질의는 크게 서비스 카테고리나 온톨로지에 기반한 입출력 용어로 구성된다.

서비스 요구자가 한국의 지역별 날씨 정보를 제공하여주는 서비스를 원한다고 가정한다면, 서비스 요구자는 query annotator 가 사용자 인터페이스를 통해 제공하는 정보를 통해 날씨를 알려주는 weather 카테고리 내의 서비스 중에서 입력으로 KoreanRegion을 받아들여, 출력으로 weather를 출력하는 서비스를 발견하기를 원한다는 질의를 작성한다. 이러한 질의가 매치 메이커에게 넘겨지면, 매치 메이커는 먼저 service category KB 에서 분류체계가 weaheer 에 속하는 서비스들의 리스트를 검색한다. 그리고 검색된 서비스들이 사용하는 입출력 온톨로지를 service profile KB를 참조하여 불러오고, 이를 이용하여 사용자 질의에서 사용된 입출력 용어들과의 관계를 알아내는 매치 메이킹을 실행한다. 이때 각 용어에 대해서 ontology mapping KB 내에서 해당 용어의 매핑 정보가 있는지를 확인하고 만일 매핑 정보가 존재한다면 이러한 매핑 정보를 이용하여 온톨로지를 확장하여 매치 메이킹을 실행하게 된다.

기존의 매치 메이커의 방법대로라면 Fig. 4

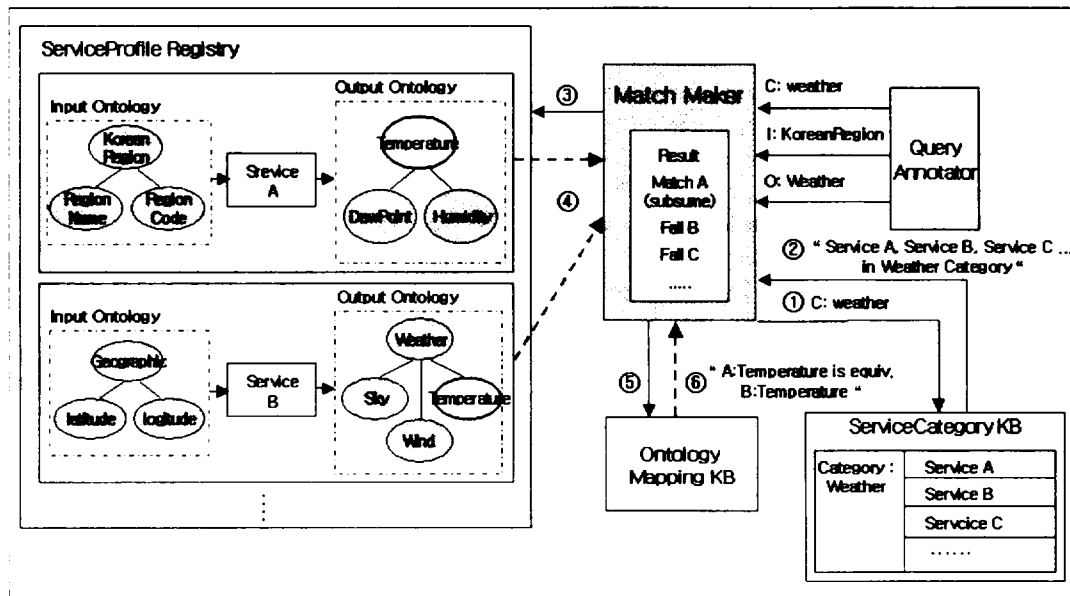


Fig.4 Match making

에서 서비스 A는 입력으로 KoreanRegion을 받아들이나, 출력으로는 weather와 의미는 유사하지만 온톨로지 상으로는 관계가 없는 temperature 만을 출력하고 있기 때문에 fail 이라는 매칭 결과가 발생, 서비스 발견에 실패하게 된다. 그러나 매핑 정보를 이용하는 Fig. 4 의 예를 보면 ontology mapping 과정을 통해 서비스 A의 temperature와 서비스 B의 temperature가 동일(equivalent) 의미의 관계임을 알 수 있기 때문에 서비스 A의 출력 temperature가 요구자가 원하는 weather의 SubClass 관계에 있음을 추론해 낼 수 있다. 이를 기반으로 매치 메이커는 매칭 결과로 subsume을 발생하게 되며, 서비스 요구자가 원하는 웹 서비스로 서비스 A가 적합하다는 결론을 내릴 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는, 서비스 게시자들이 실제로 사용하는 의미적으로는 같으나 서로 간에 관계 정보가 없는 온톨로지에 대해, 매핑 과정을 통해 온톨로지들 간의 관계 정보를 생성하고, 이를 기반으로 서비스 요구자의 질의를 생성함으로써, 효

율적인 서비스의 발견을 이룰 수 있음을 보였다.

이로서 특정 온톨로지에 종속되지 않으며 동적으로 변하는 온톨로지를 이용하여 기술되는 시맨틱 웹서비스의 특징을 제대로 살리지 못했던, 기존 매치 메이킹의 서비스 요구자와 제공자의 온톨로지가 같은 온톨로지이거나 같은 온톨로지 에서 파생된 온톨로지여야만 한다는 제약사항을 해결할 수 있음을 보였다.

또한 본 방법은 시스템 상의 베이스 온톨로지를 이용하여 웹 서비스와 요구자의 질의를 기술하는 기존의 다른 접근 방법과는 달리, 실제 사용되는 서비스 게시자들의 온톨로지를 사용함으로써, 서비스 게시자들이 자신의 웹 서비스를 충분히 표현할 수 있는 어떠한 온톨로지도 사용 가능하다는 장점을 가지고 있다.

향후 보다 많은 시맨틱 웹 서비스들의 확보를 통하여 본 논문에서 제시한 방법에 대한 추가적인 검증이 필요하겠으며, 또한 서비스 요구자의 질의를 분석하여 이를 자동적으로 어노테이팅 하기 위한 연구와, 복잡한 비즈니스 로직의 구성을 위해 발견된 서비스들을 상호 운영 할 수 있도록 하는 연구[16]가 필요하다.

## 참고문헌

- 1) 이경하, 이규철, 2003, 웹 서비스의 표준화 동향과 발전 방향, 데이터베이스 연구, 제19권, 제1호, pp.80-87.
- 2) Evren Sirin, James Hendler, Bijan Parsia, 2002, Semi-automatic Composition of Web Services using Semantic Descriptions, Web Services: Modeling, Architecture and Infrastructure workshop in conjunction with ICEIS2003.
- 3) The DAML Service Coalition, OWL-S : OWL-based Web service ontology, <http://www.daml.org/services/owl-s/>.
- 4) David Martin, Massimo Paolucci et al., 2004, Bringing Semantics to Web Services: The OWL-S Approach, SWSWPC.
- 5) Massimo Paolucci, Takahiro Kawamura, Terry R. Payne, Katia Sycara, 2002, Semantic Matching of Web Services Capabilities, First International Semantic Web Conference.
- 6) ATLAS - Software Agents Group, OWL-S/UDDI Matchmaker, <http://www.daml.ri.cmu.edu/matchmaker/>.
- 7) Katia Sycara, Massimo Paolucci, Julien Soudry, Naveen Srinivasan, 2004, Dynamic Discovery and Coordination of Agent-Based Semantic Web Services, IEEE INTERNET COMPUTING Vol. 8, No. 3, pp.66-73.
- 8) AnHai Doan, Jayant Madhavan, Pedro Domingos, Alon Halevy, 2002, Learning to Map between Ontologies on the Semantic Web, The Eleventh International WWW Conference.
- 9) M.Schorlemmer, 2003, Ontology Mapping - The State of the Art, The Knowledge Engineering Review Vol. 18, No. 1 pp.1-31.
- 10) Erhard Rahm, Philip A. Bernstein, 2001, A Survey on Approaches to Automatic Schema Matching, VLDB Journal: Very Large Data Bases Vol. 10, No. 4, pp.334-350.
- 11) METEOR-S, <http://lsdis.cs.uga.edu/Projects/METEOR-S/>.
- 12) Patil A, Oundhakar S, Sheth A, Verma K, 2004, MWSAF- METEOR-S Web Service Annotation Framework, Proceedings of the 13th conference on World Wide Web.
- 13) Verma K, Sivashanmugam K, Sheth A, Patil A, Oundhakar S, Miller J, 2003, METEOR-S WSDI: A Scalable Infrastructure of Registries for Semantic Publication and Discovery of Web Services, Journal of Information Technology and Management.
- 14) R. Aggarwal, K. Verma, J. Miller and W. Milnor, 2004, Constraint Driven Web Service Composition in METEOR-S, Proceedings of the IEEE SCC.
- 15) Cardoso J, A Sheth, 2003, Semantic e-Workflow Composition, Journal of Intelligent Information Systems(JIIS).
- 16) Keith Decker, Mike Williamson, Katia Sycara, 2000, Matchmaking and Brokering, Proc. 5th Int'l Conf. Multi-Agent Systems, AAAI Press, pp.465-433.