

자동적인 시맨틱 웹 서비스 구성문제를 위한 방법론에 관한 연구

양진혁*, 이강찬**, 김성한**, 민재홍**, 정인정*

*고려대학교 전산학과

**한국전자통신연구원 표준연구센터

e-mail: grjinh@korea.ac.kr, chan@etri.re.kr, sh-kim@etri.re.kr,
jhmin@etri.re.kr, chung@korea.ac.kr

A study on the methodology for the automatic semantic web service composition problem

Jin-Hyuk Yang*, Kang-Chan Lee**, Sung-Han Kim**,
Jae-Hong Min**, In-Jeong Chung*

*Dept of Computer Science, Korea University

**Protocol Engineering Center, Electronics and
Telecommunications Research Institute

요 약

인터넷 사용자들의 기하급수적인 증가와 웹 페이지의 폭발적인 증가로 인하여 정보공유를 위한 인터넷에서 효율적으로 원하는 정보를 발견하고 이용하기에 매우 힘든 상황에 처해있다. 따라서, 이러한 문제점들을 근본적으로 해결하기 위한 노력의 일환으로 기계가 이해하고 추론할 수 있는 시맨틱 웹이 등장하였다. 시맨틱 웹과 관련된 여러 가지 기술들 중 시맨틱 웹 서비스는 사용자에게 현재의 인터넷 환경에서 제공할 수 있는 서비스보다 향상된 고품질의 서비스를 제공하는 것을 목적으로 삼고 있다. 이러한 시맨틱 웹 서비스는 웹 서비스의 발견, 실행 및 구성으로 구성된다. 본 논문에서는 시맨틱 웹 서비스를 자동화하기 위한 노력의 일환으로서 시맨틱 웹에서 웹 서비스를 구성하는 문제에 대하여 언급한다. 시맨틱 웹 서비스 구성문제는 사용자의 요구사항을 충족시키기 위하여 다양한 웹 서비스들을 조합하는 문제이다. 그러나, WSFL, X-LANG 및 BPEL4WS 그리고, DAML-S와 같은 웹 서비스 구성문제에 대한 일련의 노력들에서는 사용자 요구사항에 대한 검증이나 서비스의 품질에 대한 사항들을 확인 및 제공할 수 있는 방법들이 없다. 따라서, 본 논문에서는 시맨틱 웹 서비스 구성문제와 관련된 상기와 같은 문제점들을 해결할 수 있는 방법론을 제시한다. 본 논문에서 제시된 방법론에서는 시맨틱 웹 구성문제를 제약만족문제로 변환함으로써 제약만족문제에 있어 널리 알려진 다양한 알고리즘들을 활용할 수 있는 장점들이 있을 뿐만 아니라 사용자들의 요구사항에 대한 검증과 서비스의 품질을 확인할 수 있는 장점들이 있다.

1. 서론

정보공유를 위하여 제안된 인터넷은 전 세계 각지의 서로 다른 수많은 사용자들이 자신들의 정보를 웹상에 마크업하면서 사용자가 원하는 정보를 효율적으로 발견하고 이용하는 데 많은 불편함과 어려움을 주고 있다. 예를 들어, 정보검색이나 전자상거래를 수행함에 있어 원하는 정보 또는 구입하고자 하는 상품을 검색하는데 있어 그 결과들에 대한 만족감을 사용자에게 제공하지 못하는 실정이다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위한 노력의 일환으로 기계가 이해하고 추론할 수 있는 시맨틱 웹[1]이 등장하였다.

시맨틱 웹과 관련된 여러 가지 기술들 중 시맨틱 웹 서비스는 사용자들에게 편리한 서비스 환경의 제공을 위한

것으로서 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 일례로 WSDL(Web Service Description Language)[18], SOAP(Simple Object Access Protocol)[17] 및 UDDI(Universal Description, Discovery, and Integration)[16]와 같은 언어와 프로토콜을 사용하여 웹 서비스를 제공하는 메커니즘이 좋은 예제라 할 수 있다. 산업계 중심으로 진행되는 상기 노력들과는 다른 접근법으로 학계중심으로 연구가 진행되는 DAML-S(DARPA Agent Markup Language ontology for Services)[4]는 시맨틱 웹 환경에서 웹 서비스 문제를 언급하고 있는 접근법이다. 웹 서비스를 위한 서로 다른 그룹들에서 취하고 있는 다소 상이한 접근법은 상호 보완적인 측면을 가진다. 산업계 중심

의 WSDL, SOAP 및 UDDI 기반의 웹 서비스는 현재 웹 서비스 자동화를 앞당기는 초석으로 활용할 만큼 충분한 구현단계에 이르렀다. 그리고, DAML-S는 현재 인터넷 환경이 아닌 시맨틱 웹 환경에서 온톨로지 기반의 웹 서비스 자동화를 위하여 개발된 것으로서 기존 연구들이 가지지 못하는 잘 정의된 시맨틱스와 훌륭한 이론적인 근거들을 가진다.

자동화된 웹 서비스는 자동적인 웹 서비스 발견, 수행 및 구성을 포함한다[2]. 웹 서비스 구성을 위한 노력의 일환으로는 현재 WSFL(Web Service Flow Language)[19]과 X-LANG[20] 그리고, 이 둘을 합한 개념의 BPEL4WS(Business Process Execution Language for Web Service)[21]와 같은 언어들에 개발 중이다. 그러나, 웹 서비스 구성을 위한 선택, 반복과 같은 기본적인 절차적인 구성요소들을 포함하고 있을 뿐 사용자의 요구와 제약들에 대한 정보를 반영하는 메커니즘과 자동적인 웹 서비스 구성의 결과로 도출되는 값과 관련된 서비스의 질에 대한 보증을 담당하는 기술에 대해서는 아직 언급이 되고 있지 않는 실정이다.

본 연구는 사용자가 원하는 서비스를 자동적으로 수행하기 위해서 서로 다른 많은 웹 서비스들을 효율적으로 구성함에 있어 사용자의 선호와 제약사항들을 충분히 반영하고 결과로서 도출되는 값에 대한 보증을 제공할 수 있는 방법론에 대한 것으로서 다음과 같이 구성된다. 2장에서 현재 인터넷 환경에서의 웹 서비스 기술과 시맨틱 웹 서비스 기술을 비교하고 제약만족문제를 언급한다. 3장에서는 시맨틱 웹 서비스 구성문제를 제약만족문제로 정형화하고 관련된 기술적인 문제점들과 해결책을 제시한다. 마지막으로 4장에서 결론 및 향후과제에 대하여 언급한다.

2. 관련 연구

본 장에서는 현재까지 연구 및 개발된 웹 서비스 자동화를 위한 노력들에 대하여 기존 접근법과 시맨틱 웹 커뮤니티에 의한 접근법을 비교하면서 살펴본다.

2.1 시맨틱 웹 서비스

2.1.1 웹 서비스 발견

현재 상태에서는 UDDI를 통하여 WSDL로 기술된 웹 페이지가 등록이 된다. 그러나, 시맨틱 웹에서는 웹 서비스 발견을 위해서 서비스 프로파일(service profile)을 이용한다. WSDL과 UDDI를 통한 웹 서비스 발견은 tModel[5]을 사용하는 이유로 등록된 서비스들에 대한 참조만을 가지는 반면에 온톨로지 정보로서 표현되는 DAML-S에서는 모든 이용 가능한 웹 서비스의 사용이 가능한 뿐만 아니라 추론의 기능을 수행할 수도 있는 장점을 가진다.

2.2.2 웹 서비스 수행 및 구성

현재 인터넷 환경에서는 WSDL로 기술된 웹 서비스들이 SOAP을 이용하여 수행된다. 그리고, WSFL과 같은 웹 서비스 구성을 위하여 제어 언어들인 WSDL 위에서 작동하고 있다. 그러나, 시맨틱 웹 환경에서는, DAML-S 기반의 언어 사용으로 서비스들을 프로세스들로 간주한다. 모든 프로세스들은 각각의 입력과 출력 값들 및 선행조건들(preconditions)과 영향(effect)들을 가진다. 현재 시맨틱 웹 기반의 DAML-S에서는 웹 서비스들 즉, 프로세스들을 제어하기 위한 'sequence', 'concurrent', 'split' 및 'choice'와 같은 구조물들을 가지고 있다. 그리고, 프로세스 온톨로지 제어를 위한 문제점들은 추후에 보완될 것이다[3,4].

2.1.3 기존 연구들에 대한 보완점

현재 SOAP, UDDI 및 WSFL을 이용한 WSDL과 DAML+OIL로 작성된 웹 서비스를 위한 온톨로지인 DAML-S는 모두 다음과 같은 문제점들을 효율적으로 해결하는 메커니즘들에 대한 언급이 없는 상태이다[5,6].

- 트랜잭션: 웹 서비스의 수행에 있어서 교착상태가 발생한 경우에는 다시 되돌릴 수 있는 메커니즘에 대한 해결이 현재로서는 없다.

- 보안 및 신뢰: 기본 웹 환경 측면에서는 보안과 관련해서는 SOAP 보안 확장(security extensions)에 대한 연구에 대한 필요성이 부각되고 있을 뿐 마땅히 현재 완료된 제안이 없는 상태이다. 또한 신뢰성있는(Reliable) HTTP를 이용에 대한 연구와 함께 신뢰성있는(Reliable) SOAP에 대한 연구의 필요성이 제시되고 있는 상태이다. 그리고, 시맨틱 웹 측면에서는 현재 DAML-S를 Situation Calculus로 전환하고 이를 다시 페트리 넷(Petri Net)으로 변형함으로써 메시지 전달에 대한 확인 및 검증용 할 수 있는 방법론[3]을 소개하고 있다.

- 서비스의 질(Quality of Service: QoS): 현재 QoS에 대해서는 양측 모두 제시된 현안이 없는 상태이다. 단지, 서비스 구성을 위하여 WSFL, X-LANG 및 BPEL4WS가 현재 제안되었으나 서비스의 질에 대한 문제를 다루고 있지는 않다. 이 부분에 대한 설명은 3장에서 다시 자세하게 다루기로 한다.

2.2 제약만족문제(Constraint Satisfaction Problem: CSP)

제약만족문제는 변수들의 집합, 변수들이 취할 수 있는 값의 범위를 정의하는 도메인들의 집합 그리고, 제약사항들의 집합으로 구성된다[7]. 제약사항이란 변수들과 값들 사이에 존재하는 관계를 나타낸다. 제약만족문제의 해는 모든 제약들을 만족하는 변수들에 대한 값들의 할당을 찾는 것이다[7,8,9]. 그러나, 제약사항들이 너무 많은 경우에는 해를 발견하는 것이 불가능할 경우도 발생하는데 이러한 경우를 우리는 over-constrained 제약만족문제라 하고 이는 최대 제약만족문제(Maximal Constraint Satisfaction Problem: MCSP)라 한다.

제약만족문제를 해결하기 위한 알고리즘들로서는 기본적으로 백트래킹(backtracking)방법이 존재한다. 그러나, 쓰레싱(thrashing), 중복적인 수행(redundant work) 및 초기 충돌발견의 부속성(late detection of the conflict)으로 인하여 백점핑(backjumping), 백마킹(backmarking), 백체크(backchecking), 포워드체크(forward checking)과 같은 다양한 알고리즘들이 사용된다[10,11,13]. 고려해야될 제약사항들이 너무 많은 경우인 over-constrained 문제인 최대 제약만족문제를 해결하기 위한 알고리즘으로는 브랜치 앤드 바운드(branch and bound) 방법의 알고리즘이 존재한다. 그리고, 휴리스틱에 기반을 둔 Min-conflict[12]와 같은 보정방법(repair-method)들이 존재한다. 그러나, 이와 같은 보정방법에 기반한 알고리즘은 해를 찾는 과정에서 국부최적(local optima)에 빠질 수 있다. 따라서, 이런 문제점을 해결하기 위하여 랜덤 워크(random walk)[14]방법이나 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing)방법을 사용하기도 하고 타부탐사(tabu search)방법[15]에 기반을 둔 알고리즘을 사용하기도 한다.

3. 시맨틱 웹 서비스 구성문제를 위한 방법론

3.1 동기

다음과 같은 시나리오를 생각해보자. (그림 1)은 시맨틱 웹 서비스에 대한 미래상을 보여주고 있는 참고문헌 [2]에 나오는 시나리오에 대한 결과이다. 사용자가 San

Francisco에서 Monterey로 여행을 계획한다. 그리고, 사용자는 비행시간이 3시간 이하일 경우에는 자동차로 여행하기를 희망하고 미국항공을 이용해야만 하는 제약사항들이 존재한다. (그림 1)에서 화살표 1번은 문제를 질의로 표현한 것이고, 화살표 2번은 출발지에서 목적지까지 시간이 2시간이 걸린다는 결과를 보여준다. 화살표 3번에서 자동차를 준비하고 화살표 4번에서 자동차를 선택하고 마지막으로 화살표 5번에서 호텔을 예약한다.

```

1 1 7- travel ('Bob Chen', '09/02/00', 'San Francisco', 'Monterey', 'DAML').
2 2 Contacting Web Service Broker:
   Request Driving Time (San Francisco) - (Monterey)
   Result 2
3 3 Contacting Web Service Broker:
   Request Car info in (San Francisco)
   Result
   <B>Hertz</B><B>Shuttle to Car Counter</B><B>Economy Car Automati...
   <B>ACR</B><B>Off Airport, Shuttle Provided</B><B>Economy Car Auto...
   <B>Hertz</B><B>Shuttle to Car Counter</B><B>Economy Car Auto...
   <B>FOX</B><B>Off Airport, Shuttle Provided</B><B>Mini Car Autom...
   <B>Hertz</B><B>Off Airport, Shuttle Provided</B><B>Mini Car Au...
   <B>ALL Hertz</B><B>Off Airport, Shuttle Provided</B><B>Economy Ca...
   <B>HOLIDAY</B><B>Off Airport, Shuttle Provided</B><B>Economy Car...
   <B>Hertz</B><B>Off Airport, Shuttle Provided</B><B>Compact C...
4 4 Select
   Hertz (San Francisco Airport), Location: Shuttle to Car Counter, Economy C
   ar Automatic with Air Conditioning, Unlimited Mileage
5 5 Contact Web Service Broker:
   Request Hotel Info in (Monterey)
   Result
   <B>Travelodge</B><B>Monterey, CA</B><B>55 Rooms / 3 Floors</B><B>No...
   <B>Homewood Suites</B><B>Monterey, CA</B><B>47 Rooms / 2 Floors</B>...
   <B>Washington Series</B><B>Monterey, CA</B><B>52 Rooms</B><B>Hot A...
   <B>Ramada Inn</B><B>Monterey, CA</B><B>47 Rooms</B><B>Not Availabl...
   <B>Best Western Intl</B><B>Monterey, CA</B><B>43 Rooms / 3 Floo...
   <B>Hotel</B><B>Monterey, CA</B><B>52 Rooms / 2 Floors</B><B>Hot A...
   <B>Village Lodge</B><B>Monterey, CA</B><B>55 Rooms / 2 Floors</B>...
   <B>Best Western Intl</B><B>Monterey, CA</B><B>34 Rooms / 2 Flo...
    
```

(그림 1) 시맨틱 웹 서비스 결과에 대한 보기

위와 같은 예제에서 화살표 3번의 경우에 있어서 사용자의 제약사항들과 선호하는 사항들이 너무 많은 경우에는 그 결과가 없을 수도 있는 상황이 발생할 수 있다. 그리고, 사용자 요구사항에 대한 결과들 중 사용자에게 최선의 결과를 제공할 경우에 결과들에 대한 비교측정을 어떻게 수행할 것인가에 대한 문제점이 존재한다.

우리는 첫 번째 경우를 over-constrained 상황이라고 정의하고 이 문제를 MCSP 문제로 인식한다. 그리고, 두 번째 경우는 최적화 문제이지만 동적으로 변화하는 공간에서 최적화 문제를 해결하는 것은 많은 문제점들이 동반되는 관계로 제한시간 이내에 획득할 수 있는 근사해를 구하는 문제로 인식한다.

3.2 제약만족문제로의 변환

제약만족문제는 실생활에서 발생할 수 있는 스케줄링 문제와 같은 조합문제를 해결하는 데 매우 우수한 기능을 수행한다. 따라서, 우리는 본 절에서 조합문제의 특성을 가지는 시맨틱 웹 서비스 구성문제를 다음과 같은 제약만족문제로 정형화한다.

제약만족문제는 다음과 같이 구성된다: $P=(X, D, C)$. 우리는 변수들의 집합 X , 값들의 도메인 D 및 제약사항들의 집합 C 를 다음과 같이 정의한다.

· X : DAML-S 온톨로지에서 기술되고있는 서비스 모델들의 집합, $X=\{AP_1, AP_2, \dots, AP_n\}$

DAML-S에서 서비스 모델은 원자 프로세스(atomic process), 단일 프로세스(simple process) 및 복합 프로세스(composite process)로 분류된다[3,4]. 원자 프로세스는 사용자에게 의해서 즉시 호출되어 결과를 반환할 수 있는 서비스 모델을 의미한다.

· D : 서비스 모델들이 가지는 입력력 값들과 선행조건(preconditions) 및 영향들(effects), $D=(D_1, D_2, \dots, D_n)$

상기 4개의 속성들에 대한 도메인 범위의 명시는 DAML+OIL에서 정의할 수 있는 로직 언어의 온톨로지에서 잘 정의된 포뮬러들의 클래스의 하부 클래스(subclass)

들에서 명시될 것이다. 즉, DAML-S에서는 상기 4개의 속성들에 대한 값의 범위를 DAML+OIL에서 정의할 수 있는 상위 온톨로지인 'THING'에서 카디널리티와 같은 속성을 정의할 것으로 기대된다[4].

· C : 웹 서비스의 QoS 측도들과 사용자의 요구사항들에 대한 제약조건들, $C=(C_1, C_2, \dots, C_n)$

제약사항들에서는 사용자가 원하는 제약사항들과 선호사항들을 포함한다. 뿐만 아니라, 현재 웹 서비스에서 논의되고있는 서비스의 질에 대한 다음과 같은 측도들을 포함한다. 웹 서비스가 명시해야 할 서비스 품질에 대한 측도로서는 가용성(availability), 접근성(accessibility), 통합성(integrity), 성능(performance), 신뢰성(reliability), 준수성(regulatory) 및 보안(security)을 고려하고 있다[22].

3.3 기타 관련 문제점들

본 절에서는 시맨틱 웹 서비스를 수행하는 단계적인 절차들에서 발생할 수 있는 문제점들과 이들에 대한 해결점들에 대하여 언급한다.

3.3.1 사용자 요구사항의 표현

사용자가 웹 서비스를 수행하기 위해서는 자신의 요구사항을 표현하는 방법이 필요하다. 현재 인터넷 환경에서는 .NET[23]과 같은 툴들이 제공되긴 하지만 개발자들 중심으로 제공된 이유로 일반 사용자들이 사용하기에는 매우 불편하다. 이와 같은 문제는 사용자에게 브라우징 환경을 제공함으로써 간단하게 해결할 수 있다.

3.3.2 사용자 요구사항을 반영하는 복합 프로세스의 원자 프로세스들로의 분할

이 문제는 현재로서 전문가의 도움 없이는 매우 힘든 일이다. 그러나, 사용자에게 원하는 서비스를 제공하기 위하여 원자 프로세스들을 보므로서 제공하고 사용자가 이를 선택할 수 있는 방법을 취함으로써 간단하게 해결할 수 있다.

3.3.3 원자 프로세스의 식별

현재의 인터넷 웹 서비스에서는 UDDI가 서비스를 분류하여 저장하고 있다. 그러나, 시맨틱 웹 환경의 DAML-S에서는 서비스 프로파일에서 분류와 서비스 검색에 대한 정보를 제공하고 있다.

3.3.4 원자 프로세스들의 순서화(sequencing)

실제 CSP 뿐만 아니라 MCSP에서 변수들과 변수들이 취할 수 있는 값들을 순서화하는 것은 전체 성능에 매우 큰 영향력을 가진다. 따라서, 웹 서비스들을 순서화시키는 것은 또한 매우 중요한 일이다. 우리는 웹 서비스들을 순서화시킬 때 다음과 같은 휴리스틱을 사용한다.

휴리스틱: HTS(Heuristic using Topological Sorting)

프로세스 A의 output과 프로세스 B의 입력에 대한 속성들이 같을 경우 우리는 A를 B 앞에 위치시킨다.

우리는 상기와 같은 휴리스틱을 사용함으로써 위상정렬을 수행할 수 있다. 이는 CSP에서 제약만족 검사를 위하여 알고리즘이 수행하는 수많은 제약검사를 줄일 수 있는 효과가 있다.

3.3.5 검증(verification) 및 증명(proof)

현재 DAML-S를 위한 노력의 일환으로 DAML-S를

Situation Calculus로 변환하여 페트리 넷(Petri Net)으로 표현함으로써 웹 서비스 구성에 대한 시뮬레이션뿐만 아니라 검증할 수 있는 단계를 제공한다[3]. 이와 비슷하게 우리는 주어진 프로세스들과 프로세스들 사이의 관계를 제약사항으로 표현하는 제약 그래프(constraint graph)로 표현할 수 있다. 표현된 제약 그래프에서 우리는 사용자가 구성한 웹 서비스의 실행과정에 대한 검증 및 증명할 수 있다. 증명에 대한 QoS의 보장은 QoS로 정의되는 제약조건들의 합에 대한 함수로서 표현 가능하다.

4. 결론 및 향후과제

시맨틱 웹은 컴퓨터가 이해하고 추론할 수 있는 근본환경을 제공한다. 이러한 환경 위에서 우리는 현재 인터넷에서는 구현하기 매우 힘들거나 거의 불가능한 고차원의 서비스를 사용자에게 제공할 수 있다. 이러한 취지에서 시맨틱 웹 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 위하여 WSFL, X-LANG, BPCL4WS 및 DAML-S와 같은 기존 연구들이 진행되었거나 진행중이지만 여전히 사용자 요구사항에 대한 확인과 보증에 대한 메커니즘은 포함되지 않고 있다. 따라서, 우리는 본 논문에서 시맨틱 웹에서 제공하는 기능들 중의 하나인 로직에 대한 증명을 위한 방법론 개발의 노력으로써 조합문제를 해결하는데 매우 훌륭한 방법론인 제약만족문제 해결방법론을 적용하여 웹 서비스 구성문제에 대한 확인과 보증을 위한 방법론을 제시하였다. 그러나, 이미 언급하였듯이 제시된 방법론에서 도메인들의 범위를 온톨로지에서 표현하는 세부적인 메카니즘과 같은 여전히 고려 및 해결되어야 할 사항들이 존재한다.

참고문헌

[1] Hendler, J., "Agents and the semantic web", IEEE Intelligent Systems, Vol. 16 Issue: 2, Page(s): 30 -37, March-April, 2001
 [2] McIlraith, S.A., Son, T.C., Honglei Zeng, "Semantic web service", IEEE Intelligent Systems, Vol. 16 Issue: 2, Page(s): 46 -53, March-April, 2001
 [3] Srinil Narayanan, Sheila A. McIlraith, "Simulation, Verification and Automated Composition of Web Services", Proceedings of the eleventh international conference on World Wide Web, pp 77-88, May 2002
 [4] The DAML Services Coalition, "DAML-S: Web Service Description for the Semantic Web", The First International Semantic Web Conference (ISWC), June, 2002
 [5] Curbera, F., Duftler, M., Khalaf, R., Nagy, W., Mukhi, N., Weerawarana, S., "Unraveling the Web services web: an introduction to SOAP, WSDL, and UDDI", IEEE Internet Computing, Volume: 6 Issue: 2, Page(s): 86-93, March-April 2002
 [6] Eric Newcomer, "Understanding web services: XML, WSDL, SOAP, and UDDI", Addison wesley, 2002
 [7] Michael Jampel, "Constraint Logic Programming", BYTE, 1995
 [8] Roman Bartak, "Constraint programming: in pursuit of the holy grail", In Proceedings of WDS99 (invited lecture), Prague, June 1999
 [9] Bartak, R., "Theory and Practice of Constraint Propagation", In Proceedings of CPDC2001 (invited lecture), Gliwice, Poland, June 2001
 [10] V. Kumar, "Algorithms for Constraint-Satisfaction Problems: A Survey," AI Magazine 13(1):32-44, 1992

[11] David McAllester, "Constraint satisfaction search", Lecture Notes, 1992
 [12] S. Minton, B.D. Johnston and P. Laird, "Minimizing conflicts: a heuristic repair method for constraint satisfaction and scheduling problems", Artificial Intelligence, Vol. 58(1-3), pp. 161-206, 1992
 [13] E. Tsang, "Foundations of constraint satisfaction", Academic Press, 1993
 [14] Richard Wallace, "Analysis of heuristic methods for partial constraint satisfaction problems", In principles and practice of constraint programming(CP-1996), pp. 482-496, 1996
 [15] Philippe Galinier, Jin-kao Hao, "Tabu search for maximal constraint satisfaction problems", Principles and practice of constraint programming, 1997
 [16] UDDI technical white paper, http://www.uddi.org/pubs/Iru_UDDI_Technical_White_Paper.pdf
 [17] W3C SOAP specification, www.w3.org/2000/xp
 [18] WSDL 1.1 specification www.w3.org/TR/wSDL.html
 [19] Web Services Flow Language(WSFL 1.0), www-4.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSFL.pdf
 [20] X-Lang, www.gotdotnet.com/team/xml_wsspecs/clang-c/
 [21] Frank Leymann, "Business processes in a web services world", <http://www-106.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-bpelwp/>
 [22] Anbazhagan Mani, Arun Nagarajan, "Understanding quality of service for Web services", <http://www-106.ibm.com/developerworks/library/ws-quality.html>
 [23] Bertrand Meyer, ".NET is coming", Computer, Vol. 34 Issue: 8, page(s): 92 -97, Aug. 2001