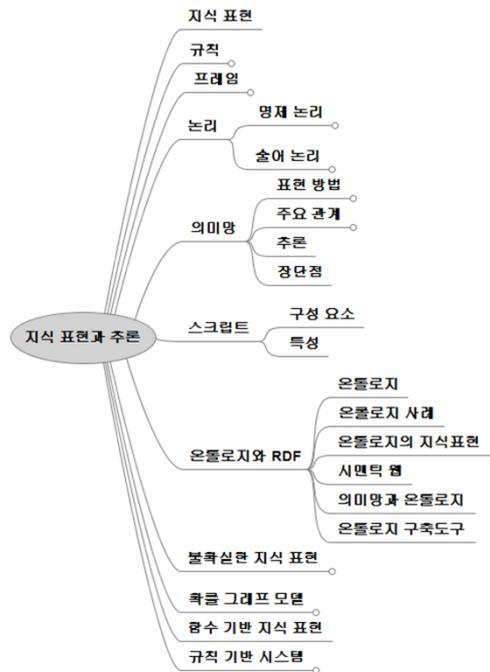
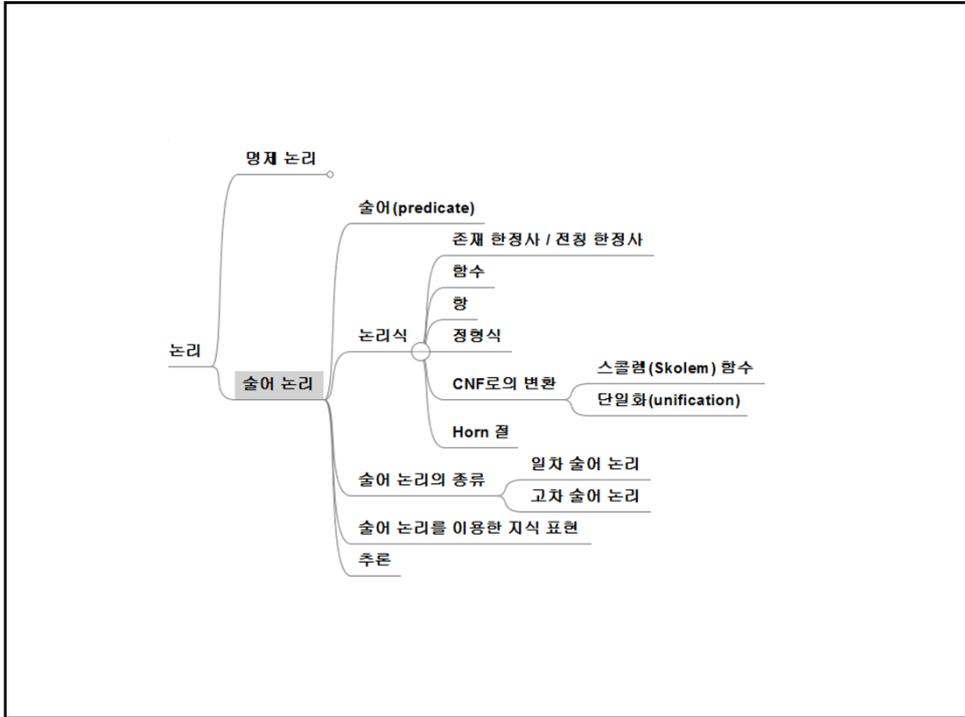


지식표현과 추론

Part II

충북대학교 소프트웨어학과
이건명





4.2 술어 논리

- ❖ 술어 논리(predicate logic)
 - 명제의 내용을 다루기 위해 변수, 함수 등을 도입하고 이들의 값에 따라 참, 거짓이 결정되도록 명제 논리를 확장한 논리
 - 술어(述語, predicate)
 - 문장의 '주어+서술어'형태에서 서술어에 해당
 - 대상의 속성이나 대상 간의 관계를 기술하는 기호
 - 참(T) 또는 거짓(F) 값을 갖는 함수
 - 예.
 - Student(John)
 - Friend(John, Mary)
 - Father(Adam, x)

술어 논리의 구문

❖ 술어 논리

- **존재 한정사**(existential quantifier) \exists 와 **전칭 한정사**(universal quantifier) \forall 사용

- 변수의 범위를 고려한 지식을 표현
- $\exists x \text{ Friend}(\text{John}, x)$
 - 'John은 친구가 한 명은 있다'
- $\forall x \exists y \text{ Friend}(x, y)$
 - '누구나 친구가 한 명은 있다'

술어 논리의 구문

❖ 함수(function)

- 주어진 인자에 대해서 참, 거짓 값이 아닌 일반적인 값을 반환
- 술어나 다른 함수의 인자로 사용

$$f(x) \quad g(x, y)$$

❖ 항(term)

- 함수의 인자가 될 수 있는 것
- 항이 될 수 있는 것 : 개체상수, 변수, 함수

(1) 개체상수, 변수는 항이다.

(2) t_1, t_2, \dots, t_n 이 모두 항이고, f 가 n 개의 인자를 갖는 함수 기호일 때,

$f(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 은 항이다.

(3) (1)과 (2)에 의해 만들어질 수 있는 것만 항이다.

술어 논리의 구문

❖ 술어 논리식에 대한 정형식

- (1) t_1, t_2, \dots, t_n 이 모두 항이고, p 가 n 개의 인자를 갖는 술어 기호일 때, $p(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 은 정형식이다.
- (2) p 와 q 가 정형식이면, 논리 기호를 사용하여 구성되는 논리식 $\neg p$, $p \vee q$, $p \wedge q$, $p \rightarrow q$, $p \equiv q$ 도 정형식이다.
- (3) $p(x)$ 가 정형식이고, x 가 변수일 때, $\forall x p(x)$, $\exists x p(x)$ 는 정형식이다.
- (4) (1), (2), (3)에 의해 만들어질 수 있는 것만 술어 논리의 정형식이다.

$$\forall x \forall y \text{Horse}(x) \wedge \text{Dog}(y) \rightarrow \text{Faster}(x,y)$$

$$\exists y \text{Greyhound}(y) \wedge (\forall z \text{Rabbit}(z) \rightarrow \text{Faster}(y,z))$$

$$\text{Horse}(\text{Harry})$$

$$\text{Rabbit}(\text{Ralph})$$

$$\forall y \text{Greyhound}(y) \rightarrow \text{Dog}(y)$$

$$\forall x \forall y \forall z \text{Faster}(x,y) \wedge \text{Faster}(y,z) \rightarrow \text{Faster}(x,z)$$

술어 논리의 종류

❖ 일차 술어논리(first-order predicate logic, FOL)

- 변수에만 전칭 한정사와 존재 한정사를 쓸 수 있도록 한 술어논리
 - $\exists x P(x)$

❖ 고차 술어논리(high-order predicate logic)

- 변수뿐만 아니라 함수, 술어기호 등에 대해서 전칭 한정사와 존재 한정사를 쓸 수 있도록 한 술어논리
 - $\exists S S(x)$
 - $\exists g \forall x (f(x) = h(g(x)))$

술어 논리의 지식표현

❖ 술어 논리를 이용한 지식 표현

- (a) Whoever can read is literate. (읽을 수 있으면 문맹이 아니다)
- (b) Monkeys are not literate. (원숭이는 문맹이다)
- (c) Some monkeys are intelligent. (어떤 원숭이는 지능적이다)
- (d) Some who are intelligent cannot read. (지능적이어도 문맹일 수 있다) ← 증명

$$(a) \forall x [CanRead(x) \rightarrow Literate(x)]$$

$$(b) \forall x [Monkey(x) \rightarrow \neg Literate(x)]$$

$$(c) \exists x [Monkey(x) \wedge Intelligent(x)]$$

$$(d) \exists x [Intelligent(x) \wedge \neg CanRead(x)]$$

술어 논리의 추론

❖ 술어 논리식의 CNF로의 변환 과정

1. 전칭 한정사와 존재 한정사를 논리식의 맨 앞으로 끌어내는 변환

2. 전칭 한정사에 결합된 변수

- 임의의 값 허용

- 전칭 한정사만 제거

$$\forall x, P(x) \Leftrightarrow P(x)$$

3. 존재 한정사에 결합된 변수

- 대응되는 술어 기호를 참(T)으로 만드는 값을 변수에 대응시킴

- 스킨함수(Skolem function)

- 존재 한정사에 결합된 변수를 해당 술어의 전칭 한정사에 결합된 다른 변수들의 새로운 함수로 대체

$$\forall x \exists y [P(x) \wedge Q(x, y)] \Leftrightarrow \forall x [P(x) \wedge Q(x, s(x))]$$

- $s(x)$

- » $Q(x, s(x))$ 를 어떤 x 에 대해서도 참으로 만드는 마법의 함수(magic function)

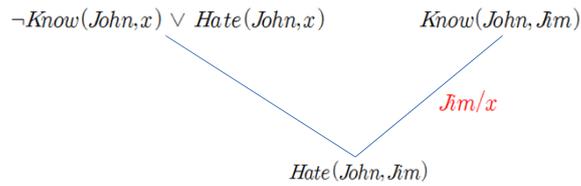
- 다른 변수와 함께 나타나지 않는 존재 한정사에 결합된 변수

$$\exists x P(x) \Leftrightarrow P(a)$$

술어 논리의 추론

❖ 단일화(unification) 과정

- 논리융합(resolution)을 적용할 때는 대응되는 리터럴이 같아지도록, 변수의 값을 맞춰주는 과정



술어 논리의 추론

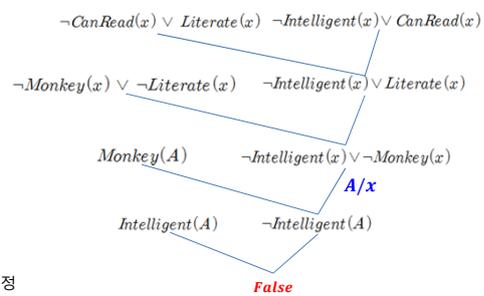
❖ 술어 논리로 지식의 증명

- (a) $\forall x[CanRead(x) \rightarrow Literate(x)]$
- (b) $\forall x[Monkey(x) \rightarrow \neg Literate(x)]$
- (c) $\exists x[Monkey(x) \wedge Intelligent(x)]$
- (d) $\exists x[Intelligent(x) \wedge \neg CanRead(x)]$ ← 증명

■ 논리곱 형태로 변환

- $\neg CanRead(x) \vee Literate(x)$
- $\neg Monkey(x) \vee \neg Literate(x)$
- $Monkey(A)$
- $Intelligent(A)$
- $\neg Intelligent(x) \vee CanRead(x)$

(d)를 논리융합 논박을 이용하여 증명하기 위해 부정



(d)를 부정하여 모순이 발생하므로, (d)가 참임

논리 프로그래밍 언어

❖ Horn 절 (Horn clause)

- 논리식을 논리합의 형태로 표현할 때, $\neg A(x) \vee \neg B(x) \vee C(x)$ 와 같이 긍정인 리터럴을 최대 하나만 허용

❖ Prolog

- Horn 절만 허용하는 논리 프로그래밍 언어

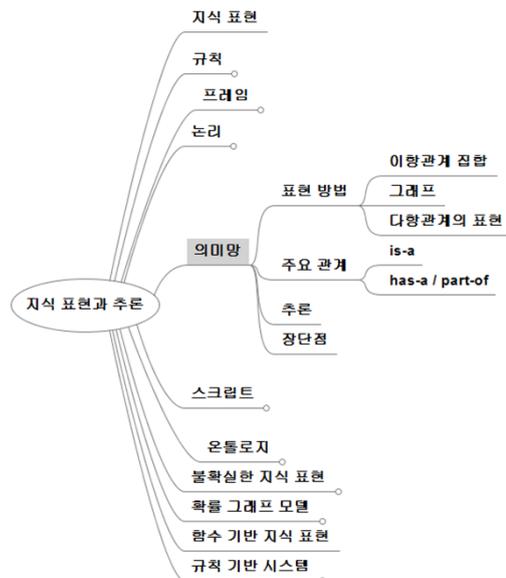
```

father(noah, shem).
father(noah, ham).
father(shem, elam).
father(shem, arphaxad).
father(arphaxad, caina).
grandfather(X,Y) :- father(X,Z), father(Z,Y).
:- grandfather(X,Y).
    
```

- 백트래킹(backtracking)을 이용하여 실행



5. 의미망



의미망

❖ 의미망에서 사용되는 관계(relationship)

▪ is-a

- 상위 클래스와 하위 클래스 관계(예, is-a(조류,동물)), 또는 클래스와 객체의 관계(예, is-a(트위티,종달새))를 나타내어 계층 관계 표현
- 상위 계층의 속성을 상속
- 추이적(transitive) 관계 만족

$$\text{is-a}(X,Y) \wedge \text{is-a}(Y,Z) \rightarrow \text{is-a}(X,Z).$$

$$\text{is-a}(\text{펭귄,조류}) \wedge \text{is-a}(\text{조류,동물}) \rightarrow \text{is-a}(\text{펭귄,동물})$$

▪ has-a

- 전체-부분 관계
- part-of와 역관계
 - has-a(X,Y)이면 part-of(Y,X) 성립
- 추이적 관계 만족

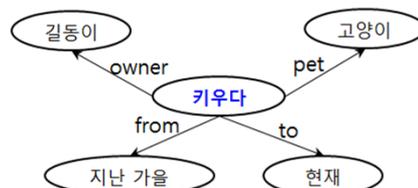
$$\text{has-a}(X,Y) \wedge \text{has-a}(Y,Z) \rightarrow \text{has-a}(X,Z).$$

$$\text{part-of}(X,Y) \wedge \text{part-of}(Y,Z) \rightarrow \text{part-of}(X,Z).$$

의미망

❖ 다항 관계를 이항 관계로 전개하여 표현한 의미망

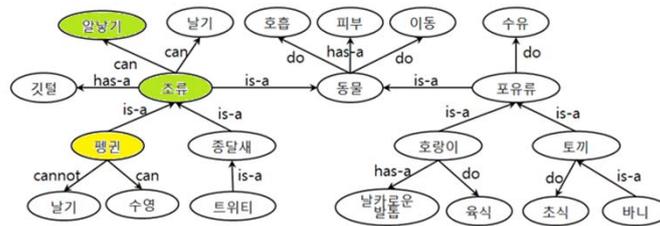
- 의미망은 이항 관계만을 표현
- 다항 관계는 "관계(relationship)"을 "객체(object)"로 간주하여 표현
 - 사물화(reification)
- 예. 길동이는 지난 가을부터 현재까지 고양이를 키우고 있다



의미망의 추론

❖ 의미망에서 추론

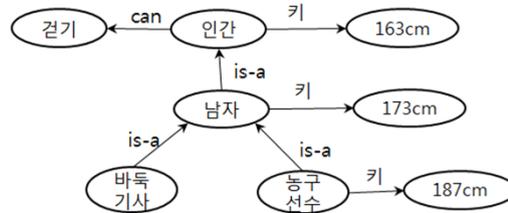
- 상속(inheritance)을 이용
- 질문에 대한 의미망과 지식을 나타내는 의미망을 비교
- 질문 예. '펭귄은 알을 낳는가?'
 - can(펭귄,알날기)에 해당
 - is-a 관계의 간선을 따라 조류 노드로 이동
 - can(조류, 알날기)가 있으므로, 질문의 답은 참



의미망의 추론

❖ 의미망에서 추론

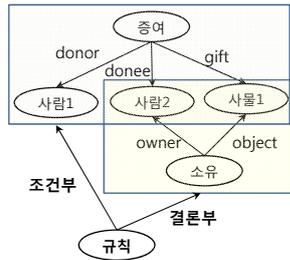
- 디폴트값(default value, 기본값)을 이용한 추론
- 상속 관계 이용
- 예. 바둑 기사의 키는?



의미망의 추론

❖ 의미망에서 추론

- 주어진 지식으로부터 새로운 사실을 이끌어내는 추론도 가능
- 규칙의 의미망 표현
 - 예. 사람1이 사람2에게 사물1을 주면, 사람2는 사물1를 소유하게 된다

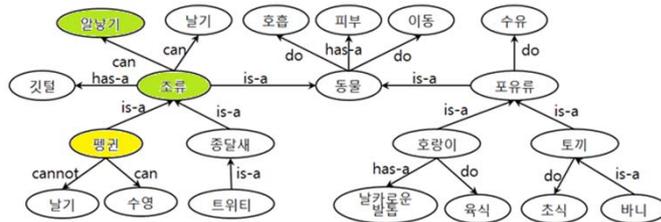


- 주어진 사실: 철수가 영희에게 반지를 주었다
 - » 사람1=철수, 사람2=영희, 사물1=반지
 - » 추론 결과: 영희가 반지를 가지고 있다

의미망과 프레임

❖ 의미망의 프레임으로의 변환

- 노드별로 프레임 생성
- 노드에서 나가는 간선들을 슬롯(slot)으로 구성



frame-name	맹금
frame-type	Class
is-a	조류
can	수영
cannot	날기

frame-name	조류
frame-type	Class
is-a	동물
can	날기 알날기
has-a	깃털

의미망

❖ 의미망 표현의 장점

- 지식을 시각적으로 표현할 수 있어, 직관적 이해 용이
- 노드 추가 또는 변경으로 비교적 쉽게 지식의 추가 및 변경 가능
- 개념의 계층관계를 정의하여 속성의 상속 관계 지정 가능
- 복잡한 지식을 구조화하여 표현 가능

❖ 의미망 표현의 단점

- 지식의 양이 많아지면 관리 복잡
- 개념이나 관계를 임의로 정의하기 때문에 통일성이 부족
- 공유나 재사용에 대한 고려 없음
- 논리적 결합 관계나 인과 관계를 기술하려고 하면 and, or, implies와 같은 링크 도입 필요
 - 일관성을 떨어뜨리고 추론과정을 복잡
- 기본적으로 정적인 지식의 표현
 - 추론 과정에서 동적으로 지식의 내용을 바꾸려면 그래프를 동적으로 바꿀 수 있도록 해야 함

6. 스크립트

❖ 스크립트(script)

- 일반적으로 발생할 수 있는 전형적인 상황에 대한 절차적 지식을 일목요연하게 표현
- 전형적인 상황에서 일어나는 일련의 사건(event)을 시간적 순서를 고려하여 기술하는 프레임과 같은 구조의 지식 표현
- 구성요소
 - 트랙(track)
 - 어떤 스크립트에서 발생할 수 있는 일련의 사건들이 변형된 형태 식별자
 - 역할자(role)
 - 스크립트에 관련된 사람 및 대상
 - 속성(props)
 - 사건 진행에 관련된 대상에 대한 정보
 - 진입 조건(entry condition)
 - 스크립트에 기술된 사건들이 일어나기 전에 만족되어야 하는 전제조건
 - 장면(scene)
 - 실제 일어나는 일련의 사건
 - 결과 조건(result)
 - 스크립트의 장면에 있는 사건들이 일어난 이후에 만족되는 조건

스크립트

❖ 식당중에서 패스트푸드 식당의 상황을 표현한 스크립트.

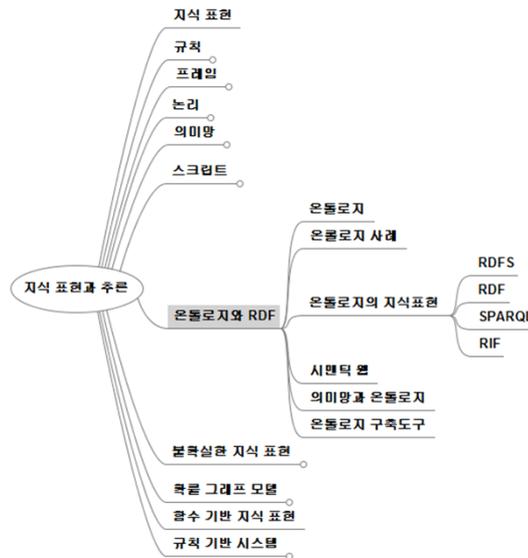
스크립트 이름	식당
트랙(track)	패스트푸드 식당
역할자(roles)	고객(C), 점원(S)
속성(props)	카운터, 쟁반, 음식, 돈, 냅킨, 소금/후추/시럽/빨대
진입조건 (entry condition)	고객이 배가 고프다. 고객은 돈이 있다.
장면 (scenes)	장면 1: 입장 고객이 식당에 들어선다. 고객은 카운터에서 줄을 서서 기다린다. 고객은 벽에 있는 메뉴를 보고, 주문할 것을 결정한다.
	장면 2: 주문 고객이 점원에게 주문을 한다. 점원이 주문한 것을 쟁반에 올려 놓는다. 고객은 점원에게 음식값을 지불한다.
	장면 3: 식사 고객은 소금/후추/냅킨/빨대 등을 집는다. 고객은 쟁반을 받아들고 빈자리에 가서 앉는다. 고객은 음식을 빨리 먹는다.
	장면 3-1(선택적) : 들고 가지(take-out) 고객이 음식을 가지고 나간다.
장면 4: 퇴장 고객이 식탁을 치운다. 고객이 쓰레기통에 버린다. 고객이 식당을 나간다.	
결과 조건 (results)	고객은 더 이상 배고프지 않다. 고객의 돈이 줄었다. 고객은 만족스럽다. (선택적) 고객은 만족스럽지 못하다. (선택적)

고객이 식당에 들어오면 맨 먼저 뭘 하는가?

누가 돈을 지불하는가?

식사후 식당을 나가기 전에 뭘 하는가?

7. 온톨로지와 RDF



온톨로지와 RDF

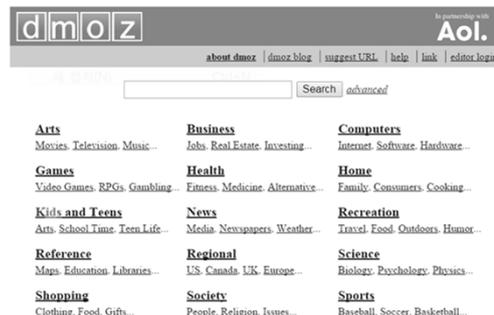
❖ 온톨로지(ontology)

- 철학에서 **존재론**(存在論)을 가리키는 말
- 어떤 영역의 **지식**을 공유하고 **재사용**할 수 있도록 **해당 영역의 개념과 관계**를 나타내는 **어휘**를 정의하고 이를 이용해 **지식**을 표현해 놓은 것
- 영역(domain)에 있는 **개념**, 개념에 대한 **특성** 및 **속성**, 이들 특성과 속성에 대한 **제약조건**, 영역에 있는 일부 **개체**에 대한 정보가 기술(記述)
- 영역에 대한 **공통된 어휘**(vocabulary) 사용
- 영역에 대한 **공통된 이해** 지원
- 서로 간 토의를 통해 **합의**를 이룬 것을 표현
- **컴퓨터**에서 다룰 수 있는 형태로 **정형화**하여 표현

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 사례

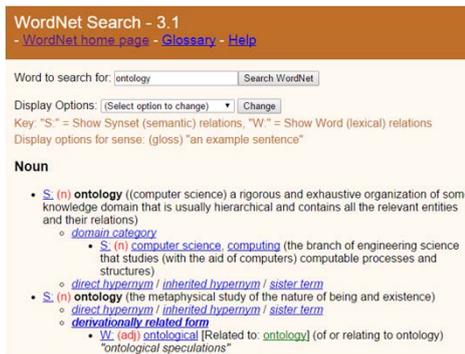
- Amazon.com의 온라인 쇼핑 카탈로그
- **dmoz**(Directory of Mozilla, www.dmoz.org)
 - 분야별로 정리한 디렉토리 서비스



온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 사례 – cont.

- UNSPSC(United Nations Standard Products and Services Code)
 - 제품 및 서비스 용어
- WordNet(wordnet.princeton.edu)
 - 영어 단어의 어휘목록과 어휘목록 사이의 다양한 의미 관계를 기록



온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 사례 – cont.

- UMLS(Unified Medical Language System)
 - 의료영역의 여러 용어체계를 총괄
- SNOMED-CT(Systematized Nomenclature of Medicine - Clinical Terms)
 - 의료용어, 유사어, 코드
- LOINC(Logical Observation Identifiers Names and Codes)
 - 병원 검사 명칭 및 임상 용어 표준 체계
- GO(Gene Ontology)
 - 유전자와 유전자 산물
- FOAF (Friend of a friend)
 - 개인의 활동 및 다른 사람과의 관계 기술
- SIOC (Semantically-Interlinked Online Communities Project)
 - 블로그, 메일링 리스트, 포럼 등을 서로 연결하기 위한 정보 기술

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 사례 - cont.

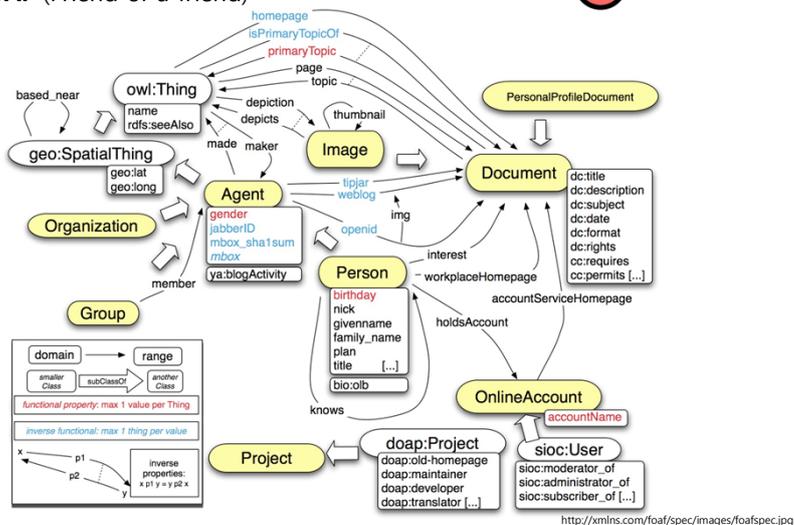
- 의료 용어 온톨로지 SNOMED-CT의 감기(common cold)에 대한 항목

<p>Parent(s): (Select a parent to make it the "Current Concept".) Viral upper respiratory tract infection (disorder)</p> <p>Current Concept: Common cold (disorder)</p> <p>Child(ren): (N=0) (Select a child to make it the "Current Concept".)</p>	<p>Current Concept: Fully Specified Name: Common cold (disorder) ConceptId: 82272006</p> <p>Defining Relationships: Is a Viral upper respiratory tract infection (disorder) Causative agent Virus (organism) Finding site Upper respiratory tract structure (body structure) Pathological process Infectious process (qualifier value) <small>This concept is primitive.</small></p> <p>Qualifiers: View Qualifying Characteristics and Facts</p> <p>Descriptions (Synonyms): Fully Specified Name: Common cold (disorder) Preferred: Common cold Synonym: Acute coryza Synonym: Acute nasal catarrh Synonym: Acute rhinitis Synonym: Infective rhinitis Synonym: Acute nasopharyngitis Synonym: Infective nasopharyngitis Synonym: Head cold Synonym: Acute infective rhinitis Synonym: Cold Synonym: Acute nasopharyngitis, NOS Synonym: Infective nasopharyngitis, NOS</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 사례 - cont.

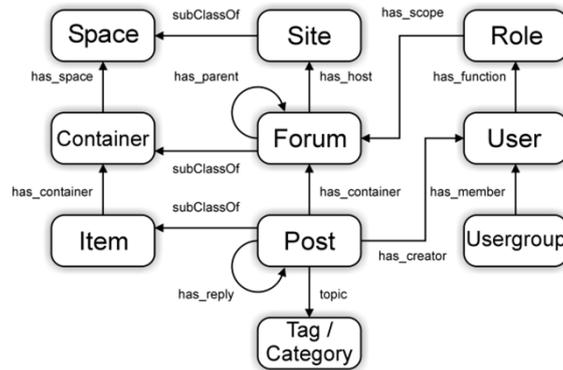
- FOAF (Friend of a friend)



온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 사례 - cont.

- SIOC (Semantically-Interlinked Online Communities Project)



<https://www.w3.org/TR/hcls-sioc/>

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 지식표현

- 의미망과 비슷하게 방향성이 있는 그래프로 표현 가능
- RDFS(Resource Description Framework Schema)
 - RDF를 사용하여 온톨로지를 표현할 때 사용할 관련 어휘를 정의한 온톨로지
- RDF(Resource Description Framework)
 - 자원에 대한 메타데이터(metadata, 데이터에 대한 데이터)를 기술하는 명세(specification)

온톨로지와 RDF

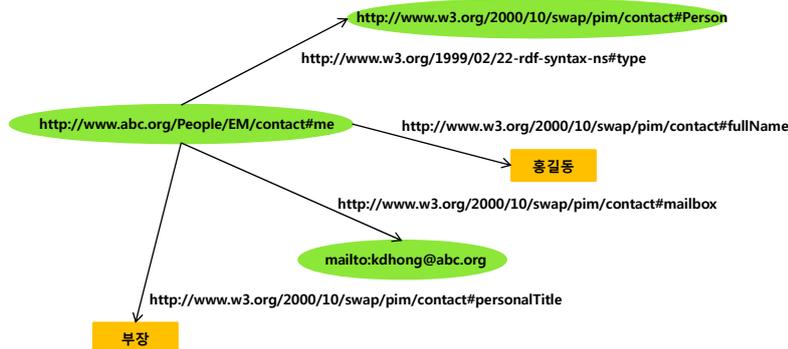
❖ 온톨로지의 지식표현

▪ RDF(Resource Description Framework)

• 특정 대상을 기술하는 문장(sentence)

- '주어+서술어+목적어'로 파악
- 자원(대상; resource) - 속성(특징, 주어와 목적어 관계, attribute) - 값(value)로 분해

• abc 기관의 이메일이 kdhong@abc.org인 홍길동 부장이라는 사람



온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 지식표현

▪ RDF(Resource Description Framework) – Conf.

• 튜플 형태의 표현

<http://www.abc.org/People/EM/contact#me>, <http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#fullName>, "홍길동"
<http://www.abc.org/People/EM/contact#me>, <http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#mailbox>,
<mailto:kdhong@abc.org>
<http://www.abc.org/People/EM/contact#me>, <http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#personalTitle>, "부장"
<http://www.abc.org/People/EM/contact#me>, <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type>,
<http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#Person>

• XML 형태의 표현

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:contact="http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#">
  <contact:Person rdf:about="http://www.abc.org/People/EM/contact#me">
    <contact:fullName>홍길동</contact:fullName>
    <contact:mailbox rdf:resource="mailto:kdhong@abc.org"/>
    <contact:personalTitle>부장</contact:personalTitle>
  </contact:Person>
</rdf:RDF>
    
```

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 지식표현

▪ SPARQL

- RDF 형태로 저장된 데이터에 대한 질의어
- SQL 유사한 문법

PREFIX contact: <http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#>

PREFIX rdf: < http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

SELECT ?name ?email

WHERE { ?person **rdf:type** **contact:Person**.
 ?person **contact:name** ?name.
 ?person **contact:mbox** ?email. }

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 지식표현

▪ RIF (Rule Interchange Format)

- 규칙을 정의하고 교환하기 위한 규약

Prefix(ex <http://example.com/2008/prd1#>)

(* **ex:rule_1** *)

Forall ?customer ?purchasesYTD (

If And (?customer#*ex:Customer*

 ?customer[**ex:purchasesYTD**->?purchasesYTD]

External(**pred:numeric-greater-than**(?purchasesYTD 5000)))

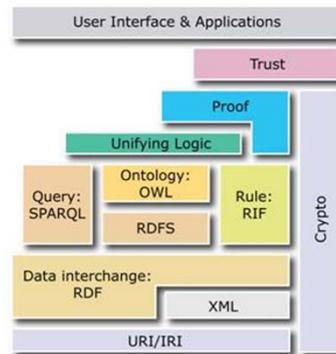
Then Do (**Modify**(?customer[**ex:status**->"Gold"])))

당해년도 누적 구매금액이 \$5,000이상이면 "Gold" 등급으로 조정

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지의 활용

- 시맨틱 웹(semantic web)
 - 웹의 데이터를 소프트웨어 에이전트가 이해하여 지능적으로 활용할 수 있도록 하는 것
 - 웹의 처음 설계한 Tim Berners-Lee가 주창한 아이디어
 - 의미있는 태그(tag)를 정의하여 문서를 기술하기 위해 XML 사용
 - 태그 및 데이터의 의미 해석을 위해 RDF 사용
 - 온톨로지 구축을 통해 태그 및 메타데이터의 의미 해석



온톨로지와 RDF

❖ 의미망과 온톨로지

- 그래프 구조를 이용 지식 모델링
- 의미망
 - 대상, 관계 등의 표현에 사용되는 용어가 임의적
 - 통일된 표현 관련 규정 부재
- 온톨로지
 - 다른 시스템과 공유와 상호운용성(interoperability)를 위해 명확한 지침에 따라 표현
 - 구축된 정보 및 지식의 재사용에 관심

온톨로지와 RDF

❖ 온톨로지 구축 도구

▪ Protégé 등

- 지식 획득 및 표현을 위한 GUI 기반의 오픈 소스 온톨로지 편집기

