

Reprezentacja wiedzy i wnioskowanie: wprowadzenie, sieci semantyczne, ramy

Agnieszka Ławrynowicz

1 grudnia 2016

Notatki do wykładu z przedmiotu Sztuczna Inteligencja na kierunku Informatyka na Politechnice Poznańskiej, dotyczącego wprowadzenia do reprezentacji wiedzy i wnioskowania.

Wypowiadając się na temat *wiedzy*, często używamy takich sformułowań jak:

- „Jan wie, że ...” i tutaj wstawiamy *stwierdzenie* (może być prawdą/fałszem, prawidłowe/błędne),
- „Jan obawia się, że ...” (przekazuje tę samą treść, ale za pomocą innej postawy),
- „Jan podejrzewa, że ...” (wyraża pewne przekonanie, które niekoniecznie jest prawdziwe ani niekoniecznie jest oparte o odpowiednie przesłanki. Jego wymowa jest słabsza).

Wiedza może przyjmować różne formy, np. wiedzy deklaratywnej (wiedzieć *coś*) lub proceduralnej (wiedzieć *jak*, „know-how”), senso-motorycznej (jeżdżenie rowerem), afektywnej (głębokie zrozumienie). Klasyczna definicja *wiedzy* wywodząca się z filozofii określa wiedzę jako *uzasadnione prawdziwe przekonanie* („uznane za prawdziwe” lub „stwierdzone”).

Reprezentacja wiedzy to symboliczne kodowanie stwierdzeń, które agent (człowiek lub program komputerowy) uznaje za prawdziwe.



Wnioskowanie to wyprowadzanie (dedukcja/indukcja/abdukcja) nowych faktów, stwierdzeń z tych, które są już jawnie reprezentowane (ponieważ nie możemy jawnie reprezentować każdego pojedynczego faktu w bazie danych). Dobry system reprezentacji wiedzy poza zdolnością do reprezentacji wymaganych typów wiedzy powinien zapewniać zdolność a także efektywność wnioskowania oraz efektywność pozyskiwania wiedzy.

W kontekście reprezentacji wiedzy i wnioskowania, będą nas interesować symboliczne formy reprezentacji wiedzy. Najważniejsze z nich, zaproponowane do tej pory to:

- rachunek predykatów (Newell & Simon, 1956),
- reguły produkcji (Buchanan & Shortliffe, 1960),
- sieci semantyczne (Richens 1956),

wiedza

reprezentacja wiedzy

	pierwsza pomoc
	kobiety
"Jan"	Jan
"Jan kocha Marię"	stwierdzenie, że Jan kocha Marię

Tablica 1: Symbole zastępujące inne rzeczy.

wnioskowanie

- ramy (Minsky 1974),
- ontologie (Gruber 93, Guarino 98),
- grafy wiedzy (często w formie sieci semantycznej): Google (2012), Facebook, Microsoft; DBpedia, Wikidata.

Baza wiedzy to, w pewnym uproszczeniu, zbiór faktów reprezentujący encje, klasy, atrybuty, relacje, istotnych ogólnie lub w danej dziedzinie, który jest zdalny do odczytu maszynowego. Niektóre relacje są często spotykane w bazach wiedzy, niezależnie od języka reprezentacji użytego do modelowania wiedzy. Do takich relacji należą: *is-a* (łącząca klasę z jej nadklasą), *instance-of* (łącząca instancję z klasą, do której przynależy) oraz *part of* (łącząca część z całością). Wymienione relacje ilustruje Rysunek 1.

Inżynieria wiedzy to proces budowy bazy wiedzy. *Inżynier wiedzy* to ktoś kto zgłębia daną dziedzinę, określa, które pojęcia są w tej dziedzinie istotne i tworzy formalną reprezentację obiektów i relacji dla tej dziedziny. Często nie jest on specjalistą dziedzinowym i jego rola polega na *pozyskiwaniu wiedzy* od prawdziwych ekspertów.

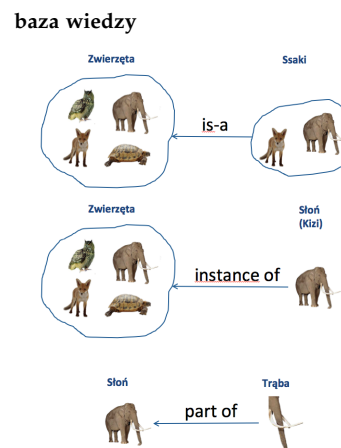
Znanym przykładem bazy wiedzy jest Cyc, projekt rozpoczęty w 1984 przez Douglasa Lenata, rozwijany przez firmę Cycorp, którego nazwa pochodzi od słowa "encyclopedia". Cyc to baza wiedzy zawierająca codzienną "zdroworozsądkową" wiedzę uporządkowaną w postaci *mikro-teorie* czyli zbiorów pojęć i faktów dotyczących jakiejś dziedziny zainteresowania. Mikro-teoria musi być wolna od sprzeczności, ale cała baza wiedzy nie musi. Dostępny publicznie jest także wariant tej bazy wiedzy o nazwie OpenCyc. Wnioskowanie w Cyc jest wykonywane z pomocą silników wnioskowania dla logik pierwszego rzędu, np. logicznej dedukcji dla ogólnej logiki pierwszego rzędu. Cyc jest reprezentowany w CycL, którego przykład w notacji w języku Lisp wygląda następująco:

```
(#$implies
  (#$and
    (#$isa ?OBJ ?SUBSET)
    (#$genls ?SUBSET ?SUPERSET))
  (#$isa ?OBJ ?SUPERSET))
```

Cyc znalazł aplikacje w zwalczaniu terroryzmu, w bezpieczeństwie sieci komputerowych, w biomedycynie.

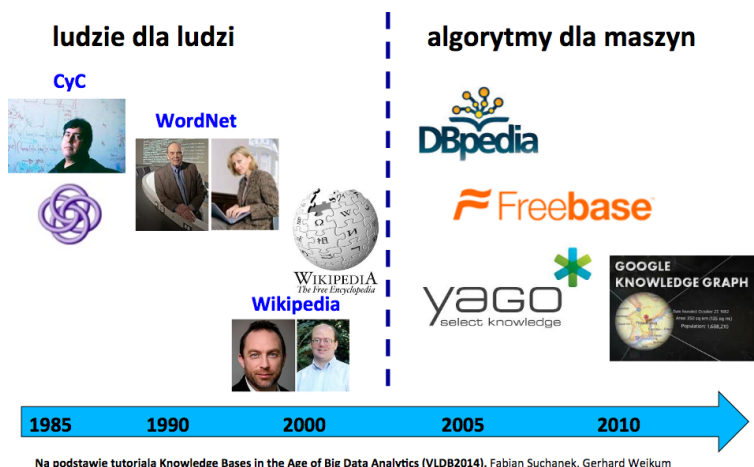
Aktualnie wiele baz wiedzy jest także tworzonych i aktualizowanych przez maszyny a nie tylko ludzi jak to było u zarania rozwoju baz wiedzy. Ilustruje to Rysunek 2.

System oparty na wiedzy jest zdolny rozwiązać złożone problemy (takiej jak np. diagnostyka, sterowanie robotem, planowanie zadania)



Rysunek 1: Popularne relacje inżynieria wiedzy

system oparty na wiedzy



Rysunek 2: Ewolucja baz wiedzy?

wykorzystując wiedzę dziedzinową i zadane cele. Do przykładowych obszarów aplikacji takich systemów należą:

- przetwarzanie języka naturalnego,
- integracja danych,
- systemy eksperckie,
- inteligentne systemy nauczania,
- gry,
- kognitywistyka/psychologia,
- planowanie i wspomaganie decyzji,
- personalni asystenci,
- akwizycja danych,
- oraz systemy doradcze w medycynie.

Rozważmy trzy przykładowe systemy oparte na wiedzy: kognitywistycznego asystenta (Siri), obliczeniowy silnik wiedzy (Wolfram Alpha) i system odpowiadania na pytania (IBM Watson). W Tabelicy 2 przedstawiono zestawienie tych systemów.

Jedną z najbardziej popularnych form reprezentacji wiedzy są *sieci semantyczne*.

Definiuje się jako graficzną notację do reprezentacji wiedzy w postaci zbioru *węzłów* (*pojęć*) połączonych etykietowanymi *łukami*, które reprezentują *relacje* między węzłami (patrz: Rysunek 3, który przedstawia sieć semantyczną w dziedzinie słoni).

sieć semantyczna

	Siri	Wolfram Alpha	IBM Watson
Jaką wiedzę musi reprezentować?	Lokalizacja, strefy czasowe, pogoda, zadania, kalendarz, numery telefonów,...	Zależną od dziedziny, np. w dziedzinie jedzenia: rodzaje jedzenia, ich wartości odżywcze, liczba kalorii	przede wszystkim wiedza encyklopedyczna; także taka jaką się mu żąda" (np. dziedzina medycyny)
Jakie wnioskowanie musi przeprowadzać?	Jutrzejšie spotkania, aktualny czas w danej strefie czasowej, najbliższa lokalizacja, ...	Np. obliczenia matematyczne uwzględniające porcje pożywienia	zestaw technik: przetwarzanie języka naturalnego, reprezentacja wiedzy i wnioskowanie, uczenie maszynowe, wyszukiwanie informacji
Co należałoby zrobić aby go rozszerzyć?	więcej różnorodnych źródeł danych/wiedzy	dodać więcej danych np. na temat jedzenia i jego składu	załadować nowe źródła wiedzy, zaadaptować mechanizmy do specyfiki wiedzy w danej dziedzinie
Gdzie się myli?	zupełnie nowe środowisko i zadanie	np. "nie zna" przepisów i nie wie jak łączyć składniki	nie obsługiwane wcześniej formy wiedzy (poza wiedzą encyklopedyczną)
W jaki sposób jest inny niż współczesne wyszukiwarki internetowe?	zorientowany na dialog, zadanie, lokalizację	dużo bardziej zorientowany na dane niż na dokumenty, wnioskowanie matematyczne	dużo bardziej zorientowany na generowanie odpowiedzi na zadane pytanie niż na generowanie rangowanej listy wyników

Tablica 2: Zestawienie przykładowych systemów opartych na wiedzy.

Sieci semantyczne miały swój początek w ramach sztucznej inteligencji w latach 60tych XX wieku i były dużo wcześniej wykorzystywane w filozofii, psychologii i lingwistyce (Richens 1956). Współczesną manifestacją sieci semantycznych jest tzw. *Semantyczny Internet* (ang. *Semantic Web*), którego celem jest tworzenie i rozpowszechnianie standardów opisywania treści w sieci WWW w sposób zrozumiały zarówno dla ludzi jak i dla programów komputerowych (np. agentów). Dane w sieci WWW mają mieć jawnie reprezentowaną semantykę co ma pozwolić na automatyczne przetwarzanie informacji wraz z jej znaczeniem. Ojcem tej idei jest Sir Tim Berners-Lee, który także wcześniej jako fizyk pracujący w CERN w Genewie, stworzył ideę sieci WWW w 1989, a obecnie jest szefem W3C, organizacji standaryzującej technologie web.

Rysunek przedstawia stos technologii Semantycznego Internetu. Sieci semantyczne modelowane są w technologii web za pomocą frameworka do modelowania zasobów o nazwie RDF. W tym ujęciu (w ujęciu technologii web), każda encja (klasa, relacja, instancja) ma nadane *unikalne URI* (unikalny identyfikator, który przypomina URL z dodanym do niego tzw. identyfikatorem fragmentu, aby móc odnieść się do pojedynczych danych a nie całych stron). Żeby uniknąć konfliktów w nazewnictwie wykorzystuje się standardowy webowy mechanizm prefiksów przestrzeni nazw. RDF posiada tzw. "trójkowy" model danych, gdzie każde wyrażenie można zapisać w postaci podmiotu, orzeczenia, dopełnienia. Przykładowo, możemy sobie wyobrazić następujące trójki:

```
<http://example.org/Kizi>
  rdf:type
    <http://dbpedia.org/ontology/mammal> .
```

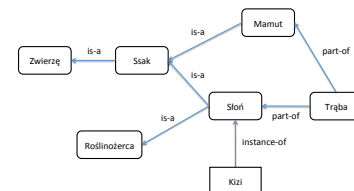
```
<http://dbpedia.org/ontology/mammal>
  rdfs:subClassOf
    <http://dbpedia.org/ontology/animal> .
```

Można zauważyć, że każda encja ma swoje URI.

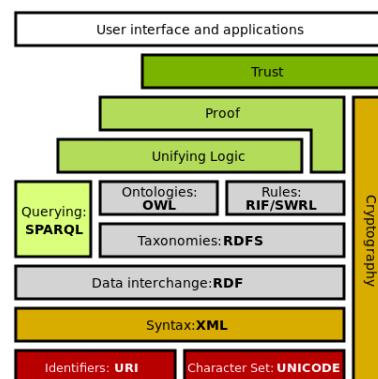
Innym interesującym i ważnym przykładem sieci semantycznej jest WordNet (<http://wordnet.princeton.edu>). Jest to leksykalna baza danych języka angielskiego, grupująca słowa w zbiory tzw. *synsetów* (z grubsza synonimów). Synsety posiadają krótkie, słowne definicje i powiązane są relacjami np. hiperonimii (IS-A). WordNet zaczęto opracowywać w Cognitive Science Laboratory w Princeton University (prace rozpoczęto w latach 80-tych XX wieku pod kierownictwem profesora psychologii George A. Millera).

Warto wspomnieć, że polska odmiana takiego zasobu leksykalnego o nazwie Słowność jest tworzona od 2005 roku na Politech-

Semantyczny Internet



Rysunek 3: Sieć semantyczna



Rysunek 4: Stos technologii i języków Semantycznego Internetu
RDF

- **S:** (n) animal#1, animate being#1, beast#1, brute#2, creature#1, fauna#2 (a living organism characterized by voluntary movement)
 - *direct hyponym* / *full hyponym*
 - *part meronym*
 - *member holonym*
 - **S:** (n) Animalia#1, kingdom Animalia#1, animal kingdom#1 (taxonomic kingdom comprising all living or extinct animals)
 - *domain term category*
 - *substance meronym*
 - *direct hypernym* / *inherited hypernym* / *sister term*
 - **S:** (n) organism#1, being#2 (a living thing that has (or can develop) the ability to act or function independently)
 - **S:** (n) living thing#1, animate thing#1 (a living (or once living) entity)

Rysunek 5: Fragment WordNetu

nice Wrocławskiej (Grupa Technologii Językowych), nie jako kalka językowa, ale jako zasób budowany od podstaw przez ekspertów leksykografii i z dziedziny inżynierii języka naturalnego.

Tablica 3 prezentuje wybrane relacje leksykalne w WordNecie i Słownosieci.

Relacja	Test	Przykład
synonimia	Jeśli jest X-em, to jest też Y-em	
	Jeśli jest Y-em, to jest też X-em	{kot 2; kot domowy 1}
	Jeżeli ktoś/coś jest X-em, to jest Y-em	{słoń 1} jest rodzajem {roślinożerca 1}
hipo-/hiperonimia	Jeżeli ktoś/coś jest Y-em, to niekoniecznie jest X-em	
	Jeżeli ktoś/coś nie jest Y-em, to nie jest X-em	
mero-/holonomia	X jest częścią Y	{trąba 3} jest częścią {słoń 1}
	Y nie jest częścią X	
	Y jest całością, której częścią jest X	

Tablica 3: Wybrane relacje leksykalne w WordNecie i Słownosieci

Inną ważną i popularną formą reprezentacji wiedzy są *ramy*. Zaproponował je w 1974 roku Marvin Minsky, amerykański kognitywista, zajmujący się głównie sztuczną inteligencją, współzałożyciel laboratorium sztucznej inteligencji w MIT. *Rama* to złożona struktura danych używana w sztucznej inteligencji do reprezentowania stereotypowych *sytuacji*. Można wyróżnić dwa typy ram:

ramy

1. indywidualne (reprezentują pojedynczy obiekt, np. konkretną osobę),
2. ogólne (reprezentują kategorię obiektów, np. pracowników).

Pojedyncza rama jest nazwaną listą *slotów*, które wypełnia się *fasetami*, np.:

```
(nazwa-ramy
  <nazwa-slotu1 fasetal>
  <nazwa-slotu2 fasetal2 > ...)
```

Ramy odzwierciedlają nagromadzone wcześniej doświadczenia dotyczące konkretnych sytuacji poprzez wartości definiowane i domyślne.

Ogólne ramy posiadają slot IS-A, który wypełniamy jest nazwą innej ogólnej ramy, np.:

```
(Słonie
  <:IS-A Ssaki>
  <:kolor szary> ...)
```

Bardziej szczegółowe ramy *dziedziczą* fasety z ogólniejszych ram. Indywidualne ramy posiadają slot INSTANCE-OF, który wypełniany jest nazwą ogólnej ramy, np.:

```
(poznać
```

```
<:INSTANCE-OF Miasto>
<:województwo wielkopolskie>
<:liczba_ludności 541 561> ...)
```

Wnioskowanie z wykorzystaniem ramy odbywa się poprzez:

- sprawdzanie spójności przy wypełnianiu szczeliny wartością,
- dziedziczenie wartości definiowanych i domyślnych (zgodnie z IS-A, INSTANCE-OF).

Przykładem praktycznego wykorzystania idei ram jest FrameNet (<https://framenet.icsi.berkeley.edu/>), leksykalna baza danych języka angielskiego zawierająca oznakowane składniowo i semantycznie przykłady zdań z korpusu tekstów. Jest ona oparta na *semantyce ramowej* (Fillmore 1976, Fillmore i Baker 2001, 2010) i rozwijana w International Computer Science Institute w Berkeley w Kalifornii. FrameNet składa się z tzw. *semantycznych ramek*. Semantyczna ramka to opis typu zdarzenia, relacji lub encji i jednostek je konstytuujących. Składa się ona z *elementów ramy (FEs)* (ról ramy) oraz z *jednostek leksykalnych (LUs)* czyli słów, które odnalezione w tekście *przywołują* ramkę. Dodatkowo do ramki dołączone są zdania z korpusu adnotowane elementami ramki.

Apply_heat

[Lexical Unit Index](#)

Rysunek 6: FrameNet: przykład

Definition:

A **Cook** applies heat to **Food**, where the **Temperature_setting** of the heat and **Duration** of application may be specified. A **Heating_instrument**, generally indicated by a locative phrase, may also be expressed. Some cooking methods involve the use of a **Medium** (e.g. milk or water) by which heat is transferred to the **Food**. A less semantically prominent **Food** or **Cook** is marked **Co-participant**.

Sally **FRIED** an egg in butter.

Sally **FRIED** an egg in a teflon pan.

Ellen **FRIED** the eggs with chopped tomatoes and garlic.

This frame differs from **Cooking_creation** in focusing on the process of handling the ingredients, rather than the edible entity that results from the process.

FEs:

Core:

Container [**Container**]
Semantic Type: Container

The **Container** holds the **Food** to which heat is applied.
BOIL the potatoes in a medium-sized pan.
Things that apply the heat directly are Heating_Instruments, e.g. crock-pot, electric skillet.

Cook [**Cook**]
Semantic Type: Sentient

The **Cook** applies heat to the **Food**.
Drew SAUTEED the garlic in butter.

Food [**Food**]

Food is the entity to which heat is applied by the **Cook**.
Suzy usually STEAMS the broccoli.
In instructional imperatives, this FE, which would be used for the (missing) object, is tagged CNI:
COOK on low heat for two hours. CNI

Heating_instrument [**Heat_instr**]
Semantic Type: Physical_entity

This FE identifies the entity that directly supplies heat to the **Food**.
Jim BROWNED the roast in the oven.
This FE will take precedence over **Container** when both are expressed in the same constituent. For example:
Kate COOKED the rice in a rice-cooker.

Temperature_setting [**Temp**]
Semantic Type: Temperature

This FE identifies the **Temperature_setting** of the **Heating_instrument** for the **Food**.
He BAKED the cookies at 350 degrees for 11 minutes.
She MICROWAVED the popcorn on high.
You can't COOK popcorn on low heat!

Lexical Units:

bake.v, baking.n, barbecue.v, blanch.v, boil.v, boiling.n, braise.v, broil.v, broiling.n, brown.v, char.v, coddle.v, cook.v, cooking.n, deep fry.v, fry.v, frying.n, grill.v, grilling.n, melt.v, melting.n, microwave.v, parboil.v, plank.v, poach.v, roast.v, roasting.n, saute.v, scald.v, scorch.v, sear.v, simmer.v, simmering.n, singe.v, steam.v, steaming.n, steep.v, stew.v, stewing.n, toast.v, toasting.n