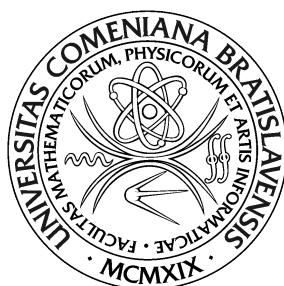


UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



SÉMANTICKÉ PUBLIKOVANIE SPRAVODAJSKÝCH DÁT

Diplomová práca

2021

Bc. Matej Rychtárik

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



SÉMANTICKÉ PUBLIKOVANIE SPRAVODAJSKÝCH DÁT

Diplomová práca

Študijný program: Aplikovaná informatika
Študijný odbor: 2511 Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ: doc. RNDr. Martin Homola, PhD.

Bratislava, 2021

Bc. Matej Rychtárik

Čestne prehlasujem, že túto diplomovú prácu som
vypracoval samostatne len s použitím uvedenej literatúry
a za pomoci konzultácií u môjho školiteľa.

Bratislava, 2021

.....

Bc. Matej Rychtárik

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel v prvom rade poďakovať môjmu školiteľovi doc. RNDr. Martinovi Homolovi, PhD. za jeho cenné rady a usmernenia, ktoré mi veľmi pomohli pri riešení tejto diplomovej práce.

Abstrakt

Abstract

Obsah

1	Úvod	1
I	Prehľad problematiky	2
2	Sémantický web	3
2.1	Linked Data	5
2.2	Resource Description Framework (RDF)	6
2.3	SPARQL	7
2.3.1	SPARQL	7
3	Ontológie	10
3.1	Základné pojmy	11
3.2	Využitie ontológií	12
3.3	Syntax ontológií	13
3.3.1	Web Ontology Language	13
4	Existujúce ontologické riešenia v oblasti bezpečnosti	15
4.1	CTI model	16
4.2	Unified Cybersecurity Ontology	16
4.3	ICAS	17
4.4	•	17

Kapitola 1

Úvod

Nejaky strucny uvod do problematiky

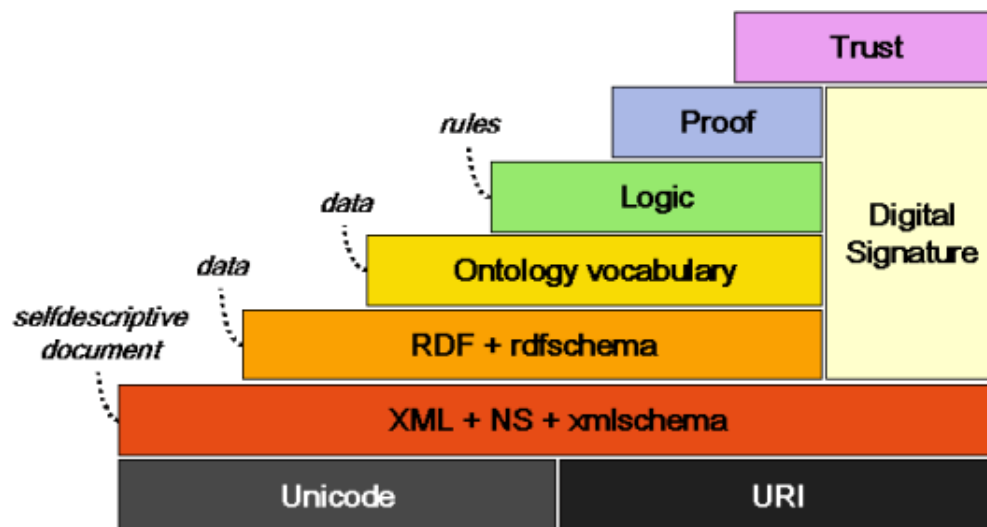
Časť I

Prehľad problematiky

Kapitola 2

Sémantický web

Semantický web [?] poskytuje spoločný framework, ktorý umožňuje zdieľanie a opätovné použitie údajov v rámci aplikácií. Štandardy podporujú spoločné dátové formáty a protokoly, kde najpodstatnejším je Resource Description Framework (RDF). Prvýkrát pojem Semantický web zaviedol Tim Berners-Lee a popisoval "dátový web", ktorý môže byť strojovo čitateľný. Zámerom je zvýšiť použiteľnosť webu a jeho prepojených zdrojov vytvorením sémantického webu. Semantický web má vrstvovú štruktúru ako si môžeme všimnúť na obrázku 2.1. Jednotlivé údaje sú potrebné až vo vyšších vrstvách. XML vrstva zaručuje, že môžeme spájať Semantický web s inými normami založenými napríklad na XML, ktorá je rozšírená a podporovaná a RDF dáta sa v nej dajú dobre prenášať, spracovávať a uchovávať. RDF a RDFS vrstva definuje typ zdrojov. Ontologická vrstva podporuje vývoj ontológií, vďaka ktorým môžeme definovať vzťahy medzi rôznymi pojmami.



Obr. 2.1: Semantic Web - vrstvy.
Zdroj: [?]

MH: ↑Toto trochu povrchné: (1) Ucelom SW nie je vyššia použiteľnosť webu (to je nepresne), ale je to lepšia prístupnosť informácií publikovaných na webe pre strojové spracovanie. (2) Ak chceš popisovať vrstvy SW podľa tohto diagramu, bolo by dobre keby si popísal všetky vrstvy – U XML by som sa obmedzil na to, že je to prostý dobrý formát pre textovú reprezentáciu dát v súboroch a pre ich výmenu medzi softvermi – toto však už je dnes prekonané, už vymieňame SW dáta aj ako JSON, embedujeme ich do HTML5 (chcelo by to poznámku) – O RDF a RDFS si vlastne nič užitočné (z čoho čitateľ niečo vyrozumie) nepovedal – no a ostatné vrstvy si úplne preskocil

MH: Toto si meníš? Zdá sa mi, že trochu asi aj áno, ale o tých ďalších vrstvách si nič nenapísal

Text uvedený nižšie popisuje niekoľko technológií, ktoré sú potrebné pre tvorbu sémantického webu.

2.1 Linked Data

MH: ↓Tato sekcia je celkom fajn ale chybalo mi trochu premostenie od SW – linked data bola iniciatíva, že keď už SW formáty máme, podme v nich aj data zverifikovať

MH: Inak keď už si sa rozhodol písať po slovensky, mal by si používať aj slovenskú terminológiu (čo je celkom peklo) – ale teda Linked Data sú *prepojené data*, LD network je *sieť prepojených dát* – ľudia to takto používajú

Linked Data [?] je metóda zverifikovania štrukturovaných dát. Ich hlavným cieľom je poprepájať existujúce databázy (primárne písané v RDF formáte), medzi rôznymi údajmi a umožniť ľuďom zdieľať štrukturované dáta na webe pomocou HTML. Časť vízie do budúcnosti je, aby sa Internet stal globálnou databázou. Princípy Linked Data prvýkrát načrtol Tim Berners-Lee. Popísal 4 pravidiel pre zverejňovanie dát na webe:

1. používať URI ako názvy objektov, ktoré sú identifikátormi informácie, jej umiestnenia a ďalších vlastností,
2. používať HTTP URI, aby si ich ľudia vedeli pozrieť,
3. uvádzať informácie o tom, čo názov identifikuje pri vyhľadávaní pomocou otvorených štandardov, ako sú napríklad RDF alebo SPARQL,
4. pri publikovaní údajov na webe, zahrnúť odkazy aj na iné URI, aby sa dalo objavovať viac vecí.

Sú známe aj ako Linked Data princípy.

MH: Tu mi chýba informácia, že sa táto iniciatíva ujala, a že vďaka tomu vznikla na webe tzv. sieť prepojených dát, ktorá obsahuje obrovské množstvo dátových zdrojov a niečo viac o tej sieti.

2.2 Resource Description Framework (RDF)

RDF [?] je štandardný model na zakódovanie metadát a ďalších informácií. Je to taktiež formát, ktorý bol navrhnutý a štandardizovaný na reprezentáciu dát pre sémantický web. Zdroje týchto dát sú väčšinou webové zdroje, ktoré môžu byť čokoľvek, napríklad dokumenty, ľudia, fyzické objekty, atď. Taktiež poskytuje spoločný framework na vyjadrenie informácií a možnosť zdieľať ich medzi softvérmi, bez straty ich hodnoty. Dáta sa uchovávajú v Triple Store databázach, ktorých formát je striktne daný. Výhodou je, že dáta môžu byť spracované aj softvérmi, pre ktoré dané dáta neboli vytvorené.

MH: ↑Na čo RDF slúži sa už čitateľ dozvedel v skorsích častiach (keď to tam lepšie ozrejmis). Niektoré veci, ktoré tu ↑píšeš sú nepresné (napr. to o tých metadatoch a “ďalších informáciách” alebo o zdrojoch. Tiež o Triple Stores predbiehas, budeš o tom písať neskôr. . . Asi by som to tu skrátil a len by som nadviazal, že RDF je základný datový formát pre SW a tu ho popíšeme. . .

MH: ↓Zvyšok ide dobrým smerom, je to presne to, čo by som si predstavoval, že tu budeš písať, len by som to chcel vidieť možno trochu pomenej, podrobnejšie, systematickejšie prebrať. . . Na vacsom priestore, možno postupne ten príklad budovať. . . Vysvetliť na nom všetky základné možnosti RDF

RDF súbor je taký dokument, ktorý ukladá RDF grafy do špecifického formátu serializácie pre RDF, ako sú napríklad N-Triple, Turtle, RDF/XML a mnohé ďalšie. RDF bol postavený na myšlienke vytvárať údaje vo forme predmet-predikát-objekt, ktorý sa volá triplet. Triplet je základná stavebná jednotka akejkoľvek množiny dát zapísaných v RDF. Tieto údaje sú reprezentované ako orientované grafy. Predmet a objekt predstavujú vrcholy a predikát je orientovaná hrana medzi nimi. Predmet môže byť použitý aj ako objekt v inom triplete. Týmto spôsobom sa triplety prepájajú a vzniká z nich grafová databáza. Predmet je vždy definovaný ako URI a popisuje zdroj informácie. Objekt môže byť taktiež nejaké URI popisujúce zdroj, ale tak-

tiež to môže byť primitívna hodnota ako napríklad string, integer, date, atď. Predikát popisuje, aký vzťah alebo rola medzi predmetom a objektom existuje. Predikát je vždy reprezentovaný ako URI, ktoré pochádza z ontológií (kolekcie viacerých URI).

Na uľahčenie ukladania a čitateľnosti dát sa využívajú takzvané prefixy, ktoré sú preddefinovaním základných URI, do ktorých sa dodáva zvyšná hodnota URI pomocou dvojbodky, ako je to uvedené v nasledujúcom príklade a graficky znázornené v obrázku 2.2.

```
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns> .
```

```
@prefix dbr: <http://dbpedia.org/resource/> .
```

```
@prefix dbo: <http://dbpedia.org/ontology/> .
```

```
@prefix dbp: <http://dbpedia.org/property/> .
```

```
dbr:Bratislava dbo:highestPlace dbr:Devínska_Kobyla .
```

```
dbr:Bratislava rdf:type dbo:City .
```

```
dbr:Bratislava dbo:country dbr:Slovakia .
```

```
dbr:Devínska_Kobyla dbo:locatedInArea dbr:Slovakia .
```

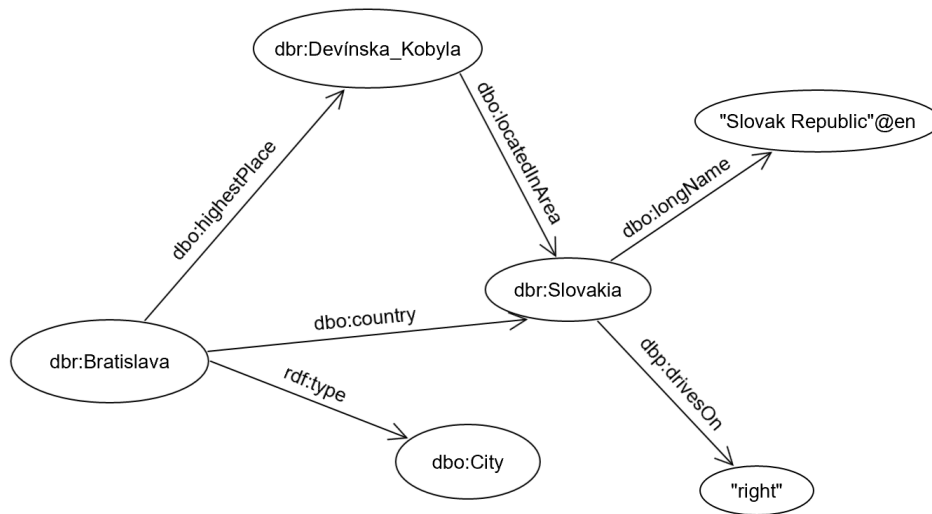
```
dbr:Slovakia dbp:drivesOn "right" .
```

```
dbr:Slovakia dbo:longName "Slovak Republic"@en .
```

2.3 SPARQL

2.3.1 SPARQL

SPARQL [?] je dopytovací jazyk pre RDF databázy, ktorý umožňuje získavanie a manipuláciu s databázou. Bol vytvorený skupinou DAWG, ktorá je súčasťou W3C a je uznávaný ako kľúčová technológia sémantického webu.



Obr. 2.2: Príklad grafovej databázy.

Ak by sme porovnali SPARQL s dopytovacím jazykom pre relačné databázy, napr. SQL, zistíme, že sú si podobné v kľúčových slovách, ako sú napr. SELECT, WHERE, FROM atď. SPARQL dopyt využíva trojice ako základný prvok, kde predmet, predikát alebo objekt môžu byť premenné. Dopyt sa robí nad dátovou kolekciou RDF, čo je množina dokumentov, patriaca pod určitý koncový bod - *'endpoint'*. Je to dopytovací jazyk, ktorý z orientovaného ohodnoteného grafu zisťuje hodnoty jednotlivých vrcholov a hrán, ktoré sú výstupnými parametrami dopytu.

```
@prefix dbr: <http://dbpedia.org/resource/> .
```

```
SELECT ?predicate ?object WHERE {
    dbr:Bratislava ?predicate ?object .
}
```

Výsledok dopytu:

```
+-----+-----+
```

?predicate	?object	
+-----+	+-----+	+-----+
dbo:highestPlace	dbr:Devínska_Kobyla	
rdf:type	dbo:City	
dbo:country	dbr:Slovakia	
+-----+	+-----+	+-----+

Príklad dopytu nad databázou uvedenou vyššie, spúšťame nad endpo-
intom DBPedia a výsledok je len zlomkom z toho, čo nám skutočne vráti:
Chceme získať všetky údaje o Bratislave.

Okrem operácie SELECT poznáme aj ďalšie typy dopytov. ASK je dopyt,
ktorý nám vracia pravdivostnú hodnotu pre daný dopyt. Vieme ním naprí-
klad zistiť či sa v našom grafe nachádza mesto Bratislava. Taktiež poznáme
dopyt DESCRIBE, ktorý vracia RDF graf opisujúci jednotlivé vlatnosti vý-
sledných hodnôt dopytu. Ako posledný typ dopytu je CONSTRUCT, ktorý
vracia nový RDF graf podľa predlohy vytvorenej v hlave dopytu.

Kapitola 3

Ontológie

MH: Predpokladam, že o ontológiach budeme písať o značný kus viac a podrobnejšie. . . Možno vychádzať z mojej prednášky ale tiež napríklad z úvodnej kapitoly *Handbook on Ontologies*

Výraz ontológia [?] pochádza z gréckeho slova kde 'ontos' znamená existencia a 'logos' znamená veda. Ontológia v informatike je uceleným popisom pojmov v určitej oblasti záujmu. Obsahuje určitú klasifikáciu údajov do hierarchicky usporiadaných kategórií a množinu odvodzovacích pravidiel, pomocou ktorých je možné z faktov odvodiť nové skutočnosti. Prostredníctvom ontológií je možné vytvárať spojenia, vykonávať analýzu údajov a sprostredkovať výhody webu obohateného o sémantiku.

Jej cieľmi je zadefinovanie a zdieľanie jednotného zápisu informácií pre danú doménu. Ak napríklad viac stránok využíva na popis pojmov takúto zadefinovanú ontológiu, vedia ju získať a vyhľadávať viac dát o hľadanej informácii.

Taktiež je jej cieľom opätovné použitie ontológie, napríklad ak máme dobre zadefinovanú ontológiu, môžu ontologickí inžinieri doplniť do našej ontológie ďalšie vlastnosti a tým by základ ontológie bol rovnaký ale bol by

rozšírený o určité dáta, podľa potreby ontologických inžinierov.

MH: nerozumiem čo myslis pod „vytvárať spojenia v prirodzenom jazyku“ a tiež tvrdenie „sprostredkovať výhody webu obohateného o sémantiku“ je veľmi abstraktne neviem celkom prísť na to čo si tým asi myslel

3.1 Základné pojmy

Ontológia sa skladá zo základných stavebných prvkov *Trieda*, *Entita*, *Atribút*, *Vzťah*.

Triedy alebo typy definujú skupiny alebo množiny objektov. Triedy majú hierarchickú štruktúru zloženú z ich podtried. Každá podtrieba spĺňa vlastnosti nadtrieby a môže byť rozšírená o vlastné vlastnosti.

Entity sú individuálne inštancie nejakej nami zadanovej triedy. Ak by sme mali entitu *Bratislava*, a triedy *Mesto* a *Hlavné mesto*, kde *Mesto* je podtriedou *Hlavné mesto*, tak nám z ontológie vyplýva, že ak je entita *Bratislava* individuálnou inštanciou triedy *Hlavné mesto*, tak je aj individuálnou inštanciou triedy *Mesto*.

MH: ↑ *Jablko* nie je veľmi dobrý príklad na entitu, keďže väčšinou ho uvažujeme ako triedu (a teda podtriedu triedy *Ovocie*)

MR: upravené na Bratislava, to sa dá ľahko tvoriť.

Atribúty sú vlastnosti *Tried* a *Entít* a môžu niesť rôzne informácie o danom objekte. *Atribúty* môžu mať rôzne hodnoty, ako reťazec, číslo, dátum alebo pravdivostnú hodnotu. Ak by sme si zobrali predchádzajúcu entitu *Bratislava*, jej číselná vlastnosť môže byť napríklad počet obyvateľov.

MH: ↑ Je pomerne nezvyčajne aby mali atribúty ako hodnotu inú premennú

Vzťahy sú najpodstatnejšou súčasťou ontológie. Poskytujú prepájanie jednotlivých entít. Je to jednosmerné spojenie, ktoré určuje vzťah, v akom sú dve dané triedy. Tým vznikne triplet *trieda:vzťah:trieda*. Medzi triplet sa

radí aj trojica *trieda:atribút:hodnota*. Väzby sa zvyknú definovať aj inverzne. Z logického hľadiska sú vzťahy axiómami. Pokiaľ máme triedu *Krajina* a *Hlavné mesto*, tak by vzťah mohol vyzeráť nasledovne: *Krajina:má:Hlavné mesto*.

Ontológia má veľa vlastností, ktoré musia byť dodržané. Každý prvok musí byť jasne identifikovateľný. Taktiež zakazuje zapisovanie duplicitných dát, čo nám zaobstará vlastnosť efektívneho ukladania informácií, kde to môže nie len uľahčiť vyhľadávanie ale aj obsah pamäti na disku.

MH: ↑ Neviem, či zrovna tieto vlastnosti ontológii sú tie najpodstatnejšie, a teda treba ich spomínať na tomto mieste.

MR: Určite by som ich spomenul nakoľko existuje určite veľa duplicitných dát a je to výhoda oproti SQL kde každý záznam v číselníku má unikátne IDčko ale u nás je to predstavované iba entitou.

3.2 Využitie ontológií

MH: ↓ Asi by som sa neodvážoval tvrdiť to čo píšeš v prvej vete. Ak zoberieme ako ranne využitie napr. SNOMED, nie je to pravda, keďže sa využíval v medicínskej praxi. S druhou vetou možno nesuhlasím. Kto je bežný používateľ? Nikomu takému sa nerozšírila do počítača nejaka ontológia (že by o tom vedel)...

MR: dodefinoval som to ako bežne používané aplikácie.

Ontológie sa začali využívať najmä v organizáciách, ktoré sa špecializovali na umelú inteligenciu. Neskôr sa to rozšírilo aj do bežne používaných aplikácií. Napríklad firma Amazon používa ontológie na kategorizovanie tovaru v ich elektronickom obchode.

Ontológie si našli uplatnenie aj v medicínskej oblasti a to napríklad SNOMED, čo je najväčším viacjazyčným medicínskym slovníkom na svete.

MH: ↑ Tu chceš asi písať o využití ontológii, takže zmienka o jazyku RDF sem nepatri, navyše RDF nie je jazyk na zápis ontológii (tým je RDFS) a o RDF si už písal vyššie

Taktiež sa s ním stretávame každodenne pri vyhľadávaní na stránke Google, kde ako bočný panel sú zobrazené informácie o vyhľadávanom objekte (obrázok nižšie). Tieto dáta je možné zobrazíť preto, lebo výsledkom takéhoto panelu je vyhľadávanie informácií na webovej stránke, ktorá obsahuje sémantické dáta.

MH: ↑ SNOMED a Google spomínas dobre, a v druhom prípade si nespomenúť žiadnu ontológiu a pritom ju dobre poznáme (Schema.org)

Na získavanie dát zo sémantických webov a z RDF úložísk sú využívané SPARQL dopyty. Syntax jazyku SPARQL je veľmi podobná klasickému SQL jazyku, kde aj SPARQL umožňuje okrem dopytovania aj vkladanie, editáciu a vymazávanie dát.

MH: ↑ toto mi sem opäť nesedí, zrejme tomu chceš venovať nejakú kratšiu podsekcii skor v predchádzajúcej kapitole (?)

MR: ja som ju tam mal len predtým si mi písal že si si ešte nie istý či nás to bude zaujímať, tak som to vrátil do predchádzajúcej časti

MH: ↑ Tuto časť možno lepšie najko použiť v úvode predch. časti (?)

MR: presunúť

3.3 Syntax ontológií

Popis možnosti

3.3.1 Web Ontology Language

Web Ontology Language alebo OWL

MH: Kedze cela Tvoja praca je o ontologiach a budes ich zrejme nejako zapisovat
mozno by si mohol nieco povedat aj o jazykoch na zaspis ontologii, minimalen apson
o jednom, s ktorym budes pracovat dalej (cize zrejme OWL)

Kapitola 4

Existujúce ontologické riešenia v oblasti bezpečnosti

Množstvo kyber útokov v dnešnej dobe narastá závratnou rýchlosťou, čo značí že dnešné spôsoby a metódy ochrany nie sú dostatočné a preto je potrebné sa zamyslieť nad novými spôsobmi ochrany. Jeden z prístupov by mohol byť založený práve na ontológiách. Ontológie a systémy postavené nad nimi majú výhodu sémantiky, ktorá je schopná rozlišovať situácie kedy je počítačový systém normálny alebo škodlivý.

Problém s ktorým sa ale potýkame je ten, že neexistuje jednotný formát zápisu údajov. Väčšina nástrojov ktoré v dnešnej dobe existujú, majú vlastné štandardy. Keďže tieto štandardy sú prevažne rozdielne, nedá sa ich prepájať a využívať efektívne. Tento problém by mohol byť taktiež vyriešený vďaka ontologickému riešeniu. Tým pádom by sme vedeli mať také dáta, ktoré dokážu stroje nielen prečítať ale zároveň aj pochopiť.

Ontologiký prístup taktiež poskytuje jednoduchšiu rozšíriteľnosť už existujúcej ontológie a tým sa dá vytvárať presnejší popis záznamov.

Vďaka URI reprezentácií jednotlivých entít ktoré sú používané ako iden-

tifikátory jednotlivých objektov, nemôže nastať problém nepochopenia dát ako k tomu môže doochádzať v ľudskej reči. Napríklad ak by sme povedali slovo *koruna*, nikto nevie či máme na mysli korunu stromov alebo kráľovskú korunu. Avšak vďaka atribútom vieme toto slovo lepšie pochoiť, keďže nám ho atribúty bližšie definujú.

V súčasnosti existuje veľa rôznych štandardov a ontologických riešení pre doménu kyber bezpečnosti, avšak veľa z nich už ani nie je vyvíjaných. Organizácie, ktoré vyvíjali tieto ontológie, buď stratili o ďalší vývoj záujem alebo už len nezverejňujú svoje pokroky v danej doméne, teda prešli na closed-source systém.

V nasledujúcich kapitolách si povieme niečo o zaužívaných štandardoch, základnom modeli, z ktorého vychádzame a podľa, ktorého posudzujeme, či je daná ontológia dobrá. Taktiež rozoberieme existujúce riešenia v doméne kyber bezpečnosti.

4.1 CTI model

TEN BY SOM MOZNO ZAHRNUL SEM CI?

4.2 Unified Cybersecurity Ontology

MH: Chybaju tu akekoľvek referencie

MR: referencie mam uz v .bib subore ale este som ich nedodaval.

Unified Cybersecurity Ontology alebo skrátene UCO je rozšírením pôvodného projektu Intrusion Detection System (IDS), ktorého tvorcom je rovnaká skupina. Spája viaceré bežne dostupné bezpečnostné štandardy používané v kybernetickej bezpečnosti. Prevažne pokrýva STIX, ktorý je najväčším a najkomplexnejším štandardom, pokrývajúcim najväčšiu časť kybernetickej bez-

pečnostnej domény ale taktiež pokrýva iné relevantné štandardy ako CVE4, CCE5, CVSS6, CAPEC7, CYBOX8, KillChain9 a STUCCO10.

Aj keď je STIX najkomplexnejším štandardom a zjednocuje všetky informácie o kybernetických hrozbách, má tieto dáta uložené v XML súboroch, takže nepodporuje výhody inferencie v ontológiách, čo UCO poskytuje.

Okrem týchto štandardov obsahuje aj mapovanie na všeobecné databázy ako sú Google Knowledge Graph, DBPedia a Yago. Vďaka týmto mapovaniam je možné mať prístup k verejným databázam v rôznych domén záujmu.

Základnými triedami, využívanými v UCO sú:

- *Means* – Čo je zamýšľané daným útokom.
- *Consequences* – Dôsledky útoku.
- *Attack* – Typ útoku.
- *Attacker* – Kto je iniciátorom daného útoku.
- *Attack-Pattern* – Vzorec útoku, podľa ktorého je útok riadený.
- *Exploit* – K čomu útok slúži.
- *Exploit Target* – K čomu slúži cieľ alebo výsledok útoku.
- *Indicators* – Indikátor útoku.

Každá z týchto tried je mapovaná na už reálne existujúcu triedu v niektorom z vyššie uvedených štandardov, prevažne na STIX schému.

Ontológia UCO umožňuje analytikom zachytávať špecifické vedomosti o kybernetickej bezpečnosti pomocou termínov a tried z ontológie a taktiež umožňuje písať pravidlá, ktoré sa môžu použiť na odvodenie nových poznatkov.

Vývojári extrahovali dáta z National Vulnerability Database (NVD), ktorá je uložená v XML súboroch. Potom boli namapované na triple store DBpedia a dáta boli uložené na FUSEKI server, ktorý podporuje dopytovanie z rôznych zdrojov rovnako ako ich odvodzovanie.

4.3 ICAS

4.4 ●

Literatúra

- [MB17] Vasileios Mavroeidis and Siri Bromander. Cyber threat intelligence model: An evaluation of taxonomies, sharing standards, and ontologies within cyber threat intelligence. In Joel Brynielson, editor, *European Intelligence and Security Informatics Conference, EISIC 2017, Athens, Greece, September 11-13, 2017*, pages 91–98. IEEE Computer Society, 2017.
- [OCM12] Leo Obrst, Penny Chase, and Richard Markeloff. Developing an ontology of the cyber security domain. In *STIDS*, pages 49–56, 2012.
- [OCWM14] Alessandro Oltramari, Lorrie Faith Cranor, Robert J Walls, and Patrick D McDaniel. Building an ontology of cyber security. In *STIDS*, pages 54–61. Citeseer, 2014.
- [PUJF03] John Pinkston, Jeffrey Undercoffer, Anupam Joshi, and Timothy Finin. A target-centric ontology for intrusion detection. In *Procs. of the IJCAI-03 Workshop on Ontologies and Distributed Systems*, 2003.
- [SPF⁺16] Zareen Syed, Ankur Padia, Tim Finin, M. Lisa Mathews, and Anupam Joshi. UCO: A unified cybersecurity ontology. In Da-

vid R. Martinez, William W. Streilein, Kevin M. Carter, and Arunesh Sinha, editors, *Artificial Intelligence for Cyber Security, Papers from the 2016 AAAI Workshop, Phoenix, Arizona, USA, February 12, 2016*, volume WS-16-03 of *AAAI Workshops*. AAAI Press, 2016.

- [TPKN18] Takeshi Takahashi, Bhola Panta, Youki Kadobayashi, and Koji Nakao. Web of cybersecurity: Linking, locating, and discovering structured cybersecurity information. *Int. J. Communication Systems*, 31(3), 2018.

Zoznam obrázkov

2.1	Semantic Web - vrstvy. Zdroj: [?]	4
2.2	Príklad grafovej databázy.	8