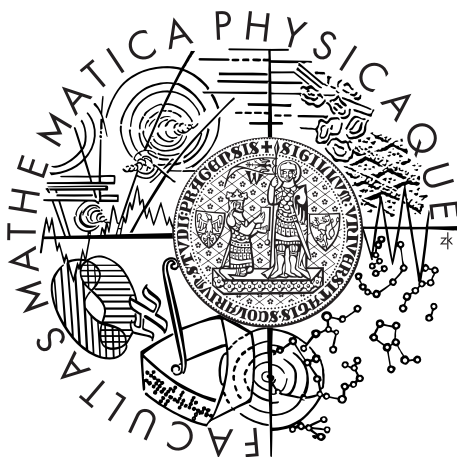


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Karel Bílek

Sledování témat v elektronickém zpravodajství

Ústav formální a aplikované lingvistiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Ondřej Bojar, Ph.D.

Studijní program: Informatika

Studijní obor: Obecná informatika

Praha 2011

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ondřejovi Bojarovi za vedení této práce. Také bych chtěl poděkovat Josefu Šlerkovi ze Studia nových médií na FF UK za některé nápady, byť se nakonec ne všechny materializovaly.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Název práce: Sledování témat v elektronickém zpravodajství

Autor: Karel Bílek

Katedra: Ústav formální a aplikované lingvistiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Ondřej Bojar, Ph.D., Ústav formální a aplikované lingvistiky

Abstrakt: V této práci se snažím nalézt definici zpravodajského tématu tak, aby byla detekce těchto témat v textu implementovatelná a kvalita této detekce měřitelná. Popisuji možné metody — „prosté“ počítání slov, případně se zavedením stopslov; TF-IDF; dále popisuji problém textové kategorizace, mírně se dotknu text clusteringu. Dále popisuji přístupy, nazvané latent semantic indexing a latent Dirichlet allocation. Také popisuji experimenty s „prostým“ počítáním slov, TF-IDF a textovou kategorizací na databázi článků z několika elektronických zdrojů; vznik této databáze v práci popisuji rovněž. Ke způsobu řešení pomocí textové kategorizace uvádím metriku pomocí měření přesnosti a úplnosti; podle těchto metrik měřím několik variant textové kategorizace.

Klíčová slova: Zpravodajství, články, témata, klíčová slova

Title: Topic monitoring in online news articles

Author: Karel Bílek

Department: Institute of Formal and Applied Linguistics

Supervisor: RNDr. Ondřej Bojar, Ph.D., Institute of Formal and Applied Linguistics

Abstract: In this thesis, I try to find a definition of a news topic to make topic detection implementable and its quality measurable. I describe various methods — a “simple” words counting, optionally with stopwords. I also describe TF-IDF and the text categorization problem. I touch the subject of text clustering. Then I describe approaches called latent semantic indexing and latent Dirichlet allocation. The thesis includes my experiments with “simple” words counting, TF-IDF and text categorization on database of articles from several online news websites; I also describe the creation of this database. Precision and recall are used as a metric to text categorization approach and I use this metric to measure several variants of text categorization.

Keywords: News, articles, topics, keywords

Obsah

1	Úvod	2
2	Detekce témat	3
2.1	Frekvence a stopslova	3
2.2	TF-IDF	4
2.3	Klasifikace	4
2.3.1	Definice	5
2.3.2	Rysy	5
2.3.3	Kategorie	5
2.3.4	Počet kategorií na článek	6
2.4	Další přístupy	7
2.4.1	Shlukování	7
2.4.2	Latent semantic indexing	7
2.4.3	Latent Dirichlet allocation	8
2.5	Evaluační	9
3	Další implementační problémy	12
3.1	Výběr serverů	12
3.2	Získávání článků	12
3.3	Vyčištění článku	13
3.4	Kontinuální zpracování	14
3.5	Lingvistické předzpracování	14
3.5.1	Lemmatizace	14
3.5.2	Pojmenované entity	14
4	Experimenty	15
4.1	Sběr dat	15
4.2	Ruční zatřídování	16
4.3	Hledání témat	18
4.3.1	Frekvenční témata	18
4.3.2	Stop-témata	19
4.3.3	tf-idf-témata	23
4.3.4	Kategorizace	26
	Závěr	27
	Seznam použité literatury	29
	Přílohy	30
A	Seznam zpravodajských zdrojů	31
B	Obsah přiloženého DVD	32

1. Úvod

Úkolem bakalářské práce je sledovat elektronické zdroje zpravodajství a na základě opakujících se slov zařazovat články do témat, tato témata sledovat v čase a případně na základě tohoto sledování detekovat něco, jako je „okurková sezóna“.

V průběhu přípravy práce jsem zjistil, že úkol detekce tématu je poměrně častý v oboru *text mining*, respektive *information retrieval*. Zadání práce se mi částečně splnit podařilo, součástí práce je také shrnutí dalších možných přístupů a pohledů na danou problematiku.

Většina zpravodajských médií dnes používá pro vydávání svých článků síť *World Wide Web*, ať už primárně (např. server <http://aktualne.cz>), nebo sekundárně jako doplněk např. k tištěným novinám (např. server <http://idnes.cz>). Pro oba případy ale platí, že zpravodajský server lze vzít jako pravidelně aktualizovaný zdroj elektronického zpravodajství.

Výhoda zpravodajským webů je ta, že jsou za krátkou dobu (v řádu měsíců až jednotek let) stylisticky stabilní a jsou psány podobným jazykem, zároveň ale mají jasně danou časovou posloupnost. To nám daný úkol značně zjednodušuje.

Zpravodajství na jednotlivých serverech lze jednoduše rozdělit na jednotlivé dokumenty neboli články. Článek na zpravodajském webu má jasně daný obsah, kromě toho je důležité, že nese i informaci o čase vydání (jak datem, kdy se na webu objeví, tak datem, uvedeným v popisu článku přímo na webu). Toho lze využít a informaci o čase dále zpracovávat.

Témata

Jádrem bakalářské práce je na této množině článků najít „témata“ a jejich četnost případně vynést na časovou osu. Přesnou definici tématu v bakalářské práci tedy teprve hledám. Je nutné se zatím spokojit s tím, že téma nejasně definuji jako „něco, o čem článek je“. Tuto definici jsem si nazval *naivní* definice tématu.

2. Detekce témat

V této části uvedu několik postupů, jak je možné detekovat témata článku. *Naivní* definici z úvodu jsem si ponechal jako „skutečnou“ definici tématu; pro jednotlivé postupy potom platí, že v každém z nich lze nakonec za definici tématu považovat *ten* formální prvek, které dané postupy vyrábějí.

Některé z těchto postupů jsem neimplementoval; u těch, které jsem implementoval, hodnotím i to, jak moc se výsledky blíží naivní definici (která je samozřejmě už ze své podstaty *velmi* vágní a nepřesná); tj. jak dobře lze říci, že témata, nalezena touto metodou, jsou opravdu to, „o čem je tento článek“. Výsledky samotné včetně výsledků evaluace, kterou také popisují dále v této části, podrobněji zkoumám v Kapitole 4.

2.1 Frekvence a stopslova

První nápad na hledání témat je jednoduché počítání frekvencí ve člancích s tím, že častější slova prohlásím automaticky za témata — případně s tím, že budu ignorovat tzv. stopslova.

Termín *stopslova* (*stopword*, případně *stoplist* ve významu seznam stopslov) popisuje např. [Salton – McGill (1983)] a další. Jde o poměrně malou množinu typů slov, která ale představuje velkou část tokenů. (V angličtině je to např. podle [Salton – McGill (1983)] 40-50 procent; v části 4.3.2 ukazují statistiky na vlastní databázi zpravodajských článků.) Jde převážně o spojky, částice a základní slovesa, co sama o sobě nenesou žádný obsah textu. Je nutno je buď definovat ručně, což je ale jaksi „nesystémové“ řešení; nebo se stopslova definují jako nejčastěji používaná slova (jak je definuji i já), což s sebou nese riziko, že se velmi častá slova, která ale *nejdou* bezvýznamová či pomocná, úplně ignorují.

Pro nalezení množiny témat pro daný článek potom vezmu prvních k nejčastějších slov — buď bez ohledu na stopslova, nebo s jejich vyřazením, kde k je konstantní pro celou databázi.

Tento přístup je sice velmi jednoduchý a dobře definovaný, ale jak ukazují v části 4.3.1, nedává příliš dobré výsledky. Je to proto, že četnost slova je brána jako *jediné* kritérium pro určení daného slova jako tématu — přičemž dané slovo může sice být ve článku četné, ale je podobně četné i v ostatních člancích, takže velká četnost tohoto slova článek nijak nevymezuje vůči dalším článkům. V podstatě jde o tentýž problém, který se snaží řešit stopslova, pouze v menší míře — nejedná se *přímo* o stopslova, ale přesto tato slova nejsou pro článek natolik důležitá, aby byla jeho tématem.

Dále mi nastává přesně opačný problém, než ten, který jsem nastínil — protože stopslova беру pouze jako *právě ta* nejčastější slova v celé databázi, některá slova, která by se určitě dala chápat jako témata článku podle naivní definice, se kompletně ignorují (konkrétně jde například o jména politických stran).

S touto metodou, stejně jako s následující, je spojen také další, významný problém — tyto metody nacházejí pouze ta slova, která jsou v samotném článku. Jak bude vidět na skutečných datech dále, je nutno je chápat spíše jako jakási klíčová slova — je tedy problém správnost nalezení těchto témat měřit, přičemž návrh metriky kvality zatřídění je jedním z úkolů bakalářské práce.

Témata, nalezená ve článku pouze pomocí této metody počítání frekvencí, jsem si nazval *frekvenční témata*; témata, nalezená za pomoci stopslov jsem si nazval *stop témata*.

2.2 TF-IDF

Dalším nápadem je použít váhovou funkci *TF-IDF*, kterou popisuje dobře např. [Salton – Buckley (1988)] a která řeší jednu z mých výtek k minulému přístupu — tj. to, že slova častá v jednom dokumentu jsou častá i ve všech ostatních.

Je zavedena *inverzní frekvence dokumentů* (*inverse document frequency, IDF*), která dává větší hodnotu těm slovům, která se vyskytnou ve více dokumentech. Výsledná váha *TF-IDF* (někdy také $tf \cdot idf$ či $tf \times idf$) je poté pro každé slovo ve článku násobkem *TF* (jejich „obyčejná“ frekvence v článku) a *IDF*.

Přesněji definuje [Robertson (2004)] $tf_{i,j}$ jako počet výskytů slova i ve článku j ; tu můžeme ještě normalizovat vydělením velikostí dokumentu, čímž se dostaneme k podobnému vzorci, jaký uvádí [Wikipedia (2011)]

$$tf_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{dl_j},$$

kde dl_j značí délku dokumentu j a $n_{i,j}$ počet výskytů slova i ve článku j .

$idf_{i,j}$ je pak (taktéž např. podle [Robertson (2004)]) definována jako $\log \frac{N}{n_i}$, kdy N je velikost korpusu a n_i počet dokumentů, ve kterých se vyskytne slovo i — [Wikipedia (2011)] uvádí ekvivalentní vzorec

$$idf_{i,j} = \log \frac{N}{|\{j : i \in j\}|},$$

kde j je vnímáno jako množina slov ve článku.

[Salton – McGill (1983)] uvádí vzorec pro *idf* explicitně s binárním logaritmem, což ale vlastnosti nijak nemění. V případě, že slovo nemusí být v korpusu, je možné jmenovatel upravit na $|\{j : i \in j\}| + 1$, abychom nedělili nulou.

Potom platí jednoduché

$$\text{TF-IDF}_{i,j} = tf_{i,j} \cdot idf_{i,j}.$$

TF-IDF je opět pouze váhová funkce, tj. je třeba určit nějaké k , konstantní pro všechny články, a jako témata vzít pouze k slov s nejvyšším TF-IDF. Těmto tématům říkám *tf-idf témata*.

Pro bigramy, trigramy apod. nedává TF-IDF dobré výsledky, protože IDF je pro bigramy ve většině případů a pro trigramy téměř ve všech případech 1. Stále také platí, že tato metoda najde pouze slova, která se ve článku vyskytují, tj. jde pouze o jakási klíčová slova — platí tedy totéž, co jsem psal v závěru části 2.1.

2.3 Klasifikace

Další možností je úlohu definovat jinak — zařidovat články do kategorií, které nazveme tématy a které můžeme nějak pojmenovat, aniž by se ale tyto názvy musely jako slova ve člancích vyskytovat. Články jsou na podmnožině článků

do těchto kategorií zatříděny uživatelem, na základě tohoto ručního zatřídění potom zatřídí do stejných kategorií stroj. Tato metoda se nazývá *kategorizace* (*categorization*) nebo *klasifikace* (*classification*); témata, nalezená touto metodou, jsem si nazval *kategorická témata*.

2.3.1 Definice

Např. podle [Sebastiani (2002)] lze úlohu klasifikace definovat takto: existuje funkce $\bar{\Phi} : D \times C \rightarrow \{Ano, Ne\}$, kde D je množina všech dokumentů, C množina všech kategorií, $\{Ano, Ne\}$ pravdivostní hodnota. $\bar{\Phi}$ lze potom interpretovat jako odpověď na otázku „obsahuje tato kategorie tento článek?“.

Funkce $\bar{\Phi}$ je tedy „správné“ zatřídění, nazývaná také *cílová funkce* (*target function*). Úlohou klasifikace je potom tuto funkci $\bar{\Phi}$ nějak aproximovat funkcí $\Phi : D \times C \rightarrow \{Ano, Ne\}$, která se nazývá *klasifikátor* (*classifier*).

Jednou možností klasifikace jsou automaty, které mají programátorem daná pravidla pro zatřidování — tzv. *pravidlové klasifikátory* (*rule-based classifier*). Touto možností jsem se příliš nezabýval, protože ruční sestavení pravidel je příliš pracné; spíše jsem se zaměřil na klasifikace se strojovým učením.

Algoritmy klasifikace se *strojovým učením* (*machine learning*) jsou založeny na tom, že klasifikátor se nejdříve naučí zatřidovat na množině předem daných článků s *ručně zatříděnými kategoriemi*.

Přesněji popisuje opět [Sebastiani (2002)]: Vezmeme $\Omega \subset D$ podmnožinu všech dokumentů, na níž *známe* výsledky cílové funkce $\bar{\Phi}$, a na základě této znalosti tvoříme funkci Φ (která se na $\Omega \times C$ může a nemusí shodovat s $\bar{\Phi}$). Ono „známe výsledky funkce“ je právě ruční zatřidování na podmnožině Ω .

Algoritmy pro klasifikaci, které jsem použil, jsou dobře popsány v [Sebastiani (2002)]. Jelikož jsem tyto algoritmy neimplementoval přímo já, ale využil jsem perl modul `AI::Categorizer`, nebudu se zde o nich tolik zmiňovat a případně mohu odkázat na dokumentaci tohoto modulu, viz [Williams (2000–2003)]. V rámci tohoto modulu jsem použil algoritmy Naive Bayes, SVM a Decision Tree.

2.3.2 Rysy

Článek je pro všechny tyto algoritmy ale třeba nějak formálně reprezentovat. Pro účely klasifikace se používají takzvané *rysy* (*features*). Je to množina, která charakterizuje dokument. Formálně, opět podle [Sebastiani (2002)], je možné reprezentaci pomocí rysů popsat takto: T je množina všech rysů, a každý dokument je poté definován jako vektor $d_j = \langle w_{1j}, \dots, w_{|T|j} \rangle$.

Já jsem k definování rysů použil už hotovou funkci TF-IDF, a to dvěma různými způsoby:

1. první varianta je vzít k slov s největší TF-IDF hodnotou a každému z nich dát w stejné, rovné 1,
2. druhá varianta je vzít všechna různá slova ve článku, ohodnocená právě jako výsledek váhové funkce.

2.3.3 Kategorie

Čeho jsem se zatím nedotkl je výběr samotných kategorií a potom také otázky, jestli články mohou být ve více než jedné kategorii.

Předem dané kategorie

Jedna z možností je kategorie zadat explicitně předem a zařizovat do nich. Následuje otázka — jak kategorie vybrat?

Můžeme vybrat například kategorie velmi hrubě podle tématických kategorií, které budou přibližně zrcadlit kategorie na zpravodajských serverech. Tuto možnost jsem vyzkoušel s těmito konkrétními kategoriemi: **Politika**, **Ekonomika**, **Krimi**, **Bulvár**, **Kultura**, **Studium**, **Věda**, **Technika**, **Počasí**, **Sport** a **Další**; každá z nich je ještě rozdělena na **domácí** a **svět**.

Kategorie můžeme pojmut i širěji a vypůjčit si kategorie například z českých WikiNews. Tuto možnost jsem zvažoval, ale nakonec nestihl otestovat.

Neomezená množina kategorií

Další možností je nedefinovat kategorie explicitně, ale vytvářet je až v průběhu ručního zařizování, kde „definice“ kategorie kopíruje naivní definici tématu z části 1. Pokud jsou kategorie vytvářeny až člověkem při ručním zařizování, znamená to, že teoreticky není množina kategorií nijak omezená, a tedy jakýkoliv výraz, který nese sémantický význam, může být tématem článku.

Tato možnost je lepší v tom, že se není třeba dopředu omezovat na seznam kategorií, není seznam kategorií třeba předem vytvářet a hlavně je mnohem jednodušší úloha ručního zařizování — v podstatě je redukována pouze na otázku „O čem je tento článek?“. Tuto možnost jsem implementoval jako první.

Tato možnost má ale také své nevýhody — vektor kategorií je, jak již naznačuji výše, potenciálně nekonečný. Pokud není v programu implementována sémantická analýza nebo alespoň rozlišování synonymie, polysémie apod., neúplné překryvy témat jsou příliš časté pro to, aby bylo zařizování do témat praktické, protože mnoho článků má téma, které se znovu nevyskytne, jak bude vidět i v části 4.3.4.

Např. článků o pražském Tančícím domě je velmi málo, kategorii **Tančící dům** bude tedy mít pouze malé množství článků. S nějakou úrovní sémantické analýzy by se článek mohl taktéž „automaticky“ zařizovat do kategorie **architektura** nebo **Praha**.

Na druhou stranu, sémantická analýza je příliš složitá, nejednoznačná (jaký je např. vztah témat **premiér ČR** a **Petr Nečas**?) a rozhodně jde za rámec této bakalářské práce.

Je nutno dodat, že ve skutečnosti klasifikátor nezazřizuje do nekonečně mnoha kategorií, ale opět pouze do konečného množství — a to právě do těch kategorií, které byly označeny v trénovacích datech. Dále je nutné v evaluaci, kterou popisují v části 2.5, brát v úvahu také pouze existující kategorie.

2.3.4 Počet kategorií na článek

Důležitou otázkou je také to, jestli má každý článek pouze jedinou tématickou kategorii, nebo jich může mít více.

Jedna kategorie na každý článek má výhodu kvůli jednodušší evaluaci, na druhou stranu je *složitější* fáze lidského zařídování.

Ve skutečnosti se totiž málokdy články týkají pouze jednoho tématu. Podstata novinového článku sama o sobě je spojovat dohromady více skutečností, informovat o dění v určitém místě, spojovat dohromady více osob apod. Proto se článek ze *samé své podstaty* dotýká více než jednoho tématu.

U varianty s neomezenou množinou kategorií jsem nechal možných kategorií na jeden článek více, u varianty s omezenými kategoriemi pouze jednu na článek.

2.4 Další přístupy

V této části shrnuji další přístupy, které jsem ovšem neimplementoval, takže jejich případné výhody či nevýhody mohu posuzovat pouze teoreticky.

2.4.1 Shlukování

Další variantou je jít na problém jakoby z druhé strany a použít metodu tzv. *shlukování* (*clustering*). Tento přístup dobře popisuje například [Andrews – Fox (2007)].

Zjednodušeně řečeno jde o to, že na rozdíl od kategorizace se dokumentům nepřirazují kategorie, ale dokumenty jsou rozděleny do množin na základě vzájemné podobnosti a případné názvy jsou těmto množinám — tzv. *shlukům* (*clusterům*) přiřazovány až ex-post.

Pro úlohu clusteringu je třeba mimo jiné mít nějak definovanou míru podobnosti mezi dvěma různými dokumenty. V našem případě by možná bylo možno tuto „vzdálenost“ definovat jako velikost průniku klíčových slov.

Clustering jsem i kvůli nedostatku času blíže nezkoumal a zde ho uvádím spíše pro srovnání.

2.4.2 Latent semantic indexing

Latent semantic indexing (zkráceně *LSI*) je mírně rozdílný způsob indexování dokumentů. Postup dobře popisuje [Deerwester et al. (1990)]. *LSI* v podstatě pouze pomocí jednoduché lineární algebry řeší problémy se synonymií termínů (nikoliv však polysémií); na druhou stranu je ve své původní formě navržen pro problém *text retrieval* — tj. pro mírně odlišný problém, než je ten náš.

Podstata *LSI* je v tom, že matici $\langle \text{dokumenty} \times \text{termíny} \rangle$ rozloží pomocí techniky *singular value decomposition* (zkráceně *SVD*) a poté zmenší dimenzi prostoru dokumentů a termínů; jednotlivé dimenze pak [Deerwester et al. (1990)] interpretuje jako „koncepty“.

Přesněji je matice X definovaná jako matice o velikosti $t \times d$, t je počet termínů, d je počet dokumentů. V matici se na pozici $x_{\text{termín}, \text{dokument}}$ nachází počet výskytů termínu *termín* v dokumentu *dokument*.

SVD metoda převede tuto matici na násobek tří matic $T \times S \times D'$, kde matice S je čtvercová diagonální matice o velikosti $m \times m$ (kde $m \leq \min(t, d)$), matice T má ortonormální sloupce, stejně jako matice D , ke které je D' komplexně

sduženou maticí — matice T je velká $t \times m$, matice D' $m \times d$.¹ Tento rozklad existuje pro *každou* matici.

Můžeme si tedy představit, že prostor termínů a prostor dokumentů má dimenzi m ² — myšleno tak, že pro daný termín a dokument je pozice v matici $X_{\text{termín,dokument}}$ skalárním součinem řádku odpovídajícímu danému termínu v matici $TS^{\frac{1}{2}}$ a řádku odpovídajícímu danému dokumentu v matici $DS^{\frac{1}{2}}$, které jsou oba velké m .

Pro zjištění podobnosti dvou dokumentů či dvou termínů je možné si také reprezentovat termíny či body v m -rozměrném prostoru, ale tyto body jsou mírně jiné, viz [Deerwester et al. (1990)], zvláště kapitola 4.2.3.

Hlavním krokem LSI je to, že prvky v diagonální matici S lze seřadit podle velikosti, nechat pouze prvních k největších prvků na diagonále a zbytek, tj. naopak $m - k$ nejmenších prvků na diagonále, nahradit nulami. Vznikne poté aproximace matice X , nazveme ji \bar{X} , je daná součinem $T\bar{S}D$. Jelikož má S na diagonále nuly, je možné³ řádky s nulami úplně vynechat, vymazat odpovídající řádky a sloupce z matic T a D a mít tedy matice o rozměrech $t \times k$, $k \times k$ a $k \times d$.

Prostor termínů a prostor dokumentů má teď zmenšenou dimenzi k (stejnou úvahou, jako výše). Dokumenty i termíny jsou teď určeny řádky matic $\bar{D}\bar{S}^{\frac{1}{2}}$ a $\bar{T}\bar{S}^{\frac{1}{2}}$.

Podle [Deerwester et al. (1990)] je možné interpretovat tyto řádky jako příslušnost termínů k jednotlivým konceptům.

Je otázkou, jak přesně by k nalezení našich „témat“ LSI přispěl, jestli vůbec; jestli by bylo například možné už tyto koncepty nějak prohlásit za témata, případně použít tuto metodu například ke shlukování dokumentů, slov nebo obojího.

Nad čím by bylo také potřeba uvažovat je způsob SVD rozkladu matice X , která se celá nevejde do běžné paměti (pokud bychom opravdu vzali všechny články a termíny) a je velmi řídká.

2.4.3 Latent Dirichlet allocation

Latent Dirichlet allocation (zkráceně *LDA*) je pravděpodobnostní model, který zajímavě řeší problematiku témat.

LDA byl poprvé popsán v [Blei et al. (2003)]. Je to generativní pravděpodobnostní model, který pracuje se zjednodušením, že u slov ve článku nezáleží na pořadí. Při generování článku v korpusu se postupuje následovně:

- Předem je dáno pravděpodobnostní rozdělení, generující délku článku. Jeho podoba není příliš důležitá.⁴
- Předem je dán také počet témat k .
- Dále je předem znám vektor α o velikosti k , který je použit jako parametr Dirichletova rozdělení.

¹Konvence pro velikosti matic u SVD se liší zdroj od zdroje; zde jsem zvolil konvenci od [Deerwester et al. (1990)].

²V [Deerwester et al. (1990)] je toto vysvětleno až u redukované matice, ale platí to analogicky i před redukcí

³Z principu násobení matic, více opět [Deerwester et al. (1990)]

⁴Autoři [Blei et al. (2003)] uvádějí Poissonovo rozdělení, ale vzápětí také dodají, že toto rozdělení není dále příliš relevantní.

- Dále je předem známá matice β velká $k \times v$ (kde v je počet všech slov), která na $\beta_{i,j}$ má pravděpodobnost $p(\text{slovo } j | \text{téma } i)$
- Pro každý dokument se nejdříve vygeneruje jeho velikost.
- Poté se vybere parametr $\theta \sim \text{Dir}(\alpha)$, pro **každý dokument zvlášť**.
- Pro **každé slovo zvlášť** se pak podle pravděpodobností v θ vybere téma z (tedy $z \sim \text{Categorical}(\theta)^5$).
- Podle pravděpodobnosti v matici β se poté vygeneruje slovo.

Znamená to tedy následující:

- Článek nemá jedno téma, ale pravděpodobnost témat θ pro svoje slova.
- Každý token má naopak svoje téma.
- Jeden typ může být (a často je) ale generován více tématy.
- Těchto slovních témat je omezený počet (k) pro celý korpus.

Pokud máme naopak pouze korpus, potřebujeme přiřadit jednoznačně tokeny k tématům, odhadnout θ pro každý dokument a také parametry α a β . Jeden z možných algoritmů ke stavbě LDA modelu je popsán opět v [Blei et al. (2003)].

Z uváděných neimplementovaných metod bych nejspíše LDA implementoval jako první a v případné další práci by bylo dobré ji prozkoumat podrobněji, jelikož automaticky řeší velké množství problémů. Je možné, že k takto nalezených témat už by bylo automaticky možné prohlásit za „témata“ — na druhou stranu, je třeba si uvědomit, že θ neříká to, jaké jsou pravděpodobnosti, že článek patří do tématu, ale opravdu pouze pravděpodobnosti témat jednotlivých slov.

Pro doplnění je dobré dodat, že tzv. online LDA algoritmus na stavbu LDA modelu byl implementován například v projektu GenSim Radimem Řehůrkem z Centra zpracovávání přirozeného jazyka na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity, viz [Řehůrek – Sojka (2010)] či přímo stránky projektu: <http://nlp.fi.muni.cz/projekty/gensim/index.html>; autoři popisují průběh algoritmu na korpusu celé anglické wikipedie zde: <http://nlp.fi.muni.cz/projekty/gensim/wiki.html#latent-dirichlet-allocation>.

2.5 Evaluace

Nalezení metriky kvality detekce témat bylo jedno ze zadání bakalářské práce. Zatímco klasifikace má sama o sobě dobře definovanou metriku, u dalších metod je evaluace problematická.

⁵[Blei et al. (2003)] uvádí multinomické rozdělení, ale jedná se pouze o jeden výběr, tedy nám stačí kategorické.

Klasifikace

Evaluaci u klasifikátorů jsem provedl metodou *cross-validate* (*cross-validation*), popsanou například opět v [Sebastiani (2002)], a jednotlivé testy v cross-validaci jsem provedl pomocí *makroprůměru* (*macroaveraging*) i *mikroprůměru* (*microaveraging*), popsaných tamtéž.

Cross-validate funguje tak, že z množiny všech článků se vybere pod množina Ω , která je ručně zatříděna do kategorií. Tato množina je rozdělena do k disjunktních množin Te_1, Te_2, \dots, Te_k , a poté je na dvojicích $\langle Tv_i = \Omega - Te_i, Te_i \rangle$ provedena klasická evaluace (pokaždé ale s *novým* klasifikátorem), nazývaná v [Sebastiani (2002)] *train-and-test*.

V metodě *train-and-test* je klasifikátor natrénován testovaným algoritmem na množině Tv a menší množinu článků Te poté zatřídí do kategorií. Klasifikátor ruční zatřídění na množině Te nezná a znát *nesmí*.

Po každém z těchto dílčích testů je na základě porovnání ručního a strojového zatřídění na množině Te spočítána *přesnost* (*precision*) a *úplnost*⁶ (*recall*) — tyto přesněji definuji níže; z nich je poté spočítáno pro každý dílčí test F_1 -skóre (F_1 -score).

Tato skóre jsou poté ze všech k dílčích testů dohromady zprůměrována; pro ilustraci ve výsledcích uvádím i průměrnou přesnost a úplnost.

Jelikož při každém dílčím testu je použita pouze množina, velká $\frac{k-1}{k} |\Omega|$, znamená to, že klasifikátor nikdy nefunguje tak dobře, jak by „mohl“ — ale testování na stejných datech, na kterých byl klasifikátor natrénován, by dávalo nerealisticky dobré výsledky.

Pro dílčí evaluace počítám přesnost a úplnost *vzhledem ke kategoriím* (*with respect to category*), průměrované pomocí *mikro-* a *makroprůměru* (*micro* a *macro averaging*). Jde o to, že pro každou kategorii c_i jsou spočítány hodnoty:

- TP_i : *true positive* — počet dokumentů, které měly být a jsou v kategorii c_i ,
- FP_i : *false positive* — počet dokumentů, které neměly být v kategorii c_i , ale jsou,
- FN_i : *false negative* — počet dokumentů, které měly být v dané kategorii, ale nejsou.

Spolu s TN_i (*true negative* — počet dokumentů, které neměly být v dané kategorii a nejsou) platí pro všechny kategorie c_i :

$$(FP_i + TP_i) + (FN_i + TN_i) = |c_i| + |Te \setminus c_i| = |Te|.$$

Poté je přesnost (π) a úplnost (ρ) spočítána dvěma způsoby. Jeden (tzv. mikroprůměr, s indexem μ) je spočítán přes všechna rozhodnutí o kategorizaci, druhý (makroprůměr, s indexem M) přes všechny kategorie, tj.

$$\pi_\mu = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{\sum_{i=1}^{|C|} TP_i}{\sum_{i=1}^{|C|} (TP_i + FP_i)},$$

⁶Český překlad slova *recall* není ustálen — velká část odborné literatury používá přímo anglické názvy, kromě termínu *úplnost* je někdy také používáno termínu *pokrytí*.

$$\rho_\mu = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{\sum_{i=1}^{|C|} TP_i}{\sum_{i=1}^{|C|} (TP_i + FN_i)},$$

$$\pi_M = \frac{\sum_{i=1}^{|C|} \frac{TP_i}{TP_i + FP_i}}{|C|},$$

$$\rho_M = \frac{\sum_{i=1}^{|C|} \frac{TP_i}{TP_i + FN_i}}{|C|}.$$

V obou případech lze říci, že přesnost znázorňuje podíl toho, že pokud je dokument klasifikátorem zatříděn do kategorie c , tak tam má být zatříděn; zatímco úplnost znázorňuje podíl toho, že pokud má být dokument do kategorie zatříděn, tak tam klasifikátorem je zatříděn. To odpovídá českým názvům.

Technicky je nutné dořešit jeden problém, kterému se [Sebastiani (2002)] nevěnuje. Jak přesně spočítat přesnost, pokud jsou TP i FP rovné nule, tj. klasifikátor nevydal ani jedno pozitivní rozhodnutí? Já tento problém vyřešil takto — pokud jsou při výpočtu mikroprůměru TP i FP rovny nule — tj. klasifikátor nevydal *ani jedno* rozhodnutí, je π_μ rovno jedné, protože jsou jakoby všechna rozhodnutí správně. Stejně tak uvažuji ve výpočtu makroprůměru v počítání „malých“ přesností pro každou kategorii.

Ani přesnost, ani úplnost není možno brát jako samostatnou metriku — například $\rho = 1$ lze docílit triviálním klasifikátorem, který zatřídí každý článek do všech kategorií. K průměrování těchto dvou hodnot k dosažení jediné metriky se používá F_1 -skóre, které je (například opět podle [Sebastiani (2002)]) definováno jako

$$F_1 = \frac{2\rho}{\pi + \rho}.$$

Jelikož mám dvojí přesnost a úplnost, mám i dvojí F_1 skóre, jedno pro mikro- a jedno pro makroprůměr; označuji je F_μ a F_M . Tato dvě skóre tedy беру jako finální metriky kvality detekce kategorií.

Další metody

Jak jsem již uvedl v sekcích 2.1 a 2.2, tyto metody vrací spíše klíčová slova než témata. Je velmi obtížné pro kvalitu určování těchto klíčových slov navrhnout metriku, která by dávala smysluplné výsledky.

Zkusil jsem pro evaluaci těchto metod využít stejnou metriku, co pro úlohu kategorizace — tj. použít ručně zatříděná data a výsledky srovnat s nimi. Úlohu evaluace na těchto metodách jsem si pro tyto účely upravil takto:

1. Slova, která tyto metody vrací, jsou názvy kategorií, do kterých je článek strojem zatříděn; tj. z metod, které nefungují na principu klasifikace, vyrobím svého druhu klasifikátory.
2. Naopak názvy ručně určených kategorií jsou často víceslovné; proto chápu pro jednoduchost shodu mezi ruční kategorií, skládající se ze slov $a_1, a_2 \dots a_n$ a strojem určenou kategorií, skládající se ze slova b tak, že *některé* ze slov a_1 až a_n je rovno b .

3. Protože takto definované klasifikátory se nijak neučí, není potřeba dělit množinu článků na testovací a trénovací část a provádět cross-evaluaci — je možné *rovnou* spočítat π , ρ a F_1 , vše podle definic, uvedených výše.

Tento způsob evaluace má o něco volnější definici *true positive*, tedy při srovnání s evaluací klasických klasifikátorů dává lepší výsledky, než by jí možná odpovídalo.

3. Další implementační problémy

V této kapitole se pokusím rozebrat jednotlivé problémy, které úkol sledování témat v elektronickém zpravodajství má, a ukázat různé varianty jejich řešení. Zároveň s tím zmíním některé implementační problémy samotného programu.

3.1 Výběr serverů

Seznam webů ke sledování jsem se rozhodl vybrat ručně, čistě podle toho, jak „důvěryhodné“ mi připadaly — tj. převážně ty, které mají za sebou tištěné deníky, a navíc server <http://aktualne.cz>, který je v ostatních médiích také často citován.

Kromě „seriozních“ deníků jsem přidal pro úplnost také bulvární servery blesk.cz a bleskove.cz.

V souvislosti s dalším problémem jsem vybíral pouze takové servery, které seznam svých článků vydávají ve formátu RSS. Úplný seznam je uveden v Příloze A.

3.2 Získávání článků

Získávat články lze několika způsoby. Já zvolil následující dva.

RSS

RSS je technologie, umožňující serverům vydávajícím pravidelný obsah oznamovat vydávání nových článků přes takzvané RSS kanály a čtenářům naopak umožňující tyto nové články sledovat.

Jelikož drtivá většina českých zpravodajských serverů RSS kanály podporuje, rozhodl jsem se tuto technologii použít ke stahování nových článků.

Archiv

Z technických důvodů mi ovšem RSS kanály určitou dobu nefungovaly. Proto jsem do programu přidal další funkci — stahování článků přes archiv zpráv.

Všechny mnou sledované weby (kromě, bohužel, serveru iHNed.cz¹) mají nějakou formu archivu, který je zdarma přístupný. Každý z těchto archivů je možno velmi jednoduše projít a články za období výpadku RSS stáhnout.

Je důležité si ale uvědomit, že články v archivu nejsou vždy shodné se články v RSS, což bude více vidět v kapitole 4.1. Proto se počet a struktura článků ve dnech, kde byly články stahovány první metodou, liší od dnů, kdy byly stahovány druhou metodou.

¹Server iHNed.cz má sice starší články na webu zdarma přístupné, ale nemá přístupný seznam více než 300 článků v každé kategorii, což odpovídá přibližně dvěma měsícům.

3.3 Vyčištění článku

Jak dobře popisuje například [Yi et al. (2003)] či [Lin – Ho (2002)], kolem „skutečného“ obsahu článku, který nese sémantickou informaci, je také velké množství dalšího textu, například odkazy na jiné články, navigační prvky apod. Tyto HTML elementy sice uživateli pomáhají lépe se orientovat na stránce a v nejlepším případě jsou pro člověka jasně vizuálně oddělitelné od obsahu článku, stroj má ale k dispozici pouze zdrojový HTML kód a oddělení „skutečného“ textu článku od „zbytku“ je netriviální problém. Na tento problém existuje několik možností řešení.

Vyčištění vynechat

První řešení se nabízí vyčištění článku úplně vynechat a (například pomocí programu `links`) jako obsah článku vzít vše, co je zobrazeno.

Jak správně podotýká například [Lin – Ho (2002)], článek je ale potom pro strojové zpracování nepoužitelný, jednak z toho důvodu, že se některé výrazy často opakují, a poté i proto, že délka samotného textu článku je často kratší, než délka okolních navigačních prvků.

Šablony

Dalším řešením je nějak *a priori* popsat, které HTML prvky jsou opravdu obsahové, které naopak nejsou a tyto seznamy vytvořit pro každý zpravodajský zdroj zvlášť. Tomuto přístupu se někdy říká *používání šablon* (*templating*).

Jeho hlavní nevýhoda je zřejmá — je potřeba předem znát HTML strukturu stránek, které budeme čistit. Vzhledem k tomu, že můj projekt běžel delší dobu, po které se designy a názvy HTML elementů různě měnily, nebyl tento přístup příliš použitelný.

Lepším přístupem je řešit vyčištění článků až podle obsahu jednotlivých HTML DOM elementů bez předchozí znalosti struktury stránky (případně s použitím názvů tagů pouze jako doporučení pro automatické čištění). Z mnoha možností jsem nakonec zvolil následující.

Vyčištění na základě hustoty odkazů

Rozhodl jsem se využít utilitu `Readability`, která je původně psána jako JavaScriptový browser plugin k pohodlnějšímu uživatelskému čtení internetových článků (a jako takovou ji používá například prohlížeč Safari pod názvem Safari Reader).

Utilita je o něco složitější, ale základní způsob, jakým určuje obsahové části od neobsahových, je poměr odkazů k běžnému textu. Čím větší je podíl odkazů, tím menší je pravděpodobnost, že se jedná o část s obsahem.

`Readability` bohužel nemá žádnou další dokumentaci, kterou bych lze mohl citovat, kromě komentářů ve zdrojovém kódu.²

²Zdrojový kód lze nalézt na adrese projektu
<http://code.google.com/p/arc90labs-readability/>.

3.4 Kontinuální zpracování

V zadání práce je nepřímo zmíněno, že sledování zpravodajství a vyhledávání témat bude probíhat dlouhodobě a kontinuálně.

To představuje mírný problém. Například TF-IDF váhová funkce se kontinuálně zlepšuje s tím, jak do databáze přibývají nové a nové články. Vystává otázka, zda je třeba s novými články, a tedy s novými inverzními frekvencemi, měnit zpětně články s už nalezenými tf-idf tématy. Algoritmus LSI pro SVD také potřebuje mít matici kompletní.

Nakonec jsem kontinuální zpracování vůbec neřešil — jak bude vidět v části 4.1, sbírání článků jsem v určitém momentě zastavil a úlohu detekce témat řešil pouze na dané množině. Tím jsem se mírně odchýlil od zadání.

3.5 Lingvistické předzpracování

3.5.1 Lemmatizace

V kapitole 2 jsem mluvil obecně pouze o slovech. Pro lepší výsledky při počítání frekvencí je dobré převést různé tvary stejného slova na kanonickou formu — buď prostřednictvím lemmatizace, nebo pomocí tzv. stemmingu. *Lemmatizace* (*lemmatization*) je převedení slova do základního tvaru, tzv. *lemmatu* — např. u podstatných jmen jde o nominativ singuláru.

V rámci Ústavu formální a aplikované lingvistiky existuje projekt TectoMT, v němž jsou už předinstalované dva lemmatizátory, pojmenované TagHajic a MorCe. Více informací lze zjistit na domovské stránce projektu, <http://ufal.mff.cuni.cz/tectomt/>.³

Pro lemmatizaci používám lemmatizátor TagHajic — sice vrací o něco horší výsledky, ale má menší paměťové nároky a pracuje o něco rychleji.

3.5.2 Pojmenované entity

Při vyhledávání klíčových slov si ještě mírně pomáhám vyhledáním tzv. *pojmenovaných entit* (*named entities*), taktéž pomocí vestavěných modulů v TectoMT. Pojmenované entity jsou jména osob, míst, organizací a podobně.

Předpokládám, že pojmenované entity budou mít vyšší důležitost, než ostatní slova. Proto jim v rámci TF-IDF vážící funkce dám určitý „náskok“ — tj. že počet výskytů $n_{i,j}$, tedy i celou váhovou funkci, vynásobím koeficientem 2.

Pohlíženo zpět si nejsem zcela jist, jestli tento krok byl vhodný, protože je možné, že tyto entity by tak jako tak dostaly vyšší TF-IDF skóre. Na druhou stranu, jména osob a míst jsou často klíčová slova článku, a protože automatický pojmenovávač entit funguje na jiné bázi, než TD-IDF, je dobré tyto dva komplementární přístupy kombinovat.

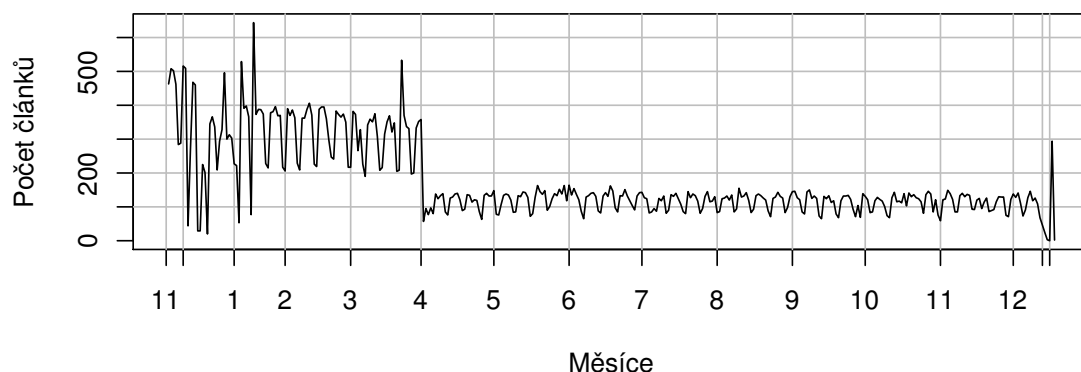
Každopádně jde pouze o teoretickou otázku, kterou jsem přímo neověřoval, pojmenovávač entit jsem nechával jako součást programu a ani koeficient jsem neupravoval.

³Pro úplnost dodám, že projekt TectoMT se nově jmenuje TreeX a bude ke stažení z archivu CPAN (<http://cpan.org>).

4. Experimenty

4.1 Sběr dat

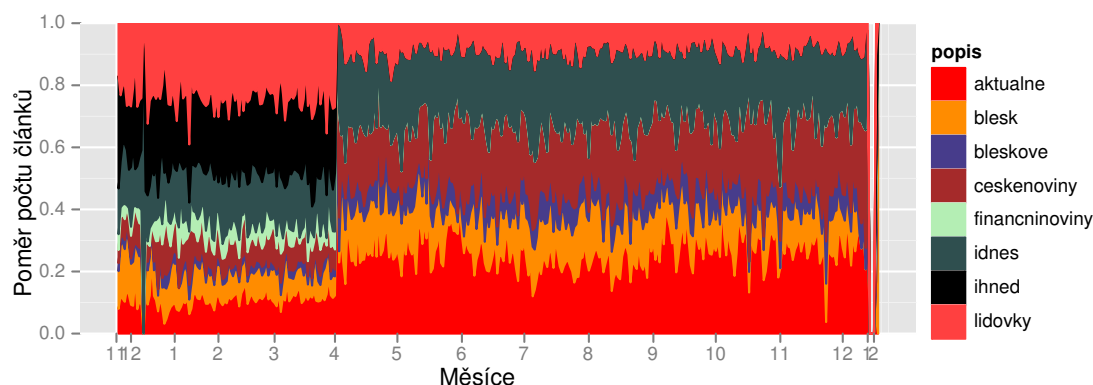
Články byly sbírány mezi prosincem 2009 a lednem 2011. Jak jsem již naznačil v sekci 3.2, část dat jsem sbíral přes RSS, druhou část přes archiv zpráv. Jasný časový předěl mezi těmito dvěma částmi byl 1. duben 2010 — do tohoto data se články sbíraly přes RSS, od tohoto data dále se články sbíraly přes archiv.



Graf 1: Počty článků v čase

První zajímavou veličinou je samotný počet článků, který jsem vynesl do Grafu 1. Na horizontální ose je vynesena čas, na vertikální počet článků. Na horizontální ose jsou pouze dny s nenulovým počtem článků; počáteční měsíc, kdy ještě systém zcela nefungoval, je tedy o něco kratší. Na horizontální ose jsou také vyznačeny měsíce (pro jednoduchost je vynecháno označení roků — většina grafu je rok 2010).

Kromě počátečních a závěrečných výkyvů, způsobených drobnými chybami v experimentu, stojí za pozornost jednak „pád“ v dubnu 2010, způsobený již popisovanou změnou způsobu sběru článků, a potom pravidelné týdenní fluktuace, způsobené menším množstvím zpráv o víkendech.



Graf 2: Poměr článků z jednotlivých zdrojů

Složení jednotlivých zdrojů v databázi jsem vynesl do Grafu 2. Co stojí za zmínku je fakt, že server iHNed jsem po 1.dubnu 2010 do databáze nestahoval, protože na severu iHNed.cz není k dispozici archiv; dále splynuly servery

Factum Invenio	průzkum	volby	ODS	ČSSD
KSČM	TOP 09	KDU-ČSL	Věci Veřejné	domácí politika

Tabulka 1: Moje kategoričká témata pro Článek 1

Barack Obama	Indie	opice
--------------	-------	-------

Tabulka 2: Moje kategoričká témata pro Článek 2

České noviny a Finanční noviny (v grafu to není úplně zřetelné), protože jejich archivy jsou totožné.

4.2 Ruční zatřídování

Pro evaluaci různých metod potřebuji množinu ručně zatříděných článků, jak popisují v části 2.5. Jak popisují v části 2.3.3, rozhodl jsem se pro dvě možnosti — u první může být článek ve více kategoriích, které vytvářím až při ručním třídění; u druhé jsem si předem zadal několik obecných kategorií, kde každý článek má tuto kategorii pouze jednu.

Proti kategoriím vzniklým první možností tedy testuji všechny metody (včetně těch, které nejsou přímo založeny na principu klasifikace); klasifikátory poté testuji i proti omezeným, obecným kategoriím, které popisují v části 2.3.3.

Z celé databáze článků jsem vybral podmnožinu 200 článků, které jsem takto zatřídil. Jak se ukazuje, je ruční kategorizace do témat obtížná sama o sobě (možná *právě* i kvůli neomezenosti množiny témat).

Pro ilustraci jsem z těchto 200 článků vybral náhodně dva, na kterých ukážu problémy jak ručního zatřídování v této části, tak konkrétní výsledky jednotlivých metod v části další. Jde o článek *Volby skončí patem, Zeman zůstane mimo* ze serveru Týden.cz ze dne 12. 5. 2010 a článek *Indie se chystá na Obamovu návštěvu: chytá opice a očesává kokosy* ze serveru iDnes.cz ze dne 3. 11. 2010; tyto články jsou na další straně.

U Článku 2 je vidět, proč jsem zavrhl u neomezených tematických kategorií možnost, že by byla na článek pouze jedna. Jak zvolit jedinou kategorii, ve které by článek byl — byla by to *Indie*, *Obama*, *cesty prezidentů*, *opice*, *Taj Mahal*...?

I přes povolení více kategorií je ale úloha ruční kategorizace poměrně složitá. Úlohu „zvol jedno téma“ jsem změnil na úlohu „najdi všechna témata“ — o jakých všech tématech je ale Článek 2? Tím, že jsem si nedefinoval žádný přesnější rámec, může být tématem cokoliv, co je se článkem sémanticky spojeno, tj. *opice*, ale také např. *kabely*, *chystání státníků na zahraniční cesty*, *útoky přírody na člověka*,...

Ve skutečnosti jde s kategoriemi jít až absurdně „vysoko“ a abstraktně; nebo naopak velmi „nízko“ a konkrétně. V tom spočívá hlavní slabina mé snahy o ruční nalezení všech kategoričkých témat — je jich prostě až příliš mnoho.

V Tabulkách 1 a 2 jsou moje kategorie pro ilustrační články. Je vidět, že jsem se snažil být poměrně střízlivý; i přesto vyšlo v rámci celého ručního zatřídování na 200 článků 324 kategorií, většina z nich (přesně 236) obsahuje ale pouze jeden článek!

Volby do Poslanecké sněmovny by podle volebního modelu agentury Factum Invenio z konce dubna vyhráli sociální demokraté s 27,5 procenta hlasů. ODS by volilo 21,7 procenta lidí. Ve sněmovně by zasedli i zástupci KSČM, TOP 09, Věci veřejných a KDU-ČSL. Sociální demokraté by podle Factum Invenio sice byli vítězi voleb, jejich podpora ale podle agentury poklesla a k sestavení menšinové vlády by jim nadále nestačila podpora KSČM. ČSSD by nedosáhla na většinu ani ve spojení s KDU-ČSL a Věci veřejnými. Průzkum naznačuje patovou situaci, protože většinu by neměla ani pravicová koalice ODS, TOP 09 a Věci veřejných. Podle prognózy posílila Strana práv občanů — zemanovci. Se ziskem 3,2 procenta hlasů by se ale podle agentury do sněmovny nedostala. Za branami parlamentu by zůstali i zelení s 2,9 procenta. Průzkum se odehrál mezi 23. a 28. dubnem na vzorku asi tisíc lidí. KSČM by podle modelu skončila třetí s 13,9 procenta hlasů. Těsně za komunisty by se umístila TOP 09 s 11,1 procenta a téměř stejného zisku by dosáhly Věci Veřejné s 11 procenty. Lidovci by těsně překonali hranici nutnou pro vstup do parlamentu s 5,2 procenta. ČTĚTE TAKÉ: Volební spoty: lepší dobře ukrást než špatně vymyslet V přepočtu na mandáty by ČSSD získala 66 sněmovních křesel, ODS 51, KSČM 30, TOP 09 22, Věci veřejné 23 a KDU-ČSL by disponovala osmi mandáty. Pro sestavení většinové vlády bez podpory komunistů by tak ČSSD i ODS potřebovaly účast všech tří menších stran — TOP 09, Věci veřejných i KDU-ČSL. Výpočet mandátů je ale podle Factum Invenio zatížen výběrovou chybou, která může způsobit odchylku až dvou poslaneckých křesel. Koalici ČSSD, KDU-ČSL a Věci veřejných přitom chybí k většině jen tři křesla a pravicovému uskupení čtyři mandáty. Jen čtyři poslanci by také chyběli k většině spojení ČSSD a KSČM. Foto: Jan Schejbal, ČTK

Článek 1: Volby skončí patem, Zeman zůstane mimo

Džungle naproti prezidentskému apartmá v hotelu Taj Mahal v Bombaji bude o víkendu jedním z nejtřeštěnějších míst na světě. Zvláštní komanda vybavená dalekohledy s nočním viděním budou dávat pozor na každé šustnutí. A to také kvůli opicím, které město v poslední době doslova terorizují. Podle deníku The Daily Telegraph makakové neustále přebíhají přes vládní pozemky, překusují kabely, napadají lidi nesoucí jídlo a celkově vyvolávají paniku. Přestože místní noviny pravidelně píší o škodách, které opice napáchaly, a o obětech jejich hladových útoků, úřady se dosud neměly k zásahu. Makak je totiž pro hinduisty symbolem opičího boha Hanumana. Kvůli Obamově návštěvě ale nemohou jinak, než přichystat potřebná opatření. Po zuby ozbrojené, speciálně cvičené protiteroristické jednotky tak doplní chytací opic. „Rozmístíme policejní komanda, odstřelovače a také lidi na chytání makaků, abychom zvýšili Obamovu bezpečnost,“ řekl jeden z policistů listu The Hindustan Times. Kokosy mizí z ulic Další hrozbu představují pro Obamu bombajské kokosovníky. Padající kokosy v Indii každoročně zraní, ale i zabijí několik lidí. Aby se to nestalo i Obamovi, mizí postupně suché ořechy z palem v místech, kde se bude americký prezident při páteční návštěvě pohybovat. Indové už tak očesali kokosy například u Gándhího muzea, uvedla britská BBC. Dvoupatrový komplex, zasvěcený otci indické nezávislosti Mahátmovi Gándhímu, stojí na jihu Bombaje a cesta k němu je lemována právě kokosovníky. V domě je kromě muzea i pokoj, ve kterém Gándhí žil sedmáct let. Obama Gándhího otevřeně obdivuje a říká o něm, že pro něj byl inspirací. Jeho portrét si dokonce pověsil do senátorské pracovny. I proto chce jeho muzeum navštívit. Indické úřady budovu na tuto událost připravily, například ji kompletně zrekonstruovaly.

Článek 2: Indie se chystá na Obamovu návštěvu: chytá opice a očesává kokosy

ρ_μ	π_μ	F_μ	ρ_M	π_M	F_M
1.67 %	4.50 %	2.44 %	0.31 %	0.01 %	0.03 %

Tabulka 3: Přesnost a úplnost triviální kategorizace

lemma	být	a	s	procento	podle	veřejný	kdu	čsl	09	ksčm
četnost	19	10	8	8	7	7	5	5	5	5

Tabulka 4: Frekvenční témata na Článku 1

lemma	být	a	v	na	se	gáandhí	opice	i	o	kokos
četnost	7	7	7	6	5	4	4	4	4	4

Tabulka 5: Frekvenční témata na Článku 2

lemma	v	být	a	se	na	ten	že	z	on
četnost	50619	50617	45068	44707	41691	15265	13904	11874	10437

s	který	rok	o	mít	podle	do	za	i	svůj	ale
9937	9597	7179	6930	5805	5727	5355	3814	3593	2452	2424

Tabulka 6: Nejčetnější frekvenční témata

ρ_μ	π_μ	F_μ	ρ_M	π_M	F_M
28.49 %	7.97 %	12.46 %	13.79 %	13.04 %	13.41 %

Tabulka 7: Přesnost a úplnost vyhledávání frekvenčních témat

Zatřídování v rámci obecných kategorií je naopak mnohem jednodušší, rozhodování o ručním zatřídění trvá výrazně kratší dobu. Ke Článku 1 jsem přiřadil kategorii *Politika domáci*, ke Článku 2 jsem přiřadil kategorii *Politika svět*.

4.3 Hledání témat

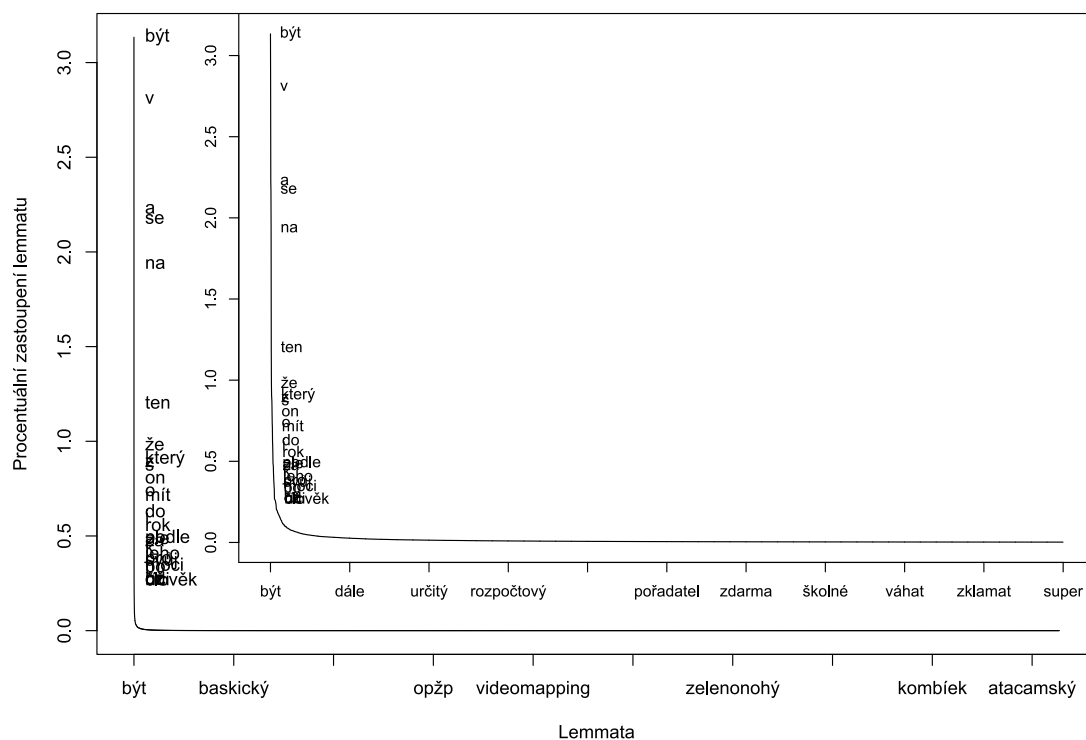
V této kapitole chci ukázat výsledky jednotlivých přístupů k hledání témat ve článcích a ukázat na nich jejich výhody a nevýhody. Jedním z úkolů bakalářské práce bylo i hledání něčeho, jako je „okurková sezóna“; pokouším se tedy i zjistit, jestli vynesemím některých veličin na časovou osu nějaké zajímavé trendy nenaleznu.

Triviální kategorizace

Pro srovnání s dalšími metodami jsem otestoval i triviální kategorizaci, která každému článku přiřadí právě jednu kategorii, a to ODS. Výsledky evaluace jsou v Tabulce 3 — jsou, dle očekávání, téměř nulové.

4.3.1 Frekvenční témata

Prvním pokusem o definování témat bylo jednoduché počítání frekvencí, bez zavedení stop slov. Jak jsem již popsal v části 2.1, takto nalezená témata jsem nazval frekvenčními tématy; počet frekvenčních témat na jeden článek jsem určil jako 10.



Graf 3: Četnosti lemmat

počet lemmat	4	15	49	142	350	752	1532	3260	8666
zastoupení	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%

Tabulka 8: Počet lemmat pro násobky 10%

Jak vyjdou frekvenční témata na ukázkových člancích ukazují Tabulky 4 a 5; nejčastější frekvenční témata, posčítaná na celém korpusu, jsou vidět v Tabulce 6.

Jak je z těchto tabulek vidět, nemá toto počítání témat přílišný smysl — nalezenými frekvenční tématy jsou většinou právě stop-slova, tedy pomocná slova bez jakéhokoliv významu. Pokud otestuji tato témata pomocí metrik F_1 , vyjdou mi výsledky, které jsou uvedeny v Tabulce 7. Jsou sice řádově lepší, než u triviálního vyhledávání témat, ale stále nejsou příliš dobré.

4.3.2 Stop-témata

Stop-témata jsem si v 2.1 nazval témata, počítána stále „hloupě“ přes frekvence, ale s vynecháváním stop-slov.

Stop-slova jsem neurčil „ručně“, ale rozhodl jsem se je nalézt algoritmicky. K tomu je dobré vědět, která slova se jak často vyskytují a jakou část textu zabírají — proto jsem nejdříve zjistil frekvence všech lemmat v celém textu.

Pokud se frekvence všech přibližně 185 tisíc typů lemmat zakreslí do grafu, stoupání je tak rychlé, že připomíná spíše pravý úhel; pokud se ale zakreslí pouze prvních 5 tisíc typů, je stoupání o něco pozvolnější. Oba grafy jsem pro úsporu místa nakreslil přes sebe do Grafu 3 — „vnější“ graf je všech typů, „vnitřní“ pouze nejčetnějších 5 tisíc.

Na svislé ose je vyneseno procentuální zastoupení lemmatu v celé databázi, na vodorovné ose jsou lemmata, seřazena dle četnosti. Pro ilustraci je na vodorovné

lemma	kdu	čsl	09	ksčm	mandát	factum	většina	invenio	2	hlas
četnost	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3

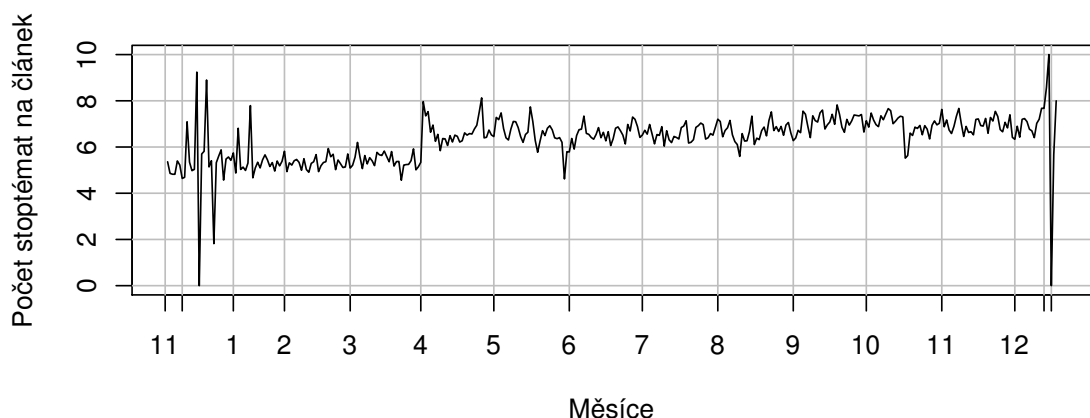
Tabulka 9: Stop-témata pro Článek 1

gándhí	opice	kokos	makak	návštěva	muzeum	indický	mizet	the	kokosovník
4	4	4	3	3	3	2	2	2	2

Tabulka 10: Stop-témata pro Článek 2

lemma	nehoda	nemocnice	řidič	09	1	dům	*	.	skupina	auto
četnost	1721	1635	1634	1566	1551	1532	1496	1291	1286	1269

Tabulka 11: Nejčetnější stop-témata



Graf 4: Průměrný počet stop-témat na článek

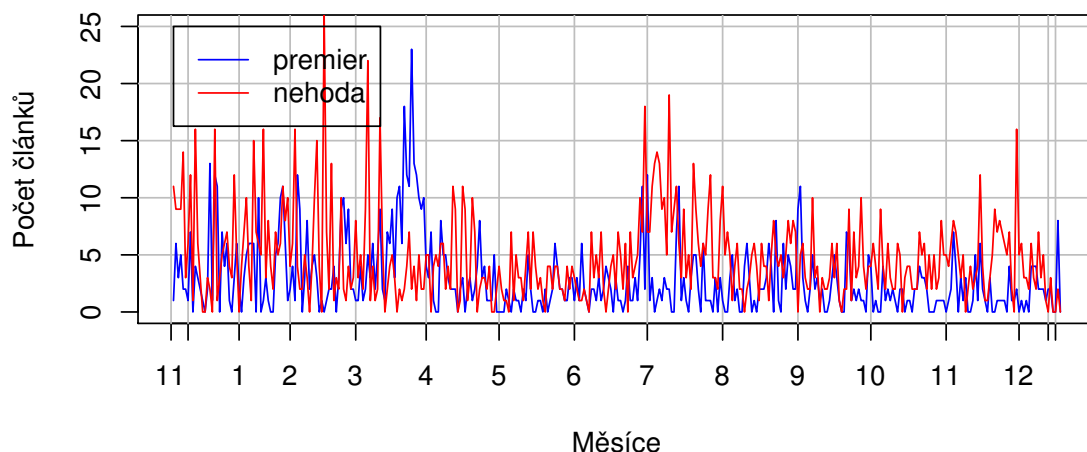
ose každé dvacetitisíce slovo označeno. Dále je pro lepší ilustraci v grafu označeno prvních 15 nejčetnějších lemmat. Vzhledem k tomu, jak procentuální zastoupení rychle roste, je levá část Grafu 3 v podstatě zcela svislá čára a pravá část naopak zcela vodorovná.

Ke zjištění vhodného počtu lemmat pro množinu stopslov jsem pro k od 1 do 9 zjistil, kolik nejméně lemmat dá dohromady $10k$ či více procent textu; tyto hodnoty jsou v Tabulce 8.

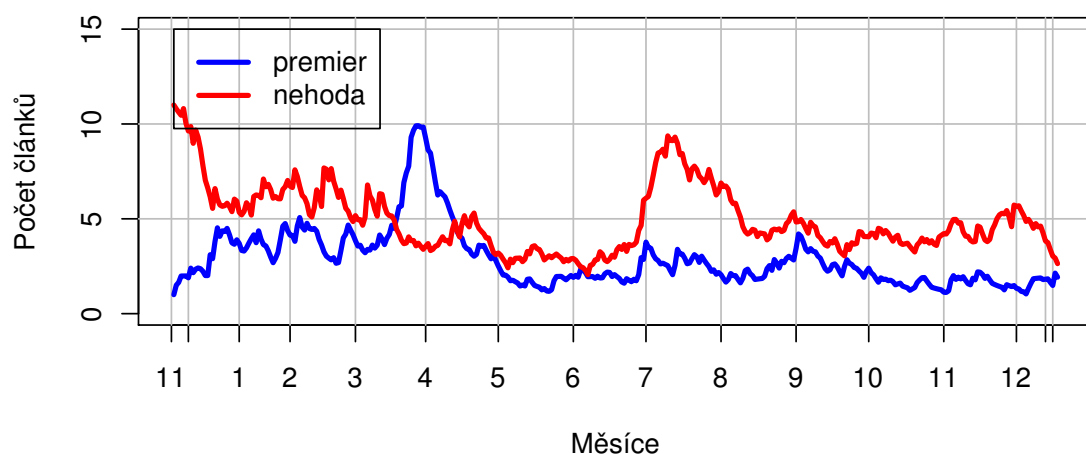
Je otázka, jak velkou vzít množinu stopslov — pokud bude příliš velká, můžeme ignorovat i něco, co je pro článek důležité; pokud bude příliš malá, do stop-témat se můžou dostat i nerelevantní lemmata. Nakonec jsem se rozhodl vzít jako stop-slova 200 lemmat, která potom zabírají 43.64 procent veškerého textu.

Již zde je ale zjevný problém tohoto přístupu k hledání témat — například slovo *ods* (lemma od názvu strany ODS) je už 44. nejčetnější — dokonce četnější, než slova *nebo*, *aby*, *než*, *takový* apod. Stejně jako ČSSD je už 66. nejčetnější. A v mé množině 200 nejčastějších lemmat je ještě například také slovo *nečas*, které je na 196. místě.

Velikost počtu stop-témat na článek jsem určil jako 10. Výsledky pro ukázkové články jsou v Tabulkách 9 a 10, posčítaná stop-témata na celé databázi jsou v Tabulce 11. K té ještě uvedu, že lemma 09 nejspíše patří k názvu politické strany TOP09 a lemmata . a * jsou způsobena mírnými chybami v lemmatizátoru; . ovšem neznamená tečku na konci věty, kterou systém úspěšně ignoruje, ale tečku v internetových adresách.



Graf 5: Graf četnosti stop-témat **nehoda** a **premiér**



Graf 6: Vyhlazený graf četnosti stop-témat **nehoda** a **premiér**

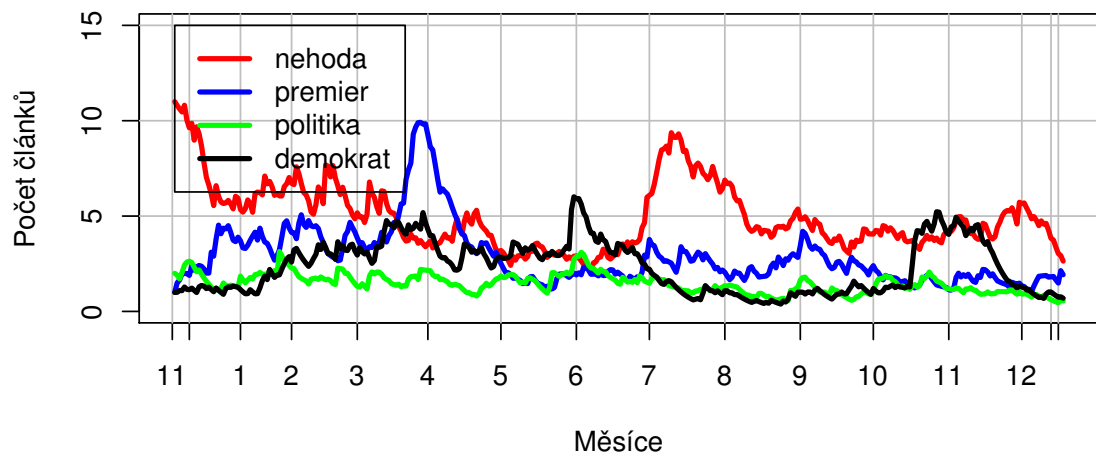
Jak je vidět, stop-témata stále nejsou *tématy* v pravém slova smyslu; jak je vidět na ukázkových článcích, stále jde spíše o množinu klíčových slov. Například nelze říct, že by Článek 1 byl „o většině“ nebo druhý článek „o Gándhím“; na druhou stranu už lze říci, že druhý článek je „o opicích“, takže stop-témata zcela bez relevance také nejsou.

Zkusím nyní nějak na základě vývoje stop-témat v čase detekovat „okurkovou sezónu“ či nalézt jiné související trendy; prvním nápadem je vyzkoušet průměrný počet stop-témat na jeden článek.

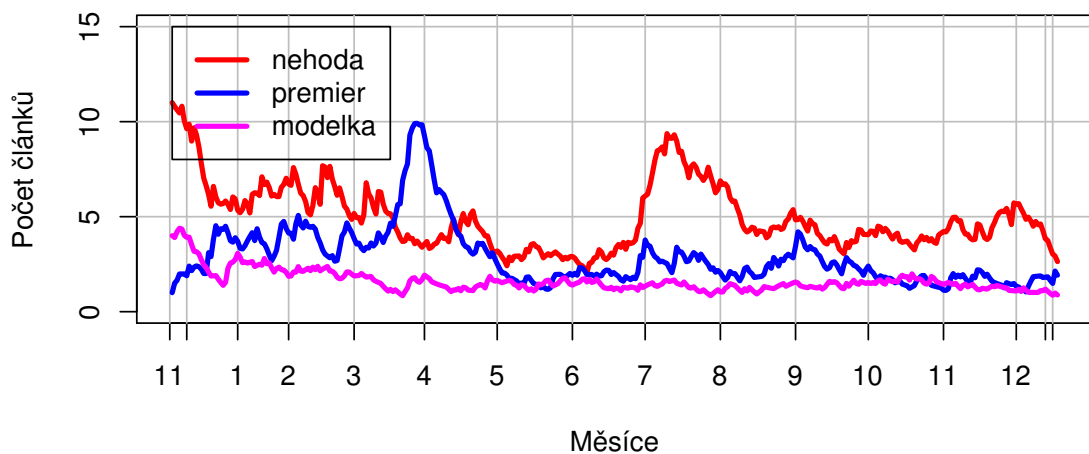
Jeho vývoj je vidět v Grafu 4. Největší „skoky“ zde způsobují jednak nedokonalé ukládání článku na začátku a na závěr a potom dubnová změna způsobu stahování článků. Kromě toho se průměrný počet stop-témat mění, ale jedná se dle mého názoru o změnu spíše náhodnou. Tato veličina nám tedy nic příliš zajímavého neukazuje.

Zkusil jsem si do grafů zobrazit vývoj četnosti stop-témat, která se opakují často a u kterých by tento vývoj mohl být zajímavý — nejdříve jsem si vybral slova **nehoda** a **premiér**. Jak je ale vidět na Grafu 5, změny jsou na čistém grafu příliš rychlé a obtížně interpretovatelné.

Pro lepší interpretaci dat jsem v grafech použil tzv. exponenciální vyhlazování,



Graf 7: Vyhlazený graf různých stop-témat



Graf 8: Vyhlazený graf různých stop-témat

definované například v [NIST/SEMATECH (2010)] takto: pokud je původní sledovaná veličina y závislá na čase, potom vyhlazená S je definována jako

$$S_0 = y_0,$$

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)y_{t-1}.$$

α je konstantní. Vyhlazení má samozřejmě svá rizika a nevýhody, ale dovolil jsem si ho zde použít, jelikož na základě vyhlazených dat k žádným „velkým“ závěrům nedocházím.

Vyhlazená data (s koeficientem $\alpha = 0.1$) jsou vidět v Grafu 6. Je vidět, že zavedení vyhlazování udělá výsledky o něco „čitelnější“, na druhou stranu ale například zmenšuje maxima.

Je ale například vidět, že v březnu 2010 se stop-téma **premiér** stává častějším. Při prozkoumání archivu zjistíme, že v této době pronesl předseda ODS Mirek Topolánek urážlivé výroky na adresu premiéra Fišera, tedy zvýšení četnosti tohoto stop-tématu nejspíše nebylo náhodné. Je ale otázkou, jestli bylo pro podobné zjištění nalézání stop-témat vůbec potřeba; možná by stačilo uvažovat počty *jakýchkoliv* výskytů slova **premiér** ve člancích a získali bychom podobné, možná lepší křivky.

ρ_μ	π_μ	F_μ	ρ_M	π_M	F_M
39.12 %	11.10 %	17.29 %	10.58 %	9.74 %	10.14 %

Tabulka 12: Přesnost a úplnost vyhledávání stoptémat

slovo	TF-IDF	slovo	TF-IDF
factum	0.08	kokos	0.12
invenio	0.06	gándhí	0.11
čsl	0.06	opice	0.09
kdu	0.06	makak	0.09
ksčm	0.06	kokosovník	0.08
procento	0.05	bombaj	0.05
veřejný	0.05	obamov	0.05
mandát	0.04	muzeum	0.05
top	0.04	překusovat	0.04
duben	0.04	hanuman	0.04
čssd	0.03	očesávat	0.04
křeslo	0.03	mizet	0.04
sestavení	0.03	komando	0.04
věc	0.03	návštěva	0.04
většina	0.03	očesat	0.04
hlas	0.03	chytač	0.04
ods	0.02	šustnutí	0.04
podpora	0.02	hindustan	0.04
pravicový	0.02	indie	0.03
sněmovna	0.02	indický	0.03

Tabulka 13: Tf-idf-témata na ukázkových člancích

Stejně tak nemůžeme četnosti článků s tématem **premiér** nějak zobecnit a tvrdit, že v té době se píše víc o politice a naopak, že **nehoda** znamená, že se nemá „o čem psát“ a jedná se pouze o „výplň“. Pokud si totiž přidáme do grafu ještě například četnosti článků se stop-tématem **politika** a **demokrat**, které by v případě obecnějšího trendu mělo nějak téma **premiér** následovat (Graf 7, už pouze vyhlazená data), a naopak pokud si přidáme ještě téma **modelka**, které má zase bulvární nádech (Graf 8, také pouze vyhlazená data), tak zjistíme, že trendy, které by nějak určovaly „okurkovou sezónu“, na těchto dílčích stop-tématech vysledovatelné nejsou.

Výsledky evaluace jsem zobrazil v Tabulce 12. Je zajímavé, že úplnost je (vzhledem k dosavadním metodám) o něco lepší; přesnost je ale stále malá, množství false positive je stále velké; to je částečně pochopitelné — metoda vrací vždy 10 témat na článek, zatímco průměrný počet témat na článek je nižší.

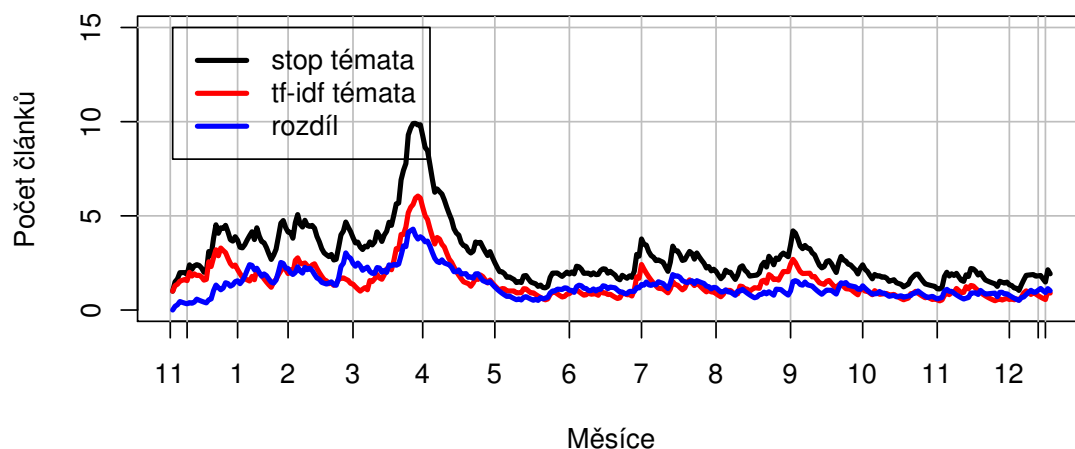
4.3.3 tf-idf-témata

Jak jsem popsal výše, tf-idf-témata hledám přes váhovou funkci TF-IDF.

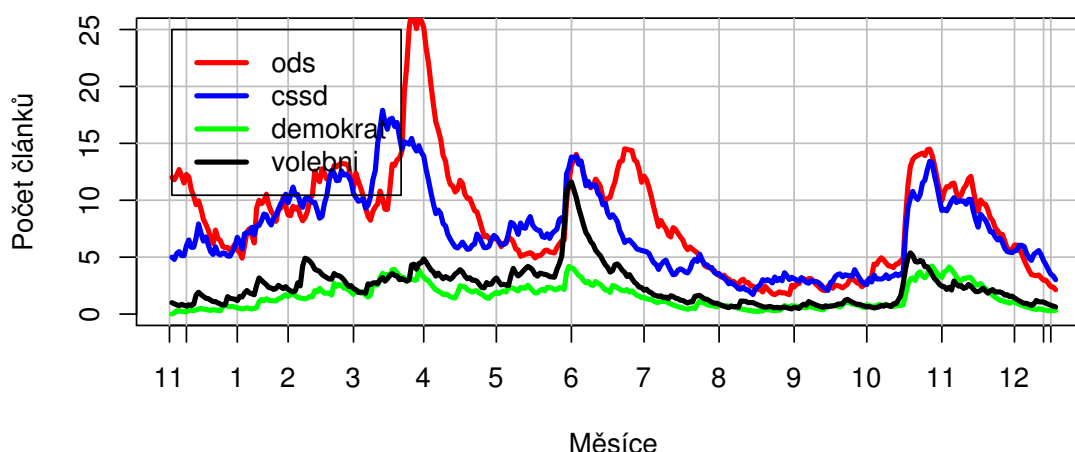
Výsledek na ukázkových člancích (s počtem témat na článek $k = 20$) je popsán v Tabulce 13. Výsledky jsou opticky ještě relevantnější, než stop-témata (i pokud srovnáme pouze prvních 10 tf-idf-témat — naznačeno dvojitou čarou — s tabulkami 9 a 10), ale stále je vidět, že je lepší je vnímat spíše jako klíčová slova než jako skutečně témata. Jen dodám, že **obamov** je chybně zlemmatizované slovo Obama.

lemma	ods	čssd	soud	procento	volba	blesk	strana	nehoda	*	nečas
četnost	2960	2606	2306	1920	1893	1717	1711	1471	1437	1397

Tabulka 14: Nejčetnější tf-idf-témata



Graf 9: Graf rozdílu tf-idf a stop tématu premiér

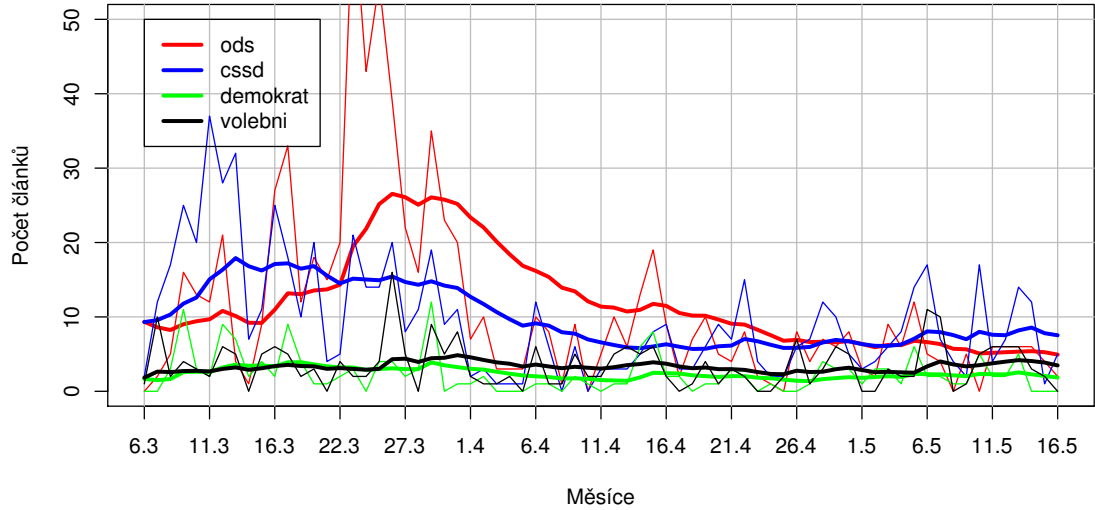


Graf 10: Četnosti politických tf-idf témat

Nejčetnější tf-idf-témata (stále s počtem $k = 20$) na celé databázi jsou v Tabulce 14 (je nutné dodat, že téma *volba* je zlemmatizovaná forma slova *volby*). Je zajímavé, že do první desítky se dostal i *blesk*, přitom další názvy deníků jsou mnohem méně četné; možná je to proto, že ve článcích Blesku je mnohem častěji zmiňován samotný název novin, než v serióznějších denících.

Ač na jednotlivých článcích dává tento algoritmus opticky lepší výsledky, pokud se srovná vývoj četností tf-idf-témat a stop-témat, je zřejmé, že trendy jsou velmi podobné. V Grafu 9 jsem srovnal četnosti tématu *premiér* (četnosti i rozdíl jsou vyhlazené).

Co ale tentokrát můžeme udělat je podívat se „zblízka“ na témata *ods* a *čssd*, která byla jako stop-témata vyřazena, protože jsou to příliš častá slova. Četnost těchto témat jsem zanesl do Grafu 10, spolu s dalšími politickými tématy. Je zajímavé, že témata *ods* a *čssd* mají maxima a minima v podobných místech; další dvě politická témata tato témata částečně kopírují.



Graf 11: Propad četnosti politických tf-idf témat v dubnu 2010

	ρ_μ	π_μ	F_μ	ρ_M	π_M	F_M
$k = 10$	41.40 %	11.83 %	18.40 %	9.80 %	9.28 %	9.54 %
$k = 20$	51.72 %	7.60 %	13.25 %	6.79 %	5.95 %	6.34 %

Tabulka 15: Přesnost a úplnost vyhledávání tf-idf témat

Zajímavé je, že všechna tato témata „padají“ právě okolo 1. dubna 2010, což je datum změny počtu a struktury článků. V Grafu 11 jsem přiblížil blíže na dny kolem tohoto „propadu“ (mimořádně, v přiblížení jsou dobře vidět nepřesnosti exponenciálního vyhlazení). Je vidět, že například heslo **ods** mělo do 1. dubna téměř konstantně nad 10 článků denně, zatímco od 1. dubna naopak nad 10 článků za den téměř nedosáhlo. Spolu s tím, že 1. dubna se žádná významná změna nekonala si spíše myslím, že tento pokles je opravdu způsoben odlišným způsobem stahování článků.

Zajímavý je ale i další pohyb — začátkem (a u **ods** i v průběhu) června byla politická témata velmi častá, od července do poloviny října ale jejich četnost velmi poklesla, aby v polovině října opět prudce stoupla.

Je otázka, jak tyto pohyby interpretovat. Je možné, že opravdu jde o hledanou „okurkovou sezónu“ — je ale možné, že vrchol četnosti na konci května 2010 může být způsoben tím, že 28. a 29. května se konaly volby do Poslanecké sněmovny Parlamentu České republiky a za normálních okolností by četnost politických zpráv v květnu byla nižší. Pro opravdové zjištění, jestli se opravdu jedná o sezónní trend, by asi bylo třeba mít databázi, která pokrývá ještě delší časové období; podobnou databázi ale bohužel nemám k dispozici.

Evaluaci jsem provedl pro $k = 10$ a $k = 20$; vyšší množství témat na článek zvýší logicky úplnost, ale sníží přesnost. Je ale zajímavé, že zatímco „opticky“ dává TF-IDF lepší výsledky, než například stop-témata, tak F_1 metrika u této metody dopadne dokonce *hůř*.

	ρ_μ	π_μ	F_μ	ρ_M	π_M	F_M
NaiveBayes - var.1	13.18 %	17.13 %	14.85 %	9.01 %	5.85 %	7.04 %
NaiveBayes - var.2	5.36 %	5.69 %	5.50 %	4.02 %	1.19 %	1.75 %
SVM - var.1	2.17 %	90.00 %	4.16 %	1.72 %	1.94 %	1.81 %
SVM - var.2	0.00 %	100.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
DecisionTree - var.1	11.57 %	33.55 %	16.89 %	7.79 %	8.21 %	7.93 %
DecisionTree - var.2	9.00 %	13.93 %	10.77 %	5.34 %	5.25 %	5.25 %

Tabulka 16: Přesnost a úplnost klasifikátorů

	ρ_μ	π_μ	F_μ	ρ_M	π_M	F_M
NaiveBayes - var.1	48.50 %	48.50 %	48.50 %	30.05 %	25.88 %	27.49 %
NaiveBayes - var.2	31.50 %	31.50 %	31.50 %	12.69 %	7.92 %	9.40 %
SVM - var.1	16.00 %	16.00 %	16.00 %	13.75 %	14.90 %	13.33 %
SVM - var.2	6.00 %	6.00 %	6.00 %	7.26 %	3.71 %	4.07 %
DecisionTree - var.1	24.50 %	24.50 %	24.50 %	16.96 %	18.75 %	17.41 %
DecisionTree - var.2	33.50 %	33.50 %	33.50 %	22.43 %	23.83 %	22.82 %

Tabulka 17: Přesnost a úplnost klasifikátorů na velmi obecných kategoriích

4.3.4 Kategorizace

Z výsledků je zatím vidět, že TF-IDF dává sice dobré výsledky, ale dají se spíše chápat jako klíčová slova než jako opravdová témata — například v Tabulce 13 je vidět, že ve Článku 1 jsou témata jako **duben** nebo **většina**.

Na množině 200 článků jsem tedy ještě vyzkoušel tři algoritmy na klasickou klasifikaci, jak popisují v 2.3 — algoritmy NaiveBayes, SVM a DecisionTree, a otestoval tak, jak popisují v části 2.5.

Je nutné dodat, že výsledky nelze úplně srovnávat s výsledky z předchozích částí, protože definice *true positive* byla v minulých částech o něco volnější, jak uvádím v části 2.5.

Výsledky jsem uvedl v Tabulce 16. V cross-evaluaci jsem použil počet testů $k = 10$. Variantou 1 nazývám tu variantu, kdy jako rysy článků беру 10 nejcharakterističtějších slov podle TF-IDF, všechny s konstantní vahou 1; variantou 2 nazývám tu variantu, kdy jako rysy nechám všechna slova s jejich vahou spočítanou podle TF-IDF.

Výsledky však nejsou příliš dobré ani v jedné variantě. Z obou variant je rozhodně lepší varianta 1 a z klasifikačních algoritmů dopadá nejlépe algoritmus NaiveBayes (navíc má výhodu, že je z těchto algoritmů nejrychlejší).

Kromě toho jsem také vyzkoušel evaluaci na „obecnějších“ kategoriích. Výsledky jsem uvedl v Tabulce 17; vyjdou o něco lépe, přesto ale nevychází tak dobře, aby se na klasifikátor dalo spolehnout. Navíc poměr takto obecně definovaných témat bude, dle mého, v čase konstantní a spíše než na trendech bude záviset na zpravodajských zdrojích samých; tento názor ale nemůžu ničím podložit a jedná se čistě o mou spekulaci.

Závěr

V práci jsem v části 2 uvedl několik způsobů detekce zpravodajských témat, které jsem všechny vyhodnotil oproti ručnímu zatřídování. Jak jsem ale ukázal v části 4.2, je i samotné ruční zatřídování do kategorií složité a v naivní definici tématu z kapitoly 1 i téměř nemožné; proto je evaluace proti němu problematická, stejně jako je problematické na těchto kategoriích učit algoritmy, založené na principu kategorizace se strojovým učením, definovaném v části 2.3.1.

Je potom otázkou, jestli výsledky, prezentované v části 4.3, je možno interpretovat jako dobré. Přiznávám se, že si nejsem zcela jist.

Pokud bychom trvali na požadavku metriky, určené jako shody s lidským zatřídováním, bylo by asi nutné zlepšit definici kategorií pro ruční zatřídování — kromě velmi obecných kategorií, uvedených v části 2.3.3, se mi ale nepodařilo žádnou lepší definici nalézt.

Pokud bychom na požadavku metriky, založené na shodě s lidským zatřídováním, upustili, bylo by možná dobré dále zkoumat metody, popsané v části 2.5.

Dále se mi v části 4.3 podařilo určité pohyby v počtu a složení detekovaných témat nalézt; nejsem si ale zcela jist, zda jde o projevy nějakého hlubšího trendu, zda tyto pohyby nesouvisí spíše s jednotlivými událostmi, nebo zda se nejedná o pohyby čistě náhodné.

Seznam použité literatury

- [Andrews – Fox (2007)] ANDREWS, N. O. – FOX, E. A. Recent Developments in Document Clustering. Technical report, Blacksburg, VA, USA, 2007. Dostupné z: <http://eprints.cs.vt.edu/archive/00001000/01/docclust.pdf>.
- [Blei et al. (2003)] BLEI, D. M. – NG, A. Y. – JORDAN, M. I. Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*. Leden 2003, 3, s. 993–1022. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.80.7000&rep=rep1&type=pdf>.
- [Deerwester et al. (1990)] DEERWESTER, S. et al. Indexing by latent semantic analysis. *Journal of the American Society of Information Science*. 1990, 41, 6, s. 391–407. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.62.1152&rep=rep1&type=pdf>.
- [Lin – Ho (2002)] LIN, S.-H. – HO, J.-M. Discovering informative content blocks from Web documents. *Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, KDD '02, s. 588–593, New York, NY, USA, 2002. ACM. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.18.7133&rep=rep1&type=pdf>. ISBN 1-58113-567-X.
- [NIST/SEMATECH (2010)] NIST/SEMATECH. *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*. 2010. Dostupné z: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.
- [Řehůřek – Sojka (2010)] ŘEHŮŘEK, R. – SOJKA, P. Software Framework for Topic Modelling with Large Corpora. *Proceedings of the LREC 2010 Workshop on New Challenges for NLP Frameworks*, s. 45–50, Valletta, Malta, Květen 2010. ELRA. <http://is.muni.cz/publication/884893/en>.
- [Robertson (2004)] ROBERTSON, S. Understanding inverse document frequency: On theoretical arguments for IDF. *Journal of Documentation*. 2004, 60, s. 503–520. ISSN 0022-0418. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.7340&type=pdf&rep=rep1>.
- [Salton – McGill (1983)] SALTON, G. – MCGILL, M. J. *Introduction to Modern Information Retrieval*. McGraw-Hill computer science series. New York, NY, USA : McGraw-Hill, Inc., 1983. ISBN 0070544840.
- [Salton – Buckley (1988)] SALTON, G. – BUCKLEY, C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval. *Information Processing & Management*. 1988, 24, 5, s. 513–523. ISSN 0306-4573. doi: 10.1016/0306-4573(88)90021-0. Dostupné z: <http://dspace.library.cornell.edu/bitstream/1813/6721/2/87-881.ps>.
- [Sebastiani (2002)] SEBASTIANI, F. Machine learning in automated text categorization. *ACM Comput. Surv.* March 2002, 34, s. 1–47. ISSN 0360-0300. Dostupné z: <http://arxiv.org/pdf/cs.ir/0110053>.

- [Wikipedia (2011)] WIKIPEDIA. Tf-idf — Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2011. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tf%E2%80%93idf&oldid=419643129>. [Online; accessed 5-April-2011].
- [Williams (2000–2003)] WILLIAMS, K. Dokumentace k AI::Categorizer, 2000–2003. Dostupné z: <http://search.cpan.org/~kwilliams/AI-Categorizer-0.09/lib/AI/Categorizer.pm>.
- [Yi et al. (2003)] YI, L. – LIU, B. – LI, X. Eliminating noisy information in Web pages for data mining. *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, KDD '03, s. 296–305, New York, NY, USA, 2003. ACM. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.4.4087&rep=rep1&type=pdf>. ISBN 1-58113-737-0.

Přílohy

A. Seznam zpravodajských zdrojů

- <http://www.blesk.cz>
- <http://www.idnes.cz>
- <http://www.lidovky.cz>
- <http://www.tyden.cz>
- <http://www.ihned.cz>
- <http://aktualne.centrum.cz>
- <http://www.ceskenoviny.cz>
- <http://www.financninoviny.cz>
- <http://bleskove.centrum.cz>

B. Obsah přiloženého DVD

Popsat, co je na DVD.