

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE  
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

UČEBNÉ PROSTREDIE PRE ONLINE  
KOLEKTÍVNY VÝVOJ AGILNÝCH PROGRAMOV  
ZA POMOCI ZDIEĽATEĽNÉHO EDITORU  
BAKALÁRSKA PRÁCA

2018

EMANUEL TESAR



UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE  
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

UČEBNÉ PROSTREDIE PRE ONLINE  
KOLEKTÍVNY VÝVOJ AGILNÝCH PROGRAMOV  
ZA POMOCI ZDIEĽATEĽNÉHO EDITORU  
BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Informatika  
Študijný odbor: Informatika  
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky  
Školiteľ: Ing. František Gyarfaš, CSc.

Bratislava, 2018  
Emanuel Tesař





Univerzita Komenského v Bratislave  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Emanuel Tesař  
**Študijný program:** informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** informatika  
**Typ záverečnej práce:** bakalárska  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský  
**Sekundárny jazyk:** anglický

**Názov:** Učebné prostredie pre online kolektívny vývoj agilných programov za pomoci zdieľateľného editoru  
*Learning environment for online collaborative programming using sharable editor*

**Anotácia:** Cieľom bakalárskej práce je vytvorenie web online editora pre kolektívne riešenie agilných úloh z programovania. Editor s kódom a testmi zdieľajú všetci účastníci skupiny, všetci môžu upravovať kód, pridávať testy, vyberať testy na zbiehanie a zbíhať ich vo virtuálnom prostredí na serveri. Aplikácia umožní pripojeným účastníkom zobrazenie kompilačných chýb, zobrazenie zbehnutých testov ako aj verzionovanie zdrojových súborov na serveri. Program umožní tvorbu skupín a ohodnocovanie úloh učiteľom. Súčasťou bude aj administratívne rozhranie pre zadávateľa úloh pre prípravu zadaní, viditeľné aj skryté testy, podľa ktorých sa automatizovane hodnotia výsledky. Technológie/nástroje: HTML 5, CSS, JavaScript (React), serverový framework (Express), Psql, virtuálny server.

**Vedúci:** Ing. František Gyarfaš, CSc.  
**Katedra:** FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky  
**Vedúci katedry:** prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.  
**Dátum zadania:** 26.10.2018

**Dátum schválenia:** 06.11.2018

doc. RNDr. Daniel Olejár, PhD.  
garant študijného programu

.....  
študent

.....  
vedúci práce



**PodĎakovanie:** TODO: Tu môžete poďakovať školiteľovi, prípadne ďalším osobám, ktoré vám s prácou nejako pomohli, poradili, poskytli dáta a podobne.

## Abstrakt

Cieľom práce bol návrh a funkčná implementácia zdieľateľného editora podporujúca súbežné písanie kódu viacerých používateľov. Používatelia okrem písania kódu, môžu pridávať testy, ktoré sa dajú spustiť vo virtuálnom prostredí na serveri. V prípade neskompilovateľného kódu, chyby počas behu programu, prípadne inej chyby, zobrazí chybovú hlášku. Okrem pohodlného prostredia pre používateľa obsahuje aj administrátorské rozhranie, v ktorom sa dajú pridávať neviditeľné testy pre používateľov. Toto rozhranie umožňuje profesorom vytvárať zadania pre študentov, ktorý následne môžu úlohu riešiť priamo vo webovom prehliadači.

**Kľúčové slová:** jedno, druhé, tretie (prípadne štvrté, piate)



# Abstract

TODO: Abstract in the English language (translation of the abstract in the Slovak language).

## Keywords:

- Latencia - reakčný čas označujúci dobu akciu a následnou reakciou. Vo webových technológiách sa pod letenciou rozumie čas, medzi poslaním webového request-u a následnej odpovede zo servera.



# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 TODO: Základné pojmy a definície</b>	<b>3</b>
<b>2 Editor umožňujúci konkurentné úpravy jedného dokumentu</b>	<b>5</b>
2.1 Real time kolaboratívnt editor . . . . .	5
2.1.1 Technické výzvy . . . . .	5
2.1.2 Algoritmy riešiace konkurentné modifikácie . . . . .	7
<b>3 CRDT</b>	<b>11</b>
<b>4 Funkcia servera</b>	<b>13</b>
4.0.1 Synchronozácia klientov . . . . .	13
4.0.2 Prihlasovanie pre administrátorov . . . . .	13
4.0.3 Prihlasovanie pre administrátorov . . . . .	13
4.0.4 Zbiehanie kódu, poskytovanie odpovede klientom . . . . .	14
<b>5 Izolované spúšťanie kódu na serveri</b>	<b>15</b>
<b>6 Použiteľnosť a štatistika</b>	<b>17</b>
<b>Záver</b>	<b>19</b>



# Zoznam obrázkov

2.1	Nekomutativita textových operácií . . . . .	6
2.2	Neidempotentnosť textových operácií . . . . .	6
2.3	Relatívne pozície znakov . . . . .	8
2.4	Pridanie relatívnej pozície znakov . . . . .	9
3.1	Relatívne pozície znakov . . . . .	12
3.2	Pridanie relatívnej pozície znakov . . . . .	12



# Zoznam tabuliek





# Úvod

Cieľom tejto práce je poskytnúť študentom posledného ročníka bakalárskeho štúdia informatiky kostru práce v systéme LaTeX a ukážku užitočných príkazov, ktoré pri písaní práce môžu potrebovať. Začneme stručnou charakteristikou úvodu práce podľa smernice o záverečných prácach [12], ktorú uvádzame ako doslovný citát.

Úvod je prvou komplexnou informáciou o práci, jej cieľi, obsahu a štruktúre. Úvod sa vzťahuje na spracovanú tému konkrétne, obsahuje stručný a výstižný opis problematiky, charakterizuje stav poznania alebo praxe v oblasti, ktorá je predmetom školského diela a oboznamuje s významom, cieľmi a zámermi školského diela. Autor v úvode zdôrazňuje, prečo je práca dôležitá a prečo sa rozhodol spracovať danú tému. Úvod ako názov kapitoly sa nečísluje a jeho rozsah je spravidla 1 až 2 strany.



# Kapitola 1

TODO: Základné pojmy a definície



## Kapitola 2

# Editor umožňujúci konkurentné úpravy jedného dokumentu

Myšlienka kolaboratívneho editora bola prvýkrát zaznamenaná už v roku 1968 Douglasom Engelbartom. Avšak do popularity sa dostala až nedávno, približne 20 rokov od prvého záznamu. Kolaboratívny editor umožňuje viacerým užívateľom upravovať jeden dokument. Tieto editory sa rozdeľujú na dve kategórie

- Real time - zmeny dokumentu sa okamžite zobrazia všetkým používateľom
- Non-real-time - zmeny dokumentu sa nedejú okamžite (podobne ako pri verzionovacích systémoch ako Git, Mercurial)

My sa v práci zameriavame real time editormi, kde je treba riešiť synchronizáciu editorových inštancií používateľov a riešenie možných konfliktov.

### 2.1 Real time kolaboratívny editor

Problematika real time kolaboratívnych editorov sa dá rozdeliť do samostatných zmysluplných podkapitol

- technické výzvy
- algoritmy riešiace konkurentné modifikácie jedného zdroja

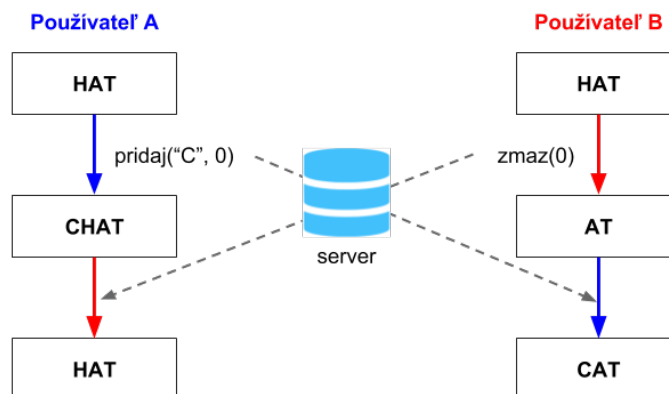
#### 2.1.1 Technické výzvy

Technické výzvy pramenia z asynchrónnej komunikácie po sieti. Teoreticky, keby táto komunikácia bola instantná, tak vytvorenie takéhoto editora, by nebolo priveľmi odlišné od editora pre jedného používateľa. Algoritmus, riešiaci takýto problém by mohol fungovať na základe *upravovacieho zámku*. Fungoval by celkom jednoducho:

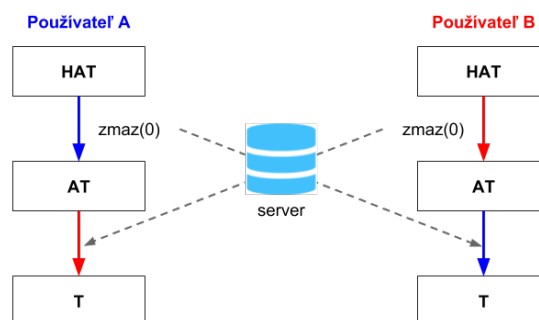
1. Požiadanie servera o *upravovací zámok*
2. Počkanie na schválenie zo servera, že sme na rade s úpravou
3. Úprava dokumentu
4. Vzdanie sa *upravovacieho zámku*

Avšak rýchlosť komunikácie je obmedzená latenciou siete. To vytvára základnú dilemu: užívatelia potrebujú okamžite vlastné úpravy, ktoré sú do dokumentu zapracované, ale ak sú začlenené okamžite, potom kvôli latencii komunikácie musia byť ich úpravy nevyhnutne vložené do rôznych verzií dokumentu.

Problém súbežnej modifikácie jedného textového poľa je, že jednoduché textové operácie ako pridať písmeno a zmaž písmeno, nie sú komutatívne 2.1 a ani idempotentné 2.2. Keďže používatelia modifikujú dokument cez sieť, nemáme zaručené v akom poradí sa modifikácie uskutočnia. [?] Ilustrujme tieto problémy na príklade:



Obr. 2.1: Nekomutatívnosť textových operácií



Obr. 2.2: Neidempotentnosť textových operácií

Výzvou v spolupráci v reálnom čase je teda presne zistiť, ako možno aplikovať úpravy od vzdialených používateľov, ktoré boli pôvodne vytvorené vo verziách dokumentu, ktor nikdy neexistovali na mieste a ktoré môžu byť v rozpore s vlastnými miestnymi úpravami používateľa.

Najsostikovanejšie riešenia vyriešia tento problém spôsobom, ktorý nevyžaduje server, nepoužíva uzamknutie (všetci používatelia môžu voľne upravovať všetky časti dokumentu súčasne) a podporuje ľubovoľný počet používateľov (obmedzený iba zdrojmi počítačov). UNA a SubEthaEdit sú príklady dvoch programov, ktoré využívajú tento prístup. Tieto programy sú však dostupné iba pre operačných systémoch macOS a využívajú technológie, ako napríklad [1], ktoré sú špecifické pre tento OS.

Zatiaľ čo tieto sofistikované prístupy umožňujú najlepšiu používateľskú skúsenosť, v klientskom serveri môže byť vytvorený aj základný editor pre spoluprácu. Pri scenári klient-server je pri otvorení dokumentu priradená jedna z inštancií editora úloha servera spolupráce. Tento server zaisťuje, že ostatné editory sú synchronizované určovaním latencie siete a fungovaním ako server synchronizácie času. Server obdrží upozornenia na časové označenie zmien vykonaných v dokumente inými používateľmi. Určuje, ako majú tieto zmeny ovplyvňovať svoju lokálnu kópiu, a vysiela jej zmeny do fondu spolupráce. V niektorých modeloch sa zmeny na klienta neodzrkadľujú dovtedy, kým sa zo servera nevráti oficiálna odpoveď, a to aj vtedy, ak boli tieto zmeny vykonané lokálne. Príkladom takéhoto editora je napríklad Gobby.

My sme sa v práci rozhodli použiť klient-server model, pričom za synchronizáciu klientov je zodpovedný výhradne server. Podobný prístup používa napr. spoločnosť Google v produktoch ako Google dokumenty a tabuľky.

### 2.1.2 Algoritmy riešiacie konkurentné modifikácie

Na riešenie synchronizácie klientov existujú dva dobre preskúmané typy algoritmov.

1. OT - Prevádzková transformácia (Operational transformation)
2. CRDT - Bezkonfliktné idempotentné dátové typy (Conflict-free replicated data type)

V práci použijeme CRDT, pretože OT je predchodca CRDT a v praxi často nefunguje tak dobre, ako to autori zamýšľali. Taktiež použitie OT je komplikované a neškálovateľné [8].

V distribuovanom výpočte je konfliktný replikovaný dátový typ (CRDT) dátová štruktúra, ktorá môže byť replikovaná vo viacerých počítačoch v sieti, pričom repliky je možné aktualizovať nezávisle a súbežne bez koordinácie medzi replikami a kde je vždy matematicky možné vyriešiť nezrovnalosti, ktoré by mohli vyplývať.

Koncept CRDT bol formálne definovaný v roku 2011 osobami Marc Shapiro, Nuno Preguiça, Carlos Baquero a Marek Zawirski [11].

CRDT fungujú tak, že každý znak v dokumente sa prerobí do objektu so špecifickými vlastnosťami:

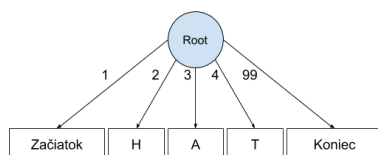
1. znak, ktoré objekt predstavuje
2. relatívna pozícia tohto znaku
3. množina pozícií musí tvoriť úplné usporiadanie
4. priestor tvorený množinou pozícií musí byť hustý

Vzhľadom na to, že každá z týchto znakov je jedinečná a môže byť identifikovaná týmito vlastnosťami, môžeme zabrániť vloženiu alebo vymazaniu znakov viac ako raz. To umožňuje komutativitu a idempotenciu. Nevýhodou tohto prístupu je veľké množstvo metaúdajov. Tým sa zvyšuje spotreba pamäte našej aplikácie.

Zaujímavým aspektom CRDT, ktorý ho odlišuje od OT sú relatívne pozície znakov. Tieto pozície majú nasledovné vlastnosti:

1. žiadne 2 CRDT objekty nemajú rovnakú pozíciu
2. pozícia nejakého objektu sa nikdy nezmení
3. ak 2 CRDT objekty A a B operujú na tej istej pozícii v dokumente a objekt A nastane skôr než B, tak relatívna pozícia A musí byť menšia ako B.

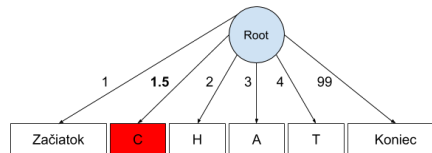
Vytvorenie takýchto pozícií je celkom jednoduché. Znaky si môžeme predstaviť ako vrcholy na strome, kde každý znak má väčšie číslo ako znak pred ním, no menšie ako znak po ňom. Pozície môžu vyzeráť zhruba nasledovne:



Obr. 2.3: Relatívne pozície znakov

Pridanie znaku potom funguje veľmi jednoducho. Nájdeme v strome vrcholy medzi ktoré chceme pridať ďalšie písmeno a ako pozíciu mu dáme priemer relatívnych pozícií daných vrcholov. Napríklad:





Obr. 2.4: Pridanie relatívnej pozície znakov

### Komutativita a idempotentnosť CRDT

Ak predpokladáme, že pozície spĺňajú podmienky z 3, tak CRDT objekty sú komutatívne a idempotentné.

Tým, že všetky relatívne pozície sú unikátne, tak je jedno v akom poradí vykonávame dané operácie, teda CRDT sú naozaj komutatívne.

Idempotencia je daná tým, že ak chceme do dokumentu pridať znak s najekou relatívnou pozíciou, a tá sa tam už nachádza, teda znovu pridanie nič neurobí. Ak naopak sa snažíme vymazať niečo na pozícii, ktorá sa v dokumente už nenachádza, tak vieme, že už vymazaná bola. Obe operácie teda zachovávajú idempotentnosť. [10]



# Kapitola 3

## CRDT

V distribuovanom výpočte je konfliktný replikovaný dátový typ (CRDT) dátová štruktúra, ktorá môže byť replikovaná vo viacerých počítačoch v sieti, pričom repliky je možné aktualizovať nezávisle a súbežne bez koordinácie medzi replikami a kde je vždy matematicky možné vyriešiť nezrovnalosti, ktoré by mohli vyplynúť.

Koncept CRDT bol formálne definovaný v roku 2011 osobami Marc Shapiro, Nuno Preguiça, Carlos Baquero a Marek Zawirski [11].

CRDT fungujú tak, že každý znak v dokumente sa prerobí do objektu so špecifickými vlastnosťami:

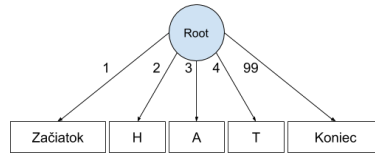
1. znak, ktoré objekt predstavuje
2. relatívna pozícia tohto znaku
3. množina pozícií musí tvoriť úplné usporiadanie
4. priestor tvorený množinou pozícií musí byť hustý

Vzhľadom na to, že každá z týchto znakov je jedinečná a môže byť identifikovaná týmito vlastnosťami, môžeme zabrániť vloženiu alebo vymazaniu znakov viac ako raz. To umožňuje komutatívitu a idempotenciu. Nevýhodou tohto prístupu je veľké množstvo metaúdajov. Tým sa zvyšuje spotreba pamäte našej aplikácie.

Zaujímavým aspektom CRDT, ktorý ho odlišuje od OT sú relatívne pozície znakov. Tieto pozície majú nasledovné vlastnosti:

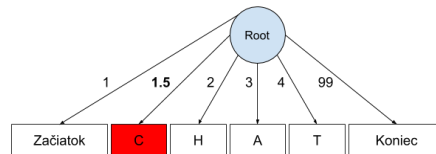
1. žiadne 2 CRDT objekty nemajú rovnakú pozíciu
2. pozícia nejakého objektu sa nikdy nezmení
3. ak 2 CRDT objekty A a B operujú na tej istej pozícii v dokumente a objekt A nastane skôr než B, tak relatívna pozícia A musí byť menšia ako B.

Vytvorenie takýchto pozícií je celkom jednoduché. Znaký si môžeme predstaviť ako vrcholy na strome, kde každý znak má väčšie číslo ako znak pred ním, no menšie ako znak po ňom. Pozície môžu vyzeráť zhruba nasledovne:



Obr. 3.1: Relatívne pozície znakov

Pridanie znaku potom funguje veľmi jednoducho. Nájdeme v strome vrcholy medzi ktoré chceme pridať ďalšie písmeno a ako pozíciu mu dáme priemer relatívnych pozícií daných vrcholov. Napríklad:



Obr. 3.2: Pridanie relatívnej pozície znakov

### Komutativita a idempotentnosť CRDT

Ak predpokladáme, že pozície spĺňajú podmienky z 3, tak CRDT objekty sú komutatívne a idempotentné.

Tým, že všetky relatívne pozície sú unikátne, tak je jedno v akom poradí vykonávame dané operácie, teda CRDT sú naozaj komutatívne.

Idempotencia je daná tým, že ak chceme do dokumentu pridať znak s najekou relatívnou pozíciou, a tá sa tam už nachádza, teda znovu pridanie nič neurobí. Ak naopak sa snažíme vymazať niečo na pozícii, ktorá sa v dokumente už nenachádza, tak vieme, že už vymazaná bola. Obe operácie teda zachovávajú idempotentnosť. [10]

# Kapitola 4

## Funkcia servera

Server má viacero funkcií:

- synchronizácia klientov
- prihlasovanie pre administrátorov
- ukladanie skrytých testov
- zbiehanie kódu, poskytovanie odpovede klientom

### 4.0.1 Synchronizácia klientov

Najdôležitejšou funkciou servera, je synchronizácia všetkých klientov ak nastane nejaká zmena dokumentu. Server na toto nepotrebuje veľkú logiku, ale potrebuje korektne preposielať informácie medzi klientami a reagovať na prípadne komunikačné chyby (väčšinou odoslať správu znovu).

### 4.0.2 Prihlasovanie pre administrátorov

Súčasťou práce je aj administrátorské rozhranie, do ktorého sa dá prihlásiť a vytvárať v ňom skryté testy.

### 4.0.3 Prihlasovanie pre administrátorov

Administrátori vedia pridávať skryté testy, na ktorých sa dá spúšťať klientský kód. Toto funguje na jednoduchom princípe skupín. Administrátor vytvorí skupinu, do ktorej sa klienti vedia prihlásiť. Ak je klient súčasťou nejakej skupiny, tak vie svoj kód zbiehať voči testoch vytvoreným administrátorom.

#### 4.0.4 Zbiehanie kódu, poskytovanie odpovede klientom

Ďalšou dôležitou časťou je možnosť zbehnúť kód na serveri. Kód sa dá zbehnúť viacerými spôsobmi:

- na vlastných testoch
- na skrytých testoch (iba v prípade ak je klient členom nejakej skupiny)
- na vlastnom vstupe

## Kapitola 5

### Izolované spúšťanie kódu na serveri





## Kapitola 6

### Použitelnost a štatistika



# Záver

Na záver už len odporúčania k samotnej kapitole Záver v bakalárskej práci podľa smernice [12]: „V závere je potrebné v stručnosti zhrnúť dosiahnuté výsledky vo vzťahu k stanoveným cieľom. Rozsah záveru je minimálne dve strany. Záver ako kapitola sa nečísluje.“

Všimnite si správne písanie slovenských úvodzoviek okolo predchádzajúceho citátu, ktoré sme dosiahli príkazmi `\glqq` a `\grqq`.

V informatických prácach niekedy býva záver kratší ako dve strany, ale stále by to mal byť rozumne dlhý text, v rozsahu aspoň jednej strany. Okrem dosiahnutých cieľov sa zvyknú rozoberať aj otvorené problémy a námety na ďalšiu prácu v oblasti.

Abstrakt, úvod a záver práce obsahujú podobné informácie. Abstrakt je kratší text, ktorý má pomôcť čitateľovi sa rozhodnúť, či vôbec prácu chce čítať. Úvod má umožniť zorientovať sa v práci skôr než ju začne čítať a záver sumarizuje najdôležitejšie veci po tom, ako prácu prečítal, môže sa teda viac zamerať na detaily a využívať pojmy zavedené v práci.



# Literatúra

- [1] Bonjour (software). [https://en.wikipedia.org/wiki/Bonjour\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Bonjour_(software)).
- [2] Conflict-free replicated data type. [https://en.wikipedia.org/wiki/Conflict-free\\_replicated\\_data\\_type](https://en.wikipedia.org/wiki/Conflict-free_replicated_data_type).
- [3] Building conclave: a decentralized, real time, collaborative text editor, January 2018. <https://hackernoon.com/building-conclave-a-decentralized-real-time-collaborative-text-editor-a6ab43>
- [4] X. Autor1 and Y. Autor2. *Názov knihy*. Vydavateľstvo, 1900.
- [5] X. Autor1 and Y. Autor2. Názov článku (väčšinou z konferencie). In *Názov zborníka (väčšinou názov konferencie spolu s ročníkom)*, pages 1–100, 1900.
- [6] X. Autor1 and Y. Autor2. Názov článku z časopisu. *Názov časopisu, ktorý článok uverejnil*, 4(3):1–100, 1900.
- [7] X. Autor1 and Y. Autor2. Názov technickej správy. Technical Report TR123/1999, Inštitút vydávajúci správu, June 1999.
- [8] Abdessamad Imine, Michaël Rusinowitch, Gérald Oster, and Pascal Molli. Formal design and verification of operational transformation algorithms for copies convergence. *Theor. Comput. Sci.*, 351(2):167–183, February 2006.
- [9] Tobias Oetiker, Hubert Partl, Irene Hyna, and Elisabeth Schlegl. *Nie príliš stručný úvod do systému LaTeX2e*. 2002. Preklad Ján Buša ml. a st.
- [10] Nuno Pregoica, Joan Manuel Marques, Marc Shapiro, and Mihai Letia. A commutative replicated data type for cooperative editing. In *Proceedings of the 2009 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, ICDCS '09*, pages 395–403, Washington, DC, USA, 2009. IEEE Computer Society.
- [11] Marc Shapiro, Nuno Preguiça, Carlos Baquero, and Marek Zawirski. Conflict-free replicated data types. In *Proceedings of the 13th International Conference on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems, SSS'11*, pages 386–400, Berlin, Heidelberg, 2011. Springer-Verlag.

- [12] Univerzita Komenského v Bratislave. Vnútorný predpis č. 12/2013, smernica rektora Univerzity Komenského v Bratislave o základných náležitostiach záverečných prác, rigorózných prác a habilitačných prác, kontrole ich originality, uchovávaní a sprístupňovaní na Univerzite Komenského v Bratislave, 2013. [https://uniba.sk/fileadmin/ruk/legislativa/2013/Vp\\_2013\\_12.pdf](https://uniba.sk/fileadmin/ruk/legislativa/2013/Vp_2013_12.pdf).