SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-5384-64329

LÚŠTENIE HISTORICKÝCH ŠIFIER NA GRIDE

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program:	Aplikovaná informatika
Číslo študijného odboru:	2511
Názov študijného odboru:	9.2.9 Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko:	Ústav informatiky a matematiky
Vedúci záverečnej práce:	Ing. Eugen Antal, PhD.

Bratislava 2017 **Martin Eliáš**

Poďakovanie

I would like to express a gratitude to my thesis supervisor.

Obsah

Zoznam obrázkov a tabuliek

Zoznam skratiek

BASH	Bourne Again SHell
CPU	Central processing unit
GA	Genetické algoritmy
GPFS	General Parallel File System
GPU	Graphics processing unit
HDD	Harddisk drive
LAN	Local Area Network
MPI	Message Passing Interface
OpenMP	Open Multi-Processing
OpenMPI	Open Message Passing Interfac
PBS	Portable Batch System
RAM	Random Access Memory
SSH	Secure shell
VPN	Virtual private network

Zoznam výpisov

Úvod

Tu bude krasny uvod s diakritikou atd.
A mozno aj viac riadkovy uvod.

1 Klasické šifry

V tejto kapitole sa budeme zaoberať históriou a stručným prehľadom klasických šifier. Spomenieme si aj niektoré základné útoky na klasické šifry.

1.1 História

História klasických šifier a utajovania písomného textu je pravdepodobne tak stará ako samotné písmo. Písmo, v podobe akej ho poznáme a používame dnes, pravdepodobne pochádza asi spred 3000 rokov pred Kristom a za jeho objaviteľov sa považujú Feničania. V niektorých prípadoch predstavovalo už použitie písma utajenie samotného textu. Príkladom môžu byť Egyptské hieroglyfy alebo klinové písmo používané v Mezopotámii. Iným príkladom môžu byť semitské jazyky, ktoré sú charakteristické používaním iba spoluhlások bez použitia samohlások, pretože tie zaviedli až Aremejci a po nich následné Gréci aby pomocou nich boli schopný rozlíšiť jazyky [1]. Aj diakritika ako taká má schopnosť rozlišovať významy slov, čo si ale až do 15.storočia nikto nevšímal, až pokiaľ ju Arabi nezačali používať pri kryptoanalýze rôznych šifier.

Z historického hľadiska nie je možné presne zoradiť ako jednotlivé šifry vznikali, pretože súčasne vznikali na viacerých miestach sveta. Komunikácia a s ňou spojené sírenie informácii nebolo také rýchle ako dnes, až do roku 1440 keď Johan Guttenberg vynašiel kníhtlač, čo zjednodušilo výmenu a uchovávanie informácii.

Ku kryptografii ako aj k rôznym iným vedným disciplínam prispelo v minulosti staré Grécko. Jedným z najvýznamnejších príspevkov starých Grékov bolo široké rozšírenie abecedy a písomného prejavu. Gréci písmo prebrali od Feničanov, ktorí na rozdiel od Egypťanov používali jednoduchšie písmo.

V Európe vďaka rozšíreniu abecedy začali vznikať aj prvé šifry, medzi ktoré patrí napríklad Cézarova šifra, ktorá vznikla v Rímskej ríši. Iným príkladom môže byť transpozičná šifra skytalé, ktorá bola používaná v Sparte.

Pád Rímskej ríše spôsobil úpadok kryptografie, ktorý trval až do obdobia stredoveku. Typickým znakom kryptografie v tomto období bolo napríklad písanie odzadu, alebo vertikálne, používanie cudzích jazykov, alebo vynechávanie samoh-

lások [1].

V stredoveku, kvôli bojom medzi pápežmi Ríma a Avignonu, bola kryptografia zdokonalená a začali sa používať rôzne kódy a nomenklátory. Ich charakteristickým znakom bolo zamieňanie písmen alebo nahradzovanie mien a titulov osôb v správach. V tomto období zabezpečovanie utajenia správ pokročilo až na takú úroveň, že na doručovanie správ boli použitý špeciálne vycvičení kuriéri.

V prvej polovici 20. storočia ľudia, ktorí pracovali v oblasti utajovanej komunikácie verili, že na to aby bola zabezpečená utajovaná komunikácia musí byť utajený kľúč a okrem neho aj šifrovací algoritmus. Toto ale odporovalo Kerckhoffovmu princípu, ktorý hovorí že: „Bezpečnosť šifrovacieho algoritmu musí závisieť výlučne na utajení kľúča a nie algoritmu“. Okrem toho sformuloval aj niekoľko požiadaviek na kryptografický systém, medzi ktoré patria:

1. systém musí byť teoreticky, alebo aspoň prakticky bezpečný
2. narušenie systému nesmie priniesť ťažkosti odosielateľovi a adresátovi
3. kľúč musí byť ľahko zapamätateľný a ľahko vymeniteľný
4. zašifrovaná správa musí byť prenášateľná telegrafom
5. šifrovacia pomôcka musí byť ľahko prenosná a ovládateľná jedinou osobou
6. systém musí byť jednoduchý, bez dlhého zoznamu pravidiel, nevyžadujúci nadmerné sústredenie

Tieto princípy sú popísané v pôvodnej publikácii od Kerckhoffa [2].

Existovala ale aj iná skupina vedcov, medzi ktorých patril aj Lester S. Hill, ktorý si uvedomoval že kryptológia je úzko spätá z matematikou. V roku 1941 si na Hillových prácach zakladal A. Adrian Albert, ktorý pochopil, že v šifrovaní je možné použiť viacero algebraických štruktúr. Neskôr toto všetko usporiadal a zdokonalil Claude E. Shannon, čo možno považovať za ukončenie éry klasických šifier [1].

1.2 Charakteristika

Na rozdiel od moderných šifier, ktoré sa používajú dnes, sú tie klasické rozdielne v niektorých hlavných črtách. Môžeme spomenúť niekoľko:

- Šifrovanie a dešifrovanie klasickej šifry možno realizovať zväčša pomocou papiera a ceruzky alebo nejakej mechanickej pomôcky.
- V dnešnej dobe aj vďaka rozšírenému použitiu počítačov stratila väčšina týchto algoritmov svoj význam.
- Utajuje sa algoritmus a aj kľúč a neuplatňuje sa Kerckhoffov princíp.
- Na rozdiel od moderných šifier sa používajú malé abecedy.
- V klasických šifrách je otvorený text, zašifrovaný text a kľúč v abecede reálneho jazyka, pričom v moderných šifrách sa používa binárne kódovanie.
- Na klasické šifry sa zväčša dá použiť štatistická analýza.

Z spomenutých charakteristík existujú aj výnimky. Napríklad pri Vigenerovej šifre sa algoritmus neutajoval. To platí aj pre Vernamovu šifru, ktorá okrem toho používa navyše binárne znaky. Vernamova šifra je perfektne bezpečná v podľa Shannonovej teórie [1].

Klasické šifry môžeme rozdeliť do niekoľkých základných kategórii:

- **Substitučné šifry.** V prípade že šifra permutuje znaky zdrojovej abecedy, hovoríme o monoalfabetickej šifre. Ako príklad môžeme uviesť šifru Atbaš prípadne Cézarovu šifru, alebo iné. V inom prípade ak sa aplikuje viacero permutácii podľa polohy znaku v otvorenom texte, tak hovoríme o polyalfabetickej šifre. Príkladom je Vigenerova šifra. Ďalším prípadom je polygramová šifra, kde sa z otvoreného textu najprv vytvoria bloky, na ktoré sa potom aplikuje nejaká permutácia.
- **Transpozičné šifry.** Transpozičné šifry sú vlastne blokové šifry, ktoré pri šifrovaní a dešifrovaní aplikujú pevne zvolenú permutáciu na každý blok ot-

voreného/zašifrovaného textu. Od polyalfabetickej šifry sa líši v poradí vykonávania operácii.

- **Homofónne šifry.** Homofónne šifry sú šifry, ktoré majú znáhodnený zašifrovaný text. Tieto šifry sa snažia zabrániť frekvenčnej analýze textu.

- **Substitučno-permutačné šifry.** Ak aplikujeme viacero substitučný a permutačných šifier na otvorený text tak hovoríme o substitučno-permutačných šifrách. Šifrovanie prebieha tak, že blok otvoreného textu sa rozdelí na menšie bloky, na ktoré je potom aplikovaná substitúcia, a permutácia, ktorá sa aplikuje na celý blok. Substitúcia zabezpečuje konfúziu a permutácia difúziu.

1.3 Počítačové lúštenie klasických šifier

1.3.1 Hrubou silou

Útok hrubou silou (bruteforce) je typ útoku, ktorý sa snaží zlomiť kľúč tak, že sa prehľadáva celý priestor kľúčov. Aby bol takýto útok možný a prakticky realizovateľný, priestor prehľadávaných kľúčov nesmie byť väčší ako hranica daná dostupnými prostriedkami alebo časom potrebným na riešenie.

Pre ilustráciu si uveďme jednoduchý príklad. Majme zašifrovaný text „VECDOXSORSCDYBSMUIMRCSPSOBXKQBSNO“, ktorý vieme že bol zašifrovaný šifrou podobnou Cézarovej šifre. Pre získanie otvoreného textu potrebujeme vyskúšať všetkých 26 možností posunov, čo je v tomto prípade kľúč, tak aby sme dostali zmysluplný text.

```
kluc 1
VECDOXSORSCDYBSMUIMRCSPSOBXKQBSNO
WFDEPYTPSTDEZCTNVJNSDTQTPCYLRCTOP

kluc 2
VECDOXSORSCDYBSMUIMRCSPSOBXKQBSNO
XGEFQZUQTUEFADUOWKOTEURUQDZMSDUPQ

kluc 3
VECDOXSORSCDYBSMUIMRCSPSOBXKQBSNO
YHFGRAVRUVFGBEVPXLPUFVSVREANTEVQR
```

```
... // dalsie kluce 4..26
```

Po prezretí všetkých možností by sme zistili že kľúč 16 sa dešifruje na „LUSTENIEHISTORICKYCHSIFIERNAGRIDE“.

1.3.2 Slovníkový útok

Slovníkový útok narozdiel od útoku hrubou silou skúša iba niektoré možnosti z vopred pripraveného slovníka kľúčov.

Ukážme si ako by v princípe mohol fungovať slovníkový útok na šifru Vigenere. Nech zašifrovaný text je „SYKESUMWSWZXGCWJOQNVZMXTSYRSRFPHW“. Útočník má k dispozícii slovník slov „ABC, SOMAR, HESLO, ...“.

```
kluc: JANO
SYKESUMWSWZXGCWJOQNVZMXTSYRSRFPHW
JYXQJUZIJWMJXCJVFQAHQMKFJYEEIFCTN

kluc: SOMAR
SYKESUMWSWZXGCWJOQNVZMXTSYRSRFPHW
AKYEBCYKSFHJUCFRAENEHYLTBGDGROXTK

kluc: HESLO
SYKESUMWSWZXGCWJOQNVZMXTSYRSRFPHW
LUSTENIEHISTORICKYCHSIFIERNAGRIDE
```

1.3.3 Genetické a evolučné algoritmy

todo

2 Grid

Jedným z cieľov práce je preskúmať možnosti aplikovania útokov na klasické šifry v gridovom prostredí. Grid môžeme chápať ako skupinu počítačov, uzlov, spojenú pomocou siete Local Area Network (LAN), prípadne inou sieťovou technológiou, ktoré môžu ale nemusia byť geograficky oddelené. Účelom takýchto počítačov je poskytnúť veľký výpočtový výkon, ktorý je použitý na riešenie špecifických úloh.

2.1 hpc.stuba.sk

V rámci Slovenskej technickej univerzity (STU), Centra výpočtovej techniky (CVT) sa nachádza superpočítač IBM iDataPlex, ktorý pozostáva z 52 výpočtových uzlov. Každý výpočtový uzol má nasledovnú konfiguráciu:

- CPU: 2 x 6 jadrový Intel Xeon X5670 2.93 GHz
- RAM: 48GB (24GB na procesor)
- HDD: 2TB 7200 RPM SATA
- GPU: 2 x NVIDIA Tesla M2050 448 cuda jadier, 3GB ECC RAM
- Operačný systém: Scientific Linux 6.4
- Sieťové pripojenie: 2 x 10Gb/s Ethernet

Spolu máme k dispozícii 624 CPU, 3584 cuda jadier, 2,5TB RAM , 104TB lokálneho úložného priestoru a ďalších 115TB zdieľaného úložiska. Výpočtový výkon dosahuje 6,76 TFLOPS a maximálny príkon aj spolu s chladením je 40kW [3].

V tabuľke 1 môžeme vidieť dostupné diskové umiestnenia pre každého používateľa, prípadne úlohu. Umiestnenie `/home$USER` je domovským priečinkom každého používateľa. Jedno z obmedzení tohoto umiestnenia je že môže obsahovať maximálne osemdesiaťtisíc súborov a priečinkov. Taktiež ma značne obmezdenú kapacitu čo sa nemusí hodiť pre každý typ úlohy. Ďalším umiestnením, ktoré ma používateľ k dispozícii je `/work/$USER`. Toto umiestnenie nemá žiadne väčšie odmedzenia slúži ako zdieľaný disk pre výpočty. Môžeme tu vytvárať ľubovolný počet

súborov a priečinkov, avšak podľa [3] by sa tento disk mal využívať hlavne na prenos objemnejších dát v blokoch väčších ako 16kB. Obe spomenuté umiestnenia sú sieťové disky GPFS. Posledným umiestnením je `/scratch/$PBS_JOBID` alebo tiež aj `$TMPDIR` v prípade PBS skriptu. Tento priestor je unikátny pre každú úlohu a je vhodný na spracovanie veľkého počtu malých súborov. V prípade použitia tohto umiestnenia si treba dať pozor na zmazanie dát, ktoré sa mažú ihneď po skončení úlohy.

Filesystem	**Zálohovanie**	**Mazanie**	**Kapacita**	**Obmedzenia**
`/home/$USER`	áno	nie	32GB	80k inodes
`/scratch/$PBS_JOBID`	nie	ihneď	1.6TB	nie
`/work/$USER`	nie	áno	56TB	nie

Tabuľka 1: Disky

Aby sme boli schopný grid používať musíme si najprv zaregistrovať projekt a požiadať o vytvorenie používateľského účtu na stránke výpočtového strediska `hpc.stuba.sk`. Po registrácii a získaní prihlasovacích údajov sa môžeme prihlásiť do webového rozhrania, cez ktoré môžeme spravovať projekt, pridávať Ďalších riešiteľov, prezerať si štatistiky a grafy. Dôležitou funkciou webového rozhrania je zmena hesla používateľa a pridanie SSH verejného kľúča, pomocou ktorého sa môžeme prihlasovať bez zadávania hesla.

2.2 Príkazy

Do gridu sa môžeme prihlásiť cez SSH zadaním príkazu `ssh login@hpc.stuba.sk` a následným zadaním hesla v prípade ak nepoužívame prihlasovanie pomocou verejného kľúča. Ak sa pripájame mimo univerzitnej siete STU, na prihlásenie musíme použiť VPN. Po pripojení máme k dispozícií štandardnú linuxovú konzolu, ktorá ale obsahuje niekoľko špecifických príkazov pre daný grid. Zaujímať nás budú príkazy: `module, qstat, qfree, qsub, qsig`. Niektoré výstupy sú pre svoju obsiahlosť skrátené.

2.2.1 module

Príkaz `module` slúži na rýchle nastavenie ciest k vybraným knižniciam. Existujúce moduly môžeme vypísať pomocou `module avail`

```
--------------------------- /apps/modulefiles ---------------------------
abyss/1.3.7               gaussian/g03             mvapich2/2.1
ansys/15.0                gaussian/g09             mvapich2/2.2
cmake/2.8.10.2            gcc/4.7.4(default)       nwchem/6.1.1(default)
cmake/3.1.0               gcc/4.8.4                nwchem/6.6
cp2k/2.5.1                gcc/4.9.3                openblas/0.2.18
cuda/6.5                  gcc/5.4                  openmpi/1.10.2
devel                     gcc/6.3                  openmpi/1.10.4
dirac/13.3                gridMathematica/9.0      openmpi/1.10.5
dirac/14                  intel/composer_xe_2011   openmpi/1.4.5
esi/pamstamp              intel/composer_xe_2013   openmpi/1.6.5(default)
esi/pamstamp-platform     intel/libs_2011          openmpi/1.6.5-int8
esi/procast               intel/libs_2013          openmpi/1.7.2
esi/sysweld               matlab/R2015b            openmpi/1.7.5
fftw3/3.3.3               molcas/8.0               openmpi/1.8.8
fftw3/3.3.5               mvapich2/1.8a2           openmpi/1.8.8-int8
fftw3/intel-3.3.3         mvapich2/1.9(default)    openmpi/2.1.0
fluent/15.0.7             mvapich2/2.0             openmpi/intel-1.10.4
```

Výpis 1: module avail

Pre načítanie modulov zadáme `module load modul1 modul2 ...`, aktuálne používané moduly zobrazíme pomocou `module list` a odstrániť ich môžeme príkazom `module purge`. Podrobnejšie voľby príkazu `module` sa môžeme dozvedieť z manuálových stránok.

2.2.2 qstat

Ďalším dôležitým príkazom je `qstat`, ktorý zobrazuje status aktuálne bežiacich úloh. Detailnejší výpis o nami spustených úlohách môžeme vypísať cez `qstat -u $USER` alebo `qstat -a`

```
Job ID          Name             User         Time Use  S Queue
--------------- ---------------- ------------ --------- - --------
114557.one      halogen          3xjakubecj   499:03:0  R parallel
114640.one      JerMnchexFq5     3breza       218:35:9  R parallel
```

```
114663.one     Job4           3xrasova     78:07:20  R parallel
114668.one     run.opt        3antusek     674:08:1  R parallel
114692.one     Job5           3xbuchab     43:39:43  R parallel
114710.one     PGA            3xelias      226:46:1  R parallel
```

Výpis 2: qstat

```
Job ID     Queue    Jobname      SessID  TSK  Time    S   Time
---------- -------- ------------ ------ ----- ------ --------- -
114710.one parallel PGA           3418   96   120:00:00 R 19:08:38
115265.one parallel PGA_Mpi_3_b  24619    4   120:00:00 R 31:17:51
115266.one parallel PGA_Mpi_3_d  14748    4   120:00:00 R 31:17:51
115267.one parallel PGA_Mpi_3_e  14780    4   120:00:00 R 31:17:51
115268.one parallel PGA_Mpi_5_b  16429    6   120:00:00 R 31:17:50
115269.one parallel PGA_Mpi_5_d  16471    6   120:00:00 R 31:17:49
115270.one parallel PGA_Mpi_5_e  22492    6   120:00:00 R 31:15:43
115271.one parallel PGA_Mpi_5_f  22450    6   120:00:00 R 31:15:45
115272.one parallel PGA_Mpi_11_b 4254   12   120:00:00 R 31:12:39
115273.one parallel PGA_Mpi_11_d  --    12   120:00:00 Q   --
115274.one parallel PGA_Mpi_11_e 1647   12   120:00:00 R 31:12:08
115275.one parallel PGA_Mpi_11_f 22605  12   120:00:00 R 31:11:37
```

Výpis 3: qstat -u 3xelias

Posledný riadok tabuľky príkazu `qstat -u 3xelias` popisuje nami spustenú úlohu. Dôležité sú pre nás predovšetkým stĺpce `Time`, `Job ID`. Posledný stĺpec `Time` hovorí o tom ako dlho je už naša úloha spustená, druhý stĺpec `Time` nám deklaruje maximálny možný čas, ktorý má úloha PGA vyhradený. Hodnoty zo stĺpca `Job ID` môžeme použiť do príkazu `qsig` pre vynútené ukončenie úlohy.

2.2.3 qfree

Ak si chceme zobraziť aktuálne vyťaženie gridu, môžeme tak urobiť príkazom `qfree`.

```
CLUSTER STATE SUMMARY                Local   GPFS Storage

Core       1  ...  12  load  FreeMem  Scratch  Read   Write  State
Node  Queue                    [GB]     [GB]   [MB/s]  [MB/s]
```

```
comp01 S  [ ] ... [ ] 0.00 44.44  0 (0.0%) 0.00  0.00  free
comp02 T  [ ] ... [ ] 0.00 44.45  0 (0.0%) 0.00  0.00  free
...
comp44 P  [O] ... [O] 12.0 44.41  0 (0.0%) 0.00  0.00  job-exclusive
comp45 P  [O] ... [O] 12.0 44.40  0 (0.0%) 0.00  0.00  job-exclusive
comp46 P  [O] ... [O] 12.0 44.41  0 (0.0%) 0.00  0.00  job-exclusive
comp47 P  [O] ... [O] 12.0 44.41  0 (0.0%) 0.00  0.00  job-exclusive
comp48 P  [X] ... [X] 1.25 22.76  0 (0.0%) 45.50 2.83  job-exclusive
gpu1   G  [X] ... [X] 7.98 38.33  0 (0.0%) 42.13 0.92  job-exclusive
gpu2   G  [ ] ... [ ] 0.00 44.45  0 (0.0%) 0.00  0.00  free
gpu3   G  [ ] ... [ ] 0.00 44.45  0 (0.0%) 0.00  0.00  free
gpu4   G  [ ] ... [ ] 0.00 44.45  0 (0.0%) 0.00  0.00  free
```

Výpis 4: qfree

Prvý stĺpec popisuje názov výpočtového uzlu. Druhý stĺpec označuje druh fronty. S je pre sériové úlohy, `T` pre interaktívne úlohy, podobne `P` pre paralelné výpočty a `G` pre grafické výpočty. Stĺpce jeden až dvanásť označujú procesory CPU respektíve GPU pre grafické výpočty. Zvyšné stĺpce ako už možno vyčítať z názvu popisujú celkové zaťaženie výpočtového uzla, volnú pamäť a využitie diskov. Posledný stĺpec `State` popisuje stav uzlu. Uzol môže byť volný alebo na vyťažený ak vykonáva nejakú úlohu. Procesory na ktorých prebieha výpočet našej úlohy sú označené ako `[O]`, zvyšné vyťažené CPU sú označené ako `[X]`, naopak voľné CPU sú označené medzerou `[ ]` a v prípade že uzol nie je dostupný budú CPU označené ako `[-]`.

Posledný a najdôležitejší príkaz je `qsub`, ktorý slúži na zaradenie úloh, PBS skriptov do výpočtovej fronty.

2.3 Výpočtové fronty

Aby sme boli schopný spustiť akúkoľvek výpočtovú úlohu na gride, potrebujeme k tomu Portable Batch System (PBS) súbor. PBS súbor je v skutočnosti iba jednoduchý textový súbor, ktorý definuje požiadavky na výpočtové zdroje a príkazy pre grid.

V tabuľke 2 sa nachádzajú všetky výpočtové fronty, ktoré sú dostupné na gride `hpc.stuba.sk`. Fronta debug slúži na rýchle odľadenie úloh. Úlohy v tejto fronte

majú vysokú prioritu preto sú spustené takmer okamžite. Debug fronta je obmedzená na maximálne dve súčasne spustené úlohy. Fronta gpu je ďalším typom fronty pre úlohy, ktoré využívajú grafický akcelerátor. Pre úlohy, ktoré využívajú MPI, OpenMP a iné knižnice na paralelné programovanie slúži fronta parallel. Úlohy takého typu musia použiť minimálne štyry a maximálne deväťdesiatšesť CPU. Poslednou výpočtovou frontou je serial, na ktorej môžeme spúšťať jednoprocesorové úlohy.

Názov fronty	**walltime (max)**	**nodes**	**ppn**
debug	30 minút	-	-
gpu	24 hodín	-	-
parallel	240 hodín	1 - 8	4 - 12
serial	240 hodín	1	1

Tabuľka 2: Výpočtové fronty a ich obmedzenia

2.4 Príklad sériovej úlohy

```
1  #!/bin/bash
2
3  #PBS -N uloha1
4  #PBS -l nodes=1:ppn=1
5  #PBS -l walltime=00:01:00
6  #PBS -A 3ANTAL-2016
7  #PBS -q serial
8
9  cd /work/3xelias/uloha1
10 ./seriova_uloha
```

Výpis 5: uloha1.pbs

Vo výpise 5 môžeme vidieť príklad jednoduchého skriptu ktorý sériovej úlohy. Popíšme si jednotlivé riadky skriptu:

- Prvý riadok v súbore definuje aký shell sa má použiť pre spustenie skriptu. V našom prípade sme použili BASH, ale mohli by sme použiť aj iný shell

alebo skriptovací jazyk.

- Tretí riadok určuje názov úlohy.
- Štvrtý riadok vymedzuje koľko uzlov a procesorov si žiadame od gridu. V tomto prípade si žiadame jeden výpočtový uzol a jeden procesor.
- Piaty riadok v PBS skripte vymedzuje aké časové rozpätie potrebujeme pre úlohu. V tomto príklade si žiadame jednu minútu.
- V šiestom riadku sa nachádza identifikátor podľa ktorého sa identifikujú úlohy s jednotlivými projektami. Tento parameter je povinný a možno ho získať po prihlásení na webový portál `https://www.hpc.stuba.sk/index.php?l=sk&page=login`.
- Parameter -q v siedmom riadku definuje typ výpočtovej fronty do akej bude úloha zaradená. V tomto príklade chceme úlohu zaradiť do fronty „serial“.
- V deviatom riadku sa presunieme do priečinku v ktorom sú uložené všetky potrebné dáta pre túto úlohu vrátane programu „seriova_uloha“.
- Posledný riadok spustí program „seriova_uloha“.

Úlohu môže zaradiť do fronty príkazom `qsub uloha1.pbs`.

2.5 Príklad paralelnej úlohy

```
1  #!/bin/bash
2
3  #PBS -N paralelna_uloha
4  #PBS -l nodes=5:ppn=12
5  #PBS -l walltime=48:00:00
6  #PBS -A 3ANTAL-2016
7  #PBS -q parallel
8  #PBS -m ea
9  #PBS -M xelias@stuba.sk
10
11 . /etc/profile.d/modules.sh
```

```
12 module purge
13 module load gcc/5.4 openmpi/1.10.2
14
15 cd /work/3xelias/parallel
16 mpirun ./parallel
```

Výpis 6: uloha2.pbs

Podobne ako v predchádzajúcom príklade sériovej úlohy si popíšeme niektoré riadky príkladu `uloha2.pbs`:

- Na rozdiel od predchádzajúcej úlohy si v tomto príklade na riadku číslo štyri žiadame päť výpočtových uzlov a na každom uzle dvanásť CPU. Dokopy si žiadame šesťdesiat procesorov.
- V piatom riadku požadujeme časové rozpätie štyridsitich ôsmich hodín.
- Siedmy riadok definuje paralelnú frontu.
- Parametre `e` a `a` na riadku osem hovoria kedy sa má poslať email o zmene stavu úlohy. Parameter `e` znamená po skončení úlohy. Parameter `a` znamená pri zrušení úlohy. Ďalšie parametre môžu byť `b` (štart úlohy) a `n` (neposielať žiadny e-mail) [4].
- V deviatom riadku definujeme e-mailovú adresu, na ktorú bude zaslaný mail v prípade ak úloha skončí alebo bude prerušená.
- V jedenástom riadku načítame všetky potrebné premenné prostredia pre moduly.
- V dvanástom riadku odstránime všetky načítané moduly ak boli nejaké dostupné v premmenných prostredia.
- V riadku číslo dvanásť tohto súboru načítame knižnicu gcc verzie 5.4 a knižnicu openmpi verzie 1.10.2. Pre správny beh programu by sa všetky načítané knižnice mali zhodovať stými, s ktorými bola aplikácia spúštaná v tomto skripte skompilovaná.

- Podobne ako v ukázke 5 sa prepneme do priečinku `/work/3xelias/parallel`, ktorý musí obsahovať vsetky potrebné dáta pre samotný program `parallel`.
- Posledný riadok spustí program mpirun, ktorý potom spustí program parallel. Tento krok je vysvetlený v kapitole mpi. .Pridat odkaz.

3 MPI

Message passing je forma programovania, ktorá sa používa pri paralelnom programovaní či už na viacjadrových procesoroch, alebo v gridovom prostredí. V takejto forme programovania môže byť program rozdelený na viacero logických blokov alebo procesov, ktorých môže byť viacej ako počet dostupných CPU, avšak zvyčajne by mal byť tento počet rovnaký. Procesy môžu vykonávať rozlicné úlohy a môžu bežať na rozlicných, geograficky odelených CPU.

Procesy medzi sebou komunikujú posielaním správ. Správy zyčajne reprezentujú nejaké dáta, ale môžu slúžiť aj na sychronizáciu.

Táto forma programovania zaznamenala velký rozmach hlavne v devädesiatich rokoch minulého storočia, keď takmer každý predajca paralelných systémov ponúkal vlastnú implemetáciu message passing prostredia.

Následkom týchto udalostí vznilko Message Passing Interface (MPI) Forum, čo bola skupina viac ako osemdesiať ľudí zo štyridsaťich rôznych organizácii, ktoré predstavovali predajcov paralelných systémov, používateľov ale aj výskumné laboratória a univerzity [5].

Úloha MPI fóra bola bola zjednotiť message passing systémy a navrhnúť nový systém. Systém by mal podporovť komplexné dátové štruktúry, bezpečnú komunikáciu a byť dostatočne modulárny.

Výsledkom práce MPI fóra vznikol v júni roku 1994 štandard MPI-1.0, ktorý je dodnes akceptovaný a má mnoho používateľov aj napriek tomu, že už existujú novšie verziu štandardu. MPI štadard nie je knižnica. Je to špecifikácia toho ako by mala konkrétna implementácia knižnice vyzerať. Existuje viacero implementácii. Medzi najznámejšie patria OpenMPI, MVAPICH, IBM MPI.

Aj napriek tomu, že MPI štandard je veľmi rozsiahly, obsahuje stovky funkcii, zaujímať sa však budeme len o niektoré znich.

3.1 Point-to-point komunikácia

Odosielanie a prímanie správ je kľúcovým stavebným mechanizmom MPI komunikácie. Základoné operácie sú **send** (posielanie) a **receive** (prímanie). Výmene

správ medzi dvoma procesmi hovoríme *point-to-point* komunikácia. Takmer všetky MPI konštrukcie sú založené na point-to-point komunukácii [6]. Pre ilustraciu si uveďme jednoduchý príklad:

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <mpi.h>
3  int main(int argc, char **argv) {
4      char msg[20];
5      int rank;
6      MPI_Init(&argc, &argv);
7      MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
8      if (rank == 0) {
9          strncpy(msg, "Hello, MPI", 20);
10         MPI_Send(msg, strlen(msg) + 1, MPI_CHAR, 1, 0, MPI_COMM_WORLD);
11     } else if (rank == 1) {
12         MPI_Recv(msg, sizeof(msg), MPI_CHAR, 0, 0, MPI_COMM_WORLD,
               MPI_STATUS_IGNORE);
13         printf("%s\n", msg);
14     }
15     MPI_Finalize();
16     return 0;
17 }
```

Výpis 7: Point-to-point komunikácia

V tomto príklade proces nula `(rank == 0)` pošle správu procesu prostredníctvom **send** operácie `MPI_SEND`. Táto operácia definuje tazkvaný `send buffer`. Send buffer je miesto v pamäti odosielateľa, v ktorom sa nachádzajú dáta na odoslanie. V tomto príklade send buffer premmenná `msg` nachádzajúca sa v pamati procesu nula. Prvé tri argumenty send operacie špecifikujú dáta pre príjemcu. Táto správa bude obsahovať pole charov, respektíve string. Ďalsie tri paramtre send operacie sú definujú príjmatela správy. Proces jedna `(rank == 1)`, príjme správu s **receive** operáciou `MPI_Recv`. Správa je prijatá na základe zadaných parametrov a dáta sú uložené do `receive buffera`. V tomto príklade je receive buffer premmenná msg v pamäťovom priestore procesu jedna. Prvé tri parametre definujú dáta, ktoré chce príjemca prijať. Ďalsie tri parametre slúžia na zvolenie správy od odosieľateľa. Posledný parameter sa používa na získanie informácií o prijateje

správe. V tomto príklade tento parameter ignorujeme.

Program z výpisu 7 môžeme skompilovať a následne spustiť v dvoch krokoch:

```
mpicc main.c -o p2p
mpirun -n 2 ./p2p
```

Výsledkom programu a komunikácie týchto dvoch procesov bude ze proces jedna vypíše `Hello, MPI`.

3.2 Blokujúca komunikácia

Obe MPI volania v príklade 7 boli obe blokujúce. To znamena, že odsielateľ čaká na volaní `MPI_Send` dovtedy až kým príjemca správu príjme. To isté platí aj pre príjemcu, ktorý čaká na volaní funkcie `MPI_Recv` až kým nedostane správu od odosielateľa.

```
MPI_Send(
const void* buf,
int count,
MPI_Datatype datatype,
int dest,
int tag,
MPI_Comm comm)
```

Výpis 8: MPI_Send

Vo výpise 8 vidíme definíciu volania MPI_Send. Prvý argumentom funkcie je adresa receive buffera, ďalší argument je dĺžka buffera (count), ktorá musí byť celé kladné číslo. V prípade, že táto podmienka nie je splnená MPI volanie vráti chybu. Typ buffera špecifikujeme pomocou argumentu datatype. Niektoré základné dátové typy môžeme vidieť v tabuľke 3. Ďalšie tri argumenty slúžia na definovanie príjemcu. Pomocou parametra dest môžeme zvoliť komu je správa adresovaná. V prípade, že si odosielateľ a príjemca vymienajú viacej správ s rôznym typom alebo rôzneho obsahu potrebujeme tieto správy nejako odlíšiť. Na odlíšenie správ slúži argument tag. Tag musí byť kladné celé číslo. V príklade 7 sme ako tag použili nulu, avšak mohli sme použiť aj inú hodnotu. Posledným argumentom je comm, ktorý slúži na definovanie komunikačnej skupiny. Základná komunikacná skupina je svet (`MPI_COMM_WORLD`), kde si všetci môžu vymienať správy. MPI štandard

zahŕňa aj vytváranie vlastných podskupín komunikátorov, napríklad pomocou volania `MPI_Comm_create_group` [6].

```
MPI_Recv(
const void* buf,
int count,
MPI_Datatype datatype,
int source,
int tag,
MPI_Comm comm,
MPI_Status *status)
```

Výpis 9: MPI_Recv

MPI volanie `MPI_Recv` používa veľmi podobnú syntax ako `MPI_Send`. Prvé tri argumenty sú indentické. Argument source v prípade funkcie `MPI_Recv` definuje rank odosielateľa. Ďalším rozdielom je argument status, ktorý sa používa na získanie informácii o prijatej správe, alebo môže byť aj ingnorovaný ako v príklade 7. Štruktúra `MPI_Status` obsahuje 3 hlavné informácie: rank odosielateľa, tag správy a dĺžku správy.

3.3 Neblokujúca komunikácia

Výkonnosť programov môže byť v mnohých prípadoch vylepšná prekrívaním blokujúcich volaní. Jedným z možných spôsobov ako toto dosianuť je použitie threadov [6]. Alternatívny spôsob ako zlepšiť výkon programu môže byť použitie neblokujúcech komunikácie.

Pri neblokujúcej komunikácii si môžeme zadefinovať štyry rôzne neblokujúce operácie: `send` pre posielanie, `recv` pre prímanie, `send complete` pre dokončenie posielania a `recv complete` pre dokončenie prijatia. Neblokujúce volanie `send` spustí send operáciu, ale nedokončí jú. Toto volanie inicializuje skopírovanie do send buffera ale samotné kopírovanie nedokončí. Na dokončenie operácie send je potrebná dalšie volanie `send complete`, ktorá overí že dáta boli skutočne skopírované a prenesené príjemcovi. Neblokujúca send operácia zvyčajne beží paralelne s vykonávaným programom. Podobne aj nebolokujúce volanie `recv` inicializuje recv operáciu, ale nedokoncí ju. Na dokončenie potrebuje separátne volanie `recv`

MPI_Datatype	C ekvivalent
MPI_SHORT	short int
MPI_INT	int
MPI_LONG	long int
MPI_LONG_LONG	long long int
MPI_UNSIGNED_CHAR	unsigned char
MPI_UNSIGNED_SHORT	unsigned short int
MPI_UNSIGNED	unsigned int
MPI_UNSIGNED_LONG	unsigned long int
MPI_UNSIGNED_LONG_LONG	unsigned long long int
MPI_FLOAT	float
MPI_DOUBLE	double
MPI_LONG_DOUBLE	long double
MPI_BYTE	char

Tabuľka 3: Dátové typy v MPI a ich C ekvivalenty

`complete`, ktoré zaručí že dáta boli prenesené do recv buffera. Neblokujúca recv operácia podobne ako send pokračuje paralelne so zvyškom programu.

```
MPI_Request request[2];
if (rank == 0) {
    char msg1[] = "Hello, ", msg2[] = "MPI";
    MPI_Isend(msg1, strlen(msg1) + 1, MPI_CHAR, 1, 0, MPI_COMM_WORLD,
        &request[0]);
    MPI_Isend(msg2, strlen(msg2) + 1, MPI_CHAR, 1, 0, MPI_COMM_WORLD,
        &request[1]);
    zlozity_vypocet();
    MPI_Waitall(2, request, MPI_STATUSES_IGNORE);

} else if (rank == 1) {
    char msg1[20], msg2[20];
    MPI_Irecv(msg1, 20, MPI_CHAR, 0, 0, MPI_COMM_WORLD, &request[0]);
    MPI_Irecv(msg2, 20, MPI_CHAR, 0, 0, MPI_COMM_WORLD, &request[1]);
```

```
    iny_vypocet();
    MPI_Waitall(2, request, MPI_STATUSES_IGNORE);
    printf("%s%s\n", msg1, msg2);
}
```

Výpis 10: Neblokujúca komunikácia

Vo výpise 10 môžeme vidieť príklad neblokujúcech komunikácie. V tomto príklade ako send operácia slúži funkcia `MPI_Isend`. Proces nula `(rank == 0)` pošle najprv správu `msg1` a následne správu `msg2`. Obe volania sú neblokujúce, to znamená, že program nečaká a pokračuje funkciou `zlozity_vypocet`. Po dokončení výpočtu čaká kým správy neboli prenesené. Tento krok je dôležitý pretože ak by sme nečakali na dokončenie prenosu správy premmenné msg1 a msg2 by už viacej nemuseli byť validné, za prepokladu ze vídeme z if konštrukcie. V prípade procesu jedna `(rank == 1)`, príjemca inicializuje neblokujúce volanie `MPI_Irecv` a pokračuje funkciou `iny_vypocet`. Po dokončení výpočtu skontroluje či už boli dáta prijaté volaním `MPI_Waitall`. Na tomto volaní čaká, v prípade ak dáta ešte neboli prijaté. Tento krok je pre príjemncu dôležitý pretože mu zaručuje že dáta boli prijaté a môže ich použiť.

Výstupom tohto programu môže „`Hello, MPI`“ alebo aj „`MPIHello, `“, pretože poradie vykonania operácii nie je zaručené. Správneme poradie správ by sme dosielili rôznymi tagmi pre správy msg1 a msg2.

3.4 Dynamicka alokácia

V príklade 7 sme použili staticky alokovanú pamäť, čo je vo väčšine prípadov nepraktické a často môže viesť k chybám. Ak by v tomto príklade odosielatel poslal dlhšiu správu ako je príjemca schopný prijať tak by tento program zlyhal.

Riešením tohto problému je dynamická alokácia pamäte pre prijaté správy. Aby sme mohli pamäť dynamicky alokovať potrebujeme vedieť koľko dát sa nám snaží odosielatel poslať. To môžeme zistiť pomocou štruktúry `MPI_Status` a volaní `MPI_Probe, MPI_Get_count`. Kód procesu jedna z príkladu 7 by sme mohli nahradiť nasledovne:

```
MPI_Status status;
```

```
int msg_size;
MPI_Probe(0, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
MPI_Get_count(&status, MPI_CHAR, &msg_size);
char *buf = (char *)malloc(msg_size);
MPI_Recv(buf, msg_size, MPI_CHAR, 0, 0, MPI_COMM_WORLD, MPI_STATUS_IGNORE);
printf("%s\n", buf);
free(buf);
```

3.5 Serializácia dátových typov

Častokrát si procesy pri MPI komunikácii medzi sebou potrebujú vymieňať nie len primitívne dátové typy, ale aj zložitejšie dátové štruktúry. Odosielateľ musí dátové štruktúry pred komunikáciou rozložiť na primitívne typy. Spôsob ako sa dáta rozložia je medzi odosielatelom aj príjemcom vopred dohodnutý. Príjemca po prijatí dát znovuposkladá dátové štruktúry do pôvodného stavu. Tomuto procesu sa hovorí serializácia dát.

MPI rieši tento problém napríklad volaniami `MPI_Type_create_struct, MPI_Pack`. Avšak tieto volania častokrát vyžadujú príliž nízkourovňové programovanie.

3.6 Boost MPI

Lepší spôsobob poskytuje napríklad knižnica C++ Boost

```
#include "MpiApp.h"
int main(int argc, char **argv) {
    MpiApp app(argc, argv);
    if (app.rank() == 0) {
        app.send(1, 0, std::string("Hello MPI"));
    } else if (app.rank() == 1) {
        std::string msg;
        app.recv(0, 0, msg);
        std::cout << msg << std::endl;
    }
    return 0;
}
```

4 Návrh

Jedným zo základných cieľov tejto práce je poskytnúť jednoduchšie programové prostredie pre ďalších lúštitelov a programátorov, ktorý budú pri svojej práci využívať grid.

Takéto prostredie by malo poskytnúť spoločné stavebné bloky, ktoré by si riešitelia medzi sebou mohli navzájom zdielať. Stavebné bloky by mohli zahŕňať napríklad implementácie šifier, ohodnocovacích funkcii alebo prácu zo súbormi. Ďalším spoločným črtom je vytváranie projektov, ktoré by malo byť čo najviac automatické a malo by generovať štruktúru priečinkov a základných súborov.

Keďže vývoj priamo na gride v konzolovom prostredí je nepraktický. Vývoj v nami navrhovanom prostredí by mal o

Základné požiadavky by mali spĺnať nasledovné kritéria:

- Automatické vytvorenie projektu.
- Lokálny vývoj a testovnie
- Zdieľanie modulov medzi projektami
- Automatické generovanie a úprava skriptov pre gridové prostredie
- Jednoduchá synchronizácia s gridom hpc.stuba.sk

4.1 Štruktúra prostredia

V tejto kapitole popíšeme štruktúru prostredia a význam jednotlivých priečinkov a súborov.

Na nasledujúcom výpise môžeme vidieť štruktúru navrhnutého prostredia:

```
.
|- build.sh
|- CMakeLists.txt
|- module/
|   |- CMakeLists.txt
|   |- modul1/
|   |   |- CMakeLists.txt
```

```
|   |   |- ... h/cpp
|   |   |- ... h/cpp
|   |- modul2/
|   |- ...
|- project/
|   |- CMakeLists.txt
|   |- projekt1/
|   |   |- CMakeLists.txt
|   |   |- projekt1
|   |   |- projekt1.pbs
|   |   |- src/
|   |   |-  |- main.cpp
|   |   |-  |- h/cpp
|   |   |-  |- ...
|   |- projekt2/
|   |-  |- ...
|   |- ...
|- vendor/
    |- lib1
    |- lib2
    |- ...
```

Výpis 11: Štruktúra prostredia

Skript `build.sh` vytvára projeky do podpriečinku `project`. Každý projekt po vytvorení obsahuje automaticky generované súbory: `CMakeLists.txt`, binárny spustitelný súbor, (po kompilácii), `.pbs` súbor a `main.cpp` v priečinku `src`. Do priečinku `src` by sa mali umiestovať zdrojové súbory špecifické pre daný projekt. Ostatné zdrojové kódy, ktoré nesúvisia s daným projektom by mali ísť do modulov (priečinok `module`). Priečinok `module` slúži na zdielanie zdrojových kódov (modulov) medzi projektami. Posledným priečinkom je `vendor`, ktorý slúži na uchovávanie knižníc od tretích strán.

4.2 Implementácia

V tejto práci sme si zvolili ako programovací jazyk `C++`, ktorý je dostatočne rýchly a poskytuje bohatú štandartnú knižnicu. Teto programovací jazyk sa taktiež vyučuje na Fakulte elektrotechniky a informatiky a je veľmi rozšírený v industriál-

nej sfére.

Keďže MPI štandard od verzie tri priamo nepodporuje C++ volania [6], budeme používať knižnicu Boost a jej MPI nadstavbu. Z Boost knižnice tiež využijeme modul serialization pre dátovú serializáciu. Vrámci gridu hpc.stuba.sk nemáme k dispozícii knižnicu boost. Tiež nemáme možnosť inštalovať žiadne dalšie knižnice a preto sa pred prvou kompiláciou knižnica Boost stiahne a automacike skompiluje pre dané prostredie. Kompilácia prebieha iba jeden krát a knižnica sa uloží do priečinku vendor/boost_<verzia>.

Ako buildovací systém sme použilii cmake. Cmake je multiplatformový, open-source nástroj, ktorý sa používa na buildovanie a testovanie softvéru.

Na správu zdrojových kódov sme použili systém `git` pretože archiváciu správu zdrojových kódov považujeme za veľmi dôležitú. Zdrojvé kódy tohto projektu sú dostupné na githube `https://github.com/melias122/grid`.

Základným príkazom celého prostredia je skript `build.sh` v kombinácii s buildovacím nástrojom cmake. Skript `build.sh` sa používa na vytváranie nových projektov, kompilovanie, synchonizáciu s gridom a na spúštanie projektov v lokálnom prostredí ale aj na gride. Základné oprácie tohto príkazu `build.sh` sú:

- `-b, -build`, tento argument skompiluje všetky projekty a moduly nachádzajúce sa v priečinkoch project, module. Taktiež skompiluje všetky potrebné závislosti. Kombinuje príkaz module z kapitoly (kap), a buildovací nástroj cmake.
- `-h, -help` argument vypíše ako návod ako pracovať stýmto príkazom.
- `-r, -run [projekt]` spustí projekt, ktorý je zadaný ako další argument tohto príkazu. Hlavou myšlienkou tohto príkazu je že by sa mal správať podobne v lokánom prostredí ale aj na gride. Príkaz parsuje main.cpp v priečinku projektu a podľa nastavenia nodes, ppn, walltime a queue dynamicky upravuje .pbs súbor pre grid, alebo tieto nastavenia použije do príkazu mpirun na simulovanie gridu.
- `-n, -new-project [nazov_projektu]` vytvorí projekt v priecinku project.

Tento príkaz automaticky vytvára niektoré základné súbory ako main.cpp, a .pbs súbor.

- `-sync` zosynchronizuje lokálny projekt na grid do priečinku `/work/$USER/grid`. Priečinok work bol zvolený narozdiel od home, pretože nekladie žiadne obmedzenia na počet súborov.

4.3 Príklad použitia

Táto kapitola by mala slúžiť ako manuál pre ďalších používateľov. Postupne si prejdeme všetky kroky potrebné k použitiu nami vytvoreného softvéru.

4.3.1 Lokálny vývoj

Na lokálny vývoj sme použili linuxový operačný systém Ubuntu 16.04 LTS, ktorý poskytuje všetky potrebné nástroje na vývoj. Podobné kroky by však mali platiť aj na iných linuxových operačných systémoch, prípadne MacOS alebo Windows 10, ktorý v najnovších verziách podporuje `bash` a balíčkový systém `apt` [7].

Prvým krokom je nainštalovanie potrebných balíčkov príkazom `apt`.

```
sudo apt install build-essential libmpich-dev git cmake clang-format
```

Druhý krok je naklonovanie git repozitára.

```
git clone git@github.com:melias122/grid.git
```

V tretom kroku sa prepneme do repozitára a skompilujeme celý projekt. Ešte pred kompiláciou musíme vytvoriť súbor `.project-id`, ktorý by musí obsahovať identifikátor pre náš projekt. Prvý krát môže byť kompilovanie časovo náročnejšie, pretože sa musí stiahnuť a skompilovať knižnica boost s príslušnými modulmi.

```
# prepnutie sa do repozitara
cd grid/

# vytvorenie id projektu
echo 3ANTAL-2016 > .project-id

# kompilacia projektu a zavislosti
./build.sh -b
```

V štvrtom kroku by sme mali mať celý repozitár úspešne skompilovaný a môžeme založiť nový projekt. V prípade že niečo neprebehlo dobre môžeme všetko vrátiť do pôvodného stavu príkazom `git clean -xdf`. V použitia tohto príkazu musíme pokračovať od kroku tri. Na vytvorenie noveho projektu nam staci zadať:

```
# vytvorenie noveho projektu s nazvom HelloGrid
./build.sh -n HelloGrid
```

Čo vytvorí nasledovnú štruktúru v priečinku projekt:

```
project/CMakeLists.txt
project/HelloGrid/CMakeLists.txt
project/HelloGrid/HelloGrid.pbs
project/HelloGrid/.gitignore
project/HelloGrid/src
project/HelloGrid/src/main.cpp
```

Dôležité súbory pre kompilačný systém sú všetky CMakeLists.txt súbory bez ktorých sa projekt neskomkpiluje. V prípade že by sme cheli pridať ďalší .cpp súbor, môžeme ho pridat priečinku `HelloGrid/CMakeLists.txt` a následne ho pridať do súboru `HelloGrid/CMakeLists.txt`.

```
1  // Project HelloGrid
2  //
3  // nodes defines number of nodes to use
4  // ppn defines number of proccesors to use
5  // total cores = nodes * ppn
6  // nodes = 1
7  // ppn = 2
8  //
9  // queue defines queue for this project
10 // available queues are: serial, parallel, debug, gpu
11 // queue = parallel
12 //
13 // walltime defines time to run on grid. Format is hh:mm:ss
14 // walltime = 24:00:00
15 //
16 // Variables above are used for ../HelloGrid.pbs
17 // Edit them as needed, but do not delete them!
```

```
18  // Notice that gpus are not supported yet.
19
20  #include <iostream>
21  #include "MpiApp.h"
22  using namespace std;
23  int main(int argc, char **argv) {
24      MpiApp app(argc, argv);
25      cout << "Hello, grid from " << app.rank() << " out of " << app.size() <<
            endl;
26      return 0;
27  }
```

Výpis 12: HelloGrid/src/main.cpp

Zmeňme riadok sesť na `nodes = 2`, riadok trinásť na `walltime = 00:01:00` a riadok sestnásť na `walltime = debug`. Parametre nodes a ppn sú dôležité pre spustenie programu na lokálnom počítaci. Zvyšné parametre, queue a walltime sa prejavia až pri spustení na gride. Teraz môžeme projekt HelloGrid skompilovať a následne spustiť pomocou príkazov:

```
# skompiloje projekt HelloGrid a vsetky zavislosti
./build.sh -b

# spustenie programu HelloGrid
./build.sh -r HelloGrid

# vystup programu HelloGrid
Hello, grid from 2 out of 4
Hello, grid from 3 out of 4
Hello, grid from 0 out of 4
Hello, grid from 1 out of 4
```

Výstup programu nemusí vyzerať presne takto.

4.3.2 Spustenie na gride hpc.stuba.sk

Aby sme boli schopný použiť program vytvorený v kapitole 4.3.1. Musíme najprv celý projekt skopírovať na grid hpc.stuba.sk. Možností ako skopírovať projekt je viacero. Môžeme ho skopírovať manuálne napríklad pomocou programu `rsync`, `scp` alebo môžeme použiť systém git, prípadne iný program. Pri manuánom

kopírovaní si treba dať pozor aby sme neskopírovali priečinky a súbory, ktoré môžu mať závislosti na lokálne prostredie. Sú to hlavne súbory z predchádzajúcich kompilácii a priečinky `.build, vendor/boost`. Nachadzame sa v priecinku `/grid` a repozitáre môžeme zosynchronizovať pomocou:

```
./build.sh --sync
```

Príkaz `./build.sh -sync` skopíruje cely projekt `/grid` na server hpc.stuba.sk do priečinku `/work/3xelias/grid`. Taktiež skopíruje `.project-id` a vynechá všetky súbory viazané na lokálne prostredie. Po skopírovaní súborov sa môžeme prihlásiť pomocou `ssh`.

```
# prihlasenie do gridu
ssh 3xelias@login.hpc.stuba.sk

# prepnutie sa do priecinku kam sme skopirovali projekt
cd /work/3xelias/grid

# skompilovanie projektu
./build.sh -b

# pridanie programu do vypoctovej fronty
./build.sh -r project/HelloGrid
```

V tomto prípapade neuvidíme žiadny výstup. Výstup si môžeme pozrieť až po zaradení do fronty a skončení programu, čo by malo v prípade že sme použili debug frontu takmer okamžité. Výstup môžeme nájsť po skončení programu v priečinku `project/HelloGrid`. Sú to súboru HelloGrid s príponou `.o<id_procesu>` pre štandardný výstup a `.e<id_procesu>` pre chybový výstup. Výstupy si môžeme stiahnuť na lokálny počítač pomocou:

```
# na lokalnom pocitaci v priecinku ~/grid
./build.sh --sync
```

Tentokrát ak sme nespravili žiadnu zmenu na lokalnom pc, tak sa neskopiruje nič, ale stiahnu sa výstupy s programu HelloGrid do priečinku `project/HelloGrid`.

5 Genetické algoritmy

Genetické algoritmy (GA) patria medzi patria medzi najčastejšie používaných predstaviteľov evolučných výpočtových techník. V tejto práci sme si ich zvolili pretože sú výpočtovo náročné a dajú sa paralelizovať. Tieto vlastnoti ich určujú ako vhodných kandidátov na nasadenie do gridového prostredia.

5.1 Základná terminológia

Genetické algoritmy sa snažia napodobniť biologické procesy v prírode. Základnými objektami sú gén, reťazec a populácia. Nad týmito objektami sa vykonávajú operácie. Medzi základné operácie patria výber, mutácia a kríženie.

Gén je základnou stavebnou jednotkou reaťazca a predstavuje elementárne vlastnosti jedinca. Gén je zvyčajne reprezentovaný číselne, alebo nejakým symbolom z abecedy. V tomto experimente je gén reprezentovaný ako jeden znak z abecedy.

Reťazec (chromozóm) je postupnosť génov, respektíve znakov, ktoré predstavujú zvolené parametre alebo vlastnosti jedinca z problémovej oblasti. V tomto prípade reťazec predstavuje dešifrovací klúč.

Populácia je skupina reťazcov zvoleného počtu. Veľkosť populácie sa počas riešenia genetického algoritmu môže meniť.

Generácia predstavuje populáciu GA v niektorej výpočtovej fáze, prípadne môže reprezentovať poradové číslo cyklu.

Účelová funkcia vypočítava skóre každého jedinca v populácii a je mierou toho čo chceme maximalizovať, prípadne minimalizovať. Úlohou účelovej funkcie je nájsť globálny extrém.

Fitness je v evolučných výpočtoch pojem predstavujúci mieru úspešnosti jedincov. V prípade maximalizačnej úlohy je to najväčšia hodnota účelovej funkcie. Naopak v prípade minimalizačnej úlohy je to najmenšia hodnota.

Výber je process, ktorý vyberie niektorých jedincov z populácie na základe zvolenej stratégie. Vybraný jedinci potom vstupujú do operácii kríženia, mutácie alebo bez zmeny pokračujú do ďalšej generácie. Existuje viacero stratégii výberu

jedincov, avšak základnou ideou je aby lepší jedinci prežili a postupne vytlačili horších jedincov z populácie.

Mutácia znamená náhodnú zmenu génu v reťazci, prípadne viac zmien v celej populácii. Gén zmení svoju hodnotu na inú náhodne zvolenú hodnotu z prehladávného priestoru. Mutácia je základnou hybnou silou genetických algoritmov. Umožnuje nachádzať nové riešenia, ktoré sa v populácii ešte neobjavili.

Kríženie je operácia, pri ktorej si dva náhodne zvolené rodičovské jedince rozdelia v nejakom bode a vymenia si svoje gény. Krížením vznikajú nový, odlisný potomkovia, ktorý nesú niektoré znaky oboch rodičov.

Migrácia ...

5.2 Experiment

V našej práci sme sa rozhodli vyskúšať experiment s genetickými algoritmami, ktoré budú lúštiť monoalfabetickú substitúciu. Dôležitosť tohto experimentu spočívala v nájdení vhodných parametrov, pri ktorých bude najvyššia úspešnosť rozlúštenia zašifrovaného textu.

Prvým krokom bolo nasadenie vlastnej implemtácie GA, ktoré by sme mohli upraviť podľa vlastných požiadaviek. Základnú implementáciu poskytol vedúci práce Ing. Eugen Antal, PhD. Táto implementácia bola dalej nami rozvíjaná. Časť kódu bola prepísana, ale základná idea ostala. Doimplementovali sme niektoré genetické operácie kríženia: single point crossover, uniform crossover.

Ďalším krokom bolo zvolenie vhodných parametrov GA, pre nájdenie omptimálneho riešenia. Naším zámerom bolo preskúmať viacero parametrov, ktoré by sme mohli neskôr použit pre dalšie skúmanie paralelných genetických algoritmov. Medzi skúmané parametre patrili: veľkosť počiatocnej populácie, počet iterácii genetického algoritmu a kombinácie rôznych operácii (schémy). Veľkosť počiatočnej populácie, ktorú sme skúmali bola v počte: 10, 20, 50 a 100 chromozómov. Počet iterácii bol 10000 a 50000. Zvolené schémy môžeme vidieť v tabuľke 4.

Prvým stĺpcom tabulky je názov samotnej schémy. Ďalšie stĺpce tabuľky predstavujú zreťazenie jednotlivých operácii. Riadky schémy predstavujú aplikovanie jednotlivých retazcov operácii na populáciu z predchádzajúcej generácie. Všimnime

Schéma	Výber	Mutácia	Kríženie	Suboperácia
A	Tournament(n)	Swap(1)	-	-
B	Random(n)	Swap(1)	-	-
C	Tournament(n/2)	Swap(1)	-	-
	Tournament(n/2)	-	-	-
D	Tournament(n/2)	Swap(1)	-	-
	Random(n/2)	-	-	-
E	Elite(1)	-	-	-
	Elite(1)	Swap(1)	-	-
	(n-2) * Tournament(2)	-	Singlepoint(2)	
F	Elite(1)	-	-	-
	Elite(1)	Swap(1)	-	-
	(n-2) * Tournament(2)	-	Singlepoint(1)	-
G	Elite(1)	-	-	-
	Elite(1)	Swap(1)	-	-
	((n-2)/2) * Tournament(2)	-	Singlepoint(2)	Swap(1)
H	Elite(1)	-	-	-
	Elite(1)	Swap(1)	-	-
	(n-2)*Random(2)	-	Singlepoint(1)	-
I	Elite(1)	-	-	-
	Elite(1)	Swap(1)	-	-
	(n-2)/2 * Random(2)	-	Singlepoint(2)	-
J	Elite(1)	-	-	-
	Elite(1)	Swap(1)	-	-
	((n-2)/2) * Random(2)	-	Singlepoint(2)	Swap(1)

Tabuľka 4: schemy

si napríklad schému **J**. Prvou operáciou v prvom riadku tejto schémy je výber elitného jedinca, ktorý pospupuje do novej generácie. V druhom riadku je tak isto zvolený jeden elitný jedinec, ale tentokrát je nad ním vykonaná operácia mutácie, ktorá jeden krát zamení pozície dvoch nahodne vybraných génov. V tretom riadku schémy `J` sa `(n-2)/2`-krát vykoná náhodný výber, ktorého výstupom sú dvaja jedinci. Týto jedinci postupujú do operácie kríženia, ktorej výsledkom sú dvaja nový potomkovia nad ktorými sa vykoná operácia swap.

Úspešnosť jednotlivých schém bola vyhodnocovaná nad textami od dĺžky 50 po 2000 s nárastom o 50 znakov, pričom z každej dĺžky sme mali k dispozícii 100 rôznych textov. Po celom behu GA bol vybratý najlepší jedinec reprezentujúci potencionály kľúč, ktorým bol dešifrovaný zašifrovaný text a jeho výsledok porovnaný s pôvodným otvoreným textom.

5.3 Distribúcia parametrov

Aby sme mohli využíť celú výpočtovú silu ktorú nám gridové prostredie ponúka a aby sme sa zároveň vyhli opakovanému spúštaniu každej schémy tak sme navrhli riešenie v ktorom by sme mali jeden hlavný proces distribuujúci parametre n pracovným procesov.

Úlohou hlavného procesu je distribúcia parametrov (nastavení GA) pracovným procesom. Hlavný proces zostaví parametre: iterácia, veľkosť populácie, dĺžka textu, načíta otvorený text, načíta zašifrovaný text. Potom čaká na kým sa uvolní ľubovoľný pracovný proces od ktorého príjme jeho id a pošle mu späť zostavené parametre. V prípade že hlavný proces už nemá čo poslať, čaká na všetky pracovné procesy, ktoré následne ukončí.

Úlohou pracovného procesu je na prijaté parametre aplikovať schémy z tabuľky 4. Pracovný proces sa snaží získať prácu od hlavného procesu tak, že mu najprv pošle svoje id a potom čaká kým mu hlavný proces pridelí prácu (parametre) alebo zruší jeho činnosť.

```
void run_master(mpi::comm &comm) {
  for (int itteration : {10000, 50000} ) {
    for (int populationSize : {10, 20, 50 , 100}) {
      for (int textsize = 50; textsize <= 2000; textsize += 50) {
```

```
      for (int text = 1; text <= 100; text++) {
        string pt = read_plaintext();
        string ct = read_ciphertext();
        Data data;
        comm.recv(mpi::any_source, 0, data);
        // copy data
        data.itteration = itteration;
        ...
        comm.send(data.workerId, 1, data);
      }
    }
  }
  // shutdown workers
}

void run_worker(int id, mpi::comm &comm) {
  // initialize
  scheme schemes = ;
  while (1) {
    Data data(id);
    comm.isend(master, 0, data);
    comm.recv(master, 1, data);
    if (!data.status) return;
    // setup GA scheme
    Scheme scheme = ...
    for (schemeId &s : {A, B, C, ...}) {
      GeneticAlgorithm::run(scheme);
      // write best
    }
  }
}
```

Výpis 13: Pseudokód ditribúcie parametrov GA

5.4 Výsledky experimentu

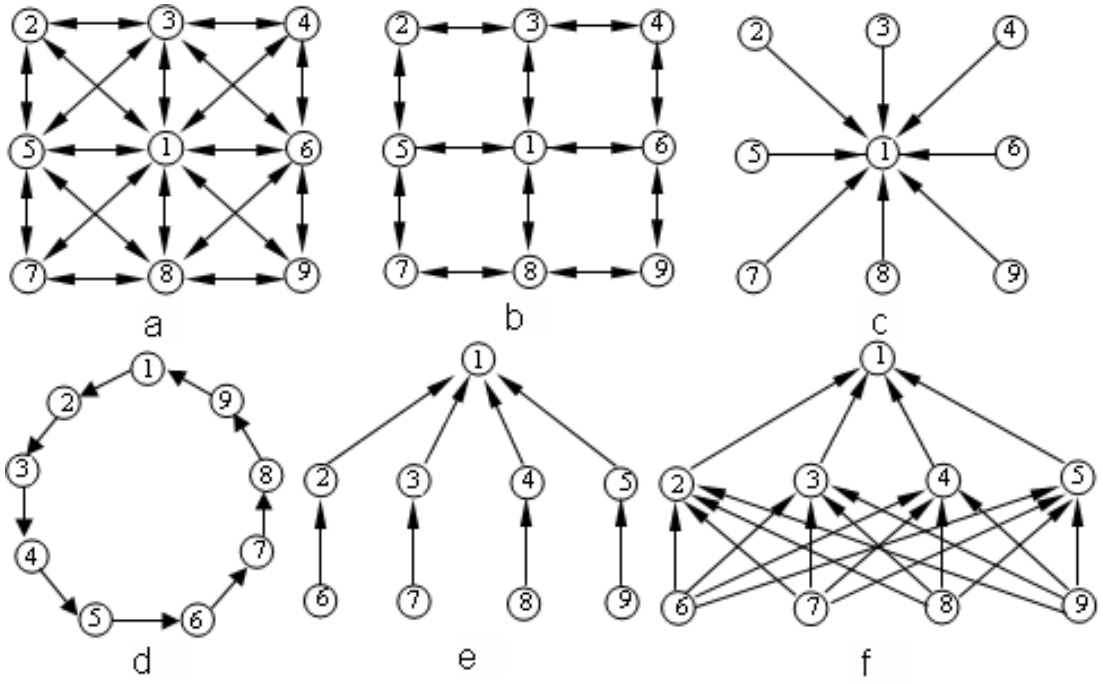
vysledky GA a ich interpretacia

6 Paralelné genetické algoritmy

6.1 Trieda Migrator

Komunikacia cez triedu Migrator

6.2 Topológie



Obrázok 1: Topológie paralelných genetických algoritmov [8].

Schemy PGA

6.3 Výsledky experimentu

Vysledky PGA a ich interpretacia

Záver

Conclusion is going to be where?
Here.

Zoznam použitej literatúry

1. GROŠEK, O., VOJVODA, M. a ZAJAC, P. *Klasické šifry*. Slovenská technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-227-2653-5.
2. KERCKHOFFS, A. a COLLECTION, George Fabyan. *La cryptographie militaire, ou, Des chiffres usités en temps de guerre: avec un nouveau procédé de déchiffrement applicable aux systèmes à double clef*. Librairie militaire de L. Baudoin, 1883. Extrait du Journal des sciences militaires.
3. *STUBA klaster - IBM iDataPlex*. Dostupné tiež z: `https://www.hpc.stuba.sk`.
4. *qsub*. Adaptive Computing, 2012. Dostupné tiež z: `http://docs.adaptivecomputing.com/torque/4-0-2/Content/topics/commands/qsub.htm`.
5. SNIR, Marc, OTTO, Steve, HUSS-LEDERMAN, Steven, WALKER, David a DONGARRA, Jack. *MPI-The Complete Reference, Volume 1: The MPI Core*. 2nd. (Revised). Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1998. ISBN 0262692155.
6. FORUM, Message Passing Interface. *MPI: A Message-Passing Interface Standard*. 2015. Dostupné tiež z: `http://mpi-forum.org/docs/mpi-3.1/mpi31-report.pdf`.
7. *Bash on ubuntu on Windows*. 2017. Dostupné tiež z: `https://msdn.microsoft.com/commandline/wsl/about`.
8. IVAN SEKAJ, Michal Oravec. Paralelné evolučné algoritmy.

Prílohy

A Štruktúra elektronického nosiča

/CHANGELOG.md

· file describing changes made to FEIstyle

/example.tex

· main example *.tex* file for diploma thesis

/example_paper.tex

· example *.tex* file for seminar paper

/Makefile

· simply Makefile – build system

/fei.sublime-project

· is project file with build in Build System for Sublime Text 3

/img

· folder with images

/includes

· files with content

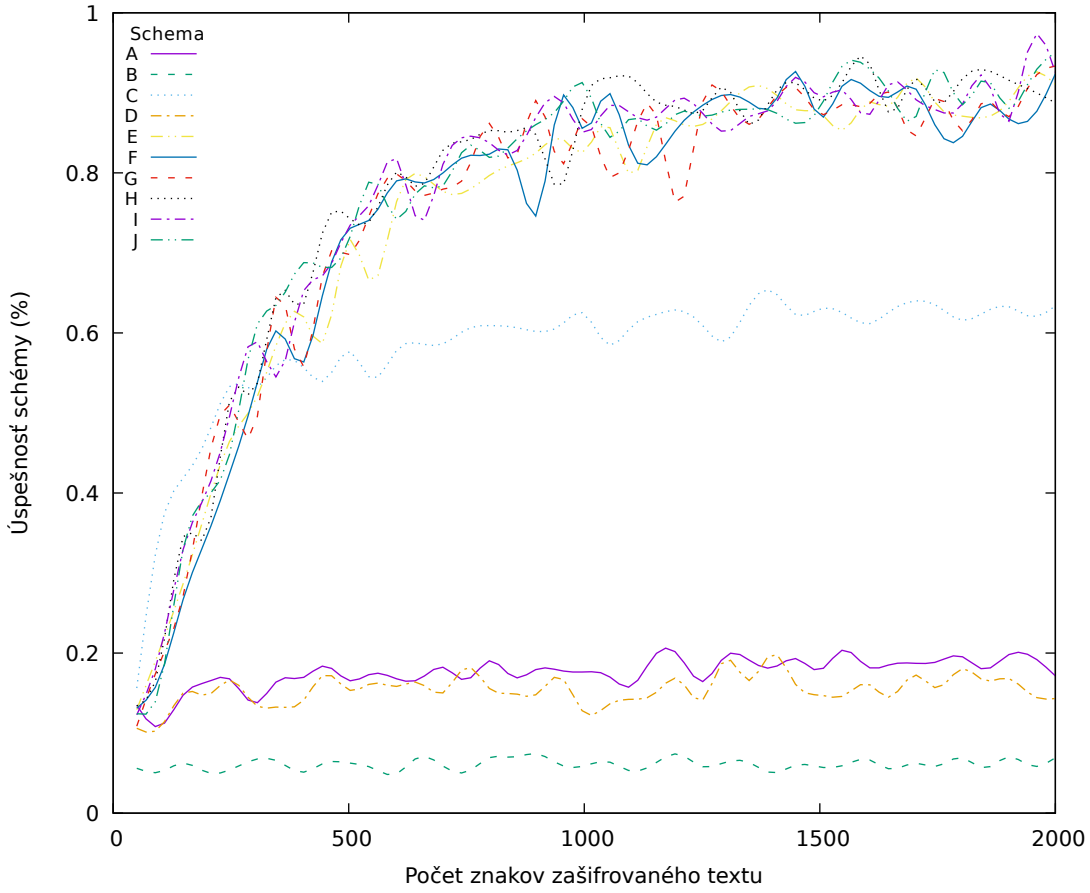
/bibliography.bib

· bibliography file

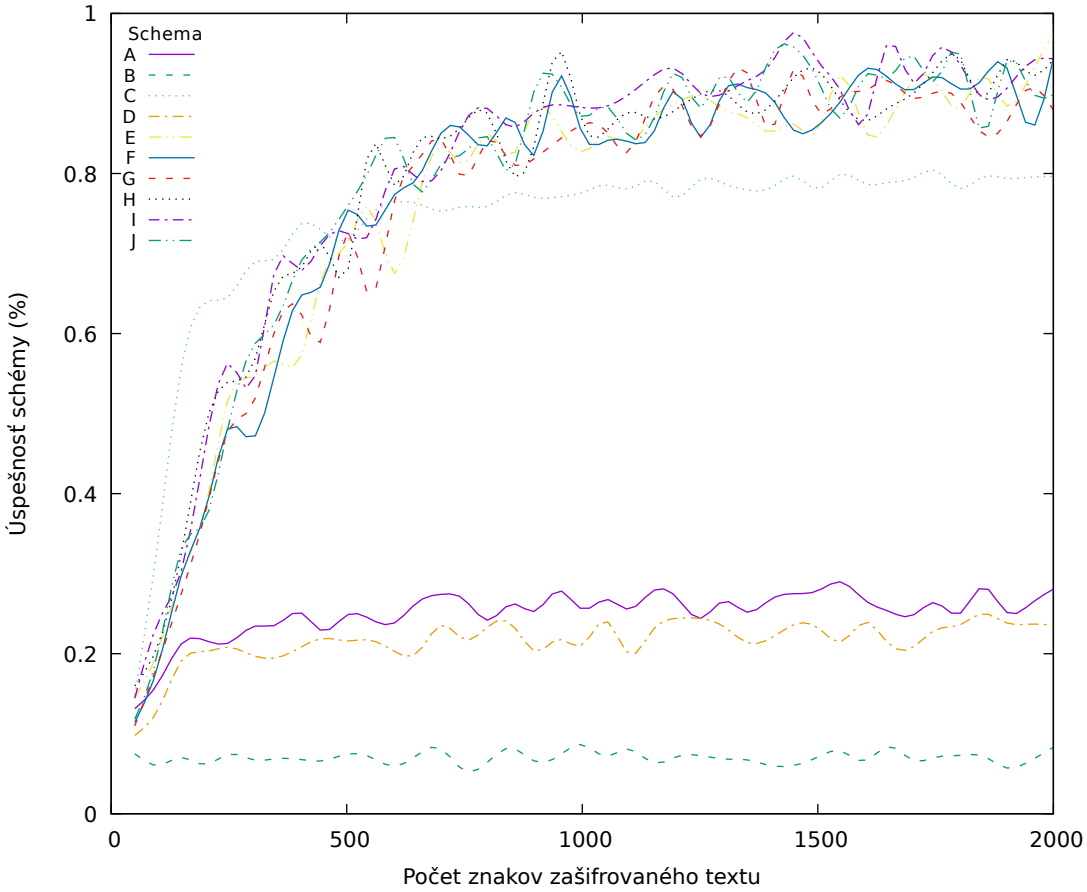
/attachmentA.tex

· this very file

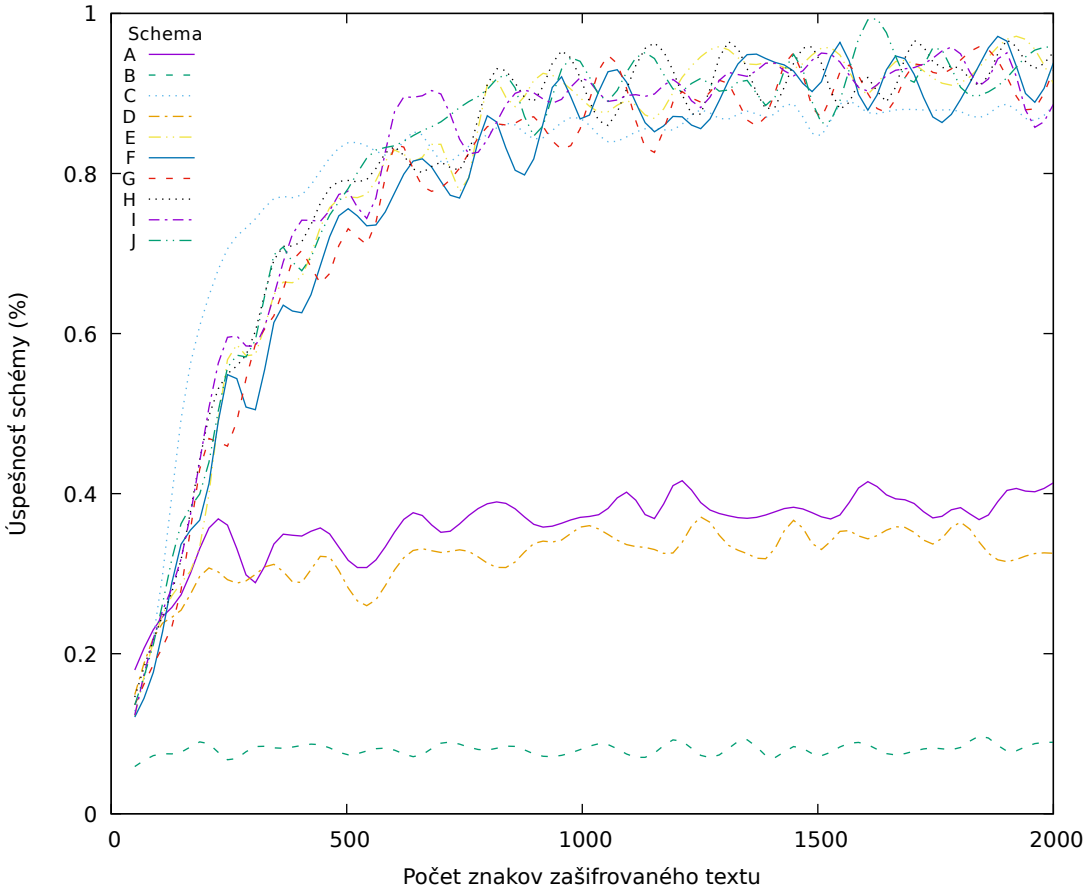
B Výsledky Genetikého algoritmu



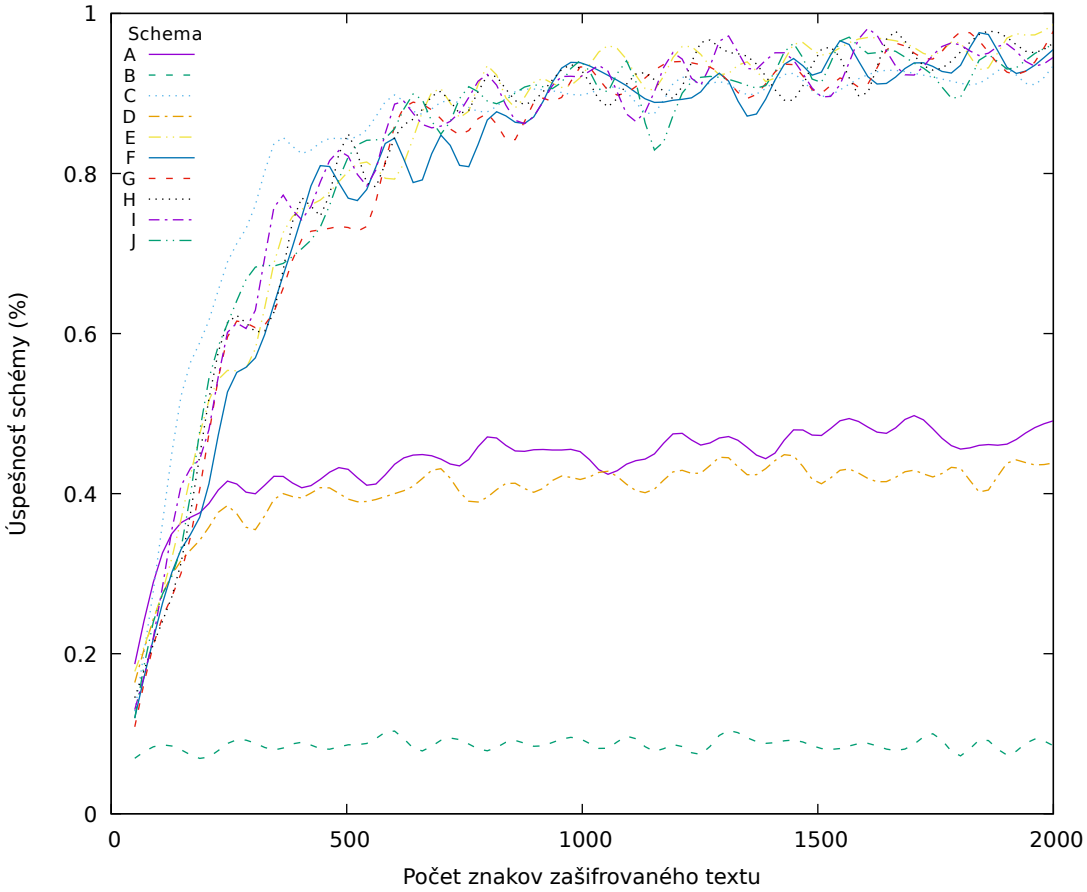
Obrázok B.1: Počet iterácii: 10000, počiatočná populácia: 10



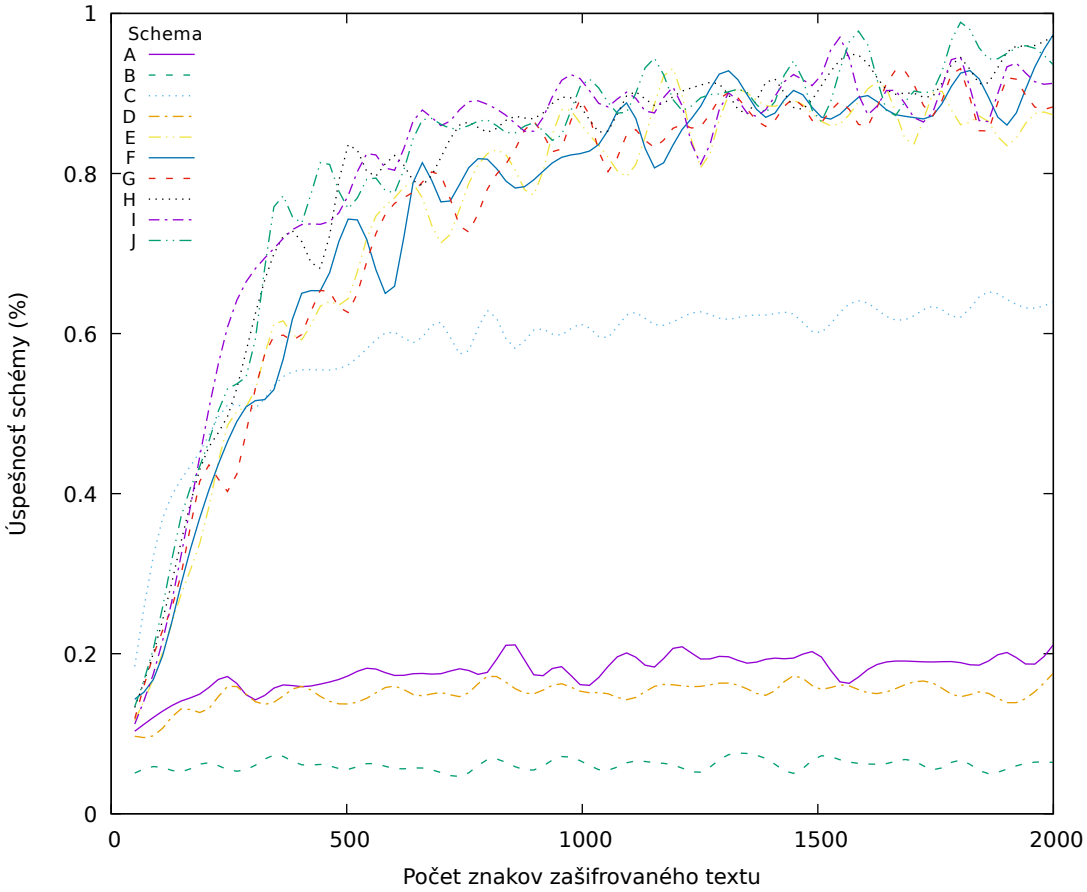
Obrázok B.2: Počet iterácii: 10000, počiatočná populácia: 20



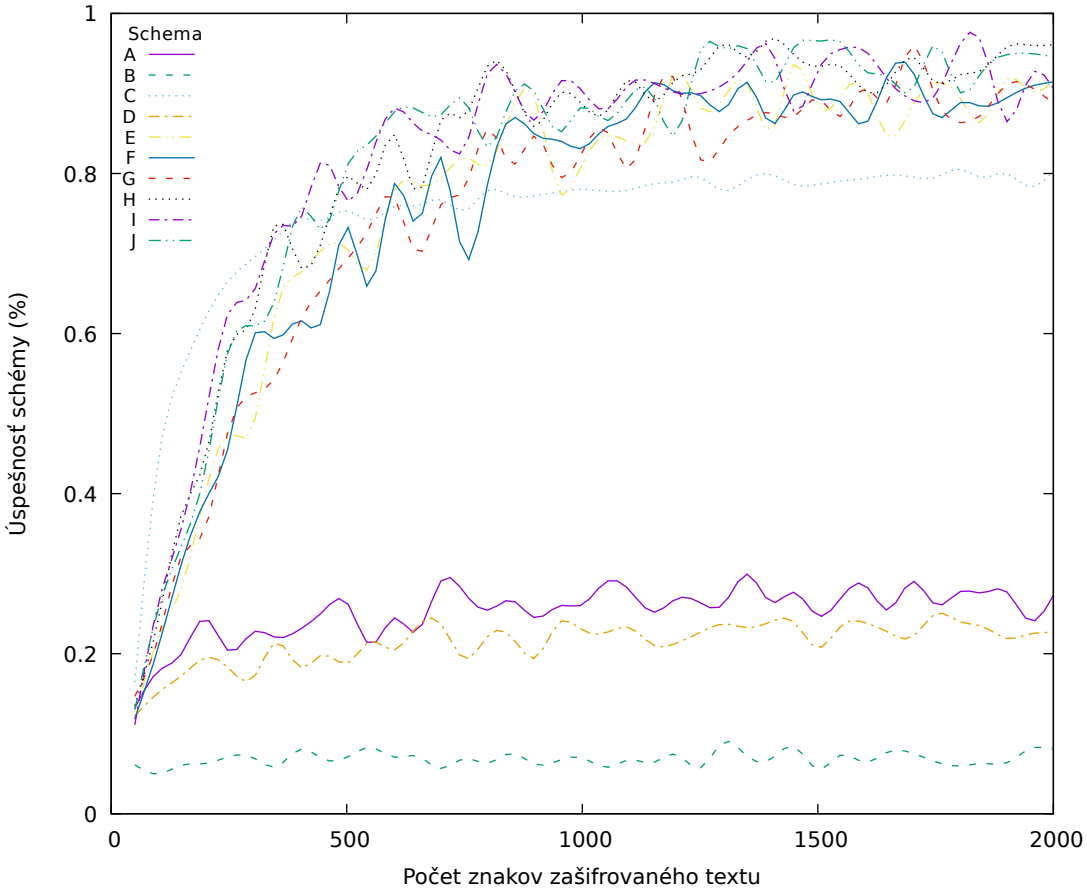
Obrázok B.3: Počet iterácii: 10000, počiatočná populácia: 50



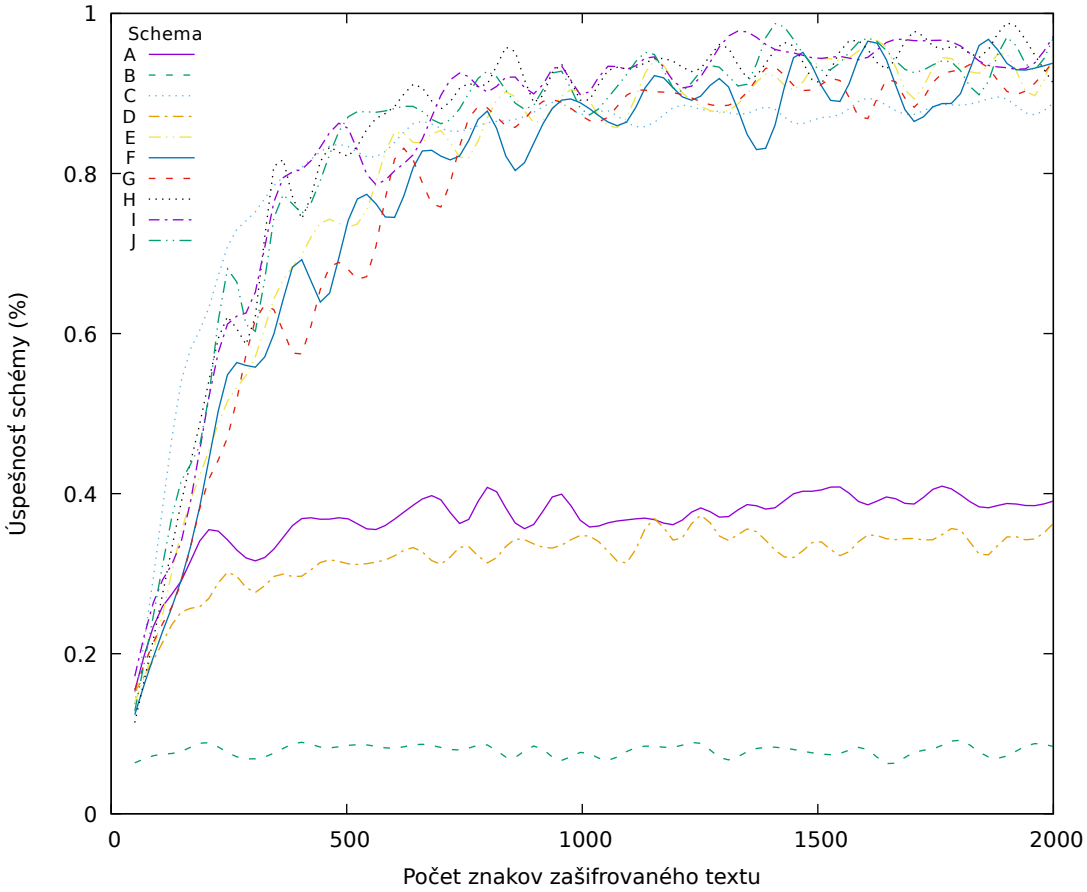
Obrázok B.4: Počet iterácii: 10000, počiatočná populácia: 100



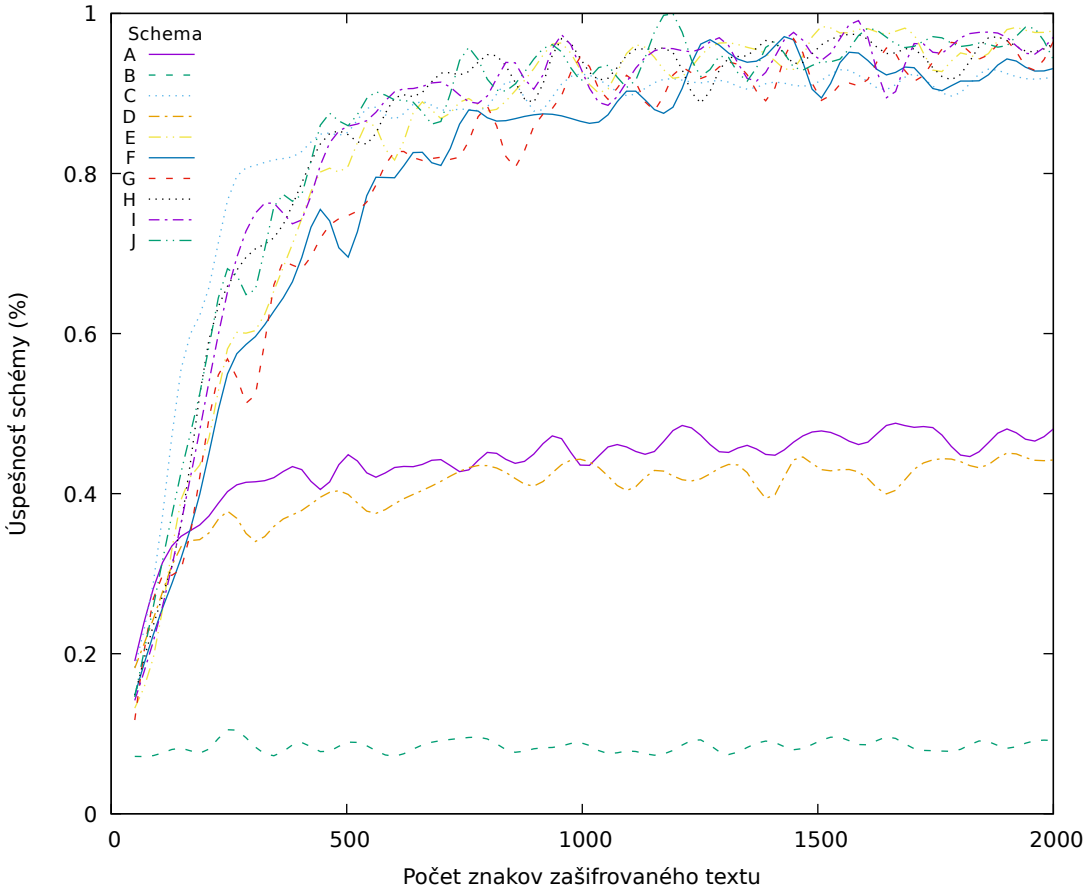
Obrázok B.5: Počet iterácii: 50000, počiatočná populácia: 10



Obrázok B.6: Počet iterácii: 50000, počiatočná populácia: 20



Obrázok B.7: Počet iterácii: 50000, počiatočná populácia: 50



Obrázok B.8: Počet iterácii: 50000, počiatočná populácia: 100