

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

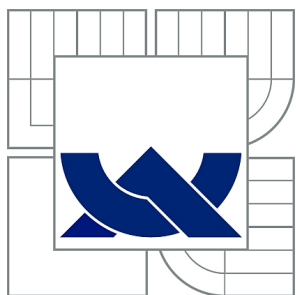
LOKALIZACE IP STANIC NA ZÁKLADĚ MODELU
PRAVDĚPODOBNOSTI MŮŽE ZPOŽDĚNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

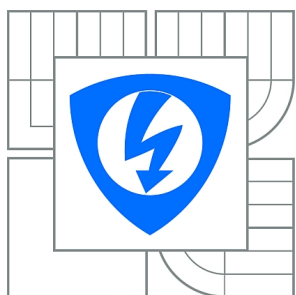
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETER TROPP

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLÓGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

LOKALIZACE IP STANIC NA ZÁKLADĚ MODELU PRAVDĚPODOBNOSTI MĚŘENÍ ZPOŽDĚNÍ

LOCALIZATION OF IP STATIONS BASED ON MODEL OF PROBABILITY DELAY
MEASUREMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETER TROPP

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ VERNER

BRNO 2012



VYSOKÉ U ENÍ
TECHNICKÉ V BRN

Fakulta elektrotechniky
a komunika ních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunika ní a informa ní technika

Student: Bc. Peter Tropp

ID: 106839

Ro ník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Lokalizace IP stanic na základ modelu pravd podobnosti m ení zpožd ní

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy lokalizace polohy stanic v síti Internet. Zame te se na odhad pozice stanic pomocí metody Geoweight. Vytvo te program pro simulaci innosti této metody a dále prove te porovnání metody Geoweight s ostatními metodami lokalizace.

DOPORU ENÁ LITERATURA:

- [1] Gueye, B., Uhlig, S., Ziviani, A., and Fdida, S. Networking 2006. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems. Springer Berlin / Heidelberg, 2006, ch. Leveraging Buffering Delay Estimation for Geolocation of Internet Hosts, pp. 319-330.
- [2] ARIF, M. J.; KARUNASEKERA, S. GeoWeight: Internet Host Geolocation Based on a Probability Model for Latency Measurements. ACSC [online]. 2010, 102, [cit. 2011-10-11]. Dostupný z WWW: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1862209&CFID=15843676&CFTOKEN=50950122>>. ISSN 978-1-920682-83-5.
- [3] PlanetLab Consortium. PlanetLab: An open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services. URL: <<http://www.planet-lab.org>> [cit. 10. 10. 2011].

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 24.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Verner

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

P edseda oborové rady

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá metódami lokalizácie staníc na Internete, presnejšie určením geografickej polohy neznámej stanice pripojenej do tejto siete, meraním oneskorenia RTT. Úvodná časť práce je venovaná popisu oneskorení, ktoré môžu v sieti nastať a ich nástrojom na meranie. Následne je časť práce venovaná rozdeleniu a popisu lokalizačných metód pre určenie geografickej polohy hľadanej stanice, ktoré využívajú na určenie polohy už existujúce údaje o hľadanej stanici, a to pasívne metódy alebo metódy využívajúce meranie oneskorenia, teda aktívne metódy.

Hlavná časť práce je zameraná na odhad geografickej polohy staníc metódou GeoWeight, ktorá je založená na meraní oneskorenia RTT, vychádzajúca z princípov metódy CBG, ktoré spresňuje zavedením teórie váh podľa pravdepodobnosti výskytu cieľovej stanice.

Posledná časť je venovaná návrhu aplikácie pre určenie geografickej polohy cieľovej stanice metódou GeoWeight. Navrhnutá aplikácia je následne otestovaná v experimentálnej sieti PlanetLab, pomocou ktorej prebehlo meranie oneskorenia. V úplnom závere je kapitola porovnávajúca namerané výsledky navrhnutou aplikáciou s ostatnými lokalizačnými metódami (CBG, Octant, SOI, GeolP) výskumu geolokalizácie.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

metóda GeoWeight, váhy, geolokalizácia, oneskorenie, referenčné body, PlanetLab

ABSTRACT

The master thesis is dealing with Internet host localization methods, more exactly with determining geographical position of the unknown Internet host connected to the network using RTT delay measuring. The first part is dealing with description of RTT delays that may occur in the network and tools for their measurement. The next is part of thesis is devoted to description of two kinds of localization methods. Ones that are using existing data to determine the position of Internet host also called passive methods, and others that are using RTT delay measurement, also called active methods.

The main part is focused on GeoWeight method which is based on geographical localization estimation of Internet host. It is based on RTT delay measurement using the principles of CBG method, enhanced by introduction of the theory of weights according to the probability of the target Internet host.

The last part is describing the application that was made to determine the geographic localization of the target Internet host using GeoWeight method. The application was afterwards tested by measuring RTT delay in PlanetLab experimental network. At the end the final measured results were compared with other localization methods (CBG, Octant, SOI, GeolP).

KEYWORDS

method GeoWeight, weights, geolocation, latency, landmarks, PlanetLab

TROPP, Peter *Lokalizace IP stanic na základě modelu pravděpodobnosti měření zpoždění* : diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2012. 71 s. Vedúci práce bol Ing. Lukáš Verner

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému „Lokalizace IP stanic na základě modelu pravděpodobnosti měření zpoždění “ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach súvisejúcich s právom autorským a o zmeně niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu práce Ing. Lukašovi Vernerovi za odbornú pomoc, trpezlivosť, konzultácie a za ďalšie cenné rady pri vypracovávaní mojej diplomovej práce. Ďalej patrí poďakovanie aj mojej rodine, ktorá ma podporovala počas celého štúdia.

Brno

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	12
1 Lokalizácia polohy staníc na Internete	14
2 Oneskorenie na Internete	15
2.1 Nástroje na meranie oneskorenia	16
2.1.1 Program <i>ping</i>	16
2.1.2 Program <i>traceroute</i> a <i>tracert</i>	17
2.2 Oneskorenie v koncových uzloch	17
2.3 Oneskorenie v medzilahlých uzloch	18
2.4 Oneskorenie na prenosových linkách	18
3 Pasívne metódy určovania polohy stanice	20
3.1 Lokalizácia na základe IP adresy	20
3.2 Lokalizácia na základe DNS záznamov	21
3.3 Lokalizácia pomocou WiFi	21
4 Aktívne metódy určovania polohy stanice	23
4.1 Metóda GeoPing	23
4.2 Metóda ShortestPing	23
4.3 Metóda Constraint-Based Geolocation (CBG)	24
4.3.1 Prevod oneskorenia na vzdialenosť	25
4.3.2 Nahodnotenie a podhodnotenie hraníc	27
4.4 Metóda Speed of Internet (SOI)	28
4.5 Metóda Octant	28
4.6 Metóda Geoweight	29
4.6.1 Výpočet váh oblastí	29
4.6.2 Určenie polohy hľadanej pozície	31
5 Experimentálna sieť PlanetLab	33
5.1 Úloha siete PlanetLab v tejto práci	33
5.2 Princíp siete PlanetLab	33
6 Odhad polohy staníc v reálnej sieti metódou GeoWeight	35
6.1 Návrh algoritmu na určenie geografickej polohy metódou GeoWeight	35
6.1.1 Pripojenie k referenčným bodom v sieti PlanetLab	39
6.1.2 Meranie oneskorenia na referenčných bodoch	40

6.1.3	Určenie prevodnej charakteristiky nameraného oneskorenia RTT na vzdialenosť	41
6.1.4	Výpočet váh z nameraných hodnôt oneskorení	41
6.1.5	Určenie priesečníkov oblastí	46
6.1.6	Výpočet súradnic hľadaného cieľa	47
6.2	Meranie navrhnutou aplikáciou v reálnej sieti	48
6.2.1	Vstupné hodnoty merania	49
6.2.2	Výstupné namerané hodnoty	51
6.3	Zhodnotenie a porovnanie výsledkov s ostatnými metódami lokalizácie	53
6.3.1	Distribučná funkcia priemernej chyby lokalizácie	54
6.3.2	Jadrový odhad hustoty priemernej chyby lokalizácie	55
6.3.3	Zhrnutie výsledkov všetkých testovaných metód	55
7	Záver	60
	Literatúra	62
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	65
	Zoznam príloh	66
A	Príloha vstupných hodnôt	67
A.1	Dataset referenčných bodov PlanetLabu	67
A.2	Dataset hľadaných cieľov	69
B	Obsah CD	71

ZOZNAM OBRÁZKOV

2.1	Miesta vzniku oneskorení.	15
3.1	Výpis programu nslookup pre IP adresu 147.229.2.90 (vutbr.cz).	21
3.2	Ukážka zobrazenia prístupových bodov pri lokalizácii pomocou WiFi, prevzaté z [15].	22
4.1	Ukážka geolokalizácie metódou ShortestPing	24
4.2	Určenie hranice vzdialeností metódou CBG, prekreslené z [1].	25
4.3	Závislosť vzdialenosti na oneskorení pre určenie <i>baseline</i> a <i>bestline</i> [9].	26
4.4	Typy výsledkov pri určovaní hraníc oblastí metódou CBG	27
4.5	Príklad geolokalizácie metódou Octant pomocou troch referenčných bodov, prekreslené z [1].	29
4.6	Príklad hľadania cieľovej stanice metódou GeoWeight, prekreslené z [1].	32
5.1	Celosvetové rozmiestnenie uzlov siete PlanetLab, prevzaté z [17].	34
5.2	Štruktúra jedného uzlu siete PlanetLab, prekreslené z [12].	34
6.1	Vývojový diagram prvého navrhnutého algoritmu pre výpočet para- metrov smernicovej rovnice priamky <i>bestline</i>	36
6.2	Vývojový diagram druhého navrhnutého algoritmu pre lokalizáciu staníc metódou GeoWeight.	38
6.3	Výsledok výpočtu <i>bestline</i> pre testovací referenčný bod	42
6.4	Meranie smernicovej rovnice priamky <i>bestline</i> v intervaloch jednej ho- diny pre referenčný bod „planetlab05.mpi-sws.mpg.de“	43
6.5	Nákres pre výpočet prieniku dvoch kružníc s dvoma priesečníkmi	46
6.6	Určenie výslednej polohy pre hľadanú stanicu s IP adresou 129.199.13.24	48
6.7	Mapa 40 vybraných referenčných bodov v Európe [22].	50
6.8	Mapa geografických polôh hľadaných cieľov s DNS LOC záznamom .	53
6.9	Graf distribučnej funkcie pre meranie metódou GeoWeight.	54
6.10	Jadrový odhad hustoty priemernej chyby odhadu geografickej polohy pre meranie metódou GeoWeight.	56
6.11	Distribučná funkcia pre merania aktívnymi metódami lokalizácie po- lohy stanice.	57
6.12	Jadrový odhad hustoty priemernej chyby odhadu geografickej polohy pre všetky testované metódy.	59

ZOZNAM TABULIEK

2.1	Výpis niektorých parametrov programu <i>ping</i> rozširujúcich nastavenia.	16
4.1	Rozdelenie nameraných oneskorení a vzdialeností s odpovedajúcim počtom meraní referenčných bodov pre dané hodnoty [1]	30
4.2	Hodnoty po normalizácii jednotlivých oblastí vzdialeností	31
4.3	Príklad vypočítaných váh pre závislosť vzdialenosti na oneskorení	31
4.4	Vzorové váhy pre závislosť vzdialenosti na oneskorení	32
6.1	Výsledky lokalizácie polohy cieľa s doménovým názvom „ihmc.ens.fr“	43
6.2	Tabuľka počtu referenčných bodov rozdelených podľa rozsahu nameraného oneskorenia a vzdialenosti.	45
6.3	Tabuľka normalizovaných hodnôt podľa rozsahu vzdialeností.	45
6.4	Tabuľka vypočítaných váh pre referenčné body pri lokalizácii cieľa „ihmc.ens.fr“.	45
6.5	Výsledky merania testovaných metód lokalizácie geografickej polohy cieľov	51
6.6	Zhrnutie výsledkov meraní testovaných metód zoradených podľa priemernej chyby odhadu geografickej polohy.	56

ÚVOD

Táto diplomová práca sa zaoberá problémom lokalizácie staníc v sieti Internet, inak povedané určením geografickej polohy neznámej cieľovej stanice pripojenej k tejto sieti (ďalej len geolokalizácia). Práca je taktiež súčasťou výskumného projektu, ktorý vznikol na Ústave telekomunikácií Vysokého učení technického v Brne, preto sú v nej spomenuté aj geolokalizačné metódy, na ktorých realizácií pracovali členovia výskumnej skupiny Bc. Filip Dvořák, Bc. Petr Harth, Bc. Peter Tropp, Jakub Chmelař a Tomáš Sousedík.

Najčastejšie sa využívajú metódy vychádzajúce zo znalosti IP adresy hľadanej stanice (ďalej len cieľ), v tomto prípade sa jedná o geolokalizačné techniky založené na manuálne udržiavaných databázach IP adries, kde je k týmto adresám pridelená ich geografická poloha a iné podrobnejšie informácie. Ďalšie možnosti určenia geografickej polohy umožňujú techniky založené na meraní oneskorenia v sieti, ktoré sú rôznymi spôsobmi automatizované. Táto práca bude venovaná práve týmto metódam a podrobnejšie metóde GeoWeight.

V prvej kapitole tejto práce je v krátkosti vysvetlený termín geolokalizácie s následným vysvetlením problémov, dôvodov a významu potreby lokalizovať geografickú polohu neznámej stanice v sieti Internet.

Druhá časť práce popisuje možnosti merania a spôsoby vzniku oneskorenia, ktoré môžu nastať na koncových a medzilahľých uzloch, a na prenosových linkách pri prenose dát v sieti. Pre jednotlivé prípady sú uvedené miesta vzniku a typické hodnoty oneskorenia, ktoré môžu nadobúdať. Taktiež sú v tejto kapitole spomenuté najznámejšie nástroje merania tohto oneskorenia, ktoré budú následne použité v praktickej časti práce.

Tretia kapitola je venovaná základnému deleniu metód, ktoré nepotrebujú ku geolokalizácií meranie a vychádzajú čisto len z dostupných informácií, napr. IP adries, ktoré porovnávajú s už spomenutými databázami, inak nazvané aj pasívne metódy geolokalizácie. Týmto metódam sa venuje člen výskumnej skupiny Tomáš Sousedík, ktorý vytvoril algoritmus pre geolokalizáciu staníc metódou GeoIP.

Štvrtá kapitola tejto práce sa zaoberá geolokalizačnými metódami využívajúcimi meranie oneskorenia v sieti Internet. V tejto práci nie sú popísané všetky existujúce metódy geolokalizácie vychádzajúce z meraní oneskorenia. Zväčša sú spomenuté tie, na ktorých realizácií sa podieľali členovia výskumnej skupiny a teda výsledky ich merania bolo možné v praktickej časti práce zhodnotiť spolu s metódou GeoWeight, ktorá tvorí hlavnú časť tejto práce, preto je vysvetlená podrobnejšie. Tieto lokalizačné metódy boli v rámci už spomenutej výskumnej skupiny rozdelené následovne: Bc. Filip Dvořák metóda Octant, Bc. Petr Harth metóda CBG (Constraint-Based Geolocalization), Bc. Peter Tropp metóda GeoWeight a Jakub Chmelař metóda SOI.

Pre aktívne metódy je dôležité meranie oneskorenia v sieti Internet. Z tohto dôvodu je využitá experimentálna sieť PlanetLab, ktorej význam a princíp je popísaný v piatej kapitole.

Šiesta kapitola je následne venovaná praktickej realizácii a návrhu algoritmu pre lokalizáciu geografickej polohy cieľa vychádzajúceho z metódy GeoWeight. Návrh algoritmu je zložený z dvoch hlavných častí, ktorých princíp fungovania je v tejto časti práce popísaný a znázornený vyvojovým diagramom. Pre navrhnutý algoritmus sú dôležité vstupné hodnoty, ktoré následne využíva na lokalizovanie cieľa. Vstupnými hodnotami je sada (ďalej len dataset) uzlov siete PlanetLab, ktoré tvoria referenčné body so známou polohou umožňujúce meranie oneskorenia, a dataset hľadaných staníc, ktorých polohu je potrebné pre kontrolné účely vedieť vopred. Popis a spôsob vytvorenia týchto datasetov je popísaný taktiež v šiestej kapitole tejto práce. Na realizácii datasetov sa podieľali členovia výskumnej skupiny v zložení Bc. Filip Dvořák, Bc. Petr Harth, Bc. Peter Tropp a Jakub Chmelař. Testovanie navrhnutého algoritmu spolu s ostatnými metódami prebehlo počas jedného týždňa, kde z nameovaných hodnôt boli pre lepšiu názornosť dosiahnutých výsledkov jednotlivých metód vytvorené grafy distribučnej funkcie a jadrového odhadu hustoty priemernej chyby lokalizácie. Zhodnotenie týchto výsledkov spolu s grafmi sa nachádza v závere šiestej kapitoly.

1 LOKALIZÁCIA POLOHY STANÍC NA INTERNETE

V dnešnej technickej dobe, kde Internet je stále rozšírenejší a častejšie využívaný, čomu napomáha aj fakt dostupnosti pripojenia takmer vo všetkých lokalitách sveta. V súvislosti s tým je čoraz žiadanejšia služba lokalizácie klienta Internetovými aplikáciami. Vystihuje to činnosť, kedy sa aplikácie snažia určiť geografickú polohu objektu na základe znalosti a následného vyhodnotenia jeho určitých vlastností alebo známych faktov. Medzi tieto údaje môžu patriť napríklad IP adresa serveru, počítača, namerané oneskorenie pri prenose alebo informácie z prístupového bodu WiFi siete, informácie z GPS modulu, atď [2].

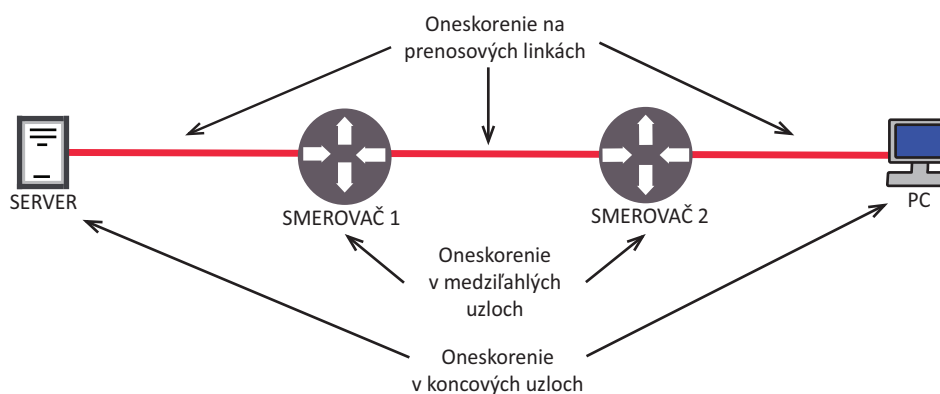
Geolokalizačné metódy a aplikácie sa v poslednej dobe silne rozvíjajú a sú stredom záujmu nielen vo vedeckých sférach, ale i verejných. Vzhľadom k čomu sa dajú nájsť odvetvia, kde je možné tieto geolokalizačné aplikácie využiť, a to napríklad ciele online reklamy, aktuálnosť informácií na základe aktuálnej polohy alebo ochrana proti podvodom.

Pri zväčšujúcom počte užívateľov sa stáva Internetová sieť ideálnou reklamnou plochou. Možnosť zacieliť reklamu len na určitú cieľovú skupinu alebo geografickú oblasť v blízkosti danej firmy, kde sa nachádzajú práve potenciálni zákazníci, je výhodnejšia a žiadaná. Samotní užívatelia Internetu si taktiež prajú mať aktuálne informácie z ich okolia, napríklad správy, počasie alebo rôzne kultúrne podujatia. Ďalším využitím môže byť vyhľadávanie informácií na Internete, kedy užívateľ dostane odpoveď v jazyku danej krajiny alebo pri vyhľadávaní cestovných spojení, kedy získa ponuku priamo pre dané mesto, v ktorom sa nachádza. Uplatnenie geolokalizačných metód môže byť aj z hľadiska bezpečnosti, kde je možnosť odhaliť podvody s kreditnými kartami a platbami na Internete. Príkladom môže byť, že zákazník si určí oblasť bežného používania karty, tým sa ľahko zabráni zneužitiu platieb mimo túto stanovenú oblasť.

Metód na určenie geografickej polohy cieľa existuje mnoho, je však nutné, aby pri takýchto typoch služieb boli ciele automaticky. Metódy je preto možné rozdeliť spôsobom akým zisťujú a vyhodnocujú polohu na dve základné skupiny, a to pasívne a aktívne.

2 ONESKORENIE NA INTERNETE

Najčastejšie sa oneskorenie prenosu dát meria cez sieťové uzly od zdroja k cieľu. Namerané oneskorenie môže byť však ovplyvnené viacerými faktormi, napr. prenosovou rýchlosťou prenosového média, aktuálnou záťažou siete a medzifahlými uzlov (smerovače, prepínače) alebo geografickou vzdialenosťou zdroja a cieľa, viď obr. 2.1.



Obr. 2.1: Miesta vzniku oneskorení.

Oneskorenie tvorí čas potrebný pre zdolanie jedného paketu zo zdroja k cieľu. Konečná doba, ktorú strávi paket na prenosovej ceste medzi týmito koncovými uzlami sa skladá z viacerých častí, ktoré je možné rozdeliť na dve časti, deterministické a stochastické oneskorenie. Deterministické oneskorenie je nemenná časť oneskorenia a tvorí minimálnu hodnotu, naopak stochastické oneskorenie je časť, ktorá býva premenlivá v závislosti na aktuálnom stave siete [2].

Oneskorenie sa meria v jednom alebo v oboch smeroch, každá z nich má však svoje výhody aj nevýhody. Takzvané obojsmerné oneskorenie RTT (Round-Trip Time) je hodnota oneskorenia meraná jednou stanicou. Meranie vychádza z toho, že cesta signálu k cieľu môže byť odlišná od spiatocnej cesty, a preto môže nadobúdať odlišnú dobu oneskorenia. Tento spôsob merania v konečnom dôsledku zahrňuje čas cesty požiadavky do cieľa, spracovanie požiadavky v cieľi a následný čas oneskorenia vzniknutý odpoveďou k zdroju. Získame tak približne dvojnásobnú hodnotu oneskorenia ako pri jednosmernom meraní. Presnú hodnotu pre jeden smer, ale nie je možné získať, pretože oneskorenie môže byť asymetrické.

Oproti tomu jednocestné oneskorenie (One-way delay) je merané zdrojovou aj cieľovou stanicou, tým sa získa výsledok pre žiadaný smer. Meranie tohto oneskorenia ma oproti RTT nevýhodu v nutnosti merať oneskorenie z dvoch staníc, z ktorých jedna je spravidla vzdialená. Ďalšou nevýhodou je presnosť časovej synchronizácie týchto staníc, ktorá je dôležitou pre presné meranie v rozsahu desiatok milisekund [3].

2.1 Nástroje na meranie oneskorenia

Oneskorenie môžeme merať pomocou rôznych softwarových aplikácií, ktoré sa líšia metódami merania, prezentáciou nameraných hodnôt a množstvom iných nastavení, medzi najznámejšie patria nástroje *Ping* a *Traceroute*.

2.1.1 Program *ping*

Základným nástrojom na meranie RTT oneskorenia je program *ping*, ktorý je súčasťou všetkých operačných systémov.

Program *ping* sa spúšťa príkazom `ping` z príkazového riadku alebo konzole, za ním nasleduje IP alebo URL¹ adresa stanice, ku ktorej chceme oneskorenie odmerať. Za týmto hlavným príkazom môžu nasledovať doplnujúce parametre spresňujúce spôsob merania oneskorenia, viď tab.2.1. Tento nástroj bude využitý aj pri návrhu praktického riešenia tejto práce, preto je v tejto časti popísaný proces merania oneskorenia podrobnejšie.

Tab. 2.1: Výpis niektorých parametrov programu *ping* rozširujúcich nastavenia.

Parameter v operačnom systéme		Význam parametrov
Linux	Windows	
-bez parametru	-t	Posielanie paketov s požiadavkami až do zrušenia užívateľom (klávesová skratka CTRL + c)
-c [počet]	-n [počet]	Počet paketov, ktoré budú zaslané programom ping so žiadosťou o odpoveď cieľovej stanice.
-s [veľkosť v bajtoch]	-l [veľkosť v bajtoch]	Veľkosť zasielaných paketov.
-i [čas v ms]		Interval v akom sa budú jednotlivé pakety zasielať.
-t [počet]	-i [počet]	Doba životnosti paketu TTL (maximálny počet skokov k cieľu).

Program *ping* používa k svojej činnosti protokol ICMP², pomocou ktorého posiela požiadavky na vzdialenú stanicu. Protokol ICMP je protokol riadiacích správ, slúžiaci k informovaniu o chybových stavoch pri prenose paketov alebo prenosu riadiacích informácií medzi uzlami siete.

¹Uniform Resource Locator - zjednodušene adresa lokácie na sieti Internet

²Internet Control Message Protokol

Proces programu *ping* vychádza z dvoch typov správ protokolu ICMP zo správy *Echo Request* a správy *Echo Reply*. Správu *Echo Request* generuje zdroj odosielajúci požiadavku so žiadosťou o odpoveď cieľovej stanice. Následne sa správa zapuzdrí do datovej časti IP paketu a odošle k cieľovej stanici. Zdroj si pre výpočet oneskorenia uloží čas odoslania správy. Cestou je správa v každom uzle siete kontrolovaná, či cieľová adresa odpovedá jeho sieťovej adrese, pokiaľ nie, je správa preposielaná podľa smerovacej tabuľky daného uzlu. Tento proces prebieha až do doručenia správy cieľovej stanici. Cieľová stanica paket prijíme, rozbalí ICMP správu a uloží si potrebné informácie. Následne odošle ICMP správu s odpoveďou typu *Echo Reply* na zdrojovú adresu prijatej správy. Zdroj túto správu prijíme a vypočíta jej cestou strávený čas, čím získa oneskorenie RTT.

Pokiaľ sa stane, že proces merania nástrojom *ping* nie je úspešný, príčin môže byť viacero. Dôvodom môže byť napríklad zlá IP adresa, nedostupnosť cieľovej stanice alebo taktiež blokovanie ICMP správ.

2.1.2 Program *traceroute* a *tracert*

Ďalším nástrojom je program *traceroute* v operačnom systéme Linux alebo *tracert* v operačnom systéme Windows slúžiaci k výpisu všetkých uzlov siete na trase od zdroja k cieľu. Meranie pomocou tohto programu spočíva v opakovaní požiadavky *ping* s postupným zvyšovaním hodnoty TTL³ po každom úspešnom odoslaní paketu. Prechádzaním paketu jednotlivými uzlami siete (smerovačmi) je hodnota TTL znížená vždy o jedna. Pokiaľ hodnota TTL dosiahne nulu a paket nie je v cieľi, je tento paket zahodený a zdrojovej stanici je odoslaná chybová ICMP správa. Následne na to zdroj vytvorí rovnakú správu, ale so zmenenou hodnotou TTL, väčšou o jedna, tým sa paket dostane k nasledujúcemu uzlu.

Výsledkom merania týmto programom je výpis, z ktorého je možné získať predstavu o počte smerovačov na trase k cieľu, tzv. skokov a veľkosť oneskorenia RTT k nim. Nevýhodou tohto nástroja je, že niektoré uzly neposielať naspäť chybové správy.

2.2 Oneskorenie v koncových uzloch

Koncové uzly tvoria zdrojové alebo cieľové zariadenia pri prenose informácie, napríklad počítače a servery. Oneskorenie, ktoré vzniká na týchto zariadeniach je dané časom, ktorý je potrebný pre spracovanie paketu, prípravou k jeho vyslaniu. Naopak cieľové zariadenie musí tento paket prijať a spracovať. Závisí preto aj na výkone

³Time To Live - doba života paketu, alebo aj počet skokov, než dôjde k zahodeniu paketu

prvku, ktorý danú činnosť vykonáva. Keďže čas pre spracovanie paketu nie je vždy rovnaký, považuje sa oneskorenie za stochastické [2].

2.3 Oneskorenie v medzilahľých uzloch

Medzilahlé uzly môžu tvoriť všetky aktívne prvky siete medzi koncovými uzlami. Tieto prvky vykonávajú mnoho funkcií, ale medzi najdôležitejšie patrí smerovanie a prepínanie dátových jednotiek na najvhodnejšiu cestu k cieľu. Tieto operácie opäť zaberajú určitý čas, preto tým vzniká ďalšia časť oneskorenia.

Oneskorenie na týchto aktívnych prvkov je možné rozdeliť na oneskorenie vo vstupnej fronte, oneskorenie pri presune dátovej jednotky zo vstupu na výstup a oneskorenie vo výstupnej fronte [2].

Vo vstupnej fronte tvorí oneskorenie čas, ktorý dátové jednotky strávia vo vstupnej vyrovnávacej pamäti uzla, pokiaľ nie sú načítané všetky bity dátového prenosu. Vo výstupnej fronte tvorí oneskorenie čas, ktorý dátové jednotky strávia vo výstupnej vyrovnávacej pamäti aktívneho prvku ešte pred ich odoslaním. Ďalším oneskorením vznikajúcim na medzilahľých uzloch je doba potrebná k spracovaniu dátovej jednotky. Je to čas, ktorý prvok potrebuje k presunu paketu zo vstupnej fronty na výstup. Hodnota tohto oneskorenia je závislá od daného aktívneho prvku a operácií, ktoré vykonáva, napríklad to môže byť smerovanie, filtrovanie portov alebo preklad adres. Dané oneskorenie aktívnych prvkov sa podľa článku [2] nachádza v tomto rozmedzí:

- prepínač (switch) – 1 až 10 μ s,
- smerovač (router) – 10 až 100 μ s,
- opakovač a aktívny hub – zanedbateľné,

avšak pri zvýšení záťaže aktívneho prvku môžu tieto hodnoty nadobúdať niekoľkonásobne vyššie oneskorenia ako pri nezaťaženom prvku. Z toho vyplýva, že oneskorenie na medzilahľých uzloch tvorí stochastické oneskorenie.

2.4 Oneskorenie na prenosových linkách

Prenosovú linku tvorí médium, po ktorom sa šíri signál. Oneskorenie na prenosovej linke tvorí čas, ktorý určuje ako dlho trvá prenos signálu z jedného konca prenosového média na druhý, resp. je to doba, počas ktorej sa elektromagnetická vlna šíri fyzickým kanálom prenosovej trasy. Dané oneskorenie preto závisí na dĺžke fyzickej trasy a použitom médiu, najčastejšie sa používa metalický a optický kábel. Skutočná dĺžka fyzickej trasy je však výrazne vyššia ako priama vzdialenosť medzi zdrojom a cieľom signálu.

Metalický kábel je najčastejšie využívaný v LAN a v prístupových sieťach. Pôvodne sa využívali koaxiálne káble, dnes sú však nahradené UTP a STP káblami, tým je dosiahnuteľná prenosová rýchlosť 100 Mbit/s až rádovo Gbit/s pri použití všetkých štyroch párov. V týchto kábloch sa oneskorenie pohybuje okolo $6,5 \mu\text{s}/\text{km}$.

Optický kábel sa používa hlavne v transportných sieťach, ktoré prepájajú miesta, kde je potrebná veľká prenosová rýchlosť na veľké vzdialenosti. Oneskorenie týchto káblov sa pohybuje okolo $5 \mu\text{s}/\text{km}$.

Hodnota tohto oneskorenia tvorí spodnú hranicu z celkového oneskorenia, preto je možné považovať oneskorenie za deterministické [2].

3 PASÍVNE METÓDY URČOVANIA POLOHY STANICE

Princíp týchto metód je založený na získavaní geolokalizačných informácií na základe už existujúcich a dostupných informáciách o sieťovom zariadení. Tieto informácie sa získavajú zo záznamov z verejných alebo súkromných databáz. Ďalej podľa akého parametru sa záznamy hľadajú možno rozdeliť pasívne metódy lokalizácie na lokalizáciu vychádzajúcu z IP adresy, DNS záznamov alebo sily WiFi signálu.

3.1 Lokalizácia na základe IP adresy

Pri tomto type lokalizácie je údajom, z ktorého sa vychádza IP adresa cieľovej stanice, prípadne brány, cez ktorú sa dané sieťové zariadenie pripojuje na Internet. Lokalizácia pomocou IP adresy nie je tak jednoduché, pretože adresa samotná v sebe neunesie žiadne informácie o geografickej polohe vzťahujúce sa k danej IP adrese. Informácie o geografickej pozícii sa získavajú porovnaním hľadanej IP adresy s databázami organizácií pre pridelenie adries.

Primárnym zdrojom je organizácia IANA (Internet Assigned Numbers Authority), ktorá dohliada celosvetovo na pridelenie IP adries, ďalej sú rozdelené na regionálne Internetové registre v jednotlivých oblastiach, a to:

- Americký register pre Internet Numbers (ARIN),
- Európske sieťové koordinačné centrum (RIPE NCC),
- Ázijsko-Pacifické sieťové informačné centrum (APNIC),
- Latinsko-Americké a Karibské Internetové registre adries (LACNIC),
- Africké sieťové informačné centrum (AfriNIC).

V týchto databázach sú uložené údaje o organizáciách a užívateľoch, IP adresy a ich kontaktné údaje, pričom za ich správnosť zodpovedá správca organizácie, ktorej boli dané IP adresy pridelené [5, 6].

Existuje mnoho ďalších bezplatných aj platených geolokalizačných databáz, ktoré určujú na základe IP adresy štáty alebo i mestá v nich, vrátane PSČ. Avšak každá z nich má rôzne požiadavky na presnosť podľa krajiny, ktorej sa týkajú. Medzi dve najznámejšie verejné databázy patria Whois a GeoIP.

GeoIP je produkt firmy MaxMind, pomocou ktorého databázy je možné podľa IP adresy zistiť zemepisnú šírku a dĺžku, rýchlosť pripojenia alebo poskytovateľa Internetu hľadanej stanice. V databáze sa nachádzajú informácie z webových stránok, ktoré žiadajú ich užívateľa o uvedenie svojej polohy, pomocou čoho sa získa umiestnenie danej IP adresy. Pre použitie tejto databázy je nutné si ju najprv stiahnuť, čo

ale zrýchli odozvu požiadavky na zistenie polohy hľadanej IP adresy, keďže lokalizácia prebieha lokálne. Výhodou tejto databázy je aj to, že není obmedzená počtom požiadaviek ako to býva u iných databáz. Nevýhodou je ale nutnosť pravidelnej aktualizácie databázy.

3.2 Lokalizácia na základe DNS záznamov

Tento typ lokalizácie polohy stanice využíva systém DNS, slúžiaci k prekladu IP adres na doménové mená, ktoré sú pre človeka ľahšie zapamätateľné a naopak, tento takzvaný reverzný preklad sa používa pri odhade polohy hľadanej stanice. Pre reverzný preklad sa používa program nslookup [17].

Ako vidno na obrázku 3.1 program nslookup posielal požiadavku na IP adresu (nslookup 147.229.2.90) implicitne na Name Server nastavený v systéme ako resolver, v tomto prípade je to verejný DNS server od Google. Odpoveď z name servera nám ukazuje, že k zadanej IP adrese, na ktorú sa pýtame, odpovedá doména piranha.ro.vutbr.cz. Z tohto názvu môžeme zistiť, že sa server nachádza pod doménou vutbr.cz, ktorá sa nachádza v sieti VUT v Brne.

Nevýhodou takejto lokalizácie je, že reverzné záznamy nie sú povinné, a preto mnoho IP adres týmito záznamami vôbec nedisponuje. Taktiež nie je možné z doménového názvu presne určiť polohu hľadanej stanice.

Výpis z príkazového riadku programu nslookup v operačnom systéme Ubuntu s dotazom na IP adresu 147.229.2.90:

```
nslookup 147.229.2.90
Server: 8.8.8.8
Address: 8.8.8.8#53
Non-authoritative answer:
90.2.229.147.in-addr.arpa name = piranha.ro.vutbr.cz.
```

Obr. 3.1: Výpis programu nslookup pre IP adresu 147.229.2.90 (vutbr.cz).

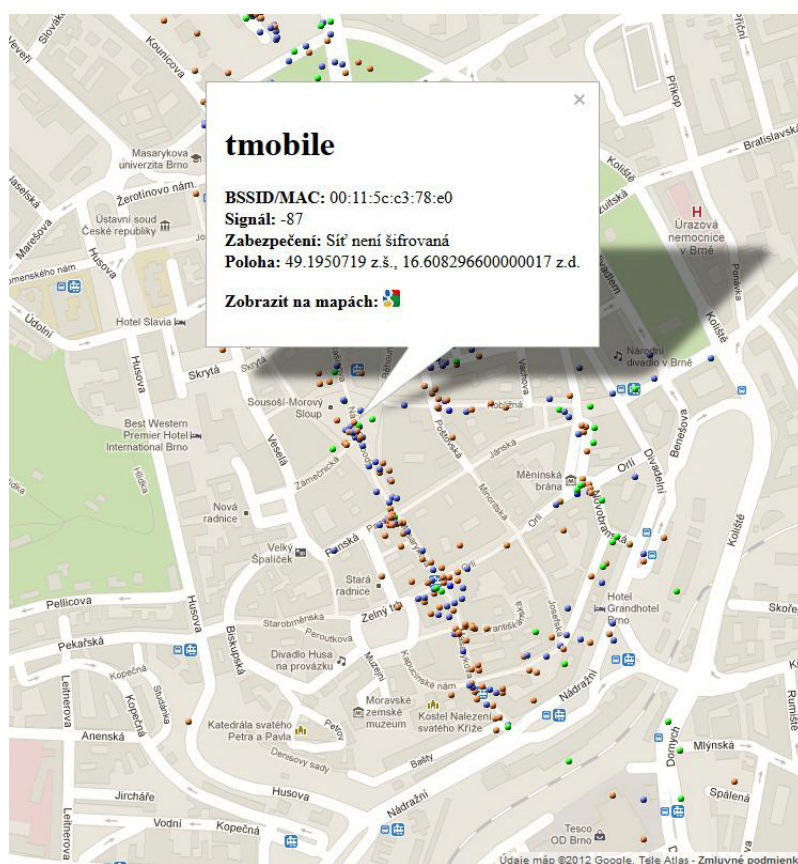
3.3 Lokalizácia pomocou WiFi

Lokalizácia touto metódou je možná iba v prípade, ak sa cieľová stanica do siete pripája pomocou bezdrôtového pripojenia WiFi. Každý prístupový bod má svoj unikátny BSSID, ktorého pomocou je možné danú sieť identifikovať. Poloha cieľa sa tak zisťuje na základe polohy okolitých prístupových bodov a sily signálu.

K lokalizácii postačuje Internetový prehliadač, vybavený podporou pre geolokalizáciu, ktorý odošle dotaz s MAC adresami, SSID identifikátormi a silami signálov všetkých okolitých WiFi sietí systému Google. Tieto informácie sa porovnávajú s databázou už známych WiFi sietí. Podľa toho určí Google prienikom viditeľných sietí najpravdepodobnejšiu polohu stanice a pokiaľ sa v dotaze objaví nová neznáma sieť, systém ju pridá do databázy i s pravdepodobnou polohou, a pri ďalších dotazoch na danú neznámu sieť sa jej zameranie spresňuje [15].

V požiadavke smerom na Google sa posiela zoznam všetkých WiFi sietí v okolí WiFi karty, bez ohľadu na možnosť pripojiť sa k nájdenej sieti. U každej siete sa tak odošle jej MAC adresa, SSID a sila signálu, prenos týchto informácií je šifrovaná. Ukážku takýchto lokalizovaných bodov je možné vidieť na obrázku 3.2, kde je zobrazená mapa centra mesta Brno.

V ukážke mapy sú vyznačené zelené body, ktoré definujú voľne dostupnú sieť. Ostatné body sú šifrované pomocou WEP alebo WPA, od týchto bodov je potom následne možné určiť kde sa hľadaná stanica nachádza.



Obr. 3.2: Ukážka zobrazenia prístupových bodov pri lokalizácii pomocou WiFi, prevzaté z [15].

4 AKTÍVNE METÓDY URČOVANIA POLOHY STANICE

Metódy vychádzajúce z odhadu polohy hľadanej stanice získané meraním oneskorenia dátového prenosu po Internetovej sieti. Všetky metódy, bližšie popísané v nasledujúcej časti práce, používajú na stanovenie polohy stanice meranie oneskorenia alebo topológiu siete. Pri tomto meraní využívajú dataset tzv. referenčných bodov (RB), ktorých poloha je vopred známa a od nich sa následne určuje oneskorenie smerom k hľadanej stanici. Presnosť a náročnosť uvedených metód sa však od seba líšia, s tým je tak spojené ich uvedenie do praxe.

Tieto metódy sa môžu využiť k plne automatizovanému systému hľadania pozície neznámej stanice. Jedinou nutnosťou je priradenie presných geografických súradníc známym referenčným staniciam a ich IP adres.

4.1 Metóda GeoPing

GeoPing určuje polohu tým, že využíva meranie oneskorenia a geografickú vzdialenosť. Vychádza preto zo znalosti oneskorenia medzi jednotlivými sondami a referenčnými bodmi, ktorých geografická poloha je známa.

Metóda GeoPing podľa jej autorov v práci [16] odhaduje pozíciu hľadanej stanice pomocou datasetu, ktorý tvorí niekoľko sond, čiže staníc, od ktorých sa vykonáva meranie oneskorenia, a veľké množstvo referenčných bodov. Výsledná pozícia cieľovej stanice je však určená podľa geografickej polohy najbližšieho referenčného bodu, ktorý sa nachádza v danom datasete. Preto je presnosť odhadu metódy GeoPing obmedzená na vzdialenosť k najbližšiemu známemu referenčnému bodu.

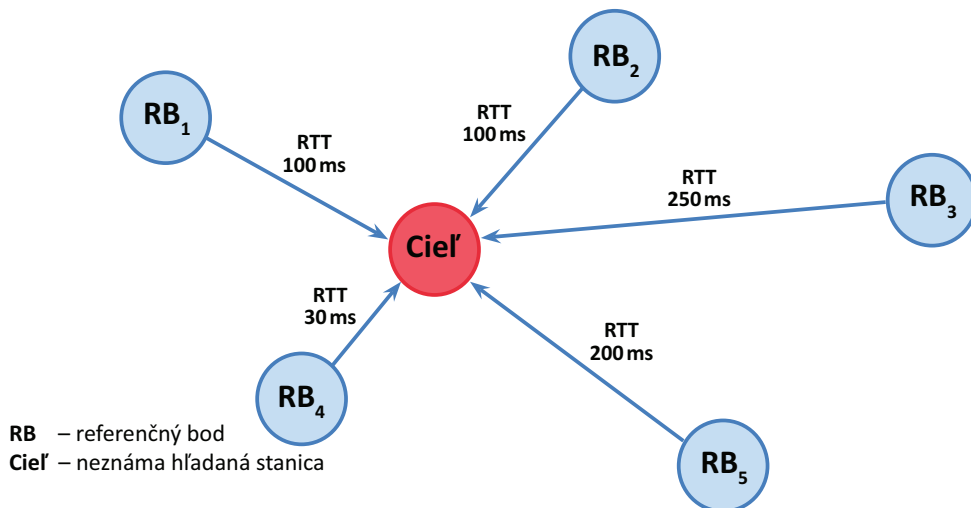
Takýto odhad polohy je najväčšou nevýhodou tejto metódy, pretože referenčný bod určený ako najviac zhodný s polohou cieľovej stanice sa môže v skutočnosti nachádzať oveľa ďalej ako skutočná poloha hľadaného cieľa. Nepresnosť odhadu sa môže minimalizovať iba použitím ešte väčšieho počtu vhodne rozmiestnených referenčných bodov a sond.

4.2 Metóda ShortestPing

ShortestPing [11] je jedna z najjednoduchších metód založená na meraní oneskorenia. Geolokalizácia pomocou tejto metódy spočíva v meraní oneskorenia z jednotlivých referenčných bodov smerom k cieľovej stanici. Následne sa meranie vyhodnotí priradením geografickej polohy referenčného bodu, dosahujúci najmenšiu hodnotu RTT za cieľovú polohu, obdobne ako pri metóde GeoPing, viď obr. 4.1.

Táto metóda ma oproti GeoPing jednu nevýhodu, pretože pokiaľ nastane prípad kedy viacero referenčných bodov dosiahne rovnaké oneskorenie RTT, bude sa poloha cieľa odhadovať v okolí týchto bodov, ich vzdialenosť môže byť však veľká a voči skutočnej pozícii cieľovej stanice značne odlišná. Týmto odhadom dôjde k určeniu nesprávnej polohy hľadanej cieľovej stanice.

Podľa výsledkov autorov tejto metódy [11] je ShortestPing efektívnejšia hlavne v prípadoch keď sú hodnoty RTT nízke a referenčný bod je blízko cieľa, čiže oblasť kde sa nachádza cieľová stanica je malá. Pri experimente s touto metódou dosiahli autori medián chyby pre 53 cieľov s oneskorením 4 ms len 15 km, pre 75 cieľov s oneskorením väčším ako 4 ms bola chyba 266 km. Efektivita tejto jednoduchej metódy vyplývajúca z výsledkov experimentu dosahuje v priemere lepšie výsledky než metóda GeoPing a blíži sa k úspechom metód CBG a SOI.



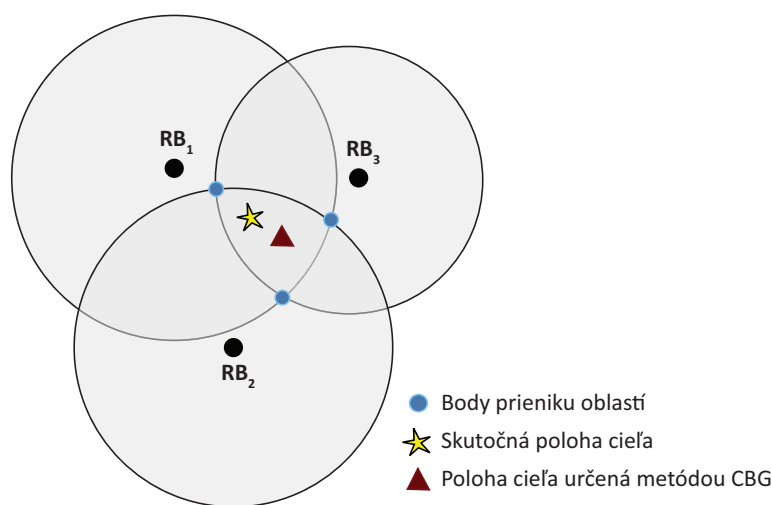
Obr. 4.1: Ukážka geolokalizácie metódou ShortestPing, kde za polohu hľadanej stanice bude vyhodnotená poloha referenčného bodu RB4.

4.3 Metóda Constraint-Based Geolocation (CBG)

Predchádzajúce metódy vychádzali zo známej polohy referenčných bodov, ktorú považovali za predpokladanú polohu cieľovej stanice, tým dosahovali diskretný počet možných polôh. Obmedzenie predošlých metód rieši metóda CBG [10], ktorá odvodzuje geografickú polohu cieľa využitím princípu multilaterácie.

Multilaterácia spočíva v odhade fyzickej polohy cieľovej stanice pomocou dostatočného počtu pevných bodov so známou polohou a vzdialenosť medzi nimi. Tým sa vytvoria súvislé oblasti výskytu cieľa.

Metóda CBG využíva referenčné body so známou geografickou polohou, ktoré umožňujú merať oneskorenia RTT smerom k cieľu. Z týchto meraní sa následne určí vzťah prevodu nameraného oneskorenia na vzdialenosť, ktorá bude najviac odpovedať reálnej geografickej vzdialenosti medzi dvoma koncovými bodmi. Podrobnejšie vysvetlený princíp prevodu oneskorenia na vzdialenosť je v nasledujúcej kapitole 4.3.1. Získaným vzťahom sa určia vzdialenosti hraníc, ktoré sa vymedzujú pre každý referenčný bod zvlášť. Následne je multilateráciou týchto hraníc vypočítaná geografická oblasť obsahujúca cieľ. V ťažisku tejto oblasti je potom určená poloha cieľovej stanice [9].



Obr. 4.2: Určenie hranice vzdialeností metódou CBG, prekreslené z [1].

4.3.1 Prevod oneskorenia na vzdialenosť

Pri prevode vzdialenosti cieľovej stanice od referenčného bodu z nameraného oneskorenia metóda CBG eliminuje čo najviac nežiaduce skreslenie oneskorenia. Tento proces sa vykonáva pre každý referenčný bod zvlášť a podľa autorov tejto metódy [9], ktorý tento proces nazvali kalibrovanie, je postup nasledujúci:

- Jednotlivé referenčné body si zmerajú oneskorenie voči ostatným referenčným bodom.
- Pre každý referenčný bod je z nameraných hodnôt vytvorený graf závislosti vzájomnej geografickej vzdialenosti voči ostatným referenčným bodom na nameranej dobe oneskorenia, viď obr. 4.3.
- V grafe sa následne vynesie priamka odpovedajúca ideálnym hodnotám pomeru oneskorenia v optickom vlákne na vzdialenosti, čo odpovedá približne $1 \text{ ms} = 100 \text{ km}$, nazvaná „baseline“. Jedná sa o dolnú hranicu referenčného

bodú a je definovaná smernicovou rovnicou priamky

$$y = mx + b, \quad (4.1)$$

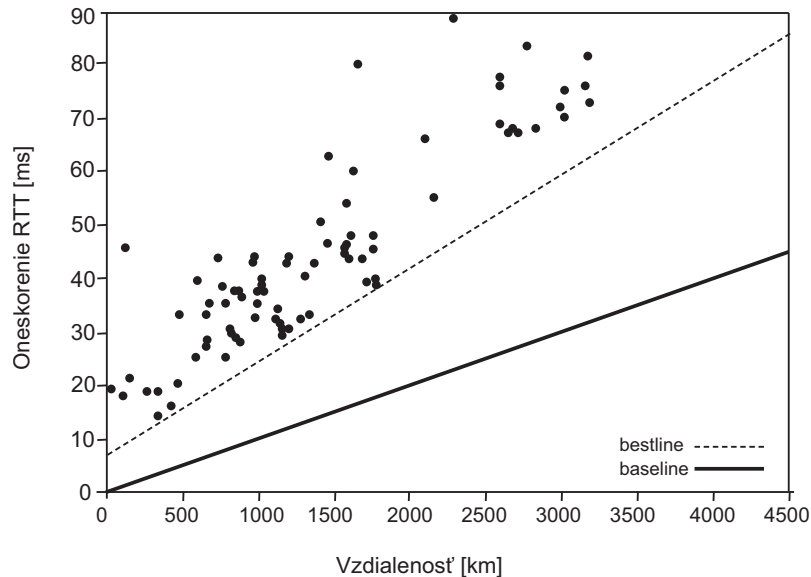
kde $b = 0$, pretože do úvahy sa neberie žiadne skreslenie oneskorenia a m sa vzťahuje len k rýchlosti prenosu informácie médium.

- Z vynesných hodnôt v grafe sa určí najlepší pomer vzdialenosti na oneskorenie voči všetkým referenčným bodom a vyjadří sa taktiež jeho smernicová rovnica priamky, nazvaná *bestline*. Táto priamka je definovaná ako

$$y = m_i x + b_i, \quad (4.2)$$

kde b_i definuje prídavok skreslenia oneskorenia a m_i odpovedá hodnote vyjadrenej pomocou *bestline*, ktorá musí spĺňať určité podmienky. *Bestline* musí ležať pod všetkými vynesnými hodnotami v grafe, ale zároveň im musí byť najbližšie, musí mať kladný priesečník s osou y a jej smernica by nemala byť menšia než smernica priamky *baseline*, pretože by to znamenalo, že reálne oneskorenie je menšie ako ideálne.

Tento proces kalibrovania môže vykonávať každý referenčný bod automaticky v určitých časových intervaloch, čím zaistí presnosť reálnej vzdialenosti odpovedajúcej aktuálnemu oneskoreniu v sieti.



Obr. 4.3: Závislosť vzdialenosti na oneskorení pre určenie *baseline* a *bestline* [9].

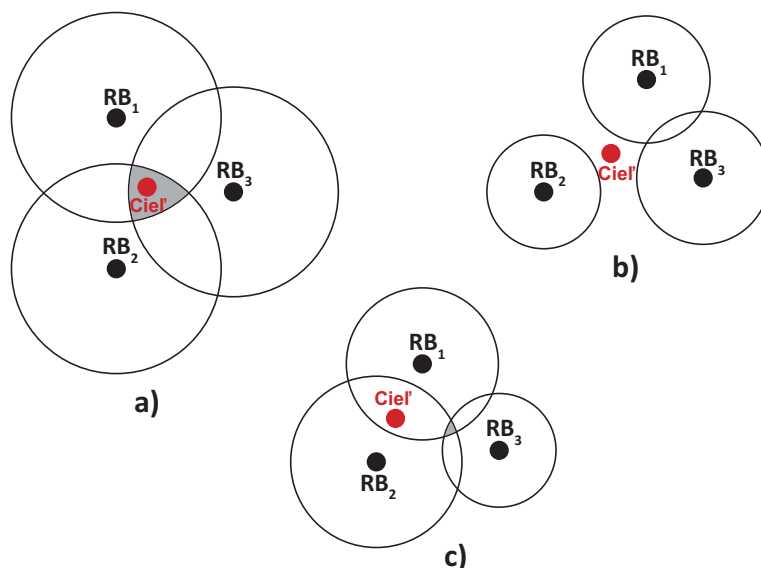
4.3.2 Nadhodnotenie a podhodnotenie hraníc

Podľa autorov tejto metódy [9] môže dôjsť v reálnych podmienkach k trom typom výsledkov pri určovaní vzdialeností hraníc oblastí, a to nadhodnotenie, podhodnotenie alebo oba súčasne.

Nadhodnotenie hraníc vzniká najčastejšie, preto je tento stav najbežnejší. Hranice jednotlivých referenčných bodov sú stanovené väčšie ako je skutočná vzdialenosť referenčného bodu k cieľu. Dôležité je však to, že prienikom jednotlivých oblastí dôjde k vzniku oblasti, v ktorej sa s najväčšou pravdepodobnosťou nachádza cieľ, viď obr. 4.4 a). Pokiaľ dané nadhodnotenie nie je veľmi veľké, tak ani vzniknutá oblasť nie je rozsiahla, a metóda CBG tak dosahuje relatívne presné určenie cieľa.

Podhodnotenie hraníc nastáva, ak vzťah jednotlivých referenčných bodov medzi oneskorením a vzdialenosťou je lepší k cieľu ako k „bestline“, čiže k ostatným referenčným bodom. Dôjde tak k chybnému určeniu hraníc, kedy metóda CBG nedokáže vytvoriť oblasť prieniku, v ktorej by sa mal nachádzať cieľ, viď obr. 4.4 b). To je pre túto metódu dôležité, pretože je lepšie neurčiť polohu ako ju odhadnúť úplne chybné.

Nadhodnotenie a podhodnotenie hraníc súčasne nastáva výnimočne. Dochádza k nemu však v prípade, ak niektoré referenčné body svoje vzdialenosti hraníc nadhodnotia a súčasne iné podhodnotia. Poloha vzniknutej oblasti prieniku tak bude určená mimo skutočnej polohy cieľa, viď obr. 4.4 c).



Obr. 4.4: Typy výsledkov pri určovaní hraníc oblastí: a) nadhodnotenie hraníc, b) podhodnotenie hraníc, c) nadhodnotenie a podhodnotenie súčasne.

4.4 Metóda Speed of Internet (SOI)

Metóda SOI vychádza zo základov princípu metódy CBG, a to určovanie polohy cieľa pomocou multilaterácie hraníc referenčných bodov. Podľa autorov metóda SOI [11] vychádza z teórie, že vzdialenosť medzi stanicami je podstatne nižšia než je možné odvodiť zo vzťahu o rýchlosti šírenia svetla vo vákuu.

Prenos dát dosahuje v optickom vlákne $2/3$ rýchlosti svetla, avšak z merania, ktoré urobili autori tejto metódy vyplýva, že oneskorenie medzi stanicami odpovedá vzdialenosti prenosu dát rýchlosťou $4/9$ rýchlosti svetla. Tento jav sa im potvrdil v 80 % meraní a 20 % meraní dosiahlo vzťahu $2/9$ rýchlosti svetla. Týmto vzťahom je možné následne prepočítať vzdialenosti hraníc okolo jednotlivých referenčných bodov.

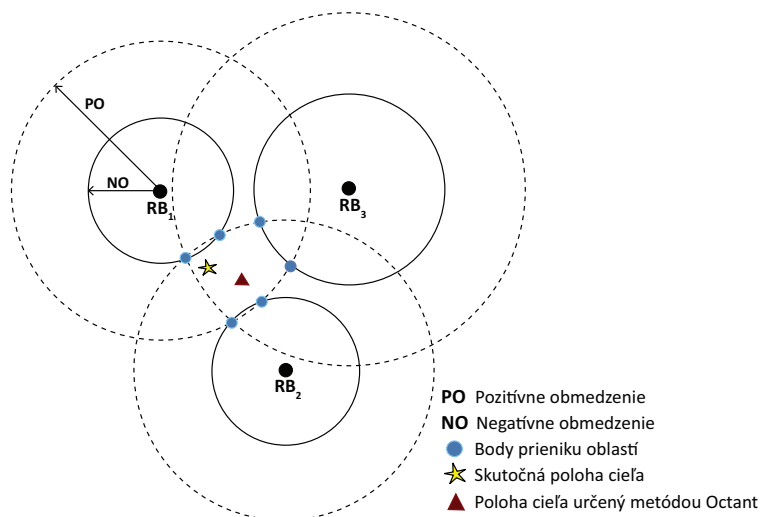
Metóda SOI pri určovaní polohy využíva sadu referenčných bodov, od ktorých meria oneskorenie iba smerom k cieľu, nie však už medzi sebou ako to bolo pri metóde CBG. Po prepočte oneskorenia a vzdialenosti využitím vzťahu $4/9$ rýchlosti svetla sa následne určia hranice okolo referenčných bodov a tam, kde vznikne prienik týchto oblastí, je oblasť definovaná za pozíciu cieľovej stanice.

Presnosť daného vzťahu pre prevod oneskorenia na vzdialenosť pri tejto metóde dosahuje takmer rovnaké výsledky ako metóda CBG, a to aj bez zložitého procesu kalibrácie referenčných bodov, ktoré metóda CBG vyžaduje [11].

4.5 Metóda Octant

Metóda Octant [25] tvorí celok, rôznych metód a postupov, ktorý umožňuje tejto metóde lokalizovať hľadanú stanicu. Jedným z týchto postupov je určenie hraníc v okolí referenčného bodu, kde táto metóda vychádza nie len z pozitívneho obmedzenia, čiže určenia hraníc procesom multilaterácie kde sa určí oblasť s najväčšou pravdepodobnosťou výskytu cieľa, ako to bolo pri metóde CBG. Táto metóda však berie ohľad aj na negatívne obmedzenia. Znamená to, že metóda Octant definuje minimálnu vzdialenosť od referenčného bodu, kde sa cieľ nebude nachádzať, viď obr. 4.5. Vzdialenosť tejto oblasti nie je celkom zrejmá z meraní oneskorenia, v dôsledku čoho môže byť táto oblasť stále veľká a to vedie k vysokej geolokalizačnej chybe. Nie je to však jediný postup, ktorý táto metóda využíva. K určeniu polohy cieľa využíva aj metódu vychádzajúcu z náhodných veličín a teórie pravdepodobnosti, nazývanú metóda Monte Carlo.

Do odhadovanej oblasti sa vloží množstvo bodov, a ku každému z nich je pridelaná váha na základe vzdialeností od daného bodu k ostatným. Po niekoľkých meraniach, kde sa so zvyšujúcim počtom meraní zvyšuje aj presnosť, je bod s najmenšou váhou označený ako hľadaný cieľ.



Obr. 4.5: Príklad geolokalizácie metódou Octant pomocou troch referenčných bodov, prekreslené z [1].

4.6 Metóda Geoweight

GeoWeight je metóda založená, rovnako ako predchádzajúce metódy, na meraní oneskorenia. Pri určovaní hraníc vychádza zo základných princípov už spomenutej metódy CBG, kapitola 4.3, a to prevodu oneskorenia na vzdialenosť a následného procesu multilaterácie hraníc.

Metóda však prípadne rozdiely vzdialeností medzi minimálnou a maximálnou možnou hranicou rieši tým, že dané oneskorenie rozdelí na rovnaké úseky priradením váh jednotlivým podoblastiam (subregiónom) v rámci určitej oblasti referenčného bodu. Tieto váhy tak vyznačujú pravdepodobnosť, kde by sa cieľ mohol s najväčšou pravdepodobnosťou nachádzať, väčšia váha znamená vyššiu pravdepodobnosť výskytu cieľovej stanice [1]. Príklad výpočtu týchto váh je uvedený v kapitole 4.6.1.

4.6.1 Výpočet váh oblastí

Táto časť práce popisuje, ako vypočítať jednotlivé váhy pre vzdialeností podoblastí pomocou vzorcov z práce autorov metódy [1]. Ako už bolo povedané, váha jednotlivých vzdialeností pre dané oneskorenie je pravdepodobnosť, že určitá vzdialenosť sa nachádza v rozsahu pre dané oneskorenie.

Vezmeme si namerané hodnoty oneskorenia namerané na Internete zahŕňajúce rozsah vzdialeností D_{\min} , D_{\max} . Uvažujme minimálne a maximálne sledované oneskorenie T_{\min} , T_{\max} v závislosti na minimálnej a maximálnej vzdialenosti D_{\min} , D_{\max} z nameraných hodnôt na Internete a tieto rozsahy vzdialeností a oneskorenia rozde-

líme na N_d a N_t rovnako vzdialených častí, viď tab. 4.1. V tejto tabuľke je následne uvedený počet referenčných bodov $c_{i,j}$, ktoré zodpovedajú i -tému času a j -tej vzdialenosti oblasti. V tomto príklade sú zvolené nasledovné hodnoty $T_{\min} = 0$, $T_{\max} = 70$, $D_{\min} = 0$, $D_{\max} = 2000$, $N_d = 4$ a $N_t = 7$.

Každý riadok v tab. 4.1 predstavuje vzdialenosť odpovedajúcu jednej časovej oblasti. Každý stĺpec predstavuje rozsah jednotlivých vzdialeností oblastí, odpovedajúcich jednotlivým časom oneskorenia. Každá bunka tabuľky obsahuje počet referenčných bodov v danom rozsahu nameraného oneskorenia a rozsahu vzdialenosti.

Tab. 4.1: Rozdelenie nameraných oneskorení a vzdialeností s odpovedajúcim počtom meraní referenčných bodov pre dané hodnoty [1]

	0–500 km	500–1000 km	1000–1500 km	1500–2000 km
0–10 ms	100	25	0	0
10–20 ms	15	120	35	0
20–30 ms	12	52	95	12
30–40 ms	5	23	126	32
40–50 ms	2	10	24	68
50–60 ms	0	5	12	128
60–70 ms	0	12	21	45
$\sum_{i=1}^{N_t} c_{i,j}$	134	247	313	285

Prvým krokom výpočtu váhy je normalizácia oblastí vzdialeností podľa vzťahu 4.3, čiže každá bunka stĺpca tabuľky určitého rozsahu vzdialeností sa podelí celkovým súčtom referenčných bodov patriacich danému rozsahu vzdialeností.

$$NR_{i,j} = \frac{c_{i,j}}{\sum_{i=1}^{N_t} c_{i,j}} \quad (4.3)$$

Po výpočte vzťahom 4.3 tak vznikne tabuľka normalizovaných hodnôt vzdialeností oneskorenia $NR_{i,j}$, viď tab. 4.2

Konečná váha každej bunky tabuľky sa počíta pomocou vzťahu 4.4, z ktorého vyplýva, že každá bunka určitého rozsahu oneskorenia v tab. 4.2 sa podelí súčtom normalizovaných hodnôt daného rozsahu oneskorenia.

$$w_{i,j} = \frac{NR_{i,j}}{\sum_{j=1}^{N_d} R_{i,j}} \quad (4.4)$$

kde $w_{i,j}$ je váha i -tej bunky oneskorenia z j -tej bunky rozsahu vzdialeností, čo vyjadruje pravdepodobnosť, že sa oblasť vzdialeností $[d_j^{\min}, d_j^{\max}]$ vzhľadom na oneskorenie

Tab. 4.2: Hodnoty po normalizácii jednotlivých oblastí vzdialeností

	0–500 km	500–1000 km	1000–1500 km	1500–2000 km	$\sum_{j=1}^{N_d} NR_{i,j}$
0–10 ms	0,74	0,10	0	0	0,84
10–20 ms	0,11	0,49	0,11	0	0,71
20–30 ms	0,089	0,21	0,30	0,042	0,641
30–40 ms	0,037	0,093	0,40	0,11	0,64
40–50 ms	0,015	0,040	0,077	0,24	0,372
50–60 ms	0	0,020	0,038	0,45	0,508
60–70 ms	0	0,049	0,067	0,16	0,276

pohybuje v rozsahu $[t_i^{\min}, t_i^{\max}]$. Príklad vypočítaných váh pre jednotlivé oblasti podľa vŕahu 4.4 sú uvedené v tab. 4.3.

Tab. 4.3: Príklad vypočítaných váh pre závislosť vzdialenosti na oneskorení

	0–500 km	500–1000 km	1000–1500 km	1500–2000 km
0–10 ms	0,88	0,12	0	0
10–20 ms	0,15	0,69	0,15	0
20–30 ms	0,14	0,33	0,47	0,07
30–40 ms	0,6	0,15	0,63	0,17
40–50 ms	0,04	0,11	0,21	0,65
50–60 ms	0	0,04	0,07	0,89
60–70 ms	0	0,18	0,24	0,58

4.6.2 Určenie polohy hľadanej pozície

Meraním oneskorenia z viacerých referenčných bodov dochádza k pretínaniu oblastí pravdepodobností, a to metóda GeoWeight počíta ako súčet váh prekrývajúcich sa častí podoblastí. Pozíciu cieľa určí ako ťažisko týchto prienikov podoblastí s najvyššou váhou, čiže podoblastí s najvyššou pravdepodobnosťou výskytu cieľovej stanice, viď obrázok 9. Priradením váh jednotlivým podoblastiam umožňuje metóde GeoWeight vymedziť oblasť hľadania cieľa na menšiu časť, a tým dosiahnuť lepšiu presnosť pri odhade geografickej polohy ako predchádzajúce metódy [1].

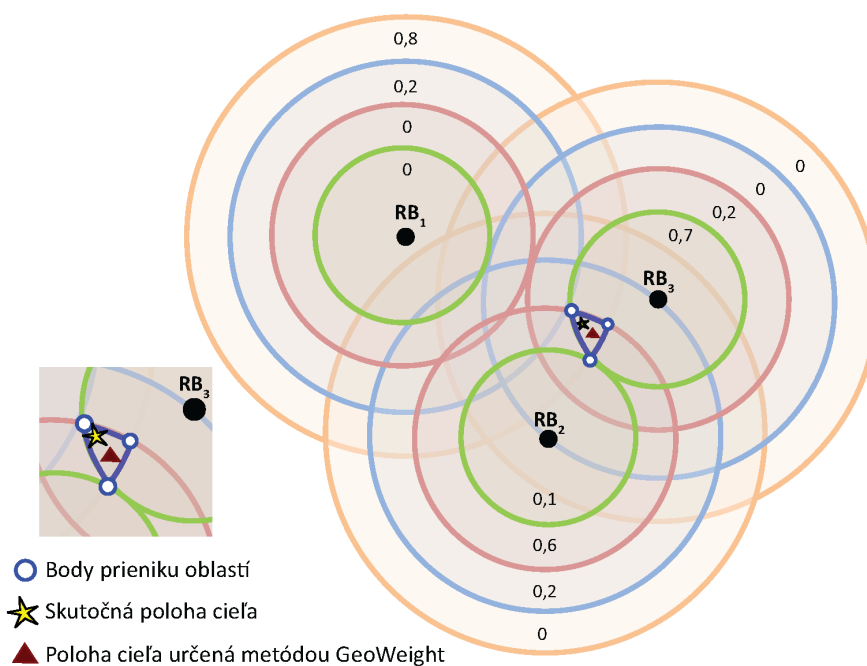
Na obr. 4.6 je znázornený príklad metódy GeoWeight pre určenie polohy cieľa meraním oneskorenia z troch referenčných bodov, v tomto prípade z RB_1 , RB_2 a RB_3 s oneskorením 15, 35 a 100 ms. Okolo každého referenčného bodu sú v podobe kruhov

znázornené jednotlivé podoblasti váh. Tieto kruhy sa navzájom prekrývajú a váha každého prieniku je počítaná ako súčet hmotností prekrývajúcich sa oblastí kruhov. V tomto príklade je maximálna váha 2,1 (0,8 + 0,6 + 0,7). Cieľové miesto je zvolené ako ťažisko prieniku s najväčšou váhou.

V tab. 4.4 sú na ukážku vypočítané váhy pre tri oneskorenia vzhľadom na štyri rovnako veľké oblasti v rozmedzí vzdialeností 0–1000 km ($D_{\min} = 0, D_{\max} = 1000$).

Tab. 4.4: Vzorové váhy pre závislosť vzdialenosti na oneskorení

Čas oneskorenia [ms]	0–250 km	250–500 km	500–750 km	750–1000 km
15 ms	0,7	0,2	0,1	0
35 ms	0,2	0,6	0,2	0
100 ms	0	0	0,2	0,8



Obr. 4.6: Príklad hľadania cieľovej stanice metódou GeoWeight, prekreslené z [1].

5 EXPERIMENTÁLNA SIETĚ PLANETLAB

Súčasný rozmach Internetu prináša so sebou problémy, ktoré je potrebné riešiť. Sú to napríklad rastúce požiadavky na dátový prenos, výkon serverov a zastarané protokoly, na ktorých je Internet postavený. Preto vzniká mnoho projektov, ktoré si dali za cieľ spracovanie nových technológií, aby vyhovovali novým požiadavkám na celosvetovú počítačovú sieť.

Jedným z takýchto projektov je aj PlanetLab, ktorý vznikol v roku 2002, najprv ako konzorcium niekoľkých amerických univerzít, neskôr sa pridali ďalšie z celého sveta. Členmi sa stali aj významne výskumné pracoviská firiem ako sú napríklad Hewlett Packard, Intel, France Telecom, Google a ďalšie [14].

5.1 Úloha siete PlanetLab v tejto práci

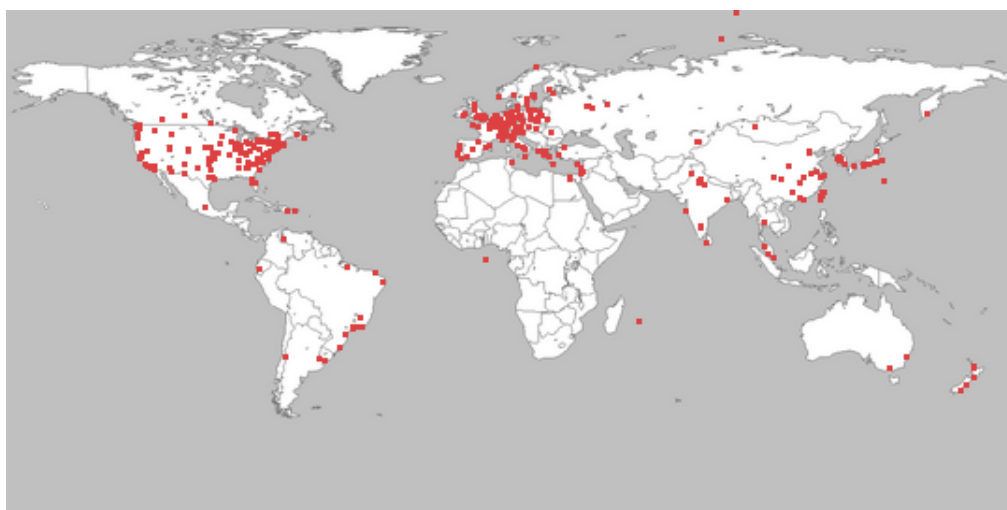
Táto kapitola o sieti PlanetLab je v tejto práci z dôvodu využitia jej prostriedkov pre meranie a otestovanie navrhnutej aplikácie v reálnych podmienkach siete. Jednotlivé uzly poskytujú neustály prístup a ich poloha je vopred známa, preto budú využité ako referenčné body, od ktorých sa bude merať oneskorenia RTT smerom k hľadanému cieľu. To zabezpečí dosiahnutie reálnych výsledkov meraní a určenie geografickej polohy hľadanej stanice.

5.2 Princíp siete PlanetLab

PlanetLab [17] je celosvetová výskumná sieť podporujúca vývoj nových sieťových služieb, distribučných systémov, sieťových aplikácií a podobne. Do siete majú prístup iba inštitúcie, ktoré sa do projektu samy zapoja. Sú to zväčša univerzity a vedecké pracoviská, ale i vývojové centrá veľkých firiem. Od roku 2003 sa do vývoja zapojilo viac ako tisíc výskumných pracovníkov vrcholových akademických organizácií a priemyselných výskumných laboratórií. Organizácie, ktoré sa dlhodobo zúčastňovali vo vývoji hardwaru a softwaru siete PlanetLab vytvorili konzorcium poskytujúce podporu pre ostatných užívateľov a zodpovedné za ďalší vývoj siete.

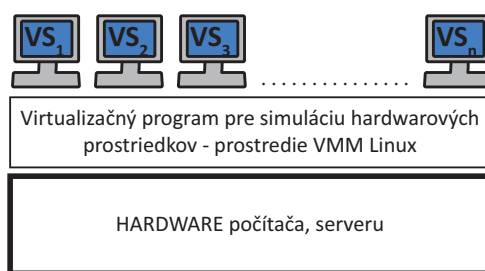
Hlavným cieľom PlanetLabu je okrem podpory výskumu a testovania v reálnych podmienkach siete aj sprístupnenie vyvíjaných služieb koncovým užívateľom pre uľahčenie tvorby vlastných aplikácií, ale aj pre zdokonalenie samotnej siete PlanetLab. Každý užívateľ má možnosť si z uzlov PlanetLabu vytvoriť sieť, na ktorej bude testovať určitý svoj projekt, pričom v dnešnej dobe je týchto projektov veľké množstvo. V súčasnosti PlanetLab pozostáva z 1116 uzlov v 544 organizáciách nachádzajúcich sa v rôznych kútoch sveta vrátane Českej republiky, kde sa nachádzajú

3 aktívne uzly prevádzkované akademickým združením CESNET. Rozmiestnenie jednotlivých uzlov vo svete je možné vidieť na obr. 5.1



Obr. 5.1: Celosvetové rozmiestnenie uzlov siete PlanetLab, prevzaté z [17].

Všetky uzly siete PlanetLab používajú operačný systém Linux v distribúcií CentOS¹. Nový užívateľ po zaregistrovaní patrí k určitému projektu, tzv. slice². Následne sa môže vzdialene pripájať ku ktorémukoľvek uzlu siete, kde má k dispozícii nezávislú virtuálnu stanicu (VS) s vlastným súborovým systémom a výpočtovou kapacitou, tzv. sliver³. Na každom uzle siete PlanetLab tak môže bežať súčasne viacero projektov, na ktorých pracujú jednotliví užívatelia vo vlastných virtuálnych systémoch. Túto štruktúru vystihuje obr. 5.2.



Obr. 5.2: Štruktúra jedného uzlu siete PlanetLab, prekreslené z [12].

¹Viac o distribúcií na <http://www.centos.org/>.

²Sada pridelených zdrojov distribuovaných v sieti PlanetLab, projekt má určitú dobu platnosti, ktorá sa musí pravidelne obnovovať, viac na <https://www.planet-lab.org/db/pub/slices.php>.

³Pridelené zdroje jedného daného uzla v sieti PlanetLab.

6 ODHAD POLOHY STANÍC V REÁLNEJ SIE- TI METÓDOU GEOWEIGHT

Táto časť práce je na základe získaných teoretických poznatkov venovaná návrhu algoritmu na určenie polohy neznámej cieľovej stanice metódou GeoWeight a jej nasadeniu a otestovaniu v reálnej sieti – Internet. Podrobnejší popis návrhu aj s vysvetlením jednotlivých častí aplikácie je uvedený v kapitole 6.1.

Testovanie lokalizácie neznámych cieľových staníc navrhnutou aplikáciou metódy GeoWeight a spracovanie nameraných výsledkov uľahčil grafický webový systém¹ (ďalej len webový systém), ktorý navrhol Ing. Lukáš Verner. V rámci výskumnej skupiny pomocou tohto systému prebehlo v období jedného týždňa (od 13.4.2012 do 20.4.2012) testovanie lokalizácie vybraných cieľových staníc. V tomto období boli testované aj iné aktívne metódy, a to CBG (Bc. Petr Harth), Octant (Bc. Filip Dvořák), SOI (Jakub Chmelař) a taktiež pasívna metóda GeoIP (Tomáš Sousedík). Výsledky tohto merania a zhodnotenie sú uvedené v kapitole 6.3.

Vstupnými hodnotami všetkých testovaných geolokalizačných metód boli dataset referenčných bodov siete PlanetLab a dataset hľadaných staníc. Z týchto datasetov bolo následne vybraných 40 najspoľahlivejších referenčných bodov a 76 hľadaných cieľov, bližšie v kapitole 6.2.1. Zoznam všetkých datasetov je uvedený v prílohe A.

6.1 Návrh algoritmu na určenie geografickej polohy metódou GeoWeight

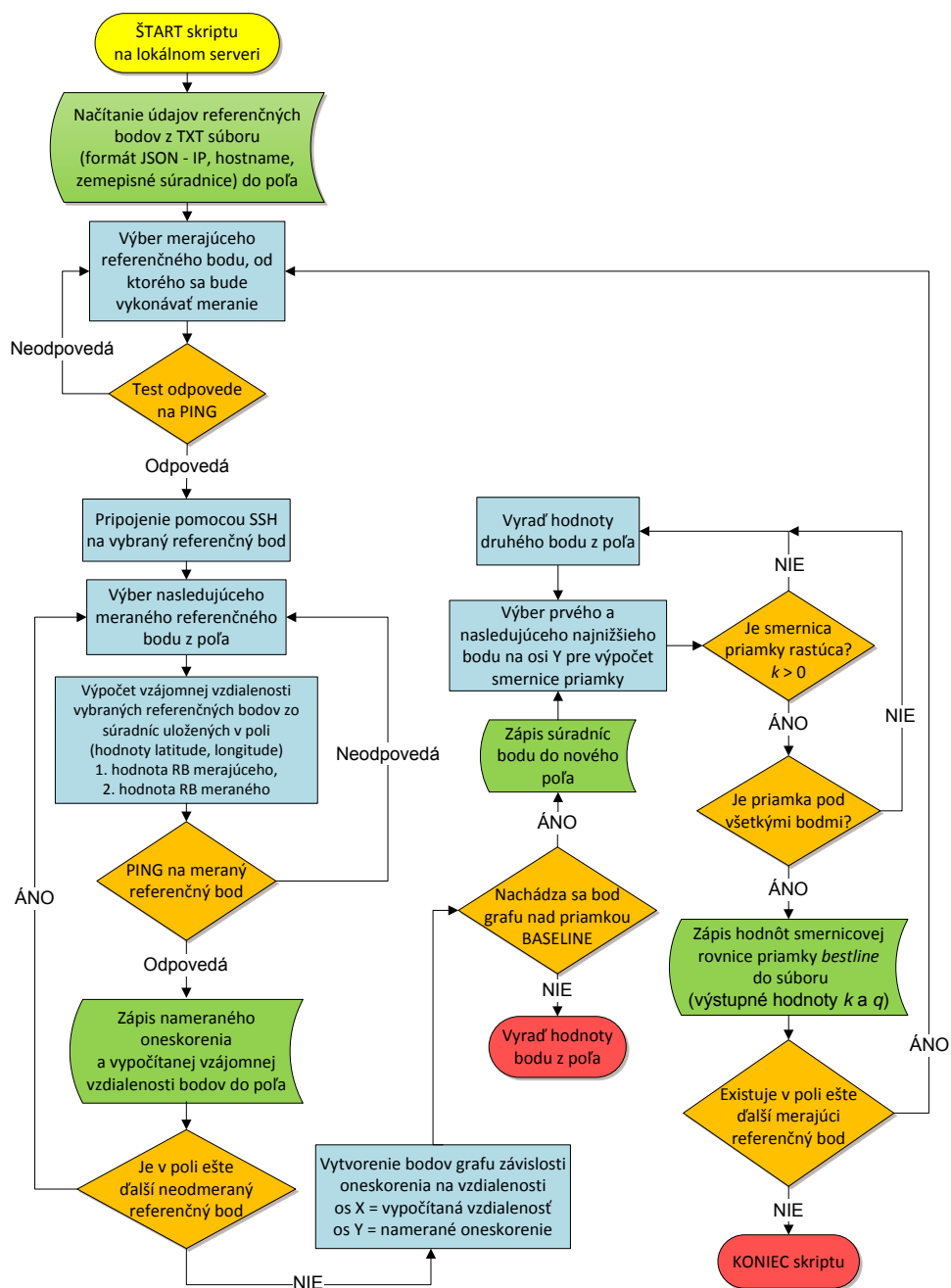
Navrhnutý algoritmus bol vytvorený v programovacom jazyku PHP² pre použitie na serveri s operačným systémom Linux, kde bol kompletne otestovaný. Návrh tvoria dva samostatné aplikácie skriptov.

Prvý skript s názvom *bestline_script.php* je spúšťaný automaticky pomocou nástroja CRON³. Úlohou tohto skriptu je meranie a spresňovanie vzťahu oneskorenia na vzdialenosti, tzv. priamky *bestline* pre každý referenčný bod. Vstupnými parametrami tohto skriptu je pole datasetu referenčných bodov vo formáte JSON uložené v textovom súbore. Toto pole je následne navrhnutým skriptom prechádzané a pre každý referenčný bod je nameraná samostatná závislosť oneskorenia na vzdialenosti voči ostatným referenčným bodom v poli. Navrhnutý algoritmus tohto skriptu je názorne vysvetlený vývojovým diagramom na obr. 6.1.

¹Grafický webový systém geolokalizácie dostupný na stránkach <http://betka.utko.feec.vutbr.cz>.

²Skratka z anglického názvu PHP: Hypertext Preprocessor.

³Linux/Unix systémový nástroj pre plánovanie automatického spúšťania programov, prípadne procesov.



Obr. 6.1: Vývojový diagram prvého navrhnutého algoritmu pre výpočet parametrov smernicovej rovnice priamky *bestline*.

Z nameraných výsledkov prvého skriptu následne vychádza druhý navrhnutý skript s názvom *geoweight_script.php*, ktorého úlohou je samotný prepočet spejúci k určení súradníc hľadanej stanice. Návrh algoritmu tohto skriptu je názorne vysvetlený vývojovým diagramom na obr. 6.2. Skript je volaný pri požiadavke užívateľa o lokalizáciu hľadanej stanice z webového systému alebo cez príkazový riadok serveru

v nasledujúcom tvare:

```
php ./geoweight_script.php -l '[referenčné body]' -t '[hľadané  
cieľové stanice]' 2>&1
```

kde *geoweight_script.php* je názov navrhnutého skriptu pre lokalizáciu geografickej polohy hľadanej stanice vychádzajúci z metódy GeoWeight.

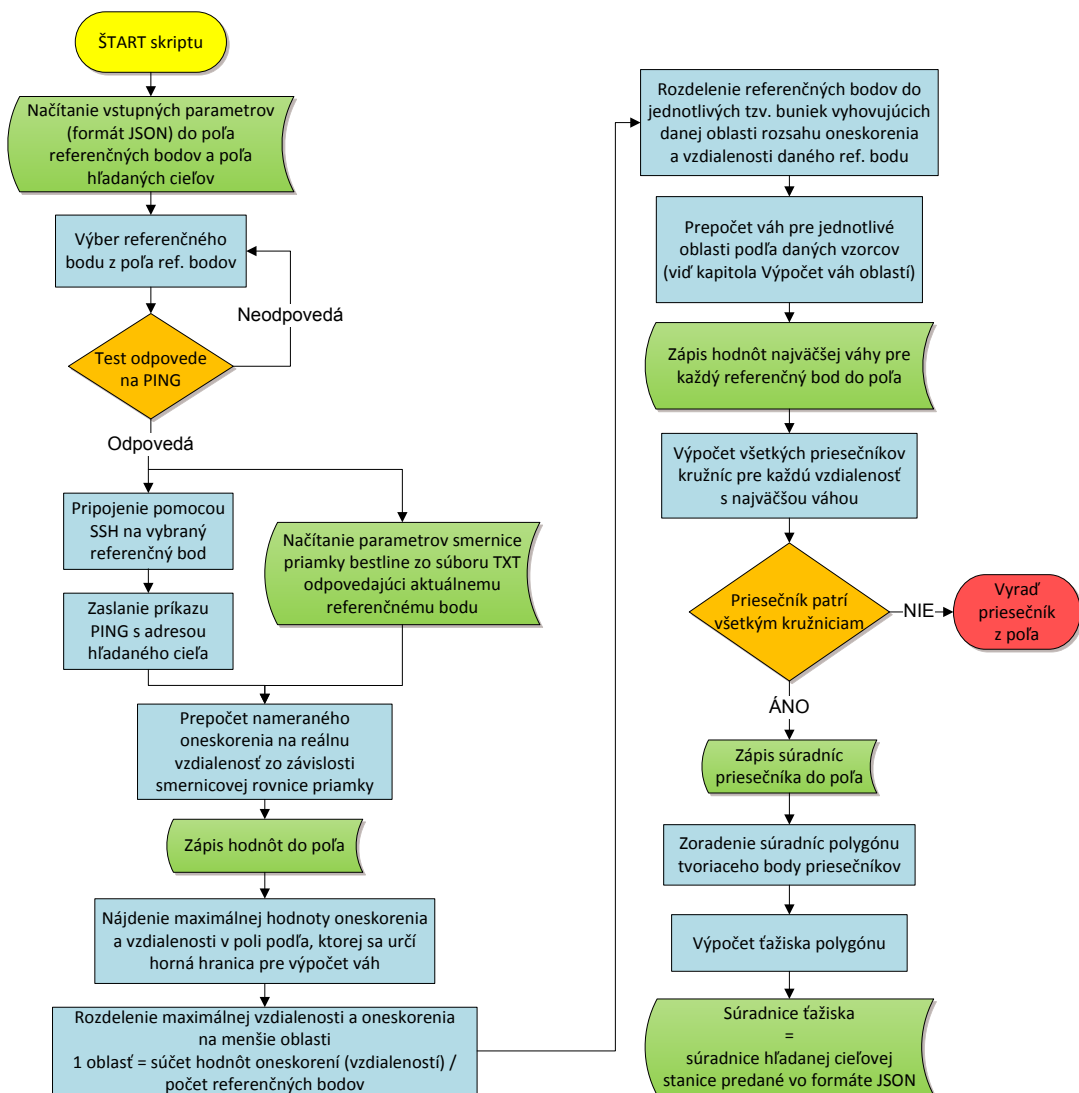
Parameter `-l '[referenčné body]'` definuje pole referenčných bodov, s ich vlastnými parametrami, od ktorých sa bude následne vykonávať meranie oneskorenia k hľadanej stanici pre určenie jej polohy. Dôležitými parametrami jednotlivých referenčných bodov v poli, pre korektnú lokalizáciu cieľa, je doménový názov alebo IP adresa daného cieľa, na ktorý sa bude skript pripájať a následne od tohto bodu merať oneskorenie k cieľu. Dôležitým parametrom je taktiež jeho presná zemepisná poloha v tvare zemepisná šírka (latitude) a zemepisná dĺžka (longitude) v stupňoch. Všetky tieto parametre referenčných bodov sú pre zjednotenie a uľahčenie predávania medzi webovým systémom a samotným skriptom vo formáte JSON. Príklad vstupného poľa dvoch referenčných bodov pre parameter `-l` je nasledujúci:

```
-l '[{"id":6,"idsite":1,"idmethod":4,"ip":"147.229.10.250",  
  "hostname":"planetlab1.fit.vutbr.cz","latitude":"49.22684",  
  "longitude":"16.596152","date":"2011-11-08 09:33:56","name":  
  "CESNET - Czech Education and Research Network","reliability  
  ":88.76,"method":"Planetlab","cost":100,"image":"planetlab.  
  png"},{"id":7,"idsite":1,"idmethod":4,"ip":"195.113.161.82",  
  "hostname":"planetlab1.cesnet.cz","latitude":"49.22684",  
  "longitude":"16.596152","date":"2011-11-08 09:33:56","name":  
  "CESNET - Czech Education and Research Network","reliability  
  ":88.76,"method":"Planetlab","cost":100,"image":"planetlab.  
  png"}]
```

Parameter `-t '[hľadané cieľové stanice]'` definuje zoznam staníc, uvádzaný taktiež vo formáte JSON, ktoré majú byť lokalizované. Pre správnu lokalizáciu daného cieľa musí byť uvedená hlavne jeho IP adresa, na ktorú sa bude skript z referenčných bodov dotazovať programom *ping*. Príklad vstupného poľa hľadaného cieľa s doménovým názvom „ihmc.ens.fr“ pre parameter `-t` je nasledujúci:

```
-t '[{"id":311,"idmethod":7,"ip":"129.199.13.24","hostname":"www.  
  ihmc.ens.fr","latitude":"null","longitude":"null","method":  
  "GeoWeight","image":"geoweight.png","comment":"null","duration  
  ":"null"}]
```

Skript *geoweight_script.php* po načítaní vstupných parametrov začne postupným pripájaním cez SSH spojenie na jednotlivé referenčné body merať oneskorenia RTT, programom *ping* s adresou cieľa zadanou vo vstupnom parametri `-t`, pripájanie na



Obr. 6.2: Vývojový diagram druhého navrhnutého algoritmu pre lokalizáciu staníc metódou GeoWeight.

referenčné body pomocou SSH spojenia a meranie oneskorenia je bližšie popísané v kapitole 6.1.1 a 6.1.2. Následne po nameraní oneskorenia zo všetkých referenčných bodov skript prepočíta za pomoci parametrov priamky *bestline* každého referenčného bodu reálnu vzdialenosť k cieľu. Z tejto vzdialenosti a nameraného oneskorenia určí skript váhy, čím rozdelí vzdialenosť hranice oblasti každého referenčného bodu na menšie, bližšie k výpočtu váh príklad reálneho merania v kapitole 6.1.4. Následným prienikom hraníc oblastí s najväčšou váhou vzniknú priesečníky, výpočet priesečníc je bližšie popísaný v kapitole 6.1.5. Zo spoločných priesečníc všetkých oblastí s najväčšou váhou skript získa obálku polygónu oblasti, kde sa s najväčšou pravdepodobnosťou nachádza hľadaná stanica. Výpočtom ťažiska tohto polygónu získa

súradnice hľadanej cieľovej stanice, viď kapitola 6.1.6.

Po prevedení tohto výpočtu geografickej polohy cieľa vracia skript naspäť pole vo formáte JSON, kde však nahradí nulové hodnoty vstupného poľa pre parameter `-t` vypočítanými suradnicami zemepisnej šírky ako hodnotu poľa `latitude` a zemepisnej dĺžky ako hodnotu `longitude`. Po získaní geografickej polohy cieľa je vypočítaný obsah polygonu oblasti, v ktorej sa nachádza cieľ a ten je vrátený ako hodnota poľa `area`. Na záver skriptu je po skončení všetkých prepočtov vrátená hodnota dĺžky trvania spracovania skriptu do poľa `duration`.

Pomocný skript na predanie vstupných a výstupných parametrov medzi navrhnutým skriptom a webovým systémom v tvare JSON bol vytvorený Ing. Lukášom Vernerom.

6.1.1 Pripojenie k referenčným bodom v sieti PlanetLab

Pre oba navrhnuté skripty je dôležité pripojenie k jednotlivým uzlom siete PlanetLab, z dôvodu merania oneskorenia RTT programom *ping* prostredníctvom týchto uzlov. K tomu bolo použité šifrované SSH⁴ spojenie pomocou autentizačného kľúča, ktorý bol ešte pred jeho použitím v navrhnutom skripte vygenerovaný v systéme Linux príkazom `ssh-keygen -t rsa -f ~/.ssh/identity`. Týmto príkazom vzniknú v adresári `~/.ssh/identity` dva kľúče, verejný a súkromný, pričom verejný sa nahrá do centrálnej databázy PlanetLabu. Odtiaľ sa po určitej dobe rozšíri na uzly PlanetLabu, ku ktorým sa je možné následne prihlásiť.

Keďže navrhnuté skripty používajú pre vytvorenie spojenie SSH2 funkcie programovacieho jazyka PHP, je pre správnu funkčnosť skriptov potrebná knižnica *libssh2-php* nainštalovaná na serveri, na ktorom bude pracovať daný skript.

Vytvorenie spojenia k jednotlivým uzlom sa vytvára v navrhnutých skriptoch nasledujúcim príkazom:

```
ssh2_connect($host, $port, array $methods),
```

kde `$host` je premennou s doménovým názvom daného referenčného bodu, na ktorý sa skript pripája. Premenná `$port` udáva číslo portu pre SSH spojenie, štandardne je to port 22. Pole `$methods` určuje použitý spôsob autentizácie, v tomto prípade bol použitý RSA⁵ algoritmus, preto pole bude vyzeráť následovne `array('hostkey' => 'ssh-rsa')`.

Po vytvorení SSH spojenia skript prejde na autentizáciu k danému uzlu pomocou verejného kľúča nasledujúcim príkazom:

⁴Skratka z anglického názvu Secure Shell, jedná sa o sieťový protokol pre zabezpečené pripojenie k vzdialenej stanici.

⁵Skratka podľa mien autorov tohto asymetrického šifrovacieho algoritmu Rivest-Shamir-Adleman.

```
ssh2_auth_pubkey_file($session, $username, $pubkeyfile,
    $privkeyfile, $passphrase)
```

kde `$session` je volanie identifikátoru spojenia získaný z `ssh2_connect()`, následne `$username` je meno užívateľa, v tomto prípade bol použitý názov slice `cesnet_vutbr2`. Premenné `$pubkeyfile` a `$privkeyfile` definujú cestu k súborom s verejným a súkromným kľúčom na lokálnej stanici, na ktorej pracuje skript, `$passphrase` definuje heslo, v prípade, že súkromný kľúč je šifrovaný heslom.

6.1.2 Meranie oneskorenia na referenčných bodoch

Po úspešnom pripojení a autentizácii môžu skripty vzdialene pristupovať k jednotlivým referenčným bodom. Príkaz `ssh2_exec()` následne umožňuje skriptom posielat z lokálnej stanice zabezpečeným spojením príkazy na vzdialenú stanicu, v tomto prípade na referenčné body, ktoré slúžia na meranie oneskorenia RTT programom *ping*. Preto kompletný príkaz pre zaslanie príkazu s požiadavkou na meranie oneskorenia programom *ping* na vzdialenom referenčnom bode, ku ktorému je skript aktuálne pripojený, bude vyzerat nasledovne:

```
ssh2_exec($ssh, 'ping -q -i 0.5 -c 10 ".$IP."' | grep rtt | sed
    -e 's/.*mdev = \([^\/]*\) .*/\1/'')
```

kde `$ssh` je volanie identifikátoru spojenia získaný z `ssh2_connect()` spomenutého v predchádzajúcej kapitole. Následne príkaz pokračuje zadaním obdobne ako príkaz zadávaný do príkazového riadku v operačnom systéme Linux, kde *ping* spustí program *ping* na vzdialenej stanici s upresňujúcimi parametrami, ktoré boli spomenuté v kapitole 2.1.1. V krátkosti parameter `-q` znamená tzv. tichý mód, kedy sa na výstupe vypisuje až konečný súhrn vykonávaného príkazu, parameter `-i 0.5` je interval posielania paketov 500 ms a parameter `-c 10` udáva počet poslaných paketov. Následne premenná `$IP` definuje IP adresu stanice, ku ktorej chceme oneskorenie RTT odmerať. Ďalej sa výstup programu *ping* privedie pomocou tzv. rúry `|` na vstup programov `grep` a následne `sed`, ktoré pomocou filtrovania a regulárnych výrazov vypíšu na výstup požadovaný text. V tomto prípade výsledkom tohto príkazu bude získanie minimálnej hodnoty oneskorenia RTT nameraného programom *ping* so zadanými parametrami.

6.1.3 Určenie prevodnej charakteristiky nameraného oneskorenia RTT na vzdialenosť

Určenie prevodnej charakteristiky oneskorenia na vzdialenosť vychádzajúcej z priamky *bestline*, ktorá je pre každý referenčný bod počítaná tzv. automatickou kalibráciou, prebieha za pomoci navrhnutého algoritmu v skripte *bestline_script.php*, kde algoritmus vychádza z princípu metódy CBG, ktorý bol bližšie popísaný v kapitole 4.3.1.

Výstupnými parametrami tohto skriptu sú vypočítané hodnoty smernicovej rovnice priamky *bestline* v tvare:

$$y = kx + q, \quad (6.1)$$

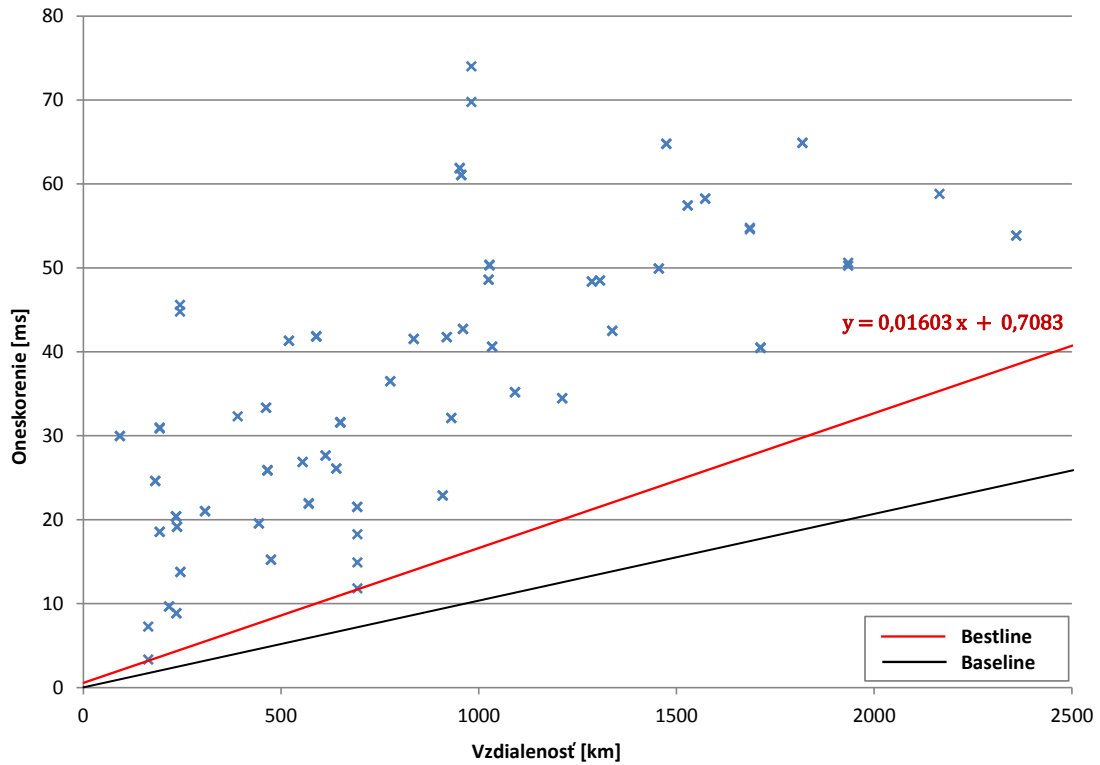
kde číslo k je smernicou priamky rovný tangensu uhla s kladným smerom osi x a číslo q vyjadruje súradnice priesečníka priamky s osou y . Tieto hodnoty k a q sú zvlášť pre každý referenčný bod zapisované do textového súboru s názvom daného referenčného bodu, odkiaľ ich načíta druhý navrhnutý skript *geoweight_script.php*.

Na obr. 6.3 je ukážka výtupu merania tohto algoritmu pre referenčný bod „planetlab05.mpi-sws.mpg.de“. Vynesená priamka *bestline* má výslednú hodnotu smernicovej rovnice $y = 0,01603x + 0,7083$, teda hodnota $k = 0,01603$ a $q = 0,7083$. Tieto hodnoty budú uložené do poľa vo formáte JSON pod názvom súboru: *bestline-DoménovýNázovReferenčnéhoBodu.txt*. Podrobnejší sled fungovania navrhnutého algoritmu je znázornený vo vývojovom diagrame na obr. 6.1

Skript je spúšťaný automaticky za pomoci nástroja CRON na lokálnom serveri, kde doba spúšťania tohto skriptu bola postupným testovaním nastavená na jeden deň, keďže sa zistilo, že hodnoty smernicovej rovnice priamky (smernica priamky k a posunutie na osi y q) sa v priebehu dňa menia len minimálne. V grafe na obr. 6.4 je znázornený vývoj zmeny týchto hodnôt smernicovej rovnice priamky meraných v intervale jednej hodiny počas jedného dňa, z grafu je vidieť, že automatická kalibrácia sleduje výkyvy stavu siete z pohľadu prevodu oneskorenia na vzdialenosť, avšak tieto zmeny nie sú zásadné pre presnosť geolokalizácie, a preto nie je potrebné jej časté meranie.

6.1.4 Výpočet váh z nameraných hodnôt oneskorení

Algoritmus prepočtu váh je aplikovaný v skripte *geoweight_script.php*. Ten je volaný pri požiadavke z webového systému o lokalizáciu, kde sa následne postupným pripájaním k jednotlivým referenčným bodom, zadaným vo vstupných parametroch pri volaní skriptu, vykoná meranie oneskorenia k hľadanému cieľu. Tieto namerané hodnoty oneskorenia k cieľu sú uložené v poli pre každý referenčný bod zvlášť. K týmto

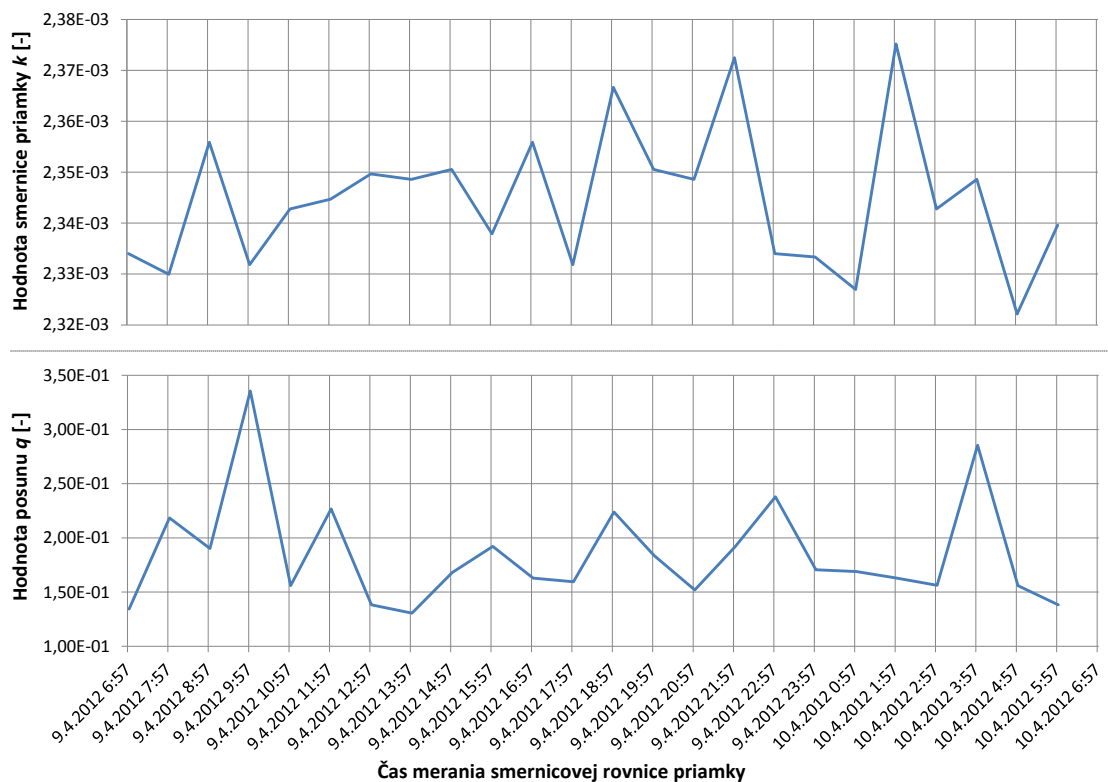


Obr. 6.3: Výsledok výpočtu *bestline* pre referenčný bod „planetlab05.mpi-sws.mpg.de“.

hodnotám sú následne skriptom načítané hodnoty smernicovej rovnice priamky *bestline* zo súboru do poľa, podľa doménového názvu daného referenčného bodu. Pomocou týchto informácií skript prevedie namerané oneskorenie z daného referenčného bodu k cieľu na vzdialenosť podľa rovnice 6.1 vysvetlenej v predchádzajúcej kapitole 6.1.3 ($y = kx + q$), kde za y sa dosadí namerané oneskorenie, za k a q sa dosadia hodnoty smernicovej rovnice priamky a hodnota x , predstavujúca vzdialenosť sa vypočíta.

Postupný sled výpočtu váh a lokalizácie navrhnutým algoritmom pre skript *geoweight_script.php* je zreteľnejšie vysvetlený vývojovým diagramom 6.2.

Pre názorné predvedenie výpočtu váh navrhnutým algoritmom bola vykonaná ukážková lokalizácia jedného cieľa s IP adresou 129.199.13.24 (www.ihmc.ens.fr), kde v tab. 6.1 sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty tohto merania.



Obr. 6.4: Meranie smernicovej rovnickej priamky *bestline* v intervaloch jednej hodiny pre referenčný bod „planetlab05.mpi-sws.mpg.de“.

Tab. 6.1: Výsledky lokalizácie polohy cieľa s doménovým názvom „ihmc.ens.fr“.

Doménový názov referenčného bodu (RB)	Smernica priamky k	Posun q	Namerané oneskorenie k cieľu	Vypočítaná vzdialenosť k cieľu	Max. rozsah vzdialenosti	Max. rozsah oneskorenia
plab1-itec.uni-klu.ac.at	0,02547	0,056	36,216	1419,80	1419,79	69,04
planetlab1.tlm.unavarra.es	0,02965	0,053	35,807	1205,95	1419,79	69,04
pl1.uni-rostock.de	0,02423	0,016	32,917	1357,71	1419,79	34,52
planetlabpc2.upf.edu	0,02762	0,028	32,343	1169,81	1419,79	34,52
planetlab01.tkn.tu-berlin.de	0,02331	0,037	29,466	1262,72	1419,79	34,52
planet1.elte.hu	0,02354	0,083	29,326	1242,22	1419,79	34,52
planetlab1.montefiore.ulg.ac.be	0,02625	0,018	29,115	1108,28	1419,79	34,52
planet2.unipr.it	0,02386	0,018	27,566	1154,41	1419,79	34,52
planetlab1.fit.vutbr.cz	0,02509	0,457	26,955	1056,20	1419,79	34,52
planetvs2.informatik.uni-stuttgart.de	0,02326	0,039	26,894	1154,70	1419,79	34,52
planetlab05.mpi-sws.mpg.de	0,02148	0,045	25,972	1207,30	1419,79	34,52
planck228ple.test.ibbt.be	0,02368	0,032	25,48	1074,64	1419,79	34,52
ait05.us.es	0,01848	0,018	25,239	1364,84	1419,79	34,52
onelab2.info.ucl.ac.be	0,02451	0,064	24,958	1015,61	1419,79	34,52
aladdin.planetlab.extranet.uni-passau.de	0,02309	0,035	23,309	1007,80	1419,79	34,52
planetlab1.utt.fr	0,03074	0,026	21,742	706,36	1419,79	34,52

Pokračovanie na nasledujúcej strane...

Tab. 6.1 – pokračovanie výsledkov lokalizácie polohy cieľa s doménovým názvom „ihmc.ens.fr“.

Doménový názov referenčného bodu (RB)	Smernica priamky k	Posun q	Namerané oneskorenie k cieľu	Vypočítaná vzdialenosť k cieľu	Max. rozsah vzdialenosti	Max. rozsah oneskorenia
planetlab3.cs.st-andrews.ac.uk	0,02039	0,028	20,834	1020,58	1419,79	34,52
planetlab01.ethz.ch	0,02080	0,021	19,987	959,98	1419,79	34,52
planetlab2.uc3m.es	0,01901	0,026	19,121	1004,67	1419,79	34,52
planetlab2.informatik.uni-wuerzburg.de	0,02207	0,019	18,917	856,44	1419,79	34,52
planetlab-node-01.ucd.ie	0,02055	0,060	18,899	916,80	1419,79	34,52
planetlab1.xeno.cl.cam.ac.uk	0,02063	0,025	12,413	600,34	1419,79	34,52
uoep1.essex.ac.uk	0,02051	0,016	11,908	579,68	1419,79	34,52
plab-1.sinp.msu.ru	0,02356	0,139	67,546	2821,56	2839,58	69,04
planet2.itc.auth.gr	0,02648	0,016	64,431	2432,98	2839,58	69,04
planetlab1.upm.ro	0,02921	0,028	55,954	1914,60	2839,58	69,04
planetlab2.fct.ualg.pt	0,02272	0,031	52,7	2318,35	2839,58	69,04
planetlab-um00.di.uminho.pt	0,02274	0,042	52,6	2311,45	2839,58	69,04
planetlab1.rd.tut.fi	0,02117	0,029	51,782	2444,32	2839,58	69,04
ple1.dmcs.p.lodz.pl	0,03012	0,021	50,396	1672,75	2839,58	69,04
ple2.tu.koszalin.pl	0,02702	0,021	50,326	1861,66	2839,58	69,04
planetlab1.pjwstk.edu.pl	0,01784	3,538	49,366	2568,23	2839,58	69,04
planetlab2.ifi.uio.no	0,01951	0,022	41,62	2132,21	2839,58	69,04
plab2-c703.uibk.ac.at	0,02268	0,059	40,939	1802,14	2839,58	69,04
planet-lab-node1.netgroup.uniroma2.it	0,01793	0,020	32,871	1832,15	2839,58	34,52
planetlab2.di.unito.it	0,00668	8,027	26,681	2793,24	2839,58	34,52
planetlab1.cs.uit.no	0,01952	0,020	64,618	3309,80	4259,37	69,04

Lokalizácia polohy prebehla pomocou 40 referenčných bodov, z ktorých však len 37 bolo aktuálne pri meraní dostupných. Doménové názvy sú uvedené v prvom stĺpci tabuľky, následne v druhom a treťom stĺpci sú uvedené hodnoty smernicovej rovnice priamky *bestline*, smernica k a posun priamky na osi y parameter q , uvedené pre každý referenčný bod. Tieto hodnoty priamky *bestline* sú vypočítavané navrhnutým algoritmom vysvetleným v predchádzajúcej kapitole 6.1.3. Nasledujúci stĺpec obsahuje namerané hodnoty oneskorenia RTT z uvedených referenčných bodov, kde v ďalšom stĺpci sú pomocou smernicovej rovnice priamky 6.1 prevedené na vzdialenosti. Posledné dva stĺpce tabuľky uvádzajú, do ktorého rozsahu je zadelený daný referenčný bod podľa maximálnej hodnoty vzdialenosti a maximálneho oneskorenia v tabuľke pre výpočet váh, tab. 6.2.

Všetky hodnoty, ktoré sú uvedené v stĺpcoch tab. 6.1, sú v skripte definované v multidimenzionálnom poli, s ktorým sa následne pracuje na výpočte váh. Počet referenčných bodov, podľa spomenutého zadelenia do oblastí oneskorenia a vzdialeností je v tab. 6.2. Rozsahy oblastí skript rieši tak, že z nameraných oneskorenia vypočíta priemer hodnôt oneskorenia a následne podľa násobkov vypočítaného priemeru zadeli dané referenčné body do podoblastí oneskorenia. To isté skript prevedie aj pre hodnoty vypočítaných vzdialeností pre jednotlivé referenčné body. V tejto tabuľke sa hodnoty následne podľa jednotlivých rozsahov vzdialeností sčítajú. Tento

Tab. 6.2: Tabuľka počtu referenčných bodov rozdelených podľa rozsahu nameraného oneskorenia a vzdialenosti.

Rozsahy oneskorenia [ms]	Rozsahy vzdialeností [km]		
	0–1419,79	1419,79–2839,58	2839,58–4259,37
0–34,52	20	2	0
34,52–69,04	2	11	1
Súčet referenčných bodov v rozsahu vzdialenosti	22	13	1

Tab. 6.3: Tabuľka normalizovaných hodnôt podľa rozsahu vzdialenosti.

Rozsahy oneskorenia [ms]	Rozsahy vzdialeností [km]			Súčet hodnôt v rozsahu oneskorenia
	0–1419,79	1419,79–2839,58	2839,58–4259,37	
0–34,52	0,91	0,15	0	1,06
34,52–69,04	0,09	0,85	1,0	1,94

súčet pre danú oblasť oneskorenia v ďalšom kroku podelí jednotlivé bunky počtov odpovedajúcich referenčných bodov, tým sa získajú tzv. normalizované hodnoty jednotlivých buniek, viď tab. 6.3.

Z tab. 6.3 sú hodnoty normalizovaných hodnôt premenu pre oblastí oneskorenia sčítané a rovnakým postupom ako pri normalizácii oblastí vzdialeností sú bunky normalizovaných hodnôt podelené súčtom normalizovaných hodnôt pre danú oblasť oneskorenia. Výsledkom tohto výpočtu sú získané váhy pre dané referenčné body, spadajúce pod danú oblasť oneskorenia a vzdialenosti. Výsledné váhy sú uvedené v tab. 6.4.

Tab. 6.4: Tabuľka vypočítaných váh pre referenčné body pri lokalizácii cieľa „ihmc.ens.fr“.

Rozsahy oneskorenia [ms]	Rozsahy vzdialeností [km]		
	0–1419,79	1419,79–2839,58	2839,58–4259,37
0–34,52	0,86	0,14	0
34,52–69,04	0,05	0,44	0,52

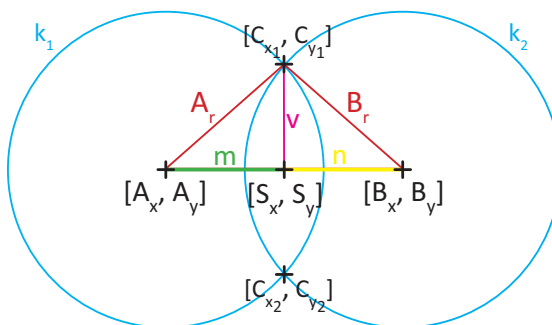
6.1.5 Určenie priesečníkov oblastí

Algoritmus v skripte *geoweight_script.php* pri počítaní súradníc priesečníkov oblastí s najväčšou váhou vychádza všeobecne z toho, že ak sú známe dve kružnice k_1, k_2 so súradnicami ich stredov $[A_x, A_y]$ a $[B_x, B_y]$, v tomto prípade sú to súradnice referenčných bodov, a taktiež je známy ich polomer A_r a B_r , v tomto prípade je to vzdialenosť určená najväčšou váhou pre danú oblasť okolo referenčného bodu, tak vieme vypočítať ich dva spoločné priesečníky. Prienikom kružníc získame dva priesečníky C_1 so súradnicami $[C_{x_1}, C_{y_1}]$ a C_2 so súradnicami $[C_{x_2}, C_{y_2}]$, názorná ukážka prieniku dvoch kružníc je na obr. 6.5. Avšak, aby prienikom kružníc vznikli dva požadované priesečníky musí byť splnená podmienka vyjadrená rovnicou 6.2, rovnice pri návrhu skriptu a uvedené v tejto kapitole sú čerpané z [7]:

$$(A_r + B_r) > d > (A_r - B_r) \quad (6.2)$$

kde vzdialenosť stredov d sa vypočíta podľa nasledujúcej rovnice 6.3:

$$d = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}. \quad (6.3)$$



Obr. 6.5: Nákres pre výpočet prieniku dvoch kružníc s dvoma priesečníkmi C_1 a C_2 .

Po splnení podmienky rovnice 6.2, navrhnutý skript vypočíta priesečníky C_1 a C_2 pomocou nasledujúcich vzťahov. Keďže stredy kružníc si je možné predstaviť ako dva body trojuholníka a hľadaný priesečník je tretím, tak vzdialenosť d a polomery A_r a B_r sú stranami tohto trojuholníka. Následne sa vzdialenosť d rozdelí na časť m a n tak, že vzniknú dva pravouhlé trojuholníky, viď rovnica 6.4.

$$m = \frac{(A_r^2 - B_r^2)}{2d} + \frac{d}{2} \quad (6.4)$$

Po rozdelení na časti m a n vzniknú dva pravouhlé trojuholníky, na ktoré je možné aplikovať Pytagorovu vetu pre výpočet výšky tohto trojuholníka, rovnicou 6.5.

$$v = \sqrt{A_r^2 - m^2} \quad (6.5)$$

Výpočet súradníc $[S_x, S_y]$ stredu S vzdialenosti medzi stredmi kružníc je dané rovnicou 6.6.

$$\begin{aligned} S_x &= A_x + \left(\frac{m}{d}\right) (B_x - A_x) \\ S_y &= A_y + \left(\frac{m}{d}\right) (B_y - A_y) \end{aligned} \quad (6.6)$$

Následne sa súradnice pre oba hľadané priesečníky $C_1[C_{x_1}, C_{y_1}]$ a $C_2[C_{x_2}, C_{y_2}]$ získajú výpočtom rovnicou 6.7 tak, že sa urobí zámena súradníc X a Y, keďže druhý priesečník je osovo prevrátený okolo spojnice stredu.

$$\begin{aligned} C_{x_{1,2}} &= S_x \mp \left(\frac{v}{d}\right) (A_y - B_y) \\ C_{y_{1,2}} &= S_y \pm \left(\frac{v}{d}\right) (A_x - B_x) \end{aligned} \quad (6.7)$$

Tento proces prepočtu navrhnutý skript prevedie pre každý referenčný bod s každým. Všetky vzniknuté priesečníky sú takto zapísané do poľa, z ktorých sa ešte vyradia tie, ktoré nepatria všetkým kružniciam.

6.1.6 Výpočet súradníc hľadaného cieľa

Po výpočte z predchádzajúcej kapitoly je získané pole priesečníkov kružníc oblastí s najväčšou váhou, ktoré sa nachádzajú vnútri všetkých kružníc oblastí alebo ležia na ich hranici. Tieto priesečníky sú v skripte následne zoradené algoritmom *Quick-Hull* aplikovaným v pomocnom skripte *convex_hull.php*, prevzatým z [24], kde autor skriptu vysvetľuje podrobnejšie princíp použitého zoradovacieho algoritmu.

Zo zaradených priesečníkov, tvoriace vrcholy polygónu, tak vznikne konvexná obálka polygónu ohraničujúca oblasť výskytu cieľovej stanice, kde presná poloha cieľa so súradnicami $[Cx, Cy]$ je daná rovnicami 6.8 [4].

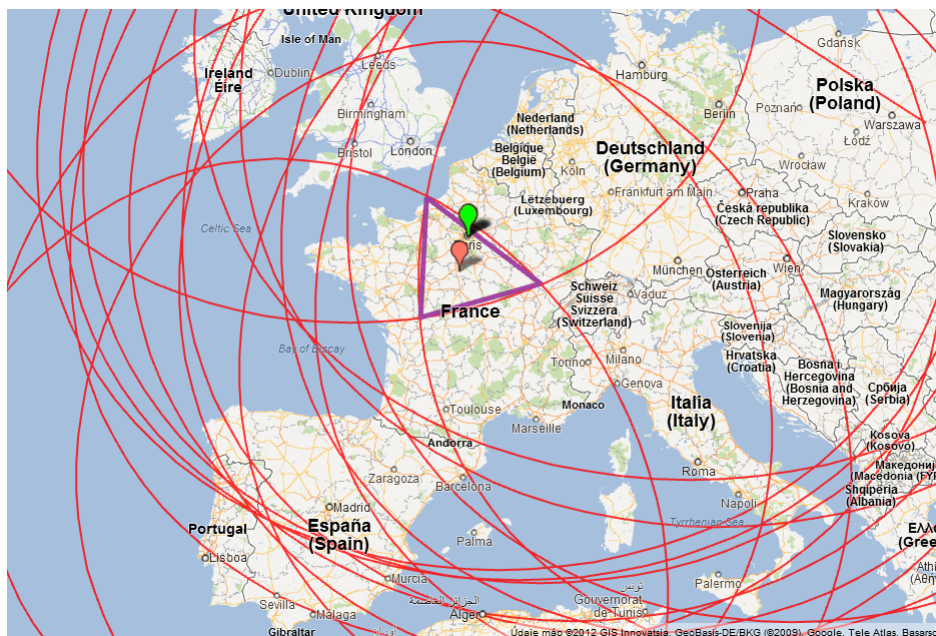
$$\begin{aligned} Cx &= \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \\ Cy &= \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i), \end{aligned} \quad (6.8)$$

kde oblasť polygónu A je daná nasledujúcou rovnicou 6.9:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i). \quad (6.9)$$

Poloha hľadaného cieľa pri ukážkovej lokalizácii hľadaného cieľa s IP adresou 129.199.13.24 a doménovým názvom „www.ihmc.ens.fr“ bola vypočítaná navrhnutým skriptom *geoweight_script.php*. Pre daný cieľ boli určené súradnice $Cx =$

47,80977 a $Cy = 1,99514$. Tento nájdený cieľ spolu s náčrtom kružníc oblastí s najväčšou váhou jednotlivých referenčných bodov uvedených v tab. 6.1 je na obr. 6.6, pričom červená značka na mape znázorňuje vypočítaný cieľ navrhnutým algoritmom a zelená značka znázorňuje reálnu polohu cieľovej stanice. Chyba medzi vypočítanou a skutočnou polohou cieľa je 117,6 km.



Obr. 6.6: Určenie výslednej polohy pre hľadajúcu stanicu s IP adresou 129.199.13.24 (www.ihmc.ens.fr) [8].

6.2 Meranie navrhnutou aplikáciou v reálnej sieti

Meranie navrhnutým algoritmom metódy GeoWeight, ktorý vytvoril Bc. Peter Tropp, spoločne s ostatnými návrhmi algoritmov aktívnych metód členov výskumnej skupiny v zložení Bc. Petr Harth (metóda CBG), Bc. Filip Dvořák (metóda Octant), Jakub Chmelař (metóda SOI) a taktiež pasívnej metódy od Tomáša Sousedíka (metóda GeoIP) prebehlo v období od 13. apríla 2012 do 20. apríla 2012. Pre meranie aktívnymi metódami boli využité vybrané referenčné body. Hľadané ciele boli spoločné pre všetky metódy, pre aktívne aj pasívne. Poloha týchto cieľov bola vopred známa, z dôvodu overenia a určenia chyby merania jednotlivých metód. Spôsob vytvárania datasetov je bližšie popísaný v kapitole 6.2.1.

Pre samotné meranie lokalizácie neznámych cieľových staníc navrhnutou aplikáciou metódy GeoWeight a ostatnými metódami bol využitý webový systém navrhnutý Ing. Lukášom Vernerom. Systém umožňuje výber z datasetu referenčných

bodov, hľadaných cieľov a lokalizačných metód, ktoré majú byť použité pre meranie. Následne je možné namerané výsledky zobrazit graficky na mape spolu so skutočnými polohami cieľov, prípadne merajúcich referenčných bodov. Namerané výsledky sú ukladané do lokálnej databáze na serveri webového systému, z ktorých je možné na stránkach zobrazit graf distribučnej funkcie chyby lokalizovanej polohy pre jednotlivé metódy [22].

6.2.1 Vstupné hodnoty merania

Vstupnými hodnotami pri testovaní lokalizácie navrhnutou aplikáciou metódy Geo-Weight bol v prvom rade dataset referenčných bodov PlanetLabu, od ktorého sa odvíja samotné meranie oneskorenia a presnosť vypočítanej závislosti oneskorenia na vzdialenosti, a v druhom rade dataset hľadaných staníc, ktorých presnú polohu bolo potrebné zistiť pre kontrolu funkčnosti a presnosti všetkých testovaných metód spoločného projektu lokalizácie staníc. Z toho dôvodu boli vytvorené datasety staníc, na ktorom sa podieľali členovia výskumnej skupiny v zložení Bc. Filip Dvořák, Bc. Petr Harth, Bc. Peter Tropp a Jakub Chmelař.

Dataset referenčných bodov

Dataset vytvoril člen výskumnej skupiny Jakub Chmelař. Výber referenčných bodov spočíval vo výbere uzlov siete PlanetLab umiestnených v rámci Európy. Podmienkou zvolenia uzlu bola jeho presná zemepisná poloha, aby nedochádzalo k skresleniu výsledkov meraní, preto boli súradnice v záznamoch siete PlanetLab pri výbere viacnásobne overené. Vyhladaním adresy sídla organizácie vlastniacej daný uzol boli v mapách firmy Google [8] zistené súradnice. Následne bol daný uzol nájdený i v databáze GeoIP. Pokiaľ sa súradnice daného uzlu zo záznamov siete PlanetLab zhodovali s nájdenými súradnicami polohy sídla organizácie, a taktiež so záznamom v databáze GeoIP bol vybraný uzol zvolený ako referenčný bod. Týmto výberom vznikol dataset referenčných bodov obsahujúci 140 uzlov siete PlanetLab, rozprestierajúcich sa rovnomerne v celej Európe, viď príloha A.1.

Pre úspešnú lokalizáciu cieľa spomínanými geolokalizačnými metódami musia byť vybrané referenčné body pravidelne dostupné, avšak pre prípad nedostupnosti niektorého z referenčných bodov obsahuje tento dataset viacero uzlov rovnakej organizácie, čiže s rovnakou geografickou polohou, čím sa dosiahne, že aspoň jeden uzol bude vždy s danou geografickou polohou dostupný.

Pre účely týždenného testovacieho merania bolo z vytvoreného datasetu 140 referenčných bodov následne členom výskumnej skupiny Bc. Petrom Troppom vybraných 40 najspoľahlivejších referenčných bodov. Výberu predchádzalo testovanie každého uzlu datasetu 140 referenčných bodov v pravidelných intervaloch jednej

hodiny v období 10 dní (31.03.2012 - 09.04.2012). Pri tomto testovaní došlo k niekoľkým problémom, ktoré dokázali nespoľahlivosť jednotlivých referenčných bodov, a preto boli následne z testovacieho datasetu vyradené.

Častým problémom bola úplná nedostupnosť referenčných bodov, čiže neodpovedali na požiadavky programu *ping* a nebolo možné sa na ne ani prihlásiť pomocou SSH spojenia. Príčinou mohol byť v tomto prípade aktuálny reštart uzlu alebo jeho vypnutie z dôvodu servisných opráv a pod. Ďalší problém nastával pri prihlasovaní cez SSH pripojenie, kde dochádzalo k chybnému overeniu verejného kľúča na strane daného uzlu, čiže nebolo možné sa k niektorým uzlom prihlásiť. Dôvodom mohli byť neaktuálne alebo úplne chýbajúce verejné kľúče pre užívateľa *cesnet_vutbr2* na danom uzli.

Vyradením uzlov, ktoré boli často nedostupné, prípadne dosahovali dlhú odozvu na požiadavky programu *ping* (rádovo desiatky sekúnd) alebo ku ktorým sa nebolo možné prihlásiť, vznikol dataset 40 najspoľahlivejších uzlov siete PlanetLab použitých pre testovacie meranie, zobrazenie vybraných uzlov na mape viď obr. 6.7.



Obr. 6.7: Mapa 40 vybraných referenčných bodov v Európe [22].

Dataset hľadaných staníc

Výber datasetu hľadaných staníc spočíval v zistení ich reálnej polohy, ktorá bola získaná z DNS záznamov LOC. Za pomoci skriptu autora Jeffa Hungerforda, ktorý nám uvoľnil svoj skript, bol následne upravený pre lepšie rozloženie záťaže dotazov na viacero DNS serverov, spomenutou výskumnou skupinou. Úlohou skriptu je po zadaní doménového mena vrátiť hodnotu LOC záznamu. Pôvodný autor mal na-

písaný tento skript v programovacom jazyku Pike⁶, posielajúci dotazy na rovnaký verejný DNS server, ale pre otestovanie zoznamu 4,5 milióna domén bolo nutné rozložiť záťaž na viacero serverov. Z tohto dôvodu bol vytvorený skript v jazyku Python⁷ s názvom DNSrotateLOClookup, ktorý pravidelne strieda dotazy na 16 verejných DNS serverov. Vstupom skriptu je len daný zoznam domén a vo výstupe je následne získaný LOC záznam uložený do súboru. Pre veľký počet testovaných domén bola záťaž rozdelená taktiež medzi členov výskumnej skupiny v zložení Bc. Filip Dvořák, Bc. Petr Harth a Bc. Peter Tropp.

Z už spomenutého zoznamu 4,5 milióna domén bolo však nájdených 181 s LOC záznamami. Všetky nájdené domény boli následne otestované programom *ping*, či odpovedajú na dotazy, pretože to je dôležitou podmienkou pri meraní oneskorenia spomenutými lokalizačnými metódami v kapitole 4. Túto podmienku splnilo len 143 domén, a z toho len 90 domén nachádzajúcich sa v Európe, týmto vznikol dataset hľadaných staníc s pracovným názvom „Denisa“. Príčinou tak malého množstva domén s LOC záznamami môže byť, že tieto záznamy nie sú povinné a správcovia domén ich musia zadávať ručne.

Z tohto datasetu následne členovia skupiny Bc. Filip Dvořák a Bc. Petr Harth dodatočne odstránili ciele, ktoré sa nachádzali v mori alebo neodpovedali obývaným oblastiam, vybrali tak 76 staníc, ktoré boli použité na testovacie meranie. Zoznam týchto hľadaných cieľov je v prílohe A.2, kde sú uvedené ich IP adresy, doménové názvy a súradnice. Tieto ciele sú názorne zobrazené na mape, viď obr. 6.8.



Obr. 6.8: Mapa geografických polôh hľadaných cieľov s DNS LOC záznamom v Európe [22].

⁶Programovací jazyk, viac na <http://pike.ida.liu.se/>.

⁷Programovací jazyk, viac na <http://www.python.org/>.

6.2.2 Výstupné namerané hodnoty

Nasledujúca tabuľka 6.5 je výsledkom týždenného testovania lokalizácie 76 cieľov navrhnutým skriptom pre metódu GeoWeight, a taktiež ostatných metód členov výskumnej skupiny. Keďže pre jednotlivé metódy prebehla lokalizácia cieľov s rôznym počtom meraní, boli tieto hodnoty pre daný cieľ priemerované.

Tab. 6.5: Výsledky merania testovaných metód lokalizácie geografickej polohy cieľov.

IP adresa	Doménový názov	Priemer chyby odhadu vzdialenosti [km] pre metódu				
		GeoWeight	SOI	CBG	Octant	GeoIP
131.188.32.37	2009.nwerc.eu	80,39	90,87	124,6	93,79	16,56
80.68.89.248	69lovesongs.info	548,84	178,49	377,95	422,38	292,89
81.187.30.81	aaisp.net.uk	236,75	107,52	0	0	471,47
193.205.194.23	alpha.science.unitn.it	401,92	154,66	221,67	334,09	1,33
156.35.96.172	bellman.ciencias.uniovi.es	628,41	400,5	534,46	120,52	1,79
129.132.98.37	cam.switch.ch	209,11	0,32	24,4	320,23	1,41
156.35.173.54	carleos.epv.uniovi.es	631,71	413,98	552,69	86,7	24,32
129.199.32.25	culturesciences.chimie.ens.fr	0	0	0	0	2,95
81.187.11.27	dell.wensley.org.uk	316,16	158,49	89,13	0	107,24
192.134.6.120	electron.nic.fr	184,76	174,54	0	133,82	0
80.68.89.248	elrino.co.uk	558,63	177,04	403,69	377,28	292,89
129.199.115.128	fip.phys.ens.fr	239,38	192,88	144,77	116,98	2,95
193.201.200.77	firedrake.org	328,11	94,38	0	215,97	287,91
193.109.80.1	fk.lutsk.ua	736,75	502,77	671,62	0	515,76
160.45.170.10	fu-berlin.de	317,36	6,64	196,76	344,17	9,87
83.175.178.18	goldengate.fydryk.com	360,22	248,83	567,2	0	1,39
156.35.119.120	horru.lsi.uniovi.es	692,96	386,88	392,45	384,29	24,32
134.96.102.171	is.uni-sb.de	329,84	61,58	132,62	307,82	4,23
193.175.80.161	j3e.de	491,73	60,38	74,06	91,21	0
194.87.13.69	koi8.pp.ru	48,05	6,21	2108,03	0	2,4
91.200.128.13	linkwave.it	277,79	346,86	295,47	354,58	3,36
195.220.94.165	listes.cru.fr	431,93	130,85	207,73	101,36	434,5
129.199.80.1	lumiere.ens.fr	187,2	189,94	141,45	237,75	2,95
83.218.25.88	mcb.net	421,97	456,34	560,4	277,41	162
82.238.220.82	nanardon.zarb.org	223,03	159,69	237,28	597,81	0,43
81.31.33.35	nomi.cz	213,09	23437	71,38	116,35	1,19
188.40.65.74	nona.net	542,38	501,21	480,74	302,19	614,06
212.111.4.214	ns3.cngroup.cz	217,3	79,16	203,96	169,29	8,69
156.35.94.1	petra.eutio.uniovi.es	0	379	478,89	300,67	1,79
129.199.129.64	quatramaran.ens.fr	106,99	185,8	146,3	130,6	2,95
134.225.1.128	rdg.ac.uk	220,62	132,13	114,3	383,09	3,81
89.207.56.140	rte.ie	105,58	11324	763,37	518,28	124,56
77.68.170.97	simpledns.com	294,35	214,99	436,73	47,27	2,29
91.220.127.245	sittingbourne.bellgrim.se	158,36	108,92	0	128,61	350,84
193.219.33.197	soften.ktu.lt	140,21	385,92	451,34	370,12	3,73
213.73.92.40	star.trek.org	87,44	394,01	399,08	427,79	27,9
81.187.252.184	stat.wensley.org.uk	245,32	171,44	229,51	468,19	107,23
87.121.7.244	stolitz.com	0	441,9	627,53	0	138,28
193.219.28.2	sunsite.icm.edu.pl	33,72	19391	19,13	346,12	4,89
130.59.108.36	switch.ch	45,79	0,47	5,66	177,42	1,54
129.242.5.90	uit.no	0	0	0	0	1,69
134.21.213.189	unifr.ch	105,12	123,24	125,57	89,34	0,74
80.81.76.82	village.albourne.com	512,27	501,17	446,99	468,42	308,62
195.39.234.226	wunderweib.de	126,42	163,75	193,21	360,41	0,36
129.199.30.64	www.biologie.ens.fr	127,57	195,65	188,04	156,14	0
80.87.131.127	www.bluemantle.co.uk	117,58	42,3	153,08	242,86	208,09
129.199.2.23	www.bourbaki.ens.fr	113,08	188,68	198,89	61,81	2,95
195.64.165.26	www.cg13.fr	130,26	532,7	507,74	1039,92	402,16
80.87.131.127	www.combinationfireplaces.co.uk	122,15	42,29	134,14	271,97	208,09
195.220.94.166	www.cru.fr	191,45	130,88	169,77	113,43	434,5
80.193.133.173	www.cyberquest.co.uk	83,96	39,94	239,09	171,95	177,54
129.199.13.75	www.delta.ens.fr	117,59	190,44	192,42	95,22	2,95
129.199.2.22	www.di.ens.fr	0	0	0	0	2,95
78.46.105.215	www.disch-systems.de	176,59	205,67	199,82	144,32	146,54
129.199.2.29	www.dmi.ens.fr	113,86	190,24	195,87	121,06	2,95
129.199.1.129	www.eleves.ens.fr	108,74	188,83	189,09	88,6	2,95
129.199.13.15	www.ens.fr	109,05	184,94	180,58	69,43	2,95
213.245.116.198	www.erasme.org	380,16	368,45	341,48	951,24	106,1
80.87.131.127	www.fletchingfc.co.uk	117,27	42,29	131,47	236,69	208,09
129.199.13.25	www.geographie.ens.fr	103,19	187,06	181,53	50,06	2,95

Pokračovanie na nasledujúcej strane ...

Tab. 6.5 – pokračovanie výsledkov merania testovaných metód.

IP adresa	Doménový názov	Priemer chyby odhadu vzdialenosti [km] pre metódu				
		GeoWeight	SOI	CBG	Octant	GeoIP
80.87.131.127	www.hcidata.co.uk	111,91	42,29	131,62	242,87	208,09
217.29.35.149	www.chatnbrett.de	275,24	131,6	157,33	83,15	224,78
129.199.13.24	www.ihmc.ens.fr	118,39	187,59	184,65	67,89	2,95
46.183.8.138	www.kentalc.gov.uk	0	146,56	176,49	249,02	306
80.87.131.127	www.la-potiniere.co.uk	115,81	42,29	132,42	537,9	208,09
129.199.119.106	www.lkb.ens.fr	123,49	200,29	173,94	122,11	2,95
129.199.120.253	www.lps.ens.fr	99,63	202,35	173,78	253,77	2,95
80.87.131.127	www.pevenseyparishcouncil.gov.uk	120,92	42,29	131,38	212,61	208,09
194.63.248.26	www.pgpi.org	81,16	42795	0	295	232,67
129.199.115.253	www.phys.ens.fr	166,78	188,29	192,87	198,58	2,95
78.47.160.16	www.roehnfried-hesse.de	395,08	445,97	457,68	356,25	291,67
80.87.131.127	www.shereparishcouncil.gov.uk	204,96	42,29	132,48	204,1	0
212.60.1.2	www.shlink.de	336,68	252,88	316,24	75,39	309,45
80.193.133.173	www.uk1.co.uk	77,6	39,53	127,33	359,25	177,54
80.87.131.127	www.whra.org.uk	171,24	42,29	131,17	345,07	208,09

6.3 Zhodnotenie a porovnanie výsledkov s ostatnými metódami lokalizácie

Vzhľadom k tomu, že meranie prebiehalo v rámci určitého obdobia a lokalizácia jednotlivých cieľov prebehla pri každej metóde s iným počtom opakovaní, sú výsledky v tejto práci pre jednotlivé hľadané ciele vypočítané priemerom hodnôt meraní pre daný cieľ. Namerané hodnoty boli prevzaté z databázy už spomenutého webového systému [22] a pomocou tabuľkového editora Microsoft Excel boli následne vytvorené grafy distribučnej funkcie, tiež nazývanej kumulovaná pravdepodobnosť, a jadrového odhadu hustoty pravdepodobnosti.

Podľa tabuľky 6.5 z predchádzajúcej kapitoly je možné vidieť aké výsledky dosahovala navrhnutá aplikácia metódy GeoWeight pri testovaní v rámci 40 vybraných referenčných bodov. Tieto namerané výsledky vystihuje taktiež graf distribučnej funkcie na obr. 6.9.

Z datasetu hľadaných staníc „Denisa“ z vybraných 76 cieľov, bolo navrhnutou aplikáciou metódy GeoWeight lokalizovaných 69, ostatné cieľové stanice v dobe merania pravdepodobne neodpovedali na požiadavky programu *ping*, alebo pri lokalizácii navrhnutým skriptom nedošlo k prienikom oblastí, z dôvodu podhodnotenia polohy hraníc oblastí. Pri celkovom počte meraní 177 bol priemerný počet meraní na jeden cieľ približne 2,57.

6.3.1 Distribučná funkcia priemernej chyby lokalizácie

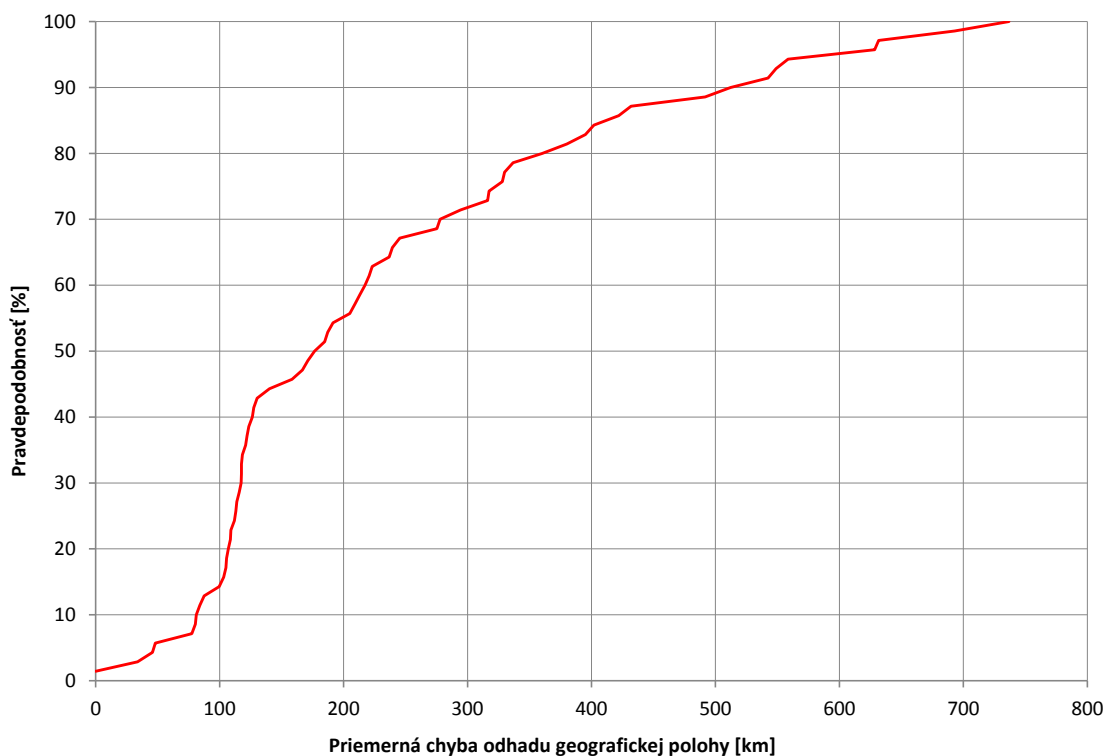
Distribučná funkcia (CDF⁸) udáva pravdepodobnosť, že náhodná veličina X nadobúda hodnotu menšiu alebo rovnako veľkú ako je zvolená hodnota x . Distribučná

⁸Skratka z anglického názvu Cumulative Distribution Function

funkcia je definovaná nasledujúcou rovnicou 6.10:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (6.10)$$

Viac o distribučnej funkcii je možné nájsť v [19].



Obr. 6.9: Graf distribučnej funkcie pre meranie metódou GeoWeight.

Z grafu distribučnej funkcie pre meranie zo 40 referenčných bodov a 69 lokalizovaných cieľov navrhnutou aplikáciou vyplýva, že

- 46% testovaných cieľov bolo lokalizovaných s chybou do 150 km,
- 61,4% cieľov bolo určených s chybou 220 km a menej a
- 89% testovaných cieľov bolo lokalizovaných s chybou odhadu do 500 km.

Priemerná chyba odhadu lokalizovanej polohy cieľa bola 239,85 km a medián chyby dosahoval 184,76 km. Najpresnejšie určenie polohy stanice bolo dosiahnuté s chybou 33,72 km pre cieľ s doménovým názvom „sunsite.icm.edu.pl“. Naopak najväčšia chyba lokalizovania polohy stanice bola približne 736,75 km od skutočnej polohy hľadanej stanice pri meraní cieľa s doménovým názvom „fk.lutsk.ua“.

6.3.2 Jadrový odhad hustoty priemernej chyby lokalizácie

Jadrový odhad hustoty (KDE⁹) je neparametrický spôsob ako určiť hustotu pravdepodobnosti náhodnej veličiny. Základným problémom tejto metódy zobrazenia je voľba šírky vyhladzovacieho okna, ktorá udáva parametre výsledných hodnôt. Pokiaľ je zvolená šírka okna malá, tak priebeh dosahuje mierne meniacu sa funkciu. Pri zvolení veľkej šírky okna vznikajú v priebehu funkcie pri miestach s nameranými hodnotami špičky. Jadrový odhad hustoty je definovaný nasledujúcou rovnicou 6.11, prevzatou z [20]:

$$\hat{f}(x, h) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n \phi\left(\frac{x - x_i}{h}\right), \quad (6.11)$$

kde $\hat{f}(x, h)$ je jadrový odhad hustoty f , ϕ je reálna nezáporná symetrická funkcia, tzv. jadro a h je už spomínaná šírka vyhladzovacieho okna. Viac o funkcií jadrového odhadu hustoty a voľbe šírky vyhladzovacieho okna je možné nájsť v [18, 20].

Grafy jadrovej hustoty pravdepodobnosti chyby odhadu geografickej polohy boli vytvorené za pomoci makra¹⁰ pre tabuľkový editor Microsoft Excel, ktorý zaručil vhodné nastavenie šírky vyhladzovacieho okna.

Na obr. 6.10 je možné vidieť zachytený jadrový odhad hustoty chyby pri lokalizácii polôh cieľov pre navrhnutý skript metódy GeoWeight, z ktorého vyplýva, že hodnoty okolo 130 km sa objavujú pri meraní najčastejšie.

6.3.3 Zhrnutie výsledkov všetkých testovaných metód

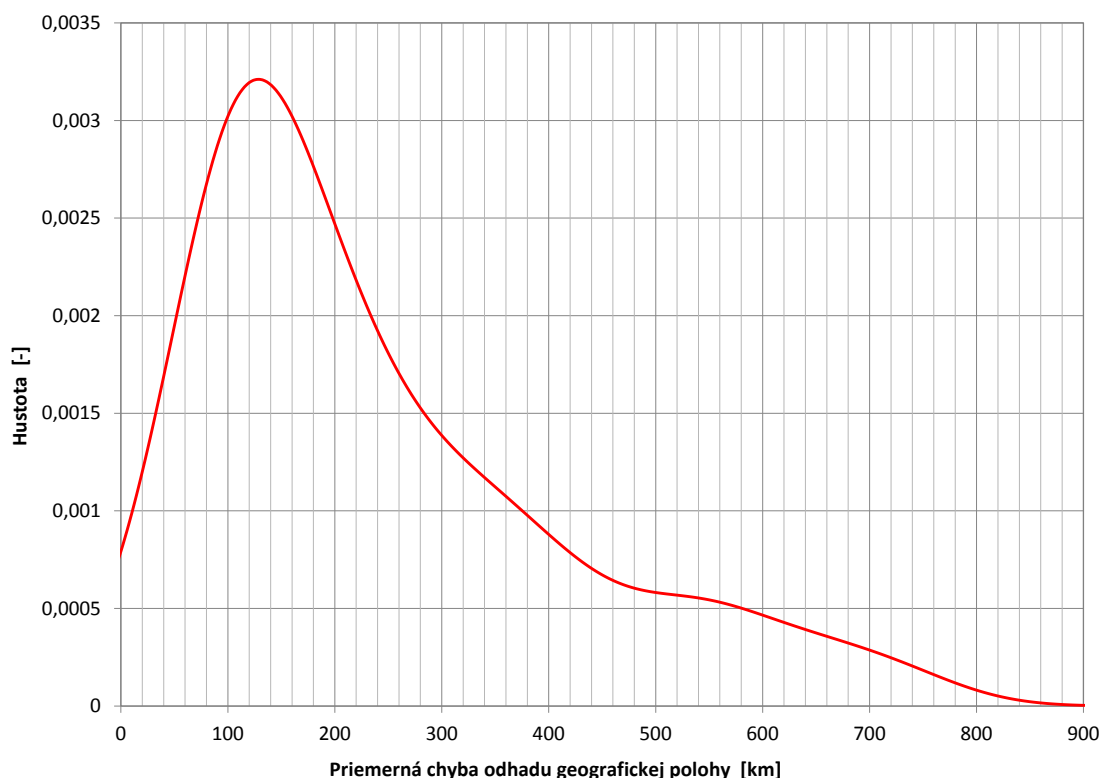
Pre porovnanie výsledkov merania navrhnutej aplikácie metódy GeoWeight s inými testovanými metódami členov výskumnej skupiny (metódy CBG, GeoIP, SOI a Octant) boli dosiahnuté výsledky lokalizácie staníc jednotlivých metód vynesené do prehľadného grafu distribučnej funkcie 6.11 a grafu jadrového odhadu hustoty priemernej chyby lokalizácie polohy.

V tab. 6.6 sú z nameraných hodnôt jednotlivých metód vypočítané hodnoty priemernej chyby odhadu lokalizácie geografickej polohy a medián testovaných metód. Tieto hodnoty sú zoradené podľa priemernej chyby odhadu. Z tohto pohľadu vychádza s najlepšimi výsledkami lokalizácie pasívna metóda GeoIP, pravdepodobne z dôvodu, že súradnice polôh cieľov sú v databáze definované správne. Problém by nastal vtedy, ak by pre daný cieľ neexistoval záznam, vtedy by polohu hľadaného cieľa nebolo možné určiť.

Z aktívnych metód lokalizácie dosahuje najlepšie výsledky metóda SOI, aj napriek tomu, že metóda nevyužíva zložitý algoritmus kalibrácie, ktorý by mal odhad

⁹Skratka z anglického názvu Kernel Density Estimation

¹⁰Makro na výpočet jadrovej hustoty pre tabuľkový editor Microsoft Excel dostupný na stránke http://www.rsc.org/images/Kernel_tcm18-25980.zip.



Obr. 6.10: Jadrový odhad hustoty priemernej chyby odhadu geografickej polohy pre meranie metódou GeoWeight.

Tab. 6.6: Zhrnutie výsledkov meraní testovaných metód zoradených podľa priemernej chyby odhadu geografickej polohy.

Metóda	GeoIP	SOI	GeoWeight	Octant	CBG
Priemerná chyba [km]	120,39	183,77	239,85	259,70	284,69
Medián [km]	13,22	172,99	184,76	237,22	192,87

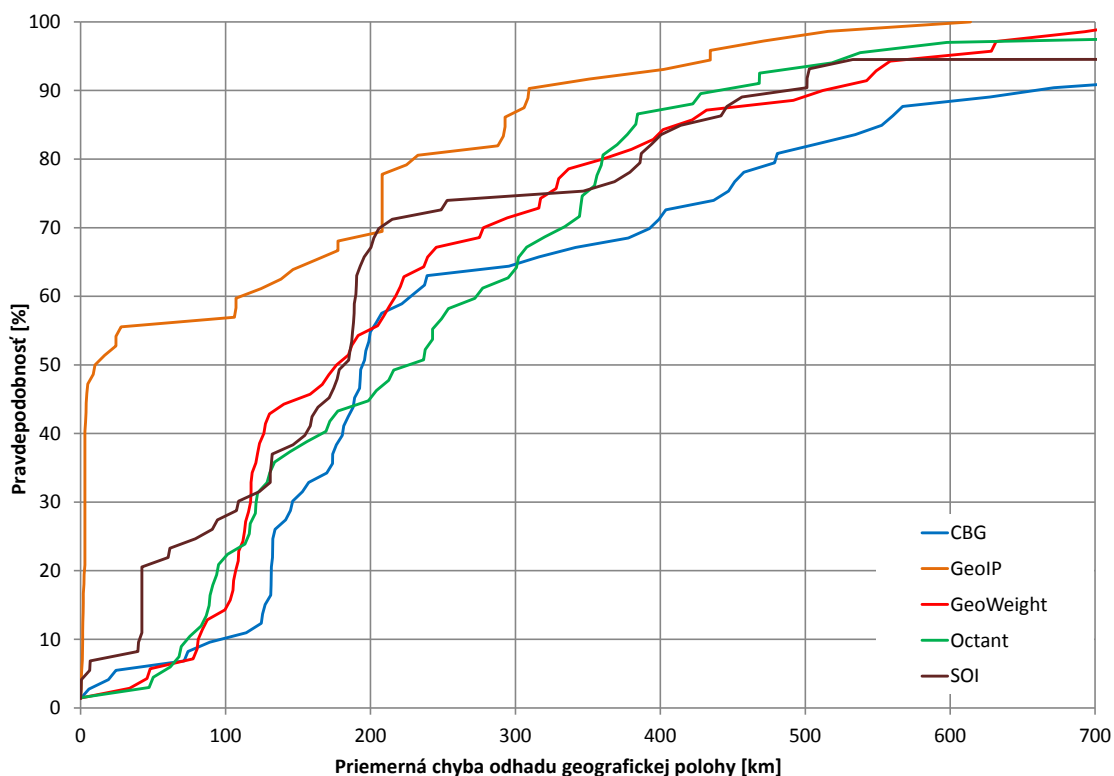
polohy upresňovať. Avšak to len potvrdzuje správnosť teórie prevodného vzťahu tejto metódy.

V poradí ako tretia najlepšia z testovaných metód sa podľa priemernej chyby odhadu ukázala metóda GeoWeight. Meranie potvrdilo, že aj keď metóda vychádza z princípov metódy CBG, dosahuje lepšie výsledky z dôvodu rozdelenia hraníc oblastí na menšie úseky, ktorým následne prideli váhy, ktoré definujú pravdepodobnosť, kde by sa cieľ mal s najväčšou pravdepodobnosťou nachádzať. Najhoršie výsledky z testovaných metód lokalizácie vyšla metóda CBG, aj keď rozdiel priemernej chyby medzi prvou najlepšou aktívnou metódou SOI je približne 100,92 km. Prav-

depodobne však pri meraní touto metódou dochádzalo k veľkému nadhodnoteniu vzdialeností hraníc, a tým k vzniku veľkej oblasti prieniku kde by sa mal nachádzať cieľ, z čoho je následne problém presne určiť polohu cieľa.

Distribučná funkcia pre všetky testované metódy

Najnázornejšie zhodnotenie všetkých testovaných metód je vidieť z grafu distribučnej funkcie na obr. 6.11, kde je možné podľa tvaru kriviek určiť, aká je pravdepodobnosť, že chyba odhadu geografickej polohy bude menšia alebo rovná určitému počtu kilometrov.



Obr. 6.11: Distribučná funkcia pre merania aktívnymi metódami lokalizácie polohy stanice.

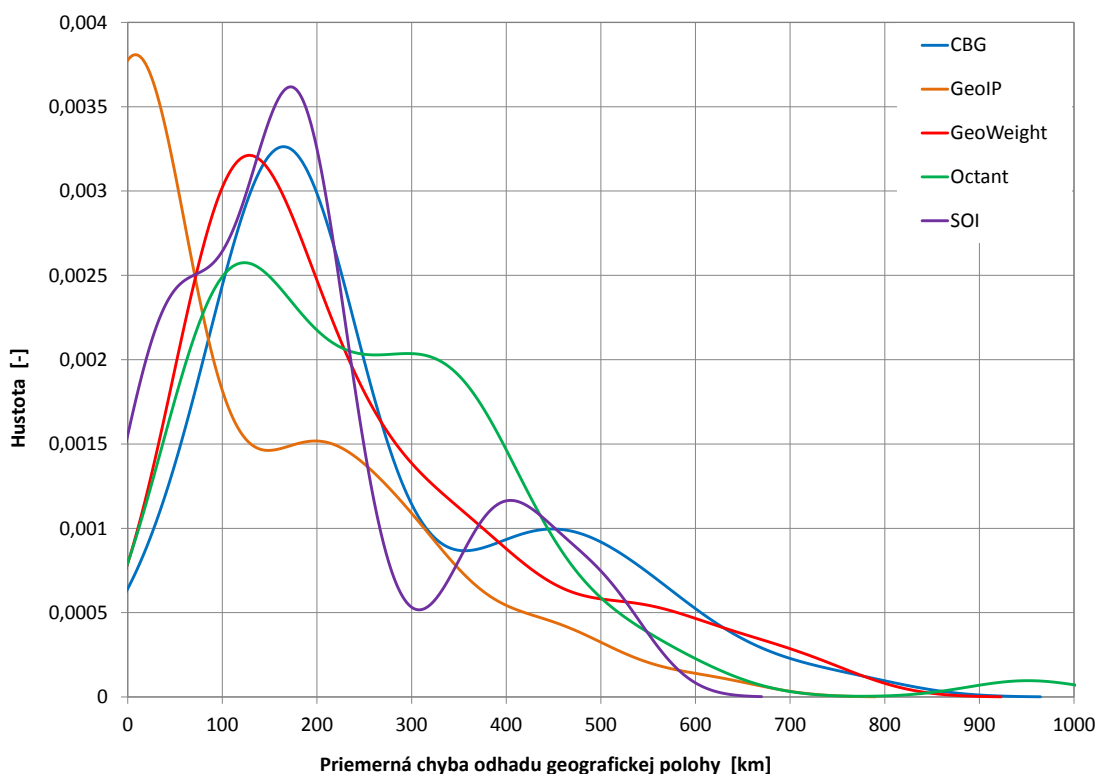
Z grafu vyplýva, že pasívna metóda GeoIP dosahuje značne najlepšie výsledky oproti ostatným aktívnym testovaným metódam v rozmedzí celého merania, preto nebude ďalej v tomto popise spomínaná ani hodnotená.

Pri chybe odhadu do 60 km dosahuje najlepšie výsledky metóda SOI, po nej CBG, GeoWeight a posledná je metóda Octant. V hodnote približne 65 km sa metódy CBG, GeoWeight a Octant dostávajú takmer na rovnakú hodnotu pravdepodobnosti, tu dochádza k zmene poradia, kde do chyby 120 km je metóda Octant na

druhom mieste, tesne za ňou GeoWeight a CBG. Pre metódu GeoWeight dochádza k zlomu v hodnote chyby približne od 117 km kedy sa dostáva pred všetky aktívne metódy, nasleduje metóda SOI, Octant a CBG. Pri chybe 185 km sa to mení, kde sa pred metódu Octant dostáva CBG. V chybe odhadu od 360 km sa pred všetky aktívne metódy dostáva metóda Octant, avšak rozdiely medzi ostatnými metódami sú v niektorých oblastiach priemerných chýb odhadu malé.

Jadrový odhad hustoty pre všetky testované metódy

Z grafu na obr. 6.12 jadrového odhadu hustoty pre všetky testované metódy je možné odčítať v okolí akých hodnôt sa najčastejšie vyskytujú priemerné chyby meraní odhadu geografickej polohy.



Obr. 6.12: Jadrový odhad hustoty priemernej chyby odhadu geografickej polohy pre všetky testované metódy.

Pre pasívnu metódu lokalizácie GeoIP je zrejme, že hodnoty meraní sa najviac objavujú v okolí 10 km, to potvrdzuje len to, že v databáze sa nachádzajú z veľkej časti presné polohy hľadaných cieľov. Rozprestrenosť priebehu funkcie, bez výrazných vrcholov, pri metóde Octant značí, že hodnoty priemernej chyby odhadu polohy sa nevyskytujú vo veľkej koncentrácii na jednom mieste ale sú rozložené na viacero

hodnôt. Mierný vrchol s najväčšou hustotou dosahuje v okolí chyby 120 km. Metóda SOI a CBG majú najväčšiu hustotu hodnôt priemernej chyby odhadu geografickej polohy v okolí 170 km. Navrhnutá aplikácia lokalizácie metódou GeoWeight dosahuje najväčšiu hustotu hodnôt chýb odhadu geografickej polohy v okolí 130 km.

7 ZÁVER

Cielom tejto diplomovej práce bolo zoznámiť sa s princípmi lokalizácie staníc v sieti Internet, čiže určením geografickej polohy stanice, užšie sa zamerať na lokalizáciu metódou GeoWeight s následným vytvorením algoritmu pre aplikovanie princípov tejto metódy v praxi.

V teoretickej časti práce sú vysvetlené metódy geolokalizácie, ktoré je možné rozdeliť na dva druhy. Metódy pasívne, ktoré vychádzajú len z porovnávania údajov hľadaných staníc s už známymi databázami, a aktívne, ktoré na lokalizovanie najčastejšie využívajú meranie oneskorenia dát v sieti. Z tohto dôvodu je jedna kapitola venovaná vysvetleniu miest vzniku oneskorení a nástrojom na ich meranie, kde najznámejším nástrojom je program *ping*, využitý v praktickej časti tejto práce. Snahou tejto časti práce bolo vystihnúť hlavnú podstatu daných metód, ich postupy a techniky určovania cieľa. Popisovanými aktívnymi metódami v tejto práci sú: GeoPing, ShortestPing, Constraint-Based Geolocation (CBG), Speed of Internet (SOI), Octant a užšie vysvetlená je metóda GeoWeight, ktorá bola využitá v praktickej časti tejto práce na návrh algoritmu pre lokalizáciu neznámej cieľovej stanice. Prvé dve spomenuté metódy sú v svojej podstate jednoduché a neprepočítavajú namerané oneskorenie na reálnu vzdialenosť, polohu cieľa určujú len na základe približnej zhody polohy referenčných bodov nachádzajúcich sa v ich blízkosti. Ostatné spomenuté metódy lokalizácie prichádzajú s rôznymi prístupmi vytvárania konštánt k prepočtu nameraného oneskorenia na reálnu vzdialenosť. Jedným z hlavných cieľov tejto práce bolo overenie funkčnosti navrhnutého algoritmu danej metódy GeoWeight. Z tohto dôvodu bola využitá experimentálna sieť PlanetLab, ktorej uzly zastávali funkciu referenčných bodov, od ktorých sa následne vykonávalo meranie oneskorenia.

Praktická časť práce je venovaná návrhu algoritmu na určenie geografickej polohy z nameraného oneskorenia už spomenutou metódou GeoWeight, ktorá vychádza z princípov metódy CBG. Navrhnutý algoritmus sa skladá z dvoch častí, kde prvotným cieľom bolo získať prevodnú charakteristiku nameraného oneskorenia RTT na vzdialenosť, takzvanou kalibráciou. Tá prebieha pomocou navrhnutého skriptu s názvom *bestline_script.php*, kde sa pre jednotlivé referenčné body datasetu uzlov siete PlanetLab pravidelne prepočítavajú závislosti oneskorenia na vzdialenosti, tzv. priamky *bestline*. Jednotlivé parametre týchto priamok, smernica priamky k a posun na osi y q , sú následne ukladané do súboru a použité v druhom navrhnutom skripte k prevodu nameraného oneskorenia na vzdialenosť, kde slúžia pri definovaní vzdialeností hraníc pri hľadaní cieľovej stanice. Keďže metóda GeoWeight vychádza z myšlienky, že cieľ je od jednotlivých referenčných bodov umiestnený s rôznou vzdialenosťou, preto rozdiel medzi minimálnou a maximálnou vzdialenosťou nerieši ako metóda CBG určením len jednej vzdialenosti hranice pre daný referenčný

bod, ale vzdialenosť hranice rozdelí na menšie úseky, ktorým postupne pridelí váhy podľa pravdepodobnosti výskytu cieľa pre daný referenčný bod. Následne sa pomocou princípu multilaterácie vytvoria pomyselnými kružnicami v okolí jednotlivých referenčných bodov oblasti, ktorých prienikom vznikne niekoľko podoblastí možného výskytu cieľovej stanice, avšak len tá s najväčšou váhou v súčte je považovaná za cieľovú a jej ťažisko je bod vyjadrujúci súradnice cieľa. To bolo aplikované v navrhnutom skripte s názvom *geoweight_script.php*, ktorého podrobnejšie vysvetlenie sa nachádza v kapitole 6.1.

Navrhnutý algoritmus bol nasadený v reálnej sieti a otestovaný v rámci jedného týždňa (13.04.2012 - 20.04.2012), kedy boli testované aj algoritmy ostatných metód navrhnuté členmi výskumnej skupiny. Testovanie prebehlo za pomoci grafického webového systému, ktorý navrhol Ing. Lukáš Verner, do ktorého databázy boli merané výsledky zaznamenávané. Keďže pre každú metódu bol vykonaný rôzny počet meraní lokalizácie jednotlivých cieľov, boli pre účely tejto práce výsledky meraní pre každý cieľ spriemerované. Z výsledkov tohto testovania lokalizácie hľadaných cieľových staníc vyšiel algoritmus metódy GeoWeight navrhnutý v tejto práci ako tretí najlepší v rámci testovaných metód vyhodnotený podľa priemernej chyby odhadu, predbehol tak metódy Octant a CBG. Priemerná chyba odhadu geografickej polohy navrhnutého algoritmu tak dosiahla 239,85 km a medián 184,76 km. Tieto výsledky boli získané z lokalizovania 76 cieľových staníc za pomoci 40 referenčných bodov, od ktorých prebiehala kalibrácia a následne meranie oneskorenia k cieľu.

LITERATÚRA

- [1] ARIF, M. J.; KARUNASEKERA, S. *GeoWeight: Internet Host Geolocation Based on a Probability Model for Latency Measurements*. ACSC [online]. 2010, 102, [cit. 2011-10-11]. Dostupné z WWW: . ISSN 978-1-920682-83-5.
- [2] BALEJ, Jiří; KOMOSNÝ, Dan. *Zdroje zpoždění při komunikaci v Internetu*. [online]. roč.2010, č.42, 21.6.2010, [cit. 2011-11-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/download/zdroje-zpozdeni-pri-komunikaci-v-internetu>>. ISSN 1213-1539.
- [3] BOVY, C. J., et al. *Analysis of End-to-end Delay Measurements in Internet*. In *Passive and Active Measurement Conference* [online]. Fort Collins, CO, USA : [s.n.], 2002 [cit. 2011-11-26]. Dostupné z WWW: <http://www.pamconf.net/2002/Analysis_of_End_to_end_Delay_Measurements_in_Internet.pdf>. ISSN 978-1-920682-83-5.
- [4] BOURKE, Paul. *Polygon Area and Centroid: Calculating the area and centroid of a polygon*. [online]. July 1988 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/geometry/polyarea/>>.
- [5] CSIRT - FAQ. *Co je database RIPE?* [online]. c2011 [cit. 2011-11-21]. Dostupné z WWW: <<https://www.csirt.cz/page/885/faq/#cojeripe>>.
- [6] *Geolokace* In Wikipedia: the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 7. 2. 2007, last modified on 1. 9. 2011 [cit. 2011-11-20]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Geolokace>>.
- [7] *Geometrie: Numerický výpočet průniku dvou kružnic* In: Wikiknihy [online]. 23. 1. 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikibooks.org/wiki/Geometrie/Numerický_výpočet_průniku_dvou_kružnic>.
- [8] GOOGLE. *Mapy Google* [online]. ©2012 [cit. 2012-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://maps.google.com/>>.
- [9] GUEYE, B., et al. *Constraint-based Geolocation of Internet Hosts*. IEEE/ACM Transactions on Networking. 2004, no. 6, s. 288-293. Dostupné taktiež z WWW: <<http://conferences.sigcomm.org/imc/2004/papers/p288-gueye.pdf>>.
- [10] Gueye, B., Uhlig, S., Ziviani, A., and Fdida, S. *NETWORKING 2006. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems*. Springer

- Berlin/Heidelberg, 2006, ch. Leveraging Buffering Delay Estimation for Geolocation of Internet Hosts, pp. 319-330. ISBN 978-3-540-34192-5.
- [11] KATZ-BASSETT, E., et al. *Towards IP geolocation using delay and topology measurements*. In *Internet Measurement Conference (IMC)*. New York : ACM, 2006. s. 71-84.
- [12] KOPEČEK, T. *Nalezení fyzické pozice stanice v síti Internet*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 57 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Dan Komosný, Ph.D.
- [13] *Linux / Unix Command: ping*. A PART OF THE NEW YORK TIMES COMPANY. *About.com* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <http://linux.about.com/od/commands/l/blcmdl8_ping.htm>.
- [14] NAVRÁTIL, Jiří. *PlanetLab - model budoucího Internetu*. Zpravodaj ÚVT MU [online]. 2006, XVI, 5, [cit. 2011-11-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.ics.muni.cz/bulletin/articles/525.html>>. ISSN 1212-0901.
- [15] NYGRÝN, Pavel. *Najděte se i bez GPS*. Navigovat.cz [online]. 14.12.2010 [cit. 2011-11-27]. Dostupné z WWW: <<http://navigovat.cz/clanky/najdete-se-i-bez-gps/sc-265>>.
- [16] PADMANABHAN, Venkata N.; SUBRAMANIAN, Lakshminarayanan. *An Investigation of Geographic Mapping Techniques for Internet Hosts*. In *Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. New York : ACM, 2001. s. 173-185.
- [17] *PlanetLab: An open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services*. [online]. c2007 [cit. 2011-11-19]. PlanetLab. Dostupné z WWW: <<http://www.planet-lab.org/>>.
- [18] ŘEZÁČ, Martin. *Jádrové odhady hustoty*. [online]. 2007 [cit. 2012-05-16]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Ivanka Horová. Dostupné z WWW: <<http://theses.cz/id/6vbtxn/>>.
- [19] SYNEK, Václav. *Rozdělení*. UJEP. [online]. Ústí nad Labem, 2011 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://fzp.ujep.cz/synek/statistika/prednasky/less3aRoz.doc>>.
- [20] THOMPSON, Chair M. *Representing data distributions with kernel density estimates*. In: *Amc technical brief* [online]. Royal Society of Chemistry, 2006 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.rsc.org/images/brief4_tcm18-25925.pdf>.

- [21] *Using NSLOOKUP for DNS Server diagnosis.* [online]. c2011 [cit. 2011-11-21]. WindowsNetworking.com. Dostupné z WWW: <http://www.windowsnetworking.com/articles_tutorials/Using-NSLOOKUP-DNS-Server-diagnosis.html>.
- [22] VERNER, Lukáš. *IP Geolocation. IP Geolocation of Internet Nodes* [online]. ©2011 dinesgroup.org [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://betka.utko.feec.vutbr.cz/geoloc/>>.
- [23] *What is the meaning of Geolocation? - Technology, Innovation, Internet and Security Science* [online]. c2011 [cit. 2011-11-20]. Geolocation. Dostupné z WWW: <<http://www.security-science.com/security-encyclopedia/item/geolocation>>.
- [24] WESTHOFF, Jakob. *Calculate a convex hull - The QuickHull algorithm.* [online]. 21 Oct 2009 [cit. 2011-12-19]. Dostupné z WWW: <http://westhoffswelt.de/blog/0040_quickhull_introduction_and_php_implementation.html>.
- [25] WONG, Bernard; STOYANOV, Ivan; SIRER, Emin Gün. *Octant: A Comprehensive Framework for the Geolocalization of Internet Hosts.* In Proceedings of Symposium on Networked System Design and Implementation [online]. Massachusetts : Cambridge, April 2007 [cit. 2011-12-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.security-science.com/security-encyclopedia/item/geolocation>>.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

- CBG Constant-Based Geolocation – geolokalizačná metóda
- DNS Domain Name Server – systém doménových mien
- GPS Global Position System – globálny polohový systém
- ICMP Internet Control Message Protocol – protokol riadiacich správ
- IP Internet Protocol – protokol pre prenos dát cez paketové siete
- IPTV Internet Protocol TV – služba distribujúca digitálnu televíziu pomocou IP protokolu
- P2P Peer-to-peer – typ architektúry počítačovej siete, rovný s rovným
- PHP programovací jazyk
- PIKE programovací jazyk
- Ping nástroj na meranie oneskorenia RTT
- PYTHON programovací jazyk
- RB Referenčný Bod – stanica (počítač, server) v úlohe bodu so známou polohou
- RTT Round Trip Time – výraz pre obojsmerné oneskorenie
- SOI Speed Of Internet – geolokalizačná metóda
- SSH Secure Shell – zabezpečený komunikačný protokol
- SSID Service Set Identifier – jedinečný identifikátor každej WiFi siete
- TBG Topology Based Geolocation – geolokalizačná metóda
- URL Uniform Resource Locator – zjednodušene adresa lokácie na sieti Internet
- VoIP Voice over IP – telefónia pracujúca cez TCP/IP

ZOZNAM PRÍLOH

A	Príloha vstupných hodnôt	67
A.1	Dataset referenčných bodov PlanetLabu	67
A.2	Dataset hľadaných cieľov	69
B	Obsah CD	71

A PRÍLOHA VSTUPNÝCH HODNÔT

A.1 Dataset referenčných bodov PlanetLabu

Zelenou vyznačené riadky v tabuľkách tvoria skupiny referenčných bodov PlanetLabu a hľadaných cieľov použitých pre testovacie meranie.

Tab. A.1: Dataset referenčných bodov PlanetLabu.

Site name	HostName	IP address	Latitude	Longitude
Max Planck Institute for Software Systems	planetlab01.mpi-sws.mpg.de	139.19.142.1	49.257498	7.045423
Max Planck Institute for Software Systems	planetlab02.mpi-sws.mpg.de	139.19.142.2	49.257498	7.045423
Max Planck Institute for Software Systems	planetlab03.mpi-sws.mpg.de	139.19.142.3	49.257498	7.045423
Max Planck Institute for Software Systems	planetlab04.mpi-sws.mpg.de	139.19.142.4	49.257498	7.045423
Max Planck Institute for Software Systems	planetlab05.mpi-sws.mpg.de	139.19.142.5	49.257498	7.045423
Max Planck Institute for Software Systems	planetlab06.mpi-sws.mpg.de	139.19.142.6	49.257498	7.045423
CESNET - Czech Education and Research Network	planetlab1.fit.vutbr.cz	147.229.10.250	49.22684	16.596152
CESNET - Czech Education and Research Network	planetlab1.cesnet.cz	195.113.161.82	49.22684	16.596152
CESNET - Czech Education and Research Network	planetlab2.cesnet.cz	195.113.161.83	49.22684	16.596152
Space Monitoring Data Center SINP MSU	plab-1.sinp.msu.ru	213.131.1.101	55.702428	37.531528
Space Monitoring Data Center SINP MSU	plab-2.sinp.msu.ru	213.131.1.102	55.702428	37.531528
Russian Research Centre Kurchatovskiy Institute	pl1.grid.kiae.ru	144.206.66.56	55.801389	37.476944
Russian Research Centre Kurchatovskiy Institute	pl2.grid.kiae.ru	144.206.66.58	55.801389	37.476944
Koc University	planet1.ku.edu.tr	88.255.65.219	41.204958	29.073858
Koc University	planet2.ku.edu.tr	88.255.65.220	41.204958	29.073858
Universita di Napoli Federico II	planetlab01.dis.unina.it	143.225.229.236	40.828915	14.191273
Universita di Napoli Federico II	planetlab02.dis.unina.it	143.225.229.238	40.828915	14.191273
Universite Catholique de Louvain	onelab1.info.ucl.ac.be	130.104.72.200	50.669611	4.612264
Universite Catholique de Louvain	onelab2.info.ucl.ac.be	130.104.72.201	50.669611	4.612264
Universite Catholique de Louvain	onelab3.info.ucl.ac.be	130.104.72.213	50.669611	4.612264
Warsaw University of Technology Europe	ple1.ise.pw.edu.pl	194.29.150.131	52.220278	21.010556
Warsaw University of Technology Europe	ple2.ise.pw.edu.pl	194.29.150.132	52.220278	21.010556
Warsaw University of Technology Europe	napa1.tele.pw.edu.pl	194.29.150.137	52.220278	21.010556
Warsaw University of Technology Europe	napa2.tele.pw.edu.pl	194.29.150.138	52.220278	21.010556
Warsaw University of Technology Europe	napa3.tele.pw.edu.pl	194.29.150.139	52.220278	21.010556
Warsaw University of Technology Europe	napa4.tele.pw.edu.pl	194.29.150.140	52.220278	21.010556
Universidad Carlos III Madrid	planetlab1.uc3m.es	163.117.253.22	40.33256	-3.765966
Universidad Carlos III Madrid	planetlab2.uc3m.es	163.117.253.23	40.33256	-3.765966
delab-auth	planet1.itc.auth.gr	155.207.48.21	40.63	22.958056
delab-auth	planet2.itc.auth.gr	155.207.48.52	40.63	22.958056
PC2	plane-lab-pb1.uni-paderborn.de	192.26.179.68	51.708056	8.772222
PC2	plane-lab-pb2.uni-paderborn.de	192.26.179.69	51.708056	8.772222
University of Catania - Computer Science and Telecommunications Engineering	gschembra3.diit.unict.it	151.97.9.224	37.52552	15.073854
University of Catania - Computer Science and Telecommunications Engineering	gschembra4.diit.unict.it	151.97.9.225	37.52552	15.073854
Universitat Politecnica de Catalunya	planetlab3.upc.es	147.83.30.164	41.389444	2.115833
Universitat Politecnica de Catalunya	planetlab1.upc.es	147.83.30.166	41.389444	2.115833
Universitat Politecnica de Catalunya	planetlab2.upc.es	147.83.30.167	41.389444	2.115833
INRIA Nancy - Grand Est	host3-plb.loria.fr	152.81.47.4	48.664607	6.15788
INRIA Nancy - Grand Est	host4-plb.loria.fr	152.81.47.5	48.664607	6.15788
Polish-Japanese Institute of Information Technology (PJIT)	planetlab1.pjwstk.edu.pl	148.81.140.193	52.223787	20.994353
Polish-Japanese Institute of Information Technology (PJIT)	planetlab2.pjwstk.edu.pl	148.81.140.194	52.223787	20.994353
Universitat Pompeu Fabra - NeTS	planetlabpc1.upf.edu	193.145.46.129	41.403477	2.194672
Universitat Pompeu Fabra - NeTS	planetlabpc2.upf.edu	193.145.46.130	41.403477	2.194672
ETH Zuerich	planetlab02.ethz.ch	192.33.90.196	47.376417	8.548103
ETH Zuerich	planetlab01.ethz.ch	192.33.90.195	47.376417	8.548103
Blekinge Institute of Technology	itchy.comlab.bth.se	194.47.148.170	56.181389	15.590556
Blekinge Institute of Technology	scratchy.comlab.bth.se	194.47.148.172	56.181389	15.590556
Escuela Politecnica Superior	ops.ii.uam.es	150.244.58.159	40.505903	-3.67016
Escuela Politecnica Superior	utet.ii.uam.es	150.244.58.161	40.505903	-3.67016
KTH	planetlab1.s3.kth.se	130.237.50.124	59.347222	18.072778
KTH	planetlab2.s3.kth.se	130.237.50.125	59.347222	18.072778
Troyes University of Technology	planetlab1.utt.fr	194.254.215.11	48.269155	4.067087
Troyes University of Technology	planetlab2.utt.fr	194.254.215.12	48.269155	4.067087
University of Essex	uoep1.essex.ac.uk	155.245.47.225	51.87633	0.94487
University of Essex	uoep2.essex.ac.uk	155.245.47.226	51.87633	0.94487
Laboratoire d'Informatique de Grenoble	planetlab-1.imag.fr	129.88.70.226	45.19412	5.768552

Pokračovanie na nasledujúcej strane...

Tab. A.1 – pokračovanie datasetu referenčných bodov PlanetLabu.

Site name	HostName	IP address	Latitude	Longitude
Laboratoire dInformatique de Grenoble	planetlab-2.imag.fr	129.88.70.227	45.19412	5.768552
Eotvos Lorand University	planet2.elte.hu	157.181.175.248	47.474429	19.061725
Eotvos Lorand University	planet1.elte.hu	157.181.175.249	47.474429	19.061725
IBBT	planck227ple.test.ibbt.be	193.191.148.227	51.039532	3.740973
IBBT	planck228ple.test.ibbt.be	193.191.148.228	51.039532	3.740973
University of Basel, Switzerland	planetlab-1.cs.unibas.ch	192.43.193.71	47.55858	7.5836
University of Basel, Switzerland	planetlab-2.cs.unibas.ch	192.43.193.72	47.55858	7.5836
University of Parma	planet1.unipr.it	160.78.253.31	44.800607	10.325764
University of Parma	planet2.unipr.it	160.78.253.32	44.800607	10.325764
University of Leipzig	planetlab1.informatik.uni-leipzig.de	139.18.38.190	51.339	12.379
University of Leipzig	planetlab2.informatik.uni-leipzig.de	139.18.38.191	51.339	12.379
Technical University of Lodz	ple1.dmcs.p.lodz.pl	212.51.218.235	51.753056	19.45
Technical University of Lodz	ple2.dmcs.p.lodz.pl	212.51.218.237	51.753056	19.45
University of Athens	zoi.di.uoa.gr	195.134.71.129	37.96848	23.76684
University of Athens	kostis.di.uoa.gr	195.134.71.133	37.96848	23.76684
The Koszalin University of Technology	ple1.tu.koszalin.pl	62.108.171.74	54.203611	16.197222
The Koszalin University of Technology	ple2.tu.koszalin.pl	62.108.171.76	54.203611	16.197222
Universite de Liege	planetlab1.montefiore.ulg.ac.be	139.165.12.211	50.583768	5.560327
Universite de Liege	planetlab2.montefiore.ulg.ac.be	139.165.12.212	50.583768	5.560327
Petru Maior University of Targu Mures	planetlab1.upm.ro	193.226.19.30	46.546667	24.568333
Petru Maior University of Targu Mures	planetlab2.upm.ro	193.226.19.31	46.546667	24.568333
Tampere University of Technology	planetlab1.rd.tut.fi	193.166.167.4	61.449411	23.859975
Tampere University of Technology	planetlab2.rd.tut.fi	193.166.167.5	61.449411	23.859975
University of Wuerzburg	planetlab1.informatik.uni-wuerzburg.de	132.187.230.1	49.788056	9.935278
University of Wuerzburg	planetlab2.informatik.uni-wuerzburg.de	132.187.230.2	49.788056	9.935278
Technische Universitaet Berlin	planetlab02.tkn.tu-berlin.de	130.149.49.137	52.511944	13.326389
Technische Universitaet Berlin	planetlab01.tkn.tu-berlin.de	130.149.49.136	52.511944	13.326389
Poznan Supercomputing and Networking Center	planetlab-1.man.poznan.pl	150.254.212.147	52.411625	16.917111
Poznan Supercomputing and Networking Center	planetlab-2.man.poznan.pl	150.254.212.148	52.411625	16.917111
Netgroup at University of Rome Tor Vergata	planet-lab-node1.netgroup.uniroma2.it	160.80.221.37	41.850863	12.619772
Netgroup at University of Rome Tor Vergata	planet-lab-node2.netgroup.uniroma2.it	160.80.221.39	41.850863	12.619772
IRISA	peeramide.irisa.fr	131.254.208.10	48.116529	-1.639634
IRISA	peeramidion.irisa.fr	131.254.208.11	48.116529	-1.639634
IRISA	inriarenn1.irisa.fr	131.254.208.12	48.116529	-1.639634
IRISA	inriarenn2.irisa.fr	131.254.208.13	48.116529	-1.639634
University of Vienna	ple01.fc.univie.ac.at	131.130.69.162	48.213056	16.359722
University of Vienna	ple02.fc.univie.ac.at	131.130.69.164	48.213056	16.359722
CCTC / Universidade do Minho	planetlab-um00.di.uminho.pt	193.136.19.13	41.5608	-8.3968
CCTC / Universidade do Minho	planetlab-um10.di.uminho.pt	193.136.19.29	41.5608	-8.3968
University of Cambridge	planetlab1.xeno.cl.cam.ac.uk	128.232.103.201	52.210684	0.09259
University of Cambridge	planetlab2.xeno.cl.cam.ac.uk	128.232.103.202	52.210684	0.09259
University of Cambridge	planetlab3.xeno.cl.cam.ac.uk	128.232.103.203	52.210684	0.09259
ITEC, Klagenfurt University	plab1-itec.uni-klu.ac.at	143.205.172.11	46.616389	14.265
ITEC, Klagenfurt University	plab2-itec.uni-klu.ac.at	143.205.172.12	46.616389	14.265
University of Konstanz	dannan.disy.inf.uni-konstanz.de	134.34.246.4	47.69	9.188
University of Konstanz	chronos.disy.inf.uni-konstanz.de	134.34.246.5	47.69	9.188
University College Dublin	planetlab-node-01.ucd.ie	193.1.170.135	53.307506	-6.222264
University College Dublin	planetlab-node-02.ucd.ie	193.1.170.136	53.307506	-6.222264
Universidad Publica de Navarra	planetlab1.tlm.unavarra.es	130.206.158.138	42.799112	-1.635702
Universidad Publica de Navarra	planetlab2.tlm.unavarra.es	130.206.158.140	42.799112	-1.635702
University of Stuttgart - IPVS	planetvs1.informatik.uni-stuttgart.de	129.69.210.96	48.781667	9.175278
University of Stuttgart - IPVS	planetvs2.informatik.uni-stuttgart.de	129.69.210.97	48.781667	9.175278
Zuse Institute Berlin	planet1.zib.de	130.73.142.87	52.455454	13.297738
Zuse Institute Berlin	planet2.zib.de	130.73.142.88	52.455454	13.297738
University of Innsbruck	plab1-c703.uibk.ac.at	138.232.66.173	47.263056	11.383889
University of Innsbruck	plab2-c703.uibk.ac.at	138.232.66.174	47.263056	11.383889
Universidade do Algarve	planetlab1.fct.ualg.pt	193.136.227.163	37.023362	-7.943244
Universidade do Algarve	planetlab2.fct.ualg.pt	193.136.227.164	37.023362	-7.943244
University of Ljubljana	planetlab1.fri.uni-lj.si	212.235.189.114	46.048889	14.503889
University of Ljubljana	planetlab2.fri.uni-lj.si	212.235.189.115	46.048889	14.503889
University of Cyprus	planetlab-3.cs.ucy.ac.cy	194.42.17.121	35.145091	33.412149
University of Cyprus	planetlab-1.cs.ucy.ac.cy	194.42.17.123	35.145091	33.412149
University of Cyprus	planetlab-2.cs.ucy.ac.cy	194.42.17.124	35.145091	33.412149
University of Sevilla	ait05.us.es	193.147.162.166	37.3801	-5.9916
University of Passau	dschinni.planetlab.extranet.uni-passau.de	195.37.16.125	48.568333	13.453333
University of Passau	aladdin.planetlab.extranet.uni-passau.de	195.37.16.121	48.568333	13.453333
University of Ioannina	planetlab1.cs.uoi.gr	195.130.121.204	39.6175	20.840833

Pokračovanie na nasledujúcej strane ...

Tab. A.1 – pokračovanie datasetu referenčných bodov PlanetLabu.

Site name	HostName	IP address	Latitude	Longitude
University of Ioannina	planetlab2.cs.uoi.gr	195.130.121.205	39.6175	20.840833
University of Duisburg-Essen	planetlab1.exp-math.uni-essen.de	132.252.152.193	51.463889	7.006111
University of Duisburg-Essen	planetlab2.exp-math.uni-essen.de	132.252.152.194	51.463889	7.006111
Inst. of Computer Science	planetlab1.ics.forth.gr	139.91.90.238	35.304672	25.072217
Inst. of Computer Science	planetlab2.ics.forth.gr	139.91.90.239	35.304672	25.072217
Dipartimento di Informatica di Torino	planetlab1.di.unito.it	130.192.157.131	45.09071	7.660142
Dipartimento di Informatica di Torino	planetlab2.di.unito.it	130.192.157.132	45.09071	7.660142
Dipartimento di Informatica di Torino	planetlab3.di.unito.it	130.192.157.138	45.09071	7.660142
University of St Andrews	planetlab3.cs.st-andrews.ac.uk	138.251.214.77	56.340648	-2.799958
University of St Andrews	planetlab4.cs.st-andrews.ac.uk	138.251.214.78	56.340648	-2.799958
University of Tromso	planetlab1.cs.uit.no	129.242.19.196	69.680511	18.973133
University of Tromso	planetlab2.cs.uit.no	129.242.19.197	69.680511	18.973133
University of Oslo	planetlab1.ifi.uio.no	193.157.115.250	59.939936	10.722064
University of Oslo	planetlab2.ifi.uio.no	193.157.115.251	59.939936	10.722064
University of Rostock	pl1.uni-rostock.de	139.30.240.191	54.077835	12.114637
University of Rostock	pl2.uni-rostock.de	139.30.240.192	54.077835	12.114637

A.2 Dataset hľadaných cieľov

Tab. A.2: Dataset hľadaných cieľových staníc – „DENISA“.

IP address	HostName	Latitude	Longitude
131.188.32.37	2009.nwerc.eu	49.45	11.0833
80.68.89.248	69lovesongs.info	51.3758	-2.36056
81.187.30.81	aaisp.net.uk	51.4153	-0.765361
194.77.54.2	aleal.xekin.tel	41.1944	-8.40862
193.205.194.23	alpha.science.unitn.it	46.065	11.1503
129.199.97.1	barthes.ens.fr	48.8414	2.34556
156.35.96.172	bellman.ciencias.uniovi.es	43.3594	-5.85306
129.132.98.37	cam.switch.ch	47.3793	8.54854
156.35.173.54	carleos.epv.uniovi.es	43.5244	-5.62472
156.35.91.34	coco.ccu.uniovi.es	43.3594	-5.85306
129.199.32.25	culturesciences.chimie.ens.fr	48.8414	2.34556
81.187.11.27	dell.wensley.org.uk	52.2542	-2.13992
178.63.91.103	disch-online.de	50.4667	12.3667
192.134.6.120	electron.nic.fr	48.7874	2.04615
80.68.89.248	elrino.co.uk	51.3758	-2.36056
129.199.115.128	fip.phys.ens.fr	48.8414	2.34556
193.201.200.77	fire Drake.org	51.5289	-0.725556
193.109.80.1	fk.lutsk.ua	50.75	25.3333
160.45.170.10	fu-berlin.de	52.4554	13.2947
81.187.223.197	garyhawkins.me.uk	51.831	-0.807175
88.84.130.29	gc2x22d.nordwal.de	52.0777	7.47092
83.175.178.18	goldengate.fydryk.com	50.0875	19.935
156.35.119.120	horru.lsi.uniovi.es	43.5244	-5.62472
156.35.119.133	in2test.lsi.uniovi.es	43.5244	-5.62472
134.96.102.171	is.uni-sb.de	49.2575	7.045
193.175.80.161	j3e.de	51.5333	9.93333
194.87.13.69	koi8.pp.ru	55.75	37.5833
91.200.128.13	linkwave.it	42.7831	11.0988
74.204.161.98	lir.cc	39.0227	-77.4618
195.220.94.165	listes.cru.fr	48.1156	-1.63884
129.199.80.1	lumiere.ens.fr	48.8414	2.34556
195.228.152.167	manitusolar.com	47.4833	19.05
83.218.25.88	mcb.net	54.1667	-4.46667
82.238.220.82	nanardon.zarb.org	48.7306	2.2875
81.31.33.35	nomi.cz	49.1972	16.6175
188.40.65.74	nona.net	48.1851	16.3334
212.111.4.214	ns3.cngroup.cz	49.2262	17.686
156.35.94.1	petra.euitio.uniovi.es	43.3594	-5.85306
91.146.167.193	psion.tolna.net	46.35	18.7833
129.199.129.64	quatramaran.ens.fr	48.8414	2.34556
134.225.1.128	rdg.ac.uk	51.4405	-0.946306
89.207.56.140	rte.ie	53.3156	-6.20801
77.68.170.97	simpledns.com	57.4532	10.543
91.220.127.245	sittingbourne.bellgrim.se	51.3133	0.726111

Pokračovanie na nasledujúcej strane...

Tab. A.2 – pokračovanie datasetu hľadaných cieľových staníc - DENISA.

IP address	HostName	Latitude	Longitude
193.219.33.197	soften.ktu.lt	54.9042	23.9578
213.73.92.40	star.trek.org	52.4756	13.3233
81.187.252.184	stat.wensley.org.uk	52.2542	-2.1399
87.121.7.244	stolitz.com	42.6667	23.3667
193.219.28.2	sunsite.icm.edu.pl	52.2079	20.9795
130.59.108.36	switch.ch	47.3801	8.5451
87.98.227.154	systemadmin.es	41.4001	2.18126
129.242.5.90	uit.no	69.6815	18.9771
134.21.213.189	unifr.ch	46.8065	7.15233
199.248.185.96	uss.com	40.4414	-79.9947
80.81.76.82	village.albourne.com	51.4975	-0.0188889
195.39.234.226	wunderweib.de	53.5478	10.0039
129.199.30.64	www.biologie.ens.fr	48.8414	2.34556
80.87.131.127	www.bluemantle.co.uk	52.5903	0.0583333
129.199.2.23	www.bourbaki.ens.fr	48.8414	2.34556
195.64.165.26	www.cg13.fr	43.3149	5.40556
80.87.131.127	www.combinationfireplaces.co.uk	52.5903	0.0583333
195.220.94.166	www.cru.fr	48.1156	-1.63884
80.193.133.173	www.cyberquest.co.uk	52.6	-0.716667
129.199.13.75	www.delta.ens.fr	48.8414	2.34556
129.199.2.22	www.di.ens.fr	48.8414	2.34556
78.46.105.215	www.disch-systems.de	50.4667	12.3667
129.199.2.29	www.dmi.ens.fr	48.8414	2.34556
129.199.1.129	www.eleves.ens.fr	48.8414	2.34556
129.199.13.15	www.ens.fr	48.8414	2.34556
213.245.116.198	www.erasme.org	45.75	4.43333
80.87.131.127	www.fletchingfc.co.uk	52.5903	0.0583333
129.199.13.25	www.geographie.ens.fr	48.8414	2.34556
80.87.131.127	www.hcidata.co.uk	52.5903	0.0583333
217.29.35.149	www.chatnbrett.de	49.0124	8.43107
129.199.13.24	www.ihmc.ens.fr	48.8414	2.34556
193.4.58.17	www.isnic.is	64.1397	-21.955
46.183.8.138	www.kentalc.gov.uk	51.5	-0.101667
80.87.131.127	www.la-potiniere.co.uk	52.5903	0.0583333
129.199.119.106	www.lkb.ens.fr	48.8414	2.34556
129.199.120.253	www.lps.ens.fr	48.8414	2.34556
188.40.62.8	www.monte-bre.ch	40.0086	8.98647
88.191.133.52	www.narrowstream.net	43.7024	7.28527
80.87.131.127	www.pevenseyparishcouncil.gov.uk	52.5903	0.0583333
194.63.248.26	www.pgpi.org	59.9333	10.6667
129.199.115.253	www.phys.ens.fr	48.8414	2.34556
78.47.160.16	www.roehnfried-hesse.de	53.55	10.0
80.87.131.127	www.shereparishcouncil.gov.uk	52.5903	0.0583333
212.60.1.2	www.shlink.de	53.7533	9.655
80.193.133.173	www.uk1.co.uk	52.6	-0.716667
80.87.131.127	www.whra.org.uk	52.5903	0.0583333

B OBSAH CD

- /doc/diplomova-praca.pdf - text diplomovej práce vo formáte PDF
- /src/bestline_script.php - zdrojový kód navrhnutého algoritmu na meranie hodnôt smernicovej rovnice priamky *bestline* pre referenčné body
- /src/vsetky_landmarky.txt - pole s informáciami o referenčných bodoch uložené vo formáte JSON, z ktorého vychádza skript *bestline_script.php*
- /src/geoweight_script.php - zdrojový kód navrhnutého algoritmu geolokalizácie metódou GeoWeight
- /src/convex_hull.php - pomocný skript pre vytvorenie konvexnej obálky
- /src/bestline-RB/bestline-... .txt - súbory nameraných hodnôt smernicovej rovnice priamky *bestline* pre referenčné body