

OBSAH

OBSAH.....	1
1 ÚVOD	2
2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU	2
3 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE	3
4 METÓDY SPRACOVANIA PROBLÉMU.....	4
4.1 SMEROVACIE ALGORITMY	4
4.2 SIEŤOVÝ MODEL	4
4.3 REPREZENTÁCIA STROMOV	5
4.4 EVOLUČNÉ STOCHASTICKÉ OPTIMALIZAČNÉ ALGORITMY	6
4.5 IMPLEMENTÁCIA ZVOLENÝCH METÓD	7
4.6 MODEL TELEKOMUNIKAČNEJ SIETE	8
4.7 SIMULÁCIA TVORBY VIACBODOVÝCH SPOJENÍ POMOCOU EVOLUČNÝCH ALGORITMOV	9
4.8 POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIÍ	10
5 ZÁVER	12
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	13
ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORKY	17
RESUME	19

1 ÚVOD

V súčasnej dobe predstavuje vyspelosť komunikácie a používaných komunikačných technológií veľmi dôležitý faktor pri hodnotení vyspelosti spoločnosti. Okrem základnej služby – prenosu hlasu sa dnes kladú požiadavky na zabezpečenie prenosu dátových informácií a pohyblivého obrazu prostredníctvom jednej telekomunikačnej siete. Úlohou telekomunikačnej siete je zabezpečiť efektívny prenos informácií pri stanovenom množstve sieťových prostriedkov a taktiež poskytovať rôzne typy telekomunikačných služieb. So zvyšujúcim sa množstvom prenášaných informácií sa zvyšujú nároky na kvalitu poskytovaných služieb a vznikajú služby nové. Takouto službou je aj videokonferencia.

Videokonferencia má v praxi široké uplatnenie a dopyt po tejto službe narastá. Je však veľmi dôležité pre poskytovateľov tejto služby stanoviť takú cenovú politiku, aby sa používateľom oplácelo investovať do nákladných videokonferenčných zariadení a bežne využívať videokonferenčné spojenie ako náhradu osobného stretnutia.

2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU

Jedným z prostriedkov na poskytovanie multimedialných služieb je aj existujúca telekomunikačná sieť. Vybudovanie rozsiahlej infraštruktúry ako je telekomunikačná sieť si vyžaduje veľmi vysoké investičné náklady. Aby sa tieto náklady investorovi, prípadne operátorovi vrátili v čo najkratšom čase, musí sa prispôsobiť potrebám zákazníka a rozšíriť ponuku služieb v rámci danej siete. Jednou z takýchto služieb, po ktorej dopyt v najbližšej budúcnosti určite vzrastie, je aj videokonferencia a najmä viacbodová videokonferencia.

Podľa dostupnosti jednotlivých prenosových prostredí používateľom, môžeme v súčasnosti svet videokonferencií rozdeliť do dvoch rovín. Prvou je videokonferencia v prostredí N-ISDN (úzkopásmová ISDN) na báze odporúčania ITU-T H.320 a druhou je videokonferencia v prostredí IP (Internet Protocol) na báze odporúčania H.323. Pri zriaďovaní viacbodovej videokonferencie sa môže s najväčšou pravdepodobnosťou stať, že záujemcovia o pripojenie do viacbodovej videokonferencie budú, podľa svojich možností, využívať rôzne prenosové prostredia. Keďže sa každé prenosové prostredie vyznačuje vlastnými protokolovými požiadavkami, je nutné sa zaoberať spoluprácou rôznych typov sietí [3, 4, 5].

Videokonferencia patrí medzi multimedialne služby, ktoré sú založené na prenose obrazu a zvuku v reálnom čase. S tým sú spojené rôzne problémy, ako nedostatočná kvalita obrazu a zvuku, ktorá môže byť spôsobená najmä oneskorením signálu. Príčinou oneskorenia signálu môže byť nedostatočná prenosová rýchlosť jednej, respektíve viacerých liniek, prípadne zahltenie liniek. Takéto problémy rieši smerovanie prevádzky.

Pod smerovaním viacbodových spojení rozumieme vytvorenie spojenia v komunikačnej sieti medzi tromi a viacerými účastníkmi. Z hľadiska prevádzkovateľa, ale aj účastníkov existujú určité požiadavky na spojenie ako sú maximálne oneskorenie, zaťaženie linky, šírka poskytovaného pásma, dĺžka spojenia a ďalšie, ktoré sa premietnu do výslednej ceny spojenia. Z hľadiska efektívneho využitia komunikačnej siete je dôležité smerovať prevádzku cez menej zaťažené linky, čo nám umožní zmenšiť zaťaženie v sieti a predísť jej zahlteniu. V konečnom dôsledku sa vo väčšej miere využijú dostupné sieťové prostriedky, čo má za následok zväčšenie kapacity celej siete, ktoré sa prejaví zmenšením pravdepodobnosti odmietnutia požiadavky na vytvorenie nového spojenia. Úlohou smerovania spojení je nájsť v sieti z určitého hľadiska optimálne spojenie. Táto problematika je v prípade hľadania spojení len medzi dvoma bodmi siete už veľmi dobre zvládnutá. Avšak smerovanie viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti je ešte stále vo fáze vývoja. Hoci už boli vyvinuté určité

špecializované stratégie smerovania, ešte stále sa pracuje na vývoji nových metód, ktoré budú realizovať funkciu smerovania viacbodových spojení efektívnejšie a flexibilnejšie.

Aby sme metódy smerovania prevádzky viacbodových spojení mohli zovšeobecniť, uvažujeme ďalej o telekomunikačnej sieti ako o jednom type sieti, kde existuje určitá konečná množina uzlov a konečný počet prepojení medzi uzlami (linky). Výsledné viacbodové spojenie bude taktiež tvorené konečnou množinou uzlov (ktorej podmnožina sú prepájajú účastníci) a linkami, ktorých súčet ohodnotení (metrík) bude optimálny, alebo aspoň blížiaci sa k optimu. S tým sú spojené predpoklady, že takýto typ telekomunikačnej siete bude mať jednotné riadenie, ktoré bude smerovanie viacbodových spojení zabezpečovať.

3 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Dizertačná práca sa zaoberá využitím evolučných stochastických optimalizačných algoritmov (ESOA) pri optimalizácii viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti pre potreby videokonferencie.

V súčasnosti patria evolučné algoritmy medzi základné nástroje pri hľadaní optimálnych riešení v extrémne zložitých situáciách, kedy použitie štandardných deterministických metód je často neaplikovateľné. Evolučné algoritmy majú niekoľko spoločných čŕt, ktoré môžeme zhrnúť nasledovne:

- ESOA pracujú zároveň s celou množinou možných riešení zadaného problému,
- vygenerované riešenia postupne vylepšujú zaraďovaním nových riešení získaných kombináciou pôvodných.

Ciele dizertačnej práce boli stanovené nasledovne:

1. Analyzovať problematiku evolučných stochastických optimalizačných algoritmov vo vzťahu k optimalizácii tvorby viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti pre potreby videokonferencie.
2. Analyzovať reprezentácie stromov a navrhnúť vhodný spôsob reprezentácie daného problému.
3. Navrhnúť model telekomunikačnej siete vhodný pre štúdium optimalizácie smerovania viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti pre potreby videokonferencie.
4. Analyzovať a vyhodnotiť simulácie tvorby viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti s využitím evolučných stochastických optimalizačných algoritmov:
 - simulované žihanie,
 - evolučné stratégie,
 - horolezecký algoritmus.

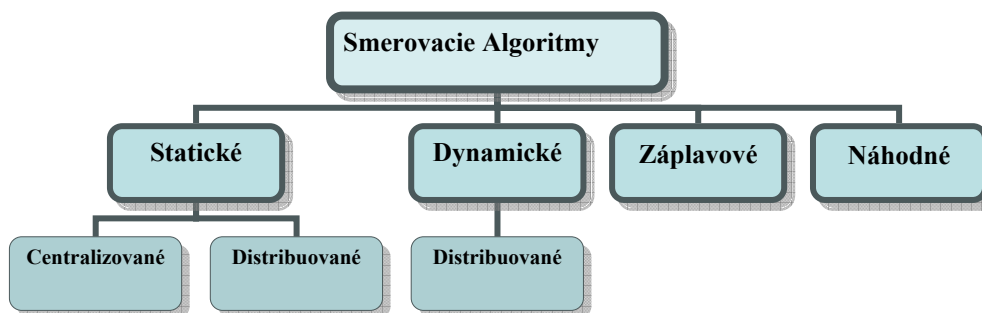
4 METÓDY SPRACOVANIA PROBLÉMU

Každé viacbodové spojenie prechádza niekoľkými fyzickými linkami siete, pretože v sieti obvykle nie je fyzicky spojený každý bod s každým. Linkou sa rozumie cesta medzi dvoma sieťovými uzlami. Každá linka má obmedzenú prenosovú kapacitu. Preto vznikli smerovacie algoritmy, ktorých úlohou je nájsť pre každé spojenie optimálnu, alebo aspoň suboptimálnu (takmer optimálnu) cestu v sieti. Na to, aby mohli tieto algoritmy efektívne pracovať, je potrebné priradiť každej linke nejaké ohodnotenie – cenu linky. Pod pojmom cena linky sa rozumie veličina, charakterizujúca dĺžku spojenia d_{ij} , šírku pásma spojenia b_{ij} , aktuálne zaťaženie jednotlivých liniek v spojení a šírku pásma (kapacitu) siete. Pod celkovou cenou spojenia môžeme potom rozumieť kombináciu týchto veličín rôzne váhovaných.

Pri tvorbe viacbodových spojení v multislužbových sieťach je snaha smerovať prevádzku cez najmenej zaťažené linky. Preto, ak sa zvyšuje zaťaženie určitej linky, rastie cena spojenia touto linkou. Cenu spojenia ovplyvňuje celková dĺžka spojovacích liniek medzi spojenými uzlami, počet uzlov, cez ktoré spojenie len prechádza, aktuálne prevádzkové zaťaženie v sieti a propagačné oneskorenie v prenosových médiách. Cieľom tvorby spojenia v multislužbovej telekomunikačnej sieti je minimalizovanie ceny spojenia, teda efektívne využitie sieťových prostriedkov a tým obsluha čo najväčšieho počtu požiadaviek na vytvorenie spojenia.

4.1 SMEROVACIE ALGORITMY

Z dôvodu rôznorodosti topológií sietí, ale aj z dôvodu rozdielnosti nárokov na sieťovú prevádzku, existuje v dnešnej dobe viacero typov smerovacích algoritmov [40]. Každý smerovací algoritmus môžeme zaradiť do určitej skupiny pomocou spomenutých kritérií tak, ako to znázorňuje obr. 1. Pri výbere správneho algoritmu pre smerovanie prevádzky vo viacbodových spojeniach je potrebné vziať do úvahy všetky obmedzenia, ktoré prostredie vykazuje a podľa toho správne vybrať každý parameter algoritmu.



Obr. 1: Všeobecné rozdelenie smerovacích algoritmov

4.2 SIEŤOVÝ MODEL

Pri tvorbe smerovacích procedúr pre viacbodové spojenia [25, 45] sa pôvodne vychádzalo z algoritmov pre dvojbodové spojenie. Prvým prístupom teda bolo vytvorenie viacbodového spojenia vytvorením spojení typu *bod – bod* medzi všetkými dvojicami účastníkov spojenia. Nevýhodou tohto prístupu je veľké zaťaženie siete, lebo množstvo spojení má za následok obsadenie veľkého množstva sieťových prostriedkov.

V otázke smerovania viacbodových spojení je preto vhodné modelovať telekomunikačnú sieť na základe teórie grafov pomocou grafu

$$G = (V, H), \quad (4.1)$$

kde V je množina uzlov (ústredne) a H množina hrán (prenosové linky).

Potom môžeme definovať funkcie $c(h)$ - cena hrany (linky), $d(h)$ - oneskorenie linky a $b(h)$ - voľná kapacita linky, pričom parameter $h \in H$. Cieľom je nájsť pre danú skupinu bodov $U \subset V$ taký strom $S = (V', H')$; $V' \subset V$; $H' \subset H$, ktorý spája množinu bodov U a jeho cena

$$C(S) = \sum_{h \in H'} c(h) \quad (4.2)$$

je minimálna. Vrcholy tohto stromu tvorí cieľová množina U (prepájaní účastníci) a množina Steinerových vrcholov. Nájdenie Steinerových vrcholov je však matematicky veľmi zložitá a čas riešenia závisí exponenciálne na počte uzlov v grafe G . Pri smerovaní je potrebné nájsť riešenie v čo najkratšom čase, preto boli vyvinuté rôzne aproximačné algoritmy, ktoré sú schopné získať strom z hľadiska minimálnej ceny blízky Steinerovmu optimálnemu.

Väčšina smerovacích algoritmov pracuje len s množinou cieľových uzlov, ktoré je potrebné prepojiť, a nie s celou telekomunikačnou sieťou. Vzniknutý problém sa dá riešiť transformáciou siete (grafu) na taký podgraf G' , ktorý obsahuje len uzly cieľovej množiny. Tie sú navyše všetky navzájom prepájané hranami, ktoré v základnej telekomunikačnej sieti predstavujú spojenie s minimálnou cenou medzi danými uzlami. Nájdenie hrán s minimálnou cenou spájajúcich cieľovú množinu sa môže realizovať *Floydovým algoritmom* alebo opakovaným použitím *Dijkstrovho algoritmu*, ktorý zistí najkratšie spojenia z jedného (zdrojového) uzla do všetkých ostatných uzlov v sieti. Potom už možno vykonať spomenutú redukciu na podgraf pozostávajúci z uzlov cieľovej množiny. Po aplikácii vybraného algoritmu na nájdenie stromu je nutné zrealizovať opačnú transformáciu, aby bolo možné pozorovať vypočítané viacbodové spojenie v grafe skutočnej telekomunikačnej siete.

4.3 REPREZENTÁCIA STROMOV

Hlavným cieľom problému smerovania viacbodových spojení je nájsť strom s minimálnou, alebo aspoň čo najnižšou cenou. Vzhľadom na to sa stáva kľúčovou otázkou jeho vhodná reprezentácia. Požiadavky kladené na vhodnú reprezentáciu stromov možno z hľadiska dôležitosti zhrnúť do nasledujúcich bodov:

1. Možnosť popisu ľubovoľného stromu.
2. Popis každého stromu musí mať rovnaký počet bitov.
3. Malou zmenu údajov by sa mala doceliť malá zmena vhodnosti.
4. Možnosť popísať len stromy, čím by sa zmenšil počet stupňov voľnosti.
5. Možnosť jednoduchého prepočtu na štandardné formy reprezentácie vhodné na výpočet vhodnosti.

Najpoužívanejšie formy reprezentácie stromov sú nasledujúce:

- A. **Matica spojení** - štvorcová matica s počtom riadkov a stĺpcov rovným počtu vrcholov v grafe, pričom ak existuje v grafe hrana z uzla i do j , tak na i -tom riadku v j -tom

stĺpci je 1, ak neexistuje potom 0. Nesplňa podmienku 4 a čiastočne 5 a navyše pri rozsiahlych grafoch vyžaduje veľké množstvo pamäte.

- B. **Charakteristický vektor** - binárny vektor s dimenziou rovnou počtu hrán v grafe, pričom i -ty prvok vektora určuje príslušnosť i -tej hrany ku grafu. Splnené požiadavky sú rovnaké ako pri matici spojení, výhodou sú však menšie pamäťové nároky.
- C. **Predchodcovia** - vektor s počtom prvkov rovným počtu vrcholov, pričom každý prvok musí byť schopný identifikovať ľubovoľný vrchol. Vychádza z faktu, že každý strom má svoj koreňový vrchol, z ktorého vedú cesty do všetkých ostatných vrcholov. Preto sa pre každý vrchol definuje jeho predchodca, cez ktorého sa dá dostať do koreňového vrcholu.
- D. **Prüfer čísla** - číslo s počtom prvkov o 2 menším ako počet vrcholov, kde každý prvok nadobúda hodnotu maximálne rovnú počtu vrcholov v grafe. Popisujú len stromy (požiadavka 4), na druhej strane však malá zmena tohto čísla spôsobí veľkú zmenu vhodnosti stromu (požiadavka 3).
- E. **Steinerove vrcholy** - vrcholy Steinerovho stromu okrem vrcholov, ktoré sa majú prepojiť (účastníci). Nájdenie Steinerovho stromu sa po nájdení Steinerových vrcholov stáva jednoduchou záležitosťou, keď stačí zistiť *minimálnu kostru grafu*. Tento spôsob sa javí ako najvýhodnejší, najmä čo sa týka malého počtu stupňov voľnosti.

Z hľadiska využitia evolučných algoritmov pri smerovaní viacbodových spojení je najdôležitejšie splnenie prvých troch podmienok. Pri rozsiahlom grafe (sieť s väčším počtom uzlov) sa z hľadiska skrátenia doby výpočtu stáva prioritnou najmä štvrtá a v menšej miere aj piata podmienka. Žiaľ všetky stanovené podmienky nesplňa úplne žiadna z uvedených možností reprezentácií.

4.4 EVOLUČNÉ STOCHASTICKÉ OPTIMALIZAČNÉ ALGORITMY

Evolučné stochastické optimalizačné algoritmy predstavujú množinu algoritmov, ktoré využívajú evolučné procesy na riešenie úloh, hľadanie a optimalizáciu v zložitých systémoch. V klasických deterministických algoritmoch je možné priblíženie sa ku globálnemu extrému realizáciou algoritmu viackrát s rôznymi počiatočnými podmienkami. Náhodne sa vyberie počiatočná pozícia algoritmu a ďalší postup algoritmu je deterministický. Na rozdiel od tohto postupu sú evolučné algoritmy stochastické počas celého priebehu výpočtu a globálny extrém nájdu takmer vždy, ale v nekonečnom čase [25].

Jednotlivé evolučné algoritmy sa líšia medzi sebou dobou výpočtu a schopnosťou dosiahnuť pri prehľadávaní priestoru riešení globálny extrém. Všeobecne platí, že čím je väčšia doba výpočtu, tým dôkladnejšie je preskúmaný priestor riešení.

Pre potreby optimalizácie smerovania viacbodových spojení boli v práci využité nasledujúce evolučné algoritmy:

- simulované žihanie (Simulated Annealing - SA),
- evolučné stratégie (Evolution Strategy - ES),
- horolezecký algoritmus (Hill Climbing - HC).

Pri všetkých spomenutých algoritmoch je veľmi dôležité nastavenie jednotlivých parametrov algoritmu. Ich chybné nastavenie sa môže prejaviť tým, že algoritmus nedosiahne globálny extrém. Všetky sa vyznačujú dlhým časovým prechodom od takmer optimálnych riešení k optimálnemu riešeniu. Je preto potrebné určiť interval, v ktorom je už možné považovať takmer optimálne riešenie za optimálne, aby sa zbytočne nepredlžovala doba výpočtu. Prijateľnejší priebeh výpočtu možno dosiahnuť aj vhodnou kombináciou uvedených

algoritmov, keď sa na čiastkové výsledky jedného algoritmu môže aplikovať iný algoritmus, alebo na čiastkové výsledky uvedených stochastických algoritmov sa aplikuje niektorá z deterministických metód.

4.5 IMPLEMENTÁCIA ZVOLENÝCH METÓD

Pri optimalizácii viacbodových spojení pomocou evolučných stochastických optimalizačných algoritmov je jednou z najdôležitejších úloh vhodná reprezentácia daného problému. V práci [25] boli pri smerovaní viacbodovej prevádzky úspešne využité algoritmy simulované žihanie (SA), evolučné stratégie (ES) a horolezecký algoritmus (HC) pri použití reprezentácie pomocou matice spojení. Toto riešenie však nie je vhodné ako z hľadiska celkovej doby výpočtu, tak aj z hľadiska nárokov na pamäť výpočtového systému.

Náš návrh spočíva vo využití reprezentácie pomocou Steinerových vrcholov. Spomínaná reprezentácia je v súčasnosti najlepšou z hľadiska dimenzie prehľadávaného priestoru (zložitosť $2^{(N-m)}$, kde N je počet uzlov siete a m je počet prepájaných uzlov). Takisto platí jedna z dôležitých podmienok pre použitie v evolučných algoritmoch, že malou zmenou vektoru riešenia dosiahneme malú zmenu vhodnosti riešenia. Pretože reprezentácia Steinerovými vrcholmi poskytuje iba samotnú množinu uzlov, ktoré by mohli tvoriť strom (okrem prepájaných uzlov), jej nevýhodou sa stáva o niečo dlhší a zložitejší prepočet vektoru riešenia na štandardnú formu reprezentácie (pomocou matice spojení), z ktorej možno priamo vypočítať vhodnosť riešenia (súčet cien všetkých hrán riešenia). Treba pritom použiť algoritmus na transformáciu siete iba na podmnožinu prepájaných vrcholov a vrcholov obsiahnutých vo vektore nájdeného riešenia evolučným algoritmom. Na takto transformovanú sieť už možno aplikovať algoritmus na hľadanie minimálneho stromu. Pri implementácii bol tento problém efektívne vyriešený pomocou optimalizovaného Primovho algoritmu, aby sa v čo najväčšej miere minimalizovala celková doba výpočtu evolučného algoritmu. Z dôvodu diskkrétnej formy riešenia zaznamenaného binárnym číslom bolo potrebné definovať operátor mutácie ako pre všetky bity konštantnú pravdepodobnosť zmeny (invertovania) jednotlivých bitov riešenia. Pri voľbe jedného z možných typov kríženia bolo použité diskrétno kríženie dvoch rodičov, keď sa skopíruje príslušná časť z jedného rodiča na základe zvoleného počtu náhodne generovaných bodov kríženia.

Grafický model telekomunikačnej siete je implementovaný podobne, ako pri použití matice spojení, len s tým rozdielom, že ak existuje v sieti spojenie medzi uzlom i a j , tak na i -tom riadku a j -tom stĺpci matice je miesto logickej 1 cenové ohodnotenie hrany. Každé riešenie generované evolučným algoritmom je reprezentované pomocou Steinerových vrcholov, t.j. bitovým poľom s dĺžkou rovnou počtu uzlov siete okrem prepájaných uzlov, ktoré sú vždy zahrnuté vo výsledku a preto ich netreba uchovávať vo vektore riešenia. Ďalej sa z každého vektora riešenia musia zistiť bity nastavené na 1 a podľa ich pozície určiť, ktoré uzle siete by mali byť zahrnuté v množine vrcholov hľadaného stromu. Následne sa do spomínanej množiny (Steinerove vrcholy) pridajú prepájané uzly, čím získame úplnú množinu vrcholov hľadaného stromu. V ďalšom logickom kroku výpočtu nájde optimalizovaný Primov algoritmus na základe tejto množiny strom s najmenšou cenou. Optimalizácia Primovho algoritmu spočíva v časovo a pamäťovo menej náročnom vyhľadávaní v celej telekomunikačnej sieti bez jej potreby transformácie na sieť obsahujúcu len uzly úplnej množiny vrcholov hľadaného stromu.

Ak Primov algoritmus strom nenájde, znamená to, že strom obsahujúci takúto množinu vrcholov neexistuje a treba vygenerovať nové riešenie (mutáciou resp. krížením). Tento postup sa bude opakovať až do chvíle, kým vygenerované riešenie nebude predstavovať strom. V tom prípade tvorí výstup Primovho algoritmu matica (rovnakého typu ako je matica

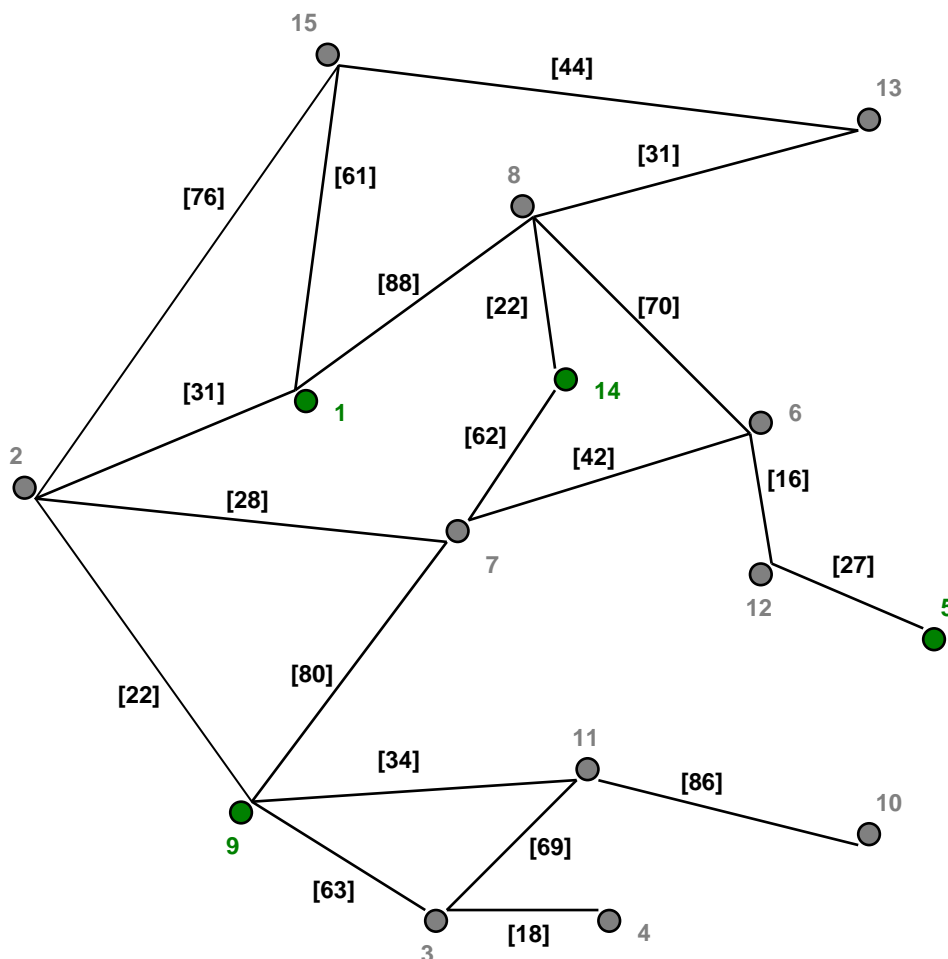
modelu telekomunikačnej siete) reprezentujúca nájdený strom. Nakoniec sa už len jednoducho vypočíta výsledná cena stromu ktorá je tvorená súčtom hodnôt jednotlivých vetiev (hrán).

Pre funkciu evolučných algoritmov boli ďalej implementované základné funkčné operácie:

- generovanie náhodných zmien konfigurácií systému = operátor mutácie,
- vzájomné kríženie dvoch riešení = operátor kríženia,
- minimalizovaná funkcia ohodnotenia = cena stromu.

4.6 MODEL TELEKOMUNIKAČNEJ SIETE

Na návrh a implementáciu zvolených modelov telekomunikačnej siete a následnú simuláciu tvorby viacbodových spojení pomocou zvolených ESOA bol využitý programový systém *Simulátor viacbodových spojení*. Programový systém bol navrhnutý na základe tejto dizertačnej práce a realizovaný v rámci výskumných projektov VEGA 1/0156/03, VTP 315/2000 a AV – 1002/2004 (str. 19 – Účasť autorky v projektoch).

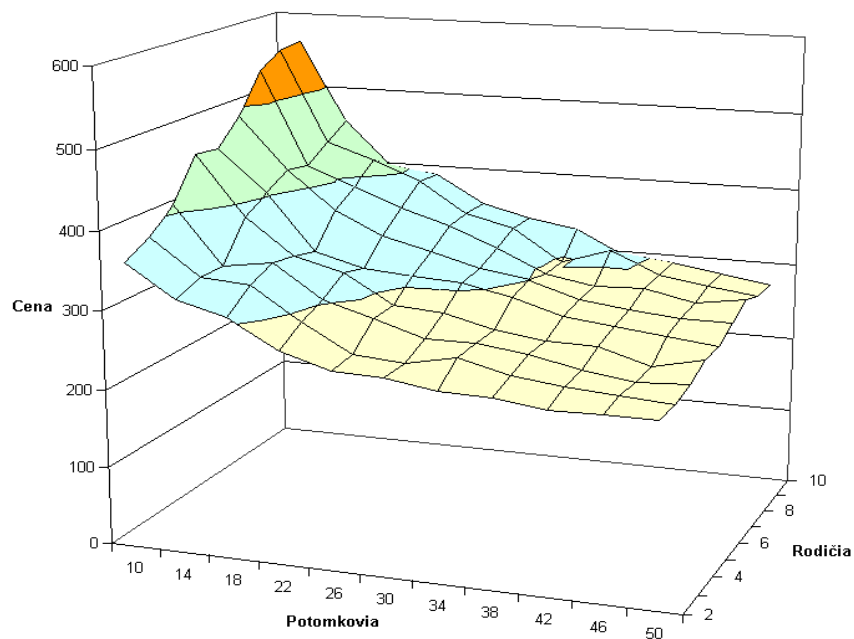


Obr. 2: Grafický model telekomunikačnej siete s počtom uzlov 15

Optimalizácia smerovania viacbodových spojení pomocou evolučných algoritmov závisí okrem správneho nastavenia jednotlivých parametrov algoritmov aj od veľkosti (počtu uzlov) navrhnutého modelu telekomunikačnej siete. Pre potreby analýzy tvorby viacbodových spojení bol navrhnutý model telekomunikačnej siete s počtom uzlov 15 a s počtom prepojení 20, pričom každá linka je ohodnotená cenou spojenia (obr. 2). Viacbodové spojenie bude v tomto prípade realizované medzi uzlami 1, 5, 9, 14. Pomocou programového systému *Simulátor viacbodových spojení* bol ďalej navrhnutý model telekomunikačnej siete s počtom uzlov 40.

4.7 SIMULÁCIA TVORBY VIACBODOVÝCH SPOJENÍ POMOCOU EVOLUČNÝCH ALGORITMOV

Z každého typu evolučného algoritmu boli vybraté kľúčové parametre, ktoré majú najväčší vplyv na dobu výpočtu a kvalitu výsledného riešenia. Pre parametre, ktoré majú minimálny vplyv boli zvolené konštantné hodnoty, ktoré platia pre všetky uvedené výstupy. Pri simulovanom žíhaní (SA) je to parameter *iterácie*=50 a P_{mut} =0.2, pre evolučné stratégie (ES) *body kríženia*=2, *generácie*=30 a P_{mut} =0.2 a pri horolezeckom algoritme (HC) ide o parameter P_{mut} =0.2.

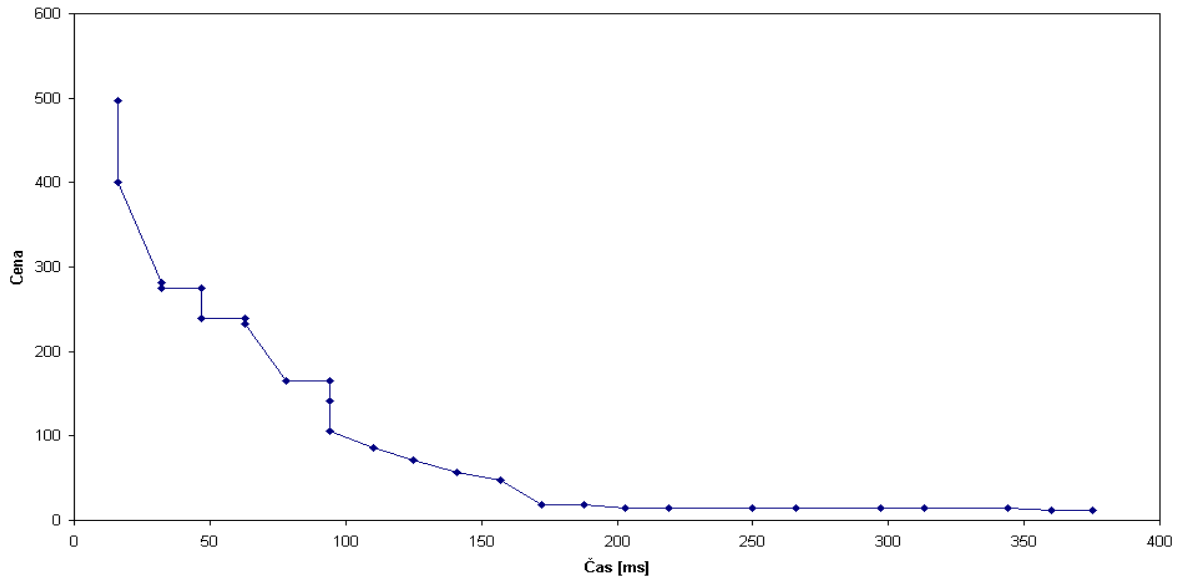


Obr. 3: *Tvorba viacbodových spojení pomocou algoritmu evolučné stratégie*

Na obrázku 3 je uvedený príklad simulácie tvorby viacbodových spojení pomocou algoritmu evolučné stratégie. Graf predstavuje závislosť výslednej ceny stromu od nastavenia parametrov *počet potomkov* a *počet rodičov* pre model telekomunikačnej siete s počtom uzlov 40.

Z hľadiska minimalizácie oneskorenia signálu v telekomunikačnej sieti pri tvorbe viacbodových spojení pre potreby videokonferencie je pre nás dôležité dosiahnuť optimálne riešenie v čo najkratšom čase. Okrem parametrickej závislosti bola teda skúmaná aj závislosť ceny výsledného stromu od doby výpočtu jednotlivých algoritmov. Na obrázku 4 je uvedený

príklad časovej závislosti modifikovaného algoritmu evolučné stratégie s vyberaním potomkov aj s rodičov. Pre meranie závislosti ceny výsledného stromu od času pre sieť s počtom uzlov 40 bolo použité nastavenie parametra *počet generácií* na hodnotu 30, parameter *počet rodičov* bol nastavený na hodnotu 10, parameter *počet potomkov* bol nastavený na hodnotu 50, parameter *počet bodov kríženia* bol nastavený na hodnotu 2.



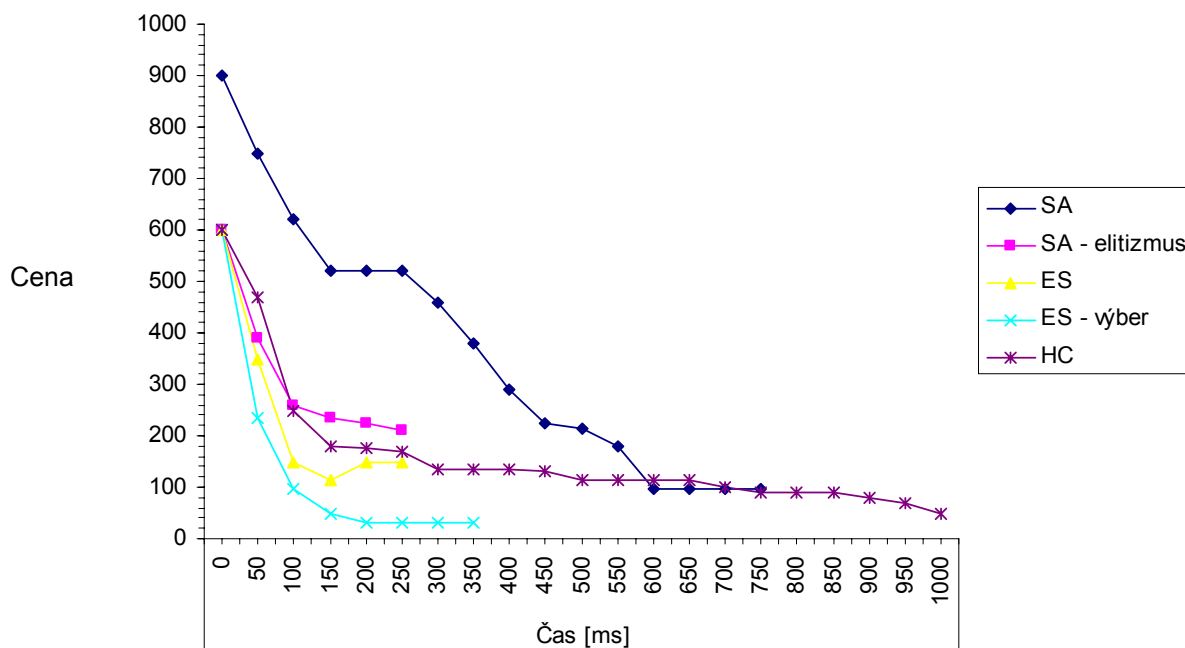
Obr. 4: Časová závislosť modifikovaného algoritmu evolučné stratégie s vyberaním potomkov aj z rodičov

4.8 POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIÍ

Ako už bolo spomenuté v časti 4.4, jednotlivé evolučné algoritmy sa líšia medzi sebou dobou výpočtu a schopnosťou dosiahnuť pri prehľadávaní priestoru riešení globálny extrém. Všeobecne platí, že čím je väčšia doba výpočtu, tým dôkladnejšie je preskúmaný priestor riešení. Voľba správneho algoritmu je teda kompromisom medzi dobou výpočtu a správnosťou riešenia.

V dizertačnej práci sú podrobnejšie popísané výsledky jednotlivých simulácií. Všeobecne možno zhodnotiť, že pri telekomunikačnej sieti s menším počtom uzlov sa rozdiely medzi algoritmi SA, ES a HC až tak výrazne neprejavili. Pri telekomunikačnej sieti s väčším počtom uzlov a väčším počtom prepojení medzi uzlami už jasne vidieť rozdiely medzi jednotlivými algoritmi hlavne pri vyhodnotení časovej závislosti.

Obrázok 5 znázorňuje porovnanie najlepších výsledkov simulácií pri použití algoritmov SA, ES a HC pre model telekomunikačnej siete s počtom uzlov 40. Jednotlivé krivky predstavujú časovú závislosť algoritmu SA pre parameter $k = 0,9$, algoritmu SA s elitizmom, algoritmu ES, ďalej modifikovaného algoritmu ES s vyberaním potomkov aj s rodičov a nakoniec algoritmu HC pre *počet iterácií* = 100 a *kardinalitu okolia* = 50.



Ob. 5: Porovnanie najlepších výsledkov jednotlivých simulácií

Z porovnania jednoznačne vyplýva, že z hľadiska doby výpočtu algoritmov dosahuje najlepšie výsledky modifikovaný algoritmus evolučnej stratégie s vyberaním potomkov aj s rodičov. Je to spôsobené hlavne tým, že do nasledujúcej generácie sú vyberaní len najlepší jedinci z množiny rodičov aj potomkov.

Evolučné stratégie všeobecne poskytujú jednoduchý spôsob, ako zvoliť tie správne parametre. Na využitie hlavnej prednosti algoritmu (*kríženia rodičov*) je podstatné určenie optimálnej hodnoty *paralelizmu* algoritmu (*počtu rodičov*). Tento *paralelizmus* závisí priamoúmerne od zložitosti siete, t.j. od počtu uzlov a prepojení v telekomunikačnej sieti. Nastavovaním väčšieho *počtu potomkov* pripadajúcich na jedného *rodiča* zasa zlepšujeme tvar priebehu funkcie optimalizácie. Počet generácií v procese evolúcie by mal byť nezávislý od typu siete, pričom je potrebné pri implementácii zabrániť, aby algoritmus pokračoval vo výpočte aj po dosiahnutí minimálnej hodnoty.

Keď dodržíme uvedené náležitosti, javí sa využitie modifikovaného algoritmu evolučnej stratégie s vyberaním potomkov aj z rodičov ako prínos do problematiky hľadania optimálneho viacbodového spojenia v telekomunikačnej sieti. Navyše sa dá z princípu ľahko aplikovať paralelne na multiprocessorovom systéme, čo predstavuje v praxi veľmi sľubné riešenie pre rozsiahlejšie a zložitejšie telekomunikačné siete v reálnych podmienkach.

5 ZÁVER

V dizertačnej práci boli uvedené formulácie ESOA a ich aplikácie pri tvorbe viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti pre potrebu videokonferencií. Pri použití ESOA pri tvorbe viacbodového spojenia v telekomunikačnej sieti závisí výsledok na vhodnosti použitého algoritmu alebo kombinácie algoritmov pre danú topológiu telekomunikačnej siete a na správne stanovených parametroch algoritmu. Vhodnosť navrhnutého spojenia jednoznačne definuje cena spojenia, ktorá sa môže podľa druhu a parametrov zvoleného algoritmu meniť od optimálneho riešenia s minimálnou cenou spojenia až po riešenie, ktoré je nevyhovujúce a neprijateľné.

Najdôležitejšie pôvodné vedecké prínosy súvisiace s výsledkami dizertačnej práce sú:

1. Návrh a implementácia reprezentácie stromov pomocou Steinerových vrcholov.
2. Návrh implementácie optimalizovaného Primovho algoritmu pre potreby minimalizácie celkovej doby výpočtu evolučného algoritmu.
3. Návrh modelu telekomunikačnej siete vhodný pre štúdium optimalizácie smerovania viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti.
4. Formulácia a implementácia algoritmov simulované žihanie, evolučné stratégie a horolezeckého algoritmu pre potreby tvorby viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti.
5. Využitie modifikovaného algoritmu evolučné stratégie s vyberaním potomkov aj z rodičov pre potreby tvorby viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti [F21].
6. Simulácia tvorby viacbodových spojení pomocou algoritmov simulované žihanie, simulované žihanie s elitizmom, evolučné stratégie, modifikovaného algoritmu evolučné stratégie s vyberaním potomkov aj s rodičov a horolezeckého algoritmu.
7. Porovnanie výsledkov a formulácia vhodnosti použitia jednotlivých algoritmov z hľadiska zmeny parametrov a z hľadiska doby výpočtu [F21, F27].
8. Návrh a realizácia programového systému *Simulátor tvorby viacbodových spojení*.

Na základe prínosov predloženej práce možno špecifikovať aj oblasti ich využitia v praktických aplikáciách:

- Pomocou navrhnutého programového systému *Simulátor tvorby viacbodových spojení* [F28] je možné:
 - navrhovať modely telekomunikačnej siete na základe vopred zadaných parametrov,
 - analyzovať tvorbu viacbodových spojení v telekomunikačnej sieti s využitím ESOA na základe vopred zadaných parametrov.
- Využitie modifikovaného algoritmu evolučné stratégie s vyberaním potomkov aj z rodičov pri optimalizácii smerovania viacbodových spojení pre potreby videokonferencie.

Ďalšie možné smery výskumnej činnosti, ktoré by priamo nadväzovali na výsledky tejto práce sú zhrnuté do nasledujúcich bodov:

1. Implementácia genetického algoritmu a ďalších modifikácií evolučných stratégií do programového systému *Simulátor viacbodových spojení*.
2. Návrh a implementácia hodnotiacej funkcie, ktorá by podľa zadaných požiadaviek zohľadňovala základné parametre (metriky) telekomunikačnej siete (napr.: prenosová rýchlosť, oneskorenie, cena spojenia, kvalita služby) [F26].

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Gibson, J.D., Berger, T., Lookabaugh, T., Linbergh, D., Baker, R.L.: Digital Compression for multimedia, Principles and Standards, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1998.
- [2] Kukura, P.: ISDN, B-ISDN, ATM Digitálne siete s integrovanými službami, FABER Bratislava, 1997.
- [3] Baroňák, I., a kol.: Development of multi-service networks – Service development of H.320 for use in conditions of ST, Inc., Research project solved for needs of ST, Inc., Bratislava, 2000, 196 p.
- [4] ITU-T Recommendation H.320, Narrow-band visual telephone systems and terminal equipment, 03/2004.
- [5] ITU-T Recommendation H.323, Packet-based multimedia communications systems, 07/2003.
- [6] ITU-T Recommendation H.221, Frame Structure for a 64 kbit/s to 1920 kbit/s channel in audiovisual teleservices, 03/2004.
- [7] ITU-T Recommendation H.242, System for establishing communication between audiovisual terminals using digital channel up to 2 Mbit/s, 03/2004.
- [8] ITU-T Recommendation H.231, Multipoint Control Units for audiovisual systems using digital channel up to 1920 kbit/s, 07/1997.
- [9] ITU-T Recommendation H.243, System for establishing communication between three or more audiovisual terminals using digital channel up to 1920 kbit/s, 02/2000.
- [10] ITU-T Recommendation H.246, Interworking of H-Series multimedia terminals with H-Series multimedia terminals and voice/voiceband terminals on GSTN and ISDN, 07/2003.
- [11] ITU-T Recommendation H.224, Real time control protocol for simplex applications using H.221 LSD/HSD/MLP channels, 01/2005.
- [12] ITU-T Recommendation H.233, Confidentiality system for audiovisual services, 11/2002.
- [13] ITU-T Recommendation H.234, Encryption key management and authentication system for audiovisual services, 11/2002.
- [14] ITU-T Recommendation G.711, Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies, Appendix II, 02/2000.
- [15] ITU-T Recommendation G.722, 7 kHz Audio-coding within 64 kbit/s (1988), Erratum 1, 05/2003.
- [16] ITU-T Recommendation G.723.1, Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications transmitting at 5,3 and 6,3 kbit/s, 02/2002.
- [17] ITU-T Recommendation G.728, Coding of Speech at 16 kbit/s Using Low-delay Code Excited Linear Prediction, Corrigendum 1, 02/2000.
- [18] ITU-T Recommendation G.729, Coding of Speech at 8 kbit/s Using Conjugate-structure Algebraic-code-excited-linear-prediction (CS-ACELP), 02/2002.
- [19] ITU-T Recommendation H.261, Video coding for audiovisual services at p x 64 kbit/s, 03/1993.
- [20] ITU-T Recommendation H.262, Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: video, 02/2000.
- [21] ITU-T Recommendation H.263, Video coding for low bit rate communication, 01/2005.
- [22] ITU-T Recommendation T.120, Data protocols for multimedia conferencing, 01/2004.

- [23] Polec, J., Pavlovičová, J., Karlubíková, T.: Medzinárodné štandardy pre kompresiu obrazu II. - H.261, MPEG-1, MPEG-2, H.263, MPEG-4, Vydavateľstvo STU, Bratislava 2002, CD-ROM, ISBN 80-227-1784-3.
- [24] Kvasnička, V., Pospíchal, J., Tiňo, P.: Evolučné algoritmy, Vydavateľstvo STU, Bratislava 2000.
- [25] Vrba, R.: Možnosti tvorby viacbodových spojení v sieťach B-ISDN pomocou evolučných stochastických optimalizačných algoritmov, Dizertačná práca, Žilinská univerzita, Elektrotechnická fakulta, Žilina 2000.
- [26] Vrba, R., Olej, V., Blunár, K.: Evolution Optimisation Algorithms in Multipoint Routing in Broadband Telecommunications Networks. Communications on the Edge of the Millenniums, 2nd Section Communication Systems, Proceedings of 10th International Scientific Conference, ISBN 80-7100-517-7, Žilina, Slovak Republic, 1998, pp.17-20.
- [27] Vrba, R., Olej, V., Blunár, K.: Návrh spojenia v širokopásmových telekomunikačných sieťach na báze evolučných stochastických optimalizačných algoritmov. Zborník z 5. medzinárodnej vedeckej konferencie Telekomunikácie '99, DT ZSVTS, ISBN 80-233-0429-1, Bratislava, 1999, s.194-196.
- [28] Vrba, R., Olej, V., Blunár, K.: Hill Climbing, Simulated Annealing and Evolution Strategies for Optimisation Multipoint Routing in Broadband Telecommunication Networks. Proceedings of 5th International Mendel Conference on Soft Computing, Evolutionary Computation, Genetic Programming, Fuzzy Logic, Rough Sets, Neural Networks and Fractals, MENDEL '99, ISBN 80-214-1131-7, Brno, Czech Republic, 1999, pp.149-155.
- [29] Vrba, R., Olej, V., Blunár, K.: Simulated Annealing for Optimization Multipoint Routing in Broadband Telecommunication Networks. Proc. of 2nd Electronic Circuits and Systems Conference, ECS 99, Bratislava, 1999, pp.271-274.
- [30] Noma, H., Kitamura, Y. et al.: Multi-point virtual space teleconferencing system, IEICE Trans. Commun., Vol.78, No. 7, 1995, pp. 970-979.
- [31] Turletti, T. H., Journal, C.: Videoconferencing on the internet, IEEE/ACM Trans. Networking, No. 4, 1996, pp. 340-351.
- [32] Chan, T. K., Yum, T.-S. P.: Analysis of multipoint videoconferencing under basic route-configuration assignment, IEEE GLOBECOM '96, pp. 867-876.
- [33] Chan, T. K., Yum, T.-S. P.: Analysis of multipoint videoconferencing under basic reroutable route-configuration assignment, IEEE GLOBECOM '96, pp. 899-906.
- [34] Gang, F., Yum, T.-S. P.: Bifurcated- M routing for multi-point videoconferencing, Computer Communications 23 (2000), pp. 362-370
- [35] Leung, Y. W., Yum, T.-S. P.: Connection optimisation for two types of videoconferences, IEE Proc., Vol. 143, No. 3, 1996, pp. 133-140.
- [36] Jacob, C.: Illustrating Evolutionary Computation with Mathematica. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2001.
- [37] Sandstrom, K., Norstrom, C.: Managing complex temporal requirements in real-time control systems., Engineering of Computer- Based Systems, 2002. Proceedings. Ninth Annual IEEE International Conference and Workshop, 2002, pp. 103 – 109.
- [38] Knowles, J., Corne, D.: Heuristics for Evolutionary Off-Line Routing in Telecommunications Networks, in Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2000), Morgan Kaufmann Publishers, 2000, pp. 574 – 581.
- [39] Galiasso, P., Wainwright, R. L.: A hybrid genetic algorithm for the point to multipoint routing problem with single split paths, Proceedings of the 2001 ACM symposium on Applied computing, Las Vegas, Nevada, United States, March 2001, pp.327-332.

- [40] Jean, N.: Synthèse sur les algorithmes de routage, 1995, http://www.nicolasjean.com/essai_routage.pdf
- [41] http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing
- [42] <http://mathworld.wolfram.com/EvolutionStrategies.html>
- [43] http://en.wikipedia.org/wiki/Hill_climbing
- [44] Galanová, J., Kaprálik, P.: Diskrétna matematika, Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1997.
- [45] Martinec, L., Blunár, K., Kevický, F.: A Multipoint Connections Routing in B-ISDN by Means of Neural Networks. Mendel '97 – 3rd International Conference on Genetic Algorithms, Optimization Problems, Fuzzy Logic, Neural Networks, Rough Sets, Brno, Czech Republic, 1997, pp. 348 – 351
- [46] <http://www.pythianai.host.sk/docs/EvolAlgo.htm>
- [47] Levický, D.: Multimediálne telekomunikácie, elfa 2002, Košice, 240 p.
- [48] Okubo, S., et al.: ITU-T standardisation of audiovisual communication systems in ATM and LAN environments, IEEE J. Selected Areas Commun., Vol. 15, No. 6, 1997, pp. 965-982.
- [49] Gibbens, R. J., Kelly, F. P., Turner, S.R.E.: Dynamic Routing in Multiparented networks, IEEE/ACM Transaction networking, Vol. 1, No. 2, 1993, pp. 261-270.
- [50] Kelly F. P.: Network Routing, Philosophical Transactions of the Royal Society, Vol. 337, 1991, pp. 343-367.
- [51] Wilbur, S., Hewitt, B., Ing., S.: A multimedia system for flexible cooperation, IEEE ICC'92, 1992, pp. 1087-1091.
- [52] Chan, T. K.: Traffic engineering for multipoint videoconferencing, M.Ph. Thesis, CUHK, 1995.
- [53] Ahuja, S. R., Ensor, J. R.: Coordination and control of multimedia conferencing, IEEE Comm. Mag., Vol. 30, No. 5, May 1992 pp.38-43.
- [54] Romaha, G.: System aspects of multipoint videoconferencing, Proc. III GLOBECOM, 1987, pp. 723-725.
- [55] Clark, W. J.: Multipoint multimedia conferencing, IEEE Comm. Mag., Vol. 30, No. 5, May 1992, pp. 44-50.
- [56] Kompella, V. P., Pasquale, J. C., et al.: Multicast routing for multimedia communication, IEEE/ACM Trans. Networking, Vol. 1, No. 3, 1993.
- [57] Ammar, M. H., Cheung, A. Y., Scoglio, C. M.: Routing multipoint connections using virtual paths in an ATM network, INFOCOM '93, pp. 98-105.
- [58] Noma, H., Kitamura, Y. et al.: Multi-point virtual space teleconferencing system, IEICE Trans. Commun., Vol.78, No. 7, 1995, pp. 970-979.
- [59] Girard, A.: Routing and Dimensioning in Circuit – Switching Network. Addison – Wesley Publishing Company, 1990.
- [60] Kapsalis, A., Rayward-Smith, V. J., Smith, G. D.: Solving the Graphical Steiner Tree Problem Using Genetic Algorithms. Journal of the Operational Research Society, Vol.44, No.4, 1993, pp.397 – 406.
- [61] Kim, S.B.: An Optimal VP-Base Multicast Routing in ATM Networks. IEEE Infocom '96, The Conference on Computer Communications, Vol.3, 1996, pp. 1302 – 1309.
- [62] Kvasnička, V., Pospíchal, J., Heseck, D.: Augmented Simulated Annealing Algorithm for the TSP. Central European Journal for Operations Research and Economics, Vol.2, No.4, 1993, pp. 307 – 317.

- [63] Ravindran, K.: A Flexible Network Architecture for Data Multicasting in “Multiservice Networks”. IEEE Journal on Selected Areas in Comm., Vol.13, No.8, 1995, pp. 1426 – 1444.
- [64] Rayward – Smith, V., Clare, A.: On Finding Steiner Vertices. Networks, Vol.16, 1983, pp. 283 – 294.
- [65] Shacsham, N., Meditch, J. S.: An Algorithm for Optimal Multicast of Multimedia Streams. IEEE Infocom '94 The Conference on Computer Communications, Vol.2, 1994, pp. 856 – 864.
- [66] Tanaka, A., Mizusawa, J.: Routing Algorithms of Multiple Destination Telecommunication Services. Trans. IEICE, Vol. J72–B–1, No.4, 1989, pp. 293–304.
- [67] Tanaka, Y., Huang, C.: Multiple Destination Routing Algorithms. IEICE Trans. Commun., Vol.E76-B, No.5, 1993, pp. 544 – 552.
- [68] Tu, S.C., Leung, W.H.: Multicast Connection – Oriented Packet Switching Networks. IEICE Trans. Commun., Vol.E78-B, No.9, 1995, pp. 495 – 501.
- [69] Voß, S.: Steiner’s Problem in Graphs: Heuristic Methods. Discrete Applied Mathematics, No.40, 1992, pp. 45 – 72.
- [70] Waxman, B. M.: Routing of Multipoint Connections. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.6, No.9, 1988, pp.1617 – 1622.
- [71] Waxman, B. M.: Performance Evaluation of Multipoint Routing Algorithms. IEEE, 1993, pp. 980 – 986.
- [72] Richey, M. B., Parker, R. G.: On Multiple Steiner Subgraph Problems, Networks, Vol. 16, 1986, pp. 423-438, John Wiley & Sons, Inc.
- [73] Maxemchuck, N. F.: Video Distribution on Multicast Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no.3, April 1997, pp. 357-372.
- [74] Shaikh, A., Shin, K.: Destination-Driven Routing for Low-Cost Multicast, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no.3, April 1997, pp. 373-381.
- [75] Grossglauser, M.: Optional Deterministic Timeouts for Reliable Scalable Muticast, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no.3, April 1997, pp. 422-433.
- [76] Willebeek Lemair, M. H., Shae, Z. Y.: Videoconferencing over Packed-Based Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no.6, August 1997, pp. 1101-1114.
- [77] Ramanathan, S.: An Algorithm for Multicast Tree Generation in Networks with Asymmetric Links, Proceeding of Infocom'96, vol.1, March 26-28, 1996, San Francisco, pp. 337-344.
- [78] Dreyer, D. R., Overton, M. L.: Two Heuristics for the Steiner Tree Problem. J. Global Opt. 13 (1998), pp. 95-106.
- [79] Voss, S.: Steiner’s problem in graphs: heuristic methods, Discrete Applied Mathematics, vol. 40, 1992, pp. 45-72.
- [80] Humblet, P. A.: A Distributed Algorithm for Minimum Weight Directed Spanning Trees, IEEE Transaction on Communications, Vol. COMM 31, no.6, June 1983, pp. 756-762.
- [81] Kompella, V. P., Pasquale, J. C., Polyzos, G. C.: Multicasting for Multimedia applications, Proceeding of Infocom'92, vol.3, May 6-8, 1992, Florence, Italy, pp. 2078-2085.
- [82] Kompella, V. P., Pasquale, J. C., Polyzos, G. C.: Multicast routing for multimedia communication, IEEE/ACM Transaction on networking, vol. 1, no. 3, June 1993, pp. 286-292.

ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁČ AUTORKY

- [F1] Filanová, J., Baroňák, I.: *Videokonferencie H.320*, In: 7. Medzinárodná vedecká konferencia COFAX-TELEKOMUNIKÁCIE 2001. Bratislava, 24.-25.4.2001, str.121-126.
- [F2] Baroňák, I., Filanová, J.: *Videoconferences H.320*, In: 24th International Conference Telecommunications and Signal Processing, TSP-2001. Brno, 5.-6.9.2001, pp. 18-21.
- [F3] Filanová, J., Baroňák, I.: *Practical Experiences with Videoconference H.320*, In: International Conference Research in Telecommunication Technology, RTT-2001. Lednice, Czech Republic, 24.-26.9.2001, pp. 237-240.
- [F4] Filanová, J., Baroňák, I.: *Videoconference H.320 in Practice*, In: Telecommunications & Business, 8/2001, pp. 44-45.
- [F5] Filanová, J., Baroňák, I.: *Videokonferencie H.320*, In: Združenie ATM v Slovenskej Republike, Ročenka 2001, rok vyd. 2002, pp. 99-105.
- [F6] Filanová, J., Baroňák, I.: *Viacbodová H.320 videokonferencia (videokonferenčný server)*, In: 8. Medzinárodná vedecká konferencia COFAX-TELEKOMUNIKÁCIE 2002. Bratislava, 23.-24.4.2002.
- [F7] Filanová, J., Baroňák, I.: *Multipoint H.320 Videoconference - MCU*, In: 25th International Conference Telecommunications and Signal Processing, TSP-2002. Brno, Czech Republic, 4.-5.9.2002, pp. 36-39.
- [F8] Baroňák, I., Kavacký, M., Filanová, J.: *Contact Center – Customer Care*, In: 25th International Conference Telecommunications and Signal Processing, TSP-2002. Brno, Czech Republic, 4.-5.9.2002, pp. 40-43.
- [F9] Filanová, J., Baroňák, I.: *Multipoint Control Unit for Multipoint H.320 Videoconference*, In: 7th International Conference „Applied Electronics 2002“. Plzeň, Czech Republic, 11.-12.9.2002, pp. 59-62.
- [F10] Bene, M., Filanová, J.: *Sing Language Communication Utilising H.320 Videoconference*, In: International Conference Research in Telecommunication Technology, RTT-2002. Žilina, Slovak Republic, 17.-19.9.2002, pp. 68-71.
- [F11] Filanová, J.: *Viacbodová H.320 videokonferencia – vlastnosti a štruktúra prepojenia videokonferenčných serverov*, In: Konferencia s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika a Energetika 2002, Elosys 2002, Trenčín, Slovak Republic, 17.10.2002, pp. 99-100.
- [F12] Filanová, J., Hricová, M.: *Videokonferencia pre sluchovo postihnutých*, In: Konferencia s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika a Energetika 2002, Elosys 2002, Trenčín, Slovak Republic, 17.10.2002, pp. 96-98.
- [F13] Filanová, J., Baroňák, I.: *New Ways of Using Videoconference*, In: 9. Medzinárodná vedecká konferencia COFAX-TELEKOMUNIKÁCIE 2003. Bratislava, 23.-24.4.2003, pp. 135-138.
- [F14] Filanová, J., Baroňák, I.: *H.324 Videoconference System*, In: 26th International Conference Telecommunications and Signal Processing, TSP-2003. Brno, Czech Republic, 4.9.2003, pp. 24-27.

- [F15] Filanová, J., Orgoň, M., Medvecký, M.: *The New Videoconference Equipments for Multipoint Videoconferencing*, In: International Conference Research in Telecommunication Technology, RTT-2003. Bratislava, Častá - Píla, Slovak Republic, 17.-19.9.2003, pp. 220-223.
- [F16] Baroňák, I., Halás, M., Filanová, J.: *Architecture of TMN over IN*, In: International Conference Research in Telecommunication Technology, RTT-2003. Bratislava, Častá - Píla, Slovak Republic, 17.-19.9.2003, pp. 23-25.
- [F17] Orgoň, M., Filanová, J., Medvecký, M.: *Modern distance learning systems*, In: International Conference Research in Telecommunication Technology, RTT-2003. Bratislava, Častá - Píla, Slovak Republic, 17.-19.9.2003, pp. 118-121.
- [F18] Filanová, J.: *Videokonferencia pre sluchovo postihnutých – novšie generácie odporúčaní*, In: Časopis EE, Odborný časopis pre elektrotechniku a energetiku, ročník IX., október 2003, pp. 72-74.
- [F19] Filanová, J., Medvecký, M.: *Technické aspekty videokonferencií*, In: Časopis EE, Odborný časopis pre elektrotechniku a energetiku, ročník X., 2/2004, pp. 16-18.
- [F20] Filanová, J.: *H.320 viacbodová videokonferencia – procedúry na zostavenie komunikácie*, In: 10. Medzinárodná vedecká konferencia COFAX-TELEKOMUNIKÁCIE 2004. Bratislava, 19.-20.4.2003, pp. 137-140.
- [F21] Filanová, J.: *Optimisation of Multipoint Routing in Telecommunication Networks*, In: Proc. of the Int. Conf. Research in Telecommunication Technology RTT 2004. Český Ráj, Czech Republic, 15.-17. sept. 2004, ISBN 80-01-03063-6, CD-ROM.
- [F22] Filanová, J.: *H.320 videokonferencia a jej praktické využitie*, In: Časopis Telekomunikace, ČVTSS, MK ČR E 4874, ISSN 0040-2591, 10/2004, pp. 6-9.
- [F23] Rózsár, A., Filanová, J.: *H.320 videokonferencia – výučbový modul pre televzdelávanie*, Vydavateľstvo STU Bratislava, 2004, ISBN 80-227-2172-7. CD-ROM.
- [F24] Bisták, P., Dirner, A., Filanová, J., Giertl, J., Huba, M., Jakab, F., Medvecký, M., Murín, P.: *Využitie videokonferencií vo vzdelávaní*, Prvé, Košice, elfa, s.r.o., 2005, Projekt Leonardo da Vinci, 195 p., ISBN: 80-89066-94-1.
- [F25] Bisták, P., Dirner, A., Filanová, J., Giertl, J., Huba, M., Jakab, F., Medvecký, M., Murín, P.: *Utilization of Videoconferencing for Education*, Project eEDUSER, Prvé, Košice, elfa, s.r.o., 2005, Leonardo da Vinci, 188 p., ISBN: 80-89066-99-2.
- [F26] Filanová, J., Gérič, P.: *The Design of the Evaluation Function for Routing Optimization*, In: Proc. of the Int. Conf. Research in Telecommunication Technology RTT 2005. Hradec nad Moravicí, Czech Republic, 12.-14. sept. 2005, ISBN 80-248-0897-8, pp. 90-94.
- [F27] Filanová, J.: *The Utilization of the Hill Climbing Algorithm in the Routing Problem of Multipoint Connections for Telecommunication Networks*, In: Proc. of the Int. Conf. Research in Telecommunication Technology RTT 2005. Hradec nad Moravicí, Czech Republic, 12.-14. sept. 2005, ISBN 80-248-0897-8, pp. 95-99.
- [F28] Filanová, J.: *Simulátor tvorby viacbodových spojení*, In: Časopis EE, Odborný časopis pre elektrotechniku a energetiku, ročník XI., október 2005, pp. 190-192.

Účast' autorky v projektoch:

- Broadband Telecommunications Networks and Services, VTP 315/2000 (2000-2004), Vedúci projektu: doc. Ing. Ivan Baroňák, CSc.
- COST 279 – Analysis and Design of Advanced Multiservice Networks Supporting Mobility, Multimedia and Internetworking (2001 – 2004), Vedúci projektu: prof. Ing. Pavol Podhradský, CSc.
- Next Generation Networks – Convergence of Information and Communication Technologies for Future Development of Infrastructure in Slovak Republic, VÚS 1k/315/2002 (2002), Vedúci projektu: doc. Ing. Ivan Baroňák, CSc.
- Control of Traffic in Multiservice Telecommunications Systems and Networks, VEGA 1/0156/03 (2003-2005), Vedúci projektu: doc. Ing. Ivan Baroňák, CSc.
- CRYSTALNET- NGN Network of STU Bratislava, An Institutional Project for STU Bratislava (XII/2001-XII/2003), Vedúci projektu: doc. Ing. Ivan Baroňák, CSc.
- The Convergence of ICT Networks and Services in the Communication Infrastructure of SR, State Program of the Research and Development - “Building of the Information Society“ (2003-2006), Vedúci projektu: doc. Ing. Ivan Baroňák, CSc.
- The Communication Infrastructure for Information Society – Next Generation Networks, AV 1002/2004 (2004-2006), Vedúci projektu: doc. Ing. Ivan Baroňák, CSc.

RESUME

The dissertation thesis presents the utilization of the evolutionary stochastic optimization methods (ESOA) in the domain of multi-point connection of videoconferences in the telecommunication network.

Currently, the algorithm based solutions are prevailing either in point to point or multipoint routing problems. This mean the task consist of finding an eligible algorithm which satisfies certain requirements essential to the particular application. In the final stage the algorithm is implemented as a software part in a given communication environment.

In the frame of the thesis the basic formulations of selected ESOA methods were presented together with their application into the construction of multi-point connections for videoconference purposes. The result of an application of ESOA methods to the construction of multipoint connection in the telecommunication network is strongly dependent upon several factors e.g.: eligibility of the algorithm or their mutual combination for a particular network's topology and proper estimation of their parameters. Suitability of the designed connection is directly and uniquely determined by the connection cost that may vary from the optimal to the improper or even unacceptable case according to the kind of algorithm and its setup.

The most important and original contributions of the dissertation theses are summed up in the following points:

1. The design and implementation of trees' representation by Steiner nodes.
2. Improving the computational efficiency for evolution based algorithms utilizing optimize Prim algorithm.
3. The design of the telecommunication network model suitable for investigation of optimal rooting for multipoint connections in the telecommunication network.
4. The formulation and implementation of following algorithms: Simulated Annealing, Evolution Strategy and Hill Climbing, for the purposes of construction of multipoint connections in the telecommunication network.
5. The design of the implementation of modified Evolution Strategy algorithm selecting successors from the parents as well for the purposes of multipoint connection in the telecommunication network.
6. The simulation of creation of multipoint connections using following algorithms: Simulated Annealing, Simulated Annealing with elitism, Evolution Strategy, modified Evolution Strategy and Hill Climbing.
7. The comparison of the results and formulation of an application's suitability for abovementioned methods referring to the parameter variation and calculation time.

Except already listed scientific contributions I regard the following outcome of the research important as well:

- The design of the simulation software (Simulator of the multipoint connections) that supplies two basic functions:
 - construction of the model of telecommunication network based on required features,
 - construction of multipoint connections in the telecommunication network using the following algorithms: Simulated Annealing, Evolution Strategy, modified Evolution Strategy selecting successors also from their parents, and Hill Climbing, all based on required features.