

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ИНДЕКСИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА ПРЕНОСНАТА СРЕДА В КОМУНИКАЦИОННИТЕ ИНФРАСТРУКТУРИ

Ивелина Балабанова

*Технически университет - Габрово, ул. „Хаджи Димитър“ № 4, Габрово, България
Кореспондиращ автор: ivstoeva@abv.bg*

PERFORMANCE INDEX OPTIMIZATION OF TRANSMISSION MEDIUM IN COMMUNICATION INFRASTRUCTURES

Ivelina Balabanova

*Technical University of Gabrovo, 4 “Hadji Dimitar” Str., Gabrovo, Bulgaria
Corresponding author: ivstoeva@abv.bg*

Abstract

The paper proposes an approach for optimizing the performance index of transmission medium in a modeled ICT network infrastructure with a queueing services. The optimization task is defined by polynomial model about the variation prediction of the “System Response Time” metric, which has been obtained by Regression Analysis. A selected set of optimization tools with Interior-point, SQP and Active-set algorithms is applied for optimum solving in constrained non-linear optimization procedures. High efficiency of the applied optimization algorithms was established at the requirements for improving resource responsiveness in the ICT network infrastructures with increasing capacity of servicing incoming traffic.

Keywords: transmission medium; performance index; optimization; Interior-point; SQP algorithm; Active-set.

ВЪВЕДЕНИЕ

Процедурите на оптимизация са в основата при моделиране и планиране на трафика в системите за комуникация. Идентифицирането и оптимизирането на параметри при обработка на трафични характеристики е ключово при разработване на облачен мобилен радио мрежови достъп, приложим при хетерогенни мрежи с различни клетъчни профили [1]. В друго проучване е представен подход за определянето на прага на едновременен капацитет в WDM/OCDMA системи и оптимизация по отношение на изкривяванията в дължината на вълната във времевата област, скоростта на предаване на данни и разстоянието между каналите [2,

3]. Оптимизационен проблем, свързан с определяне на разположението на сървърни станции в дадена сървърна група, подходящи за пренос на Поасонов трафични потоци, е решен в [4] относно класическа стохастична система, която е моделирана като Erlang-B (M/M/) система със загуби. Изграждането на оптични безжични мрежи от ново поколение, които да бъдат в състояние да осигурят връзки с широчина на честотната лента с по-висок обхват, невлияещи се от радио интерфейса, се базира на подходящи оптимизационни модели [5, 6].

От гледна точка на „Класическата оптимизация“ по дефиниция същността на оптимизационния процес, свързан с

намиране на локални максимуми или локални минимуми, се свежда до следните основни стъпки по:

- избор на обекти;
- избор на променливи за ефективно генериран многовариантен избор на решения;
- лимитиране на оптимизационните константи;
- формулиране на адекватен оптимизационен модел;
- избор и интеграция на подходящ алгоритъм / метод за оптимизация [7-10].

В настоящия доклад е разработен подход за оптимизация с Interior-point, SQP и Active-set алгоритми за намиране на оптимум във връзка с минимизация на трафичен параметър „System Response Time (SRT)” за подобряване на бързодействието при обработка на заявки.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В обхвата на предварително изследване е изведен математически регресионен модел за калкулиране на прогнозни нива на индекс на производителност на преносната среда SRT спрямо входящо въздействие на управляем фактор System Demand (SD), [s]. По дефиниция от теория на оптимизацията, изведеният аналитичен модел се приема за "целева функция или $f(x)$ " обект на нелинейна минимизация. Скриптовото дефиниране на регресионния аналитичен модел и функционалните ограничения относно оптимизационната задача за търсене на минимум са показани на фиг. 1.

Предназначението на зададените ограничения се състои в премахване на вероятността приетия управляем фактор да достигне максимална стойност. По отношение на SD в задачата за оптимизация са заложили два типа количествени метрики, получените от експерименталните процедури „натурални стойности”, който са асоциирани със съответни „кодирани

стойности“ – „минимално показание 0.606, [s]“ към „-1“; „максимално ниво 1.212“, [s] с „+1“. Докато променливата SRT, която е обект на минимизация, се отъждествява в натурални (реални) стойности в итерационния ход на извършваните оптимизационни процеси.

```
function f = SRT(x)
f = 0.224490 + (0.002054*x(1)) + (0.008986*x(1)^2);
```

a)

```
MATLAB
Editor - C:\Users\UserSX\Documents\MATLAB\ogrSRT.m
SRT.m  ogrSRT.m  +
1  function [c,ceq] = ogrSRT(x)
2  -    c = x(1)^2 -1;
3  -    ceq = [ ];
```

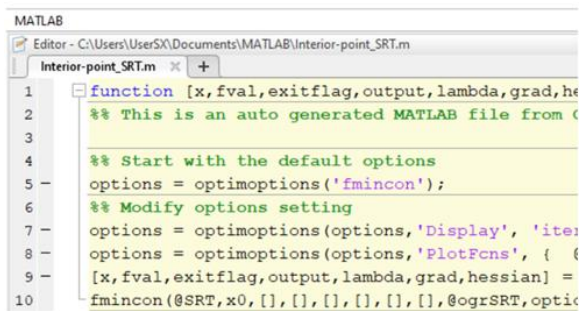
б)

Фиг. 1. M-file скриптово задаване на целевата функция за минимизация а) и функционалните нелинейни ограничения неравенства б)

Реализирано е последователното прилагане на комплекс от методи и алгоритми беше сведено до оптимизационен проблем за функционална нелинейна минимизация с ограничения с използване на следните подходи:

- „Interior- point” метод;
- „SQP” или „Sequential Quadratic Programming” алгоритъм;
- „Active-set” оптимизационен метод.

Изборът на използваните методи и алгоритми е базиран на критерий за максимално приближение на най-добрите оценки на целевата функция в обхвата на експерименталните „натурални стойности на SRT“, използвани в по-ранна фаза при регресионна диагностика относно извеждане на аналитичен прогнозен модел. Скриптовото изпълнение на посочените подходи, потвърждаващо проведените процедури по оптимизация, е представено на фиг. 2.

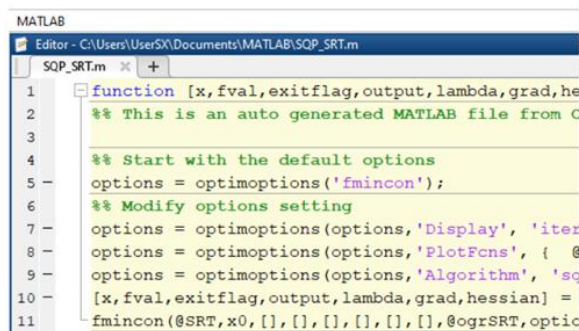


```

1 function [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
2     % This is an auto generated MATLAB file from C
3
4     % Start with the default options
5     options = optimoptions('fmincon');
6     % Modify options setting
7     options = optimoptions(options,'Display','iter');
8     options = optimoptions(options,'PlotFcns',{@optimplotfval,@optimplotdual,@optimplotsteepest});
9     [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
10     fmincon(@SRT,x0,[],[],[],[],[],[],@ogrSRT,options);

```

a)

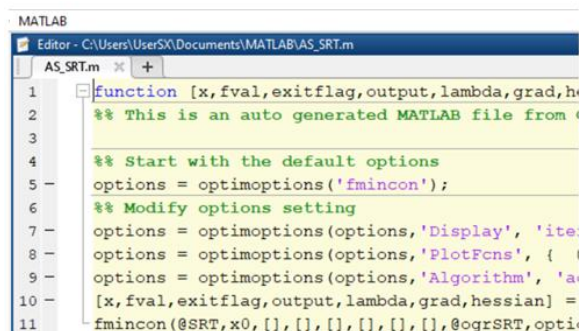


```

1 function [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
2     % This is an auto generated MATLAB file from C
3
4     % Start with the default options
5     options = optimoptions('fmincon');
6     % Modify options setting
7     options = optimoptions(options,'Display','iter');
8     options = optimoptions(options,'PlotFcns',{@optimplotfval,@optimplotdual,@optimplotsteepest});
9     options = optimoptions(options,'Algorithm','sqp');
10    [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
11    fmincon(@SRT,x0,[],[],[],[],[],[],@ogrSRT,options);

```

б)



```

1 function [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
2     % This is an auto generated MATLAB file from C
3
4     % Start with the default options
5     options = optimoptions('fmincon');
6     % Modify options setting
7     options = optimoptions(options,'Display','iter');
8     options = optimoptions(options,'PlotFcns',{@optimplotfval,@optimplotdual,@optimplotsteepest});
9     options = optimoptions(options,'Algorithm','active-set');
10    [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] =
11    fmincon(@SRT,x0,[],[],[],[],[],[],@ogrSRT,options);

```

в)

Фиг. 2. Оптимизационен програмен скрипт при функционална минимизация чрез а) “Interior point”, б) “SQP” и в) “Active set”

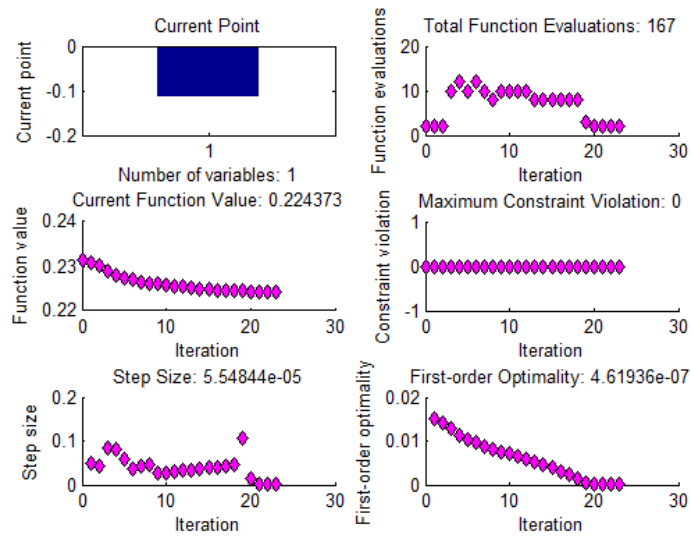
Проведен е мониторинг на итерационното изменение на селектирани специфични индекси в хода на оптимизационните процедури при последователно изпълнение на Interior-point, SQP и Active-set подходи, дадено посредством числа и графична интерпретация. Включени са следните оптимизационни метрики:

- “current point” – ниво на управляемия фактор, в което целевата функция $f(x)$ или индекс на производителност SRT достига своя минимум“;

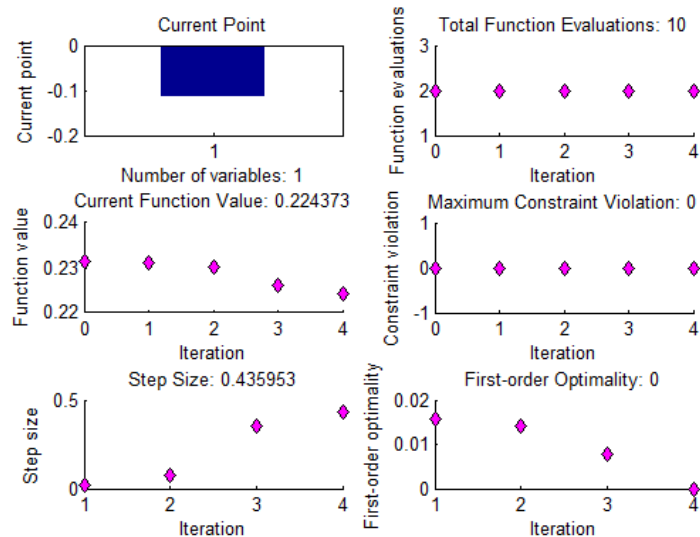
- “Total Function Evaluations” или “F-count” – количествените процедурни оценки при търсене на оптимум;
- “Current Function Value” – изменение на функцията на нелинейна минимизация с ограничения до момента на установяване на минимум;
- “Maximum Constant Violation” или “Feasibility” – състояние на максималното константно отклонение, което при коректно протичане на оптимизационния процес следва да намалява до достигане на нулева стойност;
- “Step Size” или “Norm of step” при “Interior-point” метод – вариации на стъпката при търсене на направление за намиране на оптимум до момента на минимизация на целевата функция $f(x)$. Метрики “Steplength” при оптимизация с “SQP” и “Line search steplength” при “Active-set” алгоритъм се асоциират с точността на намерения оптимум по отношение на целевата функция $f(x)$ при многоцелева оптимизация;

- “First Order Optimality” – показател, отъждествяващ до каква степен координатата на управляемия фактор SD е в близост до момента на достигане на оптимум “x”. По правило на оптимум на целевата функция $f(x)$, стойността на разглежданата променлива трябва максимално да се доближава до нулева степен.

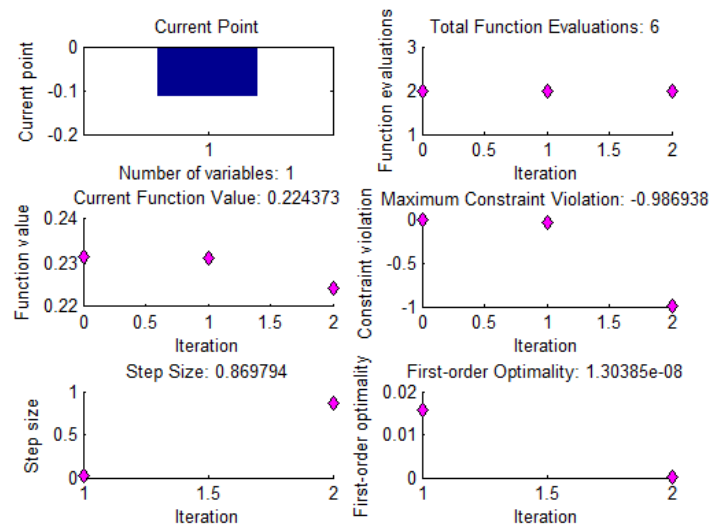
Ходът на оптимизационните процедури, показан от фиг. 3 до фиг. 5, се извършва в обхвата на 23 итерации при “Interior-point” метод, докато при “SQP” и “Active-set” подходи се свежда до 4 и 2 итерации. Установени са следните нива за метрики:



Фиг. 3. Комплекс от индикатори с "Interior-point" алгоритъм



Фиг. 4. Оптимизационен процес при "SQP" алгоритъм



Фиг. 5. Функционална минимизация с на "Active-set" алгоритъм

- “Maximum Constant Violation” – „0“ за случаите на Interior-point и SQP, „-0.986938“ при “Active-set” метод, даващо предимство на първите два оптимизационни подхода;
- “First Order Optimality” – в последователен ред „4.61936e-07“ за “Interior-point”, „0“ при SQP и „1.30385e-08“ за “Active-set”, показващо предимство при нелинейна минимизация на целевата функция чрез “Sequential Quadratic Programming” алгоритъм.

MATLAB

Variables - optimresults

optimresults

1x1 struct with 7 fields

Field	Value	Min	Max
x	-0.1143	-0.1143	-0.1143
fval	0.2244	0.2244	0.2244
exitflag	1	1	1
output	1x1 struct		
lambda	1x1 struct		
grad	4.6194e-07	4.6194e-...	4.6194e-07
hessian	0.0180	0.0180	0.0180

а)

MATLAB

Variables - optimresults

optimresults

1x1 struct with 7 fields

Field	Value	Min	Max
x	-0.1143	-0.1143	-0.1143
fval	0.2244	0.2244	0.2244
exitflag	1	1	1
output	1x1 struct		
lambda	1x1 struct		
grad	0	0	0
hessian	0.0180	0.0180	0.0180

б)

MATLAB

Variables - optimresults

optimresults

1x1 struct with 7 fields

Field	Value	Min	Max
x	-0.1143	-0.1143	-0.1143
fval	0.2244	0.2244	0.2244
exitflag	1	1	1
output	1x1 struct		
lambda	1x1 struct		
grad	1.3039e-08	1.3039e-...	1.3039e-08
hessian	0.0180	0.0180	0.0180

в)

Фиг. 6. Изходни показатели от минимизация на целевата функция посредством а) “Interior-point”, б) “SQP” и в) “Active-set”

В резултат от проведената оптимизация на фиг. 6 с последователно приложение на “Interior point”, “SQP” и “Active-set” алгоритми беше констатирано идентично решение „-0.1143“, представляващо условие за оптимум, изразено в „кодирани“ стойности на заложения управляем фактор SD. Намереното оптимално решение гарантира постигане на изисквани минимални нива на целевия трафикен индекс на производителност SRT в приблизителен порядък „0.224373“ за всеки от оптимизационните подходи. Спрямо съвпадащите положителни степени на индекс “exitflag” при Interior point”, “SQP” и “Active-set” алгоритмите е потвърдена коректността на реализираните оптимизационни процеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеният предварителен анализ с имплементация на Генетични алгоритми показва невъзможност за установяване на адекватен оптимум относно метрика "Комплексно време за престой в опашката и обслужване SRT". Поради този факт са въведени други оптимизационни способности с постигнати положителни индикации в процесите на нелинейна минимизация с ограничения, отъждествяващи се с максимално приближение между теоретичните и получените в момента на достигане на оптимум "натурални нива" на индекс SRT - Interior-point, SQP и Active-set оптимизационни алгоритми. Надграждането на обсега на изследванията следва да бъде направено с включване на задача за оптимизация относно установяване на максимално допустим праг на обслужване при повишаване на капацитета на постъпващ трафик във фазата на планиране на "разпределението на натоварването на системните ресурси Traffic Load". Друг аспект се свързва с провеждането на benchmark тестове относно ефективността между използваните и допълнително включени подходи за оптимизация, свързани с комплексна оценка на „процесорното

време“, „точността“, „най-доброто средно стандартно отклонение“ и т.н.

Публикацията е финансирана по проект „Изследване на преносната среда и моделиране на бизнес процеси на проекти с Машинно обучение в комуникациите“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Avramova AA, Christiansen HL, Iversen VB. Cell deployment optimization for cloud radio access networks using teletraffic theory. Proceedings of the eleventh advanced international conference on telecommunications, vol. I, 2015, p. 96-101.
- [2] Gharaei MO, Lepers CA, Gallion PH. Impact of crosstalk in capacity performance of WDM/OCDMA system. Proceedings of the IEEE conference on optical fiber communication - collocated national fiber optic engineers conference, vol. I, 2010, p. 1-3.
- [3] Esteves J., Craveirinha J. On a bicriterion server allocation problem in a multidimensional Erlang loss system. ELSEVIER Journal of Computational and Applied Mathematics 2013;252(1):103-119.
- [4] Yuan LA, Michał PK, Mateusz ZM. Robust topology design with routing optimization in wireless optical networks. Proceedings of the polish teletraffic symposium 17, vol. I, 2012, p. 15-16. 2012.
- [5] Faouri A., Kasar P. Classical optimization techniques”. Science & Engineering Research 2023;1(1):301-323.
- [6] Bierlaire M. Optimization: Principles and algorithms. Lausanne: EPFL Press, 2018.
- [7] Alwan G. Optimization technique”. Missouri: University of Science and Technology, 2016.
- [8] Gao Y., Zhao P., Turng L., Zhou H. Computer modeling for injection molding: Simulation, optimization and control. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [9] Kochenderfer M., Wheeler T. Algorithms for optimization. Cambridge: MIT Press Cambridge - Massachusetts Institute of Technology, 2025.
- [10] Sheik K. A comparative study on optimization algorithms and its applications. Blekinge Institute of Technology - Faculty of Computer Science 2022;1(1):1-46.