

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА LTE СИМУЛАТОРИ ЗА ЦЕЛИТЕ НА ОБРАЗОВАНИЕТО

COMPARATIVE EVALUATION OF LTE SIMULATORS FOR PURPOSES OF EDUCATION

Aydan Haka

Technical University of Varna, Bulgaria
aydin.mehmed@tu-varna.bg

Abstract

LTE is the most widespread wireless mobile network worldwide. This is a prerequisite for exploring mechanisms to improve the quality of service that can be achieved through the use of simulation products. This paper proposes a comprehensive quantitative assessment of the quality of various network simulators that allow the investigation of service quality across LTE networks. A set of criteria to perform a comprehensive comparison of popular LTE simulators is proposed.

Keywords: LTE, Network Simulators, Comparison

ВЪВЕДЕНИЕ

Активното развитие на LTE мрежите в цял свят [1, 2] допринася за навлизането на тази технология не само в ежедневието на обикновения потребител, но и в сферата на обучението. За целите на обучението не е практично и икономически изгодно да се изгражда структура на клетъчна мрежа. Затова обикновено се използват продукти за симулиране работата на конкретната технология, разглеждана в учебния процес.

Използваният симулатор е необходимо да отговаря на редица критерии според които да се избере най-практичния и икономически изгоден продукт за целите на обучението. Освен това той трябва да е интерактивен, интуитивен и лесен за работа от крайния потребител, като позволява визуално представяне на получените резултати от симулацията или статистически такива.

ИЗБОР НА КРИТЕРИИ ЗА АНАЛИЗ НА СИМУЛАЦИОННИ СРЕДИ ЗА БЕЗЖИЧНИ МРЕЖИ

В литературата има редица проучвания, реализиращи сравнителен анализ на симулационните продукти, позволяващи софтуерно изграждане на безжична мрежа. Направени-

те сравнения според всеки автор се базират на различни критерии.

В [3] са предложени две групи критерии за сравняване на симулатори – общи критерии за сравнение и критерии за сравнение според свойствата на симулаторите.

Общи критерии за сравнение:

- тип на лиценза;
- език на програмиране;
- поддържана операционна система;
- поддържане на графичен потребителски интерфейс;
- ръководство на потребителя;
- лекота на работа.

Критерии за сравнение според свойствата на симулаторите:

- тип на симулираните събития;
- налични модули за симулиране;
- скалируемост;
- брой поддържани устройства;
- паралелизъм.

В [4] са предложени следните критерии за реализиране на сравнителен анализ между симулационни продукти:

- тип;
- енергийно моделиране;
- скалируемост;
- поддръжка на код;

- радиомоделиране;
- експортиране на симулационен код;
- симулиране на LTE мобилност;
- поддръжка на операционна система в реално време.

В [5] за най-натоварения трафик са предложени следните критерии за сравняване работата на симулаторите:

- използване на паметта;
- време за изчисление;
- използване на процесора.

За да се избере подходящ LTE симулатор за целите на обучението са предложени следните критерии:

- моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при LTE;
- моделиране на различни методи за разпределяне на ресурсите;
- моделиране на различни видове трафик;
- възможност за създаване на различни симулационни модели (мрежови архитектури) за LTE мрежи;
- възможност за елементарен статистически анализ на мрежовия трафик;
- измерване на типични характеристики на производителност;
- анализ на получените резултати;
- възможност за визуално представяне на изследваната мрежа;
- лесна инсталация;
- време за изучаване.

За извършване на комплексен сравнителен анализ на продукти за симулиране работата на LTE безжични мобилни мрежи е необходима комбинация от критерии, с която да се прецизира изборът на най-подходящ симулатор за учебни цели. Тази комбинация може да бъде следната:

- моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при LTE;
- моделиране на различни методи за разпределяне на ресурсите;
- симулиране на LTE мобилност;
- генериране формата на LTE вълни;
- моделиране на различни видове трафик;
- възможност за създаване на различни симулационни модели (мрежови архитектури) за LTE мрежи;

- поддръжане на графичен потребителски интерфейс;
- наличие на ръководство за потребители и разработчици;
- възможност за елементарен статистически анализ на мрежовия трафик;
- измерване на типични характеристики на производителност;
- анализ на получените резултати;
- възможност за визуално представяне на изследваната мрежа;
- поддръжана операционна система;
- лесна инсталация;
- скалируемост;
- език на програмиране;
- време за изучаване;
- използване на процесора (Average CPU);
- използване на паметта (Commit);
- лиценз за ползване.

КОМПЛЕКСНА ОЦЕНКА ЗА КАЧЕСТВО НА СИМУЛАЦИОННИ СРЕДИ

Поради очакваната разнотипност на показателите за оценка на симулаторите, извеждане на конкретна функция за качеството на оценявания симулатор е невъзможна. Поради тази причина подобно на изследванията в [6, 7] за извършване на комплексен сравнителен анализ се избира да се изчисли средна аритметична и средна геометрична математическа зависимост.

Аритметичният комплексен показател се изчислява по формулата:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n b_i d_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (1)$$

Геометричният комплексен показател се изчислява по следната формула:

$$R_g = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{b_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i}}, \quad (2)$$

където нормираната количествена оценка на i -тия показател е

$$0 \leq d_i \leq 1 \quad (3)$$

n - брой на показателите, а b_i е i -я тегловнен коефициент, като

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1 \quad (4)$$

За целите на изследването тегловните коефициенти b_i се вземат равни.

Сравнителният анализ е направен на база на симулаторите, описани в Таблица 1.

Таблица 1. Симулатори на LTE мрежа

Тип на софтуера	Симулационен софтуер
Комерсиален	OPNET, QualNet, MATLAB, LTE PHY Lab
С отворен код	NS2, NS3, OMNeT++, Vienna Simulator, Предложен от автора

За постигане на сравними резултати всеки от симулаторите е използван за симулиране на една и съща LTE мрежа, като е направено изследване на всеки от тях спрямо предложената комбинация от критерии. Това е направено, за да се определи доколко начинът на работа със симулатора е удобен за потребителя. Тъй като не всички от предложените критерии имат ясни количествени измерители, за да се намали субективността при избора на най-подходящ симулатор, е приложен методът за комплексна оценка на качеството. Целта е да се дефинира най-подходящият симулатор, позволяващ проектиране на LTE мрежа и модификация на нейните компоненти, така че да се реализират различни механизми за приоритизиране на трафика.

OPNET [8] – обектно-ориентирана програма, която предоставя среда за моделиране на комуникационни системи и мрежи. Може да се използва за разглеждане на комуникационни мрежи, устройства, протоколи и приложения. Графичният интерфейс на средата позволява формиране на топология на мрежата от физическия до приложния слой. OPNET предоставя поддръжка на LTE модули от версия 17.5. позволява моделиране на почти всички основни характеристики на LTE.

QualNet [9] – мрежов симулационен софтуер за планиране, тестване и обучение. Към

QualNet може да бъде включен симулационният модел за LTE. За създаване на типични мрежови модели продуктът предоставя графичен потребителски интерфейс. За добавяне на по-специализирана функционалност и мрежови протоколи са налични допълнителни библиотеки от компоненти. Библиотеката за LTE осигурява симулация, базирана на 3GPP стандартите.

MATLAB [10] – изчислителна среда и патентован език за програмиране, разработен от MathWorks. Продуктът позволява матрични манипулации, графики на функции и данни, прилагане на алгоритми, създаване на графичен потребителски интерфейс и взаимодействие с програми, написани на други езици, включително C, C++, C#, Java, Fortran и Python. MATLAB има разработен продукт за LTE – „LTE Toolbox“. Той предоставя функции, съвместими със стандарта и приложения за проектиране, симулация и проверка на LTE, LTE-Advanced и LTE-Advanced Pro комуникационни системи.

LTE PHY Lab [11] – представлява цялостна реализация на физическия слой на E-UTRA съгласно 3GPP Release 8, със съществени елементи от Release 9 и 10. Работи под MATLAB/Octave и може да се използва като инструмент за симулация на ниво връзка или като библиотека на физическо ниво. Продуктът е разработен да обслужва клиентите на всички етапи на LTE разработката – софтуер, хардуер, проучвания, създаване на прототипи и внедряване, сравнение, проверка и тестване. Може да моделира процесите в честотната лента за UE и eNB физическо ниво в Uplink и Downlink посока. Имплементира всички съвместими с 3GPP функционалности за транспортни канали, контролна информация, физически канали и обработка на физически канали (включително кодиране на канали, MIMO и OFDM/SC-FDMA модулация). Реализира се като модулни функции с добре дефинирани интерфейси, което позволява на потребителя да включва свои собствени алгоритми.

OMNeT++ [12] – мрежов симулатор с отворен код, който се основава на графичен потребителски интерфейс. Представлява симулатор на дискретни събития и има архитектура, базирана на компоненти, наричани още модули се програмират на C++. Те мо-

гат да бъдат използвани повторно и основните характеристики на продукта може да бъдат комбинирани по различни начини.

NS-2 [13] – мрежов симулатор, базиран на дискретни събития, написан на C++. Той осигурява симулиране на TCP трафик, протоколи за маршрутизиране и мултикаст по жични и безжични мрежи. Осигурява подробна документация. Не е мащабируем за по-широки мрежи.

NS-3 [14] – симулатор, базиран на дискретни събития с отворен код, предназначен за научни и образователни цели. Продукта е лицензиран за изследвания и разработки. NS-3 не е актуализирана версия на NS-2, а го заменя.

Vienna LTE System Level Simulator [15] – софтуер с отворен код, разработен на MATLAB. Първо е разработен като Link Level симулатор, а след това е разширен до симулатор на системно ниво. Докато симулаторите на Link Layer позволяват изследване на въпроси свързани с Multiple Input Multiple Output (MIMO), Adaptive Modulation and Coding (AMC), моделиране на кодирането и декодирането на канала, симулаторите на системно ниво се използват основно за изследване на проблеми, свързани с мрежата, като планиране, управление на мобилността, управление на смущения или разпространение на сигнали. При симулациите на системно ниво физическият слой се абстрахира от резултатите на ниво връзка и се използват за оценяване работата на мрежата.

Предложен от автора симулатор на LTE мрежа [16] – представлява софтуер с отворен код, разработен в среда Visual Basic. Позволява моделиране на различни механизми за приоритизиране на трафика и механизми за разпределяне на ресурсите. Позволява симулиране на различен вид трафик. Елементите на симулатора се базират на 3GPP стандарта. Предоставя лесен и интуитивен графичен потребителски интерфейс. Позволява изграждане на LTE мрежа, в която всяка eNodeB имплементира механизъм за приоритизиране на трафика и разпределяне на ресурсите, може да се симулира хоризонтален хендовър на мобилните потребители към друга eNodeB, осигурява изследване на матрицата на предаване според OFDM модулация.

Таблица 2 представя сравнение на девет симулатора на LTE мрежа. Сравнението е извършено чрез провеждане на експерименти с въвеждане на параметри на една и съща LTE мрежа, с едни и същи входни данни. Симулирани са едни и същи ситуации и са анализирани получените резултати.

На база проведените експерименти в Таблица 2, са представени и комплексните оценки на същите симулатори в Таблица 3 – комплексен аритметичен и комплексен геометричен показател изчислени по формули, съответно (1) и (2).

Получените резултати за комплексната оценка доказват, че симулаторите MATLAB, Vienna LTE Simulator и NS-3 са най-добри за изследване на LTE мрежи.

Таблица 2. Сравнение на симулатори на LTE мрежи

Критерии за сравнение на LTE симулатор	Изследвани симулатори								
	OPNET	QualNet	OMNeT ++	NS-2	NS-3	Vienna LTE Sim	MATLAB	LTE PHY Lab	Предложен
Моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при LTE	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Моделиране на различни методи за разпределяне на ресурсите	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Симулиране на LTE мобилност	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Генериране формата на LTE вълни	Не	Не	Не	Не	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Не

Моделиране на различни видове трафик	Да напълно	Да частично	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Възможност за създаване на различни симулационни модели (мрежови архитектури) за LTE мрежи	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Поддържане на графичен потребителски интерфейс	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Наличие на ръководство за потребители и разработчици	Да частично	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно
Възможност за елементарен статистически анализ на мрежовия трафик	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Измерване на типични характеристики на производителност	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично
Анализ на получените резултати	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Възможност за визуално представяне на изследваната мрежа	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да частично
Поддържана операционни системи	Windows, Linux	Windows, Linux	Linux, MacOS, Windows	Linux, Win9x, 2000, XP	Linux, MacOS, Windows experimental	Linux, MAC OS, Windows	Linux, MAC OS, Windows	Linux, MacOS, Windows	Windows
Лесна инсталация	Да частично	Да напълно	Да частично	Да частично	Да частично	Да частично	Да напълно	Да частично	Да напълно
Скалируемост	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да частично	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично
Език на програмиране	C и C++	C++	C++	C++, OTCL	C++, Optional Python Bindings	Matlab script, Python	Matlab script, Python	Matlab script, Python	Visual Basic
Време за изучаване	Продължително	Кратко	Средно	Продължително	Продължително	Продължително	Продължително	Продължително	Кратко
Използване на процесора	9.70	27.65	7.57	12.42	11.56	26.21	28.43	27.20	5.43
Използване на паметта	549 510KB	950 874KB	439 500KB	560 840KB	570 932KB	940 732KB	940 832KB	940 800KB	245 708KB
Лиценз ползване	Безплатен академичен, но платен за LTE	Платен търговски	Безплатен	Безплатен	Безплатен	Безплатен за академични цели	Платен стандартен и академичен	Платен	Безплатен

Таблица 3. Сравнение на комплексните оценки на симулатори за LTE мрежи

Комплексен показател	Изследвани симулатори								
	OPNET	QualNet	OMNeT ++	NS-2	NS-3	Vienna LTE Simulator	MATLAB	LTE PHY Lab	Предложен
R _д	0.444	0.446	0.434	0.460	0.479	0.472	0.501	0.451	0.443
R _с	0.336	0.372	0.347	0.362	0.398	0.403	0.418	0.376	0.332

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен е набор от критерии за сравнение и комплексна оценка на симулатори за LTE мрежи. Предложените комплексни оценки осигуряват сравнимост на резултатите и намаляват субективността в оценяването на симулационните среди. Според представените резултати от изследването поради широкия набор от разглеждани критерии най-подходящ за изследване на LTE мрежите се явява MATLAB. При изследване на критериите поотделно, обаче, се вижда, че предложеният симулатор предоставя оптимални стойности спрямо – „Лесна инсталация“, „Време за изучаване“, „Използване на процесора“, „Използване на паметта“, „Лиценз за ползване“, които са от изключителна важност по отношение на обучението. Също така предоставя съизмерими, с останалите симулатори, резултати спрямо много други критерии. Това доказва, че предложеният симулатор е подходящ за целите на обучението.

ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Представените резултати от изследванията в настоящата публикация, са проведени по Националната научна програма „Млади учени и постдокторанти“, която се финансира от държавния бюджет.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ericsson Mobility Report, June 2019. <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>, Last visit on 26.08.2019.
- [2] Global Statistics, 5G Americas. June 2019, <https://www.5gamericas.org/resources/charts-statistics/global/>, Last visit on 26.08.2019.
- [3] Kabir, M. H., Islam, Y., Hossain, J., Hossain, S. Detail Comparison of Network Simulators. //International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 10, October 2014, pp: 203-218, ISSN: 2229-5518.
- [4] Venkataramanan, V., Lakshmi, S. A Case Study of Various Wireless Network Simulation Tools. //International Journal of Communication

- Networks and Information Security (IJCNIS), Vol.10, No. 2, August 2018, pp: 389 – 396.
- [5] Abreu, T., Baynat, B., Gachaoui, M., Jimenez, T., Nya, N. Comparative study of LTE simulations with the ns-3 and the Vienna simulators. //SIMUTOOLS 2015, August 24-26, Athens, Greece.
- [6] Haka, A., Aleksieva, V., Valchanov, H. Comparative Evaluation of Mechanisms for Traffic Prioritization in LTE Networks. //Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 406-410, ISBN: 978-1-7281-1412-5, IEEE Catalog number: CFP19L07-USB.
- [7] Dinev, D., Aleksieva, V., Valchanov, H. Comparative Analysis of Prototypes Based on Li-Fi Technology. //Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 531-534, ISBN: 978-1-7281-1412-5, IEEE Catalog number: CFP19L07-USB.
- [8] (OPNET). OPNET Modeler Suite. <http://opnetprojects.com/opnet-network-simulator/>, Last visit on 28.08.2019.
- [9] (QualNet). QualNet Network Simulator Software. <https://web.scalable-networks.com/qualnet-network-simulator-software>, Last visit on 26.08.2019.
- [10] (MATLAB). MATLAB Simulator. <https://uk.mathworks.com/products/matlab.html>, Last visit on 20.08.2019.
- [11] (LTE PHY Lab). LTE PHY Lab Simulator. <https://www.is-wireless.com/downloads/lte-phy-lab/>, Last visit on 20.08.2019.
- [12] (OMNeT). OMNeT++ Simulator. <https://omnetpp.org/>, Last visit on 25.08.2019.
- [13] (NS2). NS2 Simulator. <http://ns2simulator.com/>, Last visit on 24.08.2019.
- [14] (NS3). NS3 Simulator. <http://ns3-code.com/ns3-download/>, Last visit on 24.08.2019.
- [15] (Vienna LTE-A). Vienna LTE-A Simulators. <https://www.nt.tuwien.ac.at/research/mobile-communications/vccs/vienna-lte-a-simulators/>, Last visit on 24.08.2019.
- [16] Aleksieva V., Haka A. Modified Scheduler for Traffic Prioritization in LTE Network. //Proceedings of the Second International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'17), 2017, Volume 2, pp. 228-238.