

A SIMULATION EVALUATION ON THE IMPACT OF THE CONTROLLER LOCATION AND NUMBER ON THE PARAMETERS OF THE SDN

СИМУЛАЦИОННА ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕТО И БРОЯ НА КОНТРОЛЕРИТЕ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА SDN

Diyana Kyuchukova, Georgi Hristov, Plamen Zahariev

Department of Telecommunications, University of Ruse “Angel Kanchev”, 8 “Studentska” Str.,
7017, Ruse, Bulgaria, phone: +359 82 888 663,
e-mail: {dkyuchukova, ghristov, pzahariev}@uni-ruse.bg;

Дияна Кючукова, Георги Христов, Пламен Захариев

Катедра „Телекомуникации“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, ул. „Студентска“
№8, 7017, Русе, България, тел.: +359 82 888 663,
e-mail: {dkyuchukova, ghristov, pzahariev}@uni-ruse.bg;

Keywords: SDN, controller placement problem, performance, simulation;

Abstract – The rapid development of the SDN networks and the new strategy for separation of the control from the data plane has presented to the researchers and the service providers several key challenges. The primary task, which needs to be solved, is the development of adequate algorithms and methodologies for balanced distribution of the resources within the network. This publication will present an analysis on the results from several simulation experiments on the factors that affect the placement of the controllers from the control plane. Solving the problem with the controller placement depends on many criteria, including the stability of the control plane. In this sense, there is more than just one solution to this problem, but it is important to implement the one that provides the best trade-off between the input criteria.

Резюме – Бързото навлизане на SDN мрежите и новата стратегия за отделяне на контролната от информационната равнина силно изостриха вниманието на изследователите и доставчиците на услуги към няколко основни проблема. Първостепенната задача, която е необходимо да бъде решена е създаване на адекватни алгоритми и методики за балансирано разпределение на ресурсите в обхвата на мрежата. В тази публикация ще се представи анализ върху резултатите от поредица симулационни изследвания на факторите, които влияят върху определянето на местоположението на контролерите формиращи контролната равнина. Решаването на проблема за разположение на контролерите зависи от множество критерии и не на последно място от гарантиране на устойчивост на контролната равнина. В този смисъл е възможно повече от едно решение на поставената задача, но е важно да се приложи този вариант, при който има пълен баланс на входните критерии.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Бурното нарастване на броя мобилни потребители, виртуализацията на сървъри и появата на облачните услуги са сред причините, които пораждат необходимост от нова мрежова архитектура. Оказва се, че конвенционалните мрежови архитектури имат редица ограничения, които ги поставят в безизходно положение и им пречат да се адаптират към изискванията на високопроизводителните ИТ инфраструктури. Съвременните софтуерно дефинирани мрежови архитектури намират все по-широко приложение в отговор на тези изисквания. Най-голямо тяхно предимство е централизираното управление. Това са мрежови архитектури, в които контролната и информационна равнина са физически отделени, като управлението е централизирано върху един физически сървър - контролер. Този мрежови дизайн отваря много въпроси, свързани с производителността и надеждността на мрежата. Съществуват редица фактори, които влияят върху производителността, надеждността и възможността за мащабиране. Например използването на един контролер в мрежи претоварени с мега масиви от данни е предпоставка за създаване на уязвими места, където се отчита значително закъснение и влошаване на производителността. Затова използването на един физически контролер е по-скоро неподходящо решение при реализирането на програмно управление в мрежите [1].

Като алтернатива на физически централизираното управление в софтуерно дефинираните мрежи се появява логически централизираното, което е физически разпределено между няколко сървърни машини. В стандартните SDN архитектури комутаторите от информационната равнина комуникират със своите контролери посредством стандартните TLS (Transport Layer Security) или TCP (Transmission Control Protocol) връзки. Една от основните задачи при проектирането на контролната равнина се свежда до минимизиране на закъснението между възлите (комутаторите от информационната равнина) и контролерите [2]. Решението на тази задача се свежда до определяне на подходящо местоположение на контролерите, като под внимание трябва да се вземат следните основни фактори:

Отпадане на контролер - Редица изследвания [4,5] показват, че реализирането на управление с по-голям брой контролери помага за намаляване на максималното закъснение между възлите и техните контролери. От друга страна това увеличава надеждността в мрежата - ако един контролер спре да работи има други, които могат да поемат неговата функционалност [6,8].

Прекъсване на мрежата - За разлика от отпадането на контролер, прекъсването на мрежови компоненти (като връзки или възли) често има по-голямо въздействие върху стабилността на мрежата, тъй като настъпват промени в мрежовата топология. В такива случаи, най-краткият път между възел и контролер се променя, което води до увеличаване на мрежовото закъснение или евентуална смяна на обслужващия контролер.

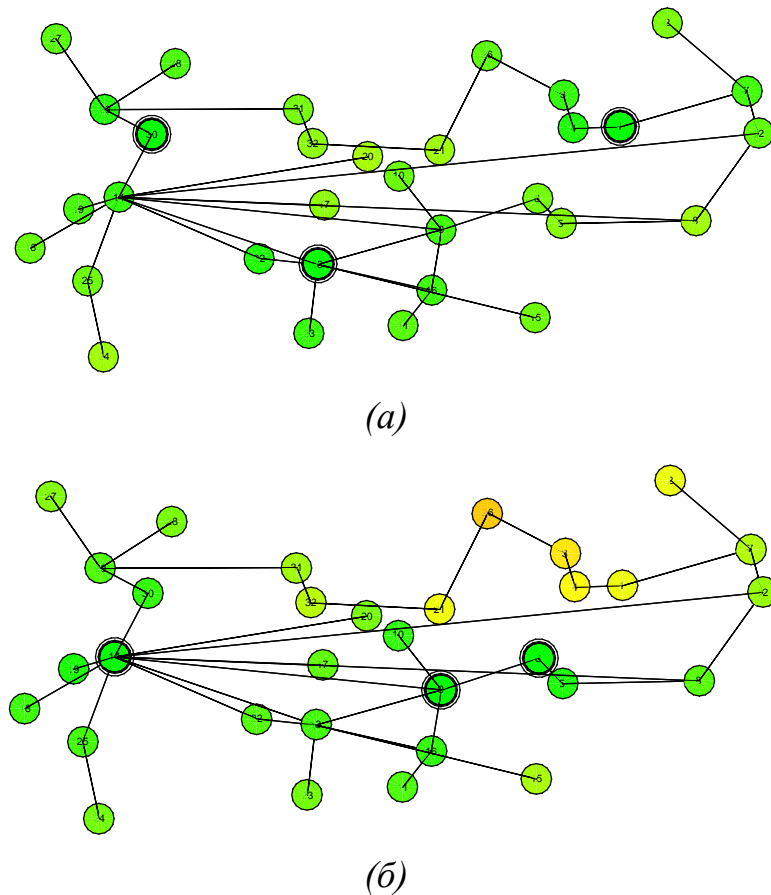
Небалансирано натоварване на контролерите - всички възли в мрежовата топология се обвързват с най-близкия до тях контролер. Тук критерият най-

близък се свързва с изискванията за най-кратък път с най-малко мрежово закъснение. Колкото повече възли има асоциирани към даден контролер, толкова по-голямо е и неговото закъснение. При неправилно определяне местоположението на контролерите може да се получи небалансирано натоварване - един контролер да бъде много по-натоварен от друг.

2. ФАКТОРИ ОПРЕДЕЛЯЩИ РАЗПОЛОЖЕНИЕТО НА КОНТРОЛЕРИТЕ

Основните маршрути за обработване на обобщения трафик между отделните възли на мрежата са предефинирани в гръбначните мрежи. В този случай SDN контролерите не управляват отделните трафични потоци, но при промяна на маршрутните таблици или прекъсване на предефинираните маршрути, те трябва да са в състояние за изчисляване на резервните маршрути и възстановяване целостта на топологията. В зависимост от големината на топологията тези функции могат да се изпълняват само от един контролер, но за да са изпълнени съображенията за сигурност е необходимо да се резервира неговата функционалност. Ако се използва виртуализация на мрежовите функции в контролната равнина, тогава броя на контролерите е значително по-голям, което се дължи на интензивния трафик и натоварване в контролната равнина. В направеното изследване се приема, че за реализиране на сигнализацията се използва архитектура с интегрирана контролна равнина, което означава, че ако имаме прекъсване в мрежата на повече от един сегмент е възможно да съществуват такива възли, които нямат връзка с контролер. За провеждане на симулационните изследвания е създадена матрица на съседството на гръбначните устройства на територията на България [6], в която са определени тегловни коефициенти, които са пропорционални на населението в съответните възли на матрицата. Матрицата е изградена от четири масива, които включват координати на възлите, имена на възлите (32 града, между които е разположена гръбначната оптична мрежа), тегловни коефициенти и таблица на съседство между възлите.

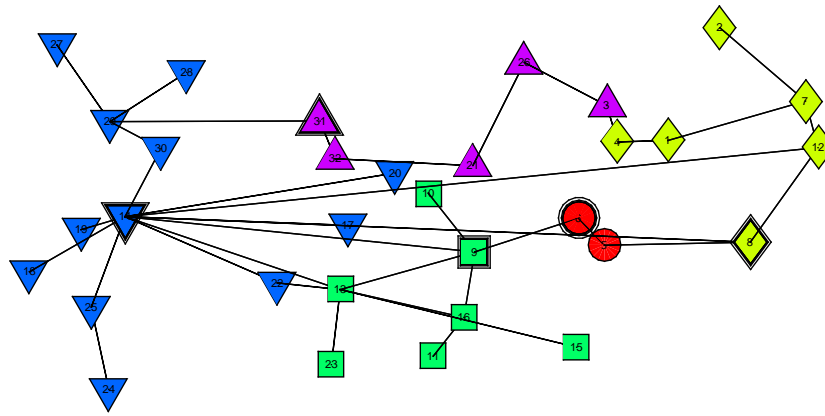
Основния фактор при избор на местоположението на контролера е минимално закъснение между възлите и контролера [4, 5]. За да се реши тази задача, не е достатъчно да се разглежда само този фактор. Голям брой контролери, които са равномерно разпределени в топологията могат силно да намалят закъснението между възлите и контролната равнина (фиг.1а). При отпадане на контролерите, всеки възел в топологията се свързва към втория най-близък до него. Този механизъм гарантира нормална функционалност на възлите, но е свързан със значително увеличаване на закъснението до контролната равнина за някои от мрежовите устройства. Подобна ситуация е показана на фиг. 1б, където възли с ID: 26, 3, 4, 21, 1 и 2 са засегнати най-силно от промяната на управляващия контролер.



Фиг.1 Различни методи за формиране на контролната равнина, (а) *Контролна равнина реализирана от основните контролери*, (б) *Контролна равнина реализирана от резервните контролери*

За да се избегне тази ситуация, при решаването на оптимизационната задача за разположение на контролера, не е достатъчно да се разглежда само топологията, при която комутацията се осъществява с предефинираните маршрути, но и в случаите на отпадане на контролери.

Основната концепция на SDN се изразява в присъединяването на възлите към най-близкия до тях контролер, а критерия който определя тяхната близост е най-малкото закъснение изчислено от SPF алгоритъм. Резултатите от симулационно моделиране на SPF алгоритъма са показани на фиг. 2, като с различен цвят и маркер е показан различния брой на възли асоциирани към мрежовите контролери. Броят на възлите асоциирани към различните контролери е небалансиран и варира от един (зона 0) и достигат до 11 (зона V). Големия брой възли асоциирани към контролер води до рязко увеличаване на неговото натоварване. Прекомерното увеличаване на броя на възлите може да доведе до увеличаване на закъснението в мрежата, което се дължи на увеличаване на времето за престой на заявките в опашката на контролера. За да се избегне тази ситуация е необходимо да се гарантира равномерно натоварване на всеки един от контролерите и трябва също да се разглежда като фактор при определяне местоположението им.

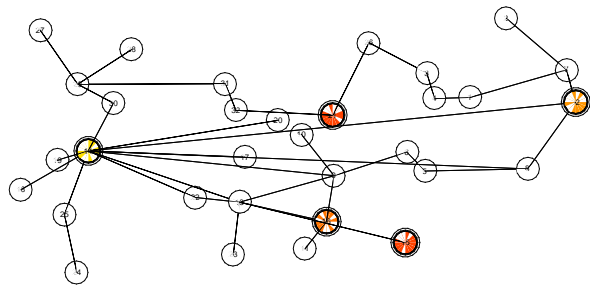


Фиг.2 Пример за небалансирано натоварване на контролерите в топологията

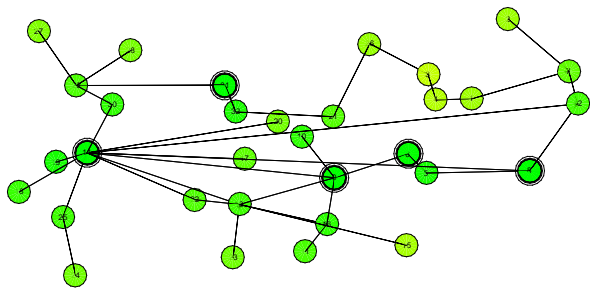
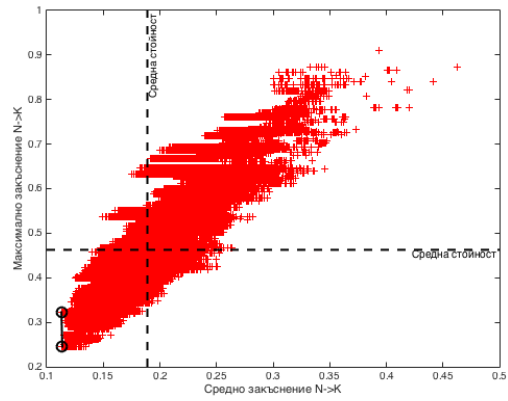
От направения анализ, е ясно, че използването на единствен контролер в топологията е свързано с редица недостатъци. Използването на повече от един контролер е свързано с нови предизвикателства, които трябва да бъдат решени. Разпределеното управление на топологията (*при $k > 1$*), е свързано с процеси по синхронизация на служебната информация. Честотата на тази синхронизация е пропорционална на закъснението между отделните контролери и може да доведе до неприемливо време за разпространение на служебната информация.

3. СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ ПО РАЗПОЛОЖЕНИЕТО НА МРЕЖОВИТЕ КОНТРОЛЕРИТЕ В SDN

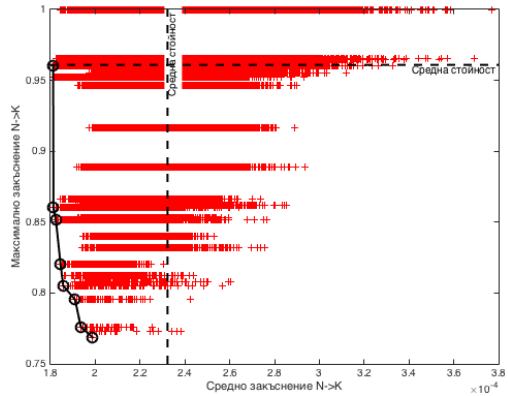
При отпадането на контролер в мрежата възлите се асоциират към най-близкия до тях резервен контролер, което е свързано с увеличаване на закъснението. За да се изследва този процес се разглежда средната и максималната стойност на закъснението (π^{avg}, π^{max}) между възлите и контролерите в топологията. Експериментите са проведени с k на брой контролери, като са разгледани всички възможни варианти с отпадане на $k - 1$ контролера. Ако използваме минимизиране на π^{max} , като критерий за определяне броя и местоположението на контролерите ще получим равномерно разпределение на контролерите в центъра на топологията. Фигура 3 показва това разпределение и стойностите на закъснение при $k = 5$. В разгледания пример, дори при най-лошия сценарий с отпадане на 4 контролера, максималното закъснение е със сравнително ниски стойности. При отпадане на 4 контролера решението на задачата се свежда до определяне на местоположението на 1 контролер от 5 възможни позиции. Показаните резултати обхващат случаите, когато имаме отпадане $f = k - 1$ контролера и когато $f = 0$. Ясно е, че за да се намери оптималното решение по отношение минимизиране на π^{max} , трябва да се намерят всички общи решения, дори и в случаите, когато няма отпадане на контролери.



(a)

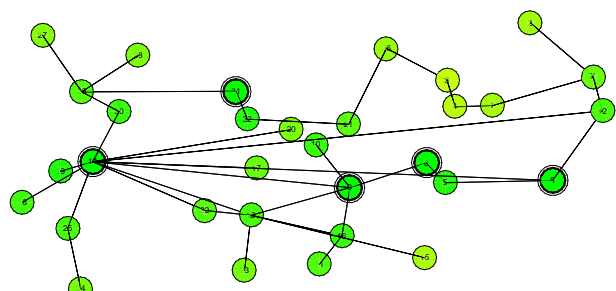
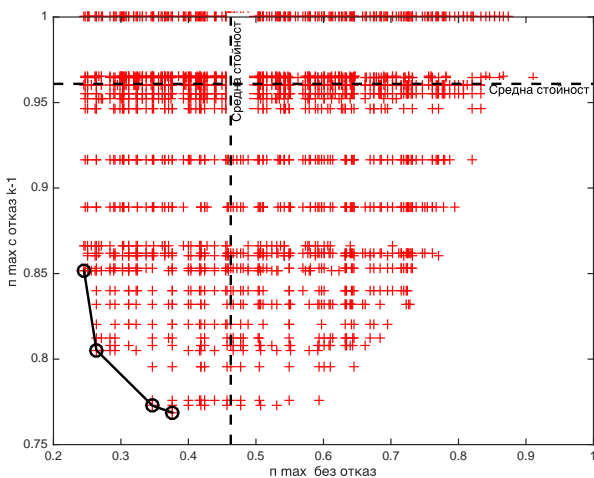


(б)



Фиг.3 Определяне броя и местоположението на контролерите при $\min \pi^{max}$ и $k = 5$, (a) без отпадане на контролери, (б) с отпадане на $k-1$ контролера

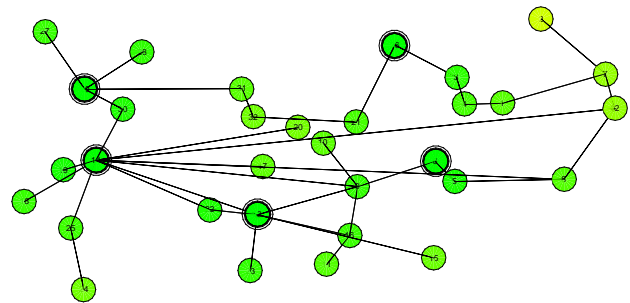
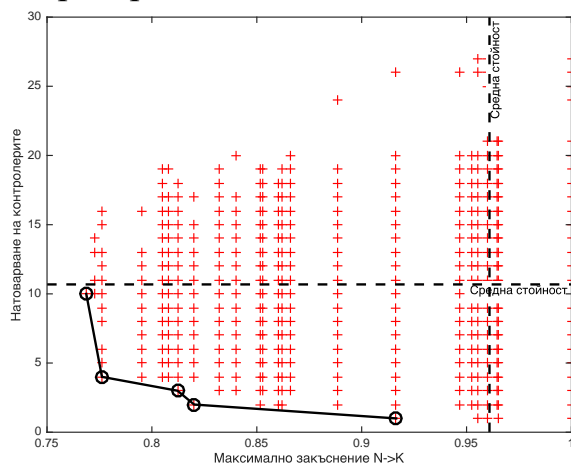
В симулационния модел се използва симплексен метод за намиране на Парето – оптимални решения [3]. За даден набор от метрики m_1, \dots, m_n , стойността (x_1, \dots, x_n) е Парето – оптимално решение, ако не съществува стойност (y_1, \dots, y_n) , при която y_i има по добър параметър от x_i , за която и да е от метриците m_i .



Фиг.4 Оптимално решение по отношение минимизиране на π^{max}

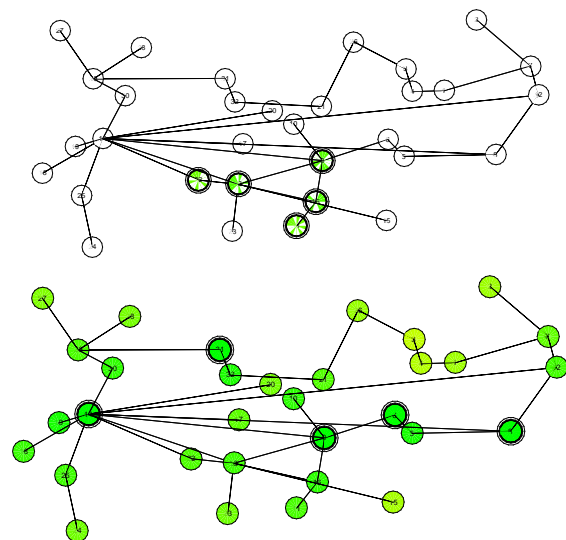
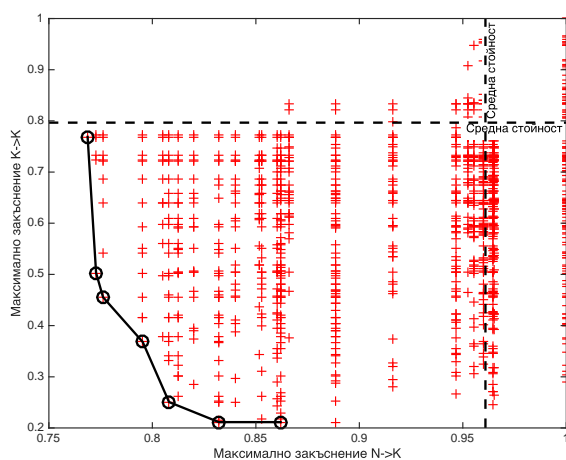
Както се вижда от фигура 4, съществуват повече от едно решения, когато се отчетат ситуацияите без отказ и всички възможни комбинации с отказ $k - 1$. Използвания алгоритъм за изчисляване не дава конкретен отговор, но дава всички възможни позиции, които отговарят на зададените критерии.

За гарантиране на надеждност в SDN топологията е желателно всички контролери да бъдат натоварени равномерно [7]. Както е показано на фиг.2 това условие не винаги е удовлетворено. За определяне местоположението на контролерите и удовлетворяване на изискването за балансиране се използва симплексен метод за намиране на решение. Входните параметри са натоварване на контролерите и максимално закъснение между възлите и управляващите ги контролери.



Фиг.5 Оптимално решение по отношение балансирано натоварване на контролерите

Анализа на резултатите от фиг. 5 показват, че има еднозначно решение на задачата за балансирано натоварване на контролерите в мрежата.



Фиг.6 Оптимално решение по отношение закъснението $K \rightarrow K$ и $V \rightarrow K$

На фиг. 6 са показани резултатите от опита за решаване на задачата по отношение на максималното закъснение между контролерите и максималното закъснение между възлите и управляващите ги контролери. Резултатите показват, че не може да бъде намерено оптимално решение на тази задача по отношение на входните параметри в едно и също време. Резултатите от дясната част на фигурата показват, че когато се използва закъснението контролер → контролер с по-голяма тежест, разпределението на контролерите е концентрирано в центъра на топологията (фиг.6 дясно, горе), за разлика от случая, когато с по-голяма тежест е закъснението възел → контролер, при което има равномерно разпределение на контролерите в топологията (фиг.6 дясно, долу).

4.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тази статия е разгледано основното предизвикателство при разгръщането на широко обхватните SDN топологии: определяне на броя и местоположението на контролерите образувачи контролната равнина. За да се конкретизира проблема, фокуса е насочен към гарантиране на надеждност на контролната равнина. Изследванията са направени на базата на реално функционираща мрежа и показват, че в зависимост от зададените критерии броя и местоположението на контролерите може силно да се различават. Направения анализ дава възможност за разширяване на критериите при определяне на местоположението и броя на контролерите в SDN топологията.

5. REFERENCES

- [1] B. Heller, R. Sherwood, N. McKeown, "The Controller Placement Problem", *HotSDN'12 August 13, 2012, Helsinki, Finland*
- [2] D. Hock, M. Hartmann, S. Gebert, M. Jarschel, T. Zinner, P. Tran-Gia, "Pareto-Optimal Resilient Controller Placement in SDN-based Core Networks", *Teletraffic Congress (ITC), 2013, 25th International, Sept 10-12, 2013, Shanghai, China*
- [3] D. Hock, S. Gebert, M. Hartmann, T. Zinner, P. Tran-Gia, "POCO-Framework for Pareto-Optimal Resilient Controller Placement in SDN-based Core Networks", *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE, May 5-9, 2014, Krakow, Poland*
- [4] Y. Hu, W. Wang, X. Gong, X. Que, S. Cheng, "On the placement of controllers in software-defined networks", *The Journal of China University of Posts and Telecommunications, vol.18, pp 92-97,171, Oct., 2012*
- [5] Y. Zhang, N. Beheshti, M. Tatipamula, "On Resilience of Split-Architecture Networks", *GLOBECOM 2011, Dec 5-9, 2011, Huston, TX, USA*
- [6] <http://www.topology-zoo.org/dataset.html>
- [7] Y. Hu, W. Wang, X. Gong, X. Que, S. Cheng, "On reliability-optimized controller placement for Software-Defined Networks", *Communications, China, vol. 11, issue 2, pp 38-54, Feb, 2014*
- [8] F. J. Ros, P. M. Ruiz, "On reliable controller placement in Software-Defined Networks", *Computer Communications (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2015.09.008>*