

ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP მარშრუტიზაციაში: ინტერნეტის უსაფრთხოებისა და ეფექტიანობის ახალი მიდგომა

გურამ აჭარაძე, გიორგი კირცხალია, მაია ჭოლიკიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

guramiacharadze@gmail.com, kirtskhaliagiorgi08@gtu.ge, cholikidzemaia08@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია BGP (Border Gateway Protocol)-ის როლი ინტერნეტის სტაბილური ფუნქციონირების უზრუნველყოფის პროცესში და მისი არსებითი გამოწვევები. აღნიშნული პროტოკოლი წარმოადგენს ავტონომიურ სისტემებს შორის მარშრუტების გაცვლის ძირითად მექანიზმს, თუმცა მასთან დაკავშირებულია რიგი პრობლემები, მათ შორის, უსაფრთხოების უზრუნველყოფის სირთულე, კონფიგურაციის კომპლექსურობა, პოლიტიკის მართვის სირთულე და გლობალური გავლენა ქსელის სტაბილურობაზე.

თანამედროვე კვლევითი მიდგომები ყურადღებას ამახვილებს ნეირონული ქსელების ინტეგრაციაზე BGP მარშრუტიზაციის პროცესში. აღნიშნული ინტეგრაცია შესაძლებელს ხდის მონაცემთა ავტომატიზებულ შეგროვებასა და ანალიზს, მოდელის სწავლებას, ანომალიების რეალურ დროში აღმოჩენასა და მათზე ავტომატურ რეაგირებას. ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება ხელს უწყობს მარშრუტების ოპტიმიზაციას, გადაწყვეტილების მიღების გამჭვირვალობასა და ადაპტირებადობას დინამიკურ ქსელურ გარემოში.

ნეირონული ქსელების დანერგვა BGP მარშრუტიზაციაში მნიშვნელოვნად ზრდის სისტემის სტაბილურობას, უსაფრთხოებასა და ოპერაციულ ეფექტიანობას. იგი ამცირებს ადამიანური შეცდომების რისკს, აუმჯობესებს მარშრუტების მართვის ხარისხს და ზრდის ქსელის გამტარიანობას. შედეგად, ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია განიხილება, როგორც პერსპექტიული გზა ინტერნეტის გლობალური ინფრასტრუქტურის მართვისა და მისი მდგრადი განვითარების უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: BGP (Border Gateway Protocol), მარშრუტიზაცია, ნეირონული ქსელები, ხელოვნური ინტელექტი (AI)

1. შესავალი.

ინტერნეტის ფუნქციონირება დიდად არის დამოკიდებული მარშრუტიზაციის პროტოკოლებზე, რომელთა შორის BGP ერთ-ერთ მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. BGP უზრუნველყოფს ავტონომიურ სისტემებს (AS) შორის მარშრუტების გაცვლას და წარმოადგენს ინტერნეტის „ხერხემალს“.

BGP საშუალებას აძლევს სხვადასხვა დამოუკიდებელ ერთეულს (კომპანიებს ან ISP-ებს, რომლებიც ავტონომიურ სისტემებად აღიარებულია) დაკავშირდნენ ერთმანეთს. თითოეული AS იდენტიფიცირებულია უნიკალური ნომრით (ASN - ავტონომიური სისტემის ნომერი) და აქვს კავშირები სხვა AS-ებთან, როგორიცაა მომხმარებლები და პროვაიდერები.

BGP-ს მთავარი უპირატესობა არის შესაძლებლობა, AS-ებს განახორციელონ საკუთარი მარშრუტიზაციის პოლიტიკა კომერციული შეთანხმებების შესაბამისად. მაგალითად, AS შესაძლოა არ სურდეს მარშრუტის რეკლამირება სხვა AS-თან, რათა თავიდან აიცილოს არასასურველი ტრაფიკი.

BGP არის ვექტორული მარშრუტიზაციის პროტოკოლი: თითოეული მარშრუტი აღწერილია AS-ების მიმდევრობით, რაც ხელს უშლის მარშრუტიზაციის ციკლების წარმოქმნას. თუ AS ხედავს საკუთარ ASN-ს მარშრუტში, ის არ გამოიყენებს ამ მარშრუტს, რათა არ შეიქმნას ციკლი.

2. ძირითადი ნაწილი

BGP პროტოკოლის ძირითადი პრობლემები. BGP, როგორც ინტერნეტის გლობალური მარშრუტიზაციის პროტოკოლი, გადის რამდენიმე მნიშვნელოვან გამოწვევას, რომლებიც გავლენას ახდენენ ქსელის სტაბილურობაზე, უსაფრთხოებაზე და მართვადობაზე:

უსაფრთხოების ნაკლებობა BGP-ს არ აქვს მექანიზმი მარშრუტების ნამდვილობის შემოწმებისთვის. მავნე ან შეცდომით კონფიგურირებულ AS-ებს შეუძლია გაავრცელონ ყალბი მარშრუტები (BGP hijack), რაც საფრთხეს უქმნის ქსელებს.

კონფიგურაციის სირთულე. BGP-ის მართვა მოითხოვს დეტალურ ცოდნას. ადამიანური შეცდომები, როგორიცაა არასწორად დაწერილი პოლიტიკა ან მარშრუტის ფილტრი, იწვევს მარშრუტების არასწორ გადამისამართებას და შეფერხებებს..

მარშრუტების გაფართოების პრობლემა. IPv4 და IPv6 მარშრუტების მუდმივი ზრდა ზრდის მარშრუტიზატორების მეხსიერების და გამტარობის მოთხოვნებს. მარშრუტების დამუშავება ხდება უფრო რთული და საჭიროებს მრავალ რესურსს. **დაგვიანებული კონვერგენცია.** ახალი ან გაუქმებული მარშრუტის დანერგვის შემდეგ BGP-ს სჭირდება დრო სტაბილური მდგომარეობის აღსადგენად, რაც აფერხებს რეალურ დროში რეაქციას..

პოლიტიკის მართვის სირთულე. BGP პოლიტიკა განსაზღვრავს, როგორ აირჩევს ქსელი მარშრუტს. მისი სწორად ფორმულირება რთულია, ხოლო გლობალური გავლენის პროგნოზირება - კიდევ უფრო რთული. ოპერატორები ხშირად ვერ ხედავენ, როგორ მოქმედებს მათი გადაწყვეტილება გლობალურ მარშრუტიზაციაზე.

გაუმჯობესება. BGP გადაწყვეტილებები ხშირად რთულად გასაგებია. არ ჩანს შიდა ლოგიკა, რაც ართულებს დიაგნოსტიკას და troubleshooting-ს.

გლობალური დამოკიდებულება. ერთი შეცდომა ან მავნე მოქმედება ერთ AS-ში შეიძლება სწრაფად გავრცელდეს მთელ ინტერნეტზე. ლოკალური პრობლემა ხდება გლობალური შეფერხების მიზეზი.

ნეირონული ქსელებით BGP პროტოკოლის გაუმჯობესებისთვის.

ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP (Border Gateway Protocol)-ში მიზნად ისახავს მარშრუტიზაციის პროცესის ოპტიმიზაციას, უსაფრთხოების გაძლიერებას და გადაწყვეტილებების გამჭვირვალობის ზრდას. სტატიაში შემოთავაზებულია ეტაპობრივი ალგორითმი, რომელიც აჩვენებს, როგორ შეიძლება ნეირონული ქსელები გამოყენებულ იქნას BGP-ის მუშაობის გასაუმჯობესებლად:

1. მონაცემების შეგროვება. პირველ ეტაპზე ხორციელდება BGP ლოგების, მარშრუტების ცხრილების, ტრაფიკის სტატისტიკის და კონფიგურაციული მონაცემების შეგროვება. შეიკრიბება როგორც ისტორიული, ისე რეალურ დროში მიღებული ინფორმაცია, რაც აუცილებელია მოდელის სწავლისთვის.

$$X=\{x_1,x_2,...,x_n\},$$

სადაც x_i შეიცავს BGP ლოგებს, მარშრუტების ცხრილებს, ტრაფიკის სტატისტიკას და კონფიგურაციულ პარამეტრებს, როგორც რეალურ დროში, ასევე ისტორიული მონაცემებიდან.

2. მონაცემთა წინასწარი დამუშავება. ამ ეტაპზე ხდება შეგროვებული მონაცემები გასუფთავება შეცდომებისგან, დუბლირებული ჩანაწერებისგან და არასაჭირო ატრიბუტებისგან. მონაცემები ნორმალიზდება, რათა მოდელმა შეძლოს სწორი შაბლონების ამოცნობა. ამ ეტაპზე ხდება მონაცემების კლასიფიკაცია. მაგალითად, ნორმალური და არანორმალური მარშრუტების დაყოფა.

$$x = \frac{x_i - \alpha}{\beta}$$

სადაც, α საშუალო მნიშვნელობა, β სტანდარტული გადახრა. კლასიფიკაცია ხდება ფუნქციით:

$$y_i = \begin{cases} 0, & \text{ნორმალური მარშრუტი} \\ 1, & \text{არანორმალური მარშრუტი} \end{cases}$$

3. მოდელის ტრენინგი. ნეირონული ქსელი სწავლობს ისტორიული მონაცემების საფუძველზე. მოდელი სწავლობს, როგორ გამოიყურება ნორმალური მარშრუტიზაციის პროცესი და როგორია ანომალიების ნიმუშები. გამოიყენება supervised ან unsupervised სწავლება, იმის მიხედვით, რამდენადაა ცნობილი ცნობილი სწორი პასუხები.

4. ანომალიების ამოცნობა. გაწვრთნილი ნეირონული ქსელი რეალურ დროში ამოწმებს BGP-მარშრუტებს და გამოარჩევს საეჭვო ან არასწორ კონფიგურაციებს. მოდელი აფიქსირებს ისეთი მოვლენებს, როგორიცაა BGP hijacking, route leak ან არასწორი პრეფიქსები.

რეალურ დროში ნეირონული ქსელი განსაზღვრავს მარშრუტების სიგნალს s_i :

$$s_i = f(q(\tilde{x}_i))$$

და განსაზღვრავს, არის თუ არა მარშრუტი ანომალური:

$$y_i = \begin{cases} 0, & s_i < \gamma \\ 1, & s_i > \gamma \end{cases}$$

სადაც γ წინასწარ განსაზღვრული ზღვრული მნიშვნელობაა.

5. გაფრთხილება და რეაგირება. აღმოჩენილი ანომალიების შემთხვევაში სისტემა ავტომატურად აგზავნის გაფრთხილებას ადმინისტრატორთან ან ახორციელებს წინასწარ განსაზღვრულ მოქმედებას - მაგალითად, ბლოკავს საეჭვო მარშრუტს ან ცვლის პოლიტიკას.

6. ოპტიმიზაციის შემოთავაზება. ნეირონული ქსელი აფასებს მარშრუტების შესრულების ეფექტურობას (latency, packet loss, bandwidth) და გვთავაზობს ოპტიმიზაციის გზებს - მაგალითად, ალტერნატიული მარშრუტის შერჩევას ნაკლები დაგვიანებით.

7. დაუმუშავებელი გადაწყვეტილებების ახსნა. Explainable AI (XAI) მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია ახსნა, რატომ მიიღო მოდელმა კონკრეტული გადაწყვეტილება. ეს ზრდის გამჭვირვალობას და აადვილებს troubleshooting-ს.

8. მუდმივი სწავლება. სისტემა აგრძელებს სწავლებას ახალი მონაცემების საფუძველზე, რათა ადაპტირდეს ქსელის დინამიურ ცვლილებებთან. ამ გზით, ნეირონული ქსელი დროთა განმავლობაში უფრო ზუსტ და სტაბილურ პროგნოზებს იძლევა.

მოდელი რეგულარულად განახლდება ახალი მონაცემებით X_n -ით.

3. დასკვნა

ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP-ის სისტემაში უზრუნველყოფს მარშრუტიზაციის უფრო სტაბილურ, მოქნილ და ინტელექტუალურ მართვას. მათი გამოყენება ხელს უწყობს ანომალიების დროულ აღმოჩენას, კონფიგურაციული შეცდომების შემცირებას და გადაწყვეტილებების ეფექტურ მიღებას რეალურ დროში. შედეგად, ინტერნეტ ქსელის მუშაობა

ხდება უფრო საიმედო, უსაფრთხო და გამტარიანი, რაც მნიშვნელოვან წვლილს შეაქვს გლობალური ინტერნეტ ინფრასტრუქტურის მართვის გაუმჯობესებაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **Hammood, N. H., Al-Musawi, B., & Alhilali, A. H.** (2022). A Survey of BGP Anomaly Detection Using Machine Learning Techniques. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 109, pp. 109–120). Springer.
2. **Latif, H., Paillissé, J., & Cabellos-Aparicio, A.** (2022). Unveiling the potential of graph neural networks for BGP anomaly detection. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Graph Neural Networking*
3. **Bahnasy, M., Li, F., Xiao, S., & Cheng, X.** (2020). DeepBGP: A Machine Learning Approach for BGP Configuration Synthesis. In *Proceedings of the ACM Special Interest Group on Data Communication*
4. **Oleg Namicheishvili, Zhuzhuna Gogiashvili, Mzia Kiknadze, Guram Acharadze** (2021) "On system output signal generation in the recurrent neural networks" - Tbilisi, Journal „AMIM“ vol. 26, no 1.
5. **Namicheishvili O., Gogiashvili J., Kiknadze M., Gvaramia E.** (2022), « MACHINE INTELLIGENCE IN THE SERVICE OF HUMAN INTELLIGENCE” XIII Annual International Conference of the Union of Mechanics of Georgia, Batumi, August 24-26.

Integration of Neural Networks into BGP Routing: A New Approach to Internet Security and Efficiency

Guram Acharadze, Giorgi Kirtskhalia, Maia Cholikidze

Georgian Technical University

The article examines the role of BGP (Border Gateway Protocol) in ensuring the stable operation of the Internet and its fundamental challenges. This protocol serves as the primary mechanism for exchanging routes between autonomous systems; however, it is associated with several issues, including security vulnerabilities, configuration complexity, policy management difficulties, and its global impact on network stability.

Contemporary research approaches focus on the integration of neural networks into the BGP routing process. Such integration enables automated data collection and analysis, model training, real-time anomaly detection, and automated response. The application of artificial intelligence methods facilitates route optimization, decision-making transparency, and adaptability in dynamic network environments.

The implementation of neural networks in BGP routing significantly enhances system stability, security, and operational efficiency. It reduces the risk of human error, improves route management quality, and increases network throughput. Consequently, neural network integration is considered a promising approach for improving the management and sustainable development of the global Internet infrastructure.

Keywords: BGP (Border Gateway Protocol), routing, neural networks, artificial intelligence (AI)