

UDC 621.372.8

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-4-67-71>

## ერთეული შეცდომების აღმოჩენა EP-1 სახაზო კოდში

<b>ვიქტორ ნანობაშვილი</b>	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: nanobashviliviktor08@gtu.ge
<b>ვახტანგ აბულაძე</b>	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: v.abuladze@gtu.ge
<b>შაქრო ბრეგაძე</b>	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: shakrobre@gmail.com

### რეცენზენტები:

**მ. ქურდაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: m.kurdadze@gtu.ge

**ვ. ზურაბიშვილი**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: zurabishvilivano02@gtu.ge

**ანოტაცია.** ციფრული სატელეკომუნიკაციო სიგნალების გადაცემისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ხაზში არსებული შეცდომების აღმოჩენას, რაც მნიშვნელოვანია როგორც ხაზის კონტროლის, ისე მათი შემდგომი კორექტირების თვალსაზრისით. განხილულია EP-1 სახაზო კოდში შეცდომების აღმოჩენის საკითხები. ნაჩვენებია, რომ კოდში შეცდომების აღმოჩენის ტრადიციული მეთოდით შესაძლებელია ყველა შეცდომის აღმოჩენა, მაგრამ იგი ვერ უზრუნველყოფს დაზიანებული ტაქტური ინტერვალის დადგენას (შეცდომების ლოკალიზებას),

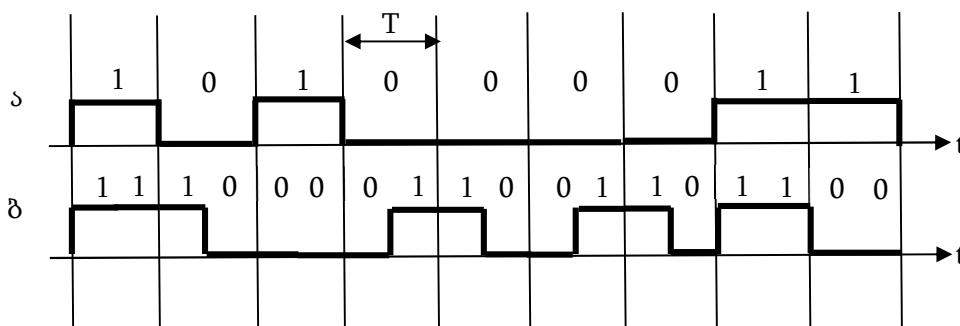
რაც შეუძლებელს ხდის შეცდომების შემდგომ კორექტირებას. შემოთავაზებულია შეცდომების ლოკალიზების მეთოდიკა, რომელიც დამყარებულია რვა მეზობელ ტაქტურ ინტერვალზე აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენაზე. ნაჩვენებია, რომ ასეთი მიდგომით შესაძლებელია შეცდომების ლოკალიზება  $\approx 0,7$  ალბათობით, რაც ქმნის გარკვეული ალბათობით მათი კორექტირების წინაპირობებს.

**საკვანძო სიტყვები:** აკრძალული კომბინაციები; დასაშვები კომბინაციები; EP-1 სახაზო კოდი; შეცდომების აღმოჩენა; შეცდომების კორექტირება.

**შესავალი**

ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში სახაზო სიგნალების სახით ფართოდ გამოიყენება სიჭარბის შემცველი mBnB კლასის კოდები,

რომელთა ერთ-ერთი ნაირსახეობა არის EP-1 კოდი [1,2]. მისი ფორმირების ალგორითმი ნაჩვენებია 1-ელ სურათზე.



სურ. 1. EP-1 კოდის ფორმირების ალგორითმი

1-ელ, ა სურათზე ნაჩვენებია საწყისი იკმ მიმდევრობის ფრაგმენტი, 1-ელ, ბ სურათზე კი – მისგან ფორმირებული EP-1 სიგნალი. ამ უკანასკნელის მისაღებად საწყისი სიგნალის „1“ სიმბოლოები მონაცვლეობით კოდირდება 11 და 00 ბლოკებით, „0“ სიმბოლოები კი – 01 ან 10 ბლოკებით, ამასთანავე ისე, რომ ამ უკანასკნელების პირველი სიმბოლოები ემთხვევა მათ წინ განთავსებული ბლოკების მეორე სიმბოლოებს. სურათზე T არის ტაქტური ინტერვალი.

მიუხედავად იმისა, რომ EP-1 კოდი რეკომენდებულია ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში გამოსაყენებლად, მისი ცალკეული მახასიათებლები, კერძოდ, შეცდომების აღმოჩენის შესაძლებლობები, საკმარისად არ არის გამოკვლეული. მოცემულ ნაშრომში ხორციელდება ამ ნაკლის ნაწილობრივ აღმოფხრის მცდელობა.

**ძირითადი ნაწილი**

დღეისათვის EP-1 კოდში შეცდომების აღმოჩენა ხდება 11 და 00 ბლოკების მონაცვლეობის კანონზო-

მიერების დარღვევის დაფიქსირების გზით [2], რაც უზრუნველყოფს შეცდომების აღმოჩენას 1-ის ტოლი ალბათობით. ტელეკომუნიკაციის ხაზის ფუნქციონირების კონტროლის თვალსაზრისით აღნიშნული მეთოდი სავსებით მისაღებია, მაგრამ როდესაც საუბარია აღმოჩენილი შეცდომების შემდგომი კორექტირების შესაძლებლობებზე, აქ იგი არ გამოდგება. საქმე ისაა, რომ შეცდომების კორექტირებისთვის საჭიროა დაზიანებული ტაქტური ინტერვალის ადგილმდებარეობის ზუსტად განსაზღვრა (შეცდომების ლოკალიზება), რაც ხსენებული მეთოდის გამოყენებისას ვერ ხერხდება.

ამ მხრივ უკეთესი შესაძლებლობები აქვს ე.წ. აკრძალული კომბინაციების მეთოდს [3], რომლის არსი არის შეცდომების ზეგავლენით ფორმირებული აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენა, რის შედეგად, ცხადია, ხდება დაზიანებული ტაქტური ინტერვალის დაფიქსირებაც.

როგორც თვით მეთოდის დასახელებიდან ჩანს, მისი გამოყენება შესაძლებელია ისეთი კოდე-

ბისტვის, რომლებსაც დასაშვებ კომბინაციებთან ერთად აქვს აკრძალულიც, ამიტომ, ერთი შეხედვით, EP-1 კოდისთვის იგი არ გამოდგება, რადგან მასში ტექტურ ინტერვალზე ყველა ორთაწრივ კომბინაციის გამოჩენა დასაშვებია. მაგრამ, კოდის ფორმირების ალგორითმში არსებული შეზღუდვებიდან გამომდინარე, ორ მეზობელ ტექტურ ინტერვალზე შესაძლებელია ოთხთაწრივ აკრძალული კომბინაციების გამოჩენა. ეს კომბინაციებია 1111, 0000, 1101, 0010, 1010 და 0101. რომელიმე მათგანის ფორმირება მიუთითებს ხაზში შეცდომის არსებობაზე.

აქვე აღვნიშნოთ, რომ შეცდომის შდეგად ყოველთვის არ წარმოიქმნება აკრძალული ოთხთაწრივ კომბინაცია. ხშირად, მისი ზეგავლენით, დასაშვები კომბინაცია შეიძლება გარდაიქმნას სხვა დასაშვებ კომბინაციად. ასეთ შემთხვევებში მხოლოდ ოთხთაწრივ კომბინაციების ანალიზი შედეგს ვერ იძლევა: სრული სურათის მისაღებად საჭიროა ოთხთაწრივ კომბინაციის წინ და მის შემდეგ განთავსებული ორთაწრივ ბლოკების სტრუქტურის გათვალისწინება. განვიხილოთ ამ პრინციპით ფორმირებული რვათაწრივ კომბინაციების ანალიზის უპირატესობები საწყისი დასაშვები ოთხთაწრივ 1100 კომბინაციის მაგალითზე.

კოდის ფორმირების ალგორითმიდან გამომდინარე 1100 კომბინაციის წინმსწრები ბლოკები შეიძლება იყოს 00, 10 ან 01, მომდევნო კი - 11 ან 01. შესაბამისი რვათაწრივ კომბინაციების შესაძლო ვარიანტებია: 1) 01.1100.01; 2) 01.1100.11; 3) 00.1100.01; 4) 00.1100.11; 5) 10.1100.01; 6) 10.1100.11.

ვთქვათ, შეცდომამ დააზიანა 1100 კომბინაციის პირველი თაწრივი. მიღებული კომბინაცია 0100 და-

საშვებია, ე.ი. დასკვნის გამოტანა შეცდომის არსებობის შესახებ შეუძლებელია. რვათაწრივ კომბინაციების ანალიზის შედეგად კი ვასკვნით, რომ 01 და 00 ბლოკებით დაწყებული კომბინაციები აკრძალულია. მართლაც, პირველ შემთხვევაში ორჯერ ზედიზედ ჩნდება კომბინაცია 01, მეორეში კი ირღვევა 11 და 00 კომბინაციების მონაცვლეობის კანონზომიერება. 10 ბლოკით დაწყებული კომბინაციები დასაშვებ კომბინაციებად გარდაიქმნება, ე.ი. შეცდომის აღმოჩენა ვერ ხერხდება.

1100 კომბინაციის მეორე თაწრივის დაზიანებისას აგრეთვე წარმოიქმნება დასაშვები 1000 კომბინაცია. რვათაწრივ კომბინაციების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ 01 ბლოკით დაწყებული კომბინაციები გარდაიქმნება დასაშვებ, 00 და 10 ბლოკებით დაწყებული კი – აკრძალულ კომბინაციებად (00-ით დაწყებულ კომბინაციებში ირღვევა 11 და 00 ბლოკების მონაცვლეობის კანონზომიერება, 10-ით დაწყებულ კომბინაციებში კი ორჯერ ზედიზედ ჩნდება კომბინაცია 10).

1100 კომბინაციის მესამე თაწრივის დაზიანების შემთხვევაში კვლავ ფორმირდება დასაშვები კომბინაცია. რვათაწრივ კომბინაციების ანალიზის შედეგად 01 და 00 ბლოკებით დაწყებული და 01 ბლოკით დამთავრებული კომბინაციები გარდაიქმნება დასაშვებ, ხოლო 11 ბლოკით დამთავრებული – აკრძალულ კომბინაციებად, რადგან ამ უკანასკნელ შემთხვევებში ირღვევა 11 და 00 ბლოკების მონაცვლეობის კანონზომიერება. 10-ით დაწყებული და 01-ით დამთავრებული კომბინაცია გარდაიქმნება დასაშვებ, 11-ით დამთავრებული კი – აკრძალულ კომბინაციად მასში 11 და 00 ბლოკების მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის გამო.

1100 კომბინაციის მეოთხე თანრიგის დაზიანებისას იგი გარდაიქმნება აკრძალულ კომბინაციად, ე.ი. რვათანრიგა კომბინაციების ანალიზის საჭიროება აქ აღარ არსებობს.

ამრიგად, 1100 კომბინაციის შეცდომით დაზიანებისას მხოლოდ ოთხთანრიგა კომბინაციის ანალიზი საშუალებას იძლევა აღმოჩენილ იქნეს შეცდომა 0,25 ალბათობით (ოთხი დაზიანებული თანრიგიდან ერთ შემთხვევაში). ასეთივე შედეგი მიიღება 0011, 0110 და 1001 კომბინაციებისთვის, დანარჩენი 6 დასაშვები ოთხთანრიგა კომბინაციისთვის კი ეს ალბათობა 0,5-ია. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ოთხთანრიგა კომბინაციების ანალიზის შედეგად 40 შესაძლო დაზიანებული თანრიგიდან საშუალოდ ხდება 16 შეცდომის აღმოჩენა, ე.ი. აღმოჩენის ალბათობა  $16/40=0,4$  ტოლია.

1100 კომბინაციის შემცველი რვათანრიგა კომბინაციების რაოდენობა 24-ს შეადგენს. როგორც ამ კომბინაციების ანალიზმა აჩვენა, აქ შეცდომის

აღმოჩენა ხდება 17-ჯერ, ე.ი. აღმოჩენის ალბათობა იზრდება  $17/24\approx 0,7$ -მდე.

ადვილი საჩვენებელია, რომ დასაშვები ოთხთანრიგა კომბინაციების შემცველი რვათანრიგა კომბინაციების საერთო რიცხვი 46-ის ტოლია. თუ გავითვალისწინებთ, რომ თითოეულ რვათანრიგა კომბინაციაში განიხილება მორიგეობით ოთხი თანრიგის დაზიანება, მაშინ შეცდომის ზეგავლენით დაზიანებული კომბინაციების საერთო რაოდენობა იქნება  $46 \times 4 = 184$ . როგორც ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, მათგან 53 შემთხვევაში შეცდომა იწვევს დასაშვები რვათანრიგა კომბინაციის წარმოქმნას, რისი ალბათობაც  $53/184\approx 0,3$  ტოლია. შესაბამისად, აღმოჩენილი შეცდომების ალბათობა  $\approx 0,7$  იქნება.

### დასკვნა

ამრიგად, ზემოთ შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენებისას EP-1 კოდში ხდება ერთეული შეცდომების ლოკალიზებული აღმოჩენა  $\approx 0,7$  ალბათობით.

### ლიტერატურა

1. Kozanne, A., Flere, Zh., Metr, G., Russo, M. (1984). *Optics and Communication*. Moscow: Mir. (In Russian);
2. Svanidze, R. (2005). *Line Signals of Fiber Optic Transmission Systems*. Tbilisi: Technical University. (In Georgian);
3. Nanobashvili, V. (2020). Some Questions of Error Detection in Fiber-Optic Communication Systems. *Materials of the 2<sup>nd</sup> International Scientific and Practical Internet Conference – Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Summer Debates*. (344-346).

UDC 621.372.8

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-4-67-71>

## Detection of Unit Errors in the EP-1-Line Code

<b>Victor Nanobashvili</b>	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: nanobashviliviktor08@gtu.ge
<b>Vakhtang Abuladze</b>	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia E-mail: v.abuladze@gtu.ge
<b>Shakro Bregadze</b>	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: shakrobre@gmail.com

### Reviewers:

**M. Kurdadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: m.kurdadze@gtu.ge

**V. Zurabishvili**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: zurabishvilivano02@gtu.ge

**Abstract.** During the transmission of digital telecommunication signals, great importance is attached to the detection of errors in the line, which is important both in terms of line control and their subsequent correction. Error detection issues in EP-1-line code are discussed. It has been shown that the traditional method of error detection in code can detect all errors, but it fails to determine the damaged time slot (localization of errors), which makes impossible further correction of errors. An error localization method is proposed, which is based on detection of restricted combinations within four adjacent time slots. It is shown that such approach makes possible to localize errors with a probability of  $\approx 0,7$ , which creates preconditions for their correction with certain probability.

**Keywords:** allowed combinations; correction of errors; detection of errors; EP-1-line code; restricted combinations.

*განხილვის თარიღი 13.04.2022*

*შემოსვლის თარიღი 22.04.2022*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16.12.2022*