

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით ნანობაშვილი

ზოგიერთი ალფაბეტურ-ბალანსური კოდის მაკორექტირებელი
თვისებების გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2012წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ტელეკომუნიკაციის
დეპარტამენტის ტელეკომუნიკაციის თეორიისა და სისტემების
მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ვიქტორ ნანობაშვილი – სრული პროფესორი,
ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი

რეცენზენტები: 1. ნოდარ უღრელიძე – სრული პროფესორი, ტექნიკურ
მეცნიერებათა დოქტორი

2. ოლეგ ნამიჩიშვილი – სრული პროფესორი, ტექნიკურ
მეცნიერებათა დოქტორი

დაცვა შედგება 2012 წლის _____, _____ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაცი-
ის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
აუდიტორია _____

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

ტ.მ.დ., სრული პროფესორი

გ.ხელიძე

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. ნაშრომის აქტუალობა განპირობებულია გადაცემის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემების ხარისხობრივი მაჩვენებლების განუწყვეტელი გაუმჯობესების მოთხოვნით. თანამედროვე სისტემებში შეცდომების გამოჩენის ალბათობისადმი წაყენებული მკაცრი მოთხოვნების ფონზე mBnB კლასის კოდებში სახაზო შეცდომების კორექტირების შესაძლებლობებისა და კორექტირების ალბათობის გაზრდის გზების გამოკვლევა აქტუალურ სამეცნიერო-ტექნიკურ ამოცანას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანი. mBnB კლასის კოდებში შეცდომების კორექტირების ალბათობის გამოსათვლელი ფორმულისა და ამ ალბათობის გაზრდის მეთოდის შემოთავაზება, მათი გამოყენებით კოდების გამოკვლევა შეცდომების კორექტირების თვალსაზრისით მათგან საუკეთესოების გამოვლენის მიზნით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს გადაცემის ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში ფართოდ გამოყენებული 1B2B კლასის, მე-2 სახეობის ბიიმპულსური და 3B4B კლასის კოდები. კვლევის მეთოდები: შემთხვევითი სიგნალების ალბათური ანალიზი, შემთხვევითი პროცესებისა და მათემატიკური სტატისტიკის გამოყენებითი თეორია

ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში მიღებული ძირითადი შედეგები და მათი სამეცნიერო სიახლე შემდეგია:

- მიღებულია mBnB კლასის კოდებში შეცდომების კორექტირების ალბათობის გამოსათვლელი ანალიზური გამოსახულება;
- შემოთავაზებულია mBnB კლასის კოდებში შეცდომების კორექტირების ალბათობის გაზრდის მეთოდი;
- შემოთავაზებული ანალიზური გამოსახულების გამოყენებით განსაზღვრულია 1B2B კლასის ძირითად – BI-L, DBI, BI-M, BI-S, CMI, EP-1, EP-2 და MILLER კოდებში შეცდომების კორექტირების

აღბათობების სიდიდეები საწყის სიგნალში ერთიანის გამოჩენის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის და გამოვლენილია საუკეთესო კოდები შეცდომების კორექტირების ნიშნით;

- შემოთავაზებული ანალიზური გამოსახულების გამოყენებით განსაზღვრულია მე-2 სახეობის ბიიმპულსური (2B4B) კოდში შეცდომების კორექტირების აღბათობების სიდიდეები საწყის სიგნალში ერთიანის გამოჩენის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის;

- შემოთავაზებული ანალიზური გამოსახულების გამოყენებით განსაზღვრულია 3B4B კლასის კოდში შეცდომების კორექტირების აღბათობების სიდიდეები საწყის სიგნალში ერთიანის გამოჩენის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის;

- გამოკვლეულია კორექტირების აღბათობის გაზრდის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობები 1B2B კლასის კოდებისთვის და შეფასებულია მისი ეფექტურობა ბიიმპულსური კოდებისთვის;

- გამოკვლეულია კორექტირების აღბათობის გაზრდის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობები მე-2 სახეობის ბიიმპულსური კოდისთვის და შეფასებულია მისი ეფექტურობა კოდზე ერთეული შეცდომების და შეცდომათა დასტების ზემოქმედების პირობებში;

- გამოკვლეულია კორექტირების აღბათობის გაზრდის შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობები 3B4B კლასის კოდისთვის და შეფასებულია მისი ეფექტურობა;

პუბლიკაციები და სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი შინაარსი წარმოდგენილია 7 ნაბეჭდ შრომაში, მათ შორის – 2 საერთაშორისო შრომათა კრებულში (ყაზახეთი, ალმატი; საქართველო, ქუთაისი), 3 – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომებში, 2 – სამეცნიერო-ტექნიკურ ჟურნალში Georgian Engineering News (GEN). გარდა ამისა, მიღებულია 1 პატენტი.

სამუშაოს შედეგები მოხსენებული იყო 2 საერთაშორისო კონფერენციაზე (ალმატი – 2006წ, ქუთაისი – 2010წ); სტუ-ს 1-ლ და მე-2 თემატურ სემინარებზე (თბილისი, 2011 და 2012წწ)

დისერტაციის სტრუქტურა. დისერტაცია მოიცავს შესავალს, ლიტერატურის მიმოხილვას, შედეგებს და მათ განსჯას, დასკვნას და გამოყენებულ ლიტერატურას. მთელი მოცულობა შეადგენს 107 გვერდს, მათ შორის 92 ძირითადი ტექსტია 22 ნახაზით და 16 ცხრილით. გამოყენებული ლიტერატურის სია შეიცავს 46 დასახელებას.

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალობა, მოყვანილია გამოსაკვლევი საკითხების მოკლე მიმოხილვა, ჩამოყალიბებულია სადისერტაციო ნაშრომის მიზნები და ამოცანები.

გადაცემის ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში სახაზო სიგნალების სახით ფართო გამოყენება პოვა mBnB კლასის ალფაბეტურ-ბალანსურმა კოდებმა. აღნიშნულ კლასს მიეკუთვნება 1B2B, 2B4B, 3B4B, 5B6B და სხვა კოდები, რომლებიც სიჭარბის შემცველ კოდებს წარმოადგენს. ეს სიჭარბე იძლევა კოდებში შეცდომების აღმოჩენის საშუალებას, მაგრამ იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას აგრეთვე ამ შეცდომების კორექტირებისთვისაც.

მიუხედავად იმისა, რომ ლიტერატურულ წყაროებში არსებობს მასალები mBnB კლასის ცალკეულ კოდებში შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების თაობაზე, რიგი საკითხებისა ჯერ კიდევ შეუსწავლელია. მათ მიეკუთვნება შეცდომების კორექტირების ალბათობების განსაზღვრა 1B2B, 2B4B და 3B4B კლასების კოდებში, აგრეთვე – ამ ალბათობების გაზრდის შესაძლებლობების გამოკვლევა. ამ საკითხების შესწავლას ეხება მოცემული სადისერტაციო ნაშრომი.

პირველ თავში განხილულია 1B2B, 2B4B და 3B4B კლასების კოდების ფორმირების პრინციპები, mBnB კლასის კოდებში შეცდომების აღმოჩენის ცნობილი მეთოდები, შემოთავაზებულია კოდებში შეცდომების კორექტირების ალბათობების განმსაზღვრელი ანალიზური გამოსახუ-

ლება, შემოთავაზებულია კორექტირების ალბათობის გაზრდის მეთოდი, რომელიც დამყარებულია კოდებში უმნიშვნელო სიჭარბის შეტანაზე.

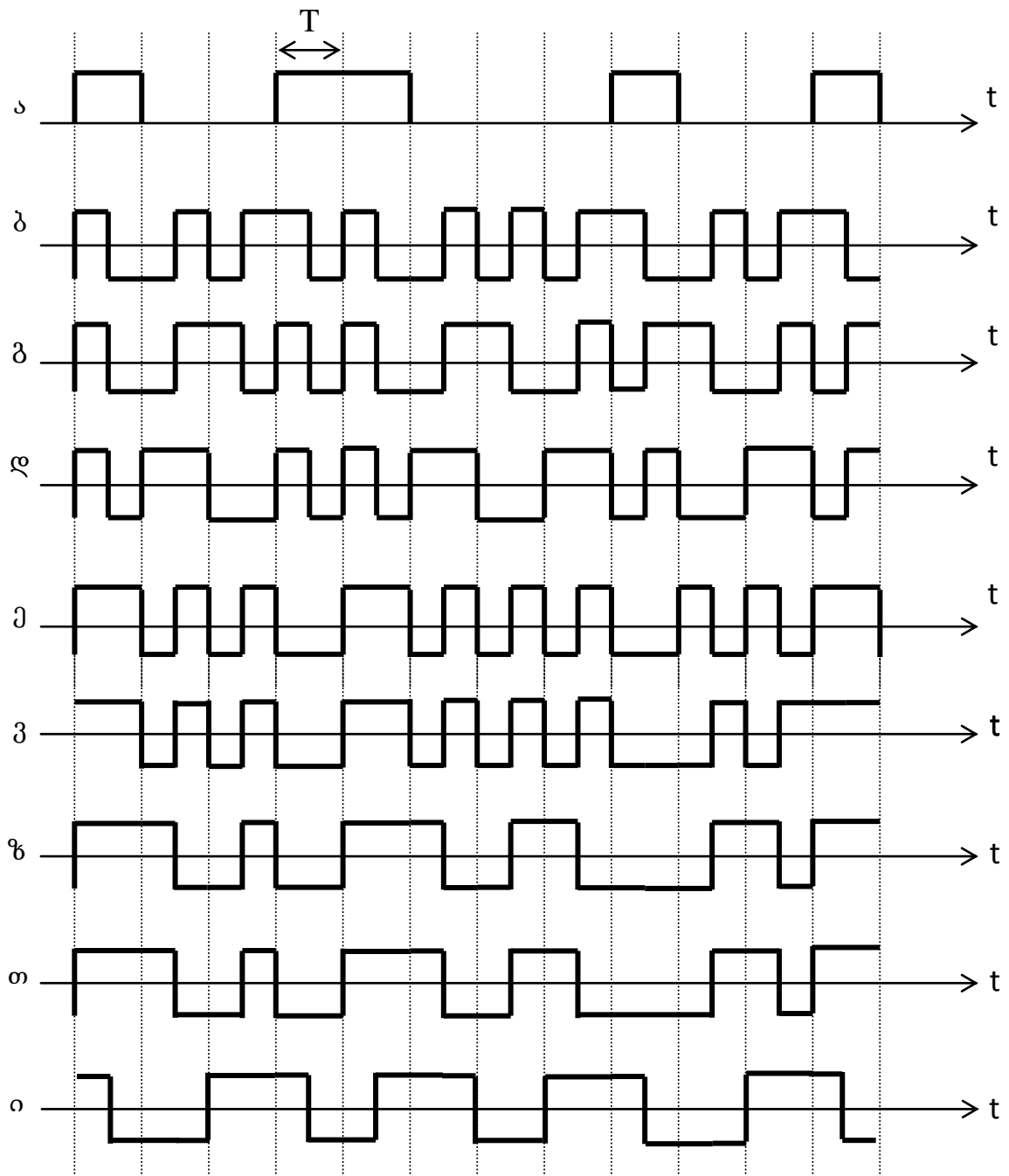
mBnB კლასის კოდების ფორმირების ალგორითმი მდგომარეობს იმაში, რომ საწყისი ორობითი სიგნალი იყოფა თანრიგთა m რაოდენობის შემცველ მონაკვეთებად, შემდეგ კი ხდება ამ მონაკვეთების შესაბამისი განსაზღვრული n-თანრიგთა კომბინაციების (ბლოკების) ფორმირება, რომლებიც მიმდევრობით გადაეცემა ხაზში. ამასთან ყოველთვის ადგილი აქვს უტოლობას $n > m$, რაც განაპირობებს კოდის სიჭარბეს, რომელიც იძლევა საშუალებას საწყისი სიგნალის m-თანრიგა ბლოკების კოდირებისთვის გამოყენებულ იქნას n-თანრიგა კომბინაციების ნაწილი (2^m), რომელთაც დასაშვები ეწოდება, დანარჩენი კომბინაციები ($2^n - 2^m$) კი აკრძალულს წარმოადგენს.

ფორმირების აღნიშნული პრინციპის გამოყენება 1B2B კლასის კოდებთან მიმართებაში გულისხმობს საწყისი ორობითი სიგნალის 1 სიმბოლოს 2 სიმბოლოსგან შემდგარ კოდურ ჯგუფებად გარდაქმნას. ცნობილია 1B2B კლასის კოდების მრავალი ნაირსახეობა (ნახ.1): BI-L (ნახ.1ბ), DBI (ნახ.1 გ), BI-S (ნახ.1 დ), BI-M (ნახ.1 ე), CMI (ნახ.1 ვ), EP-1 (ნახ.1 ზ), EP-2 (ნახ.1 თ), MILLER (ნახ.1 ი) და სხვ. მათგან პირველ 4-ს ბიიმპულსური კოდები ეწოდება, EP-1 და EP-2 კი – ელექტრონულ-ფოტონური. 1-ლ ა ნახაზზე ნახვენებია საწყისი NRZ მიმდევრობა.

BI-L კოდი მიიღება საწყისი მიმდევრობის 1 და 0 სიმბოლოების წარმოგენით შესაბამისად 10 და 01 ბლოკებით.

DBI კოდის ფორმირებისას საწყისი მიმდევრობის ორივე სიმბოლო შეიძლება წარმოგენილ იქნას როგორც 01, ისე 10 ბლოკებით, ამასთან საწყის სიგნალში 1-ის გამოჩენისას ბლოკის შერჩევა ხდება ისე, რომ იგი ემთხვევა წინა სატაქტო ინტერვალზე განლაგებულ ბლოკს, 0-ის გამოჩენისას კი – ფორმირდება ბლოკი, რომელიც წინამდებარე ბლოკის საწინააღმდეგოა.

BI-M და BI-S კოდებისთვის დამახასიათებელია $1 \rightarrow 0$ და $0 \rightarrow 1$ გადასვლის არსებობა ყოველი ბლოკის დასაწყისში. გარდა ამისა, BI-M კოდში ადგილი აქვს აღნიშნულ გადასვლებს ბლოკის შუაში საწყისი 1-ს დროს, BI-S კოდში კი საწყისი 0-ის დროს.



ნახ.1. 1B2B კლასის კოდები

CMI კოდის ფორმირებისას საწყისი სიგნალის 1 გადაცემა 00 და 11 ბლოკების მონაცვლეობით, 0 კი – 01 ბლოკით.

Ep-1 კოდში საწყისი სიგნალის 1 კოდირება მონაცვლეობით 11 და 00 ბლოკებით, ხოლო 0 – ასევე მონაცვლეობით 01 და 10 ბლოკებით, მაგრამ ისე, რომ ამ ბლოკების პირველი სიმბოლო ემთხვევა წინამდებარე ბლოკის მეორე სიმბოლოს. Ep-2 კოდში გამოყენებულია

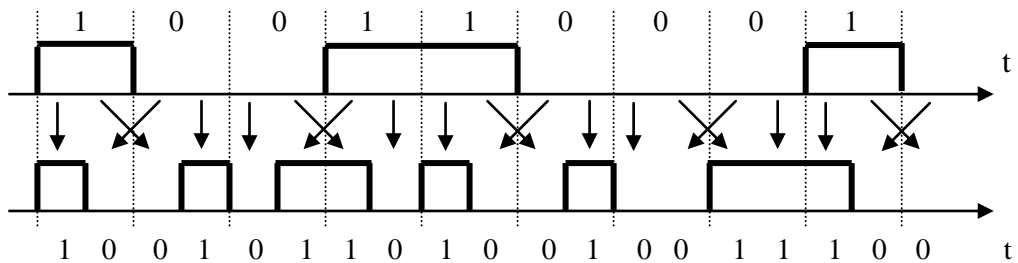
ფორმირების იგივე პრინციპები, იმ განსხვავებით, რომ საწყისი სიგნალის 0-ის კოდირება ხდება მონაცვლეობით 01 და 10 ბლოკებით ყოველგვარი დამატებითი პირობების გარეშე.

MILLER კოდი წარმოადგენს Ep-1-ის „შებრუნებულს“, ოღონდ მასში აკრძალულია T/2 ხანგრძლიობის იმპულსების ფორმირება, ამიტომ ამ კოდში არაა აუცილებელი 11 და 00 ბლოკების მონაცვლეობა, რომლებითაც კოდირდება საწყისი სიგნალის 0 სიმბოლოები.

1B2B კლასის კოდების ერთ-ერთი ნაირსახეობის – ბიიმპულსური კოდის – მოდიფიცირებულ ვარიანტს წარმოადგენს მე-2 სახეობის ბიიმპულსური კოდი, რომლის ფორმირების ალგორითმი მოყვანილია მე-2 ნახაზზე. ეს ალგორითმი პრაქტიკულად დაიყვანება საწყისი სიგნალის ორთანრიგა კომბინაციების გარდაქმნაზე ოთხთანრიგა კომბინაციებად შემდეგი შესაბამისობებით:

$$00 \rightarrow 0011; \quad 01 \rightarrow 0110; \quad 11 \rightarrow 1100; \quad 10 \rightarrow 1001$$

ამგვარად, ამ შემთხვევაში ფაქტობრივად ადგილი აქვს 2B4B კლასის კოდის ფორმირებას.



ნახ.2. მე-2 სახეობის ბიიმპულსური კოდის ფორმირების ალგორითმი

3B4B კლასის კოდის ფორმირებისას საწყისი ორობითი კოდის m სიმბოლოსგან შედგენილი ყველა კომბინაცია, რომელთა რიცხვი 2^m ტოლია, იყოფა 2 ჯგუფად. პირველი ჯგუფის კომბინაციების კოდირება ხდება $n > m$ სიმბოლოებისგან შედგენილი ბლოკებით, რომლებიც შეცავს ერთიანებისა და ნულების თანაბარ რიცხვს (მათ ეწოდება ნულოვანი დისპარიტეტობის კომბინაციები – ნდპ). მცირე სიჭარბის დროს ასეთი კომბინაციების რაოდენობა არასაკმარისია ყველა საწყისი 2^m კომბინა-

ციის კოდირებისთვის. დანარჩენი კომბინაციების (მეორე ჯგუფის კომბინაციები) კოდირება ხდება სახაზო კოდის ბლოკების სახით, რომლებშიც ერთიანების რაოდენობა მეტია ნულების რაოდენობაზე, ან პირიქით (შესაბამისად “+” და “-“ დისპარიტეტობის მქონე კომბინაციები – ღპ). ამასთან ერთეული გზავნილების საშუალო სიმკვრივე მიმდევრობაში მუდმივია.

1-ლ ცხრილში მაგალითის სახით მოყვანილია 3B4B კლასის კოდის აგების 2 შესაძლო ვარიანტი. I ვარიანტში კოდირებისათვის გამოყენებულია ნულოვანი დისპარიტეტობის 4 და ± 2 დისპარიტეტობის 8 კომბინაცია, II ვარიანტში კი – შესაბამისად 6 და 4. აქედან გამომდინარე, I ვარიანტში კოდის აკრძალულ კომბინაციათა რიცხვია 4, II ვარიანტში კი – 6, რის გამოც ამ უკანასკნელ შემთხვევაში პირველთან შედარებით უმჯობესდება სახაზო კოდში შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების შესაძლებლობები. მეორე მხრივ უნდა აღინიშნოს, რომ კოდირების I ვარიანტს II ვარიანტთან შედარებით რაიმე სახის უპირატესობა არ გააჩნია. აღნიშნულიდან გამომდინარე, 3B4B კლასის კოდების ფორმირებისთვის მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას კოდირების II ვარიანტი - 6 ნულოვანი 4 და არანულოვანი დისპარიტეტობის მქონე კომბინაციებისგან შედგენილი ალფაბეტი.

ცხრილი 1

3B4B კლასის კოდის აგების ვარიანტები

3B	4B	
	I ვარიანტი	II ვარიანტი
000	0101	0011
001	1001	0100 1101
010	1110 0100	0110
011	1101 1000	0010 1011
100	0111 0010	1010
101	1011 0001	1100
110	0110	1001
111	1010	0101

ციფრული სიგნალის ხაზში გავრცელებისას მასზე გარეშე ხელშეშლების ხემოქმედების ან სახაზო ტრაქტის აპარატურის არასრულ-

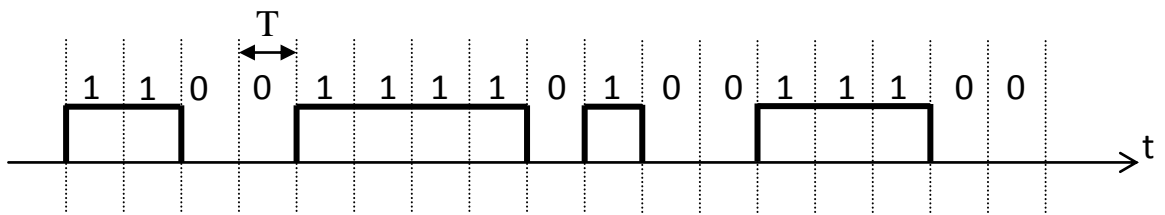
ყოფილობის გამო ადგილი აქვს სახაზო შეცდომებს, რომლებიც გამოიხატება იმაში, რომ რეგენერატორებსა და მიმღებებში სიმბოლო 1 აღიქმება როგორც 0, ან პირიქით. სახაზო რეგენერატორებისა და მიმღები მოწყობილობების მუშაობის ხარისხის შესაფასებლად წარმოებს ხაზში ამ შეცდომების აღმოჩენა.

mBnB კლასის კოდებში სახაზო შეცდომების აღმოჩენის ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ მეთოდს წარმოადგენს მიმდინარე ციფრული ჯამის (მცჯ) ანალიზის მეთოდი.

იმპულსური მიმღევრობის მცჯ-ს ცნება ფართოდ გამოიყენება ციფრული სიგნალების ხარისხობრივი მახასიათებლების შეფასებისთვის. იგი წარმოადგენს ხაზში გადაცემული ციფრული მიმღევრობის სიმბოლოების ალგებრულ ჯამს მისი დასაწყისიდან დროის მოცემულ მომენტამდე.

მე-3 ნახაზზე მოყვანილია მცჯ-ს მნიშვნელობები NRZ სიგნალის ფრაგმენტისთვის:

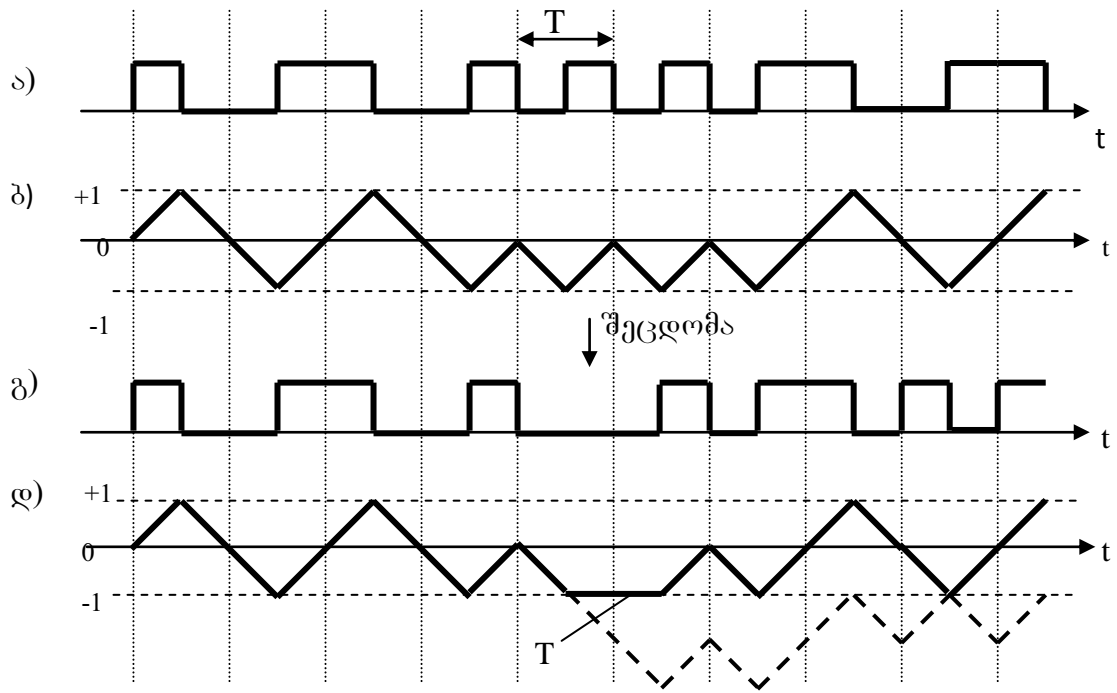
$$\sigma = 0, +1, +2, +1, 0, +1, +2, +3, +4, +3, +4, +3, +2, +3, +4, +5, +4, +3, +2$$



ნახ.3. მცჯ-ს ცვლილება NRZ სიგნალის ფრაგმენტისთვის

როგორც ვხედავთ, აქ σ -ს მნიშვნელობები შეზღუდული არ არის, რის გამოც ასეთი კოდით გადაცემისას რეგენერირების შეცდომების კონტროლი შეუძლებელია. mBnB კლასის კოდებში დასაშვები კომბინაციები შეირჩევა ისე, რომ მცჯ იცვლებოდეს რაღაც შეზღუდულ ფარგლებში. შესაბამისად, ხაზში ერთეული შეცდომის არსებობის პირობებში მცჯ-ს მნიშვნელობა გამოდის დასაშვები საზღვრებიდან, რაც ფიქსირდება რეგენერატორის შეცდომების კონტროლის მოწყობილობით.

შეცდომების აღმოჩენის მცჯ-ს ანალიზის მეთოდი ნაშრომში ილუსტრირებულია BI-L კოდის მაგალითზე. მე-4 ა ნახაზზე ნაჩვენებია BI-L კოდის გადაცემული ფრაგმენტი, მე-4 გ ნახაზზე - იგივე ერთეული



ნახ.4. ერთეული შეცდომის აღმოჩენა მცჯ-ს ანალიზის მეთოდით BI-L კოდში

შეცდომების ზემოქმედების პირობებში. მე-4 ბ და დ ნახაზებზე მოყვანილია შესაბამისად მე-4 ა და გ ნახაზებზე ნაჩვენები ფრაგმენტების მცჯ-ს ცვლილება.

როგორც მე-4 ბ ნახაზიდან ჩანს, შეცდომის არარსებობის პირობებში BI-L კოდისთვის მცჯ-ს დასაშვები მნიშვნელობებია +1, 0 და -1, შეცდომის არსებობისას კი მცჯ გამოდის დასაშვები საზღვრებიდან (ნახ. 4 დ - წყვეტილით). ეს მოვლენა ფიქსირდება რეგენერატორის შეცდომების მთვლელ მოწყობილობაში.

იმისათვის, რომ შეცდომის შემდეგ მცჯ-ს მნიშვნელობები არ დარჩეს დასაშვები საზღვრების გარეთ, შეცდომების კონტროლის მოწყობილობაში გათვალისწინებულია შემდეგი ალგორითმი: ზღვრული მნიშვნელობის გადალახვის დაფიქსირებასთან ერთად მცჯ-ს სიდიდე შენარჩუნდება მანამ, სანამ სახაზო კოდში არ გაჩნდება სიმბოლო, რომელიც გადაიყვანს მას მეზობელ დასაშვებ დონეზე (ნახ. 4 დ).

როგორც მე-4 ნახაზიდან ჩანს, BI-L კოდში აღნიშნული მეთოდით შეცდომების აღმოჩენას ადგილი აქვს მათი ზემოქმედებისთანვე, როდესაც მცჯ პირველად გადალახავს ზღვრულ დონეს. ეს ყოველთვის ხდება შეცდომის ზეგავლენით დაზიანებულ სატაქტო ინტერვალზე,

რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ დაზიანებულია სწორედ ამ ინტერვალზე განლაგებული კომბინაცია. ამ პროცესს შეცდომის ლოკალიზება ეწოდება. როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, შეცდომების ლოკალიზება ყველა კოდში ვერ ხერხდება.

mBnB კლასის კოდებში შეცდომების კონტროლის მეორე მეთოდი დამყარებულია „+“ და „-“ დისპარიტეტობის მქონე ღპ-ს მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის აღმოჩენაზე. ნაშრომში მისი არსი განხილულია 3B4B კოდის მაგალითზე.

როგორც აღვნიშნეთ, ამ სახაზო სიგნალში საწინააღმდეგო დისპარიტეტობის მქონე კომბინაციების გამოჩენა მორიგეობით ხდება. ხაზში შეცდომის არსებობის პირობებში ეს კანონზომიერება ირღვევა: სახაზო სიგნალში მიმდევრობით ჩნდება +2 ან -2 დისპარიტეტობის მქონე ორი ღპ. ცხადია, რომ ამ მეთოდით შეცდომების აღმოჩენისას შეცდომის ლოკალიზება პრაქტიკულად არ ხდება, რადგანაც შეუძლებელია იმის დადგენა, თუ რომელი კომბინაციის დაზიანებას ჰქონდა ადგილი.

ლიტერატურულ წყაროებში არ გვხვდება მასალები აღნიშნული მეთოდის 1B2B კლასის კოდებისთვის მისადაგების თაობაზე. ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ხსენებული კლასის იმ კოდებისთვის, რომლებშიც კოდის სიმბოლოების ან სიმბოლოთა კომბინაციების გამოჩენა მონაცვლეობით ხდება.

როგორც წესი, 1B2B კლასის კოდებში ნღპ-ს და ღპ-ს ცნებები ტრადიციულად არ არსებობს. მაგრამ ადვილი დასანახია, რომ, 1-ლ ნახაზზე მოყვანილი კოდების ნაწილი (BI-S, BI-M, CMI, ელექტრონულ-ფოტონური) შეიცავს როგორც ნღპ-ს (01 და 10), ისე - ± 2 დისპარიტეტობის მქონე ღპ-ს (11 და 00), ამასთან ეს უკანასკნელები კოდების ფორმირების ალგორითმების თანახმად სახაზო სიგნალში მორიგეობით ჩნდება. ეს გარემოება იძლევა შესაძლებლობას, რომ ღპ-ს მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი ხსენებული კოდებისთვისაც იქნას გამოყენებული.

1-ლ ნახაზზე მოყვანილი დანარჩენი კოდებიდან BI-L და DBI შეიცავს მხოლოდ ნღპ-ს, ამიტომ, ერთი შეხედვით, მათთვის მეთოდის მისადაგება შეუძლებელია. მაგრამ, როგორც ამ კოდების ფორმირების

ალგორითმის ანალიზი აჩვენებს, ორ მეზობელ სატაქტო ინტერვალზე საწინააღმდეგო სიმბოლოების გამოჩენისას ინტერვალების საზღვრის მარჯვნივ და მარცხნივ ფორმირდება ერთნაირი სიმბოლოები, რის გამოც წარმოიქმნება T ხანგრძლიობის 11 ან 00 კომბინაციები. ადვილი დასანახია, რომ ისინი სახაზო სიგნალში მორიგეობით ჩნდება და შეცდომის არსებობის პირობებში ეს კანონზომიერება ირღვევა. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ზემოთ განხილული მეთოდი მოდიფიცირებული სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნას BI-L და DBI კოდებისთვისაც.

რაც შეეხება 1-ლ ნახაზზე მოყვანილ კოდ MILLER-ს, მისთვის აღნიშნული მეთოდის გამოყენება შეუძლებელია იმის გამო, რომ ამ კოდის ფორმირების ალგორითმის თანახმად მასში ღპ-ს მონაცვლეობა აუცილებელი არ არის.

ბოლო წლებში ლიტერატურულ წყაროებში გაჩნდა მასალები ხაზში შეცდომების კონტროლის კიდევ ერთი მეთოდის შესახებ, რომელიც დამყარებულია აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენაზე. ამ მეთოდით შეცდომების არსებობის ფაქტის დასადგენად წარმოებს კოდური კომბინაციების ანალიზი იმის გამოვლენის მიზნით, დასაშვებია ისინი თუ აკრძალული, ამასთან ამ უკანასკნელ შემთხვევაში შეცდომა აღმოჩენილად ითვლება.

ცხადია, რომ აკრძალული კომბინაციის გამოჩენა ავტომატურად მიუთითებს დაზიანებული ბლოკის ადგილმდებარეობაზე, ე.ი. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს ყოველი აღმოჩენილი შეცდომის ლოკალიზებას. ამგვარად, ამ თვალსაზრისით აღნიშნულ მეთოდს ზემოთ განხილულ მეთოდებთან შედარებით უპირატესობა გააჩნია, რადგანაც ისინი მხოლოდ მცირე რაოდენობის კოდებისთვის ახდენს შეცდომების ლოკალიზებას და, აქედან გამომდინარე, კოდების უმრავლესობისთვის ვერ ქმნის შეცდომების კორექტირების წინაპირობებს.

მეორე მხრივ, აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი ზოგიერთი კოდისთვის უზრუნველყოფს ყველა შეცდომის, ზოგისთვის კი – მხოლოდ მათი ნაწილის აღმოჩენას. ასე მაგალითად, BI-L კოდში ნებისმიერი ერთეული შეცდომა ყოველთვის იწვევს სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში 11 ან 00 აკრძალული კომბინაციების წარმოქმნას, ე.ი. ადვილი აქვს

შეცდომის ლოკალიზებულ აღმოჩენას, იმ დროს, როდესაც CMI კოდში დასაშვები 11 კომბინაციის პირველი თანრიგის დაზიანების შედეგად წარმოქმნილი 01 კომბინაცია აგრეთვე დასაშვებს წარმოადგენს და, ამგვარად, შეცდომის აღმოჩენა ვერ ხერხდება.

როგორც წესი, უმრავლეს შემთხვევებში mBnB კლასის კოდებში ერთი და იგივე აკრძალული კომბინაცია შეიძლება წარმოიქმნას რამდენიმე დასაშვები კომბინაციიდან ერთ-ერთის დაზიანების შედეგად, ამიტომ კონკრეტული აკრძალული კომბინაციის კორექტირება ხდება რაღაც ალბათობით, რომელიც განისაზღვრება ამ კომბინაციის წარმოქმნილი შესაძლო დასაშვები კომბინაციების რიცხვით. ნაშრომში შემოთავაზებულია ერთეული შეცდომების კორექტირების ალბათობის გამოსათვლელი ზოგადი ფორმულა mBnB კლასის კოდებისთვის შემდეგი მსჯელობის საფუძველზე.

i-ური აკრძალული კომბინაციის გამოჩენის P_i ალბათობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_i = \frac{1}{q} \cdot \sum_{j=1}^k P_j, \quad (1)$$

სადაც q არის კოდის კომბინაციების თანრიგების რიცხვი, P_j – i-ური აკრძალული კომბინაციის შესაბამისი j-ური დასაშვები კომბინაციის გამოჩენის ალბათობა, k - აკრძალული კომბინაციის შესაბამისი დასაშვები კომბინაციების რიცხვი.

იმ შეცდომის გასწორების ალბათობა $P_{i\bar{k}}$, რომელმაც გამოიწვია i-ური აკრძალული კომბინაცია, გამოითვლება ფორმულით:

$$P_{i\bar{k}} = P_{i \text{ სგ.მაკს.}}$$

სადაც $P_{\text{სგ.მაკს.}}$ არის იმ დასაშვები კომბინაციის გამოჩენის ალბათობა, რომელიც უფრო ხშირად ჩნდება დანარჩენებთან შედარებით. მაშინ ნებისმიერი შეცდომის კორექტირების ალბათობა ტოლი იქნება:

$$P_{\bar{k}} = \sum_{i=1}^u P_{i\bar{k}}, \quad (2)$$

სადაც u არის აკრძალულ კომბინაციათა რიცხვი.

ზემოთ განხილული მეთოდების გამოყენებისას სახაზო სიგნალის

ფორმირების დროს რაიმე დამატებითი ღონისძიებები არ ტარდება, ე.ი. კორექტირებისთვის გამოიყენება ის რესურსები, რომლებიც გააჩნია საკუთრივ სახაზო კოდებს. ამ დროს ყველა შეცდომის კორექტირება ვერ ხერხდება, ე.ი. შეცდომების გასწორება ხდება 1-ზე ნაკლები (რიგი კოდებისთვის – საკმაოდ მცირე) ალბათობით.

ნაშრომში შემოთავაზებულია mBnB კლასის კოდების კორექტირების ალბათობის გაზრდის მეთოდი, რომელიც დამყარებულია სახაზო კოდში სიჭარბის შეტანის პრინციპზე. მეთოდის არსი ზოგადად შემდეგში მდგომარეობს.

გადამცემ მხარეზე შეირჩევა სახაზო სიგნალის რაღაც k რაოდენობის სიმბოლოების შემცველი ფრაგმენტი, რომელშიც დიდი ალბათობით არ უნდა მოხდეს ერთზე მეტი შეცდომა. მაგალითად, თუ ხაზში შეცდომების ალბათობა 10^{-6} ტოლია, ე.ი. შეცდომას ადგილი აქვს 1000000 სიმბოლოდან ერთში, აღნიშნული ფრაგმენტი შეიძლება შეიცავდეს, მაგალითად, 500000 სიმბოლოს.

გადაცემის დაწყების მომენტიდან გადამცემში წარმოებს k რაოდენობის სიმბოლოს დათვლა, რის შემდეგაც ხაზში გადაეცემა დამხმარე ინფორმაცია ფრაგმენტში თითოეული დასაშვები კომბინაციის რაოდენობათა ლუწობის ან კენტობის შესახებ. ამისთვის გამოყოფილი არის დასაშვებ კომბინაციათა რიცხვის შესაბამისი n -თანრიგა ინტერვალები, რომელთაგან თითოეული განკუთვნილია აღნიშნული ინფორმაციის გადასაცემად კონკრეტული დასაშვები კომბინაციისთვის. დამხმარე ინფორმაცია შეიძლება გადაეცემოდ იქნას წინასწარ შერჩეული ორი კომბინაციით, რომელთაგან ერთი გადაეცემა კომბინაციათა კენტი, მეორე კი – ლუწი რიცხვის დროს. აღნიშნული ოპერაციების დამთავრების შემდეგ ისინი მეორდება გადაცემის დასასრულამდე.

მიმღებში წარმოებს საინფორმაციო სიმბოლოებისგან შედგენილი ყოველი ფრაგმენტის იდენტიფიცირება, მასში დასაშვები კომბინაციების რაოდენობათა კენტობის ან ლუწობის დადგენა და ამ ფაქტების ამსახველი დამხმარე კომბინაციების ფორმირება, რომლებიც შესაბამისად ეძრება გადამცემიდან მოსულ ასეთივე კომბინაციებს. თუ შედარების შედეგად ერთსახელა დამხმარე ინტერვალზე განლაგებული კომბინაციები ერთმანეთისგან განსხვავდება, ეს მიანიშნებს ხაზში ერთეული

შეცდომის არსებობაზე, ე.ი. ხდება შეცდომის არსებობის ფაქტის დაფიქსირება. ამასთან, თუ პარალელურად სხვა კრიტერიუმით წარმოებს შეცდომის ლოკალიზებული აღმოჩენა, მაშინ შესაძლებელი ხდება მისი კორექტირებაც.

დასკვნა: 1-ლ თავში მოყვანილია ნაშრომში გამოსაკვლევე სახაზო კოდებში შეცდომების აღმოჩენის არსებული მეთოდების დახასიათება, შემოთავაზებულია mBnB კლასებში შეცდომების კორექტირების ალბათობის გამოსათვლელი ზოგადი ფორმულა, შემოთავაზებულია mBnB კლასებში შეცდომების კორექტირების ალბათობის გაზრდის მეთოდი.

მე-2 თავი ეძღვნება 1B2B კლასის კოდებში შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების შესაძლებლობების გამოკვლევას ზემოთ მოყვანილი მეთოდებით, ამასთან, აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდისთვის – ნაშრომში შემოთავაზებული შეცდომების კორექტირების ალბათობის გამოსათვლელი ზოგადი ფორმულის გამოყენებით.

თავიდან განიხილება ბიიმპულსური კოდები.

შეცდომების აღმოჩენის პროცესი BI-L კოდში მცჯ-ს კონტროლის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდით ზემოთ იყო აღწერილი. როგორც ითქვა, მცჯ-ს სიდიდე გამოდის დასაშვები საზღვრებიდან შეცდომის შედეგად დაზიანებულ სატაქტო ინტერვალზე, ე.ი. ადგილი აქვს შეცდომის ლოკალიზებულ აღმოჩენას სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში. ასეთივე შედეგი მიიღება DBI კოდისთვისაც, რომელსაც BI-L კოდის სტრუქტურა აქვს და, შესაბამისად, მცჯ-ს ცვლილების იგივე საზღვრები გააჩნია. დანარჩენი ბიიმპულსური კოდების ანალიზმა აჩვენა, რომ მათში აგრეთვე ხდება შეცდომის ლოკალიზებული აღმოჩენა, მაგრამ აქ ლოკალიზება წარმოებს ორი მეზობელი სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში.

ნაშრომში ჩატარებული ანალიზის შედეგად დადგენილია, რომ სიმბოლოთა მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი ბიიმპულსური კოდებისთვის უზრუნველყოფს შეცდომების აღმოჩენას 1-ის ტოლი ალბათობით, მაგრამ არ აწარმოებს მათ ლოკალიზებას.

BI-L და DBI კოდებში შეცდომების აღმოსაჩენად აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობა განპირობებულია იმით, რომ ამ კოდებში აკრძალულ კომბინაციებს წარმოადგენს 00 და 11, რომელთა გამოჩენა სატაქტო T ინტერვალზე ყოველთვის მიუთითებს ხაზში ერთეული შეცდომების არსებობაზე. ცხადია, რომ ამ შემთხვევაში ხდება შეცდომის აღმოჩენა 1-ის ტოლი ალბათობით და მისი ლოკალიზება სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში.

BI-M და BI-S კოდებში სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში ყველა კომბინაცია დასაშვებია (იხ. ნახ. 1 დ, ე) ამიტომ აქ ანალიზის დროს გამოყენებულ უნდა იქნას კოდირების კანონზომიერების დარღვევის სხვა ნიშნები, კერძოდ – ის ფაქტი, რომ აღნიშნულ კოდებში ორი მეზობელი სატაქტო ინტერვალის საზღვრის მიმდებარე სიმბოლოები აუცილებლად ერთმანეთის საწინააღმდეგო უნდა იყოს. როგორც ანალიზმა აჩვენა, ამ კოდებშიც კოდში შეცდომის არსებობის ფაქტი ფიქსირდება 1-ის ტოლი ალბათობით, ხოლო ლოკალიზება ხდება არა ერთი, არამედ ორი მეზობელი სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში.

ზემოთ ნათქვამიდან ჩანს, რომ მცჃ-ს კონტროლისა და აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმებზე დამყარებული მეთოდების გამოყენება ბიიმპულსურ კოდებში შეცდომების აღმოჩენისას ერთნაირ შედეგებს იძლევა, ამიტომ შეცდომების კორექტირების თვალსაზრისითაც ამ მეთოდებს თანაბარი შესაძლებლობები აქვს.

როგორც აღნიშნული იყო, კორექტირების დროს პრიორიტეტი ენიჭება საწყისი მიმდევრობის იმ სიმბოლოს, რომლის გამოჩენის ალბათობა $P_{\text{უღ}}$ უდიდესია P_1 და $1-P_1$ ალბათობებს შორის. ასეთ პირობებში, რადგან BI-L და DBI კოდებში დაზიანებული ინტერვალის აღმოჩენა ხდება 1-ის ტოლი ალბათობით, ჭეშმარიტი ბლოკის აღდგენის ანუ კორექტირების $P_{\text{კ}}$ ალბათობა უშუალოდ $P_{\text{უღ}}$ ალბათობით განისაზღვრება:

$$P_{\text{კBI-L}}=P_{\text{კDBI}}=P_{\text{უღ}} \quad (3)$$

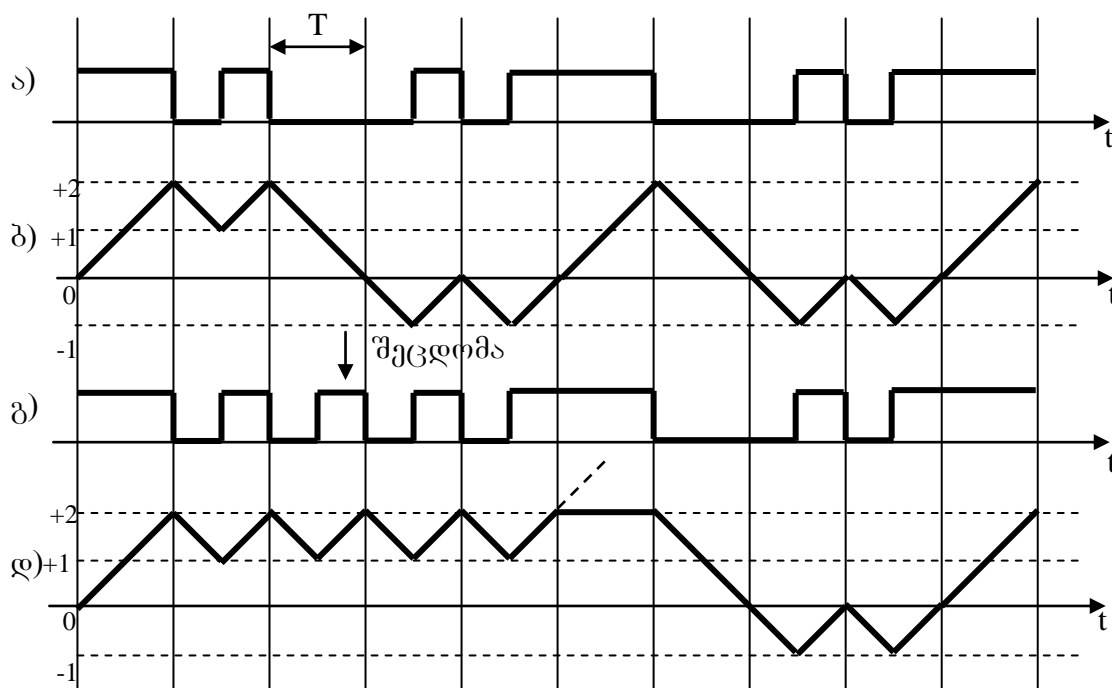
შესაბამისად, მცდარი ბლოკის აღდგენის $P_{\text{მცდ}}$ ალბათობა ტოლი იქნება:

$$P_{\text{მცდ.BI-L}}=P_{\text{მცდ.DBI}}=1-P_{\text{უღ}} \quad (4)$$

BI-M და BI-S კოდებზე შეცდომების ზემოქმედების ანალიზი აჩვენებს, რომ საწყისი ორთანრიგა ბლოკის არასწორი აღდგენისას შეცდო-

მით იქნება აღდგენილი მისი ორივე სიმბოლო, რასაც არა აქვს ადგილი BI-L და DBI კოდებში. რაც შეეხება ჭეშმარიტი და მცდარი ბლოკების აღდგენის ალბათობებს, როგორც ანალიზმა აჩვენა, ისინი აგრეთვე გამოისახება (3) და (4) ფორმულებით.

მე-5 ნახაზზე ნაჩვენებია ერთეული შეცდომის აღმოჩენის პროცედურა CMI კოდში მცვ-ს კონტროლის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდით. კოდის ფორმირების ალგორითმიდან გამომდინარე აქ მცვ-ს შეუძლია მიიღოს მნიშვნელობები -1, 0, +1 და +2 ან - +1, 0, -1 და -2.



ნახ. 5. ერთეული შეცდომის აღმოჩენა მცვ-ს ანალიზის მეთოდით CMI კოდისთვის

ნახაზზე განხილულ შემთხვევაში მცვ-ს ცვლილების საზღვრების დარღვევას ადგილი აქვს შეცდომის წარმოქმნიდან მხოლოდ 3 სტატო ინტერვალის შემდეგ. ამგვარად, მცვ-ს კონტროლის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი CMI კოდისთვის შეცდომის ლოკალიზებას ვერ უზრუნველყოფს, თუმცა მისი აღმოჩენა ყოველთვის ხდება.

CMI კოდის ფორმირების თავისებურება, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ საწყისი მიმდევრობის ერთიანები კოდირდება მონაცვლეობით 11 და 00 ბლოკებით, იძლევა საშუალებას აღმოჩენილ იქნას შეც-

დომა აღნიშნული მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის დაფიქსირებაზე დამყარებული მეთოდით. ამ შემთხვევაშიც შეცდომის აღმოჩენა ხდება 1-ის ტოლი ალბათობით, მაგრამ იგი ვერ უზრუნველყოფს დაზიანებული სატაქტო ინტერვალის დადგენას.

შეცდომის ლოკალიზება შესაძლებელია აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენაზე დამყარებული მეთოდით. CMI კოდისთვის ასეთ კომბინაციას წარმოადგენს 10, რომლის გამოჩენა ერთეულოვანი შეცდომის შემოქმედების შედეგად ხდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც ეს უკანასკნელი აზიანებს 11 ბლოკის მეორე ან 00 ბლოკის პირველ სიმბოლოს. ადვილი საჩვენებელია, რომ ასეთ პირობებში აკრძალული კომბინაციის წარმოქმნის და, შესაბამისად, შეცდომის ლოკალიზებული აღმოჩენის, ალბათობა საწყის სიგნალში სიმბოლო ერთიანის გამოჩენის P_1 ალბათობის ნახევრის ტოლია.

რადგან აკრძალული კომბინაცია წარმოიქმნება საწყისი სიგნალის სიმბოლო 1-ის შესაბამისი ბლოკების დაზიანების დროს, ამიტომ შეცდომის კორექტირებისას ეს სიმბოლო ცალსახად უნდა იქნას აღდგენილი. ამგვარად, ჭეშმარიტი სიმბოლოს აღდგენის ალბათობა ტოლია:

$$P_{\text{კომბინაცია}} = P_1/2.$$

EP-1 და EP-2 კოდებისთვის ჩატარებული ანალიზური ანალიზმა აჩვენა, რომ აქაც, CMI კოდის მსგავსად, როგორც მცზ-ს კონტროლის კრიტერიუმზე, ისე ღკ-ების მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის დაფიქსირებაზე დამყარებული მეთოდები უზრუნველყოფს შეცდომების მხოლოდ აღმოჩენას ლოკალიზების გარეშე.

Ep-1 და Ep-2 კოდებში სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში ყველა კომბინაცია დასაშვებია, ამიტომ მათთვის აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენაზე დამყარებული კრიტერიუმის გამოყენება იმ სახით, როგორც ეს ხდება ბიიმპულსური და CMI კოდებისთვის, შეუძლებელია. მაგრამ ამ კოდების ორი მეზობელი სატაქტო ინტერვალის ანალიზი აჩვენებს, რომ მათზე განლაგებულ ოთხთანრიგა კომბინაციებიდან ნაწილი დასაშვებია, ნაწილი კი – აკრძალული. სწორედ მათი გამოჩენა მიუთითებს შეცდომის არსებობაზე.

აღნიშნული ოთხთანრიგა კომბინაციების ანალიზი აჩვენებს, რომ 16 კომბინაციიდან Ep-1 კოდისთვის აკრძალულს წარმოადგენს 6 (1111,

0000, 1101, 0010, 1010 და 0101), EP-2 კოდისთვის კი – 4(1111, 0000, 1010 და 0101). ნაშრომში ორივე კოდისთვის (1) ფორმულით განსაზღვრულია აკრძალული კომბინაციების გამოჩენის ალბათობების სიდიდეები:

$$P_{EP-1}(1111) = P_{EP-1}(0000) = P_{EP-1}(1010) = P_{EP-1}(0101) = 0,188P_1(1-P_1)$$

$$P_{EP-1}(1101) = P_{EP-1}(0010) = 0,125[P_1^2 + (1-P_1)^2]$$

$$P_{EP-2}(1111) = P_{EP-2}(0000) = P_{EP-2}(1010) = P_{EP-2}(0101) = 0,25P_1(1-P_1)$$

შეცდომების კორექტირებისას ჭეშმარიტი კომბინაციის აღდგენა ხდება აკრძალული კომბინაციების წინა და მის მომდევნო სატაქტო ინტერვალზე ორთაწრივ ბლოკების განლაგების შესაძლებლობების გათვალისწინებით, რომლებიც აგრეთვე განისაზღვრება კოდების ფორმირების ალგორითმებით. ანალიზის შედეგად მიღებულ იქნა ცალკეული აკრძალული კომბინაციების სწორი და არასწორი აღდგენის ალბათობების სიდიდეები, ხოლო მათ საფუძველზე – ზოგადად აკრძალული კომბინაციიდან ჭეშმარიტი და მცდარი კომბინაციების აღდგენის ალბათობების გამოსათვლელი ფორმულები:

$$P_{ჭ.}(EP-1) \approx 2\{0,34P_1(1-P_1) + 0,12[P_1^2 + (1-P_1)^2]\}, \quad (6)$$

$$P_{მცდ.}(EP-1) \approx 2\{0,036P_1(1-P_1) + 0,004[P_1^2 + (1-P_1)^2]\}, \quad (7)$$

$$P_{ჭ.}(EP-2) = 4 \cdot 0,25 \cdot 0,47P_1(1-P_1) = 0,47P_1(1-P_1) \quad (8)$$

$$P_{მცდ.}(EP-2) = 4 \cdot 0,25 \cdot 0,53P_1(1-P_1) = 0,53P_1(1-P_1) \quad (9)$$

მე-2 ცხრილში მოყვანილია $P_{ჭ.}(EP-1)$, $P_{მცდ.}(EP-2)$, $P_{ჭ.}(EP-2)$ და $P_{მცდ.}(EP-2)$ სიდიდეები, გამოთვლილი (6), (7), (8) და (9) ფორმულებით P_1 -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის. როგორც ცხრილის მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, EP-2 კოდს კორექტირების მეტად მცირე ალბათობები გააჩნია, ამასთან ჭეშმარიტი და მცდარი კომბინაციების აღდგენის ალბათობები ერთმანეთის თანაზომადი სიდიდეებია, ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ ამ კოდში კორექტირების პროცედურის ჩატარება მიზანშეწონილი არ არის.

MILLER კოდის ერთეული შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების შესაძლებლობების ანალიზმა აჩვენა, რომ მისთვის მცწ-ს კონტროლისა და 11 და 00 კომბინაციების მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის კრიტერიუმებზე დამყარებული მეთოდების გამოყენება შეუძლებელია, რადგან აქ მცწ-ს არ გააჩნია ფიქსირებული მნიშვნელობები.

შეცდომების კორექტირების ალბათობების გამოთვლის შედეგები
ელექტრონულ-ფოტონურ კოდებისთვის

P_1	$P_{\frac{3}{8}}(EP-1)$	$P_{\frac{6}{32}}(EP-1)$	$P_{\frac{3}{8}}(EP-2)$	$P_{\frac{6}{32}}(EP-2)$
0,1	0,26	0,013	0,04	0,05
0,2	0,27	0,017	0,07	0,08
0,3	0,28	0,019	0,1	0,11
0,4	0,29	0,02	0,11	0,13
0,5	0,3	0,022	0,12	0,14
0,6	0,29	0,02	0,11	0,13
0,7	0,28	0,019	0,1	0,11
0,8	0,27	0,017	0,07	0,08
0,9	0,26	0,013	0,04	0,05

ამიტომ შეცდომების აღმოჩენა და კორექტირება MILLER კოდში შესაძლებელია მხოლოდ აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდის გამოყენებით.

ისევე როგორც ელექტრონულ-ფოტონურ კოდებში, MILLER კოდშიც სატაქტო ინტერვალის ფარგლებში ყველა კომბინაცია დასაშვებია, მაგრამ ორი მეზობელი სატაქტო ინტერვალის ანალიზი აჩვენებს, რომ მათზე განლაგებული 16 შესაძლო კომბინაციიდან დასაშვებია მხოლოდ 8. აკრძალული კომბინაციების გამოჩენის ალბათობების გათვლა აქაც წარმოებს ელექტრონულ-ფოტონური კოდების ანალოგიურად, რის შედეგადაც მიღებულია შეცდომების აღმოჩენის $P_{\text{აღმ}}(\text{MIL})$, აგრეთვე – ჭეშმარიტი და მცდარი კომბინაციების აღდგენის ალბათობები – $P_{\frac{3}{8}}(\text{MIL})$ და $P_{\frac{6}{32}}(\text{MIL})$:

$$P_{\text{აღმ}}(\text{MIL}) = 0,5.$$

$$P_{\text{კორ.}}(\text{MILLER}) \approx 0,5 \cdot 0,94 = 0,47;$$

$$P_{\frac{6}{32}}(\text{MILLER}) \approx 0,5 \cdot 0,06 = 0,03.$$

როგორც ვხედავთ, ეს ალბათობები არ არის დამოკიდებული საწყის სიგნალში სიმბოლოების გამოჩენის ალბათობებზე. დიდი

სხვაობა ჭეშმარიტი და მცდარი კომბინაციების აღდგენის ალბათობებს შორის იძლევა იმის თქმის საშუალებას, რომ ელექტრონულ-ფოტონური კოდებისთვის შემოთავაზებული კორექტირების მეთოდი შეიძლება წარმატებით იქნას გამოყენებული MILLER კოდისთვისაც.

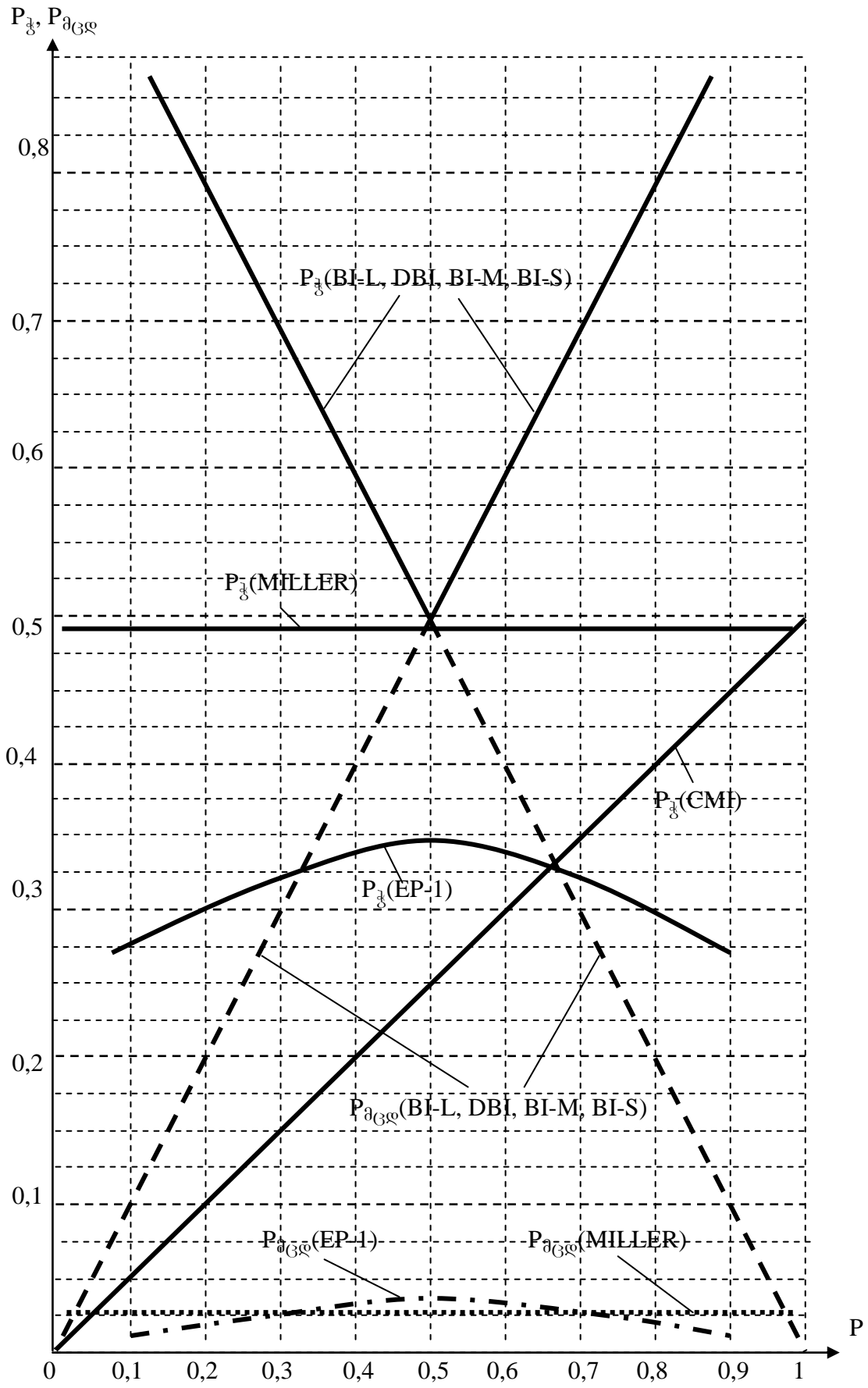
მე-2 თავის დასასრულს ნაშრომში მოყვანილია 1B2B კლასის განხილული კოდების შედარება შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების უნარიანობის ნიშნით. ყველა კოდის (EP-2-ის გარდა, რომელსაც, როგორც აღინიშნა, შეცდომების კორექტირების დაბალი ხარისხი გააჩნია) კორექტირების შესაძლებლობების ამსახველი გრაფიკები მოყვანილია მე-6 ნახაზზე. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, შეცდომების კორექტირების თვალსაზრისით ყველაზე კარგი შესაძლებლობები აქვს ბიმიპულსურ კოდებს, თუმცა მათთვის მაღალია მცდარი კომბინაციების აღდგენის ალბათობაც. ამ კოდებისთვის კორექტირების ხარისხი უმჯობესდება ($P_{\text{კ}}^{\text{კ}}$ იზრდება, $P_{\text{მცდ}}^{\text{კ}}$ კი მცირდება) საწყის სიგნალში ერთ-ერთი სიმბოლოს გამოჩენის ალბათობის ზრდასთან ერთად. აღნიშნული კოდებიდან უპირეტესობა ენიჭება BI-L და DBI კოდებს, რადგან ორ დანარჩენს ახასიათებს შეცდომების გაორმაგება არასწორი კორექტირებისას.

კორექტირების ხარისხის თვალსაზრისით არც თუ ურიგო შესაძლებლობები აქვს MILLER კოდს, რომელსაც, მართალია, ბიმიპულსურ კოდებთან შედარებით კორექტირების უფრო ნაკლები ალბათობა გააჩნია, მაგრამ მათგან განსხვავებით აქვს მცდარი კომბინაციების აღდგენის გაცილებით მცირე ალბათობა და, გარდა ამისა, კორექტირების ალბათობა არ არის დამოკიდებული საწყის სიგნალში სიმბოლოების გამოჩენის ალბათობებზე.

კორექტირების ალბათობის შედარებით მცირე სიდიდეები ახასიათებს CMI და EP-1 კოდებს, თუმცა ამ უკანასკნელს აგრეთვე მცდარი კომბინაციების აღდგენის მცირე ალბათობა გააჩნია.

ზემოთქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ, თუ კომპლექსურად განვიხილავთ ერთეული შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების შესაძლებლობებს, მაშინ ამ თვალსაზრისით 1B2B კოდებიდან საუკეთესოებს წარმოადგენს BI-L და DBI.

დასკვნა: მე-2 თავში განხორციელებულია 1B2B კლასის კო-



ნახ.6. $P_{კორ}(1B2B)=f(P_1)$ და $P_{მცვლ}(1B2B)=f(P_1)$ დამოკიდებულების მრუდები

დების მაკორექტირებელი თვისებების კვლევა. ნაჩვენებია, რომ მცჯ-ს ანალიზის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი უზრუნველყოფს შეცდომების ლოკალიზებულ აღმოჩენას და კორექტირებას მხოლოდ ბიიმპულსურ კოდებში, აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი კი – ყველა კოდში. ნაპოვნია ყველა კოდში შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების ალბათობები, აგებულია მათი საწყის სიგნალში ერთიანის გამოჩენის ალბათობისგან დამოკიდებულების გრაფიკები. ჩატარებულია 1B2B კლასის კოდების შედარებითი ანალიზი შეცდომების კორექტირების თვალსაზრისით, გამოვლენილია საუკეთესო კოდები ამ ნიშნით.

მე-3 თავი ეძღვნება 2B4B და 3B4B კლასის კოდების შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების შესაძლებლობების გამოკვლევას. ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ 2B4B კლასის კოდში მცჯ-ს კონტროლის კრიტერიუმი უზრუნველყოფს შეცდომების აღმოჩენას, ოღონდ ლოკალიზების გარეშე, რადგან შეცდომის გამოჩენისა და მცჯ-ს საზღვრებიდან გამოსვლის მომენტები ერთმანეთს არ ემთხვევა. შესაბამისად, შეცდომის კორექტირება ამ მეთოდის გამოყენებისას შეუძლებელია. იგივე შედეგს იძლევა სახაზო კოდში სიმბოლოების ან სიმბოლოთა ბლოკების მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის აღმოჩენაზე დამყარებული მეთოდი, რადგან 2B4B კოდის ფორმირების ალგორითმში ხსენებული მონაცვლეობის პრინციპი ჩადებული არ არის.

აკრძალული კომბინაციის აღმოჩენის კრიტერიუმის გამოყენებისას ერთეული შეცდომების აღმოჩენა ხდება 1-ის ტოლი ალბათობით. მართლაც, 2B4B კოდის ყველა დასაშვებ ოთხთანრიგა კომბინაციას შორის კოდური მანძილი $d \geq 2$, ამიტომ ნებისმიერი ერთეული შეცდომა იწვევს აკრძალული კომბინაციის გაჩენას.

ერთეული შეცდომების კორექტირების ალბათობის გასათვლელად ჩაწერილია 2B4B კოდის დასაშვები კომბინაციების გამოჩენის ალბათობები საწყის სიგნალში ერთიანის გამოჩენის P_1 ალბათობის საშუალებით:

$$P(1100) = P_1^2; \quad P(0011) = (1-P_1)^2; \quad P(0110) = P(1001) = P_1(1-P_1).$$

ამ გამოსახულებებზე დაყრდნობით და (1), (2) ფორმულების გათვალისწინებით ნაპოვნია აკრძალული კომბინაციების კორექტირების $P_{\text{კორ}}$ ალბათობები P_1 -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის:

$$P_{\text{კორ}} = P_1, \quad \text{თუ } P_1 \geq 0,5;$$

$$P_{\text{კორ}} = 1 - P_1, \quad \text{თუ } P_1 \leq 0,5;$$

ეს გამოსახულებები ემთხვევა ბიიმპულსური კოდებისთვის ზემოთ მიღებულ ფორმულებს. შესაბამისად, $P_{\text{კ}}=f(P_1)$ და $P_{\text{მცდ.}}=f(P_1)$ დამოკიდებულებების გრაფიკები ემთხვევა მე-6 ნახაზზე მოყვანილ გრაფიკებს ბიიმპულსური კოდებისთვის. ნაშრომში ნახვენებია, რომ არასწორი კორექტირების შემთხვევაში 2B4B კოდში შეცდომების გამრავლება არ ხდება. ამგვარად, 2B4B კოდს შეცდომების კორექტირების თვალსაზრისით ისეთივე შესაძლებლობები გააჩნია, როგორც BI-L და DBI კოდებს.

მცწ-ს კონტროლის კრიტერიუმით 3B4B კოდში შეცდომების აღმოჩენის პროცესის ანალიზი აჩვენებს, რომ აქაც ადგილი აქვს შეცდომების აღმოჩენას ლოკალიზების გარეშე, რის გამოც ამ მეთოდის გამოყენებისას კორექტირება შეუძლებელია. იგივე შედეგი მიიღება სახაზო სიგნალში +2 და -2 დისპარიტეტობის მქონე კომბინაციების მონაცვლეობის კანონზომიერების დარღვევის აღმოჩენაზე დამყარებული მეთოდის გამოყენებისას.

აკრძალული კომბინაციის აღმოჩენის კრიტერიუმის გამოყენებისას ერთეული შეცდომების აღმოჩენის პროცესის ანალიზმა აჩვენა, რომ ერთეული შეცდომებით დაზიანების შედეგად მიღებული შესაძლო კომბინაციების ნაწილი დასაშვებია, მეორე ნაწილი კი – აკრძალული. (1) ფორმულის გამოყენებით ნაშრომში ჩატარებული გამოთვლების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა კოდში აკრძალული კომბინაციების გამოჩენის, ანუ შეცდომის აღმოჩენის ალბათობა

$$P_{\text{აღმ.}}=0,44. \quad (10)$$

ამის შემდეგ ნაპოვნი იქნა შეცდომების კორექტირების ალბათობა, რომელიც ტოლია:

$$P_{\text{კ}} \approx 0,16$$

მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენაზე დამყარებული მეთოდი დანარჩენ მეთოდებთან შედარებით

ნაკლებ ეფექტურია ხაზში შეცდომების კონტროლის თვალსაზრისით, რადგან იგი ხასიათდება შეცდომების აღმოჩენის მცირე ალბათობით ($\approx 0,44$). ამასთან ერთად, ამ მეთოდის გამოყენება შეცდომების კორექტირებისთვის აგრეთვე არ იძლევა საგრძნობ ეფექტს.

დასკვნა: მე-3 თავში განხილულია შეცდომების აღმოჩენის და კორექტირების საკითხები მე-2 სახეობის ბიიმპულსურ და 3B4B კლასის კოდებში. ნაჩვენებია, რომ შეცდომების ლოკალიზებას და მათ შემდგომ კორექტირებას ორივე კოდისთვის უზრუნველყოფს მხოლოდ აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენის კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდი, ნაპოვნია ორივე კოდისთვის შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების ალბათობების მნიშვნელობები.

მე-4 თავში განხილულია ზემოთ მოყვანილ კოდებში შეცდომების კორექტირების ალბათობის გაზრდის შესაძლებლობები ნაშრომში შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენებით. ნაჩვენებია, რომ 1B2B კლასის კოდებიდან მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მხოლოდ ბიიმპულსური კოდებისთვის, რომლებისთვისაც იგი სიჭარბის უმნიშვნელო ზრდის პირობებში უზრუნველყოფს ერთეული შეცდომების კორექტირებას პრაქტიკულად 1-ის ტოლი ალბათობით. ნაშრომში მოყვანილია გადაცემის სისტემის სტრუქტურული სქემა შემოთავაზებული მეთოდის განხორციელებისთვის საჭირო მოწყობილობების გათვალისწინებით, აგრეთვე – მისი მუშაობის ამსახველი დროითი დიაგრამები.

შემოთავაზებული მეთოდის 2B4B კლასის კოდისთვის გამოყენების შესაძლებლობის განხილვისას ჩატარებულია დასაშვებ კომბინაციაში არა მარტო ერთი, არამედ ორი, სამი და ოთხი თანრიგის დაზიანების ყველა შესაძლო შემთხვევების ანალიზი, რომლის საფუძველზეც ნაჩვენებია, რომ ერთეული და წყვილური შეცდომების, აგრეთვე – სამი თანრიგისგან შედგენილ შეცდომათა დასტების როგორც აღმოჩენა, ისე კორექტირება ხდება 1-ის ტოლი ალბათობებით, დასაშვები კომბინაციის ყველა სიმბოლოს დაზიანებისას კი – აღმოჩენა 1-ის ტოლი ალბათობით კორექტირების გარეშე.

ჩატარებული ანალიზის შედეგები და მათი შედარება სხვა არსებული მეთოდების გამოყენებისას მიღებულ შედეგებთან წარმოდგენილია ცხრილში (ცხრილი 3), რომლიდანაც აშკარად ჩანს შემოთავაზებული მეთოდის უპირატესობა.

ცხრილი 3

არსებული და შემოთავაზებული მეთოდებით სხვადასხვა სახის შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების ალბათობები

შეცდომის სახე	არსებული მეთოდები		შემოთავაზებული მეთოდი	
	აღმოჩენის ალბათობა	კორექტირების ალბათობა	აღმოჩენის ალბათობა	კორექტირების ალბათობა
ერთეული	1	0	1	1
წყვილური	1	0	1	1
3 სიმბოლოს-გან შედგენილი დასტა	1	0	1	1
4 სიმბოლოს-გან შედგენილი დასტა	0	0	1	0

აკრძალული კომბინაციების აღმოჩენაზე დამყარებული მეთოდისა და ნაშრომში შემოთავაზებული მეთოდის ერთობლივი გამოყენება საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად იქნას გაზრდილი ერთეული შეცდომის კორექტირების ალბათობა 3B4B კლასის კოდში. გარდა იმისა, რომ მეთოდი უზრუნველყოფს ყველა აკრძალული კომბინაციის კორექტირებას, რაც ხდება შეცდომების აღმოჩენის (10) ალბათობით, მისი დახმარებით შეიძლება მოხდეს შეცდომის შედეგად წარმოქმნილი დასაშვები კომბინაციების ნაწილის კორექტირებაც.

ნებისმიერი შეცდომა (გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც $\pm 2\text{დპ}$ გარდაიქმნება $\pm 4\text{დპ-დ}$) იწვევს სახაზო სიგნალში ორი ერთნაირი დისპარიტეტობის მქონე დპ-ს მიმდევრობით გამოჩენას. ეს შეიძლება გამოწვეული იყოს ორი მიზეზით:

1. აღნიშნული დპ-ებიდან ერთ-ერთი წარმოქმნილია ნდპ-ს შეცდომის შედეგად დაზიანების შედეგად;

2. გადამცემ მოწყობილობაში ფორმირებულ სახაზო სიგნალში აღნიშნულ დპ-ებს შორის განლაგებული საწინააღმდეგო დისპარიტეტობის მქონე დპ შეცდომის ზემოქმედებით გარდაიქმნა ნდპ-დ.

ნაშრომში გაანალიზებულია ეს შემთხვევები და დასაბუთებულია, რომ შეცდომების კორექტირება შესაძლებელია მხოლოდ ნდპ-ს დპ-დ გარდაქმნისას, ამასთან იმ პირობით, რომ მიმდევრობით გამოჩენილი ორი ერთნაირი დისპარიტეტობის მქონე დპ-ები ერთმანეთისგან განსხვავდება.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ნაშრომში განიხილება 3B4B კლასის კოდის აგების ის ვარიანტი, რომლის დროსაც გამოიყენება 6 ნდპ და 4 $\pm 2\text{დპ}$. ასეთ პირობებში შეცდომის გამო ნდპ-ს $\pm 2\text{დპ-დ}$ გარდაქმნის შესაძლო შემთხვევების რიცხვი 24-ს შეადგენს. რადგან $\pm 2\text{დპ}$ საერთო რიცხვი არის 8, რომელთაგან დასაშვებია 4, ამიტომ საშუალოდ 12 შემთხვევაში წარმოიქმნება აკრძალული დპ, დანარჩენ 12-ში კი – დასაშვები. დასაშვები დპ-ების გამოჩენისას თანაბარი (0,5) ალბათობებით გვაქვს მიმდევრობით ორი ერთნაირი დპ-ს და სხვადასხვა დპ-ს გამოჩენის შემთხვევები (საშუალოდ 6-6).

ნდპ-ს დაზიანებისას კონკრეტული დასაშვები დპ-ს წარმოქმნის ალბათობა განისაზღვრება სახაზო სიგნალში ნდპ-ს გამოჩენის ალბათობისა (0,125) და მისი ერთი კონკრეტული თანრიგის დაზიანების ალბათობის (0,25) ნამრავლით. მაშინ, ზემოთ მოყვანილი მსჯელობიდან გამომდინარე, ნებისმიერი დასაშვები დპ-ს გამოჩენის ალბათობა ტოლია:

$$P_{\text{დას}}(\text{დპ}) = 0,125 \times 0,25 \times 12 \approx 0,375,$$

ხოლო მიმდევრობით სხვადასხვა დპ-ს გამოჩენის და, მაშასადამე, შეცდომის კორექტირების ალბათობა ორჯერ ნაკლები იქნება:

$$P_{\text{კორ}}(\text{დპ}_{\text{დას}}) \approx 0,19 \tag{11}$$

განხილული შემთხვევების გარდა შეცდომების კორექტირებას ადგილი აქვს შეცდომის შედეგად დასაშვებ $\pm 2\text{ფკ}$ -ს $\pm 4\text{ფკ}$ -დ გარდაქმნის შემთხვევაში. ნებისმიერი ასეთი გარდაქმნა ხდება $\pm 2\text{ფკ}$ -ს გამოჩენის ალბათობის (0,0625) ნამრავლით მისი იმ ერთადერთი თანრიგის დაზიანების ალბათობაზე (0,25), რომლის დროსაც წარმოიქმნება $\pm 4\text{ფკ}$. რადგან ასეთი გარდაქმნების შესაძლო რიცხვი 4-ია, ამიტომ $\pm 2\text{ფკ}$ -ს $\pm 4\text{ფკ}$ -დ გარდაქმნის და, მაშასადამე, შეცდომის კორექტირების ალბათობა ტოლია:

$$P_{\text{კორ.}}(\pm 2\text{ფკ} \rightarrow \pm 4\text{ფკ}) = 0,0625 \times 0,25 \times 4 \approx 0,0625 \quad (12)$$

(10), (11) და (12) სიდიდეების ჯამი გვიჩვენებს ერთეული შეცდომის კორექტირების სრულ ალბათობას 3B4B კლასის კოდში:

$$P_{\text{კორ.}}(3B4B) \approx 0,44 + 0,19 = 0,69$$

ამგვარად, ნაშრომში შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება უზრუნველყოფს 3B4B კლასის კოდში შეცდომების 69%-ის გასწორებას, რაც, უდავოდ, მნიშვნელოვან შედეგად უნდა ჩაითვალოს.

დასკვნა: მე-4 თავი ეძღვნება ნაშრომში შემოთავაზებული შეცდომების კორექტირების გაზრდის მეთოდის 1B2B, 2B4B და 3B4B კლასების კოდებისთვის გამოყენების შესაძლებლობების კვლევას. ნაჩვენებია, რომ 1B2B კლასის კოდების ჯგუფიდან მეთოდი გამოდგება მხოლოდ ბიიმპულსური კოდებისთვის, რომლებისთვისაც იგი უზრუნველყოფს შეცდომების კორექტირებას 1-ის ტოლი ალბათობით, 2B4B კლასის კოდში მეთოდი უზრუნველყოფს არა მარტო ერთეული, არამედ წყვილური შეცდომების და სამი სიმბოლოსგან შემდგარი შეცდომათა დასტების აღმოჩენასა და კორექტირებას 1-ის ტოლი ალბათობით, აგრეთვე – შეცდომების აღმოჩენას კოდური კომბინაციის ოთხივე თანრიგის დაზიანების შემთხვევაში, 3B4B კლასის კოდისთვის კი – კორექტირების ალბათობის მნიშვნელოვან გაზრდას მხოლოდ აკრძალული კომბინაციების კრიტერიუმზე დამყარებული მეთოდის გამოყენების შემთხვევასთან შედარებით.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები:

1. ბიიმპულსური კოდების შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების საკითხები. სტუ-ს შრომები, 4(462) /2006/. თბილისი, გვ. 97-102
2. Корректирующие свойства линейного кода типа MILLER. Труды 5-й международной научно-технической конференции "Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях". Алматинский институт энергетики и связи/2006/ Алматы. с. 371-373
3. Корректирующие свойства линейного кода 3B4B. Georgian Engineering News (GEN),N2 /2008/Тбилиси. с. 88-90
4. К вопросу коррекции одиночных ошибок в линейном коде класса 3B4B. Georgian Engineering News (GEN),N4 /2008/Тбилиси. с. 80-82
5. ერთეული შეცდომების კორექტირება ელექტრონულ-ფოტონურ კოდებში. სტუ-ს შრომები, 4(470) /2008/. თბილისი, გვ.36-40
6. შეცდომების წარმოქმნა მე-2 სახეობის ბიიმპულსურ კოდში.სტუ-ს შრომები, 4(472) /2009/. თბილისი, გვ.19-23
7. შეცდომების წარმოქმნა mBnB კლასის სიგნალის დეკოდირების პროცესში. საერთაშორისო სამეცნიერ კონფერენციის” ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. მოხსენებების კრებული /2010/, ქუთაისი გვ.265-270
8. მანჩესტერის კოდით კოდირებულ სიგნალში ერთეული შეცდომების აღმოჩენისა და კორექტირების ხერხი. თბილისი, პატენტი P4647, 10. 03.2009, N010235, 23.08.2007

ავტორის პირადი წვლილი. დისერტაციაში წარმოდგენილი ყველა შედეგი მიღებულია უშუალოდ ავტორის მიერ სამეცნიერო ხელმძღვანელთან და თანაავტორებთან განუყოფილი ერთობლივი წვლილის აღნიშვნით

Abstract

There are considered the principles of linear encoding in a fiber optic telecommunication systems: requirements towards linear codes, entering the redundancy into the codes as a way to meet those requirements. There are shown algorithms of formation of certain codes of mBnB class – 1B2B, 2B4B, 3B4B, regularities of digital sum and code combination disparity variations, given several variants of formation of 3B4B code, the most optimal of them selected and the quantity of code alphabets evaluated.

There are considered existing methods of detection of single errors in a mBnB class codes, based on detection of violation of regularity of alternation of “+” and “-“ disparity code combinations, digital sum analysis and detection of forbidden combinations criteria. It is shown, that for the major 1B2B class codes, BI-L, DBI, BI-M, BI-S, CMI, EP-1, EP-2 and Miller, the method based on detection of violation of regularity of alternation of “+” and “-“ disparity code combinations, with exception of Miller code, provides detection of all single errors, without localization. The method of digital sum analysis provides detection of errors with a probability of 1, for all codes except of Miller, though localization of detected errors is possible for double pulse codes only.

It is shown, that the method of detection of forbidden combinations also provides localized detection of single errors with a probability of 1 for double pulse codes, while for other codes probability of detection of errors differs from 1.

Correction of errors is possible only upon their localized detection, that’s why correction for double pulse codes is possible through both, digital sum analysis and detection of forbidden combinations methods, while for other codes correction is possible only through detection of forbidden combinations method. There is provided the formula for calculation of the probability of correction of single errors through detection of forbidden combinations method, which was used to investigate error correction processes in 1B2B codes. There are provided formulas for estimation of probabilities of correct and incorrect recovery of damaged combinations for all codes, estimations made and probabilities-to-symbol “1” appearance dependence diagrams are drawn up. Comparative analysis of 1B2B class codes was performed; those with the best detection and correction capabilities were selected for each particular value of probability of appearance of symbol “1” in initial signal.

There are investigated capabilities of single error detection for 2nd type double pulse (2B4B) codes through digital sum analysis method. It is shown that errors are detected with a probability of 1, but without localization, so far, this method does not provide correction of errors. It is shown that detection of forbidden combinations method provides localized detection of errors with a probability of 1, which is a precondition for correction of errors. The 2nd type double pulse codes have correction capabilities similar to those of BI-L and DBI codes and consequently dependence diagrams of probabilities of correct and incorrect recovery of damaged combinations to appearance of symbol “1” in initial signal are also similar to diagrams of those.

There are investigated capabilities of single error detection in 3B4B class codes through detection of violation of regularity of alternation of “+” and “-“ disparity code combinations and digital sum analysis methods. It is shown that both provide detection of errors without localization with a probability of 1 and do not provide correction of them. There is investigated an error detection procedure through detection of forbidden combinations method, the probabilities of detection and correction of single errors are evaluated. It is shown that for a certain correspondences of initial ternary combinations and linear code combinations of 3B4B class codes, the errors are multiplied upon recovery of initial signal at the receiver. The criterion of selection of proper correspondences providing the least value of error multiplication is offered.

There is offered the new correction method, based on entering a slight redundancy into the codes, which provides improved probability of single error correction in mBnB class codes. Possibilities of applying the method to 1B2B, 2B4B and 3B4B class codes are considered. It is shown that the method is applicable to double pulse codes only among the series of 1B2B class codes, providing so far correction of errors with a probability of 1. The method provides correction of errors with a probability of 1 in a case of 1, 2 and 3 false digits in a 2B4B class code combinations and correction of single errors with a probability of 0,69 in a 3B4B class code combinations.