ISSN 1512-1232

ორობითი არხების ზღურბლური დარეზერვებისას სიგნალის აღდგენის შეცდომის ალბათობის მინიმალური ზედა შეფასება

ია ირემაძე, ოლეგ ნამიჩეიშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 0175, კოსტავას ქ. 77

ანოტაცია

თითოეულ ნეირონს, სხეულის სხვა ელემენტებთან ერთად გააჩნია მრავალი თვისება, მაგრამ მისი უნიკალობა არის ელექტროქიმიური სიგნალებით ინფორმაციის მიღება, დამუშავება და გადაცემა ნერვული მარშრუტით, რომელიც ქმნის ტვინის კომუნიკაციურ სისტემას. თითოეული ნეირონი რეალიზაციას უკეთებს ზოგიერთ ფუნქციას, რომელსაც შემავალი მნიშვნელობების ზღვრულ ფუნქციებს უწოდებენ.

შეცდომის აღდგენის ალბათობას ვითვლით სამი ფორმულით C++ ენაზე დაწერილი პროგრამის მეშვეობით. გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ ლოგარითმული სახით ჩაწერილი ფორმულით გამოთვლამ უკეთესი შედეგი მოგვცა. პროგრამა საშუალებას იძლევა შეიცვალოს შესასვლელთა რაოდენობა, აპრიორული ალბათობის სიდიდე და ზღურბლი.

საკვანძო სიტყვები

ბიოლოგიური ნეირონი, ხელოვნური ნეირონი, შემავალი ვექტორი, შეცდომის ალბათობა, ზღურბლური ფუნქცია, ორობითი არხები.

თითოეულ ნეირონს, სხეულის სხვა ელემენტებთან ერთად გააჩნია მრავალი თვისება, მაგრამ მისი უნიკალობა არის ელექტროქიმიური სიგნალებით ინფორმაციის მიღება, დამუშავება და გადაცემა ნერვული მარშრუტით, რომელიც ქმნის ტვინის კომუნიკაციურ სისტემას. თითოეული ნეირონი რეალიზაციას უკეთებს ზოგიერთ ფუნქციას, რომელსაც შემავალი მნიშვნელობების ზღვრულ ფუნქციებს უწოდებენ.

I წინასწარი შენიშვნები

განვიხილოთ $q_i \, (0 \le q_i \le 1, i = \overline{1,n})$ შეცდომის ალბათობათა და $a_i \, (-\infty < a_i < \infty, i = \overline{1,n})$ წონათა მქონე ორობითი არხები. n ასეთი არხის ზღურბლური დარეზერვების დროს +1_ით და 1_ით კოდირებული X შემავალი სიგნალის აღდგენა, ე.ი. Y გადაწყვეტილების მიღება, აწონილი კენჭისყრის შედეგად ხდება შემდეგი თანაფარდობის საფუძველზე:

$$Y = \operatorname{sgn}\left(\sum_{i=1}^{n+1} a_i X_i\right) = \operatorname{sgn} Z \qquad (1)$$

სადაც

$$Z = \sum_{i=1}^{n+1} a_i X_i \ . \qquad (2)$$

აქ $X_i \left(i = \overline{1,\, n}\right)$ _ შემავალი X სიგნალის მიღებული მნიშვნელობის ვერსიაა, რომელიც $(+1)$_ით და (-1)_ით კოდირებულ შემთხვევით ორობით ცვლადად განიხილება, $\Theta \equiv a_{n+1}$

ISSN 1512-1232

- აღმდგენი ორგანოს ე.წ. ზღურბლია და ნამდვილ რიცხვს წარმოადგენს $(-\infty < a_{n+1} < \infty)$, ხოლო $X_{n+1} \equiv -1$. თვლიან, რომ

$$\operatorname{sgn} Z = \begin{cases} -1, & \text{თუ } Z < 0 \\ 0, & \text{თუ } Z = 0 \\ +1, & \text{თუ } Z > 0 \end{cases}. \tag{3}$$

როცა $Z = 0$, მაშინ Y გადაწყვეტილება გამოსასვლელზე არ მიიღება. $\Theta \equiv a_{n+1}$ და $X_{n+1} \equiv -1$ პარამეტრების მქონე წარმოსახვითი არხის q_{n+1} შეცდომის ალბათობას $X = +1$ შემავალი სიგნალის გადაცემის აპრიორული ალბათობის აზრი გააჩნია.

წინა პარაგრაფის თანახმად, Q ალბათობა იმისა, რომ X სიგნალის Y აღდგენილი მნიშვნელობა მცდარია, შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$Q = \operatorname{Prob}\{Y \neq X\} = \sum_{v<0} f(v) = \sum_{v<0} \mathop{*}_{i=1}^{n+1} f_i(v_i). \tag{4}$$

აქ $f(v)$ - დისკრეტული $\eta = XZ$ შემთხვევითი სიდიდის ალბათობათა განაწილებას წარმოადგენს. ხსენებული სიდიდე $\eta_i = a_i X X_i$ დამოუკიდებელ დისკრეტულ სიდიდეთა ჯამია, ხოლო $f_i(v_i)$ _ით η_i სიდიდეთა ალბათობების განაწილება აღინიშნება. h და h_i შემთხვევითი სიდიდეების რეალიზაციიებისათვის შესაბამისად v და v_i სიმბოლოები შემოვიღოთ. h_i ცვლადი $+a_i$ და $-a_1$ მნიშვნელობებს იძენს $1-q_i$ და q_i ალბათობებით. ამრიგად,

$$\left.\begin{aligned} f_i(v_i) = q_i^{(a_i - v_i)/2a_i} \cdot (1-q_i)^{(a_i+v_i)/2a_i} \\ v_i = +a_i,\ -a_i \\ i = \overline{1, n+1} \end{aligned}\right\}. \tag{5}$$

v -ს მნიშვნელობები დისკრეტულია და ნამდვილ ღერძს მიეკუთვნება. მათი საერთო რაოდენობა 2^{n+1} _ს შეადგენს, რადგან $v = \tilde{a}_1 + \tilde{a}_1 + \cdots + \tilde{a}_n + \tilde{a}_{n+1}$ სადაც $\tilde{a}_1$ ან $+a_i$ _ს, ან $-a_i$ _ს უდრის.

(4) ფორმულაში $*$ სიმბოლო («+» შეკრებისა და «ხ» გამრავლების ნიშნების ზედდება) კონვოლუციის (კომპოზიციის) ოპერაციის ნიშნად გამოიყენება, ხოლო აჯამვა v ცვლადის ყველა უარყოფითი დისკრეტული მნიშვნელობის სიმრავლეზე ხორციელდება.

II ალბათობის მინიმალური ზედა შეფასება

ამავე დროს Q ალბათობისათვის სასარგებლოა მინიმალური ზედა შეფასების მიღება ჩაკეტილი ანალიზური სახით. ასეთი შეფასება, რომელიც [1] ნაშრომშია გაკეთებული, არსებითი ხარვეზით ხასიათდება, ჩვენ ამ შეფასების მისაღებად ახალ მიდგომას ვიყენებთ.

ცნობილია [3], რომ η_i დამოუკიდებელი შემთხვევითი სიდიდეების η ჯამის ფაქტორიალურ მომენტთა $\gamma_v(S)$ მაწარმოებელი ფუნქცია ცალკეულ შესაკრებთა ფაქტორიალური მომენტების $\gamma_{vi}(S)$ მაწარმოებელ ფუნქციათა ჯამს უდრის, ე.ი.:

$$\gamma_v(S) = \prod_{i=1}^{n+1} \gamma_{vi}(S), \tag{6}$$

სადაც

ISSN 1512-1232

$$\gamma_v(S) = \mathrm{M}\left[S^{\eta}\right] = \sum_v S^v \cdot f(v)\,, \tag{7}$$

$$\left.\begin{aligned} \gamma_{v_i}(S) = \mathrm{M}\left[S^{\eta_i}\right] = \sum_v S^{v_i} \cdot f_i(v_i) \\ i = \overline{1, n+1} \end{aligned}\right\}. \tag{8}$$

აქ M - მათემატიკური ლოდინის სიმბოლოა, ხოლო S - ნებისმიერი კომპლექსური რიცხვია, რომლისთვისაც (7) და (8) მწკრივი არსებობს ნამდვილი ღერძის $S=1$ წერტილის შემცველ გარკვეულ ინტერვალზე.

რადგან (8) თანაფარდობაში აჯამვა v_i სიდიდის $+a_i$ და $-a_i$ ორ შესაძლო მნიშვნელობათა სიმრავლეზე ხორციელდება, (5) გამოსახულების გათვალისწინებით გვექნება:

$$\left.\begin{aligned} \gamma_{v_i}(S) = (1-q_i)S^{a_i} + q_i S^{-a_i} \\ i = \overline{1, n+1} \end{aligned}\right\}. \tag{9}$$

თუკი (9) ფორმულას (6) თანაფარდობაში შევიტანთ, მივიღებთ:

$$\gamma_v(S) = \prod_{i=1}^{n+1}\left[(1-q_i)S^{a_i} + q_i S^{-a_i}\right].$$

როცა $v<0$, მაშინ S^v შემდეგ პირობას აკმაყოფილებს:

$$S^v = \frac{1}{S^{|v|}} > 1,$$

თუ, რა თქმა უნდა,

$$0 < S < 1. \tag{10}$$

დავუშვათ, რომ (10) უტოლობა შესრულებულია. მაშინ სამართლიანია შემდეგი თანაფარდობა:

$$Q = \sum_{v<0} f(v) < \sum_{v<0} S^v \cdot f(v)\,.$$

რადგან თითოეული $S^v \cdot f(v)$ შესაკრები არაუარყოფითია, ადგილი აქვს უტოლობას

$$\sum_{v<0} S^v f(v) \le \sum_v S^v \cdot f(v)\,.$$

მაშასადამე,

$$Q < \gamma_v(S)\,. \tag{11}$$

ამ გამოსახულების მარჯვენა მხარე შეიძლება ჩაითვალოს ზღურბლური ელემენტის შეცდომის ალბათობის Q^+ ზედა შეფასებად:

$$Q^+ = \prod_{i=1}^{n+1}\left[(1-q_i)S^{a_i} + q_i S^{-a_i}\right].$$

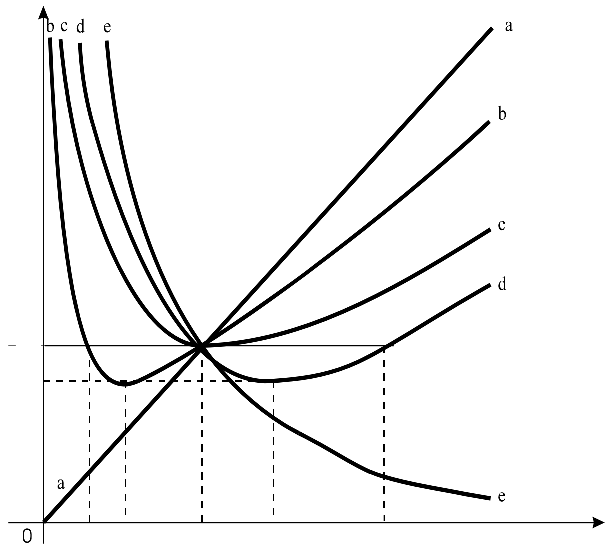
უკანასკნელი თანაფარდობა შემდეგი ეკვივალენტური ფორმითაც ჩაიწერება:

$$Q^+ = \prod_{i=1}^{n+1} Q_i^+ = \prod_{i=1}^{n+1}\left[(1-q_i)w_i + \frac{q_i}{w_i}\right], \tag{12}$$

სადაც

$$Q_i^+ = (1-q_i)w_i + \frac{q_i}{w_i}$$

ISSN 1512-1232



ნახ.1 Q_i^+ _ის w_i _ზე დამოკიდებულების გრაფიკული წარმოდგენა q_i ალბათობის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის

და ამასთან ერთად

$$w_i = S^{a_i}, \quad 0 < w_i < \infty, \ (i = \overline{1, n+1}) \tag{13}$$

Q_i^+ სიდიდის w_i ცვლადზე დამოკიდებულების გრაფიკები q_i ალბათობის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის მოტანილია ნახ.1-ზე.

სახელდობრ, *a* წრფე აქ შეესაბამება $q_i = 0$ მნიშვნელობას, *b* მრუდი - $0 < q_i < 1/2$ მნიშვნელობას, *c* მრუდი - $q_i = 1/2$ მნიშვნელობას, *d* მრუდი - $1/2 < q_i < 1$ მნიშვნელობას, დაბოლოს, *e* მრუდი - $q_i = 1$ მნიშვნელობას.

წყვეტილი ჰორიზონტული წრფე შეესაბამება

$$Q_i^+ = Q_{\min i}^+ = 2 \cdot \sqrt{q_i(1-q_i)}.$$

მნიშვნელობას. უწყვეტი ჰორიზონტული წრფე კი $Q_i^+ = 1$ მნიშვნელობას. აბსცისათა ღერძზე წყვეტილი ვერტიკალური ხაზებით მარცხნიდან მარჯვნივ აღნიშნულია w_i სიდიდის საკვანძო მნიშვნელობები:

$Q_i^+ = 1$, *როცა* $w_i = \dfrac{q_i}{1-q_i} < 1$; $Q_i^+ = 1$, *როცა* $w_i = 1$; $Q_i^+ = Q_{\min i}^+$, *როცა* $w_i = \sqrt{\dfrac{q_i}{1-q_i}} < 1$; $Q_i^+ = Q_{\min i}^+$, *როცა* $w_i = \sqrt{\dfrac{q_i}{1-q_i}} > 1$; $Q_i^+ = 1$, *როცა* $w_i = \dfrac{q_i}{1-q_i} > 1$.

ახლა შესაძლებელია ვიპოვოთ (12) გამოსახულების $Q_{\min}^+$ მინიმუმი და w_i სიდიდის ის w_{0i} მნიშვნელობა, რომელიც ზღურბლური ელემენტის შეცდომის ალბათობის ზედა შეფასებას მინიმუმს ანიჭებს. ამისათვის ვისარგებლოთ პირობებით:

$$\left.\begin{array}{c} \dfrac{\partial Q^+}{\partial w_i} = 0 \\ i = \overline{1, n+1} \end{array}\right\}.$$

აქედან

Q^+

ISSN 1512-1232

$$w_{0i} = \sqrt{\frac{q_i}{1-q_i}}\,, \qquad (i = \overline{1, n+1})\,. \tag{14}$$

ჩავსვამთ რა (14) ფორმულას (12) გამოსახულებაში, მივიღებთ ზღურბლური ელემენტის შეცდომის ალბათობისათვის მინიმალურ ზედა შეფასებას:

$$Q^{+}_{\min} = 2^{n+1} \cdot \prod_{i=1}^{n+1}\left[\sqrt{q_i(1-q_i)}\right],$$

ან, რაც იგივეა,

$$Q^{+}_{\min} = \exp\left(-\sum_{i=1}^{n+1} A(q_i)\right), \tag{15}$$

სადაც

$$A(q_i) = \left|\, \ln\left[2\sqrt{q_i(1-q_i)}\right]\right|.$$

(15) ფორმულიდან $A(q_i)$ სიდიდეთა არაუარყოფითობის გათვალისწინებით გამომდინარეობს, რომ ზღურბლური ელემენტის შესასვლელთა n რიცხვის ზრდა იწვევს მცდარი გამოცნობის ალბათობის მინიმალური ზედა შეფასების მონოტონურ შემცირებას ექსპონენციალური კანონით, თუ, რა თქმა უნდა, შეცდომათა ალბათობები ამ შესასვლელებზე არ უდრის ½$\frac{1}{2}$-ს.

ამ შედეგში ღრმა შინაგანი კავშირი ვლინდება კლოდ შენონის თეორემასთან [2]. აღნიშნული თეორემის თანახმად, ცალკეული სიმბოლოებით შედგენილ n სიგრძის (ან ხანგრძლივობის) შეტყობინებათა რაოდენობა ფიქსირებული და ალბათური შეზღუდვების არსებობისას ან არარსებობისას (უკანასკნელ შემთხვევაში - წყაროს ერგოდიულობის პირობებში) ასიმპტოტურად მაჩვენებლიანი კანონით იზრდება n რიცხვის (τ ხანგრძლივობის) გადიდებისას. ხსენებული კავშირი შემდეგი აზრისაა: რა კანონითაც იზრდება გადამწყვეტი ელემენტის შესასვლელებზე დარეზერვებული ორობითი არხების n რიცხვის გადიდებისას ინფორმაციის რაოდენობა, რომლის საფუძველზე უნდა იყოს მიღებული Y გადაწყვეტილება, იმავე კანონით მცირდება მისი შეცდომის ალბათობა.

$a_i\left(i=\overline{1,n+1}\right)$ წონათა ოპტიმალურ მნიშვნელობებს (14) თანაფარდობებიდან განსაზღვრავენ (13) აღნიშვნათა გათვალისწინებით:

$$\left.\begin{aligned} a_i &= \frac{1}{2\ln S}\cdot\ln\frac{q_i}{1-q_i} \\ i &= \overline{1,\, n+1} \end{aligned}\right\}.$$

რადგან S სიდიდე (10) პირობას აკმაყოფილებს, $\ln S < 0$. ამიტომ

$$\left.\begin{aligned} a_i &= k\cdot\ln\frac{1-q_i}{q_i} \\ i &= \overline{1,n+1} \end{aligned}\right\}, \tag{16}$$

სადაც

$$\left.\begin{aligned} k &= \frac{1}{2|\ln S|} \\ 0 &< k < \infty \end{aligned}\right\}. \tag{17}$$

ISSN 1512-1232

მაშასადამე, $a_i(i=\overline{1,n+1})$ ოპტიმალური წონები, რომლებიც ზღურბლური ელემენტის შეცდომის მინიმალურ ალბათობას უზრუნველყოფენ, განსაზღვრულია საერთო დადებით k მამრავლამდე სიზუსტით.

a_i, $Q^{+}_{\min i}$ და $A(q_i)$ სიდიდეთა q_i ალბათობაზე დამოკიდებულების ხასიათი წარმოდგენილია ნახ.2_ზე. აღსანიშნავია, რომ

$$Q^{+}_{\min i}=2\sqrt{q_i(1-q_i)}$$

და $q_i>0.8$ მნიშვნელობებისათვის $2\sqrt{q_i(1-q_i)}$ გამოსახულება q_i სიდიდეზე ნაკლებია.

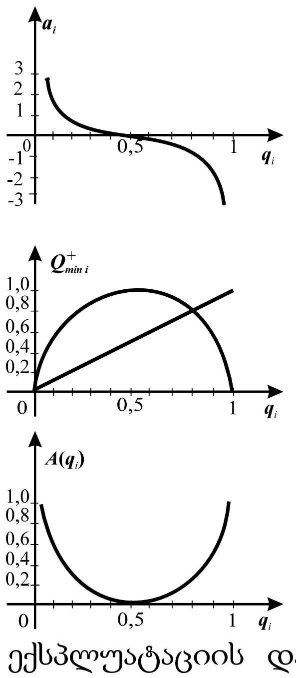
მიღებული შედეგების საილუსტრაციოდ შეიძლება კონკრეტულ მაგალითს მივმართოთ. დავუშვათ, რომ შეცდომათა ალბათობები გადამწყვეტი ელემენტის $n=8$ შესასვლელზე ექსპლუატაციის დასაწყისში განაწილებულია შემდეგი სახით:

$$q_1=q_2=10^{-5},\ q_3=q_4=10^{-3},\ q_5=q_6=10^{-1},q_7=q_8=6\cdot10^{-1}.$$

მუშაობის დასრულების მომენტისათვის კი ამ მახასიათებლების რიცხვითი მნიშვნელობები ასეთია:

$$q_1=10^{-3},\ q_2=10^{-1},\ q_3=q_4=5\cdot10^{-1},q_5=q_6=q_7=q_8=8\cdot10^{-1}.$$

გამოსაცნობად $X=+1$ სიგნალის შემოსვლის q_0 აპრიორული ალბათობა მთელი დროის განმავლობაში მუდმივია და 0.5_ს შეადგენს. იგულისხმება, რომ წონებისა და ზღურბლის არჩევა ოპტიმალურად ხდება $q_i\left(i=\overline{1,9}\right)$ ალბათობათა მიმდინარე მნიშვნელობების შესაბამისად.



ნახ.2 a_i წონებისა და $Q^{+}_{\min i}, A(q_i)$ შეფასებათა დამოკიდებულება q_i შეცდომის ალბათობაზე

ექსპლუატაციის დასაწყისში ზღურბლური ელემენტის შეცდომის ალბათობის ზუსტი მნიშვნელობაა $Q=3,397\cdot10^{-9}$, ხოლო მისი ზედა მინიმალური შეფასება $Q^{+}_{\min}=5{,}524\cdot10^{-8}$_ს შეადგენს. მუშაობის დასრულების მომენტისათვის კი ხსენებული სიდიდეები შესაბამისად $7,912\cdot10^{-4}$_ს და $1,554\cdot10^{-2}$_ს უდრის.

ეს ფაქტი მოწმობს, რომ ანალიზურ გამოთვლებში (15) შეფასების გამოყენება გარკვეული სიფრთხილით უნდა ხორციელდებოდეს, რადგან იგი შეიძლება უხეში აღმოჩნდეს.

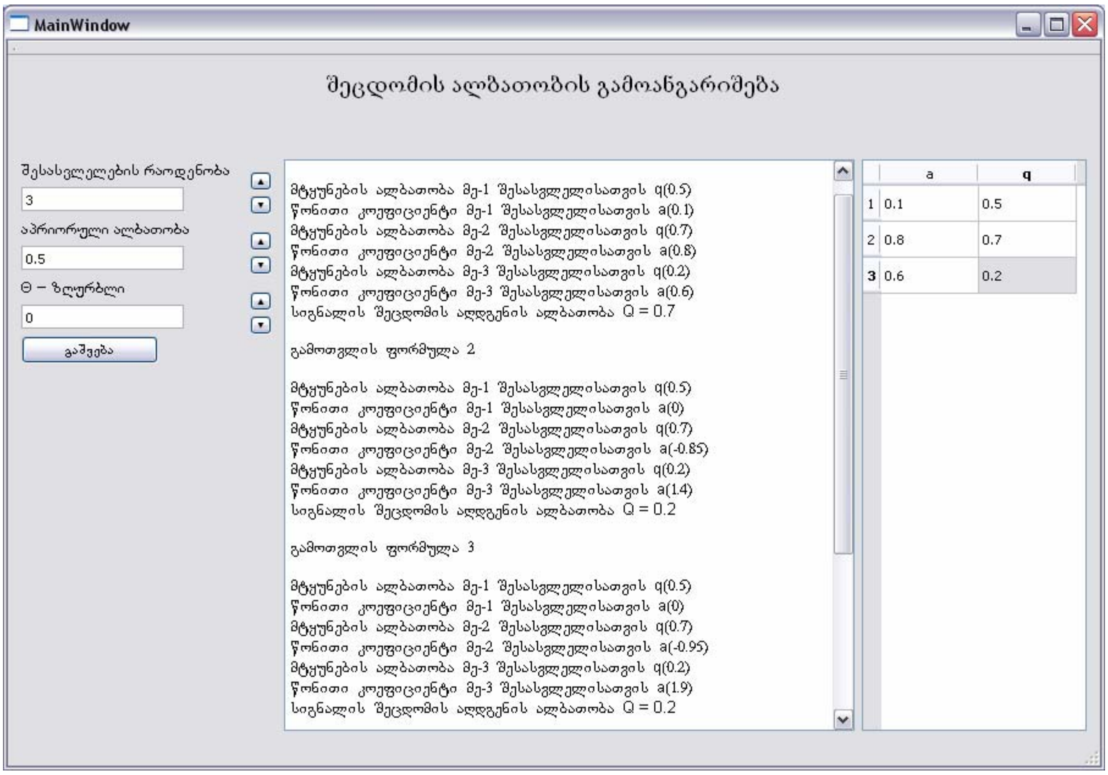
დასკვნა

ISSN 1512-1232

შეცდობის აღდგენის ალბათობას ვითვლით სამი ფორმულით C^{++} ენაზე დაწერილი პროგრამის მეშვეობით:

1. $Q = \text{Prob}\{Y \neq X\} = \sum_{v<0} f(v) = \sum_{v<0} \overset{n+1}{\underset{i=1}{*}} f_i(v_i)$
2. $Q^{+}_{\min} = 2^{n+1} \cdot \prod_{i=1}^{n+1} \left[\sqrt{q_i(1-q_i)} \right];$
3. $Q^{+}_{\min} = \exp\left(-\sum_{i=1}^{n+1} \left(\ln\left[2\sqrt{q_i(1-q_i)} \right] \right) \right)$

გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ ლოგარითმული სახით ჩაწერილი ფორმულით გამოთვლამ უკეთსი შედეგი მოგვცა:



სურ.1

სამი შესასვლელისათვის, როდესაც აპრიორული ლაბათობა მივიჩნიეთ 0,5–ად, ზღურბლი $\Theta = 0$ შედეგები დაგვილაგდა შემდეგნაირად:

გამოთვლის ფორმულა 1

მტყუნების ალბათობა მე-1 შესასვლელისათვის q(0.5)
წონითი კოეფიციენტი მე-1 შესასვლელისათვის a(0.1)
მტყუნების ალბათობა მე-2 შესასვლელისათვის q(0.7)
წონითი კოეფიციენტი მე-2 შესასვლელისათვის a(0.8)
მტყუნების ალბათობა მე-3 შესასვლელისათვის q(0.2)
წონითი კოეფიციენტი მე-3 შესასვლელისათვის a(0.6)
სიგნალის შეცდომის აღდგენის ალბათობა Q = 0.7

გამოთვლის ფორმულა 2

მტყუნების ალბათობა მე-1 შესასვლელისათვის q(0.5)
წონითი კოეფიციენტი მე-1 შესასვლელისათვის a(0.1)

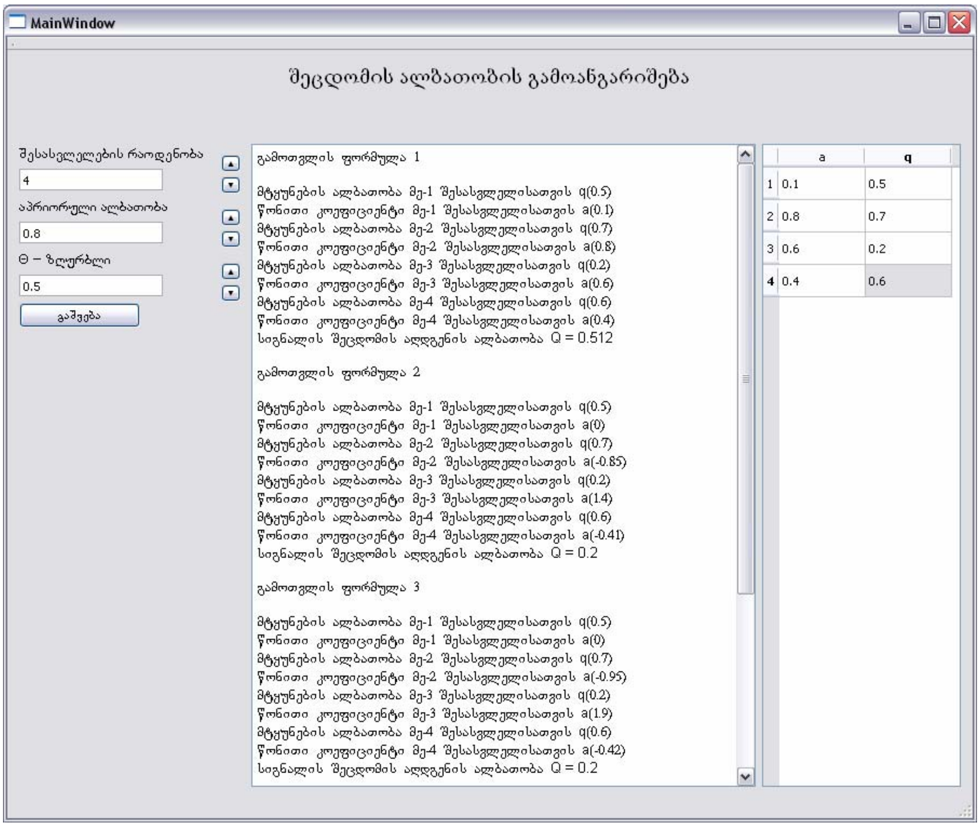
ISSN 1512-1232

მტყუნების ალბათობა მე-2 შესასვლელისათვის q(0.7)
წონითი კოეფიციენტი მე-2 შესასვლელისათვის a(0.8)
მტყუნების ალბათობა მე-3 შესასვლელისათვის q(0.2)
წონითი კოეფიციენტი მე-3 შესასვლელისათვის a(0.6)
სიგნალის შეცდომის აღდგენის ალბათობა Q = 0.3

გამოთვლის ფორმულა 3

მტყუნების ალბათობა მე-1 შესასვლელისათვის q(0.5)
წონითი კოეფიციენტი მე-1 შესასვლელისათვის a(0.1)
მტყუნების ალბათობა მე-2 შესასვლელისათვის q(0.7)
წონითი კოეფიციენტი მე-2 შესასვლელისათვის a(0.8)
მტყუნების ალბათობა მე-3 შესასვლელისათვის q(0.2)
წონითი კოეფიციენტი მე-3 შესასვლელისათვის a(0.6)
სიგნალის შეცდომის აღდგენის ალბათობა Q = 0.2

პროგრამა საშუალებას იძლევა შეიცვალოს შესასვლელთა რაოდენობა, წონითი კოეფიციენტები a, აპრიორული ალბათობის სიდიდე და ზღურბლი: მაგალითად ოთხი შესასვლელისათვის თუ ალბათობას ავწევთ 0,8, ხოლო ზუღურბლს შევცვლით 0–დან 0,5–მდე, გამოთვლები მოქგვცემს შემდეგ სახეს:



სურ.2

გამოთვლის ფორმულა 1

მტყუნების ალბათობა მე-1 შესასვლელისათვის q(0.5)
წონითი კოეფიციენტი მე-1 შესასვლელისათვის a(0.1)
მტყუნების ალბათობა მე-2 შესასვლელისათვის q(0.7)

ISSN 1512-1232

წონითი კოეფიციენტი მე-2 შესასვლელისათვის a(0.8)
მტყუნების ალბათობა მე-3 შესასვლელისათვის q(0.2)
წონითი კოეფიციენტი მე-3 შესასვლელისათვის a(0.6)
მტყუნების ალბათობა მე-4 შესასვლელისათვის q(0.6)
წონითი კოეფიციენტი მე-4 შესასვლელისათვის a(0.4)
სიგნალის შეცდომის აღდგენის ალბათობა Q = 0.512

გამოთვლის ფორმულა 2

მტყუნების ალბათობა მე-1 შესასვლელისათვის q(0.5)
წონითი კოეფიციენტი მე-1 შესასვლელისათვის a(0.1)
მტყუნების ალბათობა მე-2 შესასვლელისათვის q(0.7)
წონითი კოეფიციენტი მე-2 შესასვლელისათვის a(0.8)
მტყუნების ალბათობა მე-3 შესასვლელისათვის q(0.2)
წონითი კოეფიციენტი მე-3 შესასვლელისათვის a(0.6)
მტყუნების ალბათობა მე-4 შესასვლელისათვის q(0.6)
წონითი კოეფიციენტი მე-4 შესასვლელისათვის a(0.4)
სიგნალის შეცდომის აღდგენის ალბათობა Q = 0.2

გამოთვლის ფორმულა 3

მტყუნების ალბათობა მე-1 შესასვლელისათვის q(0.5)
წონითი კოეფიციენტი მე-1 შესასვლელისათვის a(0.1)
მტყუნების ალბათობა მე-2 შესასვლელისათვის q(0.7)
წონითი კოეფიციენტი მე-2 შესასვლელისათვის a(0.8)
მტყუნების ალბათობა მე-3 შესასვლელისათვის q(0.2)
წონითი კოეფიციენტი მე-3 შესასვლელისათვის a(0.6)
მტყუნების ალბათობა მე-4 შესასვლელისათვის q(0.6)
წონითი კოეფიციენტი მე-4 შესასვლელისათვის a(0.4)
სიგნალის შეცდომის აღდგენის ალბათობა Q = 0.06

ლიტერატურა

[1] Пирс У. Построение надёжных вычислительных машин: Пер. с англ.-М.:Мир, 1968.-270с;
[2] Голдман С. Терия информации: Пер. с англ.-М.:ИЛ.1957.-446 с;
[3] Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Пер. с англ.-М.:Наука, 1977 - 832 с.

ნაშრომი მიღებულია: 2011-12-20