

UDC 621.397.2

SCOPUS CODE 1711

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2020-4-68-74>

ოთხგანზომილებიან სიგნალთა არაოპტიმალური კომბინირება

- ნოდარ უდრელიძე** რადიოტექნიკისა და მაუწყებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: toban555@gmail.com
- დავით აკობია** რადიოტექნიკისა და მაუწყებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: dato41814@gmail.com
- მიხეილ ჭოხონელიძე** რადიოტექნიკისა და მაუწყებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: misha.chokhon@gmail.com

რეცენზენტები:

დ. ბერიაშვილი, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: d.beriaashvili@gtu.ge

ფ. ბოგდანოვი, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: faik.bogdanov@emcos.com

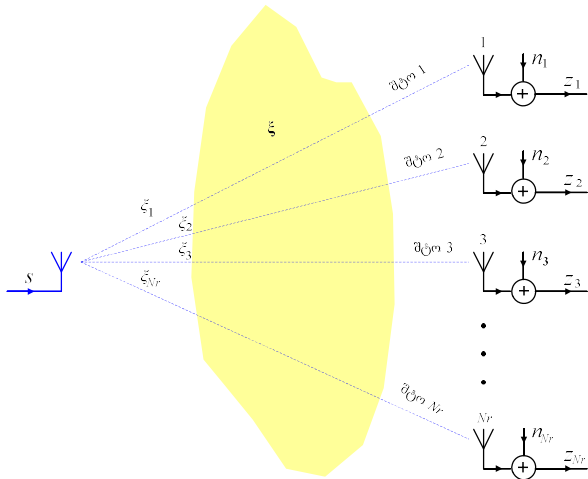
ანოტაცია. არხებში სიგნალების გადაცემისას, გაუსის ადიტიურ თეთრ ხმაურთან ერთად, ადგილი ჰქონდა ფედინგის მოქმედებას. ითვლება, რომ ამ დროს სიგნალის ამპლიტუდა (მომვლენი) ფლუქტუირებდა რელეს განაწილებით. აქ და შემდგომშიც მიღებულია, რომ ფედინგი არის ნელი და სიხშირულად არასელექციური. ანტენათა მიმორიგების შემდგომი სიგნალების კომბინირება განხორციელებულია ამორჩევითი სქემით. შეფასებულია 2FSK-8PSK და 2FSK-8APSK სიგნალების ბაზაზე აგებულ სისტემათა მახასიათებლები კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე.

საკვანძო სიტყვები: ანტენა; არხი; სიგნალი; ფედინგი.

შესავალი

იდეა, რომ ფედინგის გავლენის შესამცირებლად გამოყენებულიყო სივრცეში მიმორიგებული რამდენიმე მიმღები (მიმღები ანტენა) საკმაოდ მოძველდა, რომელიც ეყრდნობოდა მოსაზრებას, რომ ასეთ შემთხვევაში ერთ-ერთ ანტენაზე მაინც შეიძლება აღმოჩნდეს ყველაზე ძლიერი სიგნალი და მოსალოდნელია, რომ მიმღებ ანტენათა რაოდენობის გაზრდით ასეთი ფაქტის არსებობის ალბათობა გაიზარდოს.

ფედინგან არხში გადაცემული სიგნალის მიმორიგებული მიღების სქემატური გამოსახულება ნაჩვენებია 1-ელ სურ-ზე, რომელიც მათემატიკურად შეიძლება შემდეგ



სურ. 1. სიგნალის მიმორიგებული (პარალელური) მიღების პრინციპული სქემა

ზოგადი ფორმით იქნეს წარმოდგენილი:

$$\mathbf{z} = \xi \mathbf{s} + \mathbf{n}, \quad (1)$$

რომელშიც $\mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_{N_r}]$ არის სიგნალ-ვექტორი მიმღების გამოსასვლელზე, $\xi = [\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{N_r}]$ – ფედინგის ვექტორი, $\mathbf{s} = [s]$ – გადაცემული სიგნალ-ვექტორი, ხოლო $\mathbf{n} = [n_1, n_2, \dots, n_{N_r}]$ – ადიტიური ხელშეშლა გაუსის განაწილებით. ზოგადად, მოყვანილ მატრიცათა ელემენტები კომპლექსური სიდიდეებია. აქ და შემდგომში, გაუსის ხელშეშლებთან დაკავშირებით, ვუშვებთ, რომ მათ აქვთ ერთნაირი დისპერსია და ნულის ტოლი მათემატიკური ლოდინი.

[1]-ის მიხედვით, თუ შტოებში არსებულ სიგნალებს შორის ანუ ე.წ. მიმორიგებულ სიგნალებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი $\rho < 0.6$, მაშინ მიმორიგებული მიღება პრაქტიკულად არ უბჯო-

ბესდება. ამ დროს [1]-ში მოყვანილი კერძო შემთხვევისათვის ჩანს (იხ. [1], სურ. 5. 1), რომ მიმღებ ანტენებს შორის მანძილი $L = (10 - 15)\lambda$, სადაც λ სიგნალის ტალღის სიგრძეა.

უნდა ითქვას, რომ 1-ელ სურ-ზე მოყვანილის ანალოგიური სქემა პირველად რეალიზებული იყო 1927 წელს რადიო-სატელეფონო კავშირის განხორციელებისას მოკლელტალიან დიაპაზონში. მხოლოდ რამდენიმე ათეული წლის შემდეგ გამოქვეყნდა სერიოზული კვლევის შედეგები აღნიშნული მიმართულებით [1-6]. კერძოდ, აღმოჩნდა, რომ მიმორიგებულ მიმღებთა გამოსასვლელზე არსებულ სიგნალთა გარკვეული წესით კომბინირებით შესაძლებელია მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდეს მიმორიგების ეფექტურობა [3-5].

კომბინირების სხვადასხვა სქემა მოცემულია ნაშრომებში [1-6]. მათგან განვიხილავთ მარტივ არაოპტიმალურ სქემას 2FSK-8PSK და 2FSK-8APSK სიგნალების შემთხვევაში [7,8].

ტექსტში ჩანაწერი SNR აღნიშნავს სიგნალ-ხელშეშლის თანაფარდობის საშუალო მნიშვნელობას, ხოლო SER – შეცდომის ალბათობას ერთი ელემენტარული სიგნალის შესაბამის სიმბოლოზე [7].

ძირითადი ნაწილი

ამ შემთხვევაში, განვიხილავთ სქემას, რომელიც ლიტერატურაში ამორჩევითი კომბინირების (Selection Combinig - SC) სქემის სახელითაა ცნობილი [1-6]. ის მოცემულია მე-2 სურ-ზე. აქ ხელსაყრელი j შტოს და შესაბამისი z_j სიგნალის ამორჩევა ხდება, SC ბლოკის გამოყენებით, შემდეგი პირობებით:

$$z_j = \max_c [Wz_c], \quad c \in \{1, 2, \dots, N_r\}, \quad (2)$$

რომელშიც Wz_c არის z_c -ის სიმძლავრე ან ხელსაყ-

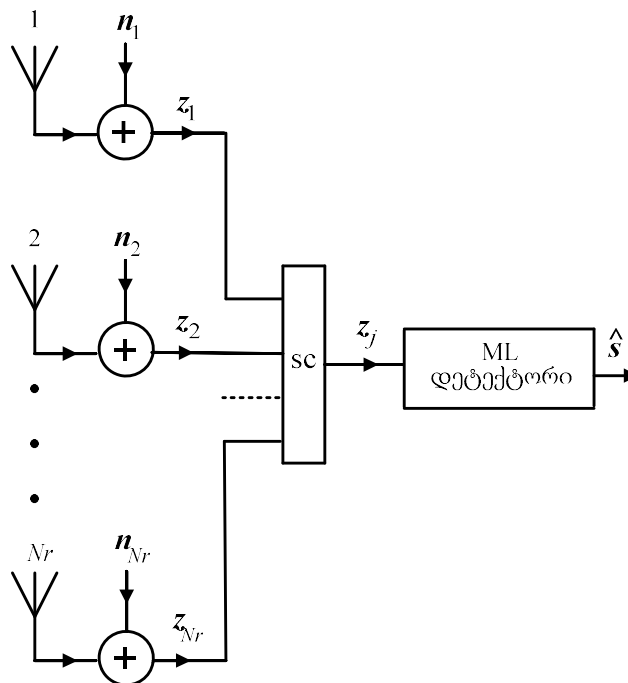
რელი j შტოს ამორჩევა შეიძლება განხორციელდეს SNR-ის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიხედვით; მაგრამ, როგორც [1,5]-ში არის აღნიშნული, ეს ართულეებს სქემას, თუმცა მისი რეალიზაცია შესაძლებელია. ამ შემთხვევაში:

$$z_j = \max_c [\text{SNR}_c], c \in \{1, 2, \dots, N_r\}. \quad (3)$$

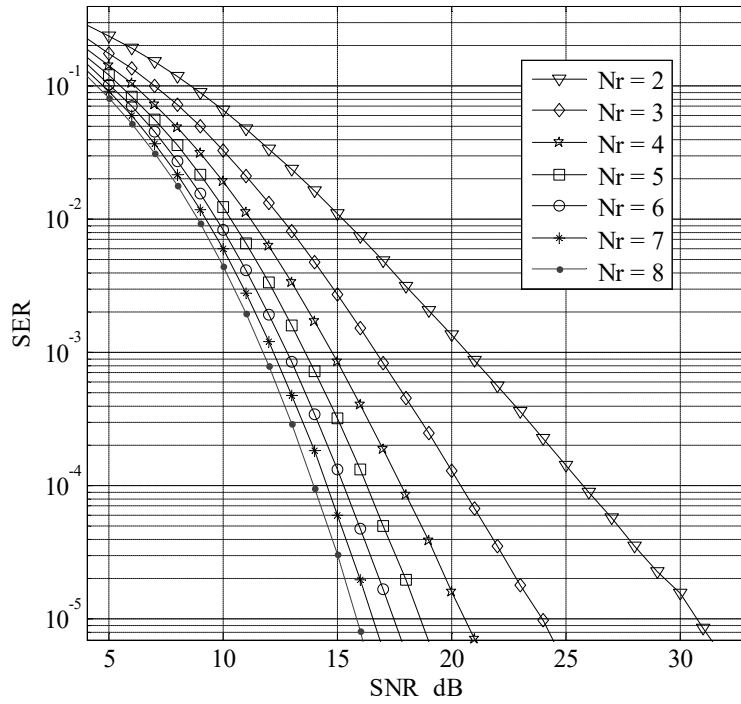
მე-3 სურ-ზე წარმოდგენილია SER მახასიათებლები 2FSK-8PSK სიგნალისათვის $h = 0.4$ მოდულაციის ინდექსით და $\varphi = [0 \ 27 \ 90 \ 117 \ 180 \ 207 \ 270 \ 297]$ ფაზათა მნიშვნელობებით (გრადუსებში). მოცემულ სიგნალზე არხში გაუსის ხმაურთან ერთად მოქმედებდა ფედინგი რელეს განაწილებით (ანუ ნაკაგამის განაწილებით, როცა $m = 1$). სიგნალები მიიღება მე-2 სურ-ზე ნაჩვენები სქემის და (2) გამოსახულების მიხედვით, მიმღები ანტენების $N_r = 2 - 8$ რაოდენობის შემთხვევისათვის.

მოყვანილი სურათიდან ჩანს, რომ ენერგეტიკული მოგება $N_r = 8$ შემთხვევაში $N_r = 2$ შემთხვევათან შედარებით 15 dB-მდეა.

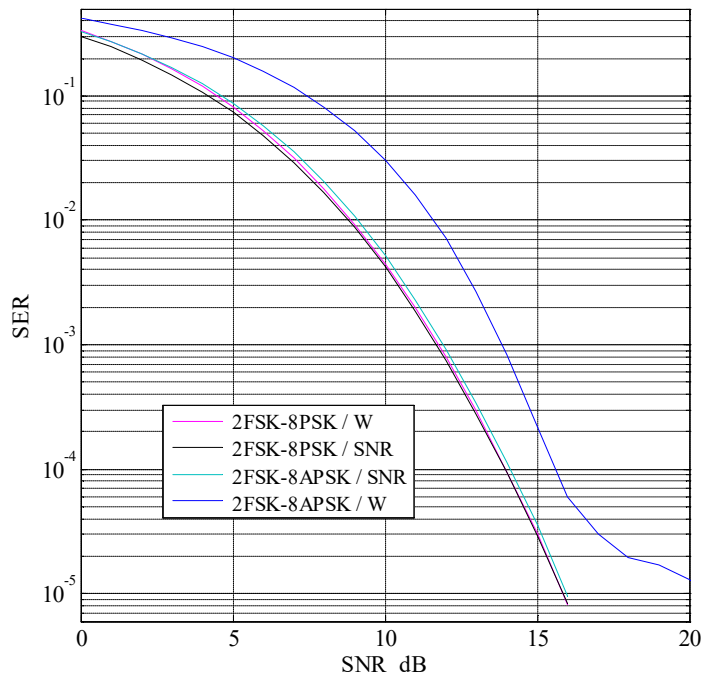
იმისათვის, რომ გარკვეულწილად შეგვეფასებინა (2) და (3) გამოსახულებების გამოყენებით მიღებული შედეგების განსხვავება, ჩავატარეთ მოდელირება, რომლის დროსაც რელეს არხში გადაიცემოდა 2FSK-8PSK ($h=0.4$) და 2FSK-8APSK ($h=0.3$) სიგნალები. ხელსაყრელი შტო ამორჩა შემოსული z სიგნალის W სიმძლავრის ან SNR-ის მიხედვით. შედეგები მოცემულია მე-4 სურათზე, საიდანაც ჩანს, რომ თუ შტოს ამორჩევა ხდება მიღებული სიგნალის სიმძლავრის მიხედვით, მაშინ 2FSK-8APSK სიგნალს აქვს გაცილებით უარესი ენერგეტიკული მახასიათებელი ($\text{SER} < 10^{-5}$ დროს), ვიდრე ყველა



სურ. 2. ამორჩევითი კომბინირების სქემა



სურ. 3. 2FSK-8PSK სიგნალის SER მახასიათებლები რელეს არხში, როცა $h=0.4$



სურ. 4. 2FSK-8PSK და 2FSK-8APSK სიგნალების SER მახასიათებლები რელეს არხში, კომბინირების SC სქემის გამოყენებისას, როცა $N_r = 8$.

სხვა დანარჩენს. ამავე სურ-დან ჩანს, რომ 2FSK-8PSK სიგნალისათვის პრაქტიკულად მნიშვნელობა არ აქვს, როგორი წესით იქნება შტო ამორჩეული – (2) თუ (3) გამოსახულების მიხედვით. 2FSK-8APSK სიგნალის ფაზათა მნიშვნელობებია [8] : $\varphi = [0 \ 9 \ 90 \ 99 \ 180 \ 189 \ 270 \ 279]$.

დასკვნა

შეფასებულია 2FSK-8PSK და 2FSK-8APSK სიგნალების ბაზაზე აგებულ სისტემათა SER მახასიათებლები რელეს არხებში კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე. ნაჩვენებია, რომ წარმოდგენილ

სქემაში, როცა საუკეთესო შტოს ამორჩევა ხდება მიღებული სიგნალის მაქსიმალური სიმძლავრის მიხედვით, 2FSK-8PSK სიგნალი გაცილებით ხელშემლამდგრადია 2FSK-8APSK სიგნალთან შედარებით.

აღნიშნული სტატია შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული საგრანტო პროექტის (საგრანტო ხელშეკრულება № FR-19-105) ფარგლებში. პუბლიკაციაში გამოქვეყნებული მოსაზრებები ეკუთვნის ავტორებს და შესაძლოა არ ასახავდეს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის შეხედულებებს.

ლიტერატურა

1. Zyuko A. G. Efficiency and noise immunity of communication systems. M.: “Sviaz”, 1972. (In Russian).
2. Sklar B. Digital communications. 2th ed. by Prentice Hall PTR. 2001.
3. Brennan D.G. Linear diversity combining technique. Proceeding of the IRE. Vol. 47. 1959, 1075-1102 pp.
4. Isomäki P., Isoaho J. On diversity combining. University of Turku. Turku Centre for Computer Science. Technical report. 2008, 1-25 pp.
5. Fink L.M. The theory of discrete messages transmission system. M.: „Sov. Radio”. 1970. (In Russian).
6. Lee W.C.Y. Mobile communications engineering. Publisher: “McGraw-Hill Professional”. 1st Edition. 1982.
7. Ugrelidze N., Shavgulidze S., Sordia M. New four-dimensional signal constellations construction. IET communications journal. Vol. 14. Iss. 10. 2020, 1554-1559 pp.
8. Ugrelidze N., Shavgulidze S. Combined frequency and amplitude-phase shift keying modulation in a four-dimensional space. International journal of electronics and communications (AEÜ), submitted for publication.

UDC 621.396.946

SCOPUS CODE 1711

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2020-4-68-74>

Sub-optimal combining of four-dimensional signals

- Nodar Ugrelidze** Department of Radio-Engineering and Broadcasting, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: toban555@gmail.com
- David Akobia** Department of Radio-Engineering and Broadcasting, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: dato41814@gmail.com
- Mikheil Chokhonelidze** Department of Radio-Engineering and Broadcasting, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: misha.chokhon@gmail.com

Reviewers:

- D. Beriashvili**, Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU
E-mail: d.beriashvili@gtu.ge
- F. Bogdanov**, Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU
E-mail: faik.bogdanov@emcos.com

Abstract. The article discusses the issue of signal transmission in channels where fading takes place along with additive white Gaussian noise. It is commonly supposed that at this time the signal amplitude (envelope) was fluctuated with the Rayleigh distribution. It is accepted that fading is slow and frequency is non-selective. For transmit diversity from antennas, their combination with signals is carried out in a selective scheme. The characteristics of systems based on 2FSK-8PSK and 2FSK-8APSK signals are evaluated with the help of computer simulation.

Key words: Antenna; channel; fading; signal.

UDC 621.396.946

SCOPUS CODE 1711

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2020-4-68-74>

Суб-оптимальное комбинирование четырехмерных сигналов

Нодар Угрелидзе Департамент радиотехники и радиовещания, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: toban555@gmail.com

Давид Акобия Департамент радиотехники и радиовещания, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: dato41814@gmail.com

Михаил Чохонелидзе Департамент радиотехники и радиовещания, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: misha.chokhon@gmail.com

Рецензенты:

Д. Бериашвили, профессор факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ
E-mail: d.beriaшvili@gtu.ge

Ф. Богданов, профессор факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ
E-mail: faik.bogdanov@emcos.com

Аннотация. Фединг происходил с гауссовым аддитивным белым шумом при передаче сигналов по каналам. Считается, что в это время амплитуда (огибающая) сигнала имеет распределение Рэлея. Принято здесь и в дальнейшем, что фединг происходит медленно и частотно не избирательно. Дальнейшее комбинирование сигналов, разнесённых антенн, осуществляется схемой выбора. Оценены характеристики систем на основе сигналов 2FSK-8PSK и 2FSK-8APSK с помощью компьютерного моделирования.

Ключевые слова: антенна; канал; сигнал; фединг.

განხილვის თარიღი 28.07.2020

შემოსვლის თარიღი 13.08.2020

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 15.12.2020