

А. І. Порошенко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОХОДЖЕННЯ АУДІОСИГНАЛІВ У МЕРЕЖНИХ СИСТЕМАХ АУДІОАНАЛІТИКИ

Анотація. **Актуальність.** На сьогодні все частіше системи аудіо і відеоаналітики діють сумісно. Але у багатьох випадках необхідно оперативне передавання аудіопотоку. Тому стає актуальним завдання зменшення затримок при передачі аудіопотоків у мережних системах аудіоаналітики. **Об'єкт дослідження** – процес передавання аудіосигналів. **Предмет дослідження** – математичні моделі проходження аудіо- і відеопотоків у мережних системах. **Метою даної статті** є розроблення математичної моделі проходження аудіосигналів у мережних системах аудіоаналітики. **Результати дослідження.** Запропонована постановка задачі оптимізації мережі з'єднувальних ліній за критерієм мінімуму капітальних витрат. Складені оптимізаційні рівняння для однонаправленої трьохвузлової базової структури, виходячи із завдання мінімізації капітальних витрат. Отримані оптимізаційні рівняння для двонаправленої трьохвузлової базової структури. Проведено узагальнення отриманих оптимізаційних рівнянь на будь-яку структуру мережі з'єднувальних ліній. **Напрямом подальших досліджень** є розроблення наближеного методу швидкого розв'язання оптимізаційних рівнянь для мережі з'єднувальних ліній та оцінка адекватності розробленої моделі.

Ключові слова: аудіоаналітика, звукова подія, аудіопотік, математична модель, декомпозиція.

Вступ

Актуальність. На сьогодні все частіше системи аудіо і відеоаналітики діють сумісно. Наприклад, у системах безпеки та охорони постріли, агресивну інтонацію голосу або розбиття скла важко оперативного виявити за допомогою відеоаналітики, але їх можна швидко виявити за допомогою аудіоаналітики, навіть якщо подія відбулася за межами поля зору камери відеоспостереження. Раннє виявлення таких подій означає, що співробітники служби безпеки або правоохоронні органи можуть бути спрямовані для деескалації ситуації або навіть для порятунку життів.

Для великих мережних систем аудіоаналітики, які також орієнтовані на паралельну передачу відеопотоку, стає суттєвим оперативне передавання аудіосигналів з метою швидкого розпізнавання їх у відповідних центрах обробки [1]. Тому стає актуальним завдання зменшення затримок при передачі аудіопотоків у мережних системах аудіоаналітики.

Огляд наукових праць. Питанням передавання та обробки аудіосигналів присвячено багато наукових праць.

Так, в [2, 3] розглянуті підходи до обробки аудіоінформації та виявлених звукових подій. У [4] піднімаються питання щодо проблеми навчання даних при обробці аудіоінформації.

У [5, 6] аналізується штучне створення звукових ландшафтів. Праці [7–10] орієнтовані на класифікацію звукових подій.

У статтях [11, 12] розглянуті питання розробки математичних моделей у мережних системах, але не враховується специфіка проходження аудіоінформації. Статті [13–15] торкаються питань моделювання процесів передавання аудіопотоків, але не враховують специфіку мережних систем аудіоаналітики.

Постановка завдання. Отже стає необхідним розроблення відповідних математичних моделей. Виходячи з цього, **метою даної статті** є розроблення математичної моделі проходження аудіосигналів у мережних системах аудіоаналітики.

Постановка оптимізаційної задачі

Розподілена мережна система аудіоаналітики має ієрархічну структуру. Нижній рівень складають пристрої прийому аудіосигналів (ППАС), котрі з'єднуються з пристроями наступного ієрархічного рівня – вузлами комутації (ВК), за допомогою мережі з'єднувальних ліній (МЗЛ), яка, в свою чергу, передає прийняті потоки аудіоінформації до центру обробки аудіосигналів (ЦОАС).

З'єднання в МЗЛ здійснюються в режимі багатоканальної комутації. При цьому є кілька можливих шляхів для обслуговування навантаження між кожною парою станцій. Схема вибору шляхів для обслуговування навантаження передбачається фіксованою і має вигляд, представлений на рис. 1, де із вузла 1 до вузла 4 є такі шляхи: 1-4 – прямий шлях; 1-3-4 – обхідний шлях; 1-2-3-4 – резервний додатковий шлях.

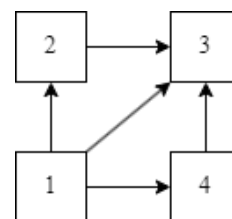


Рис. 1. Можливі шляхи із вузла 1 до вузла 4
(Fig. 1. Possible paths from node 1 to node 4)

Таким чином, при досить великому навантаженні між вузлами утворюються прямі шляхи високого використання, на яких обслуговується значна частина навантаження, що надходить. Надлишкове навантаження обслуговується на обхідних проміжних шляхах та на резервних додаткових шляхах. Якість обслуговування абонентів у мережі визначається нормованою величиною втрат на шляху останнього вибору.

Задачу оптимізації МЗЛ за критерієм мінімуму капітальних витрат сформулюємо таким чином.

Задано: топологію МЗЛ (розташування ППАС, ВК і з'єднувальних ліній (ЗЛ), що їх зв'язують);

алгоритм вибору шляхів під час обслуговування навантаження між кожною парою вузлів; величини навантажень, які необхідно обслужити, а також тип і характер початкових заявок на обслуговування; структуру побудови ЗЛ і вартість одного каналу в ній C_i ; нормовану величину втрат на шляхах останнього вибору P_{don} . **Потрібно: визначити** ємності пучків каналів ЗЛ – $N_j, j = \overline{1, L}$, де L – число ЗЛ у мережі, за яких забезпечується мінімум капітальних витрат C на побудову МЗЛ та за забезпечення необхідної якості обслуговування.

Оптимізаційне рівняння для однонаправленої трьохвузлової базової структури

У МЗЛ з обхідними напрямками відповідно до схеми вибору обхідних шляхів (рис. 1), можна виділити дві характерні ситуації, до яких зводяться всі можливі випадки вибору обхідних шляхів:

1) навантаження, яке необхідно обслужити між вихідним вузлом і вузлом призначення, надходить спочатку на прямий шлях (ЗЛ, що безпосередньо з'єднує вузли). Якщо на цьому шляху навантаження, що надходить, не може бути обслуговане з необхідною якістю обслуговування, то надлишкове навантаження з прямого шляху надходить на дообслуговування на обхідний шлях (рис. 2, а).

2) для навантаження, що не було обслуговано у п. 1, обирається наступний обхідний шлях із більшою кількістю транзитних ВК (рис. 2, б).

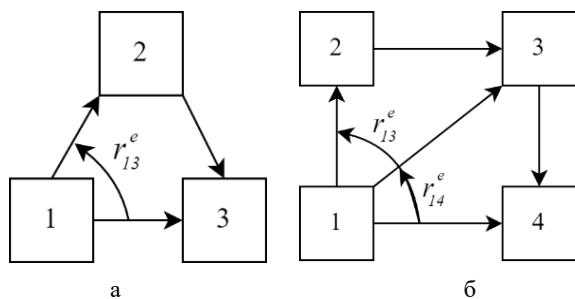


Рис. 2. Організація обходів на однонаправленій: а – 3-вузловій мережі; б – 4-вузловій мережі
(Fig. 2. Organization of detours on a unidirectional: а – 3-node network; б – 4-node network)

Таким чином, під час розроблення методу оптимізації мережі за обраним критерієм розглядають дві базові мережні структури: 3-вузлову мережу (рис. 2, а) та 4-вузлову мережу (рис. 2, б). Крім того, розглянутий метод ґрунтується на таких поняттях [11, 12]:

- маргінальне використання H , що визначає збільшення обслугованого навантаження A_0 за одиничного збільшення ємності пучка каналів N і постійного значення навантаження, яке надходить, A (у цьому випадку: $r = f(A, N)$ – надлишкове навантаження, $A_0 = A - r$ – обслуговане навантаження):

$$H = \left(\frac{\partial A_0}{\partial N} \right)_{A=const} = - \left(\frac{\partial r}{\partial N} \right)_{A=const};$$

- маргінальна ємність β , що визначає приріст навантаження, що надходить, за одиничне збільшення ємності пучка в умовах постійних втрат E на цьому пучку:

$$\beta = \left(\frac{\partial A}{\partial N} \right)_{E=const};$$

- маргінальне надлишкове навантаження γ , що визначає інтенсивність зміни надлишкового навантаження у разі зміни навантаження, що надходить, і постійній ємності пучка:

$$\gamma = \left(\frac{\partial r}{\partial A} \right)_{N=const};$$

- маргінальне навантаження, що надходить, φ , яке визначає приріст навантаження, що надходить, при одиничному збільшенні ємності пучка та постійному значенні надлишкового навантаження:

$$\varphi = \left(\frac{\partial A}{\partial N} \right)_{r=const};$$

Під час визначення перелічених величин припускають, що ємності пучків каналів на шляху можуть бути нецілочисельними.

Для найпростішої базової мережевої структури, наведеної на рис. 2, а, оптимізована функція вартості є такою:

$$C = C_1 N_1 + C_2 N_2 + C_3 N_3. \tag{1}$$

У цьому випадку вартість C є функцією тільки однієї змінної N_1 , тому що під час завдання N_1 можна визначити параметри навантаження, що надходить на шлях останнього вибору, а потім визначити ємності N_2 й N_3 відповідно до заданої величини втрат на цьому шляху – P_{don} .

Таким чином, для визначення оптимального значення функції (1) необхідно розв'язати таке рівняння (за заданих навантаження A_1 , що надходить на пучок каналів N_1 шляху першого вибору; втрат на пучку каналів $N_2 - E_2 = P_{don}$ і пучку каналів $N_3 - E_3 = P_{don}$ шляху останнього вибору):

$$\frac{\partial C}{\partial N_1} = 0$$

або

$$C_1 + C_2 \left(\frac{\partial N_2}{\partial N_1} \right) + C_3 \left(\frac{\partial N_3}{\partial N_1} \right) = 0. \tag{2}$$

У результаті низки перетворень рівняння (2) набуває такого вигляду:

$$\frac{C_1}{H_1} = \frac{C_2}{\beta_2} + \frac{C_3}{\beta_3}. \tag{3}$$

Рівняння (3) є оптимізаційним рівнянням для однонаправленої трьохвузлової базової структури, наведеної на рис. 2, а.

Оптимізаційне рівняння для двонаправленої трьохвузлової базової структури

Але зауважимо, що деякі ЗЛ зі складу МЗЛ обслуговування ЦОАС мають двонаправлену структуру, наприклад, у випадках, коли з приймаючого вузла на передаючий необхідно передавати управляючу інформацію. В цьому випадку базова структура МЗЛ дещо ускладнюється.

Розглянемо базову структуру (рис. 3) за умови, що навантаження обслуговується не тільки між вузлами 1 і 3, але також між вузлами 3 і 1.

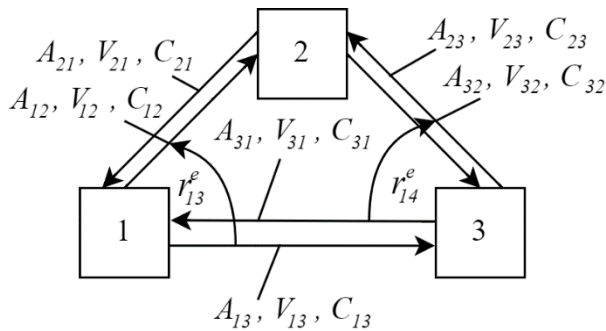


Рис. 3. Організація обходів на двонаправленій 3-вузловій мережі
(**Fig. 3.** Organization of detours on a bidirectional 3-node network)

Функція вартості для цієї базової структури визначається таким чином:

$$C = C_{12}(V_{12} + V_{21}) + C_{23}(V_{23} + V_{32}) + C_{13}(V_{13} + V_{31}). \quad (4)$$

Оптимізаційні рівняння для цієї базової структури стосовно ємностей пучків V_{13} і V_{31} мають такий вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial V_{13}} = \frac{\partial [C_{12}(V_{12} + V_{21})]}{\partial V_{13}} + \frac{\partial [C_{23}(V_{23} + V_{32})]}{\partial V_{13}} + \frac{\partial [C_{13}(V_{13} + V_{31})]}{\partial V_{13}} = 0; \\ \frac{\partial C}{\partial V_{31}} = \frac{\partial [C_{12}(V_{12} + V_{21})]}{\partial V_{31}} + \frac{\partial [C_{23}(V_{23} + V_{32})]}{\partial V_{31}} + \frac{\partial [C_{13}(V_{13} + V_{31})]}{\partial V_{31}} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Низка перетворень призводить до оптимізаційного рівняння такого вигляду:

$$H_{13} \left(\frac{C_{12}}{\beta_{12}} + \frac{C_{23}}{\beta_{23}} \right) + H_{31} \left(\frac{C_{12}}{\beta_{12}} + \frac{C_{23}}{\beta_{23}} \right) = (n+m)C_{13}, \quad (6)$$

де n, m – приріст числа каналів у ЗЛ між вузлами (3,1) і вузлами (1,3) відповідно. Якщо приріст ЗЛ між цими вузлами проводиться блоками певної ємності M , то $(m+n) = M$.

З оптимізаційного рівняння (6) для базової структури у вигляді орієнтованої 3-вузлової мережі можна одержати, як окремі випадки, всі відомі критерії оптимізації для подібних базових структур, що свідчить про достатній ступінь його узагальненості.

Узагальнення оптимізаційних рівнянь

Описаний принцип побудови оптимізаційних рівнянь для трьохвузлової базової структури можна поширити і на складніші структури, фрагмент якої, наприклад, представлено на рис. 4.

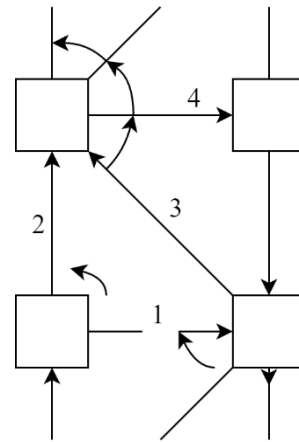


Рис. 4. Організація обходів на фрагменті ієрархічної мережі
(**Fig. 4.** Organization of detours on a fragment of the hierarchical network)

Якщо позначити вартість ЗЛ, що складають обхідні шляхи, які розташовані нижче пучка каналів 1, C' , а ЗЛ, що складають шляхи, які розташовані вище пучка каналів 3, C'' , то функція вартості наведеного фрагмента мережі матиме вигляд:

$$C = C' + C_1 N_1 + C_2 N_2 + C_3 N_3 + C''. \quad (7)$$

Для визначення стаціонарної точки функції (7) необхідно прирівняти до нуля її часткові похідні:

$$\frac{\partial C'}{\partial N_1} = \frac{\partial C'}{\partial N_3} = \frac{\partial N_2}{\partial N_3} = 0.$$

Загальний вигляд оптимізаційних рівнянь для розглянутого фрагмента мережі буде таким:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 \frac{\partial N_2}{\partial N_1} + \frac{\partial C''}{\partial N_1} = 0; \\ C_3 + \frac{\partial C''}{\partial N_3} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Отже, критерій мінімуму вартості для трьохвузлової базової мережної структури з достатнім ступенем точності можна застосувати для будь-якого варіанту структури МЗЛ.

Під час складання та розв'язання оптимізаційних рівнянь необхідно особливу увагу приділити вибору відповідних апроксимацій, застосування яких дає змогу забезпечити припустиму точність обчислень і водночас скоротити їхню кількість і трудомісткість переборів. Так, наприклад, запропоновану систему

оптимізаційних рівнянь для чотирьохвузлової базової мережної структури рис. 2, б), можна розглядати як декомпозицію двох трьохвузлових базових структур, пов'язаних такими функціональними залежностями:

$$\frac{C_{13}}{H_{13}} = \frac{C_{12}}{\beta_{13}} + \frac{C_{23}}{\beta_{13}}; \quad (9)$$

$$\frac{C_{14}}{H_{14}} = \frac{C_{13}}{\beta_{13}} + \frac{C_{34}}{\beta_{34}}, \quad (10)$$

де $E_{13} = \text{const}$, $Z_{13} = \text{const}$,
 $F_d = \text{const}$;

$$\beta_{13} = \left(\frac{\partial (R_{13} = f(r_{14}^e))}{\partial V_{13}} \right),$$

$R_{13} = (A_{13} + r_{14}^n)$ – інтенсивність навантаження, котре надходить на пучок каналів між вузлами (1, 3); Z_{13} – коефіцієнт дисперсії навантаження на даному пучку; r_{14}^e – надлишкове навантаження з пучка каналів між вузлами (1, 4); F_d – коефіцієнт доступності до пучка V_{13} ; E_{13} – втрати на пучку V_{13} , отримані після визначення оптимального значення ємності пучка V_{14} .

Таким чином, функціональна залежність між рівняннями (8) і (10) визначається двома виразами:

$$\frac{\partial r_{13}^e}{\partial V_{13}} = (A_{13} + r_{14}^e) \frac{\partial E_{13}(A_{13} + r_{14}^e)}{\partial V_{13}}; \quad (11)$$

$$\beta_{13} = \frac{\partial R_{13}}{\partial V_{13}} = \frac{\partial (A_{13} + r_{14}^e)}{\partial V_{13}}. \quad (12)$$

де V_{13} визначається з оптимізаційного рівняння (9).

Висновки

Отже, у цій статті отримані такі результати.

1. Запропонована постановка задачі оптимізації мережі з'єднувальних ліній за критерієм мінімуму капітальних витрат.

2. Складені оптимізаційні рівняння для однонаправленої трьохвузлової базової структури, виходячи із завдання мінімізації капітальних витрат.

3. Отримані оптимізаційні рівняння для двонаправленої трьохвузлової базової структури.

4. Проведено узагальнення отриманих оптимізаційних рівнянь на будь-яку структуру мережі з'єднувальних ліній.

Напрямом подальших досліджень є розроблення наближеного методу швидкого розв'язання оптимізаційних рівнянь для мережі з'єднувальних ліній та оцінка адекватності розробленої моделі.

REFERENCE

- Alain, Dufaux, Laurent, Besacier, Michael, Ansoorge and Fausto, Pellandini (2000), "Automatic sound detection and recognition for noisy environment", *IEEE European Signal Processing Conference EUSIPCO*, pp. 1–4.
- Phan, H., Koch, P., Katzberg, F., Maass, M., Mazur, R., McLoughlin, I. and Mertins, A. (2017), "What makes audio event detection harder than classification?", *Proceedings of the 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pp. 2739–2743, doi: <https://doi.org/10.23919/EUSIPCO.2017.8081709>.
- Sami Ur, Rahman, Adnan, Khan, Sohail, Abbas, Fakhre, Alam and Nasir, Rashid (2021), "Hybrid system for automatic detection of gunshots in indoor environment", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 80, pp. 4143–4153, doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09936-w>.
- Nicolas, Turpault and Romain, Serizel (2020), "Training Sound Event Detection on a Heterogeneous Dataset", *DCASE*, available at: <https://arxiv.org/abs/2007.03931>.
- Salamon, J., MacConnell, D., Cartwright, M., Li, P. and Bello, J.P. (2017), "Scaper: A library for soundscape synthesis and augmentation", *2017 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA)*, pp. 344–348, doi: <https://doi.org/10.1109/WASPAA.2017.8170052>.
- Ankit, Shah, Anurag, Kumar, Alexander G., Hauptmann and Bhiksha, Raj (2018), *A Closer Look at Weak Label Learning for Audio Events*, arXiv:1804.09288, 10 p., doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.09288>.
- Poroshenko, A. I. and Kovalenko, A. A. (2021), "Methods and approaches to the detection of audio events of various types", *Modern directions of development of information and communication technologies and means of management: Materials of the eleventh international*, April 8–9, volume 2, p. 114.
- Poroshenko, A. I. and Kovalenko, A. A. (2021), "Methods for the classification of audio signal features", *Informatization problems: abstracts of reports of the 9th international conference*, November 18–19, 2021, Cherkasy, Kharkiv, Baku, Belsko-Byala, [in 3 volumes]. Volume 1 / Cherkasy state technologist. university [etc.]. Kharkiv: V. V. Petrov, p. 90.
- Kumar, K. and Chaturvedi, K. (2020), "An Audio Classification Approach using Feature extraction neural network classification Approach," *2nd International Conference on Data, Engineering and Applications (IDEA)*, pp. 1–6, doi: <https://doi.org/10.1109/IDEA49133.2020.9170702>.
- Hirata, K., Kato, T. and Oshima, R. (2019), "Classification of Environmental Sounds Using Convolutional Neural Network with Bispectral Analysis", *2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, pp. 1–2, doi: <https://doi.org/10.1109/ISPACS48206.2019.8986304>.
- Pratt, C.W. (1967), "The concept of marginal overflow in alternate routing", *The 5th ITC*, New-York, June, pp. 52–58.
- Wallstrom, A. (1969), "Methods for Optimizing Alternative Routing Networks", *Ericsson Technics*, No. 1, pp. 3–29.
- Tzinis, E., Wisdom, S., Hershey, J.R., Jansen, A. and Ellis, D.P.W. (2020), "Improving Universal Sound Separation Using Sound Classification", *ICASSP 2020, 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 96–100, doi: <https://doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9053921>.
- Sose, S., Mali, S. and Mahajan, S.P. (2019), "Sound Source Separation Using Neural Network", *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pp. 1–5, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCCNT45670.2019.8944614>.

15. Zheng X., Chen H., Song Y. (2021), *Zheng ustc teams submission for dcase2021 task4 semi-supervised sound event detection*, DCASE2021 Challenge, Tech. Rep, 2021.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alain Dufaux, Laurent Besacier, Michael Ansoerge, Fausto Pellandini. Automatic sound detection and recognition for noisy environment, *IEEE European Signal Processing Conference EUSIPCO*. 2000. P. 1–4.
2. Phan H., Koch P., Katzberg F., Maass M., Mazur R., McLoughlin I., Mertins, A. What makes audio event detection harder than classification?. *Proceedings of the 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*. 2017. P. 2739-2743. DOI: <https://doi.org/10.23919/EUSIPCO.2017.8081709>.
3. Sami Ur Rahman, Adnan Khan, Sohail Abbas, Fakhre Alam, Nasir Rashid. Hybrid system for automatic detection of gunshots in indoor environment. *Multimedia Tools and Applications*. 2021. Vol. 80. P. 4143-4153, doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09936-w>.
4. Nicolas Turpault, Romain, Serizel. Training Sound Event Detection on a Heterogeneous Dataset. *DCASE*. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2007.03931>.
5. Salamon J., MacConnell D., Cartwright M., Li,P., Bello, J.P. Scaper: A library for soundscape synthesis and augmentation. *2017 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA)*. P. 344-348, doi: <https://doi.org/10.1109/WASPAA.2017.8170052>.
6. Ankit Shah, Anurag Kumar, Alexander G. Hauptmann, Bhiksha Raj. A Closer Look at Weak Label Learning for Audio Events. 2018. arXiv:1804.09288. 10 p. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.09288>.
7. Порошенко А. І., Коваленко А. А. Методи та підходи до детектування аудіоподій різних типів. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Матеріали одинадцятої міжнародної НТК, Баку: ВА ЗС АР; Харків: НТУ «ХП»; Київ: НАУ; Харків: ДП «ПДПРОНДІАВІАПРОМ»; Жиліна: УМЖ, 2021, 8-9 квітня 2021. Т.2. С. 114.
8. Порошенко А. І., Коваленко А. А. Методи класифікації ознак аудіосигналів. *Проблеми інформатизації*: тези доп. 9-ї міжнар. наук.-техн. конф., 18-19 листопада 2021 р., Черкаси, Харків, Баку, Бельсько-Бяла, [у 3 т.]. Т. 1 / Черк. держ. технолог. ун-т [та ін.]. Харків : Петров В. В., 2021. С. 90.
9. Kumar K., Chaturvedi K. An Audio Classification Approach using Feature extraction neural network classification Approach. *2nd International Conference on Data, Engineering and Applications (IDEA)*. 2020. P. 1-6, doi: <https://doi.org/10.1109/IDEA49133.2020.9170702>.
10. Hirata K., Kato, T., Oshima, R. Classification of Environmental Sounds Using Convolutional Neural Network with Bispectral Analysis, *2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*. 2019. P. 1-2, DOI: <https://doi.org/10.1109/ISPACS48206.2019.8986304>.
11. Pratt C.W. The concept of marginal overflow in alternate routing. *The 5th ITC*. New-York. June 1967. P 52–58.
12. Wallstrom A. Methods for Optimizing Alternative Routing Networks, *Ericsson Technics*, 1969. No. 1. P. 3–29.
13. Tzinis, E., Wisdom, S., Hershey, J.R., Jansen, A. and Ellis, D.P.W. Improving Universal Sound Separation Using Sound Classification. *ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2020. P. 96-100. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9053921>.
14. Sose S., Mali S., Mahajan, S.P. Sound Source Separation Using Neural Network. *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. 2019. P. 1-5, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCCNT45670.2019.8944614>.
15. Zheng X., Chen H., Song Y. Zheng ustc teams submission for dcase2021 task4 semi-supervised sound event detection. DCASE2021 Challenge, Tech. Rep, 2021.

Received (Надійшла) 15.08.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.10.2022

ПРО АВТОРІВ / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Порошенко Антон Ігорович – аспірант кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Anton Poroshenko – postgraduate student at Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

e- mail: anton.poroshenko@nure.ua; Ідентифікатор ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7266-4269>.

Mathematical model of the passage of audio signals in network-based audio analytics systems

Anton Poroshenko

Abstract. Relevance. Nowadays, more and more audio and video analytics systems work together. But in many cases, it is necessary to quickly transfer the audio stream. Therefore, the task of reducing delays in transmission of audio streams in network-based audio analytics systems becomes relevant. The object of research is the process of audio signal transmission. **The subject of research** is mathematical models of audio and video streams in network systems. **The purpose of this paper** is to develop a mathematical model for the passage of audio signals in network-based audio analytics systems. **Research results.** The statement of the problem of optimizing the network of connecting lines according to the criterion of minimum capital costs is proposed. Optimization equations for a unidirectional three-node basic structure are compiled based on the problem of minimizing capital costs. Optimization equations are obtained for a bidirectional three-node basic structure. Obtained optimization equations are generalized to any structure of a network of connecting lines. **The direction of further research** is the development of an approximate method for quickly solving optimization equations for a network of connecting lines and assessing the adequacy of the developed model.

Keywords: audio analytics; sound event; audio stream; mathematical model; decomposition.