

Система розпізнавання акустичних сигналів

Гриднєв Д.А.

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Берестейський, 37, Київ, Україна.

Реферат

У даній роботі розглядаються методи розпізнавання та детектування акустичних сигналів. Дані аспекти є ключовими в реалізації майбутньої системи. Передбачається, що система буде мати блок датчиків для фіксації акустичних подій, оброблювальні алгоритми та нейронну мережу для класифікації. Система повинна забезпечувати високу точність і швидкість роботи, щоб мати можливість оперативно реагувати на різні акустичні події.

Вступ

В останні роки методи розпізнавання артилерійського звуку в основному базуються на аналізі акустичного сигналу від артилерійського ствола, що включає частотно-часовий аналіз ознак і розпізнавання образів. Частотно-часовий аналіз ознак зазвичай базується на великому масиві даних. Шляхом виділення характеристик частотної області, наприклад, короткого перетворення Фур'є (STFT), безперервного вейвлет-перетворення (CWT), синхронного перетворення (SST) або часових особливостей, наприклад, коефіцієнта крос-кореляції з зібраних зразків сигналу циліндричної хвилі, може бути побудована порогова система прийняття рішень для визначення типу джерела отриманого артилерійського звуку.

Для методів, заснованих на розпізнаванні образів, впроваджується розпізнавання звуку артилерії за допомогою більш складних математичних моделей, наприклад, нейронних мереж зі зворотним зв'язком і мультимодальних нейронних мереж.

У порівнянні з першими, алгоритми розпізнавання образів мають вищу складність, але також вищу стабільність і кращу продуктивність. Аналіз частотних особливостей і методи розпізнавання образів можуть адаптуватися до конкретного спотворення сигналу, але все ще неможливо ефективно ідентифікувати тип віддаленого артилерійського звуку за наявності випадкових складних перешкод та спотворень.

1.1 Розпізнавання на основі просторової проекції хвилі

Основна ідея полягає в тому, що віддалений спостережуваний сигнал фіксується акустичним датчиком і формується звуковим сигналом джерела, що проходить через канал поширення. Канал поширення можна моделювати як детерміновану лінійну систему з фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою (FIR). Віддалене спостереження представлено як згортка h_k та джерела x_k .

Сигнал u_k є лінійною комбінацією векторів з матриці форми x_k . Для розпізнавання звуків артилерії ідеальні циліндричні хвилі практично недосяжні, тому використовується набір короткодистанційних спостережень.

Проводиться перетворення Фур'є для сигналів віддаленого і короткодистанційного спостереження. FIR-фільтр використовується для визначення зв'язку між віддаленими і короткодистанційними спостереженнями. Короткодистанційний сигнал x_k оцінюється за допомогою сингулярного розкладання (SVD).

Енергія проєкції віддаленого спостереження на простір сигналу джерела визначається для категоріального визначення звуку артилерії. Основні етапи включають моделювання каналу поширення за допомогою FIR-фільтра, згортку фільтра з сигналом джерела для отримання віддаленого спостереження, матричне представлення сигналу як лінійної комбінації векторів з матриці форми, визначення простору сигналу джерела, оцінку короткодистанційного сигналу за допомогою SVD, та визначення енергії проєкції для розпізнавання категорії звуку артилерії.

Згідно авторів:

1. Запропонований метод правильно ідентифікував типи всіх змодельованих віддалених артилерійських звуків в ідеальних умовах, що доводить життєздатність описаного алгоритму.
2. Експеримент із набором даних, зібраних у польових умовах, показав, що згаданий алгоритм здатний правильно ідентифікувати типи артилерійських зразків з високим відношенням сигнал/шум (SNR), але не може ефективно працювати, коли зразки містять сильний шум вітру, що потребує подальших досліджень для вирішення цієї проблеми.
3. Запропонований метод має кращу здатність до узагальнення для різноманітних умов поширення звуку артилерії порівняно з методами розпізнавання звуків артилерії на основі традиційного машинного навчання.

1.2 Класифікація акустичного сигналу за допомогою симетризованої точкової моделі та згорткової нейронної мережі

SDP використовується для представлення характеристик звукових сигналів. Симетричний точковий візерунок використовується для візуалізації звукового або вібраційного сигналу. Полярні координати використовуються для проектування даних часової області на координати. Точковий візерунок використовується для демонстрації характеристик сигналу, створюючи зображення, що змінюється з часом, утворюючи симетричну фігуру, схожу на сніжинку. Звукові сигнали різних станів представлені симетричними точковими візерунками. Цей метод демонструє відмінності у звукових хвилях і вібраційних сигналах.

На малюнку 1 показано принципи симетричного точкового візерунка звуку, $R(i)$ представляє точку i в сигналі, радіус від початку координат до цієї точки. $\varphi(i)$ та $\phi(i)$ є кутами установки кожної точки на симетричному точковому візерунку звуку, $\varphi(i)$ є позитивним кутом, а $\phi(i)$ – негативним кутом.

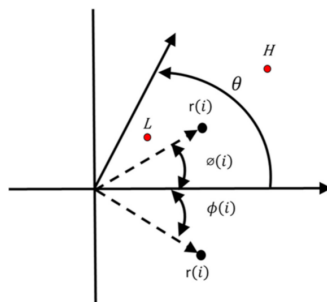


Рисунок 1. Принцип симетричного точкового візерунка.

У моделі детектування звукового сигналу система спочатку проектує акустичний сигнал на координатну вісь через точковий візерунок. Звук розпізнається за допомогою симетричного точкового візерунка для визначення характеристик кожного сигналу. Використовуючи цей метод, спостерігач може відрізнити відмінності в акустичному сигналі. Потім ці симетричні точкові візерунки аналізуються, і згорткова нейронна мережа використовується для навчання цих точкових візерунків і класифікації їх у різні типи звукових сигналів.

1.3 Класифікатори, що використовуються для вдосконалення акустичних датчиків для ідентифікації круглих типів артилерії/мінометів

Алгоритм базується на аналізі акустичних сигнатур даних у точці запуску вибухової події що фіксується масивом датчиків. Алгоритм розроблено для використання різних характеристик типової акустичної сигнатури, що створюється артилерійським/мінометним снарядом під час запуску.

Первинний аналіз даних базується на інформації що була зібрана на полях бойових дій за схемою, де фіксується: місце запуску артилерії, місце детонації/впливу, місце розташування акустичних датчиків. Збір даних за схемою, дозволяє зрозуміти поведінку акустичної хвилі, створеної гарматою під час запуску. Зазвичай можна припустити, що під час запуску акустична хвиля поширюється від гармати вперед, а потім починає своє сферичне розширення. Акустичні датчики розміщені на типовій відстані d від точки запуску, що варіюється від 300 м до 7000 м, і типовій відстані s від зон впливу. Датчики розміщені в лінійному порядку відносно один одного та паралельно лінії стрільби.

Враховуючи транзйентний характер поверхневої хвилі джерела, ми обробляємо необроблені дані в трисекундні семпли, зосереджені на події або серії подій. Після виявлення імпульсивної події запуску береться трисекундний семпл навколо максимуму. Видаляється будь-яке постійного зміщення. Наступним кроком відбувається витягнення ознак шляхом розробки серії контрольних точок. Після визначення цієї контрольної точки запис розрізається на інтервал принаймні 4 мс перед і 380 мс після контрольної точки.

Далі застосовується стандартна тривимірна нейронна мережа, яка була навчена за допомогою узагальненого дельта-правила або алгоритму зворотного поширення. Алгоритм послідовно регулює ваги взаємозв'язків у мережі після застосування всіх шаблонів у навчальному наборі, процедуру, яку зазвичай називають епохою. Дані спочатку розбиваються на непересічні підмножини. Для кожної підмножини класифікатор спочатку навчається на всіх елементах даних, які не входять до підмножини. Потім кожен елемент даних у поточній підмножині проходить через класифікатор і записується в матрицю помилок.

Висновки

Було проаналізовано методи розпізнавання артилерійського звуку, зокрема частотно-часовий аналіз та розпізнавання образів за допомогою нейронних мереж. Визначено, що методи розпізнавання образів мають вищу стабільність та продуктивність порівняно з частотно-часовими методами.

Метод розпізнавання на основі просторової проекції хвилі показав здатність правильно ідентифікувати типи артилерійських звуків в ідеальних умовах та показав добрі результати на реальних даних з високим співвідношенням сигнал/шум. Метод класифікації акустичного сигналу за допомогою симетризованої точкової моделі та згорткової нейронної мережі дозволяє візуалізувати та аналізувати звукові сигнали, забезпечуючи їх високу диференціацію та класифікацію. Описані аспекти, методи будуть закладі в майбутню систему класифікації.

Список літератури

- [1]
J.-D. Wu, W.-J. Luo, і K.-C. Yao, «Acoustic Signal Classification Using Symmetrized Dot Pattern and Convolutional Neural Network», *Machines*, вип. 10, вип. 2, Art. вип. 2, Лют 2022, doi: [10.3390/machines10020090](https://doi.org/10.3390/machines10020090).

[2]

Y. Wu, Z. Zhao, i Z. Xu, «Artillery sound recognition based on waveform space projection», в *International Conference on Signal Processing and Communication Technology (SPCT 2021)*, L. Zhang i T. Yang, Ред., Tianjin, China: SPIE, Квiт 2022, с. 26. doi: [10.1117/12.2631838](https://doi.org/10.1117/12.2631838).

[3]

A. Morcos, D. Grasing, i S. Desai, «Artillery/mortar type classification based on detected acoustic transients», в *Unattended Ground, Sea, and Air Sensor Technologies and Applications X*, SPIE, Квiт 2008, с. 100–107. doi: [10.1117/12.777892](https://doi.org/10.1117/12.777892).

[4]

J. R. Graves, «AUDIO GUNSHOT DETECTION AND LOCALIZATION SYSTEMS: HISTORY, BASIC DESIGN, AND FUTURE POSSIBILITIES».

[5]

D. Grasing, S. Desai, i A. Morcos, «Classifiers utilized to enhance acoustic based sensors to identify round types of artillery/mortar», в *Independent Component Analyses, Wavelets, Unsupervised Nano-Biomimetic Sensors, and Neural Networks VI*, SPIE, Квiт 2008, с. 169–179. doi: [10.1117/12.777928](https://doi.org/10.1117/12.777928).

[6]

G. Hinton *et al.*, «Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition», 2012.

[7]

A. Dagallier *et al.*, «Long-range acoustic localization of artillery shots using distributed synchronous acoustic sensors», *The Journal of the Acoustical Society of America*, вип. 146, вип. 6, с. 4860–4872, Груд 2019, doi: [10.1121/1.5138927](https://doi.org/10.1121/1.5138927).