

ВИКОРИСТОВУВАННЯ КОНТЕКСТНИХ МАРКІВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Селін Ю.М.

Сучасний етап економічного розвитку України, неможливий без всебічного розвитку важкої промисловості, зокрема металургії. Тому в промислових районах країни прикладають зусилля для збільшення масштабів і темпів росту видобутку залізної руди. Геологічні умови залягань руди, наприклад в Криворізькому басейні, дозволяє широко використовувати методи розкривних робіт, що прямо пов'язані із збільшенням об'ємів мирного використання енергії вибуху. Прогнозні дані говорять про те, що в найближчі роки обсяги гірської маси, що підривається, у гірничодобувній промисловості має збільшитися. У той же час, підривні роботи часто виконуються поблизу об'єктів промислового, житлового і культурно-побутового призначення. Тому цілком зрозуміла необхідність вивчення сейсмічної дії промислових вибухів і якісного визначення ширини охоронних зон поблизу кар'єрів. Це необхідно для забезпечення сейсдобезпеки ведення підривних робіт при поліпшенні їхніх техніко-економічних показників.

Нажаль, і дотепер немає науково обґрунтованих, застосованих у широкому діапазоні промислових умов теоретичних методів прогнозу сейсмічної небезпеки вибухів і методів захисту споруджень від їх шкідливого сейсмічного впливу. Тому основним методом вивчення сейсмічної дії вибуху залишається тільки аналіз результатів натурних спостережень. Прогноз сейсмічної небезпеки і вибір раціональної технології промислових вибухів дотепер базується на емпіричних залежностях основних показників коливань від умов виконання вибухів. Все це зумовлює необхідність розробки математичного апарату по забезпеченню комп'ютерного аналізу вищезгаданих процесів задля прогнозування наслідків вибухових процесів.

В наведеній статті приведено один з методів аналізу наслідків вибухів, який можна використовувати для вирішення таких задач, а також його можна використовувати і для визначення потужностей промислових вибухів. Зокрема його було застосовано для обчислення вібросигналу горизонтальної віброшвидкості перекриття будинків в м. Кривий Ріг, які виникають в наслідок реакції будівельних конструкцій на підривні роботи.

Апаратне забезпечення для реєстрації процесів такого роду складається з цифрових приладів, які видають інформацію у вигляді числового ряду, а також аналогових приладів, які видають інформацію у графічному вигляді. Тож вхідними даними для означених задач можуть бути як часові ряди, тобто ряди, компоненти яких залежать від часу, так і графічні об'єкти, які виникають в наслідок реєстрації розвитку процесу в часі.

Автором частково розглядалось питання щодо для вирішення задач аналізу та прогнозування поведінки екологічних неперіодичних процесів на числових даних [3], який ґрунтується на модифікації методу подібних траєкторій [1]. Зараз застосуємо описаний підхід для даних, що отримано у графічному вигляді, без наявності цифрових значень, тобто будемо використовувати структурний підхід для вирішення задачі розпізнавання образів.

Структурний підхід до розпізнавання образів. Більшість результатів у галузі розпізнавання образів, пов'язані з теорією прийняття рішень та її застосувань. У деяких задачах розпізнавання образів важлива структурна інформація, яка описує кожний об'єкт, а процес розпізнавання повинен не тільки віднести об'єкт до визначеного класу (тобто класифікувати його), але й описати ті сторони об'єкту, які роблять небажаними віднесення його до іншого класу [2]. Типовим прикладом такої задачі є розпізнавання зображень, або аналіз сцен. Найпростішим способом розпізнавання є метод „спів падання з

еталоном". Більш досконалі системи повинні були б мати здібністю визначати різні синтаксичні відношення усередині об'єкту.

Метод Марківських ланцюжків. Різні розробки прихованих Марківських моделей на сьогодні мають широке застосування щодо порівняння послідовностей, а також для виявлення гомології між ними та пошуку й розпізнавання послідовностей, деяким узагальненою подібністю [4]. Під Марківським ланцюжком в узагальненому розумінні маємо послідовність випадків, кожне з яких відбувається із певною ймовірністю. Головною задачею розпізнавання, яку ми досліджуємо, використовуючи математичний апарат Марківських моделей, полягає в наступному. Нехай маємо дві довгих послідовності координат, потрібно виявити наскільки ці послідовності належать одному об'єкту, (або є однієї природи, тобто належать одному процесу) є близькими за своєю статистичною структурою. При цьому наш висновок повинен бути стійким щодо мало суттєвих змін, таких як вставки та випадання окремих дільниць послідовностей, переставлення невеликих фрагментів та ін [6].

Треба порівнювати й цілком невеликі послідовності, але тоді їх повинно бути достатньо багато. Статистична наближеність послідовностей може бути наслідком подоби їх функціональних властивостей або єдності виникнення (належить процесу однієї природи). Наприклад, маючи набір послідовностей процесу однієї природи, можна виявити чи належить цьому процесу деяка послідовність чи ні.

Тип Марківської моделі обирається в залежності від змісту завдання.

Нехай визначена Марківська модель та деякий набір вхідних (навчальних) послідовностей. Тоді за вхідними даними визначаються параметри θ_0 моделі. Ймовірність $P_r(X|\theta_0)$ для нової послідовності X при заданих параметрах θ_0 визначає точність відповідності X параметрам моделі. Чим більша величина $P_r(X|\theta_0)$, тим краще послідовність X відповідає параметрам моделі, тим більше підстав віднести послідовність X до того ж оператора, що й вхідні послідовності. Реально однозначно задана послідовність, а параметри моделі ми обираємо за власним свавіллям, тому нам важливо наскільки велике значення $P_r(X|\theta_0)$ - ймовірність того, що параметри моделі, що породжує X дорівнюють θ_0 . У відповідності за формулою Байєса:

$$P_r(\theta_0 | X) = \frac{P_r(X|\theta_0)P_r(\theta_0)}{\sum_{\theta} P_r(X|\theta)P_r(\theta)}$$

показує, що $P_r(\theta_0 | X)$ та $P_r(X|\theta_0)$ прямо пропорційні.

Оскільки значення $P_r(X|\theta_0)$ за звичаєм достатньо малі та суттєво залежать від довжини $|X|$ послідовності X , то на практиці користуються парметром:

$$\frac{1}{|X|} \log \frac{1}{P_r(X|\theta_0)}$$

яку можна інтерпретувати, як складність послідовності X в Марківській моделі з параметрами θ_0 в розрахунку на один сегмент.

Чим менша складність, тим краще послідовність відповідає параметрам моделі.

Визначення Марківської моделі. Нехай $D = \{a_i\}$ - скінчений алфавіт та S - множина станів моделі. Розглянемо орієнтований граф, вершинами якого є стани S , а ребра позначені буквами алфавіту D .

Орієнтовані шляхи за графом породжують слова в алфавіті D .

Говорять, що такий граф задає скінчений автомат, а множину слів, народжених таким автоматом, називають регулярною мовою. Іноді посеред станів обираються кінцевий та початковий стан, тобто стани, з яких починається та закінчується будь-яке породжуване слово.

Одним з найбільш важливих прикладів графів, визначаючих Марківську модель, є граф де Бройна.

Нехай $S = D'$, стани $\sigma = a_{i_1} \dots a_{i_n}$ и $\sigma' = a_{j_1} \dots a_{j_n}$ поєднані ребром, якщо $\omega = a_{i_2} \dots a_{i_n}$ и $\omega = a_{j_2} \dots a_{j_{n-1}}$, т.е. $\sigma = a_{i_1} \omega$ та $\sigma' = \omega a_{j_n}$.

Ребро, яке поєднує стани σ та σ' позначимо буквою a_{j_i} .

Такий спосіб породження символічних послідовностей називається Марківською моделлю, якщо ввести ймовірності $P(\sigma | \sigma', a)$ переходів між станами моделі та ймовірності $P(a | \sigma)$ породження букв у різних станах. набір ймовірностей називається набором параметрів Марківської моделі. Параметри моделі повинні задовольняти наступним властивостям:

$$P(\sigma_j | \sigma_i, a_k) \geq 0, \sum_j P(\sigma_j | \sigma, a) = 1,$$

$$P(a_j | \sigma_i) \geq 0, \sum_j P(a_j | \sigma) = 1.$$

Ймовірність пари, яка складається із символічної послідовності $x^n = x_1 x_2 \dots x_n$ та відповідній йому послідовності станів $s^n = s_1 s_2 \dots s_n$ визначається рекурентно з рівності:

$$P(x^{n+1}, s^{n+1}) = P(x^n, s^n) P(s_{n+1} | s_n, x_n) P(x_{n+1} | s_{n+1}). \quad (*)$$

Маємо $P(x^0, s^0) = P(0) = 1$.

Крім цього:

$$P(x^n) = \sum_{s^n \in S^n} P(x^n, s^n),$$

$$P(s^n | x^n) = \frac{P(x^n, s^n)}{P(x^n)}.$$

У контекстних Марківських моделях передбачається, що набори букв, якими позначені стрілки, що виходять з одного стану не перехрещуються. Таке має місце коли у якості станів вибрані ліві контексти букв у символічній послідовності. Тоді якщо нам відомо попередній стан та чинна буква, то однозначно визначене й наступний стан. Таким чином, якщо ми знаємо початковий стан та слово, яке породжене Марківською моделлю, то ми можемо однозначно відновити послідовність станів, які відповідають цьому слову.

При цьому виникають додаткові умови до параметрів Марківської моделі:

$$P(\sigma | \sigma', a) = 1, \text{ якщо ребро } (\sigma | \sigma') \text{ позначено буквою } a \text{ та}$$

$$P(\sigma | \sigma', a) = 0 \text{ в протилежному випадку.}$$

Формула (*) набуває вигляду

$$P(x^{n+1}) = P(x^{n+1}, s^{n+1}) = P(x^n, s^n) P(x_{n+1} | s_{n+1}).$$

Крім цього, значення $P(\sigma | \sigma')$ визначається рівняннями

$$P(\sigma | \sigma') = \sum_i P(a_i | \sigma'),$$

де сума береться за всіма буквами, якими позначена стрілка між станами σ та σ' . Із цих визначень неважко визначити, що ймовірність переходу до стану s^{i+1} залежить тільки від одного попереднього стану s^i та не залежить від інших попередніх станів, тобто послідовність станів s^n Марківської моделі уявляє з себе Марківський ланцюжок.

Найбільш відомим прикладом контекстних Марківських моделей є Марківські моделі скінченного порядку t . В цьому випадку станами є слова довжини t , графом моделі є відповідний граф де Брьойна, а параметрами моделі є ймовірності появи букв в різних контекстах.

Контекстну Марківську модель докладно використовувати, коли вихідні дані – це невелика кількість достатньо довгих текстів. Тут ми вимушені передбачати, що спадкові послідовності, породжені моделлю із фіксованими параметрами стаціонарні, тобто

ймовірність будь-якої букви залежить тільки від контексту, а не від номеру позиції букви у послідовності.

$$P(x) = P(x_L, x_{L-1}, \dots, x_1) = P(x_L | x_{L-1}, \dots, x_1) P(x_{L-1} | x_{L-2}, \dots, x_1) \dots P(x_1)$$

Властивість Марківського ланцюжка:

$$P(x) = P(x_L | x_{L-1}) P(x_{L-1} | x_{L-2}) \dots P(x_2 | x_1) P(x_1) = P(x_1) \prod_{i=2}^L a_{x_{i-1}x_i}$$

Вибір множини станів моделі, тобто множина значимих з нашої точки зору контекстів взагалі кажучи довільний. В той час як параметри Марківської моделі – ймовірності букв в різних контекстах обчислюються з вихідних даних за формулами

$$P(a_i | \sigma_j) = \frac{r(\sigma_j a)}{r(\sigma_j)}$$

де $r(\omega)$ - кількість входження слова ω до вихідних даних.

Наприклад, нехай задана генетична послідовність

GTAGTCTGATGCAT

$$P(A | A) = P(AA) / P(A) = 0 / 3 = 0$$

$$P(T | A) = P(AT) / P(A) = 2 / 3 = 0,66$$

$$P(G | A) = P(GA) / P(A) = 1 / 3 = 0,33$$

$$P(C | A) = P(CA) / P(A) = 0 / 3 = 0$$

Практичну спроможність описаного структурного підходу було перевірено для аналізу процесів, що виникають при проведенні вибухових робіт на гірничо-видобувному кар'єрі Центрального гірничо-збагачувального комбінату м.Кривий Ріг. Числові дані було отримано під час натурних вимірювань співробітниками Державного Науково-дослідного інституту будівельних конструкцій при проведенні масових вибухів в залізрудних кар'єрах м. Кривого Рога.

На рис. 1 зображено графіки вібросигнал і амплітудний спектр горизонтальної (вздовж осі X) віброшвидкості перекриття собору по вул. Клубній під впливом вибуха.

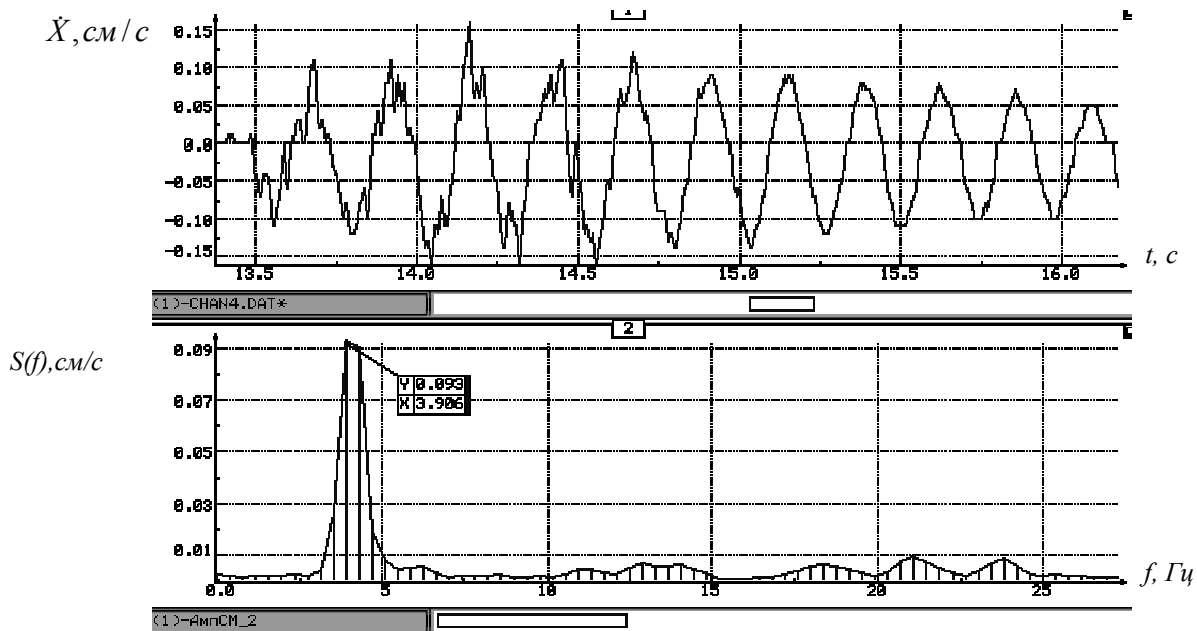


Рис. 1 Вібросигнал і амплітудний спектр горизонтальної (вздовж осі X) віброшвидкості перекриття собору по вул. Клубній під впливом вибуха

Параметри графіка наступні: часовий інтервал (вісь ОХ графіка) з 13.5 с, по 16.25 с; амплітуда (вісь ОУ графіка) – віброшвидкість від “-0.15” см/с до “+0.15” см/с. Цей графік було використано для аналізу причин віброколивань, які було зафіксовано реєстраційними приладами. Одночасно на території біля будинку собору по вул. Клубна було проведено виміри рівнів звуку, які досягали значень 85-89 дба. Можна припустити, що на момент вибуху аналогічна ситуація була і на територіях близько розташованих житлових будинків (це вже на величину 15-19 дба значень, що вище допускаються). Зареєстровані при вибухах значення віброшвидкості ґрунту в цоколях будинків знаходяться в діапазоні 0,1-0,47 див /з, що складає 1-3 бали по шкалі сейсмічної інтенсивності при вибухах [5]. Таким чином було сформовано набори відповідностей: „потужність вибуху”-„значення віброшвидкості”, „значення віброшвидкості”-„ потужність вибуху”.

Алгоритм структурного підходу був застосовано наступним чином.

- За числовими даними часового інтервалу 13.5 с – 15.5 с було проведе розбиття графічного образу сигналу на графічні примітиви.
- Сформовано символний аналог графічного образу.
- За послідовністю правил, які наведено в опису функціонування контекстних Марківських моделей було визначено відповідності значень віброшвидкості до відповідних значень вибухів.

Таким чином за допомогою натурних вимірів значень віброшвидкостей конструкцій будинків було визначено значення потужностей вибухів. Значення розрахунків повністю збіглись з паспортними даними.

Висновки

1. Запропоновано алгоритм аналізу поведінки часових рядів на базі структурного підходу для розрахунків дії промислових вибухів на будівельні конструкції.
2. Підтверджено можливість застосування алгоритму на прикладі аналізу числових значень вібросигналу горизонтальної (вздовж осі Х) віброшвидкості перекриття будинку під впливом промислового вибуху.
3. Провести у майбутньому аналіз точності прогнозних значень порівняно з іншими даними натурних вимірювань.

It is resulted an algorithm application example of the contextual Markov models which can be used for the analysis of problems of time numbers behavior, presented ino a graphic kind. In particular it has been used for forecasting vibros signal of horizontal vibros velocity overlapping of constructions in a Krivoi Rog city.

1. Tsaparas P. Nearest neighbor search in multidimensional space. – Toronto: University of Toronto, 1999. – 50p
2. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. – М.: Мир, 1977. - 319с.
3. Баклан І.В., Селін Ю.М. Структурний підхід до аналізу та моделюванню часових рядів / Вестник Херсонского национального технического университета. Вып.2(22).- Херсон: ХНТУ, 2005.- с.27-31.
4. Young T. Y., Calvert T. W., Classification, Estimation, and Pattern Recognition, American Elsevier, 1973.
5. Медведев С. В. Сейсмика горных взрывов. М., «Недра», 1964. 188 с.
6. Durbin R., Eddy S.R., Krogh A., Mitchson G. Biological sequence analysis. 1998, Cambridge: Cambridge University Press, 356 p.