

НАВЧАННЯ МЕРЕЖІ БАЙЕСА ПРИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННІ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ ПІВДЕННОГО БЕРЕГА КРИМУ

Вступ

Задача моніторингу зсувних процесів Південного берегу Криму та побудови системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо впровадження протизсувних заходів вимагає розробки нових математичних, технологічних і програмних засобів, які визначаються присутністю чинника ризику непередбачених ситуацій, тобто вимагають врахування невизначеності. При моделюванні зсувних процесів найчастіше використовуються експертні знання, які зводяться до набору правил аналізу ситуації і до ухвалення рішень.

Прогнози зсувних процесів часто суб'єктивні, істотно залежать від досвіду і інженерно-геологічної інтуїції виконавців і не завжди відповідають точним розрахункам. Позбавити їх від суб'єктивності, зробити більше наближеними до дійсності може побудова системи підтримки прийняття рішень, яка базується на мережі довіри Байєса (МБ), але така система вимагає перебору великої кількості варіантів і складних обчислень, що можливо тільки при комп'ютеризації цих процесів і розрахунків.

Математичний апарат мереж Байєса (МБ) дозволяє поєднати графічне представлення зсувного процесу з його ймовірнісним характером, проаналізувати можливі варіанти розвитку ситуації та відстежити правильність встановленого причинно-наслідкового зв'язку.

Постановка задачі

Задачею даного дослідження є побудова мережі Байєса для моделювання і прогнозування зсувних процесів Південного берегу Криму та її навчання за допомогою багаторічних статистичних спостережень.

Побудова простої мережі Байєса зсувних процесів Південного берегу Криму

Зсувні процеси більшою мірою пов'язані з гідрогеологічними

чинниками (опадами і сейсмічною активністю), а також з сонячною активністю. Ці фактори сприяють виникненню нових зсувів та активізації старих [1]. Таким чином, при побудові мережі будемо використовувати три чинники: опади, сейсмічну і сонячну активність, а також одну результуючу змінну – кількість активних зсувів, що зафіксовано впродовж року.

Мережі Байєса представляють орієнтовані ациклічні графи, вершини якого є дискретні випадкові змінні зі скінченим числом станів, а ребра є причинними зв'язками між ними і характеризуються таблицею безумовних ймовірностей переходів з одного стану до іншого під впливом збурень. Отже, МБ характеризується парою чисел (G, P) , де $G = \langle X, E \rangle$ – орієнтований ациклічний граф на скінченій множині X , елементи якої поєднані між собою сукупністю орієнтованих ребер E , а P – множина умовних розподілів ймовірностей.

Умовна ймовірність $P(A/B) = p$ означає: при умові, що подія B вже відбулась, ймовірність виникнення події A дорівнює p . Нехай деяка подія A відбувається на фоні гіпотез $H_1, H_2, \dots, H_n$. Відомі ймовірності гіпотез $P(H_i)$ і умовні ймовірності $P(A|H_i)$, тоді ймовірність того, що для події A , яка вже відбулась, мала місце гіпотеза H_k , визначається теоремою Байєса:

$$P(H_k | A) = \frac{P(A | H_k) \cdot P(H_k)}{\sum_{i=1}^n P(A | H_i) P(H_i)} \quad (1)$$

Для моделювання і прогнозування зсувних процесів ПБК побудуємо мережу Байєса, що відображає причинно-наслідкові зв'язки між наведеними факторами, граф якої є деревом (рис.1).

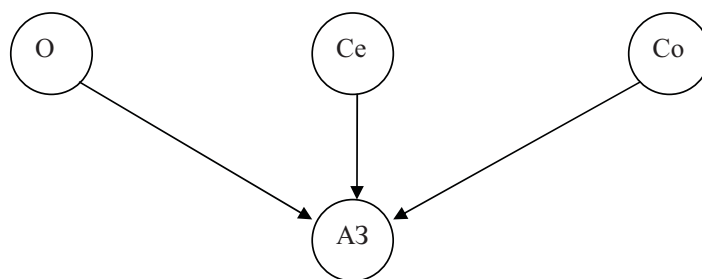


Рисунок 1 – Мережа Байєса моделювання зсувних процесів Південного берегу Криму. АЗ –кількість активних зсувів; О – опади за два попередні роки; Со – сонячна активність; Се – сейсмічна активність.

На верхньому рівні розташовано три вершини, які характеризують природні умови. Значення цих показників поступають зі станцій спостережень (з метеорологічної станції – опади, сейсмічної – сейсмічна активність, обсерваторія – сонячна активність), а також протизсувне управління оперує даними по впровадженню заходів щодо укріплення зсувонебезпечних ділянок.

На другому рівні розташовано вершину, яка характеризує протікання зсувних процесів, спостереження за якими на Південному березі Криму веде Ялтинська Гідрогеологічна Партія [2].

В умовах невизначеності основою для прийняття рішень на основі мережі Байєса є процес обчислення ймовірностей стратегій переходу від одного до іншого стану системи. Розкриття невизначеності в МБ здійснюється через обчислення ймовірностей станів вершин на основі наявної інформації про значення інших вершин мережі, завдяки цим повідомленням система здійснює перехід до наступного стану [3].

Основою для прийняття рішень в умовах невизначеності на основі мережі Байєса є процес обчислення ймовірностей стратегій переходу від одного до іншого стану системи. Розкриття невизначеності в МБ здійснюється через обчислення ймовірностей станів вершин на основі наявної інформації про значення інших вершин мережі у відповідності до апарату теорії ймовірностей і повідомлень, що передаються від однієї вершини до іншої, отже, завдяки цим повідомленням система здійснює перехід до наступного стану.

Для кожної вершини визначимо множину можливих станів. Для спрощення припустимо, що кожна величина може приймати лише два значення: зменшується (зм), тобто 0, і збільшується (зб) – 1. Таким чином, результатом моделювання є ймовірності $P(\text{зб}) = P(1)$ і $P(\text{зм}) = P(0)$ для вершини АЗ – активні зсуви. Отже, останнім кроком при побудові мережі Байєса є визначення таблиць умовних ймовірностей для кожної вершини. Умовні ймовірності – це експертні оцінки, на основі яких будується система і саме від їх точності залежить адекватність побудованої моделі [4]. Для усунення суб'єктивності при визначенні умовних ймовірностей станів вершин проведемо навчання мережі за допомогою даних спостережень відповідними структурами міста Ялта впродовж терміну з 1962 по 2004 роки, враховуючи всі можливі комбінації трьох вхідних факторів –

опадів, сейсмічна і сонячна активність, що можуть приймати значення 0 і 1, тобто зменшується і збільшується. При заповненні таблиці умовних ймовірностей отримаємо $2^3 = 8$ рядків, що відповідають трьом вхідним факторам (O, CeA, CoA) і два стовпчика для вершини АЗ (активні зсуви), при чому сума кожного отриманого рядка має дорівнювати одиниці, тобто $P(0)+P(1)=1$ (табл. 1).

Таблиця 1

Умовні ймовірності для вершини АЗ (активні зсуви)

O	CeA	CoA	P(AЗ O, CeA, CoA)	
			P(0)	P(1)
0	0	0	0,90	0,10
0	0	1	0,85	0,15
0	1	0	0,65	0,35
0	1	1	0,45	0,55
1	0	0	0,40	0,60
1	0	1	0,30	0,70
1	1	0	0,20	0,80
1	1	1	0,10	0,90

З таблиці випливає, що в разі збільшення опадів, сейсмічної і сонячної активності ймовірність збільшення існуючих активних зсувів максимально зростає до 90%. І навпаки, при зменшенні опадів, сейсмічної і сонячної активності ймовірність зменшення активізації зсувних процесів зростає до 90%.

Розглянемо три можливих варіанти розвитку зсувного процесу.

Варіант №1 – надмірне збільшення опадів (на поточний період значне перевищення 10% приросту в порівнянні з середніми даними).

Варіант №2 – різке збільшення кількості підземних поштовхів, тобто активізація сейсмічної активності з магнітудою, що перевищує 8,5К.

Варіант №3 – збільшення сонячної активності.

Для прийняття управлінського рішення необхідно визначити стратегії керування при першому, другому та третьому варіанті протікання зсувного процесу. Оскільки впливати на процес можна виключно за допомогою вкладання коштів в заходи укріплення, то постає питання про розрахунки оптимального обсягу вкладених

коштів. Визначимо декілька стратегій керування. Перша стратегія: кошти не вкладаються доки не відбудуться певні зсувні процеси ($P(Y) = 0$). Друга стратегія: кошти вкладаються в середньому обсязі, але не регулярно ($P(Y) = 0,5$). Третя – кошти вкладаються в повному обсязі, вчасно і навіть з попередженням ($P(Y) = 1$). Для наочності результату покладемо значення другої стратегії керування рівною 100%, або 1 і обчислимо відносні значення всіх варіантів розвитку при відповідних стратегіях керування. Розрахунок критерію для кожного варіанту розвитку, краще значення якого і визначить оптимальну стратегію з числа розглянутих, наведено в табл.2.

Таблиця 2

Моделювання стратегій керування

Керування		Значення для інтегрального критерію			Обсяг витрат		
Стратегія	Укладення коштів	Варіант розвитку №1	Варіант розвитку №2	Варіант розвитку №3	ОВ №1	ОВ №2	ОВ №3
1	0	1,42	1,39	1,28	405 %	354 %	313 %
2	0,5	1,00	1,00	1,00	100 %	100 %	100 %
3	1	0,97	0,77	0,88	195 %	146 %	128 %

З наведеної таблиці видно, що найоптимальнішою є стратегія №3, яка гарантує найменший обсяг вкладених коштів незалежно від варіанту збільшення факторів, що провокують активізацію протікання зсувних процесів.

Таким чином, при визначенні оптимального керування ми використовували фактор – укладення коштів на протизсувні заходи, а також розраховували обсяг витрат при усуненні наслідків екзогенних процесів. Отже, має сенс доповнити побудовану мережу двома додатковими вершинами.

Уточнення мережі Байєса за допомогою додаткових вершин

Розширимо мережу Байєса новим фактором – укладення коштів (управляючий фактор), і новим результируючим показником – обсяг витрат. Побудуємо МБ для даних спостережень з 1962 по 2004 рік по Ялті. Для спрощення моделі вважатимемо, що укладення коштів на протизсувні заходи (money_facilities) впливають лише на кінцевий результат, тобто на загальний обсяг витрат (volume_of_expenses).

Таким чином, на першому рівні розташовано три вершини: опади (reins), землетруси (earthquake) та сонячна активність (sun_activity). На другому – дві: кількість активних зсувів (land side) та кошти, які вкладають в протизсувні заходи (money_facilities). На третьому – обсяг витрат на боротьбу з наслідками зсувних процесів та на заходи, що мають укріплювати зсувонебезпечні ділянки (volume_of_expenses). Кожна вершина має на відмінність від попередньої моделі три стани: small, normal, hight (низький рівень, середній і високий відповідно). Таблиця умовних ймовірностей для вершини landslide буде мати три стовпчика і $3^3 = 27$ рядків, а для вершини volume_of_expenses – 3×9 . Поточний стан моделювання за статистичними даними з 1962 по 2004 роки, що змодельований за допомогою програми Netica, яка свободно розповсюджується за допомогою Інтернета, представлений на рис. 2.

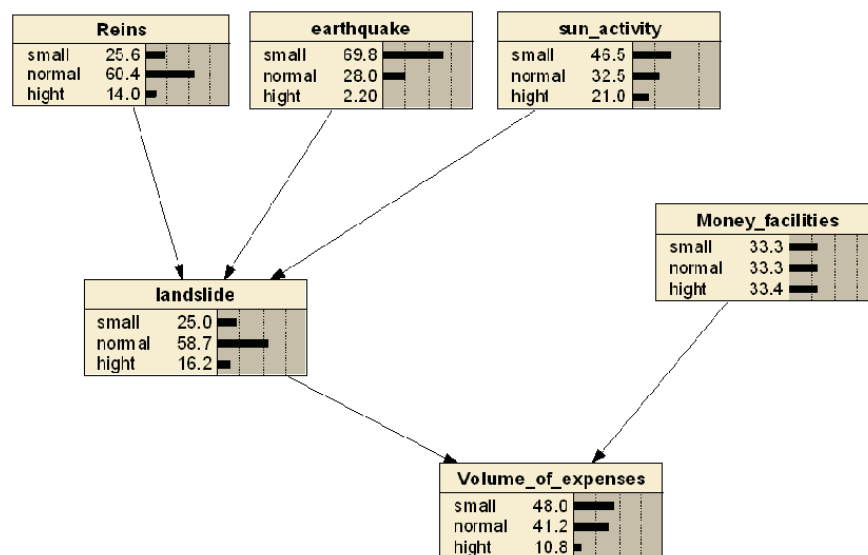


Рисунок 2 – Мережа Байєса моделювання зсувних процесів Південного берегу Криму за допомогою програми Netica

Проведемо навчання мережі. За допомогою експертних оцінок

заповнимо таблиці умовних ймовірностей факторів, що розташовані на другому і третьому рівнях і які залежать від попередніх.

Отже, за даними спостережень ймовірність активізації зсувних процесів становить 16,2%, а найбільш ймовірною є середня кількість активних зсувів, тобто 58,7%. Зниження активізації може спостерігатися в 25%. Оскільки надходження коштів точно не визначено, то слід припустити рівними ймовірності того, що кошти надходять в малому обсязі, в середньому або в повному, тобто рівними по 1/3 (33,3%). Таким чином, на останньому рівні загальний обсяг коштів, які необхідні для усунення наслідків руйнувань, скоріше за все слід виділяти в малому або середньому обсязі і тільки в 10,8% цей показник може становити високі значення.

Припустимо, що надійшла нова поточна інформація: пройшли сильні дощі, сейсмічна активність спостерігається на середньому рівні, і сонячна – також. З попередніх даних відомо, що протизсувні роботи не проводилися, тобто кошти майже не вкладалися. За результатами моделювання маємо такі висновки: 66% становить ймовірність різкого зростання активізації зсувних процесів і лише 33% - ймовірність того, що кількість зсувів становитиме середнє значення; загальний обсяг коштів у 62,7% різко підвищиться і тільки в 26,2% зостанеться на середньому рівні, як показано на рис. 3.

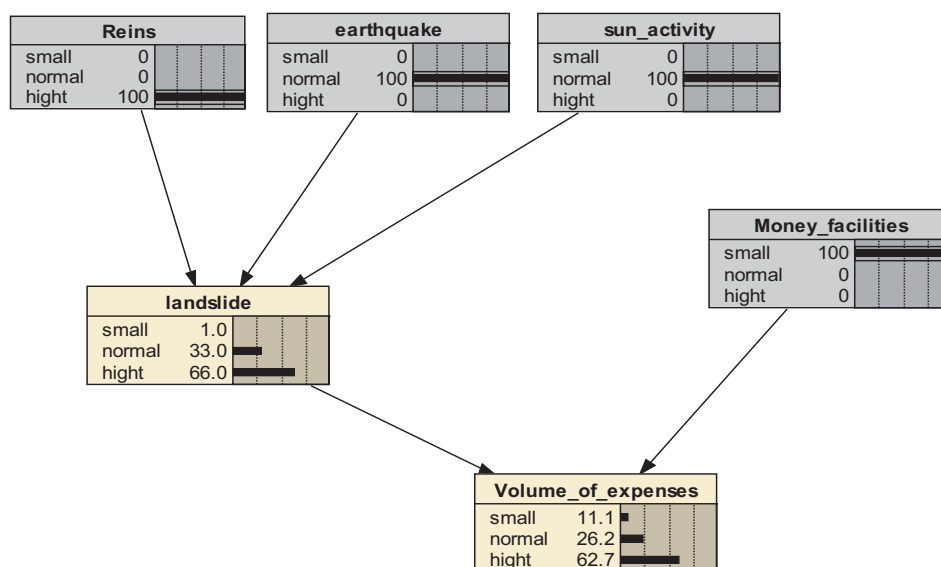


Рисунок 3 – Моделювання на мережі Байєса за допомогою програми Netica

Таким чином, при надходженні нових даних відбувається перерахунок результуючих показників, що має вирішальне значення при

прийнятті управлінського рішення стосовно своєчасного попереджувального вкладення коштів, а також розподіл терміну вкладання, або негайне виділення додаткових сум на відновлення та відбудову пошкоджених доріг і будівель.

Висновки

Зсувні процеси, що відбуваються на Південному березі Криму та в інших районах, носять випадковий характер, залежать від багатьох факторів, містять велику долю невизначеності, а тому дуже важко піддаються прогнозуванню.

Південний берег Криму поділений на 12 підрайонів, по кожному з яких ведеться спостереження. Розрахунки проведено по ділянці №7 – Лівадія (Ялта). Для кожної з ділянок може бути розрахована відповідна мережа Байєса, отже, можна порівнювати отримані результати обчислень і робити висновки, на якій ділянці відбуватимуться зсувні процеси і як ліпше їх попереджувати.

Проведений аналіз показав, що використання мережі Байєса стає дедалі частішим при побудові СППР, які мають працювати в умовах невизначеності. Доцільно мережі Байєса використовувати при моделюванні процесів різного походження, що дає можливість враховувати структурні та статистичні невизначеності досліджуваних процесів, зокрема МБ може бути використана для моделювання зсувів на Південному березі Криму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран В.М. Використання інтелектуальних систем при прогнозуванні зсувних процесів Південного берегу Криму. // Искусственный интеллект. – 2006. – №3. – С.441 – 449.
2. Таран В.М. Моделювання зсувних процесів Південного берегу Криму в умовах невизначеності. // Нові технології. – 2007. - № 1-2 (15-16). – С. 259 – 265
3. Терентьев А.Н., Бидюк П.И. Метод вероятностного вывода в байесовских сетях по обучающим данным // Кибернетика и системный анализ. – 2007. — № 3. — С. 93—99
4. Бидюк П.І., Кузнецова Н.В. Основні етапи побудови і приклади застосування мереж Байєса. // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. - №4. – С. 26 – 39.