

Наукова новизна та практична значущість. Розроблено один з можливих підходів до розв'язання, наведено розв'язок конкретної багатокритеріальної задачі комбінаторної оптимізації на множині полірозміщень з двома критеріями при відсутності додаткових лінійних обмежень за допомогою описаного методу.

Доцільним є розгляд питання про відкидання та приєднання обмежень при розв'язуванні даного класу задач, що може значно спростити їх розв'язування.

Література: 1. *Сергиенко И.В., Шило В.П.* Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. К.: Наукова книга, 2003. 260 с. 2. *Зайченко Ю.П.* Исследование операций. Нечеткая оптимизация: Учеб. пособие. Киев: ВШ, 1991. 198 с. 3. *Ємець О.О., Колечкіна Л.М.* Задачі комбінаторної оптимізації з дробово-лінійними цільовими функціями: Монографія. К.: Наук. думка, 2005. 113 с. 4. *Стоян Ю.Г., Ємець О.О., Ємець Є.М.* Опти-

мізація на полірозміщеннях: теорія та методи: Монографія. Полтава: РВЦ ПУСКУ, 2005. 103 с. 5. *Подиновский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 256 с.

Надійшла до редколегії 12.03.2007

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. Лагно В.І.

Колечкіна Людмила Миколаївна, докторант Інституту кібернетики ім. Глушкова НАН України. Наукові інтереси: програмування, моделювання систем. Хобі: читання літератури. Адреса: Україна, 36034, Полтава, пер. Хорольський, 8, кв. 15, тел. (0532)66-69-15.

Родіонова Олена Анатоліївна, викладач кафедри інформаційних управляючих систем, Полтавський інститут бізнесу. Наукові інтереси: програмування, моделювання систем. Хобі: читання літератури, астрономія. Адреса: Україна, 36008, Полтава, вул. Фрунзе, 146, кв. 13, тел. (0532)67-30-75.

УДК 004.7

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СХОДА ЛАВИНЫ

КУЗЕМИН А.Я., ЛЯШЕНКО В.В., ФАСТОВА Д.В.

Предлагается метод построения функций принадлежности лавиноопасных и нелавиноопасных множеств, который использует плотности распределения вероятностей лавиноопасных характеристик. Полученные нечеткие множества лавиноопасных ситуаций образуют эталонное множество. Исследование новых данных с эталонным множеством используется для интерпретации временных характеристик лавинного схода.

Введение

Прогнозирование катастрофических природных явлений представляет собой важнейшую функцию разрабатываемых геоинформационных систем. На основе моделей, с помощью которых осуществляется прогноз, производится реализация систем поддержки принятия решений, которые вырабатывают рекомендации по своевременному проведению профилактических мероприятий, направленных на предотвращение стихийных бедствий. При рассмотрении задач прогнозирования лавинной деятельности актуальной проблемой является прогнозирование временных характеристик, связанных со сходом лавин. Специфика данной задачи связана со скоротечностью лавинного схода, поскольку время движения лавины в среднем составляет от нескольких секунд до нескольких минут. Таким образом, определение времени лавинной деятельности является необходимым для предотвращения катастрофических последствий и человеческих жертв, связанных с этим природным явлением.

Постановка задачи

Среди известных подходов прогнозирования времени схода лавины можно выделить метод подобия образов [1] и регрессионный анализ [2]. Эти методы

относят к методам предварительной статистической обработки. Результаты прогноза, полученные с помощью перечисленных выше методов, не всегда применимы и имеют ряд недостатков. Метод ближайшего соседа требует значительных вычислительных ресурсов и поэтому не получил массового применения. Он не охватывает всех причин, приводящих к лавинообразованию, и применим для прогноза лавин только отдельных генетических типов, к примеру, лавин из свежеснежного покрова. Метод множественной линейной регрессии применяется в основном для расчета возможного количества лавин и для оценки их максимального объема. Средняя оправдываемость прогнозов составляет 80-87%.

Временная характеристика схода лавины может быть интерпретирована при помощи времени оперативного реагирования системы. Время оперативного реагирования системы $t_{оп}$ зависит от правильности отнесения события P_c к одному из двух классов: «лавинноопасно» и «нелавинноопасно». В нелавинноопасный период время оперативного реагирования системы увеличивается, т.е. чем больше вероятность отнесения ситуации к классу «нелавинноопасно», тем больше время оперативного реагирования системы. Время оперативного реагирования $t_{оп}$ в лавинноопасный период имеет обратную зависимость относительно P_c , т.е. чем выше вероятность лавинного события, тем меньше время оперативного реагирования системы. Такая ситуация соответствует лавинноопасному периоду. Таким образом, минимизация $t_{оп}$ может использоваться для вычисления времени схода лавины. В общем случае, минимизация времени оперативного реагирования системы является задачей стохастического программирования, где ограничениями выступают вероятностные функции количества (частоты) схода лавин.

Решение представленной задачи с помощью теории вероятностей имеет ряд недостатков, обуславливающих ее неприменимость.

Стохастическая неопределенность имеет место в ситуациях, когда событие может произойти, а может и не произойти. При этом с течением времени эта неопределенность может измениться. Дополнительно событие должно отвечать определенным условиям *статистической устойчивости* — сохранение частоты события в течение достаточно длительного времени при повторных испытаниях. Как известно, обеспечить идеальные условия на практике невозможно. Предельные теоремы теории вероятностей как раз и предназначены для оценки идеальности условий в длинной серии испытаний.

Вероятностный процесс образования и схода лавин представляет собой цепочку событий, предсказать последовательность которых просто невозможно. Могут быть точно описаны только статистические оценки некоторых усредненных характеристик такого процесса. Помимо этого стохастическая неопределенность имеет дело с неопределенностью того, произойдет ли некоторое хорошо описанное событие в будущем.

Таким образом, прогнозирование временной характеристики вероятного схода лавины представляет собой лингвистическую неопределенность, которая связана с неточностью описания самой ситуации и события независимо от времени их рассмотрения. Теория вероятностей не может использоваться для решения подобных проблем, поскольку представления о субъективных категориях, присутствующих в процессе мышления человека, в полной мере не согласуются с ее аксиомами.

Одним из направлений для решения поставленной задачи определения временных параметров лавинной опасности является применение методов и подходов теории нечетких множеств. Понятие нечеткого множества способно обеспечить адекватную информацию относительно неточного описания тех или иных ситуаций. По существу, этот подход наиболее применим для решения таких проблем, в которых неопределенность характеризуется отсутствием хорошо определенных критериев, позволяющих однозначно судить о принадлежности элементов тому или иному классу.

Целью данной работы является повышение эффективности принимаемых геоинформационной системой решений за счет построения нечеткой модели временных характеристик лавинной опасности.

Исходя из поставленной цели, можно выделить следующие подзадачи:

- обосновать возможность перехода к математическому аппарату теории нечетких множеств;
- построить функции принадлежности нечетких лавиноопасных и нелавиноопасных множеств;
- построить нечеткую эталонную модель ситуаций.

При работе с нечеткими множествами возникает проблема построения функции принадлежности для неко-

торого нечеткого множества, которая заключается в том, что “функция принадлежности должна быть задана вне самой теории и, следовательно, ее адекватность не может быть проверена непосредственно средствами теории” [3].

Существует две группы методов построения функции принадлежности – прямые и косвенные [3-5]. В прямых методах эксперт явно задает правила определения функции принадлежности (формулой, таблицей, примером). В косвенных методах функция принадлежности выбирается так, чтобы удовлетворять некоторым заранее сформулированным условиям. Экспертная информация является исходной для дальнейшей обработки. Для каждой группы методов возможно построение функции возможности как на основе мнения одного эксперта, так и на основе мнений нескольких экспертов. Стоит отметить, что мнение эксперта не всегда является субъективным, эксперт может руководствоваться некими строгими критериями (хотя сам выбор критериев также субъективен).

1. Построение функции принадлежности

Как было отмечено выше, для работы с нечеткими множествами необходимо построить функцию принадлежности. Рассматриваемые случайные величины представляют собой ситуации лавиноопасных $X_{л}$ и нелавиноопасных периодов – $X_{н}$, характеризующихся плотностями распределения вероятностей $p(X_{л})$ и $p(X_{н})$ соответственно. Обозначим нечеткие величины через $X_{\mu}(X_{л})$ с функцией принадлежности $\mu(X_{л})$ для лавиноопасных ситуаций и $X_{\mu}(X_{н})$ с функцией принадлежности $\mu(X_{н})$ для нелавиноопасных ситуаций.

Поскольку предполагается, что плотности распределения случайных величин известны (получены статистически), построим для случайных величин функцию принадлежности следующим образом:

$$\mu(X_{н}) = \frac{p(X_{н})}{\max(p(X_{н}))},$$

где $\max(p(X_{н})) = \max_{X_{н}}(p(X_{н}))$.

Эта функция отвечает интуитивным представлениям о том, что достоверность более вероятного события выше, чем достоверность менее вероятного события.

Кроме того, построенная функция обладает следующими свойствами:

$$\min(\mu(X_{н})) \geq 0, \quad \max(\mu(X_{н})) = 1.$$

Она является функцией принадлежности нормально нечеткого множества [6, 7].

Граница (boundary) нечеткого нелавиноопасного множества представляет собой четкое множество, у которого степень нечеткости отлична от 0 и 1: $\text{boun}(X_{н}) = \{x \mid 0 < \mu(X_{н}) < 1\}$. Однако, как видно

из рис. 1, границы лавиноопасных и нелавиноопасных нечетких множеств совпадают.

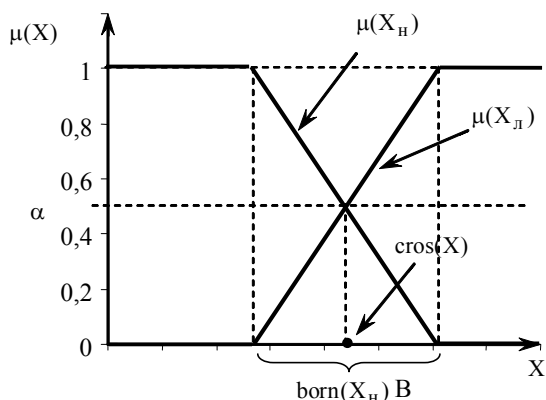


Рис. 1. Функции принадлежности лавиноопасного и нелавиноопасного нечеткого множества

С помощью точек перехода (crossover point) нечеткого множества, т.е. с определением четкого множества элементов, у которых степень нечеткости равна 0,5: $cros(X_H) = \{x \mid \mu(X_H) = 0,5\}$, можно выявить ситуации, которые нельзя однозначно отнести к одному из множеств.

В общем случае, функции принадлежности лавиноопасных и нелавиноопасных множеств не представляют собой дополнение. Алгоритм построения функции принадлежности в таком случае совпадает с методом построения функции принадлежности нелавиноопасного множества:

$$\mu(X_{л}) = 1 - \frac{p(X_{л})}{\max(p(X_{л}))},$$

где $\max(p(X_{л})) = \max(p(X_{л}))$.

Построенная функция принадлежности обладает следующими свойствами:

$$\min(\mu(X_{л})) \geq 0, \max(\mu(X_{л})) = 1.$$

С помощью описанных выше процедур может быть построена нечеткая эталонная модель ситуаций, которая образует нечеткое множество $X_{л} \cap X_{н}$, соответствующее пересечению нечетких множеств лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций с функцией принадлежности $\mu_{X_{л} \cap X_{н}} = \min(\mu(X_{л}), \mu(X_{н}))$.

2. Построение эталонной ситуации

Предположим, что построенная по входящим новым данным нечеткая функция принадлежности выглядит следующим образом (рис. 2).

Исследуя полученную модель нечеткой области, можно сделать следующий вывод: диапазон ситуаций, функция принадлежности которых соответствует лавиноопасному периоду, значительно увеличился; соответственно диапазон ситуаций, отвечающих нелавиноопасному периоду, уменьшился по сравнению с эталонными значениями. Изменение диапазонов зна-

чений представляет собой первоначальную процедуру по оценке временных характеристик лавинного схода. В исследуемой модели диапазон лавиноопасных значений увеличился, поэтому, согласно предложенной изначально гипотезе, уменьшилось время оперативного реагирования системы и сход лавины состоится. Однако временная характеристика лавинного схода по предложенной модели не может быть определена.

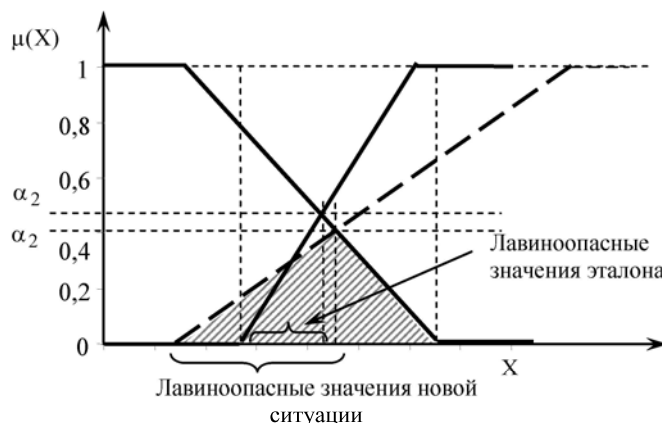


Рис. 2. Сравнение новой области с эталонной

Интерпретационная модель временной характеристики может быть представлена следующим образом (рис. 3). Горизонтальная ось представляет собой исследуемый временной период.

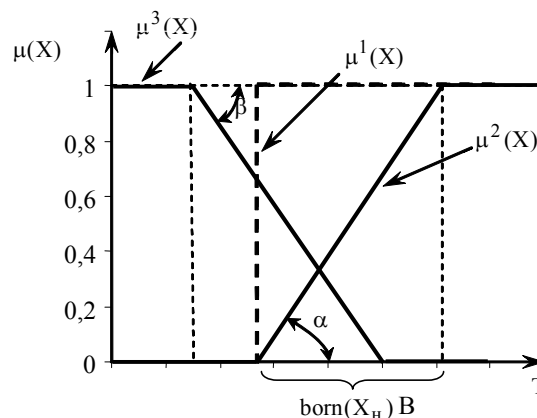


Рис. 3. Интерпретационная модель времени лавинного схода

Функция принадлежности $\mu^1(X_{л})$ соответствует наилучшей ситуации, когда время оперативного реагирования системы отсутствует, т.е. сход лавины наблюдается. Если функция принадлежности совпадает с временной осью, время оперативного реагирования системы максимально. Таким образом, анализируя границу перехода функции принадлежности, можно сделать выводы о временной характеристике лавинного схода.

Предположим, что функция принадлежности представлена функцией $\mu^2(X)$, тогда угол α соответствует времени оперативного реагирования системы. Увеличение значения угла α приводит к уменьшению времени оперативного реагирования системы. Это

соответствует лавиноопасной ситуации и подтверждает первоначальную гипотезу зависимости времени схода лавины и времени оперативного реагирования системы.

Если функция принадлежности имеет вид $\mu^3(X)$, тогда время оперативного реагирования системы увеличивается с ростом угла β . Такой вид функции принадлежности характеризует нелавиноопасный период. Отсутствие времени реагирования системы соответствует прямой параллельной оси ОТ при $\mu(X) = 1$. Тогда максимальное время реагирования соответствует углу $\beta = 90^\circ$.

3. Проверка модели на реальных данных

Используя предложенный аппарат, провели апробацию модели. Данные для ее построения получены из отчетов снеголавинной станции ИТ-АГАР республики Кыргызстан и содержат сведения о лавиносборе №12 за 2001-2005 годы.

Для лавиноопасного периода необходимо учитывать изменение угла α . Если максимальное время оперативного реагирования системы равно 36 часам, то по представленной модели время оперативного реагирования уменьшается приблизительно до 18 часов, т.е. в ближайшие 18 часов следует ожидать сход лавины.

Для нелавиноопасного периода значимым является угол β , который в общем случае равен 90° . При появлении нетипичных для нелавиноопасного периода характеристик угол β будет уменьшаться, что показывает нестандартное возникновение лавиноопасной ситуации. Данный угол является дополнительной характеристикой лавиноопасного периода (рис.4).

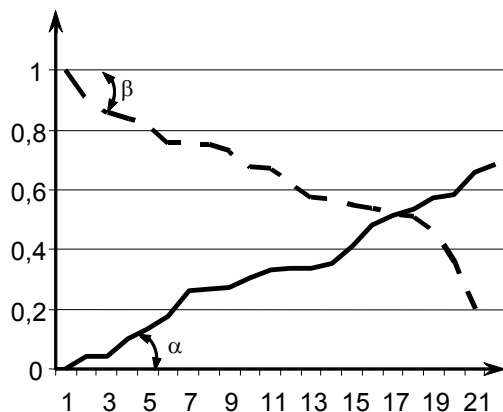


Рис. 4. Интерпретационная модель времени лавинного схода на реальных данных: сплошная линия – функция принадлежности лавин; пунктирная – функция принадлежности нелавин

Выводы

Предложен способ построения функции принадлежности по известной плотности вероятности. При этом отыскивается максимум плотности вероятности, который потом используется при оценке плотности вероятности величин. Таким образом, оценив функцию плотности вероятности и перейдя к нечетким переменным, можно работать с данными с помощью аппарата нечетких множеств.

Построена эталонная модель лавиноопасных ситуаций, с помощью которой производится оценивание поступающих новых данных.

Сравнение с эталонным множеством позволяет определить уровень нечеткого лавиноопасного множества.

Предложена интерпретационная модель времени лавинного схода, которое можно определить с помощью угла границы нелавиноопасного множества.

Литература: 1. Buser O., Butler M. and Good W. 1987. Avalanche forecast by the nearest neighbors method. IAHS Publ. 162. P. 557-569. 2. Ижболдина В.А. Аэросиноптические условия образования и схода метелевых лавин на Кольском полуострове // Исследования снега и лавин в Хибинах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. С.51-63. 3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с. 4. Борисов А.Н., Крумберг П.О., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с. 5. Норвич А.М., Турсон И.Б. Построение функции принадлежности // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. 408 с. 6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. М.: Радио и связь, 1982. 432 с. 7. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. 352с.

Поступила в редколлегию 12.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Сироджа И.Б.

Куземин Александр Яковлевич, канд. техн. наук, проф. кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057) 702-15-15,

e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

Ляшенко Вячеслав Викторович, с.н.с. кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8(057) 702-15-15,

e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

Фастова Дарья Владимировна, аспирантка кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8(057)702-15-15,

e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.