

Оценка категорий состояния деревьев хвойных пород бореальной зоны по глобальным признакам на основе нечеткой логики

А.С. Пятаев^{1,2}, А.Ю. Редькин², А.В. Пятаева^{1,3}

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, проспект им. газеты «Красноярский рабочий» 31, Красноярск, Россия, 660037

²Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Красноярского края», Академгородок 50а корп. 2, Красноярск, Россия, 660036

³Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 79, Красноярск, Россия, 660041

Аннотация. Определение категорий состояния деревьев позволяет спрогнозировать развитие леса на обследуемом участке. Категории состояния определяются специалистом-лесопатологом на основе субъективных представлений о глобальных признаках обследуемых деревьев. Автоматизация процесса принятия решений по определению категории состояния дерева позволит уйти от субъективности восприятия, повысив тем самым качество проводимых обследований. Для выделения глобальных признаков используется подход на основе нечеткой логики. Аппроксимация функций принадлежности лингвистических переменных выполнена с помощью функций Гаусса. Исследование проведено для деревьев хвойных пород бореальной зоны.

1. Введение

Определение состояния деревьев по совокупности визуальных признаков с разделением на категории широко используется в лесозащите при оценке санитарного состояния лесных насаждений. Такая оценка на основе результатов лесопатологического обследования позволяет запланировать экономически и экологически целесообразную систему мероприятий по защите леса, включающую в себя профилактические (организационно-технические, лесохозяйственные, лесокультурные, биотехнические и др.) и активные защитные санитарно-оздоровительные, и истребительные мероприятия. Корректность оценки санитарного состояния дерева зависит от опыта и квалификации специалиста-лесопатолога, выполняющего такую оценку. Лесопатолог при выполнении такой оценки оперирует субъективными понятиями такими, как густота кроны, оттенок хвои, степень дефолиации и т.д. Отнесение дерева к той или иной категории состояния выполняется на основе анализа признаков, которые можно разделить на глобальные и локальные. К локальным признакам можно отнести наличие дупел, ожоги, повреждение хвои и т.д. К глобальным – густоту кроны, цвет хвои, размер прироста, степень дефолиации, степень усыхания ветвей, отпад коры. Субъективность описания глобальных признаков порождает трудности и разногласия при оценке категории состояния дерева. Подход определения глобальных признаков на основе нечеткой логики призван устранить данную проблему.

2. Теоретическое исследование

Для формализации субъективных понятий глобальных признаков, на базе которых лесопатолог делает выводы об отнесении дерева к той или иной категории состояния, в работе [1] были выделены лингвистические переменные и их термы, показанные в таблице 1. Границы, степень определения и вид термов этих лингвистических переменных построены при взаимодействии со специалистами центра защиты леса Красноярского края.

Таблица 1. Лингвистические переменные и их термы.

Лингвистическая переменная	Термы
степень плотности кроны	густая, разреженная, ажурная, сильно ажурная
прирост	нормальный, уменьшен, слабый, очень слабый или отсутствует
степень усыхания ветвей	отсутствует, засохли отдельные ветви, усыхание до 2/3 кроны, усыхание более 2/3 кроны
отпад коры	отсутствует, частичный, полный
цвет хвои	зеленый, светло-зеленый, желто-зеленый, желтоватый, желтый, красно-бурый, серый

При этом характеристические функции, описывающие термы, являлись кусочно-линейными функциями (рисунок 1), заданными в табличном виде, что затрудняет автоматизацию расчетов. Один из вариантов устранения указанной проблемы – аппроксимация кусочно-линейных характеристических функций гладкими функциями.

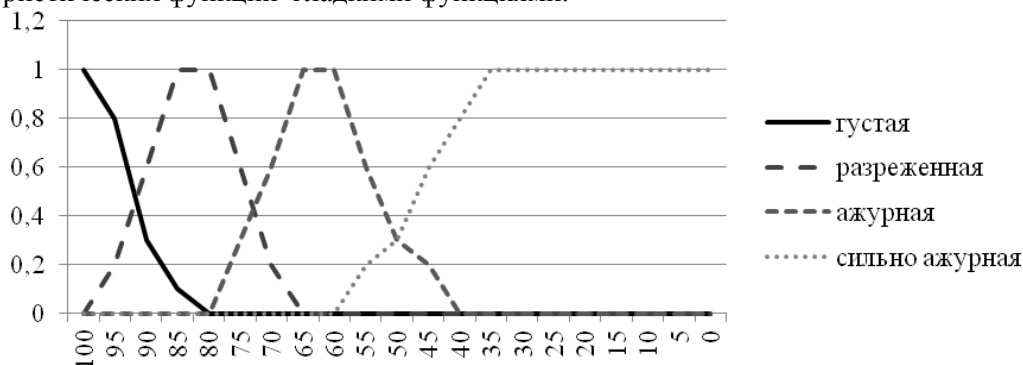


Рисунок 1. Графики термов лингвистической переменной «степень плотности кроны».

Методы аппроксимации активно применяются при решении различного рода задач в разных областях. Так в работе [2] получена новая конечномерная полудискретная схема аппроксимации для систем дифференциальных уравнений нейтрального типа с запаздыванием. В работе [3] представлен метод аппроксимации нечетких данных. Определяется нечеткая сглаживающая бикубическая сплайн-аппроксимация для заданного набора нечетких данных и оценивается погрешность аппроксимации с использованием методов подобию нечетких чисел. В работе [4] рассматривается использование метода свертки для построения приближений, содержащих последовательности нечетких чисел с полезными свойствами для общего нечеткого числа. В работе [5] приводится метод сглаживания поверхностей усовершенствованными сплайнами Гельмгольца.

В настоящей работе проведена сплайн-аппроксимация, предварительно скорректированных характеристических функций, функциями Гаусса. Исходные кусочно-линейные функции были представлены в табличном виде. Целью выполненной аппроксимации явилось нахождение функций, максимально близких к исходным кусочно-линейным функциям. При этом полученные функции должны были сохранить качество классификации.

Полученные характеристические функции применимы не только для сосны, но и для любой хвойной породы бореальной зоны. Результат проведения сплайн-аппроксимации функциями

Гаусса для термов лингвистической переменной «степень плотности кроны» показаны в таблице 2.

Таблица 2. Характеристические функции для лингвистической переменной «степень плотности кроны».

Терм	Характеристическая функция
густая	$f(x) = \begin{cases} 1/\exp \left[(x - 97)^2 / 32 \right], & x \leq 97 \\ 1, & x > 97 \end{cases}$
разреженная	$f(x) = \begin{cases} 1/\exp \left[(x - 82)^2 / 50 \right], & x \leq 82 \\ 1, & x \in (82, 87) \\ 1/\exp \left[(x - 87)^2 / 32 \right], & x \geq 87 \end{cases}$
ажурная	$f(x) = \begin{cases} 1/\exp \left[(x - 55)^2 / 50 \right], & x \leq 55 \\ 1, & x \in (55, 70) \\ 1/\exp \left[(x - 70)^2 / 50 \right], & x \geq 70 \end{cases}$
сильно ажурная	$f(x) = \begin{cases} 1, & x < 40 \\ 1/\exp \left[(x - 40)^2 / 50 \right], & x \geq 40 \end{cases}$

На рисунке 2 представлены графики аппроксимированных термов. По оси X отложен процент густоты кроны, по оси Y – степень уверенности.

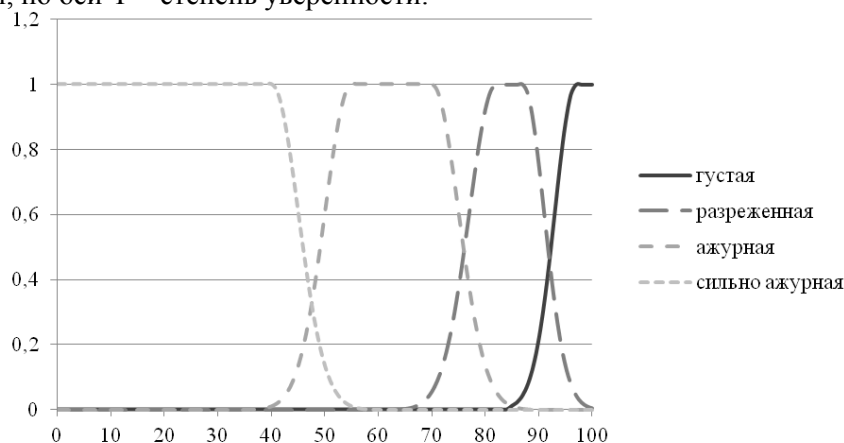


Рисунок 2. Графики аппроксимированных термов лингвистической переменной «степень плотности кроны».

Для остальных лингвистических переменных аппроксимация характеристических функций выполнена аналогичным образом. На рисунке 3 представлены графики уточненных кусочно-линейных и аппроксимированных термов.

На основе аппроксимированных характеристических функций лингвистических переменных построена база нечетких правил. Примеры нечетких правил, позволяющей сделать заключение о категории состояния обследуемого дерева:

- IF («степень плотности кроны» = «густая») AND («прирост» = «нормальный») AND («степень усыхания ветвей» = «0») THEN («состояние» = «здоровое»).

- IF («степень плотности кроны» = «ажурная») AND («прирост» = «слабый») AND («степень усыхания ветвей» = «от 10% до 65%») THEN («состояние» = «сильно ослабленное»).

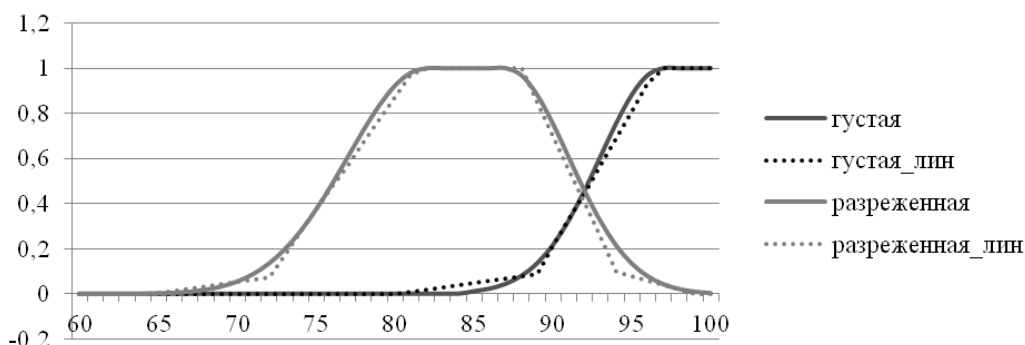


Рисунок 3. Сравнение графиков кусочно-линейных и аппроксимированных термов.

Так как аппроксимирующие функции максимально близки к исходным кусочно-линейным функциям, по итогам аппроксимации не произошло существенного изменения ни степени уверенности при введении нечеткости, ни силы срабатывания правил, ни вида выходной фигуры, ни четкого выходного значения. Как следствие этого не изменилось качество нечеткой классификации.

3. Заключение

В работе построена математическая модель, позволяющая описать субъективные понятия, влияющие на формирование заключения о санитарном состоянии дерева. При этом для решения задачи оценки категории состояния деревьев хвойных пород бореальной зоны по глобальным признакам на базе нечеткой логики проведена сплайн-аппроксимация исходных характеристических кусочно-линейных функций функциями Гаусса. Несмотря на то, что значение точности нечеткой классификации после аппроксимации функций принадлежности осталось на прежнем уровне, построенная в работе математическая модель, позволяет снизить затраты на автоматизацию расчетов, связанные с обработкой полученных данных лесопатологических обследований.

4. Литература

- [1] Пятаев, А.С. Определение категорий состояний сосны на основе нечеткой логики по визуальным данным / А.С. Пятаев // В материалах V международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли», 2018. – С. 184-187.
- [2] Fabiano, R.H. Spline approximation for systems of linear neutral delay-differential equations / R.H. Fabiano, Catherine Payne // Applied Mathematics and Computation. – 2018. – Vol. 338 – P. 789-808.
- [3] Gonzalez, P. 3D fuzzy data approximation by fuzzy smoothing bicubic splines / P. Gonzalez, H. Idais, M. Pasadas, M. Yasin // Mathematics and Computers in Simulation, 2018. (in Press) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378475418302751?via%3Dihub> (03.02.2019).
- [4] Huang, H. Approximation of fuzzy numbers using the convolution method / H. Huang, C. Wu, J. Xie, D. Zhang // Fuzzy Sets and Systems. – 2017. – Vol. 310 – P. 14-46.
- [5] Kouibia, A. Approximation of surfaces by modified Helmholtz splines / A. Kouibia, M. Pasadas, L. Reyah, R. Akhrif // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2019. – Vol. 350 – P. 262-273.

Tree state category identification for boreal area conifers using global features estimation by fuzzy logic approach

A.S. Pyataev^{1,2}, A.Y. Redkin², A.V. Pyataeva^{1,3}

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsky Rabochy Av. 31, Krasnoyarsk, Russia, 660037

²Branch of FBI «Russian Centre of Forest Health» – «Centre of Forest Health of Krasnoyarsk Krai», Akademgorodok 50A building 2, Krasnoyarsk, Russia, 660036

³Siberian Federal University, Svobodny pr. 79, Krasnoyarsk, Russia, 660041

Abstract. Tree state category identification allows forecasting forest development in the surveyed area. Tree state category determination process based on global features is subjective, so its automation will remove this drawback and improve inspections quality. For global features estimation fuzzy logic is used. The spline-approximation of the membership functions of fuzzy sets is made by Gaussian functions. The study was conducted for boreal coniferous trees.