

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПИЩЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Фролов Д.И.

Описаны возможности применения современных технологий мягких вычислений на этапе разработки современных пищевых продуктов. В последнее время мягкие вычисления широко изучаются и применяются в научно-исследовательских и инженерных целях. В биологической и пищевой инженерии исследователи разработали методы нечеткой логики, искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, деревьев решений и вспомогательных векторных машин для изучения сложных характеристик многих продуктов с целью принятия экономически эффективных мер, удовлетворяющих ограничениям производства и ожиданиям потребителей.

Ключевые слова: нейронные сети, нечеткие системы, пищевая микология, пищевые технологии.

Введение

Мягкие вычисления – это набор вычислительных методов, таких как нечеткая логика (НЛ), искусственные нейронные сети (ИНС) и генетические алгоритмы (ГА). Эти вычислительные методы, в отличие от жестких вычислений, которые относятся к огромному набору традиционных методов, таких как стохастические и статистические методы, предлагают несколько “неточные” решения очень сложных проблем путем моделирования и анализа с допуском неточности, неопределенности, частичной истинности и аппроксимации. По сути, мягкие вычисления – это интеграция биологических структур и вычислительных технологий. Нечеткая логика разрабатывает многозначные, нечисловые лингвистические переменные для моделирования человеческого мышления в неточной среде. ИНС предоставляет конфигурации, состоящие из взаимосвязанных искусственных нейронов, которые имитируют свойства биологических нейронов. ГА – это способ решения проблем путем имитации тех же процессов, которые использует природа посредством отбора, рекомбинации и мутации. Мягкие вычисления используются для достижения управляемости, надежности и обеспечения недорогого решения с допуском неточности, неопределенности, частичной достоверности и приближенности. Это делает мягкие вычисления, способными решать проблемы, которые более традиционные методы еще не смогли обеспечить экономически эффективным, аналитическим или другим способом.

Среди методов мягких вычислений НЛ, по-видимому, является первым, который установил фундаментальные идеи мягких вычислений. Устоявшиеся базовые идеи повлияли на другие техники, которые появились позже. В последние годы возрос интерес к использованию нейронных сетей в качестве алгоритмов решения задач, которые могут вы-

полнять отображение, регрессию, моделирование, кластеризацию, классификацию и многомерный анализ данных. Гибкость нейронной сети предназначена для решения весьма нелинейных задач и любых данных. Искусственные нейронные сети применимы также к ряду видов контроля качества пищевых продуктов [1]. Генетические алгоритмы отличаются от других методов поиска тем, что они ищут среди совокупности точек и используют вероятностные оценки, а не детерминированные правила перехода. Они также находят широкое применение в пищевой технологии [2].

В настоящее время методы мягких вычислений успешно применяются в области сельского хозяйства, биологии и пищевой промышленности [4]. В этой статье представлен краткий обзор некоторых практических применений методологий мягких вычислений в пищевой промышленности и безопасности пищевых продуктов, чтобы подчеркнуть их потенциал для решения многих практических задач.

Результаты и их обсуждение

Прогнозирование в производстве продуктов питания

Для каждой современной компании очень полезно иметь хорошую оценку того, как ключевые индикаторы будут вести себя в будущем, задача, которая выполняется прогнозированием. Эффективная система прогнозирования может улучшить использование машин, сократить запасы, добиться большей гибкости к изменениям и увеличить прибыль. В частности, прогнозирование продаж очень важно, так как его результат используется многими функциями в организации. Производство, нуждается в долгосрочном прогнозе для планирования развития предприятия и оборудования и более детальном краткосрочном прогнозе для организации производственного плана.

Маркетинг нуждается в представлении о будущем рынке, чтобы планировать свои действия и оценивать влияние изменений в маркетинговой стратегии на объемы продаж. Пищевые компании больше озабочены прогнозированием продаж из-за их особых характеристик, таких как короткий срок хранения их продукции, необходимость поддержания высокого качества продукции и неопределенность в колебании потребительского спроса. Поскольку продукция может продаваться только в течение ограниченного периода времени, как нехватка, так и избыток товаров могут привести к потере дохода для компании. Колебания потребительского спроса вызваны такими факторами, как цена, акции, изменение потребительских предпочтений или изменения погоды. Недавняя инициатива нескольких крупных компаний пищевой промышленности, направленная на совершенствование практики прогнозирования, выявила, что 48 % компаний пищевой промышленности плохо прогнозируют. Методологии, используемые при прогнозировании продаж, обычно представляют собой алгоритмы временных рядов, которые могут быть классифицированы как линейные или нелинейные в зависимости от характера модели, на которой они основаны. Линейные модели, такие как авторегрессионная скользящая средняя (ARMA) и авторегрессионная интегрированная скользящая средняя (ARIMA), являются наиболее популярными методологиями, но их способность прогнозирования ограничена их предположением о линейном поведении и, таким образом, не всегда удовлетворительна [3]. Для рассмотрения возможных нелинейностей в моделировании временных рядов исследователи внедрили ряд нелинейных методологий. Их главный недостаток заключается в том, что тип нелинейности заранее не известен и структура модели должна выбираться методом проб и ошибок. Передовые технологии искусственного интеллекта, такие как искусственные нейронные сети (ИНС) и системы нечеткой логики, используют более сложные структуры общих моделей, которые могут включать характеристики сложных данных и создавать точные модели временных рядов, устраняя трудоемкую процедуру проб и ошибок.

Очевидно, что ключевой вопрос касается точности каждого метода моделирования. С этой целью был проведен ряд исследований для сравнения вышеупомянутых методов, и результаты явно не в пользу одного конкретного метода. Искусственные нейронные сети были успешно применены для решения проблем, связанных с продажей продуктов питания, таких как прогнозирование воздействия рекламной деятельности и выбора потребителей на объемы продаж, и было обнаружено, что они работают лучше, чем линейные модели. ИНС одинаково хорошо работают с линейными методами в 30 %, и лучше в 56 % рассмотренных случаев. В исследовании разных авторов были сопоставлены линейные и нелинейные методы и было обнаружено, что с точкой зрения производительности прогнозирования, комбинация нелинейных методов лучше, чем ком-

бинации линейных методов. Кроме того, нейронные сети с прямой связью, которые составляют особую архитектуру ИНС, работали одинаково хорошо или лучше, чем традиционные методы, в более чем половине случаев. Исследователи отмечают, что ни один метод не является лучшим в каждой ситуации и что комбинирование различных режимов является эффективным и действенным способом повышения точности прогнозирования, приводя примеры предыдущей работы в гибридных методах, использующих нейронные сети.

Оптимальные условия работы при сушке пищевых продуктов

Сушка является важной процедурой в пищевой промышленности. Процесс сушки пищевых продуктов предполагает одновременный тепломассообмен, который моделируется с различными уровнями сложности. Чтобы получить оптимальные рабочие условия в процессе сушки в режиме реального времени, требуется математическое описание тепломассопереноса во время процесса сушки. Существует несколько работ, позволяющих рассчитать оптимальные условия эксплуатации с использованием различных математических моделей. Так, например исследователи оценивали оптимальные рабочие условия при сушке пищевых продуктов перегретым паром. Авторы решили уравнения баланса массы и энергии и преобразовали их в общее уравнение начальной скорости сушки, где все характеристики сушилки были сгруппированы в один безразмерный параметр. Однако расчет оптимальных параметров иногда бывает сложным и требует специального программного обеспечения, особенно если учитывать сложность процесса сушки. Эмпирические модели используются для оперативного контроля процесса сушки. Так, например, искусственные модели нейронных сетей разрабатываются для быстрого расчета скоростей сушки, а также для прогнозирования температуры и содержания влаги на линии, в процессе сушки. В настоящее время они находят широкое применение в пищевой промышленности и особенно в процессах сушки. Преимущество этого класса моделей заключается в простых арифметических операциях с хорошо известными входными параметрами. Однако во многих случаях, когда мы хотим иметь оптимальный выходной сигнал, оптимальные входные параметры неизвестны. Следовательно, целью этой очень важной работы является разработка стратегии для получения в режиме онлайн оптимальных условий эксплуатации в процесс сушки из искусственных нейронных сетей.

Определение оптимальных заданных значений в пищевой промышленности с учетом сенсорного анализа

Сенсорные характеристики часто являются конечными показателями качества пищевых продуктов. Однако процессы производства продуктов питания должны регулироваться путем контроля измеряемых с помощью инструментов переменных и манипулируемых переменных процессов. Для получения пищевых продуктов с желаемым сенсорным

качеством необходим эффективный метод преобразования сенсорных целевых показателей качества в инструментальные заданные точки процесса. Важным вопросом в управлении пищевыми процессами на основе сенсорного качества является количественная оценка и интерпретация сенсорных оценок. Поскольку человеческое мышление и мышление естественно нечеткие, концепция нечеткого множества была применена рядом исследователей при проведении и анализе сенсорных оценок человека.

Сенсорные шкалы были сформулированы как нечеткие множества, сенсорные атрибуты-как нечеткие переменные, а сенсорные реакции – как оценки принадлежности к выборке. Ответы нескольких экспертов были представлены в виде нечетких гистограмм ответов. Максимальный метод дефазификации был использован, чтобы дать четкую оценку мнения большинства. Затем нейронные сети использовались для прогнозирования сенсорных реакций цвета мышц бифштекса и обилия мраморности на основе инструментальных измерений. Нечеткий вектор членства может представлять ответы нескольких экспертов в незапятнанном виде, избегая необоснованных и непроверяемых допущений, заложенных в обычном числовом оценивании.

Моделирование в пищевой микологии

Прогнозирующие рост модели в настоящее время принимаются в качестве информативных инструментов, которые помогают в быстрой и экономически эффективной оценке роста микробов для разработки продуктов, оценки рисков и в образовательных целях. В последнее время прогнозирующая микробиология используется для прогнозирования роста порченных микроорганизмов с целью изучения срока хранения пищевого продукта. Грибковая порча продовольственных товаров приводит к значительным экономическим потерям, и, хотя за последние годы промышленные стандарты значительно улучшились, порча пищевых продуктов грибами по-прежнему вызывает серьезную озабоченность как у производителей продовольствия, так и у регулирующих органов. Сегодня необходимо понять рост грибов в продуктах питания, особенно те факторы, которые связаны с новыми технологиями обработки и упаковки. Грибковое присутствие на пище может отрицательно повлиять не только на органолептическую ценность товара, из-за появления видимого мицелия и развития запаха, приводящего к отторжению потребителя, но, самое главное, на его пищевую ценность, производя токсичные метаболиты, которые могут быть канцерогенными, создавая тем самым риск для здоровья населения. Повышение качества и безопасности пищевых продуктов требует разработки соответствующих инструментов, позволяющих прогнозировать рост грибов. В последние годы прогностическая микробиология была сосредоточена на пищевых патогенах, тогда как прогностическое моделирование нитчатых грибов не получило такого же уровня внимания. В последнее время ситуация изменилась, и в литературе появляется все больше исследований, посвященных подходу к

предсказательному моделированию грибов. Полиномиальные модели широко используются в прогнозной микробиологии для количественной оценки влияния различных факторов окружающей среды на рост грибов. Они обычно определяются с помощью множественного линейного регрессионного анализа и позволяют учитывать любые параметры окружающей среды и их взаимодействия. После разработки модели можно построить рост микроорганизмов в различных условиях в пределах экспериментального диапазона переменных, используемых для разработки модели. Однако существуют определенные недостатки этих моделей, такие как: они разрабатываются из линейных и квадратичных комбинаций переменных, где линейность может быть неоправданной; проблемы коллинеарности среди переменных могут существовать; анализ чувствительности входных переменных затруднен из-за наличия перекрестных взаимодействий. В последние годы искусственные нейронные сети используются в качестве альтернативы традиционным регрессионным моделям благодаря их способности описывать очень сложные и нелинейные проблемы во многих областях науки. Методологии, основанные на ИНС, были первоначально рассмотрены в прогнозной пищевой микробиологии. Нейронные сети обычно не имеют ограничений на тип связи между параметрами роста (входными паттернами) и требуемым выходом, в то время как регрессионные модели требуют, чтобы порядок модели был указан заранее. В отличие от этого, искусственные нейронные сети непосредственно исследуют знания, содержащиеся в шаблонах ввода-вывода, регулируя параметры нелинейной топологии ИНС, поскольку шаблоны ввода-вывода неоднократно представлены в сети. Когда система контролируется обучением с использованием соответствующего набора данных обучения, она может использоваться для прогнозирования кинетических значений роста для различных условий роста в пределах начального экспериментального диапазона. Несколько опубликованных работ показывают, что нейросетевые модели дают лучшую оценку кинетических параметров микроорганизмов, чем модели поверхности отклика. В недавнем исследовании, ИНС были сравнены с моделями поверхности реакции в исследовании скорости роста *L. Plantarum* и *E. coli*, соответственно, и было сообщено, что подход ИНС превзошел статистические модели, основанные на его более низком члене SEP, несмотря на то, что модели ИНС имели более высокую степень сложности. Разработаны общие регрессионные нейронные сети для моделирования роста *Aeromonas hydrophila*, *S. Flexneri* и *Brochothrix thermosphacta*, которые дали результаты лучше прогнозов статистических моделей, основанных на более низких значениях ошибок. Изучено влияние температуры, активности воды и pH на термическую инактивацию моноцитогенов листерий с использованием методологии поверхности отклика, модели серфа и искусственной нейронной сети и получены результаты более высокой точности при сетевом подходе. Также были разработаны нейронные

сети низкой сложности для моделирования влияния температуры, pH и NaCl на микробную активность и получены результаты с лучшей производительностью прогнозирования по сравнению с классическими моделями предсказательной микробиологии.

Выводы

В настоящей статье представлены различные применения методологий мягких вычислений в пи-

щевой технологии. Полученные результаты показывают потенциальную применимость современных методов искусственного интеллекта для решения широкого спектра научных и производственных задач в области пищевых технологий. Использование таких методов может повлиять на разработку более эффективных, безопасных и удовлетворяющих потребности потребителей продуктов, а также на снижение издержек производства.

Список литературы

- [1] Liu, F., X. Ye, Y. He and L. Wang, Artificial neural networks applicable to several types of food control, Journal of Food Engineering, 2009, No. 93, pp. 127–133.
- [2] Oonsiviali, A. and R. Oonsiviali A genetic algorithms programming application in natural cheese products. WSEAS Transactions on Systems, 2009, 8 (1), pp. 44–54.
- [3] Zhang, G., Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Journal of Neurocomputing, 2003. No. 50, pp. 159–175.
- [4] Иванченко А.Я. Применения мягких вычислений для регулирования технологических процессов // Инновационные информационные технологии. 2013. Т. 2. № 2. С. 560–563.

PROSPECTS OF USING FUZZY LOGIC AND NEURAL NETWORKS IN FOOD TECHNOLOGY

Frolov D.I.

The possibilities of using modern soft computing technologies at the stage of developing modern food products are described. Recently, soft computing has been widely studied and applied for research and engineering purposes. In biological and food engineering, researchers have developed methods for fuzzy logic, artificial neural networks, genetic algorithms, decision trees, and auxiliary vector machines to study the complex characteristics of many products in order to take cost-effective measures that meet production constraints and consumer expectations.

Keywords: *neural networks, fuzzy systems, food mycology, food technologies.*

References

- [1] Liu, F., X. Ye, Y. He and L. Wang, Artificial neural networks applicable to several types of food control, Journal of Food Engineering, 2009, No. 93, pp. 127–133.
- [2] Oonsiviali, A. and R. Oonsiviali A genetic algorithms programming application in natural cheese products. WSEAS Transactions on Systems, 2009, 8 (1), pp. 44–54.
- [3] Zhang, G., Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Journal of Neurocomputing, 2003. No. 50, pp. 159–175.
- [4] Ivanchenko A.Ya. Primeneniya myagkikh vychislenii dlya regulirovaniya tekhnologicheskikh protsessov // Innovatsionnye informatsionnye tekhnologii. 2013. T. 2. No. 2. pp. 560–563.