

Мягкие вычисления для аппроксимации дискретных данных большой размерности на примере обработки сигналов эхолота

Д. О. Глухов¹, Т. М. Глухова², Р. П. Богуш³

Полоцкий государственный университет
¹d.gluhov@psu.by, ²t.gluhova@psu.by, ³bogushr@mail.ru

В. В. Трофимов⁴, Л. А. Трофимова⁵

Санкт-Петербургский государственный экономический университет
⁴tw@mail.ru, ⁵L_Trofimova@bk.ru

Аннотация. В данной работе предлагается новый метод построения аппроксимации данных эхолота на основе оригинальной реализации нечеткой логики. Применение математического аппарата нечеткой логики обусловлено возможностью гибкой настройки аппроксиматора под условия решаемой задачи при работе с данными большой размерности. В работе также предложен способ получения карт ихтиофауны по результатам интеллектуальной обработки данных эхограммы.

Ключевые слова: аппроксимация данных эхолота; нечеткая логика; большие данные; эхограмма

Современные средства обнаружения подводных объектов с помощью акустического излучения (гидролокаторы) получили широкое распространение при решении различных прикладных задач. Узкоспециализированным классом гидролокаторов, предназначенных для изучения рельефа дна водного бассейна, являются эхолоты. Такие устройства используют ультразвуковые волны различных диапазонов для построения топографической карты дна.

В настоящее время на рынке присутствует широкий выбор эхолотов различных поставщиков. Наиболее известными являются эхолоты Lowrance, Raymarine, Humminbird. Причем большинство современных эхолотов имеют в своем составе модуль GPS. Такие устройства называются картплоттерами. Картплоттеры обеспечивают привязку данных эхограммы к X, Y координатам сферической проекции Меркатора (система координат WGS-84/UTM). Особенностью эхограмм является то, что данные GPS обновляются существенно реже, чем данные ультразвукового зондирования, поэтому невозможно говорить о географической привязке каждого отдельного акта акустического зондирования.

Современные форматы представления эхограмм содержат в своей структуре координаты проекции Меркатора, изменяющиеся скачкообразно, по мере обновления данных модуля GPS. Наиболее распространенными форматами представления эхограмм на сегодняшний день являются форматы SL2 и SLG фирмы Lowrance. Формат SL2 применяется для многолучевого эхолота имеющего функцию нижнего

сканирования DownScan и структурного сканирования StructureScan (луч с частотами 455 кГц или 800 кГц) и возможность вести зондирование Primary и Secondary лучами (с частотами 83 кГц и 200 кГц) одновременно.

На сегодняшний день известно несколько программных комплексов, предназначенных для обработки файлов журнала эхолотов. Это программный комплекс ReefMaster компании ReefMaster Software Ltd., программный комплекс DrDepth (в настоящее время данный проект приобретен компанией Humminbird и на его основе создана программа AutoCharts), Surfer, ArcGis, GlobalMapper и другие. Помимо высокой стоимости, в большинстве ГИС для решения данной задачи игнорируется информация акустического эха, а анализируются исключительно данные о глубине. Такой подход лишает нас возможности построения карт концентрации рыбы, присутствия растительности, о местах обитания крупной рыбы и других характеристиках водоема, косвенно извлекаемых из данных эхолокации.

Для построения топографической карты дна по дискретному множеству замеров традиционно применяются различные методы пространственной интерполяции. Методы геостатистического оценивания, такие как крикинг, требуют большого объема вычислений, но позволяют получать оптимальные в определенном смысле интерполяции. [7]

Когда речь идет об обработке данных эхолота, важно отметить такую особенность, что данные фрагментарны, ограничены и, зачастую, недостаточны для получения надежных статистических оценок. Наличие неопределенности такого рода является дополнительным аргументом в пользу применения мягких вычислений. Если рассматривать неизвестный параметр как непрерывный, то можно провести параллель между выводом о значении неизвестного параметра и приближением функции. [3]

Идея применения нечеткого логического аппроксиматора для построения топографической карты дна следует из аналогии. Совокупность точечных замеров глубин можно рассматривать как систему знаний о свойствах и структуре водоема. Каждое акустическое

зондирование – это факт, который описывается, с точки зрения формальной логики, как правило:

ЕСЛИ координаты X, Y **И** время t **ТО** глубина Depth, температура воды T, и т.д.

В данной работе в качестве универсального адаптивного аппроксиматора предлагается использовать аппарат специфической реализации нечеткой логики разработанной в 1998г. в рамках диссертационного исследования Глухова Д.О. и получившей дальнейшее развитие в работах авторов данной публикации. [1, 2, 4, 5]

Рассмотрим формализацию задачи построения карты глубин. Обращение к внутренней структуре вводимых сущностей будем изображать, используя оператор точка «.». Тогда обозначение вида $a.b$ будет обозначать обращение к свойству b элемента a .

Для хранения информации о точке мы будем оперировать конструкцией, включающей помимо информации о глубине, информацию о всех вычислимых характеристиках: $p = \langle x, y, z, r_1, r_2, \dots \rangle$

Пусть $P = \{p_i\}$ – множество узлов аппроксимации, представляющее собой точки трека эхолота и контура водного объекта (внешние границы и границы островов).

Введем оператор определения расстояния между точками как $L(p, p_i)$.

Продолжая аналогию с производственной системой, знание о фрагменте водоема распространяется на окружающие фрагменты в соответствии с унимодальной функцией принадлежности, имеющей максимум в заданной точке. Нами предлагается функция принадлежности в пространстве расстояний от точки узла аппроксимации p_i до точки p вида:

$$\varphi(p, p_i) = \frac{1}{L(p, p_i)^n} \mid L(p, p_i) < L_{limit}$$

Значение искомого параметра, например, глубины z , в неизвестной точке p будет определяться дефазификацией методом центра тяжести при рассмотрении полученных единиц влияния (валидных правил) как синглетонов, а именно:

$$p.z = \frac{\sum_i \varphi(p, p_i) p_i.z}{\sum_i \varphi_i} \quad (1)$$

Аппарат нечеткой логики дает нам пространство выбора различных вариантов формы и параметров функции принадлежности, в том числе, форма функции принадлежности может отражать вероятностный характер изменчивости рельефа.

В нечеткой логике Бозе логические операции И и ИЛИ реализуются в виде операций взятия минимума и максимума соответственно. Поэтому вывод о значении неизвестного параметра строится, как говорят, по минимаксному принципу. Если предикат представляет собой условие в пространстве расстояний между

неизвестной точкой p и узлом аппроксимации p_i , а пространство неизвестного параметра (например, глубины z), то вывод методом центра тяжести будет выглядеть следующим образом:

$$p.z = \frac{\int \max(\varphi(p, p_i)) z dz}{\int \max(\varphi(p, p_i)) dz} \quad (2)$$

Нами также предложены модификации метода дефазификации, устраняющие диспропорцию влияния множества близкорасположенных точек, путем дискретизации пространства и замены влияния группы правил, попавших в один интервал дискретизации, на влияние одного правила с максимумом функции принадлежности в точке p . Интересным вариантом устранения влияния неравномерности расположения узлов является дискретизация угла.

Введем оператор $angle(p, p_i)$, возвращающий номер сектора круга в который попадает угол между неизвестной точкой p и узлом аппроксимации – точкой p_i . Определим ближайшую точку для каждого сектора следующим образом:

$$PA_{angle(p, p_i)} = p_i \mid \forall p_j \in P \ p_j \neq p_i \ angle(p, p_j) = angle(p, p_i), \varphi(p, p_i) > \varphi(p, p_j), L(p, p_i) < L_{limit}$$

Значение неизвестного параметра, на примере глубины z , для 8-секторного разбиения:

$$p.z = \frac{\sum_{k=1}^8 \varphi(p, PA_k) PA_k.z}{\sum_{k=1}^8 \varphi(p, PA_k)} \quad (3)$$

Если интервал дискретизации по углу стремится к 0, то выражение (2) примет вид:

$$p.z = \frac{\int_{-\pi}^{\pi} \varphi(p, \alpha) z(\alpha) d\alpha}{\int_{-\pi}^{\pi} \varphi(p, \alpha) d\alpha}, \quad (4)$$

где $\varphi(p, \alpha)$ – это кусочно-линейная интерполяция в полярных координатах значений максимальных функций принадлежности ближайших в направлении α точек, а $z(\alpha)$ – кусочно-линейная интерполяция в полярных координатах значение глубин точек с максимальным значением функции принадлежности.

Сравнительный результат применения дискретизации, как метода устранения влияния неоднородности расположения узлов аппроксимации, приведен на рис. 1. На рис. 1а пространство между трендами эхолота получилось приподнятым в результате влияния узлов контура озера. На рис. 1б пространство между трендами корректно аппроксимируется как переход глубин между глубинами трендов.

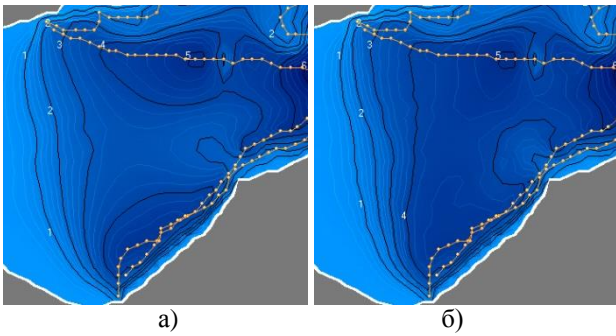


Рис. 1. Результат работы алгоритмов аппроксимации а) – согласно формуле 1, б) – согласно формуле 3

Ключевое отличие нечеткой логической аппроксимации от традиционных способов аппроксимации проявляется в возможности учета нескольких предикатов. Например, мы формулируем условие аппроксимации, которое должно учитывать, помимо информации о глубине, информацию о структуре дна, для того, чтобы устранить влияние скачков глубины, возникающих от находящихся на дне артефактов.

ЕСЛИ координаты X , Y **И** структура дна без артефактов, **ТО** глубина Z , температура воды T , и т.д.

В этом случае значение предикатов должны быть нормализованы и нами предлагается следующая модификация функции принадлежности:

$$\varphi(p, p_i) = \left(1 - \frac{L(p, p_i)}{L_{limit}}\right)^n \mid L(p, p_i) < L_{limit}$$

Пусть значение неровности дна определено для точки p и равно $R(p)$. Нормализуем значение данного параметра и построим оценку вербального термина «дно без артефактов» следующим образом:

$$\varphi_R(p) = \left(1 - \frac{R(p) - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}\right)^m, \text{ тогда}$$

$$p.z = \frac{\int \max(\min(\varphi(p, p_i), \varphi_R(p))) z dz}{\int \max(\min(\varphi(p, p_i), \varphi_R(p))) dz}$$

В итоге мы получаем классическое минимаксное представление логического вывода о значении неизвестного параметра и, соответственно, аппроксимацию поверхности дна со снижением влияния артефактов.

Для получения карт других характеристик водоема, косвенно извлекаемых из данных эхолотации, необходимо подчеркнуть, что для их определения применяются методы обработки изображений, получаемых в результате восстановления эхограммы по файлу журнала эхолота.

Учитывая высокую зашумленность эхограмм и изменчивость чувствительности приемника на протяжении эхолотации, наблюдается высокий процент ложных срабатываний автоматических алгоритмов. Поэтому нами предложен способ, основанный на «ручной» верификации и корректировке данных автоматической оценки в удобной для пользователя форме (рис. 2).

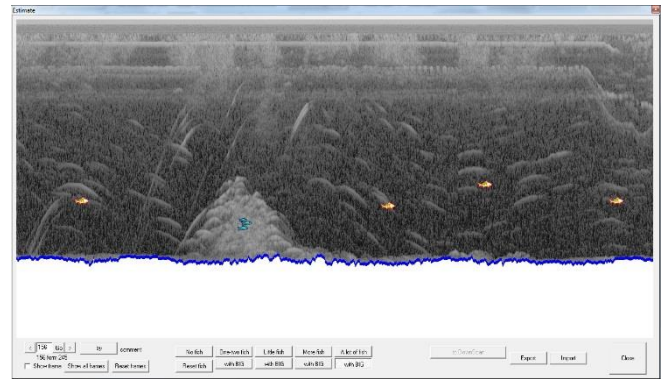


Рис. 2. Форма ручной верификации «вторичных» характеристик эхограммы

Далее для каждой из рассматриваемых характеристик строится соответствующий аппроксиматор на аналогичных принципах, как и для рельефа и структуры дна (рис. 3).

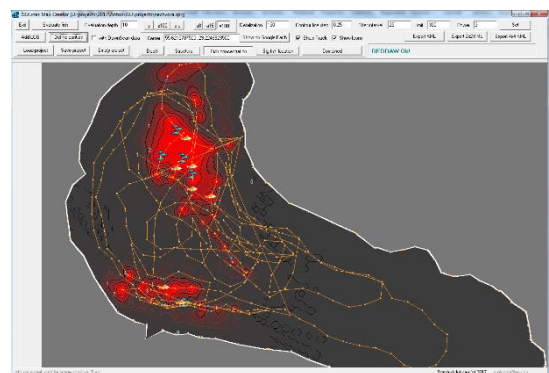


Рис. 3. Карта концентрации рыбы

Получаемые карты упаковываются в KMZ формат и экспортируются в известные ГИС системы, программы навигаторы или картплоттеры. Пример загрузки в Google Earth представлен на рис. 4.

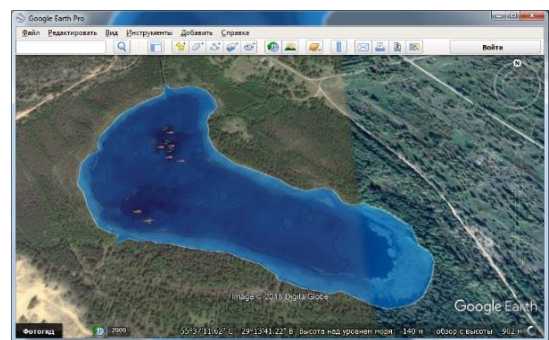


Рис. 4. Google Earth оверлей в формате KMZ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен метод построения аппроксимации данных акустического зондирования, основанный на математическом аппарате нечеткой логики. Предложены алгоритмы построения карт характеристик водных объектов, которые можно извлечь в результате

интеллектуальной обработки информации, содержащейся в журналах эхолокации современных эхолотов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] V. Trofimov, A. Gloukhov, D. Gloukhov Algorithm of ecological monitoring by fuzzy production rules / 2-nd International Conference Ecology and Society's Development Abstracts. St.P.: МАНЭБ, 1997. p.166.
- [2] Dmitry O. Glukhov Dynamic expert system by fuzzy inference rules to automations an examination of complex objects / Budownictwo i Inzynieria Srodowiska. Zielonogorsk: Politechnika Zielonogorska, 1998. ISBN 83-85911-60-X. P.105-109.
- [3] Driankov, Hellendoorn, Reinfrank, An introduction to fuzzy control. Springer-verlag, 1993.
- [4] Глухов Д.О., Кастрюк А.П., Глухова Т.М. Применение унимодальных функций принадлежности в нечетких производственных системах для решения задач интеллектуального управления динамическими процессами // Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. №3. Серия С. Новополоцк: РИО ПГУ, 2009. 115-119 с.
- [5] Глухов Д.О., Глухова Т.М., Кундас С.П. Мягкие вычисления для организации компьютерного представления номограмм на примере вычисления предельного коэффициента ползучести // Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. №3. Серия С. Новополоцк: РИО ПГУ, 2010. 2-6 с.
- [6] Глухов Д.О., Лазовский Е.Д., Глухова Т.М., Самощенко Г.А. Применение мягких вычислений для сглаживающей аппроксимации сложных сингулярных зависимостей // Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. №12. Серия С. Новополоцк: РИО ПГУ, 2012. 2-5 с.
- [7] Гандин Л.С. Задача об оптимальной интерполяции. Тр. Глав, геофиз. обсерв. 1959. Т. 99. С. 67-75.