

ПРИМЕНЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ НЕЙРО- ОКРЕСТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ

И.А. Седых

Липецкий государственный технический университет
Россия, 398055, Липецк, Московская ул., 30
E-mail: sedykh-irina@yandex.ru

В.А. Истомин

Липецкий государственный технический университет
Россия, 398055, Липецк, Московская ул., 30
E-mail: istomin96@mail.ru

Ключевые слова: математическое моделирование, окрестностные модели, нейронные сети, иерархические динамические нейро-окрестностные модели, Python.

Аннотация: В статье рассмотрена актуальность исследования моделирования сложных распределенных динамических систем. Особое внимание уделяется иерархической динамической нейро-окрестностной модели, которая обладает иерархической структурой, динамикой, окрестностным подходом и использованием нейронных сетей. Иерархия позволяет учитывать различные уровни абстракции, динамичность - изменения во времени, а окрестностная модель - основные узлы и связи моделируемого объекта. Нейронные сети используются для обработки данных, что способствует адаптации к сложным паттернам и извлечению зависимостей. Статья также рассматривает разнообразные области применения иерархической динамической нейро-окрестностной модели, включая финансовую аналитику, автоматизацию производства, управление системами, игровую индустрию, науку искусственной жизни, безопасность, сети связи, логистику, экологию, энергетику и образование. Это демонстрирует универсальность и многостороннюю применимость модели в различных областях человеческой деятельности. Представлен пример реализации модели.

1. Введение

Математическое моделирование сложных распределённых динамических систем остается актуальным и важным направлением исследований [1-3]. В современном мире, где сложные взаимодействия и динамика играют ключевую роль в различных областях, таких как физика, экономика, биология, климатология и технологии, математическое моделирование помогает понять, прогнозировать и оптимизировать поведение систем.

Исследования в этой области позволяют разрабатывать более точные и эффективные модели, которые могут быть применены для решения конкретных проблем [4-7]. Применение математического моделирования в медицине, транспорте, финансах и других сферах существенно влияет на принятие обоснованных решений.

Также разработка новых методов математического моделирования позволяет более точно отразить реальные условия и учесть разнообразные факторы, что повышает применимость моделей в реальных сценариях. Таким образом, исследования в области математического моделирования сложных динамических систем играют важную роль в научных и практических приложениях.

В качестве развития теории математического моделирования сложных динамических систем был разработан окрестностный подход, который позволяет задать с помощью окрестностей связи между элементами системы, а структуру – графом с различными видами дуг.

Одним из развивающихся направлений окрестностного подхода является иерархическая динамическая нейро-окрестностная модель [8, 9], применение которой может быть полезным в различных областях, таких как анализ временных рядов, прогнозирование поведения систем, и моделирование сложных динамических взаимодействий.

Иерархическая динамическая нейро-окрестностная модель (ИДНО) представляет собой математический аппарат, способный прогнозировать сложные распределенные процессы. Эта модель объединяет в себе иерархическую структуру и динамическое представление, что позволяет более эффективно анализировать и предсказывать поведение систем. Данная модель является гибридной и совмещает в себе преимущества как окрестностных моделей [9], так и нейронных сетей [10, 11].

Основные черты ИДНО модели включают:

- Иерархия. Модель позволяет учитывать различные уровни абстракции и сложности в данных. Это полезно при работе с системами, где процессы могут быть описаны на разных уровнях детализации.
- Динамика. Позволяет моделировать динамические процессы. Это важно для анализа и прогнозирования поведения систем в различные моменты времени.
- Окрестностный подход. Является основой, которая содержит в себе узлы моделируемого объекта и учитывает существующие связи между ними.
- Нейронные сети. Универсальность нейронных сетей позволяет модели адаптироваться к различным сценариям и задачам за счет способности к обобщению.

2. Области применения ИДНО моделей

Области применения ИДНО включают, но не ограничиваются:

- 1) Финансовая аналитика. Модель может применяться для анализа динамических финансовых данных, прогнозирования рыночных трендов и принятия решений в инвестициях.
- 2) Автоматизация производства. В производственных процессах может помочь в оптимизации процессов, управлении качеством и предсказании сбоев в оборудовании.
- 3) Контроль и управление системами. Модель может использоваться для управления и контроля сложными системами, такими как энергетические сети, телекоммуникационные сети и другие.
- 4) Игровая индустрия. В игровой индустрии может применяться для создания умных и адаптивных игровых персонажей, улучшения искусственного интеллекта в компьютерных играх и создания более реалистичного поведения виртуальных сред.
- 5) Наука искусственной жизни. Модель может использоваться для исследования и моделирования динамических процессов в искусственной жизни, изучения эволюции и взаимодействия искусственных агентов.
- 6) Безопасность и мониторинг. В сфере безопасности может помочь в анализе видеонаблюдения, обнаружении аномалий, идентификации угроз и обеспечении безопасности в общественных местах.
- 7) Сети связи. В области сетей связи может применяться для оптимизации маршрутизации данных, управления трафиком и предсказания сбоев в сетях.

- 8) Управление логистикой и цепями поставок. Модель может помочь в оптимизации логистических процессов, прогнозировании спроса, улучшении эффективности цепей поставок.
- 9) Экология и охрана окружающей среды. Модель может использоваться для анализа данных об экосистемах, прогнозирования изменений в климате и разработки стратегий для устойчивого использования природных ресурсов.
- 10) Энергетика и устойчивость. Может использоваться для оптимизации энергетических систем, прогнозирования потребления энергии, управления энергоэффективностью и поддержания устойчивости в энергетических сетях.
- 11) Развитие искусственного обучения и обучения с подкреплением. В образовательных технологиях модель может быть использована для улучшения методов обучения с подкреплением, обучения агентов в средах с наградами и развития искусственного обучения.

Эти области демонстрируют разносторонний характер применения иерархических динамических нейро-окрестностных моделей при моделировании сложных распределенных динамических систем.

3. Реализация ИДНО модели на примере

В качестве демонстрации реализации и работы алгоритма ИДНО модели рассмотрим пример данных, состоящий из 2500 наблюдений, включающих 5 входных факторов и 3 отклика. Программа реализована в языке программирования Python.

Полученный набор данных проходит процесс нормализации и делится на обучающий, валидационный и тестовый наборы в пропорциях 80%, 5% и 15% соответственно.

Графы моделируемой системы или процесса на основе данных примера отражены на рис. 1. и рис. 2. по состояниям и выходам соответственно.

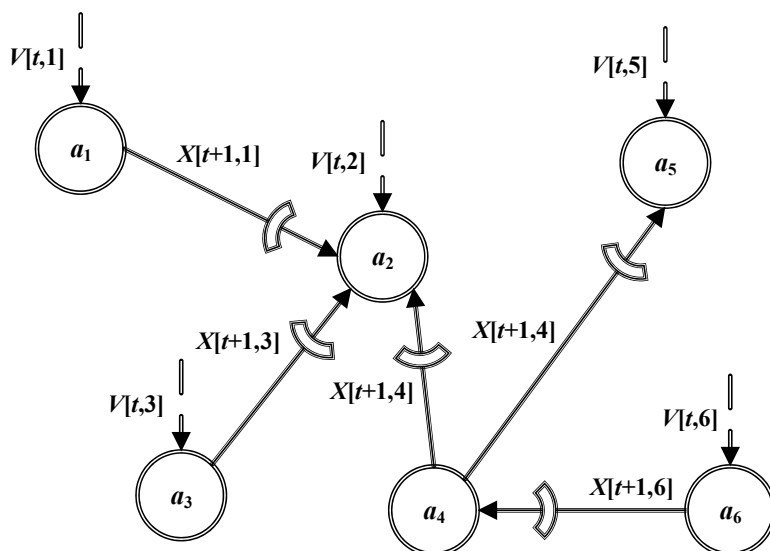


Рис. 1. Граф структуры примера ИДНО модели по состояниям.

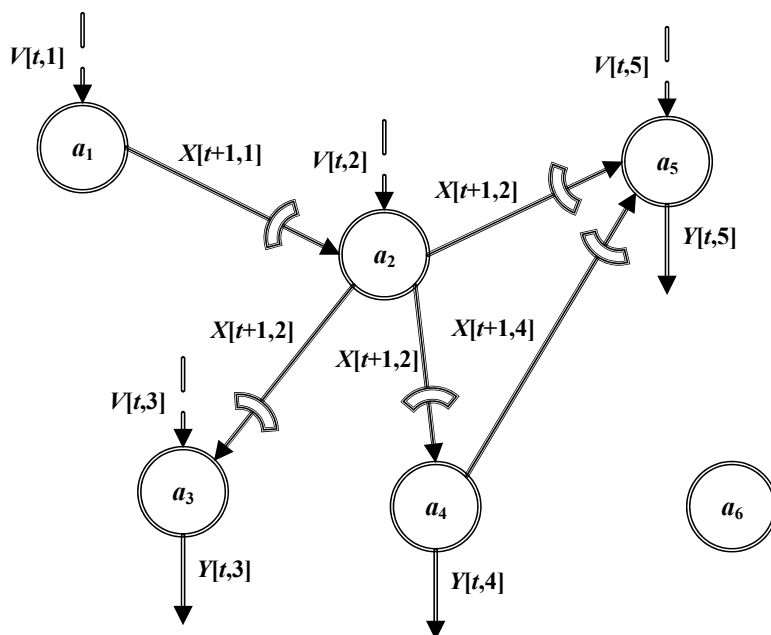


Рис. 2. Граф структуры примера ИДНО модели по выходам.

На рис. 1 и рис. 2 символ C – задержка на один такт функционирования модели, $v_i[t]$ – входное воздействие, $x_i[t]$ – состояния узла i . a_i – узел, в котором находится нейронные сети для пересчета состояний и для пересчета выходов соответственно.

Идентификация модели ИДНО имеет следующие основные этапы:

Этап 1. Считывание и предварительная обработка данных. В первую очередь стоит отметить, что большое значение имеет предобработка данных: исключение ошибочных данных, пропусков, выбор наиболее значимых факторов из выборки. Следующим шагом будет разбиение данных на входные и выходные, выполняется их нормализация. Затем формируются выборки: обучающая, валидационная и проверочная.

Этап 2. После выполняется подбор оптимальных параметров нейронных сетей в каждом узле модели. Для подбора параметров, для каждого из узлов указываются диапазоны возможных вариантов вариации таких параметров нейронных сетей как: количество скрытых слоев, количество нейронов на каждом скрытом слое, функции активации для каждого скрытого слоя, функция выхода, оптимизатор обучения сети, функция потерь и метрика.

Этап 3. На основе полученных оптимальных параметров нейронных сетей каждого узла ИДНО проводится обучение сетей. Затем все эти сети объединяются в полную модель ИДНО.

В результате идентификации такой модели, были получены оптимальные параметры для каждого из узлов. Например, для узла a_2 оптимальными параметрами нейронной сети по состояниям будут являться:

- количество скрытых слоев: 1;
- количество нейронов на каждом скрытом слое соответственно: 3;
- функции активации для каждого скрытого слоя соответственно: 'relu';
- функция выхода: 'softplus';
- функция оптимизатора: 'Adam';
- функция потерь: 'mean_absolute_percentage_error'.

Ошибка MAPE тестовой выборки полученной модели составила 4,19%.

4. Заключение

Таким образом, исследования показывают, что ИДНО модели обладают большим потенциалом в различных областях. Уже сейчас они могут успешно применяться в промышленности, финансах, в логистике, социальных сферах и др.

Однако для полноценного использования ИДНО требуется высокая вычислительная мощность и дополнительные исследования для оптимизации параметров моделей. Сейчас в области оптимизации разработаны и реализованы алгоритмы оптимального подбора параметров нейронных сетей внутри узлов модели.

ИДНО модели представляют собой перспективное направление развития математического и имитационного моделирования, способное значительно улучшить анализ динамических процессов и систем. Приведен пример и описаны результаты работы программы.

Список литературы

1. Цехановский В.В., Чертовской В.Д. Распределенные информационные системы. С.Пб.: Лань, 2021. 240 с.
2. Голубева Н.В. Математическое моделирование систем и процессов. С.Пб.: Лань, 2016. 192 с.
3. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. М.: Энергия, 1979. 240 с.
4. Дворецкий С.И. Моделирование систем. М.: Академия, 2019. 304 с.
5. Федоров С.Е. Компьютерное моделирование и исследование систем автоматического управления: учебно-методическое пособие для вузов. М.: Русайнс, 2018. 256 с.
6. Петров А.В. Моделирование процессов и систем. С.Пб.: Лань, 2015. 288 с.
7. Морозов В.К. Моделирование информационных и динамических систем. М.: Academia, 2016. 298 с.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Диалектика, 2019. 1104 с.
9. Андреас М. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. М.: Альфа-книга, 2017. 697 с.
10. Седых И.А., Истомин В.А. Реализация программы идентификации иерархических динамических нейро-окрестностных моделей // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции. Воронеж, 12-14 декабря 2022 года / Воронежский государственный университет. Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2023. С. 614-620.
11. Седых И.А., Истомин В.А. Пример идентификации иерархических динамических нейро-окрестностных моделей с переменными окрестностями // Автоматизация процессов управления. 2023. № 2 (72). С. 63-70. DOI: 10.35752/1991-2927_2023_2_72_63.