

ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Введение.

Задачи принятия решений в крупномасштабных системах характеризуются стохастичностью процессов предметных областей, нечеткостью и неточностью первичной информации. Для получения достоверных данных возникает необходимость обработки слабо формализованных, оперативных и долгосрочных данных о состоянии объекта управления, знаний экспертов и т.д. При решении такого класса задач применяют, как правило, методы математического программирования при стохастических или нечетких ограничениях [1]. Использование существующих средств и методов принятия решений в рассмотренной выше постановке является малоэффективными. Решение таких задач и определяет актуальность работы.

Целью проводимых исследований является повышение эффективности процессов принятия решений при обработке данных на основе использования гибридных имитационно-управляющих моделей и, на их основе, инструментальных средств, обеспечивающих функционирование системы в условиях нечеткости, стохастичности и неточности данных и знаний.

Постановка задачи.

Пусть задано некоторое множество процессов принятия решений $\{\Delta_{\omega}, \omega \in \Omega\}$ в условиях нечеткости и стохастичности [2].

Необходимо предложить и обосновать: оценку сложности реализации процессов принятия решений; эффективные модели и методы моделирования и управления процессами принятия решений в автоматизированных системах; методику применения гибридных имитационно-управляющих моделей в системах поддержки принятия решений.

Особенности реализации гибридных имитационно-управляющих моделей в информационных системах.

Важным этапом, решения прикладных задач в информационно-управляющих системах является выбор и обоснование теоретических методов и инструментальных средств.

Рассмотрим некоторые особенности применения гибридных имитационно-управляющих моделей для решения прикладных задач. Методы моделирования и управления процессами принятия решений, с использованием такого класса моделей предполагают реализацию следующих функций: анализ и фильтрация входных данных; формирование баз данных (БД); формирование структуры и актуализация баз знаний (БЗ); выполнение алгоритмов логического вывода; выполнение вычислительных действий средствами математического программирования; формирование структуры и пространства состояний Е-сети $E^{(m)}$ в виде динамических объектов (ДО); формирование условий выполнения переходов сети; формирование на сети множества разрешенных связей и исключение из рассмотрения множества запрещенных переходов и связей; определение на модели множества альтернатив, которые удовлетворяют существующим критериям и ограничениям предметной области; формирование рекомендаций по принятию решений [3].

Исходя из анализа особенностей применения гибридных имитационно-управляющих моделей и на их основе методов эффективного использования, подробно рассмотрим этапы реализации разработанного подхода [4].

Формирование и актуализация базы данных, реализация запросов и приложений.

Для работы с объектами и данными, характерными для данной предметной области, целесообразно использовать стандартные системы управления базами данных (СУБД). Это обусловлено тем, что на предприятии обычно существует СУБД, которая используется для сбора и обработки данных, связанных с его основной деятельностью. Она может содержать информацию о поставщиках, номенклатуре товаров и их характеристиках, и т.д. Эти данные могут использоваться при решении задач принятия решений с использованием средств моделирования производственных процессов и процессов принятия решений, для формирования базы знаний, решения задачи математического программирования.

Формирование БЗ, реализация алгоритмов логического вывода.

На современных предприятиях обычно существуют системы поддержки принятия решений, экспертные системы. В этом случае целесообразна адаптация существующих инструментальных средств для решения рассматриваемого класса задач. При этом, БЗ формируется при помощи подсистемы приобретения знаний на формализованном языке с учетом принятых в системе соглашений. Особенностью гибридных имитационно-управляющих моделей является необходимость ввода и

редактирования параметров вычислительных позиций, и определение функций принадлежности для лингвистических переменных.

Продукционная модель или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «**if** (условие), **then** (действие)». Под «условием» (антецедентом) понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в БЗ, а под «действием» (консеквентом) – действия, выполняемые при успешном исходе поиска (они могут быть промежуточными, выступающими далее как условия, терминальными или целевыми, завершающими работу системы) [5].

Важным этапом является определение и задание вида и параметров функций принадлежности в нечетких правилах. Для этой цели целесообразно использование аналитических представлений типа [6]. Для нечеткого логического вывода могут применяться алгоритмы, предложенные Мамдани [7]. Результат выполнения процедур логического вывода определяет маркировку вычислительных позиций Е-сети, а также значение алгоритмических ограничений при решении задач математического программирования.

Применение методов математического программирования при решении задач с нечеткими ограничениями.

Согласно предложенного в [4] подхода, сформулируем следующие этапы решения задачи оптимизации процессов принятия решений с нечеткими алгоритмическими ограничениями: формализовать цели и задачи на множестве процессов принятия решений; определить исходные данные, включая те, которые представлены на множестве лингвистических переменных; для нечетких алгоритмических ограничений сформировать БЗ, решить задачу линейного программирования без учета нечетких ограничений.

Если, с учетом нечетких алгоритмических ограничений, результаты удовлетворительные, то осуществляем маркирование вычислительных позиций Е-сети. В противном случае осуществляем обратный нечеткий логический вывод и уточняем ограничения на целевую функцию. Результат последующего решения дает нам новые условия маркирования вычислительных позиций Е-сети.

Формирование структуры и пространства состояний сети $E^{(m)}$.

Структура и пространство состояний сети $E^{(m)}$ могут быть представлены в виде динамических объектов. Для некоторых вычислительных позиций дополнительно вводятся стохастические потоковые сети, которые дополняют динамические объекты типа «вычислительная позиция». Это позволяет, по сути, рассматривать Е-сеть на уровне взаимодействующих объектов.

Решение задачи моделирования на гибридной имитационно-управляющей модели может быть представлено в виде следующей последовательности действий:

а) выбираем объект «Place» (Позиция) и формируем необходимое для данной модели количество позиций. Каждая позиция представлена динамическим объектом и характеризуется набором атрибутов типа «ключ-значение». Основным атрибутом позиции является ее имя (Name) и идентификатор (Id). По двум этим атрибутам необходимо идентифицировать различные позиции при проведении моделирования. При создании сложных систем для облегчения визуализации построенной модели можно отобразить одну и ту же позицию как несколько разных, сохранив при этом ее целостность при проведении моделирования;

б) выбираем объект «Transition» (Переход) и формируем необходимое для работы данной модели количество переходов. Каждый переход, характеризует собой какое-либо действие, занимает определенное время и может выполнять какие-либо действия с объектами вне разрабатываемой модели. Это позволяет расширить возможности построенных моделей и реализовать в них не только функции пассивного анализа, но и активного управления деятельностью объекта исследования. Для некоторых заданных переходов создаем вычислительные позиции. Данные позиции имеют значение при выборе дальнейшего пути движения маркера. Для созданной вычислительной позиции необходимо задать набор правил, по которым будет выбираться один из возможных вариантов развития событий, что реализуется в виде набора цвета маркера. Результатом выполнения этих правил является получение идентификатора входа или выхода для данного перехода. Если в результате выполнения правил ни одно из решений не удовлетворяет сложившейся ситуации, то пользователь может задать переход по умолчанию;

в) для типовых действий целесообразно создать макропозиции и макропереходы, это снижает размерность модели и затраты вычислительных ресурсов. Данный элемент сети представляет собой подсеть, которая имеет вход и выход на позицию. Внутри нее может быть построена сеть любой степени сложности, топология и набор правил которой будут задействованы при маркировании некоторых позиций внутри такой подсети;

г) полученные динамические объекты, в соответствии с логикой взаимодействующих процессов, связываются в сеть с помощью объекта Arc (Дуга). Этот объект позволяет связать позиции и переходы.

Для каждой дуги можно задать атрибуты или некоторый предикат, которые будут реализованы или учтены при прохождении маркера через эту дугу;

д) при настройке модели необходимо задать функции принадлежности для лингвистических переменных, которые будут уточняться при тестировании модели, и в дальнейшем использованы при определении возможного варианта пути (альтернатив) непосредственно в процессе моделирования процессов и формулирования рекомендаций по управлению процессами принятия решений;

е) процесс моделирования и его динамика реализуются на основе перемещения маркеров через разрешенные переходы с учетом состояния вычислительных позиций в реальном времени.

В процессе моделирования, на основании анализа маршрутов и оценки причин выбора тех или иных альтернатив на множестве данных, принимается решение о преимуществе того или иного сценария решения поставленной задачи.

Прикладные аспекты реализации моделирования и управления процессами принятия решений.

В практических реализациях систем, функционирующих в реальном времени, важно оценить требуемые вычислительные и временные ресурсы решения прикладных задач с учетом размерности гибридной имитационно-управляющей модели.

В связи с этим рассмотрим проблему реализации процессов принятия решений на основе предлагаемых гибридных моделей, которые включают: данные на входе системы; $\{R_i\}, i \in M$ – множество данных об объектах; множество правил, которое включает: $if/then(D)$ – детерминированные правила; $if/then(Pr)$ – вероятностные правила; $if/then(F)$ – нечеткие правила; методы математического программирования решения прикладных задач при нечетких алгоритмических ограничениях; сетевые модели с управляемой структурой.

Сложность идентификации данных на входе системы и множества данных об объектах исследования $\{R_i\}, i \in M$ определяется средствами применяемых систем управления, СУБД, применяемыми программно - техническими средствами. Сложность процессов принятия решений средствами математического программирования определяется существующими программными реализациями. В связи с этим рассмотрим оценки сложности процедур нечеткого логического вывода и процедур выполнения E-сети.

Оценка сложности процедур нечеткого логического вывода на основе продукционных правил.

Вопросы исследования сложности для сетевых моделей в некоторых частных случаях были приведены в ряде работ, в частности в работе [8]. Отметим, что логический вывод на основе нечетких продукционных правил применяется как в процедурах логического вывода БЗ, так и в задачах формирования нечетких алгоритмических ограничений процедур принятия решений средствами линейного программирования. Так в работе [4] был рассмотрен частный случай в предположении о наличии ограниченного числа правил, определяющих алгоритмические ограничения. Это несколько снижает универсальность полученных результатов и требует дополнительных исследований.

Пусть существует множество нечетких правил типа $if/then$. Как известно, прямой нечеткий логический вывод может быть представлен в виде:

$$\frac{if\ x\ i\ \mu_1(x)\ then\ y\ i\ \mu_2(y)}{x\ i\ \mu_1(x)}, \quad (1)$$

$$y\ i\ \mu_2(y)$$

где $\mu_1(x)$, $\mu_2(y)$ – соответствующие функции принадлежности, $\mu_1(x)$ – известное значение функции принадлежности, $\mu_2(y)$ – искомое значение функции принадлежности.

Вычисление значений функций принадлежности для (1) осуществляем как нахождение

$$\mu(x, y) = \inf_x \{ \mu_1(x), \mu_2(y) \}, \quad (2)$$

где $\mu(x, y)$ – функция принадлежности известного отношения $\tilde{R}(x, y)$.

Утверждение 1. Если задано некоторое множество нечетких правил W (1), то верхняя оценка сложности решения (2) при $|W| = 1$ равна

$$C = k_1 \rho^2, \quad (3)$$

где k_1 – некоторый коэффициент, определяемый особенностями реализациями алгоритма, ρ – количество дискрет при отображении некоторой функции принадлежности $\mu(x)$.

Действительно, решение (2) включает множество минимаксных операций для вектора $\mu_1'(x)$ размерности ρ и функции принадлежности отношения $\mu(x, y)$, которая представлена матрицей размерности ρ^2 . Тогда количество операций сравнения величин и нахождения результирующего вектора $\mu_2'(y)$ составляет ρ^2 . Коэффициент k_1 является масштабирующим.

Утверждение 2. Если задано некоторое множество нечетких правил W , то верхняя оценка сложности решения (2) при $|W| > 1$ равна

$$C = k_2 \rho^3 |W|, \quad (4)$$

где k_2 – некоторый коэффициент, определяемый особенностями реализации алгоритма, ρ – количество дискрет при отображении некоторой функции принадлежности $\mu(x)$.

Действительно, решение (2) включает множество минимаксных операций для каждой пары матриц размерности ρ^2 функций принадлежности отношений $\mu(x, y)$, $\mu(y, z)$ некоторых соседних правил. Тогда количество операций сравнения величин и нахождения результирующей матрицы отношения $\mu(x, z)$ для этих правил составляет ρ^3 . С учетом, что правил в данном случае $|W|$, то справедливость (4) очевидна. Коэффициент k_2 является масштабирующим.

Следствие. Учитывая результаты утверждений 1, 2, значение верхней оценки сложности работы алгоритма пропорционально

$$C' = k_1 \rho^2 + k_2 \rho^3 |W|, \quad (5)$$

Замечание. В (5) не учтена сложность процедур дефаззификации, что является достаточно изученной процедурой и не требует дополнительных исследований.

Для (5) возникает задача выбора частоты дискретизации ω_0 , т.е. выбора значения ρ , а также выявления стационарных точек, для которых необходимо задать значение функции принадлежности.

Как следует из работы [6], аналитические зависимости функций принадлежности могут быть представлены суперпозицией линейных функций (прямые, треугольники, трапеции и т. п.), кривыми второго и более высокого (гауссианы, сигмоиды) порядков.

Для первого случая достаточно при построении отношений отобразить характерные точки: взаимного пересечения и пересечения с осями координат. Для второго случая необходимо отобразить все характерные участки функции, включая стационарные точки нахождения экстремумов и точек перегиба.

Пусть задана некоторая функция принадлежности $\mu(x)$. Тогда, по крайней мере, некоторые из стационарных точек могут быть определены нахождением экстремумов функции $\mu(x)$ и точек перегиба путем вычисления производных первого или более высокого порядка и исследования их корней. Справедливость положения очевидна, если учесть, что, исключая тривиальный случай $\mu(x) = 1$, функции принадлежности имеют обычно четко выраженный экстремум (максимум), а, например, гауссианы характеризуются существованием точек перегиба. Сама же частота дискретизации ω_0 во многом определяется эмпирически, а как следует из изложенного выше, для некоторых частных случаев может быть определена из целесообразности количества дискрет $\rho \leq 10$.

Оценка сложности реализации процедур выполнения процессов моделирования на E-сети. Рассмотрим сеть, для которой $|P| = m$, $|T| = n$. Тогда, для оценки сложности выполнения сети, мы должны учесть, что для объектов типа «позиция» и «переход» необходимо выполнить некоторое

количество операций, которые пропорциональны числу ненулевых компонент функции инцидентности.

Утверждение 3. Если существует E-сеть, то количество действий при выполнении сети пропорционально количеству ненулевых компонент функции инцидентности $F = I \cup O$ E-сети и может быть представлено в виде:

$$C'' = k_0 mn, \quad (6)$$

где k_0 определяется разреженностью функции инцидентности, т.е. долей ненулевых компонент функции F .

Справедливость утверждения непосредственно следует из условий выполнения переходов, маркирования позиций при функционировании E-сети.

Следствие. С учетом (5) и (6) искомая сложность

$$C_{\Sigma} = C' + C'', \quad (7)$$

или

$$C_{\Sigma} = k_0 mn + k_1 \rho^2 + k_2 \rho^3 |W|, \quad (8)$$

Теоретические результаты подтверждены на тестовых примерах при реализации процедур принятия решений сложных производственных процессов, что допускает эффективную программную реализацию. При этом использовались функции принадлежности, как первого, так и второго типов. Временные затраты на выполнение предлагаемой версии алгоритма не превышают теоретических зависимостей, что дает возможность применять рассмотренный подход в автоматизированных системах поддержки принятия решений в режиме реального времени.

Выводы.

На основе анализа особенностей гибридных имитационно-управляющих моделей и методов их реализации в задачах принятия решений информационных систем сформулирована и решена задача применения моделей, методов и инструментальных средств, как единого комплекса, от эффективности которого в значительной степени зависит качество принимаемых решений.

На основе исследования и анализа методов принятия решений с использованием гибридных имитационно-управляющих моделей в условиях частичной неопределенности получена оценка их сложности, которая не превысила квадратичной от количества выполняемых операций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кучеренко В.Є. Моделі аналізу процесів обробки даних в автоматизованих системах // *Радиоелектроніка і інформатика*. - 2004. - № 3. - С. 103 – 107.
2. Филатов В.А., Кучеренко В.Е. О моделях обработки данных на основе иерархии сетей высокого уровня // *Радиоелектроніка. Інформатика. Управління*. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2004. - № 1 (11). - С. 95 – 100.
3. Кучеренко В.Є. Методи аналізу процесів моделювання та обробки даних у складних системах // *Штучний інтелект*. - Донецьк: ІПШ „Наука і освіта”, 2004. - № 4. - С. 126 – 134.
4. Филатов В.А., Кучеренко В.Е. О методах оптимизации процессов принятия решений в автоматизированных системах управления при алгоритмических ограничениях // *Прикладная радиоелектроніка*. - 2005. - Т. 4. - № 3. - С. 298 – 303.
5. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб: Питер, 2000. - 384 с.
6. Кучеренко Е. И. Интеллектуальные технологии в задачах принятия решений технологических комплексов на основе нечеткой интервальной логики / Е. И. Кучеренко, Р. Н. Байдан, И. С. Творошенко, В. А. Филатов. // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. - 2006. - №2. - С. 92–96.
7. Кучеренко В.Є. Питання автоматизації процесів прийняття рішень при алгоритмічних обмеженнях // 9-й міжнародний молодіжний форум «Радиоелектроніка і молодь в 21 ст.»: Зб. матеріалів форуму. - Харків: ХНУРЕ, 2005. - С. 437.
8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. - М.: Радио и связь, 1982. - 432 с.

ФИЛАТОВ Валентин Александрович – д.т.н., профессор кафедры Искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники

Научные интересы: базы данных, агентные технологии, мультиагентные системы, извлечение знаний из данных.

КУЧЕРЕНКО Валерий Евгеньевич - аспирант кафедры Искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники

Научные интересы: базы данных и знаний, извлечение знаний из данных, модели и методы поддержки принятия решений в информационных системах.

Філатов В.О., Кучеренко В.Є.

ГІБРИДНІ МОДЕЛІ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Розглянуто особливості використання гібридних імітаційно-управляючих моделей щодо підтримки прийняття рішень в інформаційних системах. З урахуванням функцій, реалізованих моделями, розроблена структура методичних засобів, що орієнтовані на використання в інформаційних системах реальних об'єктів. На основі аналізу методів і засобів прийняття рішень з використанням гібридних імітаційно-управляючих моделей в умовах часткової невизначеності отримана оцінка їхньої складності. Наведено результати ефективного використання на практиці.