

М.Ф., Басманов А.Е. Восстановление финального распределения вероятностей для процесса блуждания на графе // Доповіді НАН України, 2000. №8. С.87–90. 3. Герасин С.Н. Проблемы стабилизации распределений неоднородных марковских систем. Харьков, изд-во ХТУРЭ, 1999. 212 с. 4. Герасин С.Н. Условия сходимости к предельному распределению в неоднородных цепях Маркова за конечное время // Вісник Харківського національного університету, 2000. №456, ч.2. С.256–259. 5. Дикарев В.А., Герасин С.Н., Слитченко Н.И. Стабилизация вероятностей состояний марковского процесса при локальных возмущениях его параметров // Доповіді НАН України, 2000. №8. С.90–93. 6. Zubeiman E. J. On class of the Markov chains with the finite time of convergence // J. Appl. Math. and Stochastic Anal. 1976. 4, № 4э P. 48–61.

Поступила в редколлегию 12.11.2000

**Герасин Сергей Николаевич** канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики ХТУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей и ее приложения, теория процессов Маркова. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина 14, e-mail: hm@kture.ua, тел: (0572) 40–93–72, (0572) 72–12–38.

УДК 681.5.015

А.Л. ЕРОХИН, С.Ю. ПОДУФАЛОВ

## ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОСЕТЯМИ

Рассматриваются задачи управления ресурсами в электрических сетях. Предлагается структура базы знаний системы поддержки принятия решений на основе продуцирующих правил.

Современная электроэнергетика представляет собой сложную систему. Она характеризуется большим числом элементов, непрерывностью энергетического производства, сложной нелинейной зависимостью основных технико-экономических показателей от процесса производства и распределения электроэнергии. В связи с непрерывно возрастающим уровнем электропотребления значительно увеличивается протяженность и тип распределительных сетей, соответственно возрастают виды выполняемых работ при ремонтном и эксплуатационном обслуживании линий электропередач и энергообъектов, что создает значительные трудности при их планировании и представляет сложный комплекс задач по переработке большого объема данных, которые часто бывают нечеткими. Управление такой сложной энергосистемой в настоящее время невозможно без применения электронно-вычислительной техники и методов нечеткой логики. Основные пути решения такой сложной задачи – применение экономико-математических методов, способов и средств сбора и обработки нечеткой информации.

Для управления электросетями используются автоматизированные системы управления производством и потреблением. Такие системы управления обычно организованы иерархически. Они состоят из удаленных терминалов, линий связи и разноуровневых систем машинной обработки данных. При этом окончательное решение остается за лицами, принимающими решение (ЛПР). С появлением на рынке современных промышленных контроллеров стало возможным создавать надежные и экономичные автоматизированные системы управления энергетических объектов. Одним из путей повышения эффективности таких систем специального назначения, функционирующих в недружественной обстановке, является исключение операторов и ЛПР из временного баланса процесса управления при сохранении определенного уровня в качестве управления. Тем самым устраняется неблагоприятное влияние человека на эффективность комплексов, связанное с большим количеством ошибок и несвоевременностью выполнения предписанного алгоритма деятельности, характерных для управления комплексами в реальном масштабе времени. В то же время для неснижения качества управления предъявляются высокие требования к алгоритмическому обеспечению автоматических систем и, в первую очередь, процессов принятия решений.

В связи с этим появилось новое понимание вычислительного процесса. Он стал рассматриваться не как множество последовательно выполняемых действий, а как совокупность асинхронно выполняемых параллельных вычислительных процессов. Такой подход позволил перейти к получающей все большее распространение групповой обработке данных, в которой при появлении новых данных или результатов у одного пользователя (в одном процессе) ему предоставляется возможность немедленной рассылки этой информации другим заинтересованным пользователям (процессам). Одна из определяющих характеристик распределенного решения – это совместное использование группы распределенных в пространстве, но связанных между собой источников знаний, когда ни один из них не имеет достаточно информации для решения всей задачи. Прийти к общему решению можно только совместно [1].

Для принятия групповых решений необходимо синхронное взаимодействие, при котором происходит электронная беседа – обмен информацией в реальном времени.

Управление ресурсами в распределенных системах электросетей в реальном масштабе времени включает следующие задачи:

- а) прогнозирование нагрузок;
- б) оптимизация режимов энергопотребления;
- в) диагностика аварии;
- г) принятие решения об устранении аварии;
- д) перераспределение нагрузки в аварийных режимах;
- е) прогнозирование аварийных ситуаций в системе;
- ж) анализ причин аварии и выработка мер по их предотвращению [2].

В настоящее время большинство процессов, протекающих в штатных режимах, автоматизировано. Вмешательство ЛПР требуется редко

(для решения некоторых задач вручную). По-другому обстоит дело в нештатных ситуациях. При обнаружении факта аварии используется система сбора и сохранения информации, а программное обеспечение, работающее в штатных условиях, оказывается бесполезным. Даже при проведении регламентных работ на атомных станциях обычно диспетчеры выполняют перераспределение нагрузок системы.

При внезапном выходе из строя электросетевого оборудования именно ЛПР оценивает ситуацию и принимает решение о путях оперативного устранения причин аварии, о перераспределении нагрузки или отключении потребителей.

Основные действия ЛПР в момент аварии заключаются в диагностике и принятии решения. Успех в принятии оптимального решения в значительной степени зависит от опыта ЛПР и умения адекватно реагировать на непредвиденные обстоятельства. Поведение человека в таких ситуациях в основном определяется наличием опыта действий в сходных условиях и использованием эвристической логики, соотносящей данную сложную ситуацию с уже известными событиями прошлого. Кроме того, существует риск превышения барьера восприятия человека.

Таким образом, здесь появляются новые возможности использования систем поддержки принятия решений или систем, основанных на базах знаний, составляющих одну из важнейших областей искусственного интеллекта. Системы поддержки принятия решений широко применяются при диагностике энергетических объектов во время плановых остановов. Поскольку система поддержки принятия решений способна за одинаковый отрезок времени проверить большее число соответствующих параметров объекта, чем человек, то она может быстрее реагировать и на аварийные ситуации. Значит, можно и нужно усовершенствовать процесс диагностики и принятия решений путем исключения из процесса управления ЛПР.

Программное обеспечение для системы поддержки принятия решений может основываться на базах знаний. Основной причиной этого является необходимость преодоления барьера восприятия человека. Анализ хода рассуждений ЛПР в процессе многокритериального выбора альтернатив показал, что на принятие решения в каждом конкретном случае существенно влияет прогнозирование ожидаемой ситуации. Обладая некоторой информацией о состоянии среды еще до начала работы и зная конкретную задачу, которую должен выполнить комплекс, ЛПР заранее оценивает вероятность той или иной ситуации и приоритеты целей функционирования. Тем самым концептуальная модель ЛПР адаптируется к предстоящей работе, что позволяет значительно сузить классы ситуаций, сократить время и повысить качество принимаемых решений.

Как правило, прогноз относительно ожидаемой ситуации формируется за время, достаточное для внесения изменений в базу знаний. По времени этот процесс можно проводить, например, сразу после контроля функционирования или в любое другое время до начала работы. Требования к процессу адаптации базы знаний сформулируем

следующим образом. Вносимые изменения, во-первых, должны в полной мере учитывать представления ЛПР о предстоящей работе, насколько это возможно при реализации разработанных алгоритмов. Во-вторых, сам процесс внесения изменений не должен занимать больше нескольких минут. В-третьих, он не должен требовать от ЛПР сложных действий, а оценки желательны в вероятностной форме [3].

Эти требования предопределяют организацию внесения изменений в базу знаний в диалоге, когда вычислительная система формирует вопросы исходя из потребностей реализации алгоритмов.

База знаний системы поддержки принятия решений в электросетях может быть основана на продуцирующих правилах, которые могут представлять собой блок, содержащий посылку "ЕСЛИ...", и актуальную часть "ТО..." и "ИНАЧЕ...".

Рассмотрим форму продуцирующего правила, содержащего нечеткое условное высказывание вида "ЕСЛИ...ТО...ИНАЧЕ".

Посылка 1: если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ ,  
иначе  $y$  есть  $C$ . (1)

Посылка 2:  $x$  есть  $A'$ .

Следствие:  $y$  есть  $D$ ,

где  $x, y$  – имена объектов;  $A, A', B, C, D$  – нечеткие понятия, представленные нечеткими множествами областей определения  $U, U, V, V, V$  соответственно.

Посылка 1 вида "если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  есть  $C$ " в (1) может представлять определенную связь между  $A$  и  $B, C$ . С этой точки зрения Заде предложил правила, переводящие нечеткое условное высказывание "если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  есть  $C$ " в нечеткое отношение в  $U \times V$ .

Пусть  $A, B$  и  $C$  – нечеткие множества соответственно в  $U, V$  и  $V$ , записанные в виде

$$A = \int_U \mu_A(u) / u;$$

$$B = \int_V \mu_B(v) / v; \quad C = \int_V \mu_C(v) / v, . \quad (2)$$

Тогда имеем:

1. Правило  $R_m$ :

$$R_m = (A \times B) \cup (\neg A \times C) = \int_{U \times V} (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee ((1 - \mu_A(u)) \wedge \mu_C(v)), . \quad (3)$$

2. Правило  $R_a$ :

$$R_a = (\neg A \times V \oplus U \times B) \cap (A \times V \oplus U \times C) =$$

$$= \int_{U \times V} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v)) \wedge (\mu_A(u) + \mu_C(v)) / (u, v) , \quad (4)$$

где  $X, \cup, \cap, \neg$  и  $\oplus$  обозначают прямое произведение, объединение, пересечение и дополнение и ограниченную сумму нечетких множеств, соответственно.

Если в приведенных правилах перевода  $C$  заменить на  $V$  (универсальную область нечеткого множества  $C$ ), которое интерпретируется, как "неизвестно", то нечеткое условное высказывание типа "если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  есть  $C$ " сводится к высказыванию "если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  неизвестно", т.е. к высказыванию "если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ ".

Таким образом, при  $C=V$  имеем

$$\begin{aligned} R_m &= (A \times B) \cup (\neg A \times V) = \\ &= \int_{U \times V} (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u)) / (u, v), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} R_a &= (\neg A \times V) \oplus (U \times B) = \\ &= \int_{U \times V} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v)) / (u, v). \end{aligned} \quad (6)$$

В другом случае, при  $C=0$  (пустое множество) правило  $R_m$  сводится к правилу  $R_c$ :

$$R_c = (A \times B) = \int_{U \times V} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) / (u, v). \quad (7)$$

Для высказывания "если  $X$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  есть  $C$ " можно также определить правило  $R_b$ , опирающееся на импликацию в бинарной логике.

$$\begin{aligned} \text{Правило } R_b: R_b &= (\neg A \times V \vee U \times B) \cap (A \times V \vee U \times C) = \\ &= \int_{U \times V} (1 - \mu_A(u) \vee \mu_B(v)) \wedge (\mu_A(u) \vee \mu_C(v)) / (u, v). \end{aligned} \quad (8)$$

Кроме того для высказывания "если  $X$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  есть  $C$ " был введен метод  $R_{gg}$ .

Правило  $R_{gg}$ :

$$\begin{aligned} R_{gg} &= (A \times V \Rightarrow U \times B) \cap (\neg A \times V \Rightarrow U \times C) = \\ &= \int_{U \times V} (\mu_A(u) \xrightarrow[g]{} \mu_B(v)) \wedge (1 - \mu_A(u) \xrightarrow[g]{} \\ &\quad \xrightarrow[g]{} \mu_C(v)) / (u, v), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $1 \dots \mu_A(u) \leq \mu_B(v)$ ,  $\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v) = \mu_B(v) \dots \mu_A(u) > \mu_B(v)$ .

Также следствие  $D$  в (1) можно вывести из посылки 1 и посылки 2 с помощью (max-min) – композиции "o" нечеткого множества  $A'$  в  $U$  и нечеткого отношения в  $U \times V$ , полученного выше. Таким образом, для каждого правила перевода можно получить следствия:

$$\begin{aligned} D_m &= A' \circ R_m = A' \circ [(A \times B) \cup (\neg A \times C)] = \\ &= \int_U \{ \mu_{A'}(u) \wedge [(\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u) \wedge \\ &\quad \wedge \mu_C(v))] \} / v, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} D_a &= A' \circ R_a = A' \circ [(\neg A \times V \oplus V \times B) \cap \\ &\quad \cap (A \times V \oplus U \times C)], \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} D_b &= A' \circ R_b = A' \circ [(\neg A \times V \cup U \times B) \cap \\ &\quad \cap (A \times V \cup U \times C)], \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} D_{gg} &= A' \circ R_{gg} = A' \circ [(A \times V \Rightarrow U \times B) \cap \\ &\quad \cap (\neg A \times V \Rightarrow U \times C)], \end{aligned} \quad (13)$$

В общем случае нечеткое понятие  $A'$  может принимать следующие значения:

$$A' = A = \int_U \mu_A(u) / u;$$

$$A' = \text{очень } A (= A^2) = \int_U \mu_A(u)^2 / u;$$

$$A' = \text{более или менее } A (= A^{0,5}) = \int_U \mu_A(u)^{0,5} / u;$$

$$A' = \text{не } A (\neg A) = \int_U 1 - \mu_A(u) / u; .$$

Подробнее рассмотрим случай  $A' = \text{очень } A$ .

1. Случай  $R_m = (A \times B) \cup (\neg A \times C)$ . Пусть  $A$  – нечеткое множество и  $R_1, R_2$  – нечеткие отношения. Тогда в общем случае для (max-min) – композиции "o" справедливо тождество:

$$A \circ (R_1 \cup R_2) = (A \circ R_1) \cup (A \circ R_2); .$$

Для (10) получаем

$$A' \circ [(A \times B) \cup (\neg A \times C)] = [A' \circ (A \times B)] \cup [A' \circ (\neg A \times C)], \quad (14)$$

Поэтому при  $A' = \text{очень } A (= A^2)$  функция принадлежности  $A^2 \circ (A \times B)$  задается выражением

$$\mu_{A^2 \circ (A \times B)}(v) = \bigvee_U [\mu_A(u)^2 \wedge (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v))], \quad (15)$$

В общем случае для любой функции принадлежности  $\mu_B(v)$  можем получить

$$\mu_{A^2 \circ (A \times B)}(v) = \mu_B(v).$$

2. Случай  $R_a = (\neg A \times V \oplus U \times B) \cap (A \times V \oplus U \times C)$ . Опуская  $u$  и  $v$  в записи  $\mu_K$ , функцию принадлежности  $\mu_{D_a}$  можно записать в виде:

$$\mu_{D_a} = \bigvee_U \{ \mu_A^2 \vee [1 \wedge (1 - \mu_A - \mu_B) \wedge (\mu_A + \mu_C)] \}, \quad (16)$$

3. Случай  $R_b = (\neg A \times V \cup U \times B) \cap (A \times V \cup U \times C)$ . На основании (8) для функции принадлежности  $R_b$  имеем  $((1 - \mu_A) \vee \mu_B) \wedge (\mu_A \vee \mu_C)$ .

4. Случай  $R_{gg} = (A \times V \Rightarrow_g U \times B) \cap (\neg A \times V \Rightarrow_g U \times C)$ . Функция принадлежности  $R_{gg}$  задается выражением

$$(\mu_A \xrightarrow{g} \mu_B) \wedge (1 - \mu_A \xrightarrow{g} \mu_C).$$

Таким образом, мы рассмотрели основные аспекты построения базы знаний системы поддержки и принятия решений управления энергосетями, основанные на методах нечеткой логики. Выяснили, что методы  $R_a, R_b, R_m$  нечеткого условного вывода с высказыванием "если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , иначе  $y$  есть  $C$ " не дают следствий, которые совпадали бы с нашими интуитивными представлениями. Показали улучшенный метод  $R_{gg}$ , удовлетворяющий интуиции при совершенно естественных критериях, т.е. что в результате данной настройки базы знаний система поддержки и принятия решений адаптируется к прогнозируемым ситуациям и способна осуществить функции управления не хуже ЛПР в комфортной обстановке [4].

Реализация механизма адаптации системы поддержки и принятия решений для электрических сетей позволит исключить человека-оператора из временного баланса процесса управления, устранить неблагоприятное влияние человеческого фактора в условиях дефицита времени на эффективность автономных комплексов, сохраняя при этом положительные стороны влияния деятельности человека [5].

**Список литературы:** 1. Методы и средства информационных технологий на основе систем баз данных и знаний // Сб. ст. АН УССР: Киев: ИК, 1988. С. 133-135. 2. ЭВМ в управлении энергосистемами. Темат. вып.: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. (Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике; Т. 75, № 12). С.173-174; 3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Поспелова А.М. М.: Мир, 1986. С. 129-135. 4. Бакаев А.А. Методы организации и обработки баз знаний. АН Украины, Институт кибернетики им. В.М.Глушкова. К.: Наук. думка, 1993. 149 с. 5. Автоматизированные банки данных и банки знаний // Сб. ст., Волгогр. политехн. институт, Волгоград, 1987. С.33

Поступила в редколлегию 12.11.2000

**Ерохин Андрей Леонидович**, канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Университета внутренних дел Украины, доцент кафедры программного обеспечения ХТУРЭ. Научные интересы: системы поддержки принятия решений, современные компьютерные информационные технологии. Адрес: Украина, 61000, Харьков, пр. 50-летия СССР, 27, тел: 50-30-80, 40-94-46.

e-mail: eal@adm.univd.kharkov.ua

**Подуфалов Сергей Юрьевич**, аспирант кафедры программного обеспечения ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: современные компьютерные информационные технологии. Адрес: Украина, 61000, Харьковская обл., Чугуев, ул.Кожедуба, 9, кв.63, тел. 8 (05746) 2-32-60, 40-94-46.

УДК 681.513

В.И. КОРТУНОВ

## ДИСКРЕТНЫЕ ИТЕРАЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ ОЦЕНИВАНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Решается задача структурного и параметрического синтеза фильтров оценивания неизмеряемых входных возмущений в линейных динамических системах. Фильтры оценивания входных сигналов реализуют итерационный метод получения обратной модели в реальном времени. Априорная информация о входных сигналах в форме линейных и нелинейных ограничений учитывается в синтезируемых фильтрах без нарушения сходимости оценок.

### Введение

Восстановление возмущений в динамических системах широко используется в теории управления, теории обработки сигналов и теории обратных задач [1,2,6], а множество практических приложений требует эффективных методов решения задач восстановления входных сигнала-