

А. Л. ТУЛУПЬЕВ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АЦИКЛИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ В АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ

Приведены основные шаги в схеме алгоритма по преобразованию баз фрагментов знаний с неопределенностью, представленных в формате ациклических байесовских сетей доверия (т.е. со структурой полидерева), в базы фрагментов знаний, представленных в формате алгебраических байесовских сетей. Преобразование осуществляется путем последовательного расчета тензоров совместной вероятности на основе тензоров условной вероятности, хранящихся в узлах байесовской сети доверия. Процесс завершается переходом от тензоров совместной вероятности к оценкам вероятности на идеалах конъюнктов.

***Ключевые слова:** байесовские сети, вероятностная семантика, модели знаний с неопределенностью, логико-вероятностный вывод.*

Одним из видов генерации новых знаний в условиях неопределенности по сведениям, уже накопленным в базах фрагментов знаний (БФЗ) интеллектуальных информационных систем, является логико-вероятностный вывод. Его алгоритмический аппарат особенно хорошо развит для байесовских сетей доверия (БСД) [1], однако такие сети имеют существенные

ограничения, касающиеся как их структуры, так и вида оценок вероятностей, в них использующихся. В стадии разработки находится теория алгебраических байесовских сетей (АБС) [2, 3], позволяющая справиться с частью тех ситуаций, которые невозможно обработать в байесовских сетях доверия [3].

Для того чтобы достижения в теории АБС можно было применить в базах фрагментов знаний, которые построены на основе байесовских сетей доверия, необходимо разработать алгоритмы преобразования БСД в АБС. Цель настоящей статьи — описание схемы такого алгоритма для случая байесовской сети доверия без циклов (структура такой сети имеет вид полидерева [1]). Предварительно введем определения двух названных типов байесовских сетей (в рамках логико-вероятностного подхода [3]), используя терминологию и обозначения, принятые в работе [2]. Основы применяемых теорий и свойства объектов, упоминаемых в настоящей статье, детально представлены в монографии [3].

Байесовская сеть доверия — это ациклический направленный граф с тензорами условных вероятностей вида $p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m)$ в узлах. В узлах, не имеющих родителей, эти тензоры условных вероятностей вырождаются в тензоры совместных (или маргинальных) вероятностей вида $p(\tilde{z})$. Если в БСД со структурой полидерева для некоторого узла z известны вероятности его узлов-родителей $p(\tilde{x}_1), \dots, p(\tilde{x}_m)$, то можно вычислить совместные вероятности вида

$$p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) = p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) p(\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) = p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) \prod_{i=1}^m p(\tilde{x}_i).$$

Последний переход возможен в силу определения байесовской сети и с учетом того, что между узлами x_1, \dots, x_m нет путей, кроме пути, проходящего через z . Отсутствие таких путей объясняется тем, что рассматриваемая БСД обладает структурой полидерева [1]. Также можно вычислить и вероятность вида

$$p(\tilde{z}) = \sum_{\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m} p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) p(\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) = \sum_{\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m} p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m) \prod_{i=1}^m p(\tilde{x}_i).$$

Эта формула позволяет распространить процесс дальше по направленным ребрам полидерева и рассчитывать соответствующие совместные вероятности для каждого узла БСД.

Алгебраическая байесовская сеть — это набор идеалов конъюнктов, которым приписана оценка вероятности [2]. Напомним, что идеал конъюнктов — это множество всех подцепочек некоторой заданной цепочки конъюнкций. Например, для заданной цепочки конъюнкций zx_1x_2 идеал конъюнктов будет содержать пустой конъюнкт и конъюнкты $z, x_1, zx_1, x_2, zx_2, x_1x_2, zx_1x_2, zx_1x_2$. Идеал конъюнктов с оценками вероятности их истинности называется фрагментом знаний.

В первую очередь, заметим, что по вероятностям вида $p(\tilde{z} | \tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m)$ можно рассчитать вероятности всех конъюнктов, образованных над цепочкой $\tilde{z}\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_m$. Таким образом, узел z байесовской сети доверия будет сопоставлен с фрагментом знаний алгебраической байесовской сети, образованным над утверждением z из самого узла и утверждениями x_1, \dots, x_m из узлов-предков. Полученный фрагмент знаний окажется связанным по отдельности с каждым фрагментом знаний, приписанным узлу-родителю. При этом рассматриваемый фрагмент знаний и фрагмент знаний из узла-родителя будут иметь лишь один общий элемент, и он будет из множества x_1, \dots, x_m . Следовательно, по исходной байесовской сети доверия будет получен набор фрагментов знаний, обладающий структурой, которая является ненаправленным деревом, а значит, будет сформирована ациклическая алгебраическая байесовская сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pearl J.* Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. N.Y.: Morgan Kaufmann Publ., 1988. 552 p.
2. *Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И.* Синтез согласованных оценок истинности утверждений в интеллектуальных информационных системах // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 7. С. 20—26.
3. *Тулупьев А. Л., Николенко С. И., Сироткин А. В.* Байесовские сети: логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006. 607 с.

Сведения об авторе

Александр Львович Тулупьев

— канд. физ.-мат. наук, доцент; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, лаборатория прикладной информатики;
E-mail: alt@iias.spb.su

Рекомендована кафедрой
технологий программирования СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
15.02.08 г.