

# **ДИЗАЙН ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ О ВРЕМЕНИ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖАНИЯ НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ<sup>1</sup>**

Харитонов Н. А., магистр второго курса кафедры информатики  
СПбГУ, мл. научн. сотрудник лаборатории ТиМПИ СПИИРАН,  
nak@dscs.pro

Завалишин А.Д., мл. научн. сотрудник лаборатории ТиМПИ  
СПИИРАН, студент кафедры информатики СПбГУ, adz@dscs.pro

## **Аннотация**

В работе представлен дизайн эксперимента, производимого при получении статистических оценок времени работы реализаций алгоритмов поддержанной экстеральной и интеральной непротиворечивости алгебраических байесовских сетей с цепной структурой.

## **Введение**

Алгебраические байесовские сети [1, 2, 3] относятся к классу вероятностных графических моделей [4], наравне с байесовскими сетями доверия [5], марковскими сетями [6] и прочими моделями. В целях анализа эмпирического времени работы алгоритмов логико-вероятностного вывода, а точнее, алгоритмов поддержания экстеральной и интеральной непротиворечивости сетей, был проведен вычислительный эксперимент, дизайн которого описывается в данной статье.

## **Алгебраические байесовские сети**

Алгебраические байесовские сети представляют собой ненаправленный граф с фрагментами знаний в узлах [1]. Каждый фрагмент знаний является идеалом конъюнктов, также представимым в виде идеала квантов или дизъюнктов [2]. Каждому элементу фрагмента знаний сопоставляются скалярные или интервальные оценки его истинности [3].

---

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию СПИИРАН № 0073-2019-0003, при финансовой поддержке РФФИ, проекты №18-01-00626 и №18-37-00323.

Пример алгебраической байесовской сети с фрагментами знаний в ней приведен на рисунке 1.

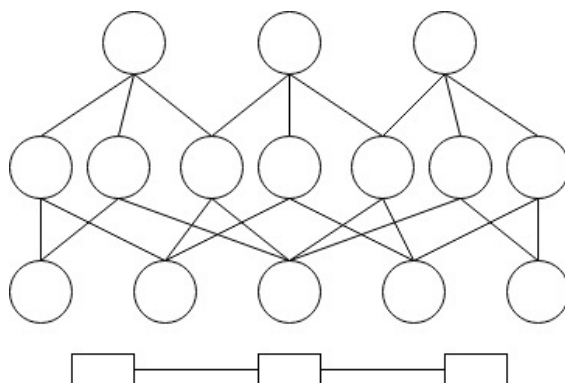


Рис. 1: Пример алгебраической байесовской сети

В целях проверки корректности имеющихся в сети оценок вероятности истинности элементов выделяется четыре степени непротиворечивости [1]:

- Алгебраическая байесовская сеть является локально непротиворечивой, если каждый отдельно взятый фрагмент знаний в сети непротиворечив;
- Алгебраическая байесовская сеть является экстернально непротиворечивой, если она локально непротиворечива и оценки истинности конъюнкта, входящего в два и более фрагмента знаний совпадают;
- Алгебраическая байесовская сеть является интернально непротиворечивой, если она локально непротиворечива и для любого конъюнкта для любого скалярного значения из интервала оценки его истинности можно выбрать такие оценки во всех фрагментах знаний, что получившаяся алгебраическая байесовская сеть будет экстернально непротиворечивой;
- Алгебраическая байесовская сеть является глобально непротиворечивой, если ее с имеющимися оценками можно погрузить в непротиворечивый объемлющий фрагмент знаний и при этом оценки вероятностей в сети не изменятся.

## Дизайн эксперимента

Для получения статистических оценок времени реализаций алгоритмов поддержания экстернальной и интернальной непротиворечивостей были произведены два идентичных эксперимента. В силу их схожести описание экспериментов с точностью до степени поддержания непротиворечивости приведено ниже.

В ходе экспериментов были рассмотрены алгебраические байесовские сети [7] с цепной структурой.

Был получен ряд измерений времени поддержания непротиворечивости, зависящих от:

- Числа атомов в сети ( $4 \leq N_{\text{ABN}} \leq 25$ );
- Числа атомов в каждом фрагменте знаний ( $2 \leq N_{\text{КР}} \leq 4$ );
- Числа атомов на каждом пересечении между фрагментами знаний ( $1 \leq N_{\text{Сг}} \leq 3$ ).

Для каждого набора  $N_{\text{ABN}}, N_{\text{КР}}, N_{\text{Сг}}$  создавалось 10 алгебраических байесовских сетей с фиксированными интервальными значениями оценок вероятности истинности конъюнктов.

Для каждой сети с фиксированной структурой и с заданным набором оценок производилось 20 измерений времени поддержания ее непротиворечивости (при этом после поддержания непротиворечивости оценки возвращались к изначальным, возможно, противоречивым). С нашей точки зрения, такой подход позволяет нивелировать влияние случайных факторов на получение статистических данных. Для подтверждения данного высказывания для каждого набора  $x$  из 20 измерений времени поддержания непротиворечивости вычислялись его среднее  $\bar{x}$  и среднее квадратичное отклонения  $s_x$ . После вычислялось и записывалось отношение среднего квадратичного отклонения к среднему. Для каждой алгебраической байесовской сети с фиксированным числом атомов во фрагментах знаний и на пересечениях приведены статистики полученного набора значений отношений  $s_x$  к  $\bar{x}$ .

Для каждого набора  $y$  значений  $N_{\text{КР}}, N_{\text{Сг}}$  в зависимости от  $N_{\text{КР}}$  были получены и представлены в графическом виде среднее  $\bar{y}$ , медиана  $M_y$ , квартили  $Q_1, Q_3$ , первый и девятый децили  $D_1, D_9$  для полученных данных о среднем времени поддержания непротиворечивости сети с фиксированной структурой.

На рисунке 2 приведен пример данных, полученных после проведения эксперимента.

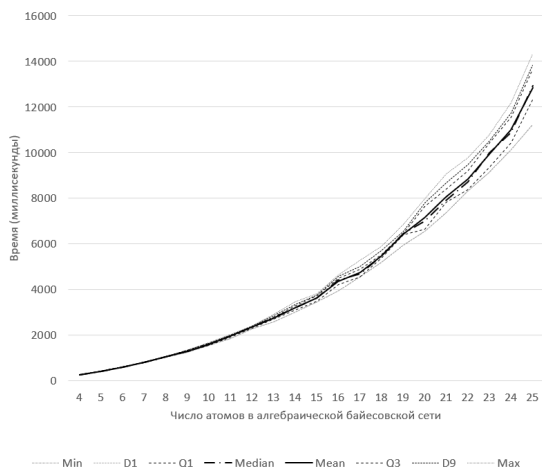


Рис. 2: Пример данных полученных, в ходе эксперимента

## Выводы

Разработанный дизайн эксперимента позволил снизить влияние случайных факторов при его проведении и получить оценки, позволяющие получить представление о времени поддержания непротиворечивости. Полученные результаты позволяют выдвинуть требования к размеру сети и в дальнейшем использовать алгебраические байесовские сети в рамках исследований социоинженерных атак [8, 9].

## Литература

- [1] Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Основы теории байесовских сетей: учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2019. 399 с.
- [2] Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006. 607 с.
- [3] Тулупьев А.Л., Сироткин А.В., Николенко С.И. Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2009. 400 с.

- [4] *Amin M.T., Khan F., Imtiaz S.* Dynamic availability assessment of safety critical systems using a dynamic Bayesian network // Reliability Engineering and System Safety (178), p. 108–117. (2018).
- [5] *Song G., Semakula H. M., Fullana-i-Palmer P.* Chinese household food waste and its' climatic burden driven by urbanization: A bayesian belief network modelling for reduction possibilities in the context of global efforts // Journal of Cleaner Production, 202, p. 916–924. (2018).
- [6] *Kindermann R., Snell J. L.* Markov random fields and their applications. American Mathematical Society, 1980. Т. 1.
- [7] *Золотин А.А., Левенец Д.Г., Зотов М.А., Бирилло А.И., Березин А.И., Иванова А.В., Тулупьев А.Л.* Алгоритмы обработки и визуализации алгебраических байесовских сетей // Образовательные технологии и общество. 2017. 20(1). С. 446–457.
- [8] *Хлобыстова А.О., Абрамов М.В., Тулупьев А.Л., Золотин А.А.* Поиск кратчайшей траектории социоинженерной атаки между парой пользователей в графе с вероятностями переходов // Информационно-управляющие системы. 2018. № 6 (97). С. 74–81.
- [9] *Абрамов М.В.* Автоматизация анализа социальных сетей для оценивания защищённости от социоинженерных атак // Автоматизация процессов управления. 2018. №1(51). С. 34–40.