

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES



УДК 004.832.32
<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-3-97-105>

Оригинальная статья
Original Paper

Применение логики первого порядка для выявления организаторов и исполнителей противоправных действий в преступных группах

А. М. Соболев^{1✉}, Е. И. Козлова¹, Ю. А. Чернявский²

¹Белорусский государственный университет,
ул. Курчатова, 5, 220064, Минск, Беларусь
✉E-mail: sobolat@bsu.by

²Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Беларусь

Аннотация. Известны три основных семейства алгоритмов вывода в логике первого порядка: прямой логический вывод и его применение к дедуктивным базам данных и продукционным системам; процедуры обратного логического вывода и системы логического программирования; системы доказательства теорем на основе метода резолюции. При решении конкретных проблем наиболее эффективными являются алгоритмы, позволяющие охватить все факты и аксиомы, которые должны быть учтены в процессе логического вывода. Рассматривается пример применения логики первого порядка с целью выявления виновных в противоправных действиях. На основании высказываний формируется база знаний из выражений, с помощью которых составляется выражение логики первого порядка. Приводятся доказательства рассуждений, полученных в прямом логическом выводе с помощью дерева доказательств. Прямой логический вывод предусматривает выполнение допустимых этапов логического вывода на основе всех известных фактов, поэтому также рассматривается метод на основе резолюции при реализации обратного логического вывода с учетом выражения, полученного при прямом логическом выводе. Данное выражение преобразуется в конъюнктивную нормальную формулу с помощью законов булевой алгебры и доказывается методом исключения событий с помощью операции конъюнкции.

Ключевые слова: логика первого порядка, прямой логический вывод, обратный логический вывод, формирование рассуждений, метод резолюции, конъюнктивная нормальная формула, дерево доказательства

Для цитирования. Соболев, А. М. Применение логики первого порядка для выявления организаторов и исполнителей противоправных действий в преступных группах / А. М. Соболев, Е. И. Козлова, Ю. А. Чернявский // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 97–105. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-3-97-105>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию | Received 16.11.2020
Подписана в печать | Accepted 23.07.2021
Опубликована | Published 29.09.2021

Application of first-order logic to identify organizers and perpetrators of illegal actions in teams of a limited circle of people

Alexander M. Sobol¹✉, Elena I. Kozlova¹, Yuri A. Chernyavsky²

¹Belarusian State University,
st. Kurchatova, 5, 220064, Minsk, Belarus

✉E-mail: sobolam@bsu.by

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
st. P. Brovki, 6, 220013, Minsk, Belarus

Abstract. There are three main families of inference algorithms in first-order logic: direct inference and its application to deductive databases and production systems; backward inference procedures and logic programming systems; theorem proving systems based on the resolution method. When solving specific problems, the most effective algorithms are those that allow you to cover all the facts and axioms and must be taken into account in the process of inference. An example is considered in which it is necessary to prove the guilt of a person in murder. On the basis of statements, a knowledge base is formed from expressions, with the help of which an expression of first-order logic is compiled and proved using direct logical inference. The proof of the reasoning obtained in direct inference using the proof tree is given. However, direct inference provides for the implementation of all admissible stages of logical inference based on all known facts. The article also considers a method based on the resolution when implementing the reverse inference, taking into account the expression obtained in the direct inference. This expression is converted into a conjunctive normal formula using the laws of Boolean algebra and is proved by the elimination of events using the conjunction operation.

Keywords: first-order logic, direct inference, reverse inference, reasoning formation, resolution method, conjunctive normal formula, proof tree

For citation. Sobol A. M., Kozlova E. I., Chernyavsky Y. A. Application of first-order logic to identify organizers and perpetrators of illegal actions in teams of a limited circle of people. *Informatics*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 97–105 (In Russ.). <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-3-97-105>

Conflict of interest. The authors declare of no conflict of interest.

Введение. Вопросы тактики выявления руководителей преступных групп и организации борьбы с ними до настоящего времени практически не изучались с использованием математических алгоритмов и математической логики. Большинство научных публикаций^{1–4} отражают результаты исследований с применением юридических, психологических, исторических, организационных и технических подходов [1–3]. В то же время использование математического аппарата логики при формировании выводов о степени участия подозреваемых в совершении уголовно наказуемых деяний может существенно облегчить процесс принятия следователями решений в ходе проводимых расследований.

Рассматриваемый в настоящей статье пример формирования рассуждений с помощью определенных выражений логики первого порядка с использованием прямого логического вывода и на основе резолюции при реализации обратного логического вывода призван продемонстрировать некоторые возможности применения математического аппарата при принятии решений специалистами в области юриспруденции, а также обучения специалистов в области информационных

¹Мазунин, Я. М. Тактика выявления и доказывания вины организаторов преступных групп : автореф. дис. ... канд. юр. наук / Я. М. Мазунин ; Юр. ин-т МВД России. – М., 1996. – 23 с.

²Корнакова, С. В. Логика для юристов : учеб. пособие / С. В. Корнакова. – Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2015. – 122 с.

³Быков, В. М. Тактика выявления организаторов преступных групп : учеб. пособие / В. М. Быков, А. В. Куница. – Саратов : Изд-во Саратов. юр. ин-та МВД России, 2005. – 224 с.

⁴Математическая логика и теория алгоритмов для программистов : учеб. пособие / Д. В. Гринченков, С. И. Потоцкий. – М. : Кнорус, 2014. – 206 с.

технологий применению знаний и навыков построения алгоритмов и информационных (экспертных, рекомендательных) систем на примерах из областей, отличных от естественно-научных или технических.

Описание проблемы: в небольшом городе районного значения участились события криминального характера, связанные в основном с работниками городской клинической больницы. Цель расследования – доказать, что гражданин Ловелас, который представляется бизнесменом, является руководителем преступной группировки и лично совершал преступления.

Представление хода рассматриваемых событий на естественном языке. Во время возвращения из областного центра в район попал в аварию автобус междугороднего сообщения, в котором находилась и в результате аварии погибла жена заведующего хирургическим отделением городской больницы (гражданка Родионова). В этом же автобусе возвращалась на свою малую родину для устройства на работу в клинику доктор Стрелкова, хирург по специальности. В автомобильной аварии доктор Стрелкова не пострадала, а по прибытии в больницу была принята на постоянную работу на должность хирурга в отделение, заведующим которого являлся Родионов.

Событие 1. Когда доктор Стрелкова возвращалась домой, на нее напала группа хулиганов, но их быстро разогнал неожиданно оказавшийся рядом мужчина спортивного вида, который позже представился доктору бизнесменом Ловеласом. С этого момента и до определенного времени между доктором Стрелковой и гражданином Ловеласом сохранялись хорошие личные отношения. При этом, однако, она не могла не отметить определенные странности поведения Ловеласа: частые и неожиданные отъезды, объясняемые необходимостью решать неотложные вопросы с компаньонами по бизнесу, скрытность в сочетании с тревожностью.

Несколько позже о своем существовании и противоправной деятельности в окрестностях места жительства доктора Стрелковой напомнила группа хулиганов, которая на этот раз ограбила и жестоко избивала молодую женщину. Доктор Стрелкова на служебном автомобиле медицинской помощи доставила пострадавшую в хирургическое отделение районной больницы, лично прооперировала, после чего распорядилась положить больную в палату хирургического отделения для пациентов, находящихся на стационарном лечении. После завершения операции пришедшая в себя пострадавшая сообщила доктору Стрелковой важную новость о том, что, когда ограбившие и избившие ее бандиты ушли, к ней подошел мужчина (некто), нанес ей ножевые ранения и быстро удалился.

При очередной встрече с Ловеласом доктор рассказала ему о случившемся. Ловелас поинтересовался состоянием здоровья потерпевшей после операции и получил обнадеживающий ответ об успешном проведении операции и скором выздоровлении пациентки.

Событие 2. Незнакомые сотрудникам больницы мужчины попытались проникнуть в палату хирургического отделения, в которой лежала прооперированная женщина. Они не смогли сразу реализовать свое намерение, поскольку у входной двери в палату был установлен пост полиции. Один мужчина при виде полицейского сразу покинул здание больницы. Некоторое время спустя возник пожар в одной из комнат больницы, не занятой людьми. Когда пожар начал распространяться по территории больницы, сработала пожарная сигнализация и полицейский оставил вверенный ему пост охраны. Некто вошел в палату потерпевшей, задушил ее подушкой и после этого попытался незаметно скрыться.

Для расследования преступления на территорию больницы прибыла оперативная группа полиции. Просмотр записей камер видеонаблюдения позволил выявить выходящего из здания человека, не сотрудника больницы, в котором полицейский, охранявший палату убитой, опознал одного из мужчин, приходивших к палате до пожара. На записи было видно, что он сел в припаркованную у здания машину и уехал. Кроме того, полицейский узнал в выходящем во время пожара из больницы мужчине второго визитера, который также не являлся сотрудником больницы. Примерно в то же самое время доктор Стрелкова увидела мирно сидящего на лавочке в садике больницы своего знакомого Ловеласа. Об этом она доложила заведующему хирургическим отделением Родионову, который также знал этого человека. Ранее подруга покойной жены Родионова показывала ему сохраненную ею совместную фотографию его жены и Ловеласа.

Событие 3. Родионов, обеспокоенный судьбой Стрелковой, прибыл в ее квартиру, где его встретил Ловелас с ножом в руках. В результате возникшего противоборства Родионов получил легкое ножевое ранение, а Ловелас оказался в полузадушенном состоянии. Прибывшие на место события полицейские и следователи составили протокол происшествия. В качестве позитива можно отметить состоявшуюся вскоре после изложенных событий свадьбу Родионова и Стрелковой.

Особенность применения алгоритма прямого логического вывода в рассматриваемом примере. Особенность заключается в том, что на любом этапе невозможны какие-либо новые логические выводы на основании высказываний, заключения по которым уже явно имеются в базе знаний. Необходимо доказать следующее: из описанных выше событий следует, что гражданин Ловелас является преступником. Вначале имеющиеся факты представим в виде определенных выражений в логике первого порядка [3].

Все события в виде высказываний можно представить следующим образом. Ловелас (*lov*) спас Стрелкову (*s*) (произошла встреча Ловеласа и Стрелковой). После этого банда (*n*) напала на девушку (*girl*) и некто (*x*) нанес ей ножевые ранения (событие 1).

Далее кто-то попытался пробраться в палату девушки, но она охранялась полицейскими (*pol*), для устранения охраны был организован пожар (*f*). В результате охрана отвлеклась и девушка была убита (событие 2).

При просмотре камер видеонаблюдения оперативная группа выявила выходящего во время пожара кого-то, в итоге произошло противоборство на квартире (*flat_s*) Стрелковой (событие 3).

Введем обозначения событий и высказываний (таблица).

Обозначения переменных и высказываний

Variables notation and description

Обозначение <i>Variable</i>	Пояснение <i>Description</i>
<i>lov</i>	Постоянная, обозначающая Ловеласа
<i>n</i>	Постоянная, обозначающая банду
<i>girl</i>	Постоянная, обозначающая девушку
<i>x</i>	Постоянная, обозначающая кого-то, он же «некто»
<i>pol</i>	Постоянная, обозначающая полицейских
<i>f</i>	Постоянная, обозначающая пожар
<i>r</i>	Постоянная, обозначающая Родионова
<i>s</i>	Постоянная, обозначающая Стрелкову
<i>flat_s</i>	Постоянная, обозначающая квартиру Стрелковой
<i>Disperse (lov, s)</i>	Встреча Ловеласа и Стрелковой
<i>Event₁ (x, n, girl)</i>	Высказывание, обозначающее событие 1
<i>Event₂ (f, x, pol)</i>	Высказывание, обозначающее событие 2
<i>Event₃ (lov, r, flat_s)</i>	Высказывание, обозначающее событие 3
<i>Criminal (x)</i>	Преступник (объект <i>x</i>)
<i>Attack (n, girl)</i>	Нападение объекта <i>n</i> на объект <i>girl</i>
<i>Save (lov, s)</i>	Спасение объектом <i>lov</i> объекта <i>s</i>
<i>Organizer (x, f)</i>	Организатор события <i>f</i> с участием объекта <i>x</i>
<i>Leave (pol)</i>	Уход объекта <i>pol</i>
<i>Murder (p, girl)</i>	Убийство объектом <i>p</i> объекта <i>girl</i>
<i>Meet (lov, r)</i>	Встреча объектов <i>lov</i> и <i>r</i>

Рассмотрим высказывание

$$\exists z \text{Attack}(n, s) \wedge \text{Save}(z, s) \Rightarrow \text{Disperse}(z, s). \quad (1)$$

Высказывание (1) с квантором существования означает, что существует некоторый объект (*z*), удовлетворяющий определенному условию: объект *z* спас Стрелкову от банды, в результате чего встретились Ловелас и Стрелкова. В реальной ситуации Ловелас (объект *lov*) спас Стрел-

кову от банды. Импликация в выражении (1) означает, что после двух событий состоялась встреча. В этом случае при атаке банды на девушку и спасении кем-то незнакомым ее жизни встретились два объекта: кто-то (Ловелас) и Стрелкова. Для устранения квантора существования введем в высказывание константу *lov*:

$$Attack(n, s) \wedge Save(lov, s) \Rightarrow Disperse(lov, s). \quad (2)$$

Далее состоялось другое нападение банды: кто-то после нападения подошел к обессиленной, лежащей на земле девушке и нанес ей тяжелые ножевые ранения:

$$Attack(n, girl) \wedge Attack(x, girl) \Rightarrow Event_1(x, n, girl). \quad (3)$$

Следует установить правомерность действия полицейского (*pol*), оставившего во время пожара (*f*) вверенный ему пост охраны у палаты раненой девушки:

$$Organizer(x, f) \wedge Leave(pol) \wedge Murder(x, girl) \Rightarrow Event_2(f, x, pol). \quad (4)$$

Также необходимо учесть события, которые произошли в квартире гражданки Стрелковой (*y*). Когда Родионов (*r*) пришел в квартиру, его встретил Ловелас с ножом в руках. Произошло противостояние, в результате которого Родионов получил легкое ножевое ранение, а Ловелас был обезврежен:

$$Meet(lov, r) \wedge Attack(lov, r) \Rightarrow Event_3(lov, r, flat_s). \quad (5)$$

С учетом введенных обозначений приведем высказывание (6), описывающее все события:

$$Disperse(lov, s) \wedge Event_1(x, n, girl) \wedge Event_2(f, x, pol) \wedge Event_3(lov, r, flat_s). \quad (6)$$

Используя выражение (6), требуется доказать, что Ловелас является преступником *Criminal(lov)*:

$$Disperse(lov, s) \wedge Event_1(x, n, girl) \wedge Event_2(f, x, pol) \wedge Event_3(lov, r, flat_s) \Rightarrow Criminal(lov). \quad (7)$$

Применение правила резолюции для доказательства того, что гражданин Ловелас является руководителем преступной группировки и лично совершал преступления. Правило резолюции [1] чаще всего используется при логических выводах для выражений, представленных в конъюнктивной нормальной форме (КНФ), и заключается в следующем. Пусть s_1, s_2 – дизъюнкты КНФ S , x – булева переменная. Если $x \in s_1, \bar{x} \in s_2$, то дизъюнкт $r = (S \setminus \{x\}) \cup (S \setminus \{\bar{x}\})$ является логическим следствием КНФ S . Дизъюнкт r называется резольвентой дизъюнктов s_1, s_2 , при этом КНФ S и $S \vee r$ эквивалентны. Доказательство на основе резолюции заключается в получении резольвент для заданной КНФ до тех пор, пока не будет получена пара однолитеральных дизъюнктов x_i, \bar{x}_i , что приведет к выводу пустого дизъюнкта и доказательству $S = 0$ – невыполнимости КНФ S .

Согласно правилу резолюции доказательство того, что из базы знаний (в рассматриваемом случае обозначаемой KB) следует высказывание α ($KB \models \alpha$), осуществляется путем доказательства невыполнимости выражения $KB \wedge \neg\alpha$, т. е. путем получения пустого выражения. Логические высказывания (1)–(7) представим в КНФ для доказательства с помощью метода резолюции. Для примера представим в КНФ выражение (7). По законам алгебры логики

$$A \Rightarrow B \Leftrightarrow \neg A \vee B, \quad \neg(A \wedge B) \Leftrightarrow \neg A \vee \neg B, \quad (8)$$

поэтому выражение (7) примет вид

$$Disperse(lov, y) \vee \neg Event_1(x, n, girl) \vee \neg Event_2(f, x, pol) \vee \vee \neg Event_3(lov, r, flat_s) \vee Criminal(lov). \tag{9}$$

Остальные выражения будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} &\neg Attack(n, s) \vee \neg Save(lov, s) \vee Disperse(lov, s); \\ &\neg Attack(n, girl) \vee \neg Attack(x, girl) \vee Event_1(x, n, girl); \\ &\neg Murder(x, girl) \vee Event_2(f, x, pol); \\ &\neg Attack(x, r) \vee Event_3(x, r, flat_s); \\ &Attack(n, s); \\ &Save(lov, s); \\ &Attack(n, girl); \\ &Attack(p, girl); \\ &Murder(p, girl); \\ &Attack(lov, r); \\ &Organizer(x, f); \\ &Leave(pol). \end{aligned} \tag{10}$$

Между тем множество высказываний (10) включает и отрицаемую цель $\neg Criminal(lov)$. Также в него входят $Organizer(x, f)$ и $Leave(pol)$, однако при использовании метода резолюции рассматривать их не будем. Представленная база знаний не содержит функциональных символов, в отсутствие которых в логике первого порядка логический вывод существенно упрощается.

Выражение (7) доказывается с помощью алгоритма прямого логического вывода, сформированного в виде дерева. (Алгоритм следует читать снизу вверх и слева направо.) Истинность факта $Criminal(lov)$ подтверждается доказательством четырех конъюнктов из выражения (7). Когда алгоритм достигает последнего конъюнкта, переменная x (некто) заменяется константой lov . Нижний уровень дерева соответствует первоначальным фактам, средний уровень – фактам, выведенным логическим путем в первой итерации. Выведенный в средней итерации факт соответствует верхнему уровню.

На основании импликаций (1)–(6) реализуем следующие итерации. В первой итерации выражение (7) имеет невыполненные предпосылки, а (3), (4) выполняются с подстановкой $\{lov/x\}$. Во второй итерации выражение (7) выполняется путем добавления высказывания $Criminal(lov)$.

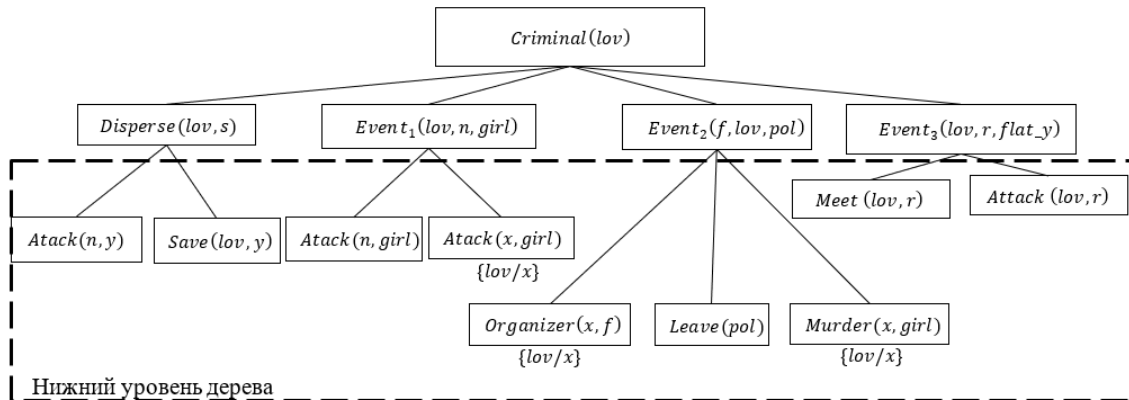


Рис. 1. Дерево доказательства, сформированного путем прямого логического вывода, что гражданин Ловелас является преступником
Fig. 1. The tree formed by direct inference evidence that the person Lovelace is a criminal

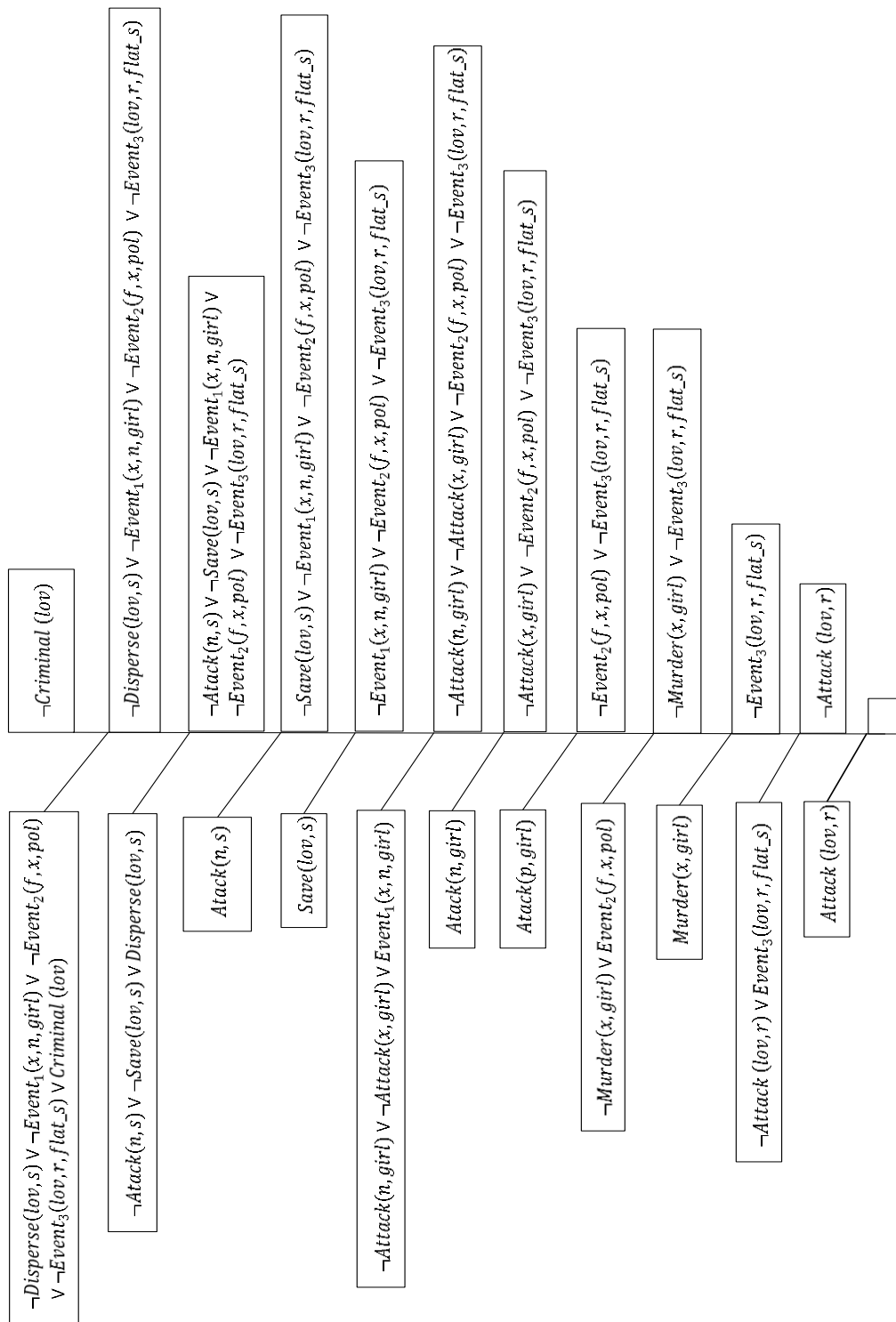


Рис. 2. Процедура доказательства с помощью резолюции того, что гражданин Ловелас организовал и лично совершил уголовно наказуемые преступления

Fig 2. The procedure for proving, by the resolution, that the person Lovelace organized and personally committed criminal offenses

При работе с алгоритмом прямого логического вывода (см. рис. 1) возможны следующие источники осложнений:

1. «Внутренний цикл» алгоритма предполагает поиск всех возможных унификаторов, так как предпосылка некоторого правила унифицируется с подходящим множеством факторов в базу знаний. Такая вычислительная операция, называемая согласованием с шаблоном, может быть весьма ресурсозатратной.

2. Имеет место повторная проверка каждого правила во всех итерациях на предмет выполнения его предпосылки, даже если в каждой итерации в базе знаний вносится лишь очень немного дополнений.

3. Алгоритм может генерировать много фактов (резольвент), которые не имеют отношения к текущей цели.

Обратный логический вывод – частный случай резолюции, в котором применяется стратегия определения того, какая операция резолюции должна быть выполнена в следующую очередь.

В рассматриваемом случае структура доказательства по методу резолюции показана на рис. 2. Структура состоит из единственного «хребта», который начинается с целевого выражения. Выражения, расположенные вдоль «хребта», точно соответствуют последовательным значениям целевых переменных в алгоритме обратного логического вывода. Для метода резолюции всегда выбирается выражение, положительный литерал которого унифицируется с самым левым литералом текущего выражения в «хребте» (справа). Метод резолюции применяется к выражениям из базы знаний до тех пор, пока не образуется пустое выражение, которое обозначено квадратом на рис. 2. Приведем пример работы метода резолюции. Для начала возьмем выражение с левой стороны «хребта» и сделаем операцию конъюнкции с его правой частью:

$$\begin{aligned} & \neg Disperse(lov, s) \vee \neg Event_1(x, n, girl) \vee \neg Event_2(f, x, pol) \vee \\ & \vee \neg Event_3(lov, r, flat_s) \vee Criminal(lov) \wedge \neg Criminal(lov) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow & \neg Disperse(lov, s) \vee \neg Event_1(x, n, girl) \vee \neg Event_2(f, x, pol) \vee \neg Event_3(lov, r, flat_s). \end{aligned} \quad (11)$$

Следует иметь в виду, что метод резолюции нельзя использовать для выработки всех логических следствий из множества высказываний. Он позволяет осуществлять поиск ответов на данный конкретный вопрос с помощью метода отрицания цели. Кроме того, алгоритм обратного логического вывода (в сравнении с алгоритмом прямого логического вывода) отличается наличием повторяющихся состояний и неполнотой. Используемая в рассмотренном примере весьма ограниченная по объему база знаний не позволила проиллюстрировать как относительные преимущества, так и недостатки алгоритма прямого логического вывода и алгоритма, основанного на применении правила резолюции. Отмеченные проблемы можно было бы решить путем существенного расширения участия органов охраны правопорядка в расследовании преступлений, совершенных не только руководителем криминальной группировки, но и ее членами, используя при этом соответствующие региональные базы знаний.

Заключение. В рассмотренном примере показано, как можно применять алгоритм прямого логического вывода к определенным выражениям в логике первого порядка и каким образом он может быть реализован эффективно. Использование выражений типа *Situation* \Rightarrow *Response* (ситуация – отклик) особенно полезно в тех случаях, когда логический вывод осуществляется в ответ на вновь поступающую информацию. Представленные в работе выводы получены без привлечения инструментальных средств, поскольку основной задачей статьи являлось доказательство того, что в случае возможности формирования базы знаний на основе только определенных выражений создание рассуждений с помощью прямого или обратного логического вывода может оказаться более предпочтительным и позволит избежать издержек, характерных для метода резолюции при использовании высказываний общего значения.

В дальнейшем предполагается построить описание предметной области, решить поставленную задачу с помощью языка логического программирования Prolog и проверить полученные в работе выводы.

Вклад авторов. А. М. Соболев представил ход событий с помощью логических выражений, доказал, что Ловелас является преступником, с помощью метода резолюции, редактировал текст статьи; Е. И. Козлова участвовала в создании графического материала и редактировании статьи, подобрала литературу, доказала, что Ловелас является преступником, с помощью прямого и обратного логических выводов; Ю. А. Чернявский представил ход рассматриваемых событий на естественном языке.

Список использованных источников

1. Самойлов, А. В. О применении основных логических законов и последствиях их нарушения в уголовно-процессуальной деятельности / А. В. Самойлов, Д. Е. Снегирева // Auditorium : электр. науч. журнал Курского гос. ун-та. – 2014. – № 4. – С. 96–102.
2. Владимиров, Л. Е. Учение об уголовных доказательствах / Л. Е. Владимиров. – Тула : Автограф, 2000. – 464 с.
3. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1408 с.

References

1. Samoilo A. V., Snegireva D. E. *On the application of basic logical laws and the consequences of their violation in criminal procedural activity*. Auditorium : jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta [Auditorium: Electronic Scientific Journal of Kursk State University], 2014, no. 4, pp. 96–102 (In Russ.).
2. Vladimirov L. E. *Uchenie ob ugovolnyh dokazatel'stvah. The Doctrine of Criminal Evidence*. Tula, Autograph, 2000, 464 p. (In Russ.).
3. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 2nd ed., Prentice Hall, 2002, 1408 p.

Информация об авторах

Соболев Александр Михайлович, магистр физико-математических наук, аспирант кафедры интеллектуальных систем, факультет радиофизики и компьютерных технологий, Белорусский государственный университет.

E-mail: sobolam@bsu.by

Козлова Елена Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой интеллектуальных систем, факультет радиофизики и компьютерных технологий, Белорусский государственный университет.

E-mail: kozlova@bsu.by

Чернявский Юрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики, факультет компьютерных систем и сетей, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

E-mail: chernyavskiy@bsuir.by

Information about the authors

Alexander M. Sobol, M. Sci. (Phys.-Math.), Postgraduate Student, Department of Intelligent Systems, Faculty of Radiophysics and Computer Technologies, Belarusian State University.

E-mail: sobolam@bsu.by

Elena I. Kozlova, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of the Department of Intelligent Systems, Faculty of Radiophysics and Computer Technologies, Belarusian State University.

E-mail: kozlova@bsu.by

Yuri A. Chernyavsky, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Informatics, Faculty of Computer Systems and Networks, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

E-mail: chernyavskiy@bsuir.by