Применение онтологических моделей данных в интересах поддержки принятия решений по управлению связью

Application of ontologic data models for the benefit of decision-making on communication management support

Грязев / Gryazev A.
Андрей Николаевич
(agryazev@zniis.ru)
кандидат технических наук.
ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт связи»,
генеральный директор.
г. Санкт-Петербург

Саенко / Saenko I.
Игорь Борисович
(ibsaen@mail.ru)
доктор технических наук.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ, профессор.
г. Санкт-Петербург

Ясинский / Jasinski S.
Сергей Александрович
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи», научный консультант.
г. Санкт-Петербург

Манаськин / Manaskin A.
Алексей Васильевич
(manaskinaw@mail.ru)
ВАС им. С. М. Буденного,
слушатель.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: управление связью – communication management; поддержка принятия решений – decision-making; модель данных – data model; онтология – ontology; логический вывод – logical inference.

Рассматривается подход к применению онтологических моделей данных в интересах поддержки принятия решения по управлению связью. Приводится описание предметной области задач управления связью и методика построения онтологических моделей задач управления связью. Оценивается эффективность использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений на онтологической основе для решения задач по управления связью.

An approach to application of ontological data models for the benefit of decision-making on communication management is considered. The description of data domain for communication management tasks and a technique of creation of ontological models for communication management tasks are provided. The efficiency of use of intellectual decision making systems on an ontological basis for solving communication management tasks is estimated.

Введение

Современные сети связи, обладающие сложной структурой и построенные на высокотехнологичном оборудовании, уже давно не могут эффективно управляться человеком без помощи автоматизированных систем. С использованием автоматизированных систем обеспечивается технологическое управление элементами сети, контроль технического состояния, мониторинг загруженности каналов передачи данных и многие другие задачи, решение которых в той или иной степени призвано обеспечить поддержку принятия решений управления связью. Несмотря на то что сети связи обладают значительной автономностью, участие человека в процессе управления связью остается достаточно существенным. Существующее программное обеспечение пунктов управления сетями связи способно выполнять многие задачи без участия операторов дежурной смены, но с возрастанием числа неизвестных факторов проблемной ситуации эффективность его использования начинает снижаться. Внедрение и использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) по управлению связью позволяет повысить обоснованность принимаемых решений слабо структурированных задач по отношению к обычным

системам поддержки принятия решений (СППР). В качестве основы построения ИСППР могут выступать онтологические модели.

Целью настоящей статьи является рассмотрение варианта описания предметной области (ПрО) задач управления связью, варианта методики формирования онтологических моделей данных о системах связи и способов оценки эффективности их применения.

Проблема описания предметной области задач управления связью.

Задача описания ПрО является фундаментальной для построения онтологий. Для эффективного решения данной задачи необходимо создание группы специалистов, включающей не менее трех человек. Руководство создаваемой группой, как правило, возлагается на инженера по знаниям [1].

Концептуализация описания ПрО не менее важна для построения онтологии. Т. Р. Грубер (Gruber) определил онтологию как формальную спецификацию согласованной концептуализации, где под согласованной концептуализацией подразумевается, что данная концептуализация не есть частное мнение, а есть общая для некоторой группы людей [2]. Описывая ПрО задач управления связью, необходимо придерживаться общепринятых концептов с добавлением множества понятий, специфических для данной ПрО. Это обеспечит построение онтологий задач управления связью (ЗУС) на базе уже существующих общих онтологий.

Выделение в ПрО стратегических и оперативных знаний позволяет онтологии получать логические выводы, основанные на изменении данных о состоянии системы связи. Стратегические знания представляют собой накопленные ранее теоретические знания в данной ПрО, а также могут представлять собой совокупность различных баз данных, сопряженных с онтологической моделью. Прецедентные знания – знания о возникавших ранее проблемных ситуациях и способах их решения. Используя прецедентные знания, онтологическая модель сможет делать логические выводы о прогнозировании развития проблемной ситуации в последующий момент времени. Таким образом, все множество концептов, отношений, функций и аксиом ПрО ЗУС можно представить в виде структуры на рис. 1.

Заштрихованная область $\{S_i\}$ на этом рисунке обозначает область соприкосновения онтологии знаний ПрО задач управления связью с общей онтологией (онтологией верхнего уровня), включающую в себя общие концепты ПрО онтологий.

Полнота множества $\{S_i\}$ определяет гибкость сопряжения онтологии ЗУС с другими онтологиями. Однако эта область не должна включать концепты и аксиомы, имеющие важное значение для функционирования всей онтологической модели. При нарушении взаимодействия онтологий может быть нарушено функционирование всей онтологии задач управления связью. Приведенная структура ПрО задач управления связью не является функционально законченной и может содержать другие группы концептов.

Методика формирования онтологических моделей данных о системах связи.

Существует множество методик формирования онтологических моделей ПрО. Предлагаемая в настоящей статье методика представляет собой обобщенный вариант формирования «легкой» онтологической модели в программном средстве «Protégé» 5.0 и реализуется путем выполнения четырех этапов, представленных на рис. 2.

На первом этапе при определении основных терминов ПрО необходимо получить множество терминов $\{X_i\}$, а затем определить среди них множество концептов

Рис. 1. Структура предметной области задач управления связью

Рис. 2. Методика создания прикладной онтологии

$\{C_j\}$ и множество предикатов $\{R_k\}$.

В качестве основы построения онтологий на этапе формирования этих множеств целесообразно использовать методологию «концептуальных карт» (Conceptual MAP – CMAP) [3], относящихся к легким онтологиям.

В ходе второго этапа необходимо выполнить расположение множества концептов $\{C_j\}$ в таксономической иерархии, в которой отношения между концептами являются отношениями вида «класс» – «подкласс».

Полученная формальная таксономия будет иметь следующий формализованный вид:

$$O = \{C, T\}; O = \bigcup_{i=1}^{n} C_i \supset \{c_{il}\},$$

где $\{C_i\}$ – множество классов; $\{c_{il}\} \subset C_i$ – множество подклассов класса $\{C_i\}$; T – множество таксономических отношений между классами.

Особенностью формальной таксономии является транзитивность иерархических отношений, которую можно выразить следующим выражением:

$$\forall C_x, C_y, C_z \subset C, (C_x t C_y) \wedge (C_y t C_z) \Rightarrow (C_x t C_z).$$

Иными словами, в случайно взятых классах одной таксономии $C_x, C_y, C_z \subset C$ при условии t, свидетельствующем, что C_y является суперклассом для класса C_x, а C_z – суперкласс для C_y, является справедливым утверждение, что C_z является суперклассом для класса C_x.

Формальная таксономия не должна иметь циклов, когда в иерархии $C_x, C_y, C_z \subset C$ у некоторого класса C_y, являющегося подклассом для класса, есть подкласс C_x, который указан как суперкласс для класса C_z. Формально данное условие можно задать следующим выражением:

$$\forall C_x, C_y, C_z \subset C, (C_x \subseteq C_y) \wedge (C_y \subseteq C_z) \Rightarrow (C_z \not\subset C_x).$$

Таксономия должна иметь сбалансированную структуру, избегающую минимального или излишнего количества подклассов в классе. Так, если существует класс C_y, который имеет только один прямой подкласс C_x, то возможно наличие ошибки, если указаны не все возможные значения концептов. Наличие у класса C_y более 10 подклассов может свидетельствовать о необходимости введения дополнительных промежуточных классов.

Выделение подклассов необходимо при наличии у концептов свойств или ограничений, отсутствующих у суперкласса.

На третьем этапе из множества $\{R_k\}$, представляющего собой отношения вида «классы – слоты (подклассы)», формируются таксономии свойств. Производится определение слотов и описание ограничений, налагаемых на значения этих слотов. Для каждого свойства из множества $\{R_k\}$ определяется тип отношения к каждому из классов $\{C_i\}$.

В зависимости от типа описания отношения слоты могут быть следующих типов:

1) «внутренние» свойства – связываются со значением типа данных;

2) «внешние» свойства – связываются с другим классом;

3) свойства, описывающие абстрактное или физическое отношение вида «целое» – «часть»;

4) свойства, описывающие отношения с другими концептами.

В завершении третьего этапа для каждого из слотов необходимо произвести определение фацетов, которые описывают типы значения слотов и их мощности. Мощность слота определяет список конкретных разрешенных значений слота.

На четвертом, завершающем этапе происходит создание экземпляров слотов. Для определения отдельного экземпляра класса требуется выбрать класс, создать отдельный экземпляр этого класса и ввести значения слотов. С заполнением слотов экземплярами завершается моделирование, а онтология конкретизируется под описание необходимой ПрО.

Возможным этапом, не внесенным в настоящую методику, но являющимся важным в случаях использования нескольких онтологических моделей (ОМ), является когнитивная проверка онтологии.

Учитывая, что ОМ субъективна, процесс когнитивной оценки достаточно сложен. Во многих случаях принятие окончательного решения остается на усмотрение эксперта [4]. Существуют методики оценки структуры ОМ. Одна из них предлагается В. А. Моховым и Н. Н. Сильнягиным [5]. Предлагаемая в настоящей статье методика основана на алгоритме расчета метрик [6], позволяющем оценить когнитивные качества онтологии посредством анализа ее графа.

Для оценки качества готовых онтологических моделей разработан ряд методов: Natural Language Application metrics; OntoMetric; FIGO; EvaLexon; Declarative Methods; OntoClean [7]. Данные методы позволяют производить оценку онтологий по следующим критериям: точность и полнота словаря предметной области, адекватность, восприимчивость, производительность, структура с точки зрения таксономии и отношений [8].

Субъективные метрики оценки качества онтологий включают: метрики циклов, метрики Ингве-Миллера, метрики глубины, метрики разнообразия количества связей и метрики запутанности (tangledness) графа [9].

Особенности использования онтологических моделей данных о системах связи для поддержки принятия решений по связи

Онтологические модели данных о системах связи, используемые для построения ИСППР, обладают особенностями, присущими всем онтологиям, и специфическими особенностями, присущими только им. К общим особенностям возможно отнести:

· возможность получения логического вывода с помощью онтологии;

· возможность формирования запросов пользователей на естественном или близком к нему языке;

· возможность семантического поиска информации.

Данные особенности позволяют онтологической модели оценивать вероятности возникновения ложных («нереальных») событий и тем самым уменьшить вероятность выработки необоснованных выводов вследствие искажения входных данных, а также самостоятельно получать релевантную информацию из доступных информационных источников.

К специфическим особенностям онтологических моделей данных о системе связи относятся:

· необходимость построения в виде многослойной структуры с использованием прикладных (фактографических) онтологий низшего уровня, используемых для ввода фактографических данных;

· распределенность онтологической модели по технической структуре системы управления связью;

· использование экземпляров классов, имеющих значительное количество внутренних свойств;

· необходимость сопряжения онтологической модели с базами данных систем управления связью;

· необходимость разработки интерфейса взаимодействия модели в едином пакете программного обеспечения пункта управления связью;

· выполнение повышенных требований по надежности и безопасности информации.

Исходя из указанных выше особенностей онтологии, наиболее приемлемым вариантом технического построения ИСППР на онтологической основе может быть использование «клиент – серверной» технологии [10].

Техническая реализация предлагаемого варианта построения ИСППР позволяет решить вопрос разграничения доступа к информации, циркулирующей в разных уровнях управления, обеспечить возможность их автономного редактирования и повышения скорости аннотирования информационных ресурсов в подразделениях связи.

В программной среде Protege 5.0 для апробации приведенной выше методики была создана прикладная онтологическая модель данных о составе узла связи. Разработанная онтология позволяет пользователю через интерфейс программы Protege получать данные посредством DL-запросов или SPARQL-запросов.

Посредством DL-запросов возможно получить следующие данные:

· о задачах подразделений связи по развертыванию элементов системы связи;

· о планируемом и фактическом составе узлов связи;

· о техническом состоянии и характеристиках аппаратных связи.

Выигрыш от использования онтологической модели при решении задач управления связью в сравнении с традиционными базами данных демонстрируется на примере DL-запроса, представленного на рис. 3.

На этом рисунке показан DL-запрос к онтологической модели данных о составе системы связи, по которому выведен перечень экземпляров данного класса, являющихся техникой связи запрашиваемого подразделения. Следует отметить, что выводимая информация может быть шире и отражать сведения по подчиненным

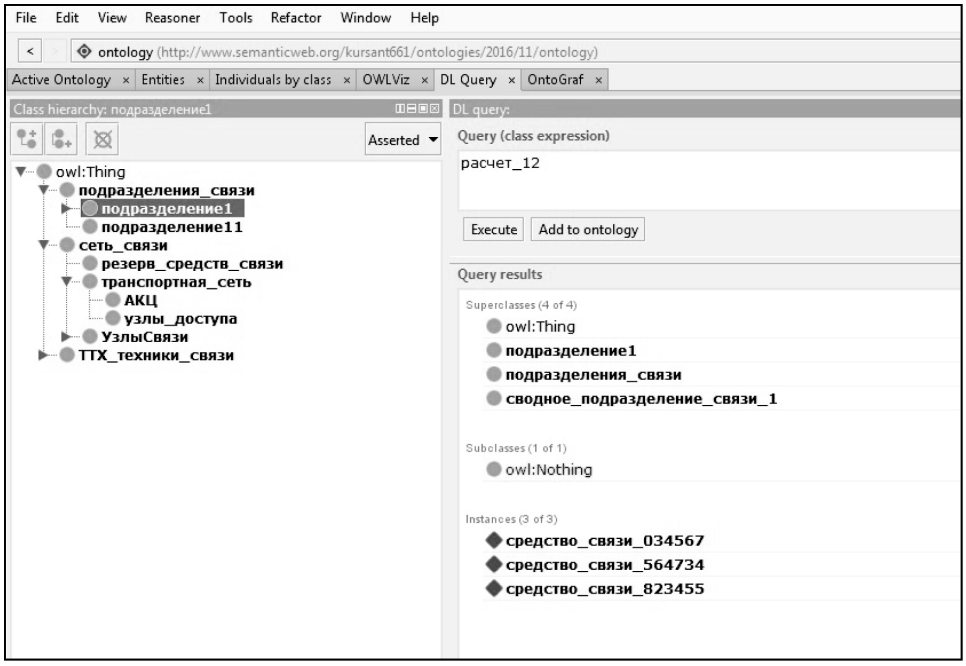

Рис. 3. Пример DL-запроса к онтологической модели данных о составе системы связи

классам и вышестоящим классам. Как показано на рис. 3, в ответе на запрос отображена информация о принадлежности данного подразделения к подразделениям связи, а также его подчиненность вышестоящим подразделениям («подразделение 1» и «сводное подразделение связи 1»).

За счет работы пользователя с моделью на естественном языке, а также с меньшим числом знаков запроса к онтологической модели по сравнению с подобным запросом к традиционной базе данных возрастает оперативность получения пользователями информации, необходимой для решения задач управления связью. Дополнительно следует отметить, что онтологическая модель способна к семантической обработке запросов и обеспечивает предоставление информации по «подобным» запросам или запросам, заданным на естественном языке пользователя с грамматическими ошибками, как это реализовано в известных поисковых Интернет-системах.

Кроме того, при работе с онтологией, с использованием машины логического вывода, обеспечивается поддержка пользователя дополнительной информацией по сравнению запросами в традиционных базах данных, что демонстрируется на рис. 4.

На этом рисунке показано окно программы для работы с экземплярами классов. Исходные данные, заданные для экземпляра «средство связи 456239», выделены в модели жирным черным шрифтом. С учетом введенного подобия этого экземпляра типовому экземпляру «средство связи вариант 1» машина логического вывода предоставляет пользователю дополнительную информацию о подобных экземплярах, существующих в онтологической модели. Посредством анализа заданных значений внутренних свойств этого экземпляра машина логического вывода делает заключение о принадлежности экземпляра к еще трем классам онтологической модели, например к классу «автомобильная техника связи», через значение внутреннего свойства, заданного переменной «КАМАЗ». Из приведенного примера видно, что пользователь, работая с экземплярами классов онтологии, способен получать информацию о схожих экземплярах без дополнительных запросов, что существенно повышает оперативность принятия решения. Таким образом, виден существенный выигрыш при работе с онтологической моделью в сравнении с традиционными базами данных за счет представления дополнительной информации, полученной путем логического вывода.

Оценка эффективности использования онтологических моделей данных о системах связи для поддержки принятия решений

Для оценки эффективности использования онтологических моделей необходимо, прежде всего, определиться с показателями эффективности. Среди этих показателей следует в первую очередь выделить группу показателей качества управления связью, характеризующих способность органов управления связи обеспечивать качественное управление подчиненным объектом (системой связи).

К группе показателей качества процесса управления связью предлагается отнести показатели своевременности (оперативности), адекватности (обоснованности и результативности), безопасности и ресурсопотребления.

Остановимся на рассмотрении наиболее важных двух показателях: своевременности и адекватности.

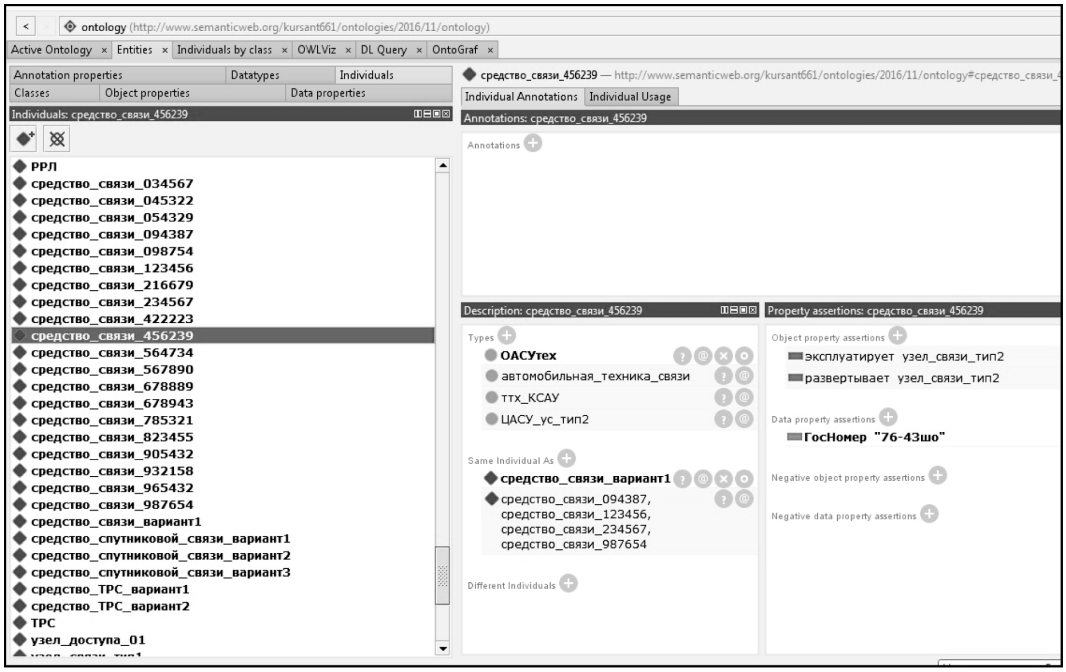

Рис. 4. Данные логического вывода при работе с онтологией

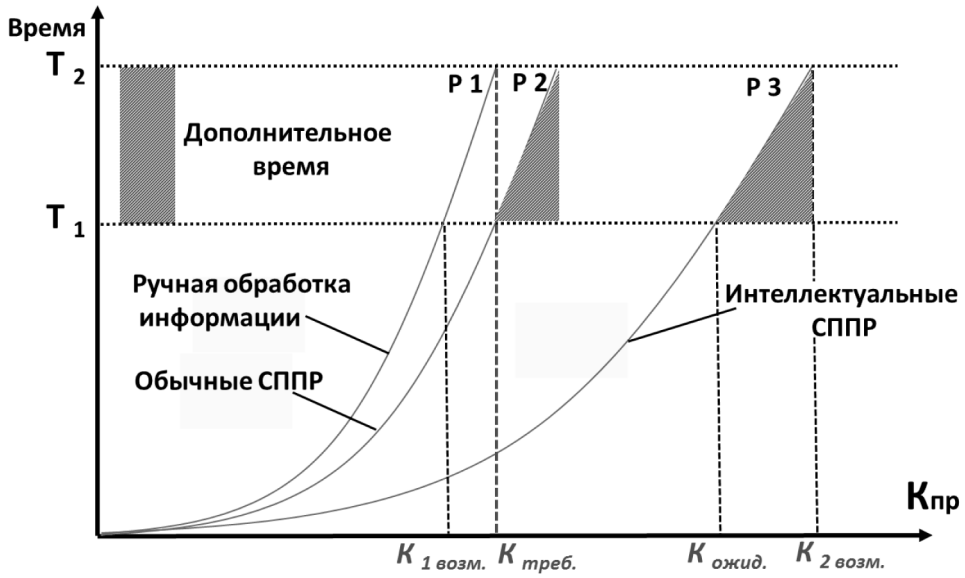

Рис. 5. График зависимости коэффициента подготовленности решения от времени

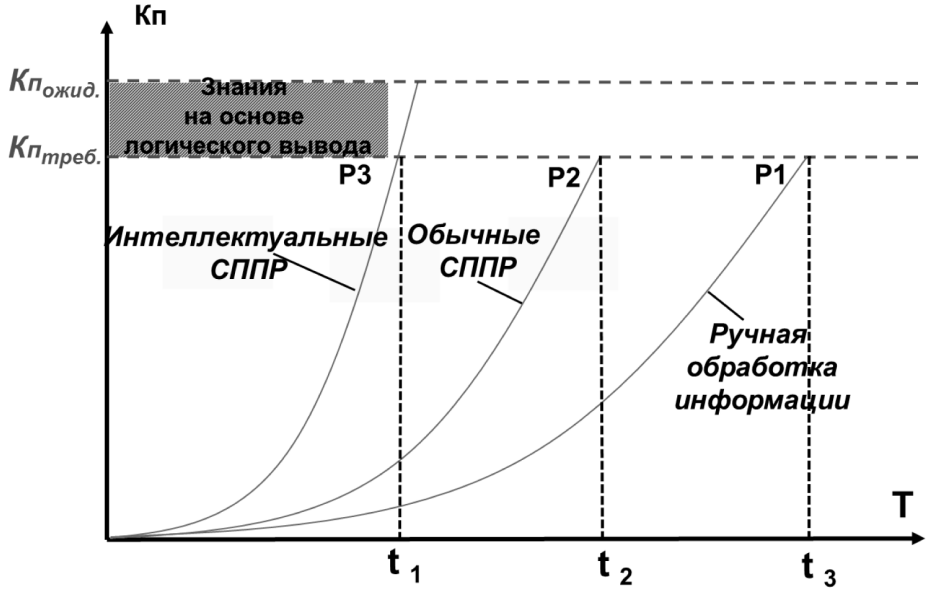

Рис. 6. График зависимости коэффициента полноты информации от затраченного времени

Своевременность можно оценить количественно как:

- средняя продолжительность цикла управления;
- вероятность того, что продолжительность цикла управления при выполнении задачи не превысит установленного времени.

Адекватность характеризует способность вырабатывать обоснованное решение. Для количественной оценки обоснованности может быть использован коэффициент подготовленности решения $\mathbf{K_{пр}}$. График зависимости между временем принятия решения и коэффициентом подготовленности принимаемого решения приведен на рис. 5.

В качестве меры подготовленности решения относительно выбранного временного показателя используется показатель полноты информации $\mathbf{K_п}$, рассчитываемый как отношение полученной информации к информации, необходимой для принятия обоснованного решения.

Ограниченность времени на принятие решения часто является одним из основных факторов, непосредственно влияющим на его качество. На рис.6 приведен график зависимости коэффициента полноты информации $\mathbf{K_п}$ от затраченного времени в случаях ручной обработки информации, использования обычных СППР и ИСППР на онтологической основе [11].

Анализ графических зависимостей на рис. 6 позволяет сделать вывод, что для достижения требуемой полноты информации ($K_{п,треб.}$) в случае использования ИСППР требуется меньшее время (t_1) по сравнению с обычными СППР (t_2) и ручной обработкой информации (t_3). Данный выигрыш достигается за счет возможности реализации семантического поиска и получения знаний на основе логического вывода.

Следует отметить, что эффективность онтологических моделей и ИСПРР на их основе существенно зависит также от полноты и качества входных данных. Возможность онтологических моделей в получении логических выводов позволяет получать более обоснованное решение для слабо структурированных или неструктурированных задач по отношению с обычными СППР.

Заключение

Предлагаемый онтологический подход к построению интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению связью обеспечивает повышение эффективности разработки решений, принимаемых должностными лицами по связи. Онтологические модели предметной области управления связью позволят снизить зависимость принимаемых решений от ошибок данных, вызванных технологическим сбоем оборудования, повысить надежность управления системами связи, а также переложить часть умственной нагрузки с операторов дежурных смен на интеллектуальную систему.

Дальнейшие исследования предполагается проводить в области распространения ИСППР на управление информационными трактами технологической информации систем управления связью, а также каналами передачи управления связью, используемыми персоналом пунктов управления связью.

Литература

1. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Издательский дом "Питер", 2001. – 384 с.
2. Боргест, Н. М. Онтология проектирования. Теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы / Н.М. Боргест. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. – 91 с.
3. Ивлев, А. А. Онтология военных технологий [Электронный ресурс] / А.А. Ивлев, В.Б. Артеменко. – Режим доступа: http://www.milresource.ru/Ontol.html, свободный. – Загл. с экрана.
4. Мохов, В. А. Анализ перспектив программной оценки когнитивных свойств онтологий / В.А. Мохов, Н.Н. Сильнягин // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. – С. 158–163.
5. Мохов, В. А. Интегрированный алгоритм когнитивной оценки и выбора оптимального варианта онтологической модели [Электронный ресурс] / В.А. Мохов, Н.Н. Сильнягин // Электронный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2011. – № 11. – Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/600, свободный. – Загл. с экрана.
6. Субъективные метрики оценки онтологий [Электронный ресурс] / Т.А. Гаврилова [и др.] // Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-09). – Режим доступа: math.nsc.ru/conference/zont09/reports/39Gavrilova-Gorovoi-Bolotnikov-Gorelov.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
7. Hartmann, J. Methods for ontology evaluation / J. Hartmann // Knowledge Web Deliverable. – 2005. – P. 11–29.
8. Горовой, В. А. Модель классификации методов оценки онтологий / В.А. Горовой// Материалы 2-й международной молодежной конференции «Искусственный интеллект: философия, методология, инновации». – 2007.– С. 307–310.
9. Андрич, О. Ф. Исследование методов оценки качества готовых онтологических моделей [Электронный ресурс] / О.Ф. Андрич, Л.А. Макушкина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 3. – Режим доступа: http://web.snauka.ru/issues/2014/03/31194, свободный. – Загл. с экрана.
10. Манаськин, А. В. Онтологический подход к созданию систем поддержки принятия решений по управлению специальной связью / А.В. Манаськин, И.Б. Саенко // Материалы международной научно-практической конференции (ССБИ-2016). – Краснодар: Краснодарский ЦНТИ, 2016 – С. 10–14.
11. Организация информационного взаимодействия разнородных автоматизированных систем: онтологический подход / И.Б. Саенко [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 2. – С. 60–64.