

МИВАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

М.О. Самойлова, Г.С. Сергушин, П.Д. Антонов, А.М.Хадиев

В работе для создания экспертных систем предлагается миварный подход. Рассматривается структурное расширение данного подхода. Вводятся понятия классов и параметров, отношений и правил. Для повышения эффективности моделирования и обучения миварных экспертных систем предлагается использование ограничений.

Ключевые слова: мивар, миварные сети, экспертные системы, класс, параметр, отношения, ограничения

Введение

Развитие информационных систем и технологий обуславливает необходимость автоматизации и интеллектуализации программных систем АСУ, АСОИ, АСУТП и СППР.

В настоящее время существует множество подходов к представлению и обработке данных. Однако, все большую популярность набирает миварный подход. Такой подход позволяет обрабатывать большие объемы данных в режиме реального времени, что дает возможность наиболее полно описывать различные предметные области. Миварный подход объединяет две основные технологии: технология накопления информации и технология обработки информации. Миварная технология накопления информации предназначена для хранения любой информации с возможным эволюционным изменением структуры, а миварная технология обработки информации предназначена для обработки информации, в частности, для логического вывода. Решения предлагаемые системами, построенными на основе миварных технологий для каждой

конкретной ситуации строятся автоматически, без необходимости участия эксперта.

Обзор современных возможностей миварных технологий и полученных результатов

Миварные технологии начинают развиваться с 1985 г., когда была поставлена задача анализа сетей Петри и продукций для быстрого построения алгоритмов в интеллектуальных пакетах прикладных программ (ИППП). В 2002 году сформулированы основы миварного подхода к созданию ИИ [1]. В 2012 году создан прототип логического ИИ [2].

Важно подчеркнуть, что миварные технологии обобщают различные применения и научные задачи, например: минимальный разрез сети по вершинам и ребрам [3], взаимосвязь GRID, сервисно-ориентированной архитектуры (SOA) и миварного подхода [4]. Предложен проект создания мультипредметной активной миварной интернет-энциклопедии (он-лайн экспертной системы) [6] на основе миварного информационного пространства [7], [8].

Миварные технологии показали огромный научный потенциал, поэтому было предложено перейти к разработке теории активного отражения [9] на основе результатов двадцати пяти лет развития миваров [10], миварного пространства представления данных и правил [11], виртуальных потоковых баз данных [12], адаптивного механизма логического вывода [13], линейного матричного метода определения маршрута логического вывода [14], распараллеливания потокового множественного доступа [15]. Был проведен синтез моделей и методов для оперативной диагностики [16], что позволило обосновать возможность создания системы управления групп автономных роботов [17]. С 2012 года мивары перешли от области экспертных систем к другим областям ИИ и начался процесс решения проблемы понимания естественного русского языка [18] с учетом сервисно-ориентированной архитектуры [19], теории активного отражения [20], эволюционных баз знаний [21]. Комплексное моделирование процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий [22] позволило использовать результаты логико-вычислительной

обработки информации для тренажеров и экспертных систем реального времени [23]. Проведены исследования на многопроцессорном вычислительном кластере [24] и создан программный комплекс "УДАВ" [25]. В процессе моделирования понимания компьютерами смысла [26] была создана система автоматического тегирования изображений [27] и проведен анализ технологий трехмерного моделирования [28].

Миварные технологии объединили и включили в себя эволюционные базы данных и логико-вычислительную обработку с линейной вычислительной сложностью логического вывода [1-31].

Базовое описание

Миварное пространство представляет собой множество осей, множество элементов осей, множество точек пространства и множество значений точек. Введем $A = \{a_n\}$, $n = 1..N$, где A – множество названий осей миварного пространства, N – количество осей миварного пространства. Тогда

$$\forall a_n \exists F_n = \{f_{n_{i_n}}\}, n = 1 \dots N, i_n = 1 \dots I_n \quad (1)$$

где F_n - множество элементов оси a_n , i_n - идентификатор элемента множества F_n , $I_n = |F_n|$. Множества F_n образуют многомерное пространство: $M = F_1 \times F_2 \times \dots \times F_n$, здесь точка $m = (i_1, i_2, \dots, i_N)$, $m \in M$, m – точка многомерного пространства, $(i_1, i_2, \dots, i_N)$ - координаты точки m .

Существует множество значений точек многомерного пространства M :

$$C_M = \{c_{i_1, i_2, \dots, i_N} \mid i_1 = 1, \dots, I_1, i_2 = 1, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, \dots, I_N\},$$

где $c_{i_1, i_2, \dots, i_N}$ – значение точки многомерного пространства M с координатами $(i_1, i_2, \dots, i_N)$. Для каждой точки пространства M не существует или существует единственное значение из множества C_M . Таким образом, C_M – множество изменений состояний модели данных, представляемой в многомерном пространстве. Для перехода между многомерным пространством и множеством значений точек введено отношение

$$\mu: C_x = \mu(M_x),$$

где $M_x \subseteq M$, $M_x = F_{1x} \times F_{2x} \times \dots \times F_{Nx}$.

Для описания модели данных в миварном информационном пространстве необходимо выделить три оси: ось отношений O , ось признаков (свойств) S и ось элементов (объектов) предметной области V (Рис. 1).

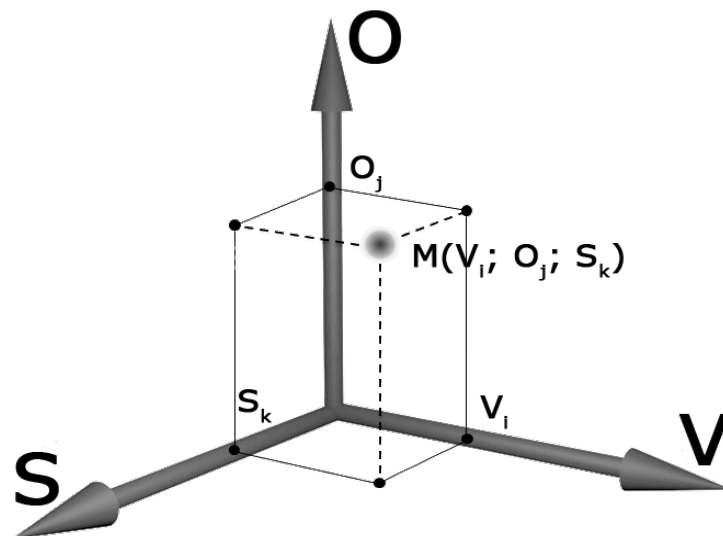


Рисунок 1. Модель данных в миварном информационном пространстве

Эти множества являются независимыми. Миварное пространство можно выразить кортежем вида

$$\langle V, S, O \rangle \quad (2)$$

В многомерном пространстве каждому значению атрибута отношения соответствует точка с определёнными координатами. Отношения связывают элементы пространства. Множество всех точек многомерного пространства соответствует модели данных. При миварном подходе ее структура определяется точками пространства, которые хранят соответствующие значения атрибутов отношения. Миварная сеть может быть представлена в виде двудольного графа.

Одним из базовых понятий предлагаемого миварного подхода является понятие миварной сети (МС). Говоря в общем, миварная сеть обеспечивает формализацию и представление человеческих знаний в виде связанного

многомерного пространства. Более конкретно, МС – это способ представления в виде двудольного ориентированного графа части информации миварного пространства, образуемой объектами и связями между ними, которые в совокупности представляют модель данных предметной области, при этом связи включают в себя правила для обработки объектов. Иными словами, МС предметной области является частью знаний миварного пространства по этой области. Двудольный ориентированный граф состоит из объектов (Р) и правил (R), где Р – это **V** из миварного пространства, а R – это **O**. Биграф миварной сети может быть представлен в виде двумерной матрицы $P \times R$ следующим образом:

1. сеть состоит из элементов двух видов (двух долей графа): вершин графа - объектов (Р) и ребер графа - правил (R);

2. для каждой переменной Р в явном виде хранится информация о всех правилах R, для которых она является входной (X) или выходной (Y) переменной с явным указанием этого;

3. для каждого правила R в явном виде хранится информация о всех его входных и выходных переменных Р, включая и информацию о количестве входных (X) и выходных (Y) переменных;

4. хранение всей необходимой информации такой сети организуется на основе технологий баз данных, адаптированных под работу с миварным информационным пространством;

5. в каждом элементе миварной сети, будь то вершина или ребро, однозначно и полностью определены все смежные ребра и вершины. Находясь в любом месте миварной сети, всегда известно, откуда в него можно прийти и куда из него можно перейти, что исключает использование переборных методов при поиске логического вывода на миварной сети. Это является прямым следствием того, что МС представляется в виде двудольного ориентированного графа.

Иными словами, МС – это особый способ формализации и представления информации в виде множеств двух и более типов, которые потом связываются между собой. Множество первого типа называется "Объекты". Множество второго типа называется "Правилами". В примитивном плане, "Объект" – это то,

что отвечает на вопрос "кто?", "что?". "Объект" может быть реальным (например, человек, предмет, географический пункт) и абстрактным (например, событие, счет покупателя, изучаемый учебный курс). Детализированность зависит от требований рассматриваемой предметной области. "Правила" - формализованный преобразователь или индикатор знаний. "Правила" в общем виде состоят из набора входов, набора выходов и внутреннего алгоритма обработки входных данных в выходные. "Правилами", например, могут быть математические формулы, продукционные правила "ЕСЛИ-ТО", индикаторы типа связи двух объектов, целые сервисы.

Уже два этих множества позволяют построить двудольный ориентированный граф за счёт связывания множеств разных типов: "объект-правило" и "правило-объект". Взаимосвязи типа "объект-объект" и "правило-правило" запрещены. В общем виде взаимосвязь имеет вид: "объект(ы)-правило-объект(ы)". Первым указывается элемент, из которого исходит взаимосвязь. Вторым указывают тот элемент, куда приходит взаимосвязь. За счёт этого устанавливается ориентированность графа и исключаются возможности неверного толкования или преобразования объектов за счёт обратного прохода по взаимосвязи.

При таком построении, МС обладает свойством масштабируемости, так как в любой момент времени можно добавить элементы множеств любых имеющихся типов, без необходимости изменения методов их обработки.

Одна из ключевых особенностей МС заключается в том, что для её описания необязательно нужен эксперт. В большинстве случаев, достаточно просто перенести объективно существующие объекты и связи (правила) в миварный вид.

Развитие миварного подхода

В ходе дальнейшего развития предложенного подхода к представлению данных объекты были разделены на параметры и классы, связи – на отношения и правила, а также введена новая сущность – ограничение.

Базовый миварный матричный подход, описанный выше, подразумевает работу с плоскими моделями предметных областей, где все параметры являются одноранговыми. Однако, очень многое вокруг нас обладает иерархическими связями. Например, дивизия состоит из рот, институт из факультетов, те, в свою очередь, из кафедр и так далее. Зачастую, такие иерархические связи содержат в себе дополнительную информацию, которой нельзя пренебречь. Например, они позволяют отличить один объект от другого, сказать, что в этой семье отца зовут Геннадием, а в другой - Вячеславом. Для реализации подобных взаимоотношений в миварном пространстве и миварной сети было принято решение разбить существовавший ранее элемент "объект" на параметры и классы.

Параметры и классы в миварном пространстве

Параметр – единичный конечный на данном уровне абстракции объект, обладающий значением. Примером может служить длина стороны АВ треугольника ABC.

Класс – внутренний узел дерева иерархии. Класс не обладает значением и может содержать в себе другие внутренние узлы (другие классы) и/или листья (параметры). Например, классом может быть "треугольник", который внутри себя будет хранить параметры сторон и углов. Также классом может быть "дивизия", внутри которой могут быть не только собственные параметры (название, списочная численность, месторасположения и т.д.), но и другие классы, например, роты. Введение классов позволяет упростить описание модели, содержащей несколько однотипных объектов. Не надо вводить всё заново или искать параметры, разбросанные по всей модели. Достаточно просто скопировать и вставить новый экземпляр. Ещё одним отличием класса от параметра является то, что он может содержать в себе список внутренних правил класса.

Внутреннее правило класса – правило, использующее только параметры, являющиеся дочерними для данного класса. Например, для треугольника правило " $\text{угол } C = 180 - \text{угол } A - \text{угол } B$ " будет являться внутренним правилом, так как все эти углы являются дочерними параметрами класса 'треугольник'. Введение внутренних правил класса позволяет упростить создание схожих объектов по

образцу, так как внутренние правила будут автоматически генерироваться для нового экземпляра класса. За исключением этого, они ничем не отличаются от простых правил.

Отношения в миварном пространстве

Отношение – обновлённый элемент миварного пространства. Отношение описывает взаимосвязь между абстрактными переменными. Например, " $a = b - c$ " – абстрактная формула вычитания. В отношении хранится его тип, список входных и список выходных переменных, типы использованных переменных и описание. Отношения бывают:

- математическими (примером может быть простая формула " $a = b - c$ ");
- условными ("Если y равен 10, то x равен 14, иначе x равен 7");
- программируемыми (примером может служить программный код со своими входами и выходами);
- строковыми ("любит", "связан");
- системными ("часть-целое");
- местоположения ("над", "справа")

В отличие от отношения, правило содержит в себе ссылку на отношение и связывает конкретные объекты из модели. Это сделано для упрощения описания предметных областей и многократного повторного использования одних и тех же, даже сложных программируемых свойств. Например, у нас есть математическое отношение с формулой " $a = b - c$ ". Она может означать, как остаток средств на счету после оплаты чего-либо, так и сколько у нас осталось яблок, если было 10 и мы одно отдали. Правила содержат, по меньшей мере:

1. перечень входных переменных;
2. перечень выходных переменных;
3. идентификатор отношения.

Отметим, что дополнительно был предложен механизм миварных ограничений, который позволяет более точно передавать информацию о реальном мире и отслеживать его изменение. Благодаря ограничениям, можно сигнализировать о каких-то нештатных ситуациях в АСУТП, либо указывать на

неверно подготовленные исходные данные.

Ограничения

Ограничение – новый элемент миварного пространства. Как следует из названия, этот элемент накладывает ограничения на значения параметров. Например, в прямоугольном треугольнике один из углов всегда равен 90° , стороны треугольника всегда должны быть больше 0.

Миварные ограничения похожи по своей структуре на правила. Они также имеют ссылку на отношение, которое обязательно является условным и имеет вид

"Если (условие), ТО правда, ИНАЧЕ ложь",

и привязаны к параметрам конкретной модели. Разница между ними в том, что миварные ограничения:

- имеют только входы, а выход является булевской переменной;
- при срабатывании останавливают вычисление модели и выводят сообщение об ошибке.

Механизм ограничений позволяет более точно передавать информацию о реальном мире и отслеживать его изменение. Благодаря ограничениям, можно сигнализировать о каких-то нештатных ситуациях в АСУТП, либо указывать на неверно подготовленные исходные данные. Использование миварных ограничений хорошо зарекомендовало себя на практике при решении прикладных задач [30].

Миварные прецеденты

Прецедент – случай или событие, имевшее место в прошлом и служащее примером или основанием для аналогичных действий в настоящем. В миварном подходе можно не только сохранять ранее рассчитанные алгоритмы, но и строить по ним прецеденты в виде отдельного правила, объединяющего все уникальные входы в правила внутри этого локального алгоритма и часть, последние или все выходы из них (зависит от конкретной реализации).

Предложено следующее определение миварного прецедента. Прецедент в миварном подходе – особая запись некогда рассчитанного алгоритма, длиной

более одного шага, позволяющая рассматривать прецедент, как новое правило миварного подхода.

Каждый шаг алгоритма обладает:

1. списком входных параметров;
2. информацией о запущенном правиле;
3. списком выходных правил.

При этом, на вход последующего шага могут передаваться, и нередко передаются, параметры, являющиеся выходами одного из предыдущих шагов. Такие входные параметры называются "рассчитанными". Если же на вход передаётся параметр, который не является выходом одного из предыдущих шагов, то такой параметр называется "уникальным".

Прецедент, как и правило, содержит:

1. список входных параметров;
2. список выходных параметров;
3. идентификатор отношения.

Для правильной работы прецедента необходимо гарантировать, что все "уникальные" входные параметры будут переданы на вход прецедента, так как без них не сможет быть выполнен вложенный в прецедент алгоритм расчёта.

Что касается перечня выходных параметров прецедента, то он может образовываться одним из следующих способов:

- только выходными параметрами последнего шага алгоритма. Применим для алгоритмов, где в качестве искомых параметров указывались параметры, рассчитываемые на последнем шаге;
- только параметрами, отмеченные, как 'искомые', при расчёте алгоритма, по которому создаётся прецедент;
- всеми параметрами, являющиеся выходными параметрами шагов алгоритма внутри прецедента.

В качестве идентификатора отношения может выступать:

1. отдельно сохранённый алгоритм;

2. отношение, в котором объединены все шаги алгоритма, по которому создан прецедент.

Под уникальными входами в правила понимаются входы, которые не являются выходом правила внутри локального алгоритма. В качестве отношения данного правила будет записано последовательное и суммарное отношение всех входящих в локальный алгоритм отношений.

Формирование правила-прецедента не отличается от формирования обычного правила по структуре и позволяет использовать их наряду с другими правилами при логическом выводе.

Иными словами, прецеденты могут обрабатываться в том же месте и алгоритме, что и простые правила. Для некоторых задач допускается их отдельное использование.

Практическая реализация новых теоретических элементов миварного подхода

Вышеописанные теоретические разработки, включая ограничения и прецеденты, в миварном подходе реализуются на практике на основе широко известных компьютерных и сетевых технологий и технологий программирования.

Так, могут быть использованы один или несколько компьютеров, содержащих стандартные аппаратные компоненты, такие как процессор, различные виды запоминающих устройств (память, кэши различного уровня, жесткие диски и т.п.), сетевые адаптеры, дисплейные устройства, устройства ввода/вывода и т.п., программно-аппаратные компоненты, такие как BIOS, и программные компоненты, операционная система, драйверы, различные базовые API и библиотеки, все то, чем компьютер(ы) конфигурируется на основе известных технологий программирования (например, какой-либо из известных реализаций объектно-ориентированного программирования) для осуществления способов, отвечающих настоящему изобретению.

Например, может быть разработан пакет программного обеспечения из средств программного кода, который устанавливается на компьютер(ы), в том числе путем его копирования на машиночитаемые носители данных из состава

компьютера(ов). Средства программного кода пакета, при их считывании и исполнении процессором или процессорами из состава компьютера(ов), предписывают компьютеру(ам) выполнять этапы вышеописанных способов согласно настоящему изобретению.

По сути, компьютерное устройство, сконфигурированное таким образом, может рассматриваться как материальная реализация миварной машины логического вывода (ММЛВ).

Также допускается программно-аппаратная реализация ММЛВ в виде соответствующим образом сконфигурированного блейд-сервера (например, путем "прошивки", выполняемой по одной из известных технологий).

Заключение

В ходе расширения возможностей миварного подхода были введены понятия «класс», «отношение». Таким образом, при описании предметных областей в формате миварной сети объекты дополнительно содержат классы, при этом каждый класс может включать в себя другие классы и/или параметры, причем каждый параметр относится только к одному классу; связи дополнительно содержат отношения, причем каждое отношение описывает взаимосвязь между абстрактными переменными, при этом каждое правило включает в себя ссылку на отношение. Также предложено добавить в миварную теорию понятие "Ограничение", которые будут отличаться от известных правил тем, что миварные ограничения имеют только входы, а выход является булевой переменной. При срабатывании ограничения, они останавливают вычисление модели и выводят сообщение об ошибке. Механизм ограничений позволяет более точно передавать информацию о реальном мире и отслеживать его изменение. Благодаря ограничениям, можно сигнализировать о нештатных ситуациях или указывать на неверно подготовленные исходные данные.

Предложенные миварные классы и отношения реализованы на практике в программном продукте конструктор экспертных систем КЭСМИ версии 1.1.

Для повышения эффективности моделирования и обучения миварных экспертных систем введено новое понятие "миварный прецедент". Прецедент - это особая запись ранее рассчитанного алгоритма, длиной более одного шага, позволяющая рассматривать прецедент, как новое правило миварного подхода.

Использование миварных прецедентов хорошо зарекомендовало себя на практике при решении прикладных задач, позволило значительно повысить эффективность создания миварных моделей и получения решений в системах поддержки принятия решений.

Литература

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. -М.: Радио и связь, 2002. -288 С. ISBN 5-256-01650-4.

2. Варламов О.О. Логический искусственный интеллект создан на основе миварного подхода! МИВАР: активные БД с линейным логическим выводом > 3млн правил => понимание смысла + сингулярность в виртуальной реальности. Саарбрюкен, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 700 с.

3. Варламов О.О. Алгоритм разреза сети по вершинам и ребрам ее графа сложности $O(n^2)$ // Труды НИИР: Сб. ст. – М., 1997. - 136 с. ISBN5-256-1353-X. С. 92-97.

4. Варламов О.О. Анализ взаимосвязей GRID и CAC ИВК, SOA и миварного подхода // Искусственный интеллект. 2005. № 4. С. 4-11.

5. Варламов О.О. Интеллектуальные системы информационной безопасности и системный синтез модели компьютерных угроз // Искусственный интеллект. 2006. № 3. С. 720-727.

6. Варламов О.О. Миварный подход к разработке интеллектуальных систем и проект создания мультипредметной активной миварной интернет-энциклопедии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 1. С. 55-64.

7. Варламов О.О. О возможности создания интеллектуальных систем на основе GRID, систем адаптивного синтеза ИВК, сервисно-ориентированной архитектуры и миварного информационного пространства // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета. 2005. № 10. С. 130-140.

8. Варламов О.О. Практическая реализация линейной вычислительной сложности логического вывода на правилах "если-то" в миварных сетях и обработка более трех миллионов правил // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 1. С. 60-97.

9. Варламов О.О. О необходимости перехода от теории искусственного интеллекта к разработке теории активного отражения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2007. Т. 77. № 2. С. 89-95.

10. Варламов О.О. Обзор двадцати пяти лет развития миварного подхода к разработке интеллектуальных систем и создания искусственного интеллекта // Труды НИИР. 2011. № 1. С.34-44.

11. Варламов О.О. Основы многомерного информационного развивающегося (миварного) пространства представления данных и правил // Информационные технологии. 2003. № 5. С. 42 - 47.

12. Варламов О.О. Параллельная обработка потоков информации на основе виртуальных потоковых баз данных // Известия вузов. Электроника. 2003. № 5. С. 82-89.

13. Варламов О.О. Разработка адаптивного механизма логического вывода на эволюционной интерактивной сети гиперправил с мультиактивизаторами, управляемой потоком данных // Искусственный интеллект. 2002. № 3. С. 363-370.

14. Варламов О.О. Разработка линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил // Известия вузов. Электроника, № 6, 2002. С. 43-51.

15. Варламов О.О. Разработка метода распараллеливания потокового множественного доступа к общей базе данных в условиях недопущения

взаимного искажения данных // Информационные технологии. 2003. № 1. С. 20-28.

16. Варламов О.О. Системный анализ и синтез моделей данных и методы обработки информации для создания самоорганизующихся комплексов оперативной диагностики // Искусственный интеллект. 2003. № 3. С. 299.

17. Варламов О.О. Системы обработки информации и взаимодействие групп мобильных роботов на основе миварного информационного пространства // Искусственный интеллект. 2004. № 4. С. 695-700.

18. Варламов О.О., Адамова Л.Е., Петерсон А.О., Протопопова Д.А., Скакунова Е.А. Исследование подходов и основных проблем понимания естественного русского языка // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2; URL: auts.esrae.ru/10-196 (дата обращения: 15.03.2015).

19. Варламов О.О. Создание интеллектуальных систем на основе взаимодействия миварного информационного пространства и сервисно-ориентированной архитектуры // Искусственный интеллект. 2005. № 3. С. 13-17.

20. Варламов О.О. Создание теории активного отражения как обобщения теории искусственного интеллекта и возможность ее реализации в миварном инфопространстве // Искусственный интеллект. 2007. № 3. С. 17 — 24.

21. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний. Миварное информационное пространство. Известия ЮФУ. Технические науки. 2007 №2(77) С.77–81

22. Варламов О.О., Адамова Л.Е., Елисеев Д.В., Майборода Ю.И., Антонов П.Д., Сергушин Г.С., Чибирова М.О. Комплексное моделирование процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий // Искусственный интеллект. – 2013. – № 4. – С. 15-27.

23. Варламов О.О., Владимиров А.Н., Бадалов А.Ю., Чванин О.Н. Развитие миварного метода логико-вычислительной обработки информации для АСУ, тренажеров, экспертных систем реального времени и архитектур, ориентированных на сервисы // Труды Научно-исследовательского института радио. 2010. № 3. С. 18-26.

24. Варламов О.О., Владимиров А.Н., Носов А.В., Потапова Т.С. Применение многопроцессорного вычислительного кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах // Труды Научно-исследовательского института радио. 2009. № 3. С. 120-123

25. Варламов О.О., Владимиров А.Н., Носов А.В., Потапова Т.С. Программный комплекс "УДАВ": практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил // Труды Научно-исследовательского института радио. 2010. Т. 1. С. 108-116.

26. Варламов О.О., Сергушин Г.С., Елисеев Д.В., Адамова Л.Е., Майборода Ю.И., Антонов П.Д., Чибирова М.О. О миварном подходе к моделированию процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 2(4); URL: auts.esrae.ru/4-80 (дата обращения: 15.03.2015).

27. Майборода Ю.И., Синцов М.Ю., Озерин А.Ю., Кузин А.А., Варламов О.О. Система автоматического тегирования изображений на основе миварных технологий // Программные системы: теория и приложения. 2014, № 4, С. 159–170.

28. Чувилов Д.А., Казакова Н.А., Варламов О.О., Хадиев А.М. Анализ технологий трехмерного моделирования и создания 3D объектов для различных интеллектуальных систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2.1. – С. 84-97. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-9.

29. Varlamov O.O. MIVAR: Transition from Productions to Bipartite Graphs MIVAR Nets and Practical Realization of Automated Constructor of Algorithms Handling More than Three Million Production Rules // [Электронный ресурс], 2012 – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1111.1321>. свободный (Дата обращения: 25.06.2015).

30. Varlamov O.O., Adamova L.E.E., Eliseev D.V., Mayboroda Yu.I., Antonov P.D., Sergushin G.S., Chibirova M.O. Mivar Thechnologies in Mathematical Modeling of Natural Language, Images and Human Speech Understanding // International Journal of Advanced Studies. 2013. Т. 3. № 3. С. 17-23.

31. Варламов О.О., Майборода Ю.И., Сергушин Г.С., Хадиев А.М. Применение миварных экспертных систем для решения задач понимания текста и распознавания изображений // В мире научных открытий. 2015. № 6 (66). С. 205-214.