

# МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА MICROPROCESSOR SYSTEMS

УДК 681.5:62-50

## Совершенствование систем управления мобильными роботизированными комплексами

*М.П. Кочетков*

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»*

## Improvement of Control Systems by Mobile Robotic Complexes

*M.P. Kochetkov*

*National Research University of Electronic Technology, Moscow*

Рассмотрены тенденции совершенствования систем управления мобильными роботизированными комплексами на базе методов теории искусственного интеллекта. Показано, что перспективной тенденцией в области обработки знаний является интеграция различных интеллектуальных технологий для сочетания их преимуществ и компенсации имеющихся недостатков. Установлено, что основная отличительная черта интеллектуальных систем управления – системная обработка знаний на всех этапах ее работы. Определены интеллектуальные технологии, которые могут быть использованы в системах управления следующего поколения.

*Ключевые слова:* интеллектуальная технология; робот; идентификация; система управления; структура.

The trends in the improvement of the management systems by mobile robotic complexes based on artificial intelligence theory methods have been considered. It has been shown that the perspective trend in the knowledge processing field is the integration of various intelligent technologies to combine their advantages and to compensate the existing drawbacks. It has been determined that the principle distinctive feature of intelligent control systems is the system processing of knowledge at all steps of their work.

*Keywords:* intelligent technology; robot identification control system; structure.

**Введение.** В настоящее время актуальной задачей является разработка, создание и внедрение мобильных роботизированных комплексов (МРК) нового поколения на базе достижений в области электроники, автоматики и информатики для выполнения работ, отличающихся большой неопределенностью окружающей обстановки. Такие МРК могут эффективно использоваться при ликвидации последствий экологических и техно-



Рис. 1. Динамика изменения объема выполняемых функций

генных катастроф, обезвреживании подозрительных предметов в местах массового скопления людей, а также в других ситуациях, представляющих угрозу здоровью и жизни человека. Современная тенденция при построении МРК заключается в переносе функциональной нагрузки от механических узлов к относительно дешевым и допускающим перепрограммирование под новую задачу электронным, компьютерным и информационным компонентам. На рис. 1 представлен график, показывающий динамику этого процесса применительно к производственным машинам, аналогичные тенденции наблюдаются в мобильной робототехнике.

Специалисты видят будущее мобильной робототехники, главным образом, в создании роботизированных машин с высокой степенью автономности, способных самостоятельно «мыслить». При этом логика обработки поступающей информации определяется базой знаний. Функции лица, принимающего решения, как правило, будут ограничиваться санкционированием рекомендаций по управлению МРК в условиях недостаточно определенной обстановки. Отличие между современными и традиционными автоматическими средствами управления состоит в существенно более высоком уровне «самостоятельности» поведения первых, в их способности обучаться, накапливать и использовать опыт в ходе решения поставленных задач [1, 2].

**Требования к интеллектуальным системам управления.** Использование классической процедуры синтеза системы управления является неприемлемым при проектировании перспективных МРК. Точная математическая модель перспективных образцов МРК оказывается слишком сложной или совсем не известной. Требования к системе управления МРК могут быть заданы лишь приближенно, кроме того, некоторые из них часто являются взаимно противоречивыми. Выход из сложившейся ситуации – использование алгоритмов интеллектуального управления (*Intelligent control*), предполагающих отказ от необходимости получения точной математической модели объекта, а также применение простейших, как правило, линейных алгоритмов формирования управляющих воздействий.

В основе интеллектуального управления лежит идея построения системы управления с выполнением функций, свойственных человеку, а именно: принятие решений, планирование поведения и самообучения в условиях изменяющейся внешней среды. Построение интеллектуальных систем управления (ИСУ) перспективных МРК предполагает реализацию следующих основных требований.

1. При неполной априорной информации об окружающей среде ИСУ должна получать недостающие сведения в ходе выполнения поставленных задач от датчиков и измерительных устройств, размещенных на борту МРК и составляющих его информационно-измерительный комплекс (ИИК). Для повышения помехозащищенности данных, надежности аппаратуры, точности определения своего положения, координат других объектов и препятствий ИИК требуется оснащать различными по назначению и исполнению датчиками и измерительными устройствами. При этом целесообразно комплексовать датчики, построенные на разных физических принципах, а также использовать внешние источники информации.

2. Необходимо решить проблему прогнозирования наземной обстановки и собственного поведения МРК. Требуется определять последовательность реакций МРК на возможные изменения обстановки, чтобы добиться изменения возникающих событий в направлении, способствующем решению поставленной задачи. При прогнозировании реальных действий МРК следует не только оставаться на формальной основе, но и использовать эвристические оценки реальной ситуации.

3. Структура ИСУ МРК должна соответствовать иерархическому принципу построения (рис. 2). Многоуровневая структура ИСУ создается в соответствии с принципом повышения интеллектуальности по мере увеличения уровня иерархии. Интеллектуализация различных уровней ИСУ диктуется необходимостью парирования различных факторов неопределенности.



Рис.2. Иерархическая структура ИСУ МРК

4. Структура ИСУ должна быть приспособлена к автоматической реконфигурации и обеспечивать функционирование МРК (даже с пониженной эффективностью) при нарушении связей между подсистемами различных уровней иерархии. Повышение надежности и введение отказоустойчивости предполагают наличие избыточного аппаратного и программного обеспечения.

5. Требуется предусмотреть возможность повышения интеллектуальности системы управления в процессе функционирования МРК. Она достигается адаптацией к задачам, в решении которых возникает необходимость, а также обучением решению новых задач, прямо не предусмотренных первоначальным проектом ИСУ.

Таким образом, в общем случае ИСУ МРК должна представлять совокупность программно-аппаратных средств, функционирующих автономно или при минимальном участии человека, способных на основе обработки информации, поступающей от ИИК, распознавать состояния окружающей среды, определять целесообразное поведение МРК и осуществлять его реализацию. Для решения этих задач применение традиционных методов управления проблематично, возникает необходимость использования методологии ситуационного управления МРК. Данный подход предполагает наличие множества предварительно подготовленных сценариев «ситуация → решение».

Реализация рассматриваемого подхода основана на анализе текущей ситуации, которая определяется состояниями внешней среды и самого МРК. После идентификации сложившаяся ситуация сопоставляется с определенным классом ситуаций, которому соответствует «своя» модель поведения (управление движением и навесным технологическим оборудованием). Выбранная модель включает критерии, методы принятия решений и способы их реализаций, формы взаимодействия подсистем МРК. Этим обеспечивается возможность адаптации структуры ИСУ к изменяющимся условиям внешней среды, причем выбор модели поведения МРК будет проводиться без существенных задержек только при оперативной идентификации ситуаций.

**Интеллектуальные технологии.** Сложность функционирования МРК в реальном масштабе времени связана с тем, что в зоне его действия находится не единственный объект, принадлежащий тому или иному классу, а совокупность объектов разных классов. Другая трудность обусловлена сильной вариативностью условий наблюдения объектов. Например, могут изменяться расстояния от МРК до окружающих объектов, ракурс, в котором они наблюдаются, факторы освещенности, погодные условия и т. д., одни объекты могут заслонять другие, затрудняя тем самым их распознавание. Режим нормального функционирования ИИК нарушают разнообразные помехи искусственного и естественного происхождения. Для решения поставленных задач ИСУ должна обладать интеллектуальными качествами.

Выделяют следующие базовые интеллектуальные технологии, основанные на аналогиях с функционированием человеческого мозга: экспертные системы, нечеткая логика, искусственные нейронные сети, ассоциативная память. Эти технологии достаточно тесно связаны между собой и пригодны для решения задач классификации.

Экспертные системы (ЭС) используют базу знаний, включающую производственные правила (продукции). Обычно продукции записываются в следующем виде: «ЕСЛИ (посылка) (связка) (посылка) ... (посылка) ТО (заключение)». Продукции устанавливаются на основе практических знаний экспертов-профессионалов в области управления движением ходовой частью и бортовым технологическим оборудованием конкретного типа МРК. Применение ЭС наиболее целесообразно на стратегическом уровне ИСУ при управлении поведением МРК. На этом уровне ИСУ оперирует в основном логическими и дискретными величинами, такими задачами являются выбор способа применения технологического оборудования в зависимости от признаков наблюдаемого объекта или определение варианта конфигурации системы управления при локализации отказавших блоков аппаратуры. Применение ЭС возможно также на тактическом и исполнительном уровнях. В этом случае база знаний (БЗ) будет содержать значительное количество продукции, так как требуется предусмотреть различные комбинации дискретного представления входных аналоговых сигналов и регулируемых параметров, обеспечивающих заданные показатели качества переходных процессов. При создании ЭС, управляющей интеллектуальным механизмом, интеллектуальная надстройка устанавливается, как правило, над типовым регулятором системы автоматического управ-

ления. Сложными задачами при проектировании ЭС остаются разработка БЗ и системы принятия решений. Важно выявить наиболее информативные посылки в продукциях, чтобы сократить количество правил в БЗ и одновременно обеспечить их полноту, исключить противоречивые заключения при выработке решений.

Нечеткая логика позволяет приблизиться к стилю мышления человека при управлении МРК в условиях недостаточно определенной среды, когда преобладают «мягкие» знания, применимые к конкретным ситуациям только с некоторой степенью уверенности. Посылки и заключения нечетких продукций являются лингвистическими переменными, что позволяет устранить ограничения, присущие «жестким» продукциям. В отличие от классической экспертной системы, решения в которой дискретны, нечеткие логические системы (НЛС) также применимы для оперирования непрерывными сигналами. Например, НЛС могут использоваться в автономной двухуровневой системе управления движением МРК на заранее не подготовленной местности. НЛС «штурман» прокладывает маршрут по цифровой карте местности, анализируя глобальные препятствия и опасности. НЛС «водитель» отвечает за оперативное планирование движения, учитывающее скоростной режим и локальные препятствия. Нечеткие регуляторы, построенные на базе НЛС, могут применяться на исполнительном уровне ИСУ как самостоятельно для регулирования параметров технологических процессов, так и в составе классических пропорционально-интегральных и пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов для улучшения их характеристик. Общим недостатком НЛС является отсутствие стандартной методики их конструирования. Неформализованными остаются процедуры определения размера списка лингвистических переменных, типа и коэффициентов функций принадлежности, а также количества правил базы знаний.

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются математическим аналогом биологических нейронов мозга. Применение ИНС позволяет избежать использования сложного математического аппарата. ИНС способны обучаться на примерах в ситуациях, когда неизвестны зависимости между входными и выходными данными, а также тенденции развития ситуаций, что позволяет им решать задачи, базируясь на искаженной, неполной, внутренне противоречивой, зашумленной входной информации. Обучаемость ИНС означает также возможность реализации управления в условиях существенных нелинейностей. Важнейшим преимуществом технологии ИНС является потенциально высокое быстродействие, достигаемое за счет параллельной обработки информации при аппаратной реализации. Архитектура параллельной обработки позволяет ИНС функционировать даже при повреждении отдельных элементов сети. Отсюда следует, что ИНС имеют большие перспективы при построении ИСУ МРК, в том числе для решения задач прогнозирования ситуаций, распознавания образов, адаптивного управления сложным технологическим оборудованием. Несмотря на широкие возможности, практическое использование ИНС при проектировании ИСУ МРК затруднено из-за недостатков, связанных с формированием обучающей выборки и выбором правильной модели сети. При подготовке обучающей выборки важно найти достаточное количество обучающих примеров. Определение архитектуры ИНС – недостаточно формализованная процедура. Продолжительные затраты времени на обучение ИНС часто не позволяют применять их в системах реального времени. Функционирование обученной ИНС не всегда может быть однозначно предсказуемо из-за неявной формы представления знаний, скрытой в архитектуре сети, параметрах нейронов и их связей, что повышает риск несанкционированного применения МРК.

Технология ассоциативной памяти (АП), получившая распространение в вычислительной технике, представляет собой один из подходов к созданию быстродействующей

щей ИСУ МРК. Эта технология основана на механизмах ассоциативной записи и восстановления информации. Она позволяет воспроизводить целостные модели по их фрагментам, хранящимся в многомерных массивах. АП является доступной по указанию заданного содержания, которое может быть искаженным или неполным, что характерно для человеческой памяти. Данное свойство дает возможность классифицировать состояния объекта управления на качественном уровне, используя ассоциативные связи, и формировать управляющие воздействия, соответствующие его текущему состоянию и заданному критерию качества. Важное преимущество АП – простота программной и аппаратной реализаций, что обеспечивает высокое быстродействие, определяемое временем обращения к отдельной ячейке памяти. Технология АП может использоваться при проектировании всех уровней иерархии ИСУ МРК. Возможно ее применение на исполнительном уровне для создания следящих мехатронных приводов с цифровыми табличными регуляторами. Перспективным представляется также проектирование адаптивных регуляторов на базе АП. В отличие от классических систем адаптивного управления, построенных на основе достаточно сложных алгоритмов, применение АП может обеспечить их компактную реализацию, функционирующую в реальном масштабе времени. Основной проблемой синтеза алгоритмов управления на основе технологии АП остается определение их устойчивости в зависимости от величины дискретизации параметров.

В процессе проектирования ИСУ МРК ставится цель определить наилучшие значения параметров используемых устройств и механизмов в различных режимах работы. Такие задачи относятся к классу комбинаторных, которые имеют множество решений. Для поиска наилучшего решения существуют алгоритмы направленного, случайного или комбинированного перебора возможных вариантов. Однако они часто не обеспечивают получения качественных результатов за приемлемое время. В связи с этим представляют интерес генетические алгоритмы (ГА), которые позволяют за короткое время найти «достаточно хорошее» решение аналитически неразрешимых или сложных неформализованных задач с использованием механизмов, моделирующих биологическую эволюцию. Чаще всего ГА применяются совместно с ИНС и нечеткими моделями объектов управления в регуляторах автоматических систем управления.

Рассмотренные технологии объединяет общее свойство – способность решения задач классификации. Перспективной тенденцией в области обработки знаний представляется интеграция различных интеллектуальных технологий для сочетания их преимуществ и компенсации имеющихся недостатков. Развитие этой тенденции ведет к созданию интеллектуальных гибридных систем, в которых для решения прикладных задач используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека. Большой интерес представляет объединение технологий ИНС и НЛС. Характеристики точности и качества нечеткой модели сильно зависят от формы и взаимного расположения функций принадлежности. Настройка параметров нечеткой модели в значительной степени автоматизируется при использовании нейросетевых нечетких систем, в которых нейронная (адаптивная) сеть выступает в качестве механизма настройки параметров нечеткой модели. Отметим также, что совмещение технологий ЭС и НЛС позволяет не только повысить быстродействие ИСУ, но и сократить объем БЗ.

Разработке ИСУ различного назначения посвящено большое количество работ зарубежных и отечественных ученых [3–7]. Следует отметить, что главная архитектурная особенность ИСУ связана с наличием развернутой БЗ о принципах построения и целях функционирования системы, специфике использования различных алгоритмов, особенностях исполнительных механизмов и управляемого объекта.

Обобщенная структура ИСУ МРК представлена на рис. 3. В структуре ИСУ отсутствует в явном виде ряд блоков, реализующих интеллектуальное управление. Объясняется это тем, что искусственный интеллект (ИИ) распределен по всем функциональным блокам системы. Элементы ИИ реализуются в интеллектуальных датчиках, регуляторах, приводах, различных исполнительных механизмах специального оборудования, устанавливаемого на борту МРК.

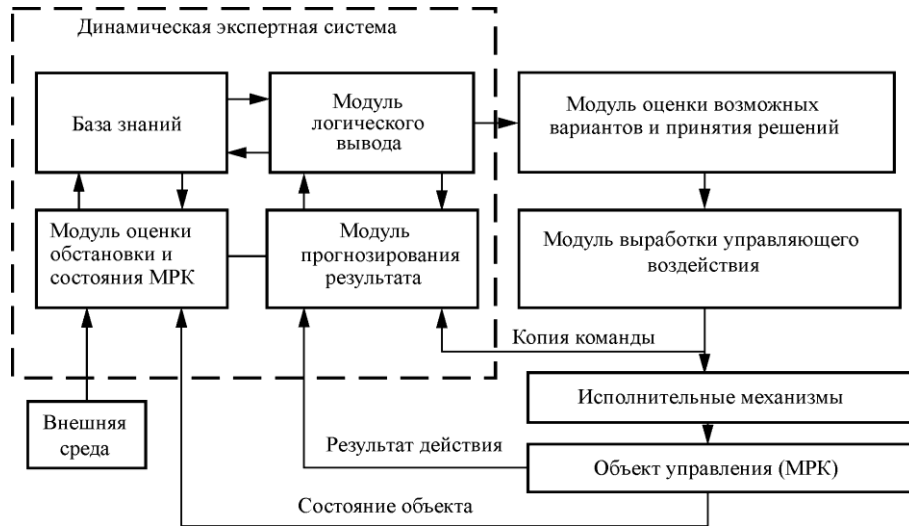


Рис.3. Обобщенная структура ИСУ МРК

Конкретная реализация структуры ИСУ зависит от многих факторов, в том числе от решаемых задач и области применения МРК, выбранной модели представления знаний, степени реализации интеллектуальных технологий, используемых датчиков и технологического оборудования. На рис. 4 показана структура адаптивной системы управления мобильного робота, предназначенного для перемещения в незнакомой среде с целью выполнения конкретных задач (транспортировки грузов, изучения местности).

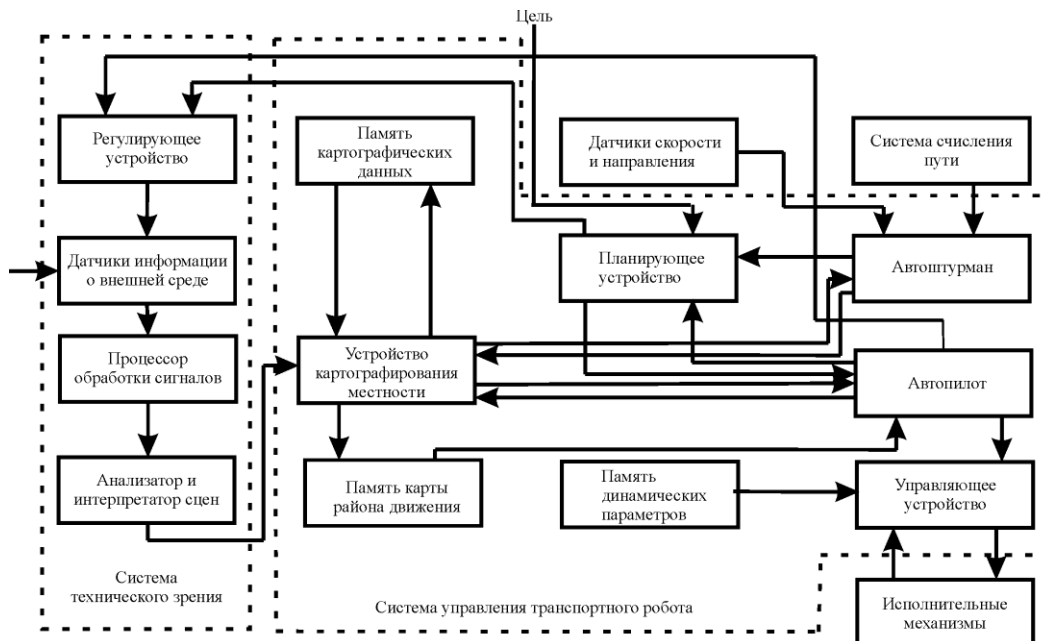


Рис.4. Структура адаптивной СУ с элементами ИИ

В общем случае процесс функционирования системы управления можно разделить на следующие отдельные этапы:

- восприятие текущей ситуации (информации о наземной обстановке и внутреннем состоянии объекта управления);
- выработка реакции на текущую или прогнозируемую ситуацию;
- реализация выработанной реакции (изменение состояния МРК, адаптация целей, самообучение, реконфигурация и т.д.).

Основной отличительной чертой перспективных ИСУ МРК является возможность системной обработки знаний на всех этапах ее работы. Необходимость функционирования ИСУ МРК в реальном масштабе времени требует изучения вопросов реализации технологий ИИ на передовой элементной базе. Очевидно, что по мере совершенствования элементной базы возможности алгоритмической реализуемости этих технологий будут расширяться.

**Заключение.** На сегодняшний день интеллектуальные технологии в системах управления МРК могут иметь следующие применения:

- построение систем регулирования, для которых модель объекта определена лишь качественно или отсутствует;
- надстройка над традиционными системами для придания им адаптивных свойств;
- воспроизведение поведения человека-оператора при дистанционном управлении МРК на уровне постановки цели, а не на уровне элементарных действий;
- решение ряда задач организационного управления стратегического и тактического уровней МРК.

Проведение широкомасштабных исследований в области применения интеллектуальных технологий для построения ИСУ обеспечит возможность создания нового поколения МРК, выполняющих сложные функции в условиях априорной неопределенности окружающей среды.

### *Литература*

1. *Carbone G.* Motion and operation planning of robotic systems: background and practical approaches. – Springer, 2015. – 522 p.
2. Neuro-robotics from brain machine interfaces to rehabilitation robotics / *Ed. P. Artemiadis.* – Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2014. – 448 p.
3. *Wilamowski B.M., Irwin J.D.* Intelligent systems. – CRC Press, 2011. – 568 p.
4. New horizons in evolutionary robotics / *Eds. S. Doncieux, N. Bredeche, J-B. Mouret.* – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. XVI. – 225 p.
5. *Angeles J.* Fundamentals of robotic mechanical systems: theory, methods, and algorithms. – Springer (Mechanical Engineering Series), 2006. – 549 p.
6. Интеллектуальные роботы / *И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др. / Под общ. ред. Е.И. Юревича.* – М.: Машиностроение, 2007. – 360 с.
7. *Пунков К.А.* Современные методы, модели и алгоритмы интеллектуальных систем. – М.: РУДН, 2008. – 154 с.

Статья поступила  
1 марта 2016 г.

**Кочетков Михаил Петрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники МИЭТ. *Область научных интересов:* системы автоматического управления, интеллектуальные технические системы. **E-mail: kmp@miee.ru**