

ПРОЕКТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ

А.В. Козов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

E-mail: alexey.kozov@gmail.com

Ключевые слова: мобильный робот, дискретно-событийная система, система группового управления, проектные процедуры, автоматизация проектирования, маршрут проектирования.

Аннотация: Работа представляет проектные процедуры, обеспечивающие автоматизированный синтез дискретно-событийных систем группового управления для мобильных роботов. Указаны ограничения известных моделей и методов проектирования таких систем. Представлен маршрут проектирования, включающий следующие проектные процедуры: синтез компьютерной модели объекта управления, спецификация поведения объекта управления, синтез управления дискретно-событийной системой, анализ дискретно-событийной системы группового управления. Для перечисленных процедур приведены исходные данные, их результат, особенности и основные шаги. Представленные проектные процедуры используют компьютерную модель объекта проектирования и являются основной для создания специализированной системы автоматизированного проектирования.

1. Введение

Автономные мобильные роботы (МР) имеют практическое применение для тушения пожаров, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, гуманитарного разминирования и в иных областях, связанных с высоким риском для жизни человека [1, 2]. Объединение МР в группу, управляемую единой системой группового управления (СГУ), позволяет существенно повысить эффективность их применения. Контроль действий группы осуществляет человек-оператор, который ставит задачу (формирует план *групповой операции*), например, при помощи условных знаков геоинформационной системы на цифровой карте местности [3]. СГУ получает поставленную таким способом задачу, обеспечивает координацию действий и синхронизацию состояний МР в группе для достижения целей групповой операции с заданными показателями эффективности.

Верхние уровни иерархической СГУ отвечают за выполнение индивидуальных действий роботами, групповых действий подгруппами и групповой операции в целом. Для этих уровней характерно дискретно-событийное представление, что позволяет выделять их как дискретно-событийную систему группового управления (ДССГУ). Создание ДССГУ связано с проблемами «проклятия размерности» (экспоненциальным увеличением размерности пространства состояний при добавлении нового элемента),

многократным выполнением трудоемких проектных процедур и ограничениями методологического обеспечения процесса проектирования [4, 5]. Известные математические модели ДССГУ, используемые при проектировании, имеют высокий уровень абстракции и не учитывают, например, ограничений каналов связи в группе. Известные методы проектирования ДССГУ не рассматривают задачу формализации замысла проектировщика о требуемом поведении объекта управления (т.е. группы роботов) и не предполагают автоматизацию решения этой задачи. На устранение перечисленных ограничений направлена предложенная автором *методика автоматизированного проектирования ДССГУ*.

Маршрут проектирования методики состоит из четырех проектных процедур: синтез компьютерной модели объекта управления (группы, отдельного МР или его подсистемы), спецификация поведения объекта управления, синтез управления дискретно-событийной системой (ДСС), анализ ДССГУ (рис. 1).

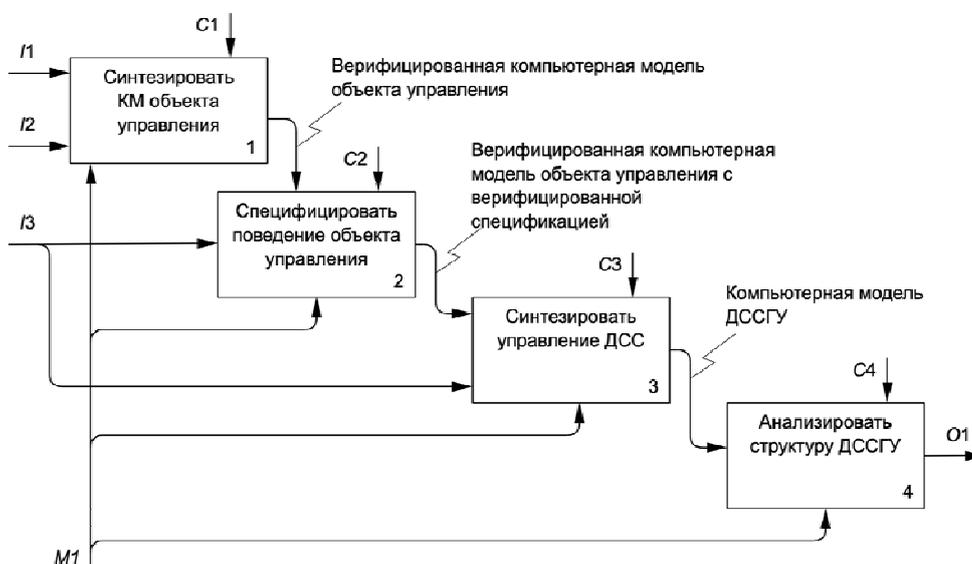


Рис. 1. Маршрут проектирования ДССГУ (в нотации IDEF0): КМ – компьютерная модель; I_1 – компонентные автоматы; I_2 – входные и выходные данные структурных элементов; I_3 — требования к поведению объекта управления; C_1 – методы верификации модели объекта управления; C_2 – методы верификации спецификации; C_3 – методы синтеза управления ДСС; C_4 – методы анализа ДССГУ; O_1 – компьютерная модель супервизора и технические требования ДССГУ; M_1 – проектировщик.

Методика автоматизированного проектирования ДССГУ использует математическую и компьютерную модели объекта проектирования [6,7]. Проектное решение, получаемое в результате практического применения методики, представляет собой компьютерную модель ДССГУ, включающую описание структуры и информационного взаимодействия структурных элементов системы управления, а также оценки требований к каналам связи и вычислительным ресурсам бортовых компьютеров группы МР.

Рассмотрим проектные процедуры автоматизированного синтеза ДССГУ в порядке их выполнения.

2. Синтез компьютерной модели объекта управления

Проектная процедура синтеза компьютерной модели объекта управления позволяет представить группу МР в виде элементов компьютерной модели ДССГУ.

Объект управления ДССГУ является параллельной композицией n компонентных автоматов, $G = \langle G^1, G^2, \dots, G^n \rangle$. Каждый компонентный автомат G^i , $i = 1, 2, \dots, n$, описывает выполнение того или иного действия (например, групповое или индивидуальное действие МР).

Исходными данными процедуры являются описание надсистемы, МР, их подсистем и функциональных возможностей в виде дискретно-событийных моделей – автоматов или сетей Петри. Состояние автомата или позиция сети Петри моделирует структурный элемент проектируемой ДССГУ, отвечающий за выполнение объектом управления какого-либо действия. Для каждой исходной дискретно-событийной модели необходима информация о входных и выходных данных структурных элементов. Результатом процедуры является верифицированная компьютерная модель объекта управления заданного иерархического уровня ДССГУ.

Процедура состоит из четырех шагов.

- 1) Формирование математической модели i -го компонентного автомата по исходным данным проектной процедуры [6].
- 2) Формирование компьютерной модели i -го компонентного автомата на основе полученной математической модели [7].
- 3) Верификация компьютерной модели i -го компонентного автомата.
- 4) Формирование компьютерной модели объекта управления (группы МР) путем параллельной композиции разработанных на предыдущих шагах компонентных автоматов.

Шаги 1)-3) повторяются для каждой из исходных моделей. Для верификации используется проверка свойств сети Петри, лежащей в основе компьютерной модели.

3. Спецификация поведения объекта управления

Проектная процедура спецификации поведения объекта управления позволяет формализовать требования к поведению группы МР в терминах компьютерной модели для последующего синтеза дискретно-событийного управления.

Требуемое поведение объекта управления G определяет спецификация K . Спецификация задает последовательности событий, которые обеспечивают ту функциональность, для реализации которой предназначена проектируемая ДССГУ.

Исходными данными процедуры являются требования к поведению объекта управления заданного иерархического уровня и верифицированная компьютерная модель этого объекта управления. Результатом процедуры является верифицированная компьютерная модель объекта управления заданного иерархического уровня ДССГУ с верифицированной спецификацией.

Процедура состоит из трех шагов.

- 1) Анализ требований к поведению группы МР для выявления основной последовательности событий и ситуаций ее «ветвления», например, возникновение ошибок в процессе выполнения действий МР.
- 2) Добавление в компьютерную модель спецификации.
- 3) Верификация компьютерной модели спецификации при помощи алгоритма, предложенного А.А. Амбарцумяном [8].

В результате выполнения проектной процедуры спецификации поведения объекта управления формируется компьютерная модель, готовая к синтезу управления ДСС.

4. Синтез управления ДСС

Проектная процедура синтеза управления ДСС обеспечивает синтез управляющего компонента (*супервизора S*) для формирования компьютерной модели ДССГУ.

Управляющий компонент ДССГУ генерирует события в ответ на последовательности событий объекта управления так, чтобы его поведение под управлением супервизора (обозначается S/G) соответствовало бы спецификации K .

Исходными данными процедуры является верифицированная компьютерная модель объекта управления заданного иерархического уровня с верифицированной спецификацией. Результатом процедуры является компьютерная модель ДССГУ с супервизором.

Процедура состоит из трех шагов.

- 1) Синтез управления (супервизора) ДСС по компьютерной модели объекта управления и спецификации.
- 2) Симуляция работы компьютерной модели ДССГУ для проверки соответствия требованиям.
- 3) Минимизация управляющего компонента (необязательный шаг).

Для синтеза дискретно-событийного управления предложена модификация известного метода домино [9, 10]. Модифицированный метод обеспечивает автоматический синтез дискретно-событийного управления по исходным данным проектной процедуры и имеет вычислительную сложность, линейного зависящую от размера спецификации.

5. Анализ ДССГУ

Проектная процедура анализа ДССГУ позволяет выполнить анализ технических требований спроектированной ДССГУ и получить ее описания для интеграции с остальными компонентами СГУ. Исходными данными этой проектной процедуры является компьютерная модель ДССГУ. Результатом процедуры является компьютерная модель супервизора как отдельного компонента ДССГУ, а также оценки требований ДССГУ к пропускной способности каналов связи и ресурсам вычислительной системы, которую образуют бортовые компьютеры МР и компьютеры пункта управления группой.

Процедура состоит из трех шагов.

- 1) Анализ информационного взаимодействия ДССГУ с объектом управления.
- 2) Получение компьютерной модели супервизора для интеграции в СГУ.
- 3) Генерация программного кода системы управления и документации.

Получаемая в результате процедуры компьютерная модель позволяет сгенерировать программный код для целевой программно-аппаратной платформы и может быть использована на этапе эксплуатации спроектированной ДССГУ для отслеживания процесса ее функционирования, модификации и адаптации к изменяющимся условиям применения МР.

6. Заключение

Представленные процедуры образуют маршрут проектирования методики автоматизированного проектирования ДССГУ. Ключевой особенностью этой методики является использование компьютерной модели при выполнении всех проектных процедур. Ограничением является то, что в случае изменения исходных данных

проектировщик вынужден повторить весь маршрут проектирования. Однако этот недостаток компенсируется возможностью повторного использования разработанных ранее компьютерных моделей, простотой их изменения и проверкой корректности на шаге верификации. Использование проектных процедур автоматизированного синтеза ДССГУ при синтезе ДССГУ для трех противопожарных роботов подтверждает их практическую применимость [11].

Проектные процедуры автоматизированного синтеза ДССГУ и компьютерная модель объекта проектирования являются основой для создания специализированной системы автоматизированного проектирования ДССГУ.

Список литературы

1. Белоглазов Д.А. и др. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / Под ред. В. Х. Пшихопова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 305 с.
2. Власов К.С., Тачков А.А., Данилов М.М., Тактика группового применения наземных робототехнических комплексов при тушении пожаров в резервуарных парках // Пожарная безопасность. 2020. № 2 (99). С. 28-35. DOI: 10.37657/vniipo.2020.99.2.002.
3. Максимов А.А., Тачков А.А., Малыхин А.Ю., Рудианов Н.А. Подход к формализации тактической задачи для группы наземных робототехнических комплексов военного назначения // Вопросы оборонной техники. 2017. Сер. 16. № 7-8. С. 88-96.
4. Волосатова Т.М., Козов А.В., Тачков А.А. Система группового управления мобильными роботами с позиций автоматизированного проектирования // Информационные технологии. 2020. Т. 26, № 5. С. 274-282. DOI 10.17587/it.26.274-282.
5. Козов А.В. Модели и методы проектирования динамически реконфигурируемой системы группового управления мобильными роботами // Автоматизация процессов управления. 2021. № 1 (63). С. 130-139. DOI: 10.35752/1991-2927-2021-1-63-130-139.
6. Козов А.В. Математическая модель дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Математические методы в технике и технологиях. Н. Новгород, 2023. С. 59-63.
7. Козов А.В. Реализация компьютерной модели дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Экстремальная робототехника. С.Пб., 2022. С. 139-146.
8. Амбарцумян А.А. Супервизорное управление структурированными динамическими дискретно-событийными системами // Автоматика и телемеханика. 2009. № 8. С. 156-176.
9. Амбарцумян А.А. Сетевое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе // Управление большими системами. 2010. Т. 30.1. С. 506-535. DOI: 10.1134/S0005117912070120.
10. Козов А.В., Мельникова М.В. Применение методов синтеза супервизора при проектировании дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т. 11, № 2. С. 110-117. DOI: 10.31776/RTSJ.11204.
11. Козов А.В. Автоматизированное проектирование дискретно-событийной системы группового управления мобильными противопожарными роботами // Экстремальная робототехника. С.Пб., 2023. С. 65-70.