**Применение групп мобильных роботов для проведения спасательных миссий в экстремальных природно-климатических условиях**

***И.А. Васильев, С.С*. *Яковлев***

*(Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики)*

Спасение терпящих бедствие людей посредством автономных средств эвакуации в ряде случаев является единственной возможностью предотвратить их гибель. Это в полной мере относится к авариям нефтедобывающих платформ, в настоящее время характеризующимся большим числом жертв В статье рассмотрено решение данной проблемы с помощью группировки роботов-спасателей. С учетом специфики организации спасательной операции в экстремальных условиях рассматриваются: общие принципы построения группировки, разбиение группировки на подгруппы с разным функциональным наполнением. Также вводятся понятия автономности роботов группировки и группировки в целом, избыточности количества роботов, надёжности, взаимозаменяемости и робастности, как способов повышения надёжности. Приводятся некоторые общие подходы к решению ключевых проблем эвакуации.

Ключевые слова: Робот, спасение, спасательная миссия, нефтяная платформа, навигация, локализация, построение карт

1. **Введение**

В последнее время, в связи с развитием добычи нефти и газа в прибрежных (шельфовых) зонах увеличивается количество аварий и, следовательно, жертв среди персонала. Опыт проведения спасательных мероприятий показал, что применение известных средств и методов не отличается эффективностью, людей погибает много. В настоящее время выживаемость людей на морских территориях Арктического шельфа, в случае техногенной катастрофы (аварии), не превышает одной трети, что вдвое меньше выживаемости людей в теплых незамерзающих морях.

В то же время увеличивается практический опыт применения робототехнических средств для обеспечения деятельности человека в экстремальных и опасных условиях. Доказано [1, 2], что для ряда задач весьма эффективным является применение группировок роботов, обеспечивающих оптимизацию используемых ресурсов в широком диапазоне данного понятия.

Рассмотрим основные принципы формирования группировки роботов-спасателей [4]:

1. Гетерогенность. Подгруппы роботов имеют разные функциональные возможности: одни подгруппы следят за ситуацией, вторые – разведывают обстановку, третьи – ищут людей, четвертые этих людей перевозят и т.д.;
2. Автономность. Все роботы группировки (как и группировка в целом) решают локальные задачи без вмешательства человека, т.к. вблизи терпящего бедствие объекта присутствие человека-оператора недопустимо, удалённо оператор не сможет быстро и верно оценить обстановку, а наличие профессионального пилота на борту транспортного средства маловероятно.
3. Избыточность. Количество роботов должно быть больше минимально необходимого, на случай отказов или выхода из строя;
4. Взаимозаменяемость роботов (возможно, с некоторой потерей качества группировки) для устойчивости функционирования;
5. Робастность, то есть устойчивость работы системы даже в случае значительного отклонения объекта от заранее известных его свойств.

**2. Гетерогенность**

Группировка роботов делится на следующие подгруппы:

* Роботы-наблюдатели. Осуществляют круглосуточное наблюдение за обстановкой с заранее определённых позиций. Позиции (зоны наблюдения) выбираются так, чтобы покрывать максимально всю аварийно-опасную площадь обслуживаемого объекта. Возможно патрулирование роботами зон наблюдения в случаях сложной геометрии этих зон и для слежения за опасными перемещаемыми объектами.
* Роботы-разведчики. При возникновении аварийных ситуаций производят поиск людей, которым требуется эвакуация и опасных объектов, за динамикой состояний которых необходимо наблюдать. Роботы-рабочие. Требуются для проведения неотложных аварийно-восстановительных работ (НАВР), необходимых как для сохранения жизней людей, так для уменьшения вероятности разрастания катастрофы;
* Роботы-перегрузчики. Помогают людям выбраться из опасных мест. Также производят поиск максимально безопасного пути для людей и наблюдение за окружающей обстановкой, чтобы обезопасить людей;
* Транспортные роботы. Представляют собой большие универсальные транспортные средства для перемещения групп людей в безопасные зоны.

Опыт эксплуатации гетерогенных группировок мобильных роботов показывает, что «разделение труда» между роботами группировки позволяет резко (в разы! [4]) сократить время эвакуационной миссии, соответственно спасти максимальное количество жизней людей и минимизировать экономические потери от проведения спасения и самой катастрофы.

**2. Автономность**

Здесь под автономностью понимается отсутствие подготовленного человека-оператора на борту робота. Дело в том, что в ситуации катастроф и стихийных бедствий окружающая обстановка меняется быстро и часто непредсказуемым образом. Необходимо подчеркнуть, что связь с системами зонального мониторинга общей обстановки (метеорологической, навигационной, ледовой, экологической и т.п.) для задач спасения и эвакуации должна быть предусмотрена, как одно из основных средств обеспечения успешной спасательной операции.

Роботы группировки имеют каналы обмена информацией друг с другом, и поэтому группировка имеет возможность самостоятельно оперативно изменять свои свойства для адаптации к изменившимся условиям.

Автономность в нашем понимании реализуется следующим образом. На роботах группировки запущено распределённое программное обеспечение системы управления группировкой. Структура этого программного обеспечения приведена на рисунке 1.

В этой структуре показано взаимоотношение модулей ПО между собой. Жирными рамками выделены распределённые части программного обеспечения.

Диспетчер операций согласует правильную последовательность работы частей ПО. Для функционирования мобильного робота в группе непосредственно требуется лишь три функциональных возможности:

* информационная связь с другими роботами группы;
* выполнение специфичных для данного робота операций;
* правильность перемещения робота по маршруту движения.



Рисунок 1 – Схема программного обеспечения

В свою очередь, для верного перемещения по маршруту, за которое отвечает модуль маршрута, требуется знать, где на карте находится робот. Поэтому, для модуля маршрута требуются два модуля: модуль построения карты и модуль локализации.

Модуль построения карты [5], как указано, является распределённым, т.е. параллельно выполняющимся на всех роботах группировки. На каждом роботе есть набор датчиков окружающего пространства, и каждый робот строит свою карту. В распределённом модуле карты эти карты совмещаются и преобразуются в общую карту окружающего пространства.

Модуль локализации вычисляет текущие положения робота. Этих положений может быть несколько:

* координаты робота в некоторой глобальной (базовой) системе координат;
* координаты робота в системе координат группировки;
* координаты робота в системе координат некоторого объекта интереса.

Модуль специализации робота отвечают за те специфические функции, для которых предназначен данный конкретный робот и для адаптации операций для данного конкретного робота. Именно этот модуль вырабатывает управляющие сигналы для работы робота. Соответственно, этот модуль пользуется банком операций, единым для всей группировки.

Банк наборов операций должен быть единым для всех, ведь при реконфигурации группировки (в случаях отказа или деградации части роботов) возможна замена функционала одного робота функционалом другого. Модули специализации адаптируют требующуюся операцию к возможностям и конфигурации данного робота.

Модуль обмена с оборудованием посылает управляющие сигналы на исполнительные механизмы робота и принимает сигналы с сенсорики робота.

**3. Избыточность**

Избыточность в технике – один из способов повышения надежности и безопасности. Особенно часто это необходимо для обеспечения безопасности человека. Для задач по спасению людей с терпящих бедствие нефтяных платформ в экстремальных погодно-климатических условиях, избыточность не просто необходима, а обязательна.

Для гомогенной группировки роботов, в котором все роботы одинаковы и выполняют одинаковые функции, избыточность тривиальна: чем больше роботов – тем выше избыточность.

Для гетерогенных групп такой подход неприменим по двум причинам:

* разные условия работы разных подгрупп. Например, роботы-наблюдатели не участвуют непосредственно в операциях спасения, поэтому для них избыточность менее важна, а роботы-разведчики должны непосредственно проникать в самый эпицентр катастрофы и, возможно, ценой собственной жизни разведывать обстановку. Тут избыточность должна быть максимальной;
* разные функциональные возможности и, соответственно, разная стоимость роботов. Например, роботы-наблюдатели могут иметь совсем простую конструкцию и низкую цену, а транспортные роботы-эвакуаторы должны брать на борт десятки людей и транспортировать их на сотни километров, следовательно, иметь высшую надёжность и высокую цену. Поэтому большая избыточность транспортных роботов-эвакуаторов экономически нецелесообразна. Пример такого транспортного спасательного средства приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Универсальное спасательное средство разработки Нижегородского Государственного Технического Университета им. Р.Е. Алексеева

**4. Взаимозаменяемость**

Для повышения надёжности группировки без излишней избыточности возможно применение взаимозаменяемости роботов. Взаимозаменяемость заметно повышает надёжность и вероятность безотказного выполнения спасательных миссий при незначительном удорожании и усложнении роботов.

Рассмотрим какие виды отказов и взаимозаменяемости возможны.

Самая тяжёлая ситуация – это отказ бортового вычислителя системы управления робота. При такой ситуации робот не имеет возможности выполнять миссию далее (он может быть использован, как ретранслятор или как временное убежище для эвакуируемых).

Вторая по тяжести ситуация – отказ бортового радиоканала. Робот при этом заканчивает ту часть групповой миссии, которую способен выполнить и (в зависимости от функционального назначения) переходит к полностью самостоятельной работе или прекращает свою деятельность.

Третья ситуация – отказ двигателей и/или движителей. При этом робот может выполнять функции убежища, стационарного наблюдателя, ретранслятора и вычислителя.

Четвертая ситуация – отказ какого-то сенсора. К примеру, отказ дальномера одного робота можно заменить дальномерами других роботов. Такая замена, возможно, будет давать меньшую точность, но общая функциональность не уменьшится.

**5. Робастность**

Описанные выше избыточность и взаимозаменяемость повышают робастность системы. В случае отказов система не становится неустойчивой, т.е. продолжение спасательной миссии возможно.

Для повышения робастности также применяют дополнительные меры, обеспечивающие расширенный диапазон условий функционирования разных подсистем роботов и группировки в целом.

Диапазон условий применимости конструкционных узлов и подсистем увеличивается известными способами. Остановимся на увеличении диапазонов применимости программно-математических подсистем системы управления группировкой.

Для этого надо учесть:

* непостоянное количество роботов, причём количество роботов может не только уменьшаться. Часть роботов может быть в резерве, введение которого в работу увеличивает количество роботов. Количество роботов может также увеличиться, если ранее отказавшие роботы могут быть вновь введены для выполнения операции, для которой этот отказ не критичен;
* погрешности построения карты. Часть роботов, по причинам ошибок сенсорики разного рода, могут вносить в общую карту значительные погрешности. Для минимизации влияния таких ошибок требуется строить карты частями и эти карты сравнивать. Если карты сильно неодинаковы, то применять «взвешивание» разных частей карты и в данный момент использовать ту карту, которая больше всего подходит для окружающего пространства. Здесь хорошо работает «нелинейное масштабирование», зависящее от текущей конфигурации группировки;
* отказ текущей используемой системы локализации. Рассматривается ситуация, когда система локализации уже отказала, но это ещё не распознано системой управления. В этом случае ложные координаты могут дать сильную накапливающуюся погрешность, которая приведёт к катастрофическим последствиям. Для парирования таких ошибок необходимо применять логические проверки доверия к локализации и использовать для локализации комплексирование сенсоров разной физической природы.

**6. Заключение**

В реальной обстановке (температура до минус 50 градусов Цельсия, ветра до 40 м/с, шторм до 10 баллов, пурга, видимость от 10 м и пр.) погодно-климатические условия спасательной операции могут изменяться практически мгновенно. Поэтому для устойчивости работы требуется предусмотреть временную приостановку спасательной миссии, если текущая вероятность потери основной части группировки превышает некоторый порог, величина которого требует исследований.

Перед началом миссии и в процессе её проведения требуется планировать дальнейшие действия таким образом, чтобы спасти максимальное количество жизней. Здесь тактика должна быть такой, чтобы перемещать на борт эвакуационного робота того человека, кого переместить в настоящий момент проще других. Ожидание, пока в требуемом месте скопится группа людей, хотя это и кажется эффективным, опасно – в любой момент может ситуация измениться и погибнет вся группа.

Транспортно-эвакуационный робот, принявший на борт очередного человека, должен покинуть зону высшей опасности, пока другой спасаемый не будет подготовлен для перемещения на борт. Затем робот приближается и производится перемещение нового спасаемого.

Сложная проблема: выбор момента окончания стадии спасения из зоны повышенной опасности и переход к фазе эвакуации. Принимать решение должен либо дистанционно руководитель операции, либо страший по команде с использованием текущей информации и экспертных оценок, выработанных на основе предыдущего опыта.

**Литература**

1. И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. М. «Янус-К» 2002г. 292 с.
2. И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009 – 280 с
3. Д.Я. Иванов. Информационный обмен в больших группах роботов. // Журнал «Искусственный интеллект», №4, 2010.
4. А.В.Тимофеев, Р.М.Юсупов. Принципы построения интегрированных систем мультиагентной навигации и интеллектуального управления мехатронными роботами. // International Journal "Information Technologies & Knowledge" Vol.5.
5. И.А. Васильев. Построение карт для мобильного робота. // Журнал «Автоматизация в промышленности», № 12, 2011 г.