

УДК: 004.896+616.78

СРЕДА ОБИТАНИЯ СЕРВИСНЫХ МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОВ В КЛИНИКЕ

Д.А. Рогаткин, Д.Г. Лапитан

Сформулирована и обоснована парадигма объектно-ориентированного описания среды обитания сервисных медицинских роботов (СМР) в клинике. Исследован набор переменных среды обитания СМР в клинике. Приведены примеры по присвоению определенным объектам среды обитания конкретных числовых и символьных значений. Сформулировано положение об определяющей роли органов чувств робота (его информационно-измерительных систем) в формировании набора переменных среды обитания СМР в клинике.

Ключевые слова: сервисный медицинский робот, среда обитания, свойства объектов внешнего мира, парадигма объектно-ориентированного программирования, распознавание образов.

Введение

Стремительное развитие робототехники открывает новые возможности во многих областях деятельности человека, в том числе и в медицине. С начала 2000-х годов наблюдается резкий скачок инновационных проектов по созданию коммерческих медицинских роботов, которые уже начали поступать в клиники. И одно из наиболее ярко проявляющихся сегодня направлений в медицинской робототехнике - направление по роботам-помощникам, или, как их еще называют, - *сервисным медицинским роботам* (СМР).

Однако, известные классические монографии по общей (промышленной) робототехнике [1, 2] посвящены не конкретно медицинским роботам, а разработке промышленных роботов общего назначения. Очень богатый и глубокий материал в них дается по частным вопросам разработки конструкции сенсорных датчиков роботов, манипуляторов и захватов, элементов подвижной части робота и т.д. Но очень слабо описываются (или не описываются вовсе) теоретические основы проектирования таких роботов, обобщенные модели и алгоритмы поведения роботов в разных ситуациях, их функции назначения, и, в том числе, методы описания среды обитания робота. Описание среды обитания не формализовано и не обосновано.

В данной статье рассматриваются вопросы формального инженерно-технического описания среды обитания СМР в клинике. Обосновывается объектно-ориентированная парадигма представления среды обитания робота в его программном обеспечении (ПО). Иногда ее еще называют «*моделью мира робота*» [3]. Формулируется положение об определяющей роли органов чувств робота в

формировании набора переменных, описывающих среду обитания СМР в клинике.

Классификация среды обитания СМР

Было установлено, что всю среду обитания СМР в клинике можно представить в виде трех больших классов однородных и имеющих общие ключевые признаки объектов (рисунки 1):

- 1) Территория обитания робота (коридоры, комнаты) и ее ландшафт (лестницы, уступы, уклоны);
- 2) Предметы, расположенные на территории (двери, мебель, приборы);
- 3) Другие обитатели (врачи, пациенты, другие роботы).

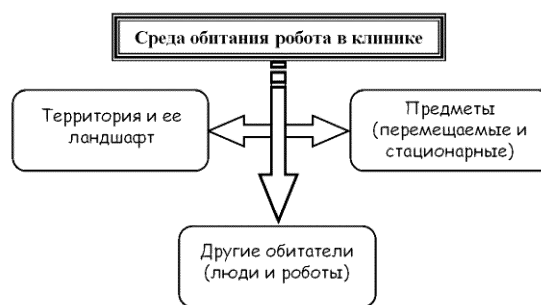


Рисунок 1 – Классификация среды обитания СМР.

Для каждого класса исследовались варианты формализованных и унифицированных инженерных процедур описания его элементов и способов задания их в ПО робота в виде набора признаков и/или переменных. По результатам был составлен развернутый список признаков (свойств) каждого из типовых экземпляров объектов каждого перечисленного класса (Таблица 1).

РАЗДЕЛ 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Таблица 1. Классификация переменной среды обитания СМР в клинике.

| Класс объектов | Экземпляр класса | Свойства | | | | | |
|------------------|---------------------------------|--|--|---|------------------------------------|---|-----------------|
| | | Не изменяемые | | Изменяемые | | Редко изменяемые | |
| | | Существенные | Не существенные | Существенные | Не существенные | Существенные | Не существенные |
| Территория | Комнаты, коридоры, холлы и т.п. | Габариты {L,W,H}; наличие выступов, ниш, углублений и т.п. | Количество окон | Флаг запрета доступа роботу, Кол-во и имена обитателей, №№ приборов | Набор предметов мебели | № комнаты, кол-во дверей; №№ смежных помещений, флаги запрета наличия дыма, огня и т.п. | Цвет стен {RGB} |
| | Лестницы | Уклон, высота ступеней | Количество ступеней, количество пролетов | Флаг запрета доступа роботу | - | №№ смежных помещений (откуда и куда ведет) флаги запрета наличия дыма, огня, посторонних предметов и т.п. | Цвет стен {RGB} |
| | Лифты | - | - | Флаг наличия/отсутствия на этаже; флаг запрета доступа роботу | - | №№ смежных помещений (откуда и куда может ехать); габариты {L,W,H}; макс. груз (кг) | Цвет стен {RGB} |
| Предметы | Приборы | Наименование; назначение; габариты {L,W,H}; флаг переносной / стационарный | Цвет корпуса {RGB} | № помещения постоянного размещения, координаты размещения в комнате {X,Y,Z}; | Имя врача - оператора | Инвентарный номер; флаг доступности on/off роботу | - |
| | Мебель | Наименование; габариты {L,W,H}; флаг переносной / стационарный | Цвет корпуса {RGB} | Имя владельца (кровати, столы, тумбочки) | Размещение внутри комнаты (стулья) | Инвентарный номер; № помещения постоянного размещения; флаг доступности перемещения роботу | - |
| | | | | | | | |
| Другие обитатели | Люди | ФИО, флаг врач/пациент, тембр голоса, цвет радужки глаза, цвет кожи {RGB} | - | № помещения постоянного размещения, координаты размещения в комнате {X,Y,Z}, флаг доступности общения для робота, наиболее часто посещаемые помещения | Цвет волос, одежды {RGB}, возраст | Габариты (рост, комплекция) | Пол |
| | Роботы | Габариты {L,W,H}, цвет корпуса {RGB} | Назначение, имя | Флаг доступности общения другим роботам; наиболее частые маршруты движения | - | № помещения постоянного размещения | - |

Анализ этой таблицы показал, что все возможные свойства (признаки) объектов могут подразделяться на изменяемые свойства (например, состояние прибора: включен / выключен) и на неизменяемые свойства (скажем, размер комнаты), а также на редко изменяемые свойства (например, параметры телосложения пациента). Также возможно деление на существенные признаки (например, цвет глаз пациента) и на несущественные (например, цвет одежды) в смысле опознания объекта роботом и возможности классификации разных объектов.

Собственно, все это в целом было известно в теории распознавания образов [4-6]. В рамках же выполняемой работы была обоснована целесообразность достаточности такого описания для целей создания СМР.

Формальное инженерно-техническое описание среды обитания СМР

Все из перечисленных в таблице 1 свойств объектов могут быть заданы в числовом виде, включая массивы данных, символьных (строковых) и/или логических переменных, а также в виде функций от этих переменных (методов работы с переменными). Наиболее просто и эффективно сегодня это достигается средствами объектно - ориентированного программирования. Например, в основе высокоуровневых языков С++ и LabView лежит объектно-ориентированная парадигма. В этих языках для каждого класса объектов определяются их общие характерные признаки (элементы класса), которые затем внутри основного выполняемого кода программы могут принимать различные конкретные значения у разных конкретных экземпляров (объектов) этого класса.

Пример на рисунке 2 иллюстрирует формирование класса объектов «Прибор» на языке С++ и пример выполняемого кода основной программы по присвоению первому экземпляру этого класса - объекту «ультразвуковой прибор» - конкретных числовых и символьных значений, характеризующих его уникальные свойства. Аналогичные возможности есть и в языке LabView. Средства LabView более наглядны, но принципиальной разницы в подходах между этими языковыми формами нет. Фактически, это - единая парадигма «оперирования объектами», и она удобно и достаточно унифицированным образом может определять сегодня всю формальную инженерно-техническую процедуру описания среды обитания любого робота, и не только в клинике. Поэтому она и была принята за основу для дальнейшей проработки.

```
#include <iostream>
#include <list>
using namespace std;

class device //класс прибор
{
public:
    int NumberID; //инвентарный номер
    float length, width, height; //габариты
    int color[3]; //цвет в RGB
    string name; //назначение
    bool movable; //перемещаемый=1/не перемещаемый=0
    bool on; //включен=1/выключен=0
    int RoomID; //номер комнаты
    float X,Y; //координаты в комнате
    list<string> Properties; //список дополнительных параметров
};

int main()
{
    device ultrasound_device;
    ultrasound_device.NumberID = 133;
    ultrasound_device.length = 0.7;
    ultrasound_device.width = 0.5;
    ultrasound_device.height = 1.5;
    ultrasound_device.color[0] = 87;
    ultrasound_device.color[1] = 153;
    ultrasound_device.color[2] = 224;
    ultrasound_device.name = "US-scanner ";
    ultrasound_device.movable = 0;
    ultrasound_device.on = 1;
    ultrasound_device.RoomID = 325;
    ultrasound_device.X = 2.5;
    ultrasound_device.Y = 3.8;
    ultrasound_device.Properties.push_front("Model 12-5/L38");
    ultrasound_device.Properties.push_front("3D mode");
}
```

Рисунок 2 – Пример создания класса объектов «Device» на языке С++ и пример выполняемого кода присвоения первому экземпляру этого класса конкретных характеризующих его значений.

Было показано, что объектный метод оказывается наиболее удобным и естественным, например, при формальном описании территории обитания СМР в клинике. В ходе исследований были рассмотрены разные существующие уже в робототехнике подходы, которые потенциально позволяют формализовать описание территории обитания роботов на инженерно-техническом языке, т.е. которые позволяют строить карту местности в машинных кодах: абсолютный координатный метод, растровый метод, объектный метод и т.д. Наиболее строгим и легко математически реализуемым методом был признан абсолютный координатный метод, который задает плоские декартовы координаты элементов территории (комнат, дверей, лестниц и пр.) в абсолютных парах чисел (x,y), привязанных к показаниям каких-либо датчиков навигации, например датчиков системы GPS или ГЛОНАСС. Однако, средняя ошибка навигации этих методов для гражданского применения сегодня составляет порядка 5-7 метров (максимальная - до 30-40 м), что не позволяет эффективно использовать их внутри помещений, где характерные размеры элемен-

РАЗДЕЛ 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

тов соизмеримы с этими величинами. Построение же собственной сетки опорных координатных сигналов в помещениях, например, путем размещения в них ультразвуковых или световых маяков, признано нецелесообразным, т.к. это лишает систему мобильности. Робот оказывается буквально «привязан» к помещению и его перенос на другую территорию становится сопряжен с необходимостью проведения новых монтажно-наладочных работ (установка датчиков, подвода к ним питания и пр.). А это существенно удорожает всю систему в целом и часто сопряжено с нарушением нормальной работы учреждения здравоохранения. Недостатком растровой карты можно считать большую трудоемкость ее построения и поддержания в актуальном состоянии, сильное отличие от естественного восприятия территории и ее обстановки человеком, большой объем необходимых вычислительных ресурсов и ресурсов памяти. Наиболее же естественным и простым методом в рамках характерных расстояний внутри клиники был признан именно метод объектно-ориентированного описания территории. Он поясняется рисунком 3.

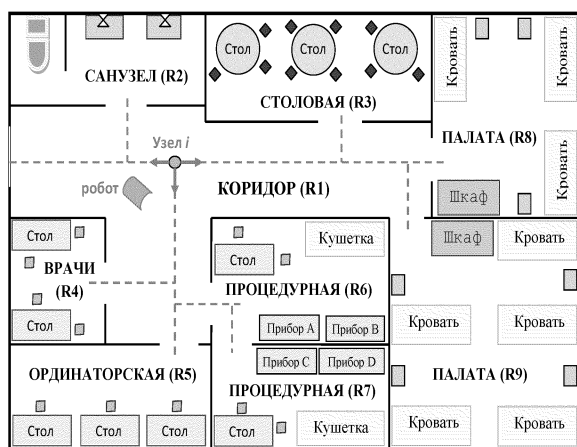


Рисунок 3 - Пример карты объектного описания среды обитания СМР в клинике.

В этом методе вся территория и имеющиеся на ней предметы и другие обитатели описываются в единых терминах объектов и их свойств (изменяемых и неизменяемых признаков объектов). К собственно объектам территории относятся все помещения (комнаты, коридоры и лестничные проемы), имеющие свои собственные размеры (длину, ширину, высоту – массив данных $\{L,W,H\}$), цвет стен (массив данных $\{RGB\}$) и соединения с другими помещениями (входы-выходы), которые в совокупности однозначно их характеризуют. Возможен еще учет количества окон,

других особенностей, но это уже детали. Внутри комнат располагаются предметы и обитатели в координатной сетке $\{X,Y,Z\}$ каждой комнаты в зависимости от ее размеров. Движение робота по территории происходит от узла к узлу по карте, где в каждом конкретном узле согласно заложенной в СМР карте местности он точно знает, в каком направлении от него находится тот или иной искомый объект (комната, прибор и пр.), т.е. в каком направлении ему дальше двигаться. Это позволяет ему самостоятельно прокладывать маршрут из любой точки для доступа к любому нужному объекту.

Среда обитания «глазами» робота

Ключевым элементом рассмотренной объектно-ориентированной парадигмы является конкретный список признаков (свойств) объектов внешнего мира, который надо учитывать и закладывать в ПО робота на этапе его проектирования. Очевидно, что таблица 1 не полна, т.к. список свойств каждого объекта может быть бесконечным. Какие же свойства объектов внешнего мира надо в первую очередь закладывать в ПО робота? Как определить этот набор свойств для конкретного проектируемого СМР? Априори очевидна посылка, что набор свойств любого объекта внешнего (и внутреннего) мира СМР должен быть подмножеством общего множества всех возможных свойств (признаков) объектов мира, которые в принципе могут распознать (измерить) «органы чувств» создаваемого СМР. В психологии познания и теории распознавания образов давно известно, что восприятие (распознавание) объекта начинается с категоризации (или классификации) распознаваемых ключевых признаков объекта [5, 6]. Каждый объект содержит набор признаков (свойств), включая признаки-отношения, т.е. признаки допустимого взаимодействия данного объекта с другими объектами, которые его однозначно характеризуют. Например, признак «вес» (масса) в сочетании с его небольшой количественной величиной у какого-либо объекта порождает для этого объекта признак-отношение «может быть переместим» (поднят, передвинут). По всем этим ключевым признакам, их наличию или отсутствию и происходит распознавание и классификация наблюдаемых предметов. Поэтому система распознавания объектов внешнего и внутреннего мира у робота должна приводить к формированию на ее выходе массива всех существенных и необходимых для классификации объектов признаков всех возможных наблюдаемых им объектов в клинике, вклю-

чая собственные признаки и объекты робота (его местоположение, состояние его внутренней среды и т.д.), определяющего весь массив необходимых данных для «мыслительного» процесса робота, т.к. «мыслить» робот об объектах внешнего мира может только в тех терминах и категориях, которые он умеет распознавать. Таким образом, в ПО робота среда обитания должна описываться на объектно-ориентированном языке в терминах классов объектов и конкретных экземпляров объектов внутри каждого класса с присвоением всем объектам среды (как предметам, так и обитателям) тех уникальных индивидуальных свойств, *которые способны «видеть» и классифицировать органы чувств робота* (совместно со встроенной системой распознавания образов), причем инвариантно по отношению к меняющимся условиям наблюдения объекта (освещенность комнаты, например). В этом смысле «органы чувств» СМР и его информационно-измерительная система в целом выступают здесь определяющими по отношению к формированию набора признаков объектов в ПО. Например, если робот снабжен одним лишь органом чувств в виде лазерного дальномера, то такой робот может только измерять геометрические размеры объектов и расстояния до них. Т.е. все его «представления» о внешнем мире и об объектах внешнего мира при таком варианте конструкции могут быть только метрическими. Именно здесь сегодня сосредоточена одна из основных проблем в формировании реальной «картины мира» СМР.

Если не считать каких-то исследовательских и специальных (спецтехника) разработок по системам распознавания образов, то коммерчески доступными для построения органов зрения гражданских СМР являются сегодня метрические системы дальнометрии (лазерные, инфракрасные, ультразвуковые (УЗ)), системы зрения на основе web-камер, а также сенсорный контроллер Kinect. Типовые лазерные и УЗ-дальномеры имеют пока не очень высокую точность, на уровне 2-3 см при расстояниях до 5-6 м, а в качестве выходных сигналов выдают лишь угол локации и расстояние до объекта. Они не интегрированы пока с какой-либо информационной системой, способной выделять из картины сканирования отдельные объекты. Частично это могут делать системы распознавания образов с видекамерами, но количество распознаваемых объектов и точность их распознавания тоже оставляют желать лучшего. Во многом это связано с тем, что система зрения, если брать аналогию с живыми суще-

ствами, не просто создает картинку увиденного, а постоянно сканирует поле зрения, фокусируясь на отдельных ее ключевых элементах и рассматривая их подробнее. Т.е. она ведет себя активно [7]. Системы же технического зрения лишены этой активности, поэтому малопродуктивны. Более интеллектуальным можно считать контроллер Kinect. Он состоит из датчиков глубины и цветной видекамеры. Это позволяет измерять, распознавать и классифицировать движения человека, даже его отдельных пальцев. Однако, судя по имеющейся информации, на этом его функциональные возможности и исчерпываются. Пока у него нет доступного коммерческого ПО, позволяющего классифицировать любые другие объекты. Одним словом, разработка информационно-измерительных систем, выдающих на выходе набор существенных признаков объектов среды обитания робота в клинике, является актуальной и современной научно-инженерной задачей.

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что наличие у СМР конкретного набора органов чувств определяет те существенные свойства объектов внешнего мира, которые должны закладываться в его ПО в виде модели мира робота. Дальнейшее инженерно-техническое описание среды обитания СМР в клинике однозначно и формализовано может быть выполнено на основе объектно-ориентированной парадигмы и соответствующих языков программирования.

Представленная работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-08-00415-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники. - 2-е изд., перераб. и доп. / Е.И. Юревич. - СПб. БХВ-Петербург, 2005. - 416с.
2. Корендяев, А.И. Теоретические основы робототехники. Кн. 2. / А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес. - М.: Наука, 2006. - 376с.
3. Интегральные роботы. Сборник статей. / Пер. с англ. под ред. Г.Е. Поздняка. - М.: Мир, 1973. - 624с.
4. Макаров, И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. Под ред. И.М. Макарова. - М.: Наука, 2006. - 333с.
5. Брунер, Дж. Психология познания / Дж. Брунер. Пер. с англ. Бабицкого К.И. - М.: «Прогресс», 1977. - 404с.
6. Вапник, В.Н. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения) / В.Н. Вапник, А.Я. Червоненкис. - М.: Наука, 1974. - 416с.