

УДК 531.1

## **МОБИЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ РОБОТ-ПОМОЩНИК УЧИТЕЛЯ И ВОСПИТАТЕЛЯ РОБОНЯНЯ**

В.Е.Павловский (vlpavl@mail.ru),  
М.Н.Русецкая, А.А.Гордеев, А.В.Кашеев, В.В.Павловский,  
Е.А.Фролова, В.В.Юренков  
Московский городской педагогический университет  
ГОУ ВПО МГПУ, Москва  
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша  
РАН, Москва

Представлена разработка мобильного робота РОБОНЯНЯ, который позиционируется как новое техническое средство для образовательного процесса в младших классах школ или в старших группах детских садов. Предполагается также использование робота в домашних условиях.

### **Проект РОБОНЯНЯ, введение**

В Московском городском педагогическом университете МГПУ совместно с Институтом прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН разработан мобильный интеллектуальный робот РОБОНЯНЯ. Робот предназначен быть ассистентом учителя младших классов школ или воспитателей старших групп в детских садах. Ниже на рис.1 показан общий вид робота и эпизод тестирования робота в Прогимназии № 1611, Москва.

Проект РОБОНЯНЯ, цель которого – внедрение новых форм и методов обучения, развития и воспитания детей старшего дошкольного и младшего школьного возраста (4-8 лет) на основе современных технологий, имеет острую социальную направленность, связанную с организацией новой среды дошкольных и школьных образовательных учреждений, а также учреждений дополнительного образования, насыщения ее элементами интерактивного, развивающего обучения, создания условий для развития исследовательской деятельности и научно-технического творчества детей.



Рис.1. Робот РОБОНЯНЯ.

## 1. Предпосылки разработки проекта.

На основе современных данных о психологических и психофизиологических особенностях современных детей, ориентированных на интерактивные формы обучения, демонстрирующих преобладание визуальных форм восприятия информации, потребность в быстрой смене видов деятельности, склонных к дивергентному (альтернативному) мышлению, можно предположить, что присутствие робота на занятиях будет актуализирующим фактором, резко повышающим познавательную активность учащихся на занятиях и обеспечивающим надежное усвоение знаний и формирование на их основе универсальных учебных компетенций.

Для обеспечения "мягкого" интерфейса, дружественного взаимодействия с обучаемыми робот имеет "человекоподобную" форму и поддерживает обычные формы и схемы коммуникации, принятые в среде людей. Концептуальные основы проекта позволяют выполнять настройку РОБОНЯНИ под особенности учебно-воспитательного процесса с различными категориями детей с учетом их особых образовательных потребностей или ограничений возможностей здоровья (дети с нарушениями слуха и зрения, опорно-двигательного аппарата, эмоционально-волевого поведения и пр.).

Фактически, проект РОБОНЯНЯ вводит новую технологию проведения занятий и воспитания детей. Эта технология соединяет современные достижения информационных технологий и технологий роботики с ведущими дидактическими традициями обучения и воспитания детей.

## **2. Цели проекта.**

В проекте РОБОНЯНЯ создается мобильный робот для сопровождения различных видов воспитательных, обучающих и досуговых занятий с группами детей в дошкольных учреждениях и с учащимися младших классов общеобразовательных школ. Предполагается, что робот будет помощником педагогов-воспитателей, учителей начальных классов, педагогов дополнительного образования, а также музейных работников, сотрудников библиотек и т.п. при проведении таких мероприятий.

## **3. Устройство робота.**

Робот включает набор платформ, на которых размещены центральный встраиваемый компьютер, контроллеры движения, приводы движения, система мультимедиа (в текущей версии она представлена т.наз. языковым центром робота, позволяющим исполнять различные звуковые и музыкальные ряды), IP-ТВ-камера, батареи и блоки электропитания. Робот имеет также систему связи с удаленным компьютером (используется радиолиния WiFi), при этом используется удаленный компьютер с интерактивными органами управления, джойстиком, кнопками, мышью.

Ядро (центральная часть) системы управления робота реализовано на встраиваемом компьютере eBox. Это решение является принципиальным и имеет целый ряд преимуществ, среди которых небольшие размеры и малое энергопотребление компьютера (порядка 10 Вт), и, вместе с тем, существенная вычислительная мощность компьютера, базирующаяся на использовании процессора с достаточно большой тактовой частотой. Существенным является также использование операционной среды Windows CE, т.к. при этом могут быть использованы огромный объем и мощь накопленных в Windows-среде программного обеспечения и программных технологий.

Базовый вариант дополнительно включает контроллеры управления движением робота. Связь с ним центральный компьютер осуществляет по COM-линии. Робот имеет 10 степеней свободы.

С точки зрения мобильности робот построен как робот с дифференциальным приводом - платформа такого робота имеет два управляемых маршевых колеса, которые управляются независимо, но оси их лежат на одной прямой. Такая кинематическая схема имеет весьма высокую подвижность, робот может разворачиваться на месте ("на точке") и реализовывать любые траектории на плоскости. Такая подвижность является существенным фактором при движении в узких стесненных местах, которые могут иметь место в помещениях для занятий целевой аудитории.

Структура программного обеспечения робота приведена на рис.2.

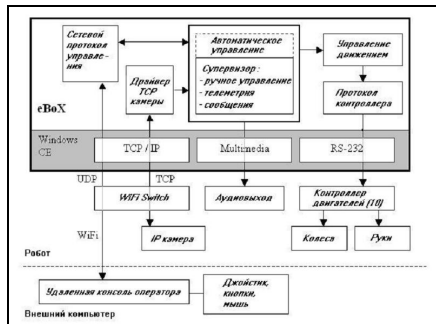


Рис.2. Общая структура ПО робота, базовый уровень.

Программное обеспечение (ПО) построено по клиент-серверной архитектуре, включает бортовое ПО и удаленное клиентское управляющее программное приложение. Клиентское приложение на удаленном компьютере позволяет реализовать дистанционное управление роботом и запуск его автономных бортовых приложений (сценариев) в режиме автономной работы робота.

#### 4. Сенсорика. Интеллектуальные функции робота.

В первую очередь на работе устанавливаются следующие сенсоры: сенсоры маяков навигационной подсистемы робота, ТВ-камера системы зрения, микрофоны системы слуха, ИК-датчики системы безопасности ("ИК-бампер").

Соответственно, на работе планируется реализация интеллектуальных функций, базирующихся на перечисленных сенсорных подсистемах, она будет выполнена в несколько этапов.

Первый этап уже выполнен и тестируется. Для робота опробована навигационная система, работающая по маякам, расположенным вокруг робота. Опробована система технического зрения в режиме ориентации в пространстве. Эта же система используется в режиме телеприсутствия, который реализован на работе. Обе эти системы отдельно описываются в настоящем сборнике [Забегаев 2010], [Калиниченко 2010].

Для робота опробована также система технического слуха (СТС), предназначенная для пеленгации звучащих объектов. Ее назначение – поиск звучащих объектов вокруг робота, и имитация аудио-моторной реакции робота, когда он разворачивается в направлении звучащего объекта. Предполагается, что такая реакция робота позволит добиться усиления эффекта коммуникации робота с участниками диалога с ним (это могут быть люди или другие роботы). Представим СТС подробнее.

Система аппаратно реализована несколькими (в исходной версии двумя) микрофонами, ее аппаратная поддержка обеспечена специальными усилителями и системой ввода аудиосигналов в бортовой компьютер. Программное обеспечение системы состоит из двух уровней, нижний из которых используется для получения звукового сигнала и его предварительной обработки. Этот первый уровень содержит 7 модулей: модуль ввода данных, нормирования, коррекции (например, сглаживания), определения периода для простых гармонических сигналов, определения сдвига фазы, определения направления (вычисления соответствующего угла), кластеризации. Последний используется для выделения подмножеств надежных данных.

Для определения направления в СТС применяются различные приемы, для случая простых гармонических сигналов источника используется вычисление корреляционной функции, для более сложных сигналов - методы, основанные на БПФ. При помощи совокупности этих методов можно вычислить сдвиг фазы между двумя волновыми сигналами, получаемыми микрофонами от одного звукового источника, и на основе сдвига фазы определить направление (луч) на источник. На рис.3 приведена иллюстрация определения направления на источник звука по сдвигу фаз. Схема вычисления при этом фактически является простым фазовым детектором.

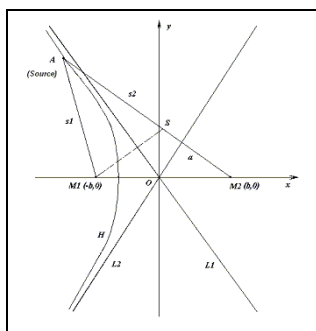


Рис.3. Схема локации источника звука по сдвигу фаз на приемниках.

#### *Сенсорные данные: концепция лучей.*

Описанная выше схема хорошо работает для одиночного простого сигнала, однако, значительно более интересная задача возникает при пеленгации нескольких объектов. Она решается на следующем уровне системы. Отметим, что данные с детектора в каждый отдельный момент не содержат полной информации о положении объектов. Подпрограммы детектора воплощают идею сбора информации о лучах в процессе

движения робота, составляя список лучей, найденных в каждый момент времени. Схема построения акустического луча 'I' изображена на рис.4 (это линеаризация схемы, приведенной на рис.3). На первый взгляд представляется, что для нахождения объекта можно просто вычислить точку (точки) пересечения всех лучей. Однако многие точки пересечения лучей при этом оказываются лишь виртуальными, и возникает задача нахождения реальных объектов среди множества виртуальных.

При этом возникает и ряд ошибок, из-за которых лучи не пересекаются в одной общей точке, т.е. не проходят через точки расположения искомого объектов. Основные причины возникновения этих ошибок следующие:

1. Как источники звука, так и детекторы, не являются точечными объектами, а имеют некоторые конечные размеры;
2. Положение детектора в системе координат, связанной с роботом, не может быть измерено с достаточной точностью, вместо этого имеются некоторые постоянные параметры, определяющие геометрию устройств робота, причем они известны неточно;
3. Координаты робота в абсолютной системе координат также определяются с ошибкой, механические параметры вычисляются лишь примерно; при этом СТС должна находить звуковые объекты в абсолютной системе отсчета, которая движется относительно системы отсчета, связанной с роботом;
4. Данные собираются в дискретные моменты времени, как следствие система не может определить точный момент, когда объект "появляется" в очередном сенсоре, или покидает его, электроника также дает некоторую задержку;
5. В измерительном канале присутствует шум, который зависит от внешнего шума, акустических теней от посторонних объектов, расположенных вокруг робота, а также внутреннего шума, например, производимого двигателями робота.

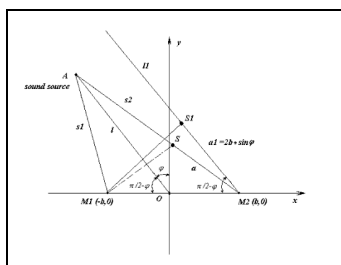


Рис. 4. Схема концепции лучей для звуковых локаторов.

По этим причинам в СТС должен применяться специфический

интеллектуальный алгоритм локализации объектов. Такой алгоритм, названный сеточным, описан ниже. Отметим, что он способен находить как отдельный объект, так и несколько объектов одновременно, в этом случае пеленгационные лучи пересекаются не в одной, а в нескольких точках.

*Определение положения объекта: вероятностный подход, сеточный алгоритм.*

Алгоритм поиска объектов основан на следующем эвристическом подходе. Перед системой стоит следующая задача – найти объект, рядом с которым проходит большое количество лучей. Если бы эту задачу должен был решать человек, он, вероятно, нарисовал бы лучи на листе бумаги и выделил "яркие", т.е. пересекаемые большим числом лучей, участки. Сеточный алгоритм является реализацией этой идеи. Возьмем большую матрицу, все элементы которой равны нулю, и начнем "рисовать" на ней лучи, увеличивая на единицу значение элемента в ячейках, которые пересекает луч. Так для каждой ячейки можно подсчитать количество лучей, ее пересекающих,  $n_{ij}$ . Тогда ячейки, для которых это число достаточно велико  $n_{ij} > \alpha$ , будем считать "яркими" и объединять в выделенные области. Граничное значение  $\alpha$  выбирается пропорциональным  $\max_{i,j}(n_{ij})$ . Это соотношение является порогом для выбора лучей-"претендентов" на обнаружение объектов.

Необходимо отметить, что можно привести определенную доказательную схему и обосновать излагаемый алгоритм на основе следующей вероятностной схемы. Поскольку при поиске лучей имеются ошибки, нельзя считать, что искомый объект лежит на каком-либо луче, но можно утверждать, что он расположен вблизи луча. Это означает, что плотность распределения вероятностей  $p(x, y)$  на плоскости, где расположен искомый объект, зависит от расстояния до луча  $d((x, y), l)$ , убывая с увеличением этого расстояния:

$$p(x, y) = p(d((x, y), l)).$$

Это распределение, в свою очередь, порождает распределение на дискретизирующей сетке, определяя вероятность, что ячейка  $Q_{ij}$  содержит объект:

$$p_{ij} = \int_{Q_{ij}} p(x, y) dx dy = \int_{Q_{ij}} p(d((x, y), l)) dx dy \approx p(d(Q_{ij}, l))$$

Тогда, если мы имеем  $n$  лучей, общая вероятность вычисляется как произведение:

$$\tilde{p}_{ij} = \frac{\prod_{k=1}^n p(d(Q_{ij}, l_k))}{D},$$

где  $D$  - нормирующий коэффициент. Логарифмируя последнее равенство, переходим от произведения к сумме:

$$n_{ij} = \ln \tilde{p}_{ij} = \sum_{k=1}^n \ln p(d(Q_{ij}, l_k)) - \ln D = \sum_{k=1}^n n(d(Q_{ij}, l_k)) - \ln D$$

Полученные соотношения – это соответственно непрерывная и дискретная модели, на которых основан метод определения положения объекта. Так, если считать "яркостью" логарифм вероятности, "яркие" точки будут наиболее вероятными местами расположения объекта. Заметим, что идея логарифмирования естественна: произведение росло бы экспоненциально и привело к переполнению в вычислениях, во избежание чего пришлось бы нормировать компоненты вычислений, что является довольно медленной операцией. Заметим также, что увеличение на единицу  $n_{ij}$  для ячеек, пересекаемых лучом, соответствует более высокой плотности распределения вероятностей в этих ячейках.

1	1	1
1	<b>3</b>	1
1	1	1

Рис.5. Вероятностный шаблон выделения лучей.

Наконец укажем, что более реалистичное распределение могло бы получиться путем добавления вдоль луча некоей структуры (шаблона), затрагивающей также близлежащие клетки, например, можно использовать структуру, изображенную на рис.5. Числа в клетках - это весовые коэффициенты, добавляемые к элементам ячеек, пересекаемых лучами. В центре структуры расположена точка с максимальным значением веса.

Это означает, что система добавит 3 в каждую ячейку, через которую прошел луч, и по 1 во все соседние ячейки (на самом деле, значения во всех ячейках луча увеличатся на 5, т.к. 3 будет добавлено благодаря самой ячейке, и по 1 – благодаря предыдущей и последующей ячейкам).



Соответствующий пример трех пересекающихся лучей приведен на рис. 6. Ячейки с максимальными итоговыми весами '15', '16' и '17' будут определяться как место расположения объекта.

<del>0+2+0=2</del>	<del>2+2+0=4</del>	<del>5+1+0=6</del>	<del>3+0+0=3</del>	<del>1+0+0=1</del>	<del>0+0+0=0</del>	<del>0+0+0=0</del>	<del>0+0+0=0</del>
<del>0+5+0=5</del>	<del>2+6+0=8</del>	<del>6+4+0=10</del>	<del>7+3+0=10</del>	<del>3+2+0=5</del>	<del>1+1+0=2</del>	<del>0+0+1=1</del>	<del>0+0+2=2</del>
<del>0+3+0=3</del>	<del>1+6+0=7</del>	<del>3+6+0=9</del>	<del>2+6+0=13</del>	<del>6+6+1=13</del>	<del>2+4+2=8</del>	<del>0+2+4=6</del>	<del>0+1+6=7</del>
<del>0+1+0=1</del>	<del>0+2+0=2</del>	<del>1+3+1=5</del>	<del>4+4+2=10</del>	<del>7+6+4=17</del>	<del>4+7+6=17</del>	<del>1+6+7=14</del>	<del>0+4+6=10</del>
<del>0+0+1=1</del>	<del>0+0+2=2</del>	<del>0+0+4=4</del>	<del>2+1+6=9</del>	<del>5+2+7=15</del>	<del>6+4+6=16</del>	<del>2+6+4=12</del>	<del>0+6+2=8</del>
<del>0+0+2=2</del>	<del>0+0+5=5</del>	<del>0+0+7=7</del>	<del>1+0+6=7</del>	<del>3+0+4=7</del>	<del>6+1+2=9</del>	<del>3+2+1=6</del>	<del>1+3+0=4</del>

Рис.6. Пример состояния сетки.

Проведенные с системой эксперименты подтвердили эффективность предложенного алгоритма, локация нескольких объектов выполнялась уверенно, особенно при достаточном их пространственном разрешении.

Укажем в заключение раздела, что ближайшие задачи развития системы таковы. Следующий этап системы интеллектуального обеспечения предполагается строить на развитии систем зрения и слуха для обеспечения коммуникации робота с пользователями.

Планируется также реализация системы автономного планирования поведения робота и реализация эмоциональных реакций робота.

## 5. Сценарии.

Поведение робота программируется и строится также как исполнение сценариев. Сценарием называется совокупное параллельное или последовательное действие подсистем робота, сценарии исполняются роботом автоматически, они представляют автономный режим работы робота. Среди имеющихся в текущей версии сценариев реализованы знакомство-приветствие, физпауза (физзарядка), предметный урок, сценарий для отдыха с рассказом различных занимательных историй. Робот может использоваться и в целом ряде других режимов, например, для обучения иностранным языкам с визуально-моторной поддержкой. Предполагается создать сценарии, в которых робот будет задавать простые вопросы и задачи, и давать их объяснения.

Робот будет оснащен редактором сценариев, с помощью которого пользователи-преподаватели смогут строить собственные сценарии.

## 6. Апробация. Результаты.

В ходе разработки выполнена апробация робота. Как указано выше, она проводилась в одной из старших детских групп Прогимназии № 1611 в Москве. Апробация показала, что робот встречает теплый дружеский

прием в целевой аудитории, он интересен и оправдывает свое предназначение. В группе было продемонстрировано существенное доверие к роботу. Некоторые выборочные эмоциональные оценки приведены ниже на рис.7.

По результатам апробации были определены следующие режимы использования РОБОНЯНИ: - режим прямого ассистирования учителю или воспитателю, режим работы робота "один на один" с учеником, режим работы "один робот – много учащихся", режим работы нескольких роботов в нескольких группах с контролем от одного удаленного клиентского приложения, режим удаленного доступа к роботу и получение информации от него по сетям Интранет и Интернет.



Рис.7. Оценки при апробации робота.

Планируется также использование робота в домашних условиях.

## 7. Заключение.

Тестирование робота показало достаточно эффективную его работу уже на текущей стадии проекта. Вместе с тем, тестирование позволило выявить также направления развития проекта. В качестве ближайшей задачи рассматривается реализация аудио-визуальных средств коммуникации робота с пользователями.

## Список литературы

[Забегает 2010] А.Н.Забегает, В.Е.Павловский. Адаптация фильтра Калмана для использования с локальной и глобальной системами навигации. // Наст. сборник.

[Калиниченко 2010] А.В.Калиниченко. Система обнаружения и сопровождения видеомаркеров для обеспечения навигации робота. // Наст. сборник.