

УДК 004.382

С.А. Поливцев, Т.С. Хашан

Институт проблем искусственного интеллекта, г. Донецк, Украина

В.Е. Павловский

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия

Малые шагающие роботы с системой технического слуха*

В статье предлагается конструкция шагающего робота для целей разведки сложной местности. Также предлагается структура системы управления подобным роботом. Система управления предполагает наличие подсистемы движения без столкновений, подсистемы анализа звуковой обстановки, подсистемы радиообмена данными. В статье кратко описаны все подсистемы и подробнее характеризуется система технического слуха робота.

Введение

В настоящее время происходит бурное развитие интеллектуальных роботов, имеющих внешний вид как у живых существ и манеру движения, копирующую движение живых существ [1]. В этих рамках существует ряд задач, которые требуют применения простых роботов с высокой проходимостью и минимальным набором функций.

Одной из таких задач является задача разведки территории, например, во время спасательных операций. Требуется некоторый небольшой робот-агент, способный проникнуть на территорию разведываемого объекта, собрать сведения о его состоянии и, при необходимости, определить наличие в нем людей.

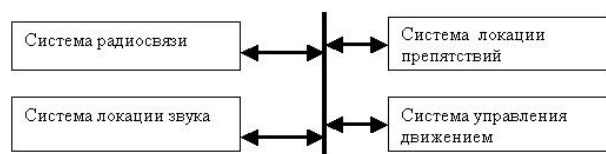
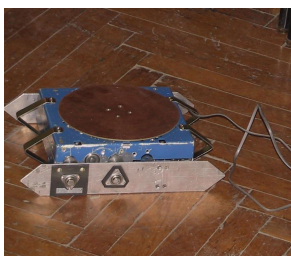


Рисунок 1 – Общий вид шасси робота и структура системы управления

Желательно иметь несколько таких агентов с тем, чтобы максимально большая часть территории была обследована за минимально возможное время. Желательно, чтобы эта группа агентов имела минимальную зависимость от оператора в части управления, но поставляла в центральный пункт управления как можно больше информации, которая может там накапливаться, обобщаться.

* Данная статья подготовлена в рамках выполнения научно-технической работы «Исследование проблем создания многоагентных распределенных робототехнических систем с высоким уровнем искусственного интеллекта», РК №0104U02419, заказчик – Министерство образования и науки Украины, 2004 г.

1 Конструкция шасси робота

Созданный робот показан на рис.1. Основные особенности конструкции созданного малого шагающего робота состоят в том, что робот симметричен и способен двигаться и в обычном режиме, и после переворота «вверх ногами». Робот имеет поворотные опоры сверху и снизу корпуса, что приводит к смене понятий «вперед» и «назад» при перевороте шасси. Практически такая конструкция обладает целым рядом преимуществ перед традиционными схемами: (а) переворачивание шасси не влияет на его способность к движению; (б) поворот шасси осуществляется на месте, ограниченном габаритами шасси; (в) отсутствует понятие клиренса – если шасси смогло зайти на препятствие, то оно всегда сможет вернуться назад или двинуться вперед); (г) шасси может двигаться по поверхности с большим наклоном, чем колесные или гусеничные, за счет более низко расположенного центра тяжести; (д) при падении на стопы шасси сможет продолжить движение, за счет асимметричности положения стоп и корпуса в этом случае произойдет опрокидывание на опоры.

Как и в любом другом случае, универсальность свойств имеет и свои недостатки. К механическим недостаткам следует отнести более низкий к.п.д. движителя по сравнению с колесным или гусеничным и, соответственно, более краткое время движения при той же емкости аккумуляторов. К числу недостатков можно отнести и невозможность размещения дополнительного оборудования вне корпуса робота. Проблематична и доставка полезного груза подобным механизмом. В силу сказанного наиболее эффективным видится применение подобных роботов в качестве разведывательных при спасательных операциях. В соответствии с этой областью применения строится и система управления роботом.

2 Структура и состав системы управления роботом

Поскольку предполагается связь с внешним миром, то в системе управления должен быть приемник и передатчик для передачи цифровых и аналоговых данных, команд управления роботом. Поскольку предполагается некоторая самостоятельность в выборе пути движения робота, то в системе управления должен быть локатор внешней среды, позволяющий выбрать путь движения робота без столкновений. Разведка предполагает контроль обстановки и в звуковом диапазоне, следовательно, должна существовать система сканирования и анализа звуковой обстановки. Также бесспорно существование системы управления движением робота. Эти 4 системы в принципе независимы, каждая из них построена на отдельном микропроцессоре, микропроцессоры общаются между собой через каналы типа RS-232 посредством системы команд. Такая структура существенно облегчает отладку системы в целом и позволяет производить параллельную обработку информации. Общая структура системы управления показана на рис.1.

3 Отработка системы слуха робота

Как было отмечено в [2], [3], основное назначение разрабатываемой системы слуха – определение расположения источника звукового сигнала в пространстве, а также изучение робототехническими устройствами окружающей среды с целью получения полной «звуковой картины». Система слуха робота строится на базе двух слуховых сенсоров.

Первоначальное определение характеристик слуховых сенсоров проводилось на основе математического моделирования акустического поля в их окрестности. Для этого был выбран пакет WHISPAR, разработанный в ИММ РАН (Москва, Россия) в секторе вычислительной аэроакустики [4]. Следует отметить, что в пакете реализована равномерная ортогональная сетка. Граничными условиями являются жесткие условия отражения, а именно угол падения волны равен углу ее отражения.

Модели акустического поля строились с учетом размеров реального помещения, в котором проводились натурные эксперименты, без препятствий и при их наличии, при излучении точечного монохромного источника сигнала (ИС) на частотах от 300 до 1500 Гц. Ниже на рис. 2 приведены примеры полученных акустических полей при частоте излучения ИС 1020 Гц.

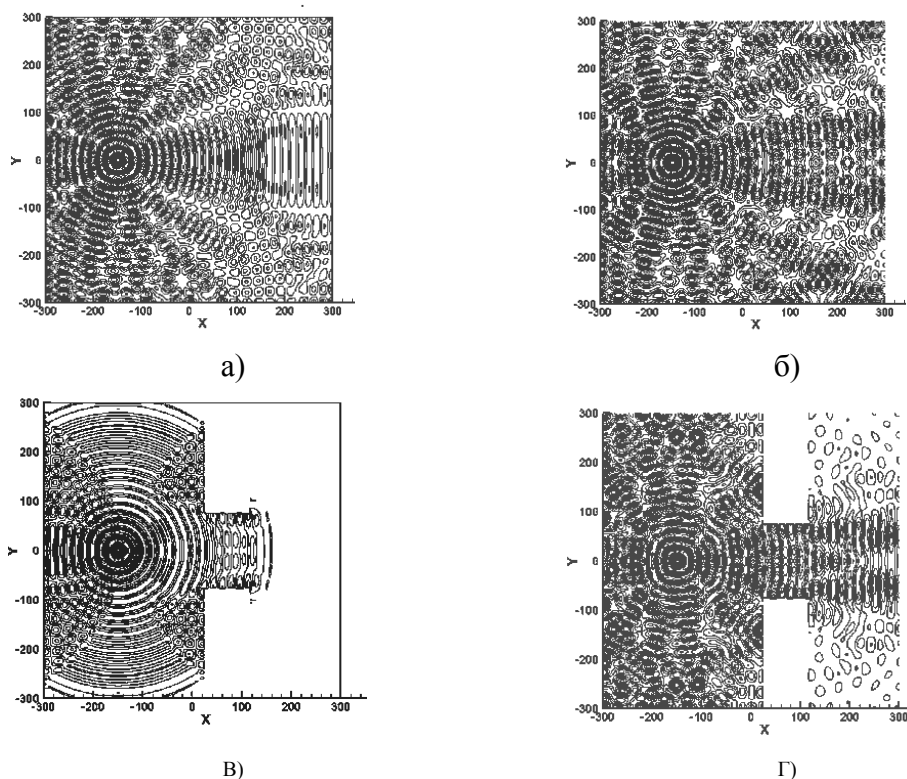


Рисунок 2 – Кадры акустического поля в моменты модельного времени $t = 600$ и $t = 800$: а),б) – пустого помещения; в),г) – помещения с препятствиями

Аналогично рассмотренным сценам рассматривалась геометрическая сцена помещения с объектами, имитирующими рупоры (акустические антенны) слуховых сенсоров, представленная на рис. 3. Рупоры размещались на базе $2b = 100$ точек расчетной сетки (рис. 3).

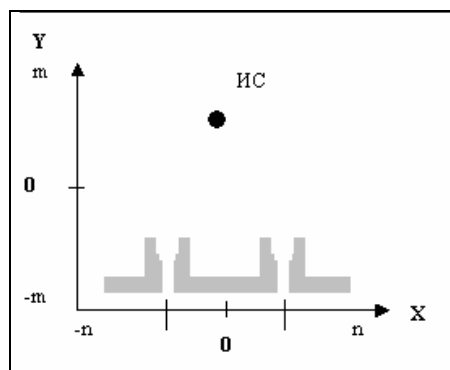


Рисунок 3 – Сцена моделирования помещения с двумя слуховыми каналами

Моделирование позволило получить основные характеристики сенсоров и отработать исходные версии алгоритмов пеленгации и локализации ИС: дальномерным и фазовым методами.

Далее, на рис. 4 показаны кадры акустического поля при смещении ИС относительно центра базы микрофонов в различные моменты времени. Следует отметить, что так в этой системе проявляется бинауральный эффект и указанный очевидный факт использован при моделировании пеленгации неизвестного ИС в фазовом методе.

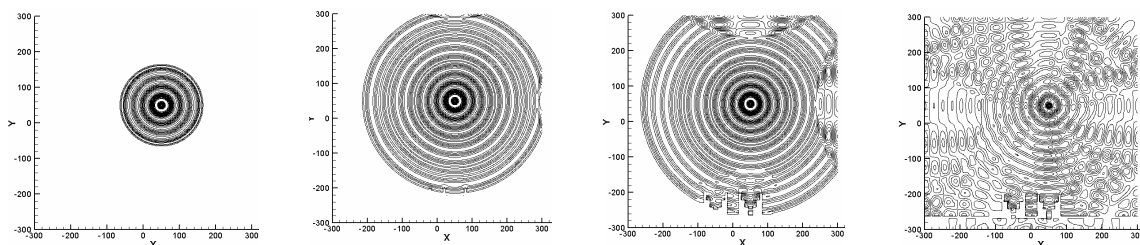


Рисунок 4 – Моделирование акустического поля двух сенсоров при смещении ИС относительно базы сенсоров на 50 точек вправо

Для детального анализа акустического поля разработаны прикладные пакеты, позволяющие вычислять фазовый сдвиг между принимаемыми микрофонами сигналами.

Алгоритм поиска фазового сдвига

На рис. 5 представлены две функции $P(t, x, y)$ сигнала, принятого двумя сенсорами. Предположим, что оба сигнала «похожи» между собой, но не идентичны. Это определено тем, что сигнал ранее достигает одного из сенсоров, чем другого (при смещении ИС относительно оси симметрии слуховой системы). Тогда очевидно, что для определения сдвига необходимо выбрать некоторый контрольный отрезок для рассматриваемых двух сигналов, и затем нужно двигать одну функцию относительно другой на некоторый шаг t до «совпадения» контрольных значений функций.

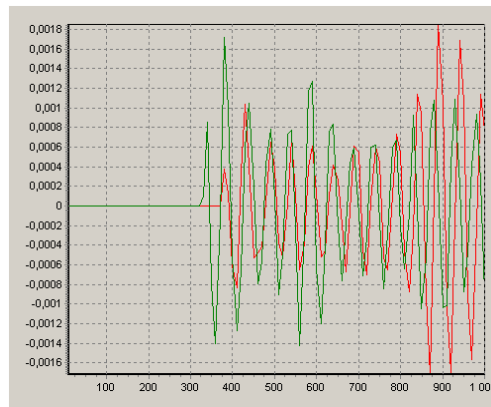


Рисунок 5 – Сигнал, принятый двумя сенсорами

Обозначим далее $f1(x)$ – сигнал, принятый левым микрофоном, соответственно $f2(x)$ – сигнал, принятый правым микрофоном, t – параметр (шаг) сдвига.

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СДВИГА

1. *Выбираем контрольный отрезок.* Контрольный отрезок $[a;b]$ выбираем как отрезок области определения функции принятого сигнала между тремя последовательными ее нулями, как показано на рис. 6.

2. *Вычисляем*
$$\sum_a^b |f1(x) - f2(x+t)| = F(t)$$
, где t – шаг сдвига по времени

$0 \leq t \leq (b-a)$, функцию $F(t)$ будем называть функцией рассогласования сигналов.

3. *Определяем сдвиг.* В качестве искомого сдвига выбираем t^* , при котором достигается минимальное значение функции рассогласования $F(t)$ на контрольном отрезке:

$$\alpha = F(t^*) = \min F(t), t \in [a, b].$$

В качестве примера работы данного алгоритма приведем следующее – для сигналов, представленных на рис. 6, величина сдвига, определенная приведенным методом, равна $\alpha = 50$.

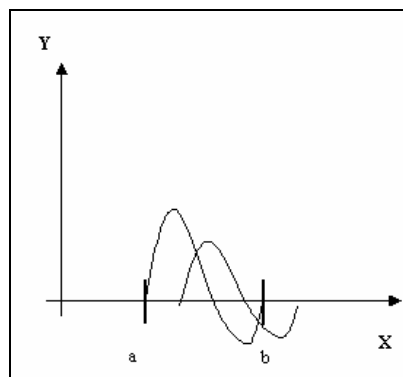


Рисунок 6 – Определение контрольного отрезка для определения сдвига функций

Параллельно полная отработка слуховых сенсоров проводилась в экспериментах на установке, функциональная схема которой описана в [2], [3], в незаглушенном помещении площадью около 35 кв. м., средняя температура помещения находилась в пределах $17^{\circ} - 20^{\circ} \text{C}$.

В качестве приемника слухового сенсора используется телефонный электретный микрофон. АЧХ этого микрофона имеет рабочую зону (зону максимума) в области частот 300 Гц – 10 КГц, типичных для человеческой речи. Сенсоры снабжены рупорами (акустическими антеннами), увеличивающими дальность приема звуковых сигналов.

Эксперименты позволили получить реальные характеристики сенсоров, и они достаточно близко совпали с рассчитанными с помощью моделирования. Также эксперименты показали осуществимость правильной работы алгоритмов локализации ИС на натурной установке дальномерным методом [2], [3], [5].

На рис. 7 представлены фрагменты работы системы слуховой пеленгации на макетной установке.

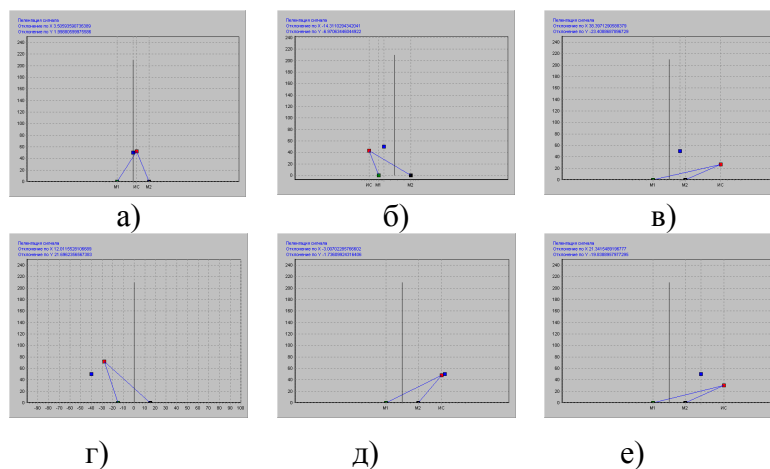


Рисунок 7 – Схемы пеленгации ИС на экспериментальной установке

Результаты проведенных экспериментов показывают «работоспособность» данного метода в случае прямого направления системы сенсоров (оси базы) на ИС так, как указано на рис. 7а. При смещении ИС вправо/влево от центра базы наблюдаются погрешности вычислений координат ИС (рис. 7 б – е). В [3] было отмечено, что преодоление указанного недостатка достигается последовательным изменением угла расположения базы сенсоров на роботе относительно оси рабочей зоны, т.е. последовательным поворотом базы в сторону первоначально определенного направления, на определенный заданный угол до совпадения вновь определенных $s1$ и $s2$ двух сенсоров («ноль-принцип»). При этом угол поворота между осями рабочей поверхности и базы сенсоров является углом направления на искомый ИС. Использование поворота платформы робота, на котором установлены слуховые сенсоры, применимо и в других методах пеленгации, в частности амплитудном и фазовом методе. Угол поворота платформы с сенсорами характеризуется при этом определением разности хода волны между сенсорами.

Использование комплексного амплитудно-фазового метода также позволяет определить направление и координаты ИС одним измерением. Дополнительное измерение сигнала при помощи поворота платформы или при изменении местоположения робототехнической системы позволяет уточнить координаты и место расположения ИС.

В силу простоты описанных алгоритмов локализации они могут быть реализованы непосредственно в электронной системе слухового сенсора, т.е. встроены в сенсор. Тем самым они могут быть составной частью интеллектуального блока сенсора.

Выводы

Предлагаемая конструкция шасси шагающего робота и структура системы управления могут служить основой для построения многоагентной системы для проведения разведки при спасательных операциях. Простота конструкции, высокая проходимость, малые габариты и значительная самостоятельность в действиях позволяют группе подобных роботов быстро и безопасно для спасателей обследовать различные объекты, получив при этом полную звуковую картину в исследуемом объеме. В настоящее время построено шасси размером 300x300x70мм, проведены его ходовые испытания, которые подтвердили его высокую проходимость. Созданный макет слуховой системы и эксперименты на нем показали осуществимость эффективной акустической пеленгации такими роботами.

Литература

1. www.clawar.com - сайт Евросоюза по ползающим и шагающим роботам.
2. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Ю.М. Казаринов, Ю.А. Коломенский. – М.: Советское радио, 1968. – 496 с.
3. Поливцев С.А., Хашан Т.С. Исследование геометрических и акустических свойств сенсоров для системы технического слуха роботов // Проблемы бионики. – 2003. – № 6.
4. Павловский В.Е., Поливцев С.А., Хашан Т.С. Интеллектуальные сенсоры технического слуха для мобильных роботов // Тр. школы-конференции «Адаптивные роботы-2004». – СПб. – 2004.
5. Abalakin I.A., Alexandrov A.V., Bobkov V.G., Kozubskaya T.K. High Accuracy Methods and Software Development in Computational Aeroacoustics // Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. – 2003. – Vol. 2, № 3. – P. 1-3.

С.О. Поливцев, Т.С. Хашан, В.Е. Павловский

Малі крокуючі роботи з системою технічного слуху

У статті пропонується конструкція крокуючого робота для цілей розвідки складної місцевості. Також пропонується структура системи керування подібним роботом. Система керування передбачає наявність підсистем руху без зіткнень, підсистем аналізу звукової обстановки, підсистем радіообміну даними. У статті коротко описані всі підсистеми і докладно характеризується система технічного слуху робота.

S.A. Polivtsev, T.S. Hashan, V.E. Pavlovsky

Small Walking Robots with System of Technical Hearing

The paper deals with the investigation of sound source pelenation and localization algorithms. Researches are performed by means of numerical simulation of acoustic field inside the room, and as experiments on testbed system as well. In the paper modified phase algorithm is proposed, this algorithm allows to localize the sound source by means of only one measurement. All elaborated algorithms were realized and verified in the control system of real robot too.

Статья поступила в редакцию 07.08.2004