

УДК 681.5

## РАЗНООБРАЗИЕ СЕНСОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ

М.Д. Силин, Н.И.Старцев, студенты  
Научный руководитель: Е.В. Поезжаева, профессор  
Пермский национальный исследовательский университет  
г. Пермь

В наше время ведутся разработки по применению роботов в военной сфере, потому что в локальных конфликтах погибает множество людей. Применение роботов решит эту проблему. Существуют разные типы военных роботов: летающие, колесные, плавающие, гусеничные, ползающие, шагающие, которые используются для различных целей, таких как разведка, транспортировка грузов, поражение противника.

Наиболее подходящими для использования мы считаем шагающих роботов (рис.1), потому что они обладают высокой проходимостью. Шагающая машина способна перемещаться вполне свободно, в отличие от своих колёсно-гусеничных собратьев. Устойчивость и проходимость возрастают пропорционально количеству ног, которые к тому же можно использовать и как манипуляторы. Возможность перешагивать препятствия ещё больше повышает внедорожные качества. Также шагающие машины способны преодолевать подъёмы с углом наклона до  $45^\circ$ , что недоступно обычному колёсному и гусеничному транспорту.

Мы провели инспекцию разнообразных шагающих роботов, применяемых в различных сферах деятельности человека, таких как: оборонная промышленность, сельское хозяйство, научные исследования. Целесообразно использовать шагающих роботов, имеющих от 4 до 10 ног, так

как использование меньшего количества ног приведет к неустойчивости аппарата, а использование избыточного количества ног приведет к громоздкости, а также сложности применения и транспортировки аппарата.



Рис.1 Шагающий робот

Наиболее важное в военных роботах это способность ориентироваться на местности.

При управлении движением шагающего аппарата по неровной поверхности серьезной проблемой является предотвращение задевания ногой в фазе переноса за выступающие элементы поверхности. Предлагается одним из подходов к решению этой проблемы использовать сенсоры близости. Ниже приведено описание ультразвукового сенсора близости и показано его использование для управления высотой переноса ноги шагающего аппарата.

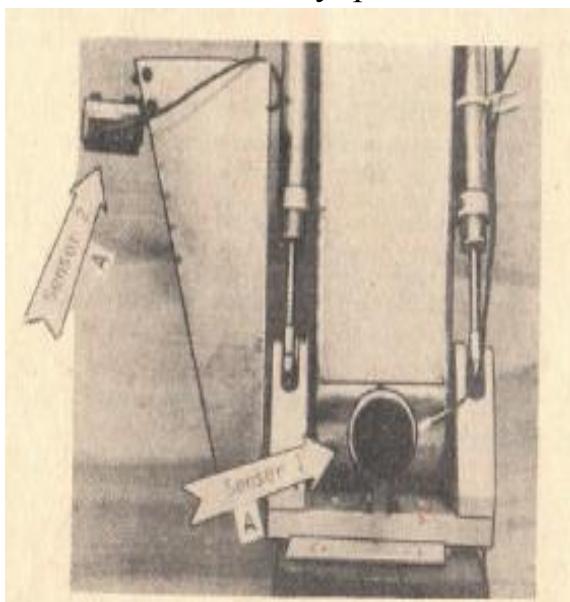


Рис.2 Сенсоры близости на ноге аппарата

На ноге шагающего аппарата установлено два сенсора близости, как показано на рис. 2. Дальномерная система ультразвукового сенсора близости включает в себя три главных модуля: ультразвуковой преобразователь, дистанционный контроллер сенсора и систему сбора и обработки данных. Ультразвуковой преобразователь является электростатическим прибором, позволяющим излучать импульсный сигнал и воспринимать отраженный от поверхности эхосигналы. По временному сдвигу между этими сигналами определяется расстояние до опорной поверхности.

Ультразвуковой преобразователь включает в себя тонкую мембрану. Отрицательный электрод сформирован из золота путем вакуумного напыления. Неподвижный алюминиевый положительный электрод образует резонансную структуру для диафрагмы.

Дистанционный контроллер сенсора включает в себя два компонента: схему управления передатчиком и плату возбуждения ультразвукового сигнала. Электронная часть ультразвукового сенсора формирует импульсный сигнал длительностью 1 мс четырех частот ультразвукового диапазона: 60, 57, 53, 50 кГц. На усилитель приемника отраженного сигнала в течение 600 мкс после окончания передачи действует блокировочный сигнал, запрещающий усиление. Это время достаточно для падения энергии излучающей диафрагмы ниже порогового уровня. Такая задержка на 1,6 мс (1 мс импульс и 0,6 мс пауза) определяет минимальную измеряемую дальность, равную 27 см. Для того чтобы компенсировать затухание отраженного сигнала при увеличении расстояния, коэффициент усиления усилителя приемного тракта возрастает как функция времени, а его полоса пропускания уменьшается для обеспечения помехозащищенности.

Если нога перемещается со скоростью  $V$ , то величина перемещения на интервале между измерениями определяется выражением:  $D_m = \frac{V}{f_p}$ , где  $f_p$  — частота измерения. Максимальная рабочая скорость движения ноги обычно не превышает 2,5 м/с (максимально возможная скорость 6,25 м/с). В этом случае при частоте измерения, равной 25 Гц, величина перемещения на интервале между отсчетами не превышает 10 см. что позволяет выполнять перешагивание через выступающие объекты.

Система сбора и обработки данных преобразует измеренный временной интервал между переданным и отраженным сигналами в расстояние до препятствия и обеспечивает ввод этих данных в микроЭВМ.

Характеристики дальномерной сенсорной системы в существенной степени определяются рациональным размещением сенсора. Важной задачей является выбор угла между направлением звуковой волны и нормалью к поверхности объекта, расстояние до которого требуется определить. Если этот угол превышает некоторую пороговую величину, то отраженный сигнал перестает восприниматься приемником. Другая проблема связана с ориентированием сенсора по отношению к главным осям корпуса шагающего аппарата. В общем случае движение аппарата определяется по отношению к продольной и вертикальной осям корпуса. В связи с этим сенсоры должны обеспечивать информацию о расстояниях до препятствий вдоль этих направлений. Вариации направлений отраженной волны определяются степенью неровности опорной поверхности. Поскольку, как правило, вертикальная ось аппарата близка по направлению к нормали к поверхности, ось сенсора направлена по вертикальной оси аппарата. Для решения второй отмеченной проблемы сенсоры устанавливаются на ступнях конечностей шагающего аппарата и специальное пассивное гидравлическое устройство всегда поддерживает ориентацию каждой ступни по отношению к главным осям корпуса аппарата.

При управлении шагающим аппаратом получаемая с помощью сенсора близости информация используется для коррекции программных траекторий конечностей, обеспечивающих перешагивание через неровности местности.

В общем случае каждой оси  $i$  может быть сопоставлено множество из четырех элементов  $C_i = \{x_{di}, \dot{x}_{di}, \ddot{x}_{di}, f_{di}\}$ , где  $i$  — степень свободы в декартовой координатной системе;

$x_{di}, \dot{x}_{di}, \ddot{x}_{di}, f_{di}$  — соответственно желаемые положение, скорость, ускорение и сила по направлению оси  $i$

Без потери общности рассматривается управление движением с тремя степенями свободы. С каждым сенсором  $j$  связан вектор

$$W_j = \begin{bmatrix} w_{1j} \\ w_{2j} \\ w_{3j} \end{bmatrix} w_{ij} \in C_i$$

Каждый элемент  $w_{ij}$  определяет переменную вдоль оси, которая должна быть модифицирована по информации, полученной от сенсора  $S_j$ . В каждый

момент времени по показаниям сенсора непосредственно изменяется только одна переменная оси. Это изменение косвенно может привести к изменению других переменных. К примеру, изменение программного ускорения приведет к изменению программной скорости и положения, а при управлении с активной податливостью и к изменению программной силы. Если используется единственный сенсор  $S_j$ , то величина переменной после модификации определяется выражением:  $w_{ij} \leftarrow w_{ij} \oplus_{ij} d_{ij}$ , где  $\oplus_{ij}$  – операция, соответствующая сенсору  $S_j$  вдоль оси  $i$  (в качестве такой операции может быть любая арифметическая или логическая операция, основанная на использовании сенсорной информации).

Для перешагивания через заранее неизвестный, выступающий объект местности может быть использован подход, проиллюстрированный на рис. 3, где обозначено: 1 — стартовое положение; 2 — программа траектория; 3 — конечное положение; 4 — профиль местности. В этом случае для коррекции траектории используется информация от сенсора, направленного вперед по отношению к направлению движения аппарата.

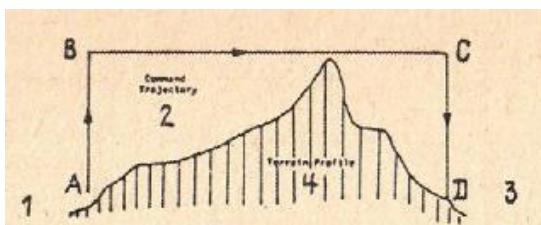


Рис. 3 Перемещение ноги оси, что и желаемая конечная точка.

Если сенсором фиксируется наличие внешнего объекта, то ступня поднимается до тех пор, пока не попадет в свободную область (точка B). Затем ступня перемещается вперед до точки C, которая имеет ту же составляющую движения по

Затем ступня опускается вертикально вниз (до точки D), с использованием информации, получаемой от вертикального сенсора. Поскольку движения вперед и вверх (вниз) осуществляются раздельно, на каждом таком движении требуется развивать высокие ускорения для того, чтобы выполнить все движение переноса за заданное время. Таким образом, этот метод управления является простым, но энергоемким.

Исходя из выше изложенного, мы предлагаем разработку восьминогого военного робота (рис.4), оборудованного сенсорами, для множества военных задач. Почему восьми? Во-первых, чем больше ног у аппарата, тем большую массу он может переносить. Во-вторых, расположение ног можно устроить таким образом, чтобы в средней части аппарата оставалось место для размещения оборудования, навигации, грузов, оружия и т.д.

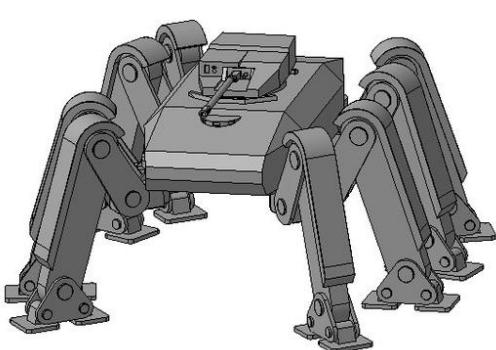


Рис.4 Восьминогий военный робот

#### Список литературы:

1. Поезжаева Е.В. Промышленные роботы: учеб. пособие. в 3 ч. – М.: Изд-во УМО АМ МВТУ им. Баумана; изд-во ПГТУ, 2009

VII Всероссийская научно-практическая конференция  
молодых ученых с международным участием  
«Россия молодая»

2. Зенкевич С.Л. Управление роботами – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000