

ОПТИМАЛЬНОСТЬ ЛОКОМОЦИОННЫХ МОД ЗМЕЕВИДНОГО РОБОТА И СПОСОБЫ ИХ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ И АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

THE OPTIMALITY OF THE SNAKELIKE ROBOT LOCOMOTION MODES AND THE METHODS OF THEIR ALGORITHMIC AND HARDWARE REALIZATION

А.А. Иванов

*(ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург,
e-mail: al_ivanov@rtc.ru)*

Проблема разработки мобильных многомодульных роботов змеевидного типа рассматривается в течение последних 30 лет как один из перспективных путей создания многоцелевого малогабаритного робота, приспособляющегося к среде перемещения и размеру и форме преодолеваемых препятствий. При реализации волновых движений для задания мгновенной формы бегущей вдоль многозвенного корпуса волны изгибаний, начиная с работ Хирозе, используется полученная на основе биомеханического эксперимента гармоническая зависимость от дуговой координаты угла поворота касательной к скелетной кривой. Различные комбинации амплитуды, частоты и фазы позволяют строить биоподобные и искусственные локомоционные моды змеевидного робота.

В работах автора предложена схема формирования локомоционных мод, основанная на принципе создания локальных зон качения в голономном и неголономных режимах. Количество зон контакта змеевидного тела с поверхностью и режим движения в зоне контакта позволяет осуществить выбор локомоционной моды. При таком подходе целенаправленное движение робота может планироваться и управляться также как для колесных транспортных средств. Форма тела ЗР между точками контакта может быть построена из условия минимальности кривизны скелетной кривой. Получены уравнения Эйлера сформулированной с учетом строения скелета пресмыкающихся и конструктивных особенностей биоподобных ЗР вариационной задачи. Решение уравнений для пространственной кривой с высокой точностью аппроксимируется гармонической зависимостью. Таким образом, показано, что экспериментальная форма тела змеи, используемая в задании форм бегущих волн изгибаний в различных локомоционных модах, соответствует оптимальной по кривизне скелетной кривой.

При формировании бегущих волн изгибаний корпуса ЗР за счет относительных поворотов соседних модулей вокруг ортогональных осей двухстепенного универсального шарнира используются детерминированные алгоритмы управления движением приводов ЗР. Набегающие при движении по неплоской поверхности на головной модуль возмущения изменения кривизны, а также возмущения, связанные с изменением кривизны траектории движения ЗР, создают дополнительную бегущую вдоль подвижного корпуса волну. Сложение задающих моду бегущих волн и волн возмущения позволяет формировать согласованное управление движением многозвенной избыточной системы. Скорость движения вдоль тела ЗР фронта встречных возмущений определяется видом используемой моды и может быть оценена исходя из кинематической модели разработанной автором. Планирование движения приводов ЗР при манипуляциях может быть осуществлено с использованием метода лидирующего звена, которое создает возмущение, распространяющееся от головного модуля. Задержка копирования движения последующим модулем определяет скорость распространения возмущения.

Выполнено моделирование динамики движения виртуальной модели ЗР при движении в различных модах. Предложены алгоритмы адаптивного управления при движении в узких каналах.

Генерация бегущей волны может быть осуществлена как заданием мгновенной формы волны по значениям межзвенных углов, поступающих от центрального устройства управления, так и последовательной передачей значений углов вдоль цепи одностепенных мехатронных модулей. Оба рассмотренных алгоритма реализованы в конструкции макета

автономного змеевидного робота «ЗМЕЕЛОК-2», разработанного в ЦНИИ РТК на основе унифицированного автономного модуля. Унифицированный двухступенной автономный по электропитанию мехатронный модуль осуществляет обмен с центральным устройством, а также соседними в цепи модулями, что позволяет организовать двунаправленное движение потоков информации вдоль цепи модулей. Управление движением приводов при децентрализованном управлении осуществляется на основе суммарных значений, полученных от соседних модулей с программно регулируемой задержкой. Архитектура макета позволяет управлять движением ЗР как с использованием традиционных детерминированных алгоритмов, так и методов псевдослучайного поиска.