

Питання управління в складних системах

УДК 62-1/-9

В.С. Басюк

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

СИСТЕМЫ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ РОБОТОВ

В настоящее время задача управления по силе это серьезная научно-техническая проблема, которая охватывает много отраслей и прежде всего важна именно для робототехники. При решении этой проблемы первые существенные результаты были получены при создании копирующих манипуляторов, в которых был реализован эффект отражения усилия. В ходе развития современной робототехники и появления осязательных роботов с адаптивным управлением наступила очередь их силового осязания для освоения в автоматическом режиме различных операций, требующих приложения усилия или просто контроля его величины.

Ключевые слова: *силомоментное осязание, управление, манипулятор, системы, робот.*

Введение

Назначение роботов как аналогов человека предполагает развитое их взаимодействие с внешней средой путем выполнения различных действий с объектами этой среды. Основным средством для этого служат манипуляторы. Чтобы выполнять эти функции система управления манипулятора должна получать информацию о его положении, перемещении и силовом взаимодействии с внешней средой, т. е. иметь средства осязания – соответствующие сенсоры.

В настоящее время существуют различные системы управления манипуляторами с силовым осязанием: копирующие манипуляторы и манипуляторы с управлением от задающих рукояток с отражением усилий, разного типа системы супервизорного и автоматического управления. Указанные системы они основаны на различных способах учета и организации силового взаимодействия с объектами внешней среды и имеют разное аппаратное и программное обеспечение. Однако проблема силового осязания и управления, по-прежнему, продолжает оставаться одной из актуальных проблем в робототехнике.

Несмотря на серьезные достижения робототехники последних лет, реально используемые роботы (промышленные, экстремальные, космические) все еще очень далеки от устройств с искусственным интеллектом. Еще долго будут существовать операции, которые не удастся автоматизировать или выполнять более качественно, чем это делается под управлением человека-оператора. Так, например, в ряде сборочных процессов, которые выполняются автоматически, имеются отдельные операции, реа-

лизуемые пока только в режиме управления непосредственно от человека-оператора. При управлении космическими манипуляторами также особо ответственные операции выполняются в таком автоматизированном режиме. То же относится к выполнению различных опасных операций в других экстремальных условиях.

Анализ последних исследований и публикаций. Даже для выполнения самой простой операции взятия и переноса какого-либо предмета, особенно хрупкого, необходимо помимо координат схвата манипулятора контролировать усилие захвата, чтобы с одной стороны не повредить, а с другой не упустить этот предмет. Тем более необходима информация об усилии для выполнения более сложных силовых операций. Таким образом, в общем случае для управления манипуляторами необходимо использовать два вида информации – о положении рабочего органа и о силе взаимодействия его с объектами внешней среды. Что касается первой задачи, то она еще до робототехники получила решение, в частности, например, в станкостроении. Совершенно другая ситуация с задачей управления по силе. Это оказалось серьезной научно-технической проблемой и прежде всего именно для робототехники. Первые существенные результаты силомоментного осязания роботов были получены при создании копирующих манипуляторов, в которых был реализован эффект отражения усилия. Он заключается в том, что оператор, перемещающий задающий манипулятор, ощущает своей рукой противодействующее усилие, пропорциональное усилию, с которым рабочий орган исполнительного манипулятора действует на объекты внешней среды. Для получения такого эффекта первоначально были использованы

синхронные передачи между степенями подвижности задающего и исполнительного манипуляторов, а затем следящие системы с датчиками момента на исполнительных и задающих осях степеней подвижности.

Изложение основного материала

После создания систем управления манипуляторами с помощью задающих рукояток в них для выполнения силовых операций было введено управление по вектору силы, а для получения эффекта отражения усилия – обратная связь по силе, развиваемой рабочим органом исполнительного манипулятора. В ходе развития современной робототехники и появления осязательных роботов с адаптивным управлением наступила очередь их силового осязания для освоения в автоматическом режиме различных операций, требующих приложения усилия или просто контроля его величины. К таким операциям относятся:

- манипуляционные операции механической обработки;
- сборочные операции;
- действия с различными органами управления;
- манипуляционные операции с хрупкими и легко деформируемыми объектами, включая людей.

Кроме того, силовое осязание манипуляторов необходимо при ощупывании предметов и для предотвращения ударов о препятствия. Для этих целей часто возможно так же применение более простых тактильных датчиков, которые могут рассматриваться как простейший вариант датчика силы. Наконец, для мобильных роботов силовое осязание может требоваться для оснащения различного навесного оборудования, требующего такого осязания (нож бульдозера и т.п.), и в системах передвижения. В последнем случае типовыми применениями силового осязания являются силомоментное управление движением, применение датчиков силы в системах предотвращения удара об объекты внешней среды и, конечно, силовое осязание ног (педипуляторов) шагающих систем передвижения.

В последнем случае применяется позиционно-силовое управление, аналогичное такому управлению манипуляторов. Наиболее общим подходом к решению задач выполнения операций, требующих силового осязания, является комбинированное автоматическое и автоматизированное (в основном с помощью задающих рукояток) позиционно-силовое управление. Такой подход помимо возможности подключения человека, когда пасует автоматика, позволяет непрерывно наращивать возможности последней по мере отработки соответствующих алгоритмов при управлении от человека и обучению им систем автоматического управления [1].

Наиболее сложная силовая информация необходима для управления манипуляторами в силу того, что здесь может потребоваться осязание по большему числу степеней подвижности рабочего органа манипулятора. В самом общем случае это три составляющих вектора силы и три момента по углам ориентации. Поэтому часто применяется термин “силомоментное” осязание. В предельно простом случае такое осязание может быть ограничено только одним линейным усилием или моментом по одной угловой координате. Например, это относится к операции зачистки плоской поверхности или внутренней поверхности цилиндра. Функциональная схема соответствующей системы осязания имеет типовую структуру, включающую собственно датчики силы (момента), предусилитель и блок обработки информации, где осуществляется необходимое преобразование выходного сигнала датчика.

Конечно, главным элементом системы силового осязания являются датчики силы, выдающие первичную информацию о силе(моменте). Принцип действия большинства этих датчиков основан на использовании упругого элемента, деформирующегося под действием усилия, и определении величины этой деформации как его меры. Величина деформации в свою очередь определяется с помощью различных датчиков, преобразующих перемещение в электрический сигнал, чаще всего фотоэлектрических, пьезоэлектрических, тензорезистивных.

Одними из наиболее точных и чувствительных таких преобразователей являются фотоэлектрические.

Существует три основных варианта размещения силомоментных датчиков на манипуляторе: в шарнирах манипулятора, у рабочего органа и непосредственно на рабочем органе.

Наряду с устройствами непосредственного определения силы существуют так же различные косвенные способы оценки силы с помощью вычислительных устройств, так называемых наблюдателей. Например, развиваемый электрическим двигателем момент можно оценить по величине тока питания. По этим данным с помощью математической модели механической системы манипулятора может быть рассчитано результирующее усилие в рабочем органе манипулятора.

Предложены различные алгоритмы и схемы наблюдателей, которые дают оценку этого усилия. При невысоких требованиях к точности определения усилия такие устройства могут быть предпочтительнее датчиков силы, т. к.они существенно дешевле и проще, не требуют вмешательства в конструкцию манипулятора. Наблюдатели могут также применяться в комбинации с силомоментными датчиками.

Применение наблюдателей силы – сравнительно новое направление в робототехнике. Известны три их основных типа, основанные на использовании разных математических моделей манипулятора:

- полной модели манипулятора с приводами;
- модели без системы приводов с использованием датчиков соответствующих промежуточных переменных;

- модели, подстраиваемой по рассогласованию с показателями датчиков реального манипулятора.

Для всех вариантов наблюдателей основное очевидное условие, определяющее точность оценки силы, — это адекватность используемой математической модели манипулятора. Поэтому последняя должна периодически подстраиваться. Одним из способов такой подстройки является использование моделей на базе обучаемых нейронных сетей. На рис. 1 показана соответствующая схема наблюдателя.

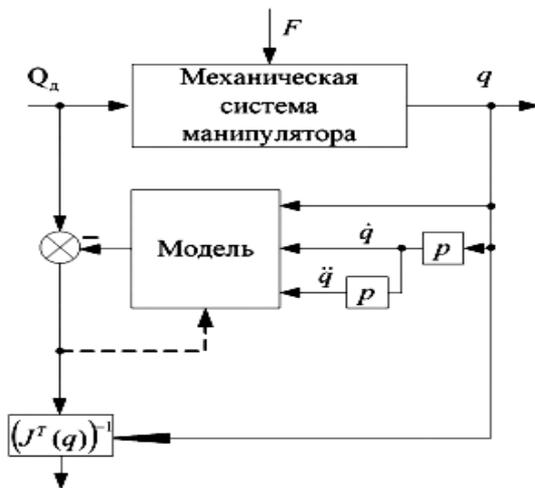


Рис. 1. Наблюдатель силы на основе нейронной сети
 F – внешние возмущающие силы
 Q_d – внутренние возмущающие силы
 q – координаты звеньев манипулятора
 $(J^T(q))^{-1}$ – обратная матрица

Здесь пунктирной стрелкой показан канал подстройки модели, который включается до начала силового взаимодействия с внешней средой, т. е. при $F=0$. В этом режиме равенство нулю сигнала подстройки означает идентичность модели самому манипулятору. Рассмотренный способ оценки силового взаимодействия манипуляторов с объектами внешней среды при помощи наблюдателей примерно вдвое уступает современным датчикам силы по точности и быстродействию. Это ограничивает возможную область применения этого привлекательного своей простотой и дешевой способом силового очувствления. Перспективы развития систем с наблюдателями силы соответственно связаны прежде всего с повышением точности и быстродействия используемых в них наблюдателей, в том числе пу-

тем совершенствования способов подстройки, а также использования дополнительных датчиков промежуточных переменных [2].

Силовое очувствление манипуляторов роботов, требуется, прежде всего, для обеспечения позиционно-силового способа управления его степенями подвижности. Во-первых, это может осуществляться путем отдельного управления по силе и по перемещению различными степенями подвижности. Например, на операциях зачистки или шлифовки поверхности по направлению, перпендикулярному этой поверхности, осуществляется управление по силе, а по остальным – позиционное управление, обеспечивающее ее сканирование. Более общим является совместное позиционно-силовое управление по одним и тем же степеням подвижности, обеспечивающее силовое воздействие на объект внешней среды в функции от перемещения или, наоборот.

При управлении манипулятором от человека-оператора с помощью задающих рукояток силовое очувствление требуется для этих рукояток. Как выше отмечено, в этом случае сигналы от составляющих вектора контролируемого усилия подаются на приводы соответствующих степеней подвижности задающей рукоятки, обеспечивая тем самым ощущение оператором этого усилия. Рукоятка представляет собой трехстепенной карданный подвес, связанный с шестистепенным тензодатчиком, тремя потенциометрами и тремя моментными загрузителями, создающими эффект отражения усилий. Задающий сигнал управления перемещениями формируется тензодатчиками, а углами – потенциометрами.

Устройство обеспечивает регистрацию трех линейных и трех ориентирующих координат в пространстве, ограниченном кубом со стороной 30 см. Особенность использования силового очувствления в системах управления передвижением мобильных роботов, по сравнению с управлением манипуляторами, состоит в том, что основным способом такого управления является не позиционно-силовое, а скоростно-силовое управление как у всяких транспортных систем с переходом к позиционно-силовому управлению только на этапах остановки.

При разработке систем силомоментного очувствления в подавляющем большинстве случаев используется принцип определения усилия посредством измерения тензорезисторами упругих деформаций специально сконструированного упругого элемента датчика. Созданы образцы пятикомпонентных силомоментных датчиков, которые предназначены для установки в схвате сборочного робота. Пятикомпонентный датчик состоит из силоизмерительного упругого элемента с наклеенными фольговыми тензорезисторными мостами, усилителя, коммутатора [2].

Силомоментные сенсорные устройства используются в промышленных роботах главным образом для определения реактивных сил и моментов, возникающих при механической сборке. Они размещаются непосредственно в губках захватного устройства либо в сочленении между последним звеном и захватом манипулятора, а также при необходимости и в других сочленениях манипуляционной системы.

Преобразование действующих нагрузок в электрические сигналы в силомоментных устройствах осуществляется обычно двумя способами. Первый из них заключается в непосредственном измерении упругих деформаций чувствительных элементов с помощью тензорезисторных, пьезоэлектрических или магнитоупругих датчиков. Второй способ основан на измерении величин микроперемещений калиброванных пружин датчика, деформируемых под действием внешних нагрузок в процессе взаимодействия робота с объектом. Наибольшее распространение получил метод непосредственного измерения упругих деформаций с помощью полупроводниковых или проводниковых тензорезисторов, которые имеют простую конструкцию, достаточно надежны, легко монтируются на упругих элементах силомоментных устройств, обеспечивают требуемую точность.

Система силомоментного осязания состоит из механической части, представляющей собой совокупность упругих элементов с размещенными на них датчиками (собственно чувствительное устройство), формирующими электрические сигналы, пропорциональные упругим деформациям; усилительной и коммутирующей аппаратуры и вычислительного блока (компьютера), являющегося структурной составной частью информационно-управляющей системы (ИУС) робота.

Выводы

Системы силомоментного осязания для роботов имеют не меньшее значение, чем органы чувств для живых существ. И это значение возрастает по мере развития интеллектуальных возможностей роботов. Для осязания роботов наиболее широкое применение получили системы технического зрения, локационные, силомоментные и тактильные системы. Самыми универсальными из них являются системы технического зрения.

Требования, предъявляемые к сенсорным системам, существенно зависят от того уровня системы управления, на котором используется их информация. В частности, наибольшее быстродействие должны иметь сенсорные системы, используемые на уровнях управления, функционирующих в реальном времени, с неизбежным при этом упрощением этой информации. Наоборот, на стратегическом уровне управления поведением робота требуется наиболее полная информация в ущерб, возможно, быстродействию.

Список литературы

1. Попов А.В. *Роботы с силовым осязанием* / А.В. Попов, Е.И. Юревич. – СПб.: Астерион, 2013. – 320 с.
2. Юревич Е.И. *Сенсорные системы в робототехнике: учеб. пособие* / Е.И. Юревич. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 100 с.
3. Афонин В.Л. *Интеллектуальные робототехнические системы. Курс лекций. Учебное пособие* / В.Л. Афонин, В.А. Макушкин. – М.: ИУИТ, 2005. – 208 с.
4. *Управление робототехническими системами с силомоментным осязанием. Учеб. пособие* / Под ред. проф. И.Н. Егорова. – Владимир: ВлГУ, 2005. – 263 с.

Надійшла до редколегії 2.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Цимбал, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

СИСТЕМИ СИЛОМОМЕНТНОГО ПРИВОДУ ДО ПОЧУТТІВ РОБОТІВ

В.С. Басюк

Завдання управління по силі це серйозна науково-технічна проблема і передусім саме для робототехніки. При вирішенні цієї проблеми перші істотні результати були отримані при створенні копіюючих маніпуляторів, в яких був реалізований ефект відображення зусилля. В ході розвитку сучасної робототехніки і появи роботів з почуттями адаптивним управлінням настала черга їх силового приводу до почуттів для освоєння в автоматичному режимі різних операцій, що вимагають докладання зусилля або просто контролю його величини.

Ключові слова: управління силомоментного приводу до почуттів, маніпулятор, системи.

SYSTEMS OF STRONG MENTAL FEELING OF ROBOTS

V.S. Basiuk

The task of power management is a serious scientific and technical problem, and first of all for robotics. When solving this problem, the first significant results were obtained when creating copying manipulators in which the effect of reflection of forces was realized. In the course of the development of modern robotics and the production of sensitive robots with flexible control for their power sensitivity to master the automatic operation of various operations that require effort or simply control its magnitudes.

Keywords: force-torque sensing, manipulator, system, robot.