Мини-обзор  
Том 4, Выпуск 2 - март 2019  
DOI: 10.19080/RAEJ.2019.04.555635Robot Autom Eng J  
Copyright © Все права защищены Дэвидом Ченелером  
Проблемы со зрением, полуавтономное управление,   
Тактильные ощущения и манипуляции в робототехнике для ядерных   
Вывод из эксплуатации  
С.Д. Монк и Д. Ченелер\*  
Инженерный факультет, Ланкастерский университет, Великобритания  
Отправлено: 18 марта 2019 г.; Опубликовано: 26 марта 2019 года  
\* Автор-корреспондент: Дэвид Ченелер, инженер, Ланкастерский университет, Великобритания  
Робот-автомат J 4(2): RAEJ.MS.ID.5555635 (2019) 0039  
Вступление  
Традиционно атомная промышленность отдавала предпочтение использованию  
дистанционного управления в роботизированных приложениях, таких как  
вывод из эксплуатации. Это связано с очевидными соображениями безопасности, наряду  
с другими, менее очевидными мотивами, такими как защита  
рабочих мест в отрасли и отсутствие опыта кодирования в отрасли.   
Однако  
за последние несколько лет стали очевидны проблемы, связанные с использованием таких методов, в основном связанные с  
усталостью оператора, приводящей к ошибкам. Типичная современная автономная  
роботизированная система будет использовать своего рода стереоскопическую  
систему 3D-зрения (часто основанную на ЛИДАРЕ) для облегчения распознавания. Однако эту информацию может быть трудно передать телеоператору-человеку, не привыкшему к такой информации.  
  
 Кроме того, телеуправление современным  
роботом - это действительно сложный и специализированный навык, и в  
атомной промышленности (да и в промышленности в  
целом) не хватает людей, обладающих этими навыками. Потенциальным решением для устранения этих  
проблем может быть использование полуавтономного управления, при котором  
роботизированный искусственный интеллект может использоваться для выполнения задач низкого уровня  
, в то время как человек-оператор будет принимать решения более высокого уровня.   
Вместо того, чтобы оператору приходилось непосредственно управлять роботом с помощью двух  
джойстиков, оператор, скорее всего, столкнется с  
большим сенсорным экраном со списком задач и выделенными  
объектами, на которых робот может их выполнять.  
Ключевые слова: Ядерная энергетика; Вывод из эксплуатации; Робототехника; Видение;   
Тактильные ощущения; Полуавтономное управление; Манипуляторы  
Обсуждение  
Очевидно, что зрение жизненно важно для любого роботизированного управления, и  
в настоящее время продолжаются исследования в таких разнообразных областях, как сбор фруктов и  
аварийный ремонт в космосе [1,2]. Существует множество современных  
датчиков зрения, использующих такие технологии, как камеры, ИК  
-дальномеры и лидары, для обеспечения расширенного обзора оператору  
и низкоуровневым автономным системам управления [3]. Однако из-за  
жертвенного характера работ, выполняемых при выводе ядерных  
установок из эксплуатации из-за высокого уровня радиации,  
используемые системы видеонаблюдения должны быть довольно дешевыми. Системой, используемой в  
нашей работе до сих пор, был серийно выпускаемый  
датчик Microsoft Kinect, установленный в фиксированном положении независимо от движущихся  
роботизированных манипуляторов. Kinect - это экономичный и широко  
используемый RGB-D сенсор, первоначально разработанный для игровых приложений  
, но с тех пор широко используемый для исследований в области робототехники. Он объединяет  
стандартную RGB-камеру со структурированным датчиком глубины освещения,  
позволяя использовать и комбинировать данные как о цвете, так и о глубине.   
Видеопоток RGB в реальном времени отображается пользователю в графическом  
интерфейсе пользователя (GUI) при позиционировании и стабилизации мобильного базового блока  
. Хотя многие системы, использующие MS Kinect,  
используют 3D-облака точек, мы используем другой, менее затратный  
с точки зрения вычислений подход, использующий обнаружение границ на полученном изображении.   
RGB-изображение для разделения объектов для выбора пользователем.   
Это, очевидно, снижает точность распознавания объектов и  
означает, что соответствующие алгоритмы управления требуют использования некоторых  
существенных допущений о форме. Однако нагрузка на процессор  
значительно снижается, и, следовательно  
, увеличивается скорость процесса, что приводит к уменьшению задержки. Затем стандартное 2D-изображение  
объединяется с данными о глубине для определения координат  
всех объектов в 3D-пространстве. Затем вся эта информация возвращается  
оператору через сенсорный дисплей, предлагающий варианты и  
объекты для работы. Пользователь системы может изменять  
чувствительность алгоритма, позволяя рассматривать больше или меньше объектов  
в окружающей местности в рамках этой  
системы видения. Более высокий уровень чувствительности приводит к расширению возможностей, хотя  
большая вычислительная мощность приводит к замедлению работы.   
Типичным применением робототехники при выводе из эксплуатации ядерных установок является  
захват и перерезка трубопроводов. После того, как оператор выбрал  
свой объект (например, трубу) и процедуру (например, резку пилой), теперь  
есть четыре ключевых положения:  
A. Положение непосредственно перед местом захвата  
B. Начальное положение операции резки  
C. Конечное положение операции резки  
D. Конечное местоположение захвата

Как процитировать эту статью: С.Д. Монк, Д. Ченелер. Проблемы со зрением, полуавтономным управлением, тактильными ощущениями и манипуляциями в робототехнике для ядерных   
Вывод из эксплуатации. Robot Autom Eng J. 2019; 4(2): 555635. DOI: 10.19080/RAEJ.2019.04.5556350040  
Инженерный журнал по робототехнике и автоматизации После того, как оператор выбрал место захвата и резки  
, управляющая программа может рассчитать четыре вышеуказанных  
положения в 3D-пространстве. Существует множество обратных кинематических  
решателей различной сложности, и у каждого есть свои  
индивидуальные сильные и слабые стороны [4].   
Здесь был выбран псевдообратный кинематический решатель с обратным переносом Якобиана, поскольку он предлагает  
наилучшее решение этой задачи с точки зрения скорости и точности [5].   
Затем этот решатель используется для определения соответствующих целевых углов соединения  
, используя 3D-координаты четырех указанных выше местоположений.   
Рассчитанные углы соединения представляют собой заданные значения для  
алгоритмов управления с обратной связью, которые определяют требуемое положение исполнительных механизмов.   
Алгоритмы, лежащие в основе системы vision, графического интерфейса пользователя и  
решателя обратной кинематики, были реализованы в MATLAB. Однако  
интерфейс к роботизированным приводам осуществляется через National Instruments   
LabVIEW, с этими элементами, подключенными через TCP-IP локально  
на том же компьютере. Управляющее программное обеспечение LabVIEW в настоящее время использует   
Пропорциональное управление интегральной производной (PID) для плавного перемещения  
соединений в заданные точки, предусмотренные алгоритмом MATLAB.   
На протяжении всего процесса пользователь может просматривать цветное видео  
в реальном времени и в любой момент прекратить движение манипулятора. В настоящее время этот метод  
реализован на двух  
гидравлически управляемых рычагах с семью степенями свободы, прикрепленных к промышленному  
роботу BROKK 40. Однако принцип управления можно было бы довольно легко  
адаптировать к многорукому роботу любого размера, если бы размеры  
были известны до внедрения. Текущая работа с использованием   
Гидролекарство более подробно описано в работах [5-10].  
В то время как оператор, управляющий роботом, может принимать решения на высоком уровне  
, используя только визуальную информацию,  
для обеспечения надлежащего выполнения локальных операций, таких  
как захват труб, резка или сверление, требуется тактильная обратная связь с инструментом  
. Основным недостатком роботизированных манипуляций является то, что  
руки оператора не находятся на месте операции. Недостаток  
кинестетической и тактильной информации усложняет автоматизированные задачи  
; следовательно, тактильная обратная связь является важнейшим источником информации   
[11]. Действительно, исследования показали, что тактильная обратная связь помогает сократить  
время выполнения задачи и частоту ошибок [12]. Тактильная информация описывает  
как кожную (тактильную), так и кинестетическую (силовую) информацию  
, получаемую во время исследования объекта или манипулирования им.   
Тактильная информация может включать давление, а также локальную форму  
и скользкость объекта, что является важной информацией  
при обращении с объектами, а кинестетическое восприятие включает  
распознавание проприоцепции и силы. Стандартные технологии  
используют простые датчики силы или крутящего момента, встроенные между  
последним роботизированным звеном и конечными эффекторами робота [12-13]. Эта ограниченная  
информация информирует оператора о том, когда конечный исполнительный  
механизм вступил в контакт, и обеспечивает прямую обратную связь, которая действует как  
контроль безопасности, предотвращающий чрезмерную нагрузку. Подобные системы были  
встроены во многие простые электроинструменты с телеуправлением [14].  
 Однако этих простых стратегий, хотя и дешевых,  
недостаточно для манипулирования концевыми эффекторами при механической обработке,  
т.е. сверлении / горячей нарезке резьбы и резке сложных форм, таких как  
трубы [15]. В таком сценарии робот должен будет сначала определить  
местоположение места обработки, приблизиться к предварительной позиции, проверяя наличие столкновений, подтвердить ортогональность и точное  
позиционирование, инициировать контакт и зажим с обрабатываемой деталью, выполнить  
операцию, т.е. сверление, затем отпустить. Привязка может быть  
достигнута путем использования визуальных данных и датчиков на  
шарнирах робота и будет частью высокоуровневого управления со стороны  
оператора. Безопасное приближение может быть достигнуто с помощью  
датчиков приближения, таких как бесконтактные индуктивные датчики или лазерные/ИК  
-дальномеры [15-17]. Выбор которых будет зависеть от  
конкретной задачи. Возможно, изменение отделки поверхности / геометрии  
исключает использование лазерных систем, в этом случае  
могут быть полезны ультразвуковые дальномеры, но они лучше всего подходят для определения местоположения больших плоских  
объектов [18-21]. При контакте тактильное восприятие может быть использовано  
в качестве средства для усиления первоначальных стратегий захвата и манипулирования  
путем устранения несоответствий в контактных силах во  
время контакта с объектом и манипулирования с ним, обычно путем мониторинга множества  
совместимых датчиков давления, которых доступно множество типов.   
[20].   
Одна из проблем роботизированной системы заключается в том, что чем больше степеней  
свободы у системы, тем более податливой она становится.   
Это затрудняет применение силы резания или сверления и обеспечивает  
успешную работу. Это усугубляется, если  
вырезаемый объект также соответствует требованиям [21]. Поэтому рекомендуется, чтобы   
возможность тактильного восприятия может быть встроена в зажимной модуль  
, который крепит наконечник-эффектор к конструкции, подлежащей эксплуатации  
. Это поможет избежать вибрации между инструментом и  
поверхностью, а также любого нежелательного изгиба. Существует несколько систем для  
контроля работы инструмента, например пьезоэлектрические датчики в  
патроне режущего инструмента или 3-осевые тензодатчики, которые будут сообщать  
о нагрузке, приложенной к инструменту, а также о любом боковом скольжении  
инструмента [22,23]. Эти датчики также могут быть использованы для обеспечения  
перпендикулярности инструмента к поверхности, если это необходимо, с помощью антенн, которые находятся  
в контакте с инструментом и поверхностью и контролируют асимметричную  
нагрузку [23]. При использовании достаточной системы зажима вибрация,  
асимметрия и скольжение должны быть сведены на нет благодаря конструкции и такой простоте   
тензодатчики могут использоваться для обеспечения контакта между инструментом и  
обрабатываемой деталью и для информирования оператора о поломке инструмента  
. Чего эти данные не могут сообщить оператору, так это того, насколько хорошо  
режет инструмент. Датчики приближения, которые использовались ранее, можно было бы использовать  
для контроля хода резки и сверления путем измерения того, насколько глубоко  
инструмент вошел в заготовку. Однако он не информирует  
оператора о том, возникают ли трудности с обработкой инструмента из-за  
твердости материала или из-за износа инструмента сверх времени  
, затраченного на выполнение операции на данный момент.   
Одной из стратегий косвенного контроля износа инструмента и нагрузки, а следовательно  
, и эффективности резания, является контроль мощности, необходимой  
для приведения в действие двигателя шпинделя станка, или локального  
повышения температуры в результате резания [24,25]. Такой метод можно было бы использовать  
, поскольку для него просто требуется устройство контроля мощности и алгоритм  
, учитывающий мощность, потребляемую  
шпинделем в режиме холостого хода, и ее зависимость от теплового состояния  
станка. Хотя это позволит получить полезные данные, для интерпретации требуется  
значительный объем эмпирических, исторических данных и  
данных об окружающей среде, например, о температурах и предыдущих задачах резки. Много операторов

0041  
Как процитировать эту статью: С.Д. Монк, Д. Ченелер. Проблемы со зрением, полуавтономным управлением, тактильными ощущениями и манипуляциями в робототехнике для ядерных   
Вывод из эксплуатации. Robot Autom Eng J. 2019; 4(2): 555635. DOI: 10.19080/RAEJ.2019.04.555635  
Журнал Robotics & Automation Engineering Journal для контроля производительности инструмента требуются навыки, и маловероятно  
, что полное автономное управление процессом резки будет таким же  
успешным, как при участии оператора.  
Вывод  
Здесь был описан ряд общих проблем, касающихся  
внедрения полуавтономной робототехники, по сравнению с  
робототехникой с телеуправлением, которая в настоящее время широко используется,  
для вывода из эксплуатации и связанных с этим применений в атомной  
промышленности. Эта стратегия имеет ряд  
преимуществ при выполнении сложных задач, таких как захват и  
резка труб, как показано в приведенном здесь примере, поскольку многие  
локальные решения могут быть автоматизированы, что уменьшает ошибки оператора из-за  
неполной информации. Однако, как уже было ясно здесь,  
это требует значительного технологического усовершенствования системы,  
поскольку необходимо интегрировать множество датчиков, собирать,  
анализировать и упрощать данные, чтобы у оператора было достаточно  
информации для своевременного принятия обоснованных решений.  
Рекомендации  
1. Силвал А., Дэвидсон Дж., Карки М., Мо С, Чжан Кью и др. (2017) Проектирование,  
интеграция и оценка в полевых условиях роботизированного яблокоуборочного комбайна. Дневник   
Полевая робототехника 34(6): 1140-1159.  
2. Британская сеть робототехники и автономных систем (2016) Космическая робототехника &   
Автономные системы: расширение горизонтов освоения космоса.  
3. Шенген К., Юфу Ли, Квок Н.М. (2011) Активное зрение в роботизированных системах:   
Обзор последних событий. Международный журнал робототехники   
Исследование 30(11): 1343-1377.   
4. Серресуэла Р.Р., Чаварро АФК, Кардосо МАТ, Токика АЛЬ, Мартинес   
LFO (2017) Кинематическое моделирование роботизированной руки-манипулятора с использованием   
MATLAB. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 12(7):   
2037-2045.  
5. Уэст С., Монтазери А., Монк С.Д., Дуда Д., Тейлор К.Дж. (2017) Новый подход  
к повышению точности оценки параметров в роботизированных манипуляторах  
с использованием многоцелевого метода идентификации ошибок на выходе. В 2017 году   
26-й Международный симпозиум IEEE по взаимодействию роботов и человека   
Коммуникация (RO-MAN), Лиссабон, Португалия, стр. 1406-1411.  
6. Монтазери А., Уэст С., Монк С.Д., Тейлор С.Дж. (2017) Динамическое моделирование  
и оценка параметров гидравлического робота-манипулятора с использованием  
многоцелевого генетического алгоритма. Международный журнал контроля  
90 (4): 661-683.  
7. Баррелл Т., Монтазери А., Монк С., Тейлор С.Дж. (2016) Контроль с обратной связью-  
Основанные на обратной кинематике решатели для вывода из эксплуатации ядерного реактора   
Робот. IFAC-PapersOnLine 49(21): 177-184.  
8. Уэст С., Монтазери А., Монк С.Д., Тейлор К.Дж. (2016)  
Подход с использованием генетического алгоритма для оптимизации параметров робота-манипулятора 7DOF.   
IFAC-PapersOnLine 49(12): 1261-1266.  
9. Уэст С., Баррелл Т., Монтазери А., Монк С.Д., Тейлор К.Дж. (2015) Исследования  
и обучение с использованием робота для вывода из эксплуатации ядерных установок с гидравлическим приводом  
. На Международной конференции по системной инженерии, Великобритания.10. Баррелл Т. , Монтазери А., Монк С.Д., Тейлор К.Дж. (2015) Обзор автономной  
навигации для внутренних воздушных роботов в  
контексте вывода из эксплуатации ядерных установок. На Международной конференции по системной инженерии, Великобритания.  
11. Гвиллиам Дж.К., Махваш М., Вагволги Б., Вачарат А., Ю.Д.Д. и др.   
(2009) Влияние тактильной и графической обратной связи по силе на телеоперативную  
пальпацию. В 2009 году Международная конференция IEEE по робототехнике и   
Автоматизация, Кобе, Япония, стр. 677-682.  
12. Уильямс Л., Лофтин Р.Б., Олдридж Х.А., Лейсс ЭЛ, Блутманн В.Дж. (2002)   
Кинестетический и визуальный дисплей силы для телероботов. В судебном разбирательстве   
2002 Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации,   
Вашингтон, округ Колумбия, США, стр. 1249-1254 .  
13. Казанзидес П., Зухарс Дж., Миттельштадт Б., Тейлор Р.Х. (1992) Измерение силы  
и управление хирургическим роботом. В трудах 1992 года IEEE International   
Конференция по робототехнике и автоматизации, Ницца, Франция, стр. 612-  
617.   
14. Эсен Х., Яно К., Бусс М. (2004) Система медицинского обучения в виртуальной среде  
для сверления костей с обратной связью по усилию 3DOF. В 2004 году IEEE/RSJ   
Международная конференция по интеллектуальным роботам и системам, Сендай,   
Япония, стр. 3631-3636.  
15. Фроммкнехт А., Кюнле Дж., Эффенбергер И., Пидан С. (2017) Мультисенсорная  
измерительная система для роботизированного бурения. Робототехника и компьютер-  
Интегрированное производство 47: 4-10.  
16. Феричан С., Дрокслер Р. (2007) Новые бесконтактные индуктивные аналоговые  
датчики приближения и индуктивные датчики линейных перемещений для промышленной  
автоматизации. Журнал IEEE Sensors Journal 7 (11): 1538-1545.  
17. Сяо К., Нанжерони П., Хубер М., Саксена А., Нг Ай (2009) Реактивный  
захват с использованием оптических датчиков приближения. В 2009 году IEEE International   
Конференция по робототехнике и автоматизации, Кобе, Япония, стр. 2098-2105.  
18. Чжан Р., Юань П., Гонг М. (2012) Интеллектуальная система регулировки нормали поверхности  
и ее применение в авиационном буровом роботе. В 2012 году второй   
Международная конференция по проектированию и инжинирингу интеллектуальных систем   
Заявка, Хайнань, Китай, стр. 696-699.   
19. Лян Дж., Би С. (2010) Проектирование и экспериментальное исследование концевого эффектора для  
роботизированного бурения. Международный журнал по передовому производству   
Технология 50 (1-4): 399-407.  
20. Тегин Дж., Викандер Дж. (2005) Тактильное восприятие в интеллектуальных роботизированных  
манипуляциях - обзор. Промышленный робот: Международный журнал   
32(1): 64-70.  
21. Эгути CCA, Трабассо LG (2014) Разработка роботизированного орбитального бурильщика для  
сборки авиационных конструкций. Мехатроника 24(5): 533-545.  
22. Шум Л.Ю., Сенкевич Л.Я., Гогниат Т. (1975) Патент США № 3872,285.   
Вашингтон, округ Колумбия: Управление по патентам и товарным знакам США, США.  
23. Олссон Т., Хааге М., Кильман Х., Йоханссон Р., Нильссон К. и др. (2010)   
Экономичное бурение с использованием промышленных роботов с широкополосной  
обратной связью по усилию. Робототехника и компьютерно-интегрированное производство,   
26(1): 24-38.  
24. Куппини Д., Д'Эррико Г., Рутелли Г. (1990) Контроль износа инструмента на основе  
измерения мощности резания. Износ 139(2): 303-311.  
25. Ченелер Д., Уорд МАКЛ (2018) Активный термодатчик для улучшения   
Распределенное измерение температуры с помощью тактильных матриц. Журнал датчиков,   
Артикул 9631236.

Как процитировать эту статью: С.Д. Монк, Д. Ченелер. Проблемы со зрением, полуавтономным управлением, тактильными ощущениями и манипуляциями в робототехнике для ядерных   
Вывод из эксплуатации. Robot Autom Eng J. 2019; 4(2): 555635. DOI: 10.19080/RAEJ.2019.04.5556350042  
Журнал Robotics & Automation Engineering Journal В вашей следующей публикации в Juniper Publishers  
вы получите следующие ресурсы  
• Качественное редакторское обслуживание  
• Быстрая экспертная оценка  
• Доступность переизданий  
• Услуга электронной печати  
• Рукописный подкаст для удобства понимания  
• Глобальные достижения в ваших исследованиях  
• Доступность рукописей в различных форматах  
(Pdf, E-pub, полный текст, аудио)   
• Непрерывное обслуживание клиентов  
 Перейдите по приведенному ниже URL-адресу для одноэтапной отправки  
https://juniperpublishers.com/online-submission.php  
Эта работа лицензирована по лицензии Creative  
Лицензия Commons Attribution 4.0  
DOI: 10.19080/RAEJ.2019.04.555635