

УДК 658.512:004.42

В. С. Андреев, Д. Н. Бутусов, В. Ю. Островский

## Система цифровой обработки сигналов ультразвукового сонара

Рассматривается подход к разработке сенсорных систем на основе ультразвуковых датчиков с применением технологии виртуальных инструментов в среде NI LabVIEW. Даются рекомендации по конфигурации сенсорной системы, обработке и визуализации ее показаний. Оценивается эффективность использования ультразвукового датчика Maxbotix LV-MaxSonar-EZ3. Предлагается способ корректировки погрешности с помощью системы цифровой обработки сигналов и дополнительного оптического датчика ближнего радиуса действия.

### Сенсорная система, ультразвуковой дальномер, цифровая обработка сигналов, медианный фильтр, виртуальный прибор, робототехника

При решении задачи позиционирования подвижных технических объектов в окружающем пространстве применяются датчики различной физической природы. Одним из наиболее распространенных классов подобных устройств является датчик-дальномер. В качестве частного случая дальномера выделяются ультразвуковые датчики (сонары), применение которых связано с рядом существенных проблем: явление многократного отражения сигнала от препятствия; возникновение погрешностей; связанных с отражающими свойствами исследуемых препятствий, наводки и случайные шумы в цепях передачи данных от излучающего и приемного элементов к контроллеру. Проектирование и интеграция сенсорной подсистемы, основанной на датчиках-сонарах, в общую систему управления и обработки информации объекта является трудоемкой задачей. Одно из возможных ее комплексных решений – применение технологии виртуальных приборов (VI) в рамках процесса модельного проектирования.

В настоящей статье рассматривается применение технологии виртуальных инструментов при разработке прототипа сенсорной подсистемы подвижного объекта с анализом эффективности ультразвуковых датчиков-дальномеров. Рассматриваются следующие ключевые задачи:

- разработка системы визуализации данных сенсорной подсистемы;
- оценка погрешности датчиков-дальномеров ультразвукового типа;

– определение способов коррекции погрешности ультразвукового датчика с помощью системы цифровой обработки сигналов.

**Формирование конфигурации сенсорной системы.** Работа ультразвуковых датчиков основывается на явлении распространения звуковых волн в воздушной среде и отражения их от границы раздела сред. Звуковые волны распространяются в воздушной среде с определенной скоростью, поэтому по времени запаздывания принимаемого сигнала (звуковое эхо) относительно излучаемого можно с достаточной степенью точности вычислить расстояние до отражающего объекта. Принцип действия датчика такого типа иллюстрирует рис. 1.

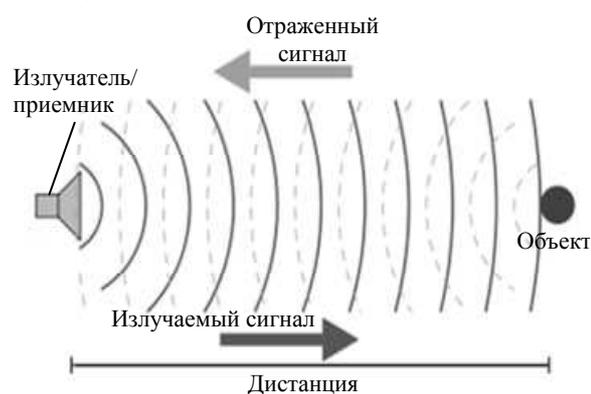


Рис. 1

Рассмотрим ультразвуковой датчик Maxbotix LV-MaxSonar-EZ3 (рис. 2), который широко распространен на рынке, обладает приемлемыми для большинства задач техническими характеристиками и невысокой стоимостью.

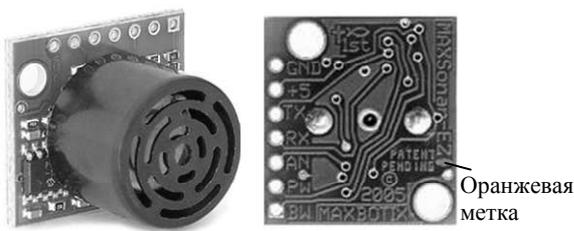


Рис. 2

Maxbotix LV-MaxSonar-EZ3 – ультразвуковой дальномер для детектирования объектов на расстоянии до 645 см. Точность показаний на расстоянии от 15 до 645 см составляет 2,54 см. Объекты на расстоянии до 15 см определяются как на расстоянии 15 см. Напряжение питания датчика составляет 2,5...5,5 В. Рабочая частота датчика 42 кГц. Интервал считывания показаний 50 мс. Дальномер изготовлен в компактном корпусе 19,9 × 22,1 × 15,5 мм, масса датчика 4,3 г. На выходе платы сигналы о дальности детектируемого объекта присутствуют в трех формах: аналоговый сигнал, ШИМ-сигнал и последовательные данные Rx и Tx. В линейке дальномеров LV-MaxSonar-EZ фирмы Maxbotix данный датчик обладает наиболее узкой диаграммой направленности.

Для увеличения угла обзора и более детального сканирования окружающего пространства целесообразно установить датчики на вращающейся платформе. Подвижная платформа, закрепленная на валу электродвигателя, обеспечивает сенсорной системе одну степень свободы. При такой установке датчики циклически вращаются, сообщая о наличии объектов в определенном секторе и на определенном удалении от платформы. Для вращения платформы проектируемой сенсорной системы используется шаговый электродвигатель с угловым перемещением 1,8 °/шаг (200 шагов/об). Разрешающая способность такой системы определяется шириной диаграммы направленности и значением минимального углового перемещения платформы с датчиками.

**Виртуальная модель устройства управления.** Реализация алгоритмов обработки сигналов и визуализации данных об окружающей среде на языках низкого уровня является трудоемким этапом проектирования сенсорных систем. Отладка полученных решений производится на собранных прототипах, что увеличивает длительность и чис-

ло проектных итераций. Стоимость и время проектирования также увеличиваются вследствие ошибок, допущенных на ранних этапах проектирования, но выявленных лишь на этапе тестирования прототипа. Одним из путей решения данной проблемы является быстрое прототипирование и тестирование сенсорных систем в виде НПЛ-процесса (Hardware In the Loop, Аппаратура в петле) [1], при этом отладка алгоритмов управления и обработки сигналов сенсорных подсистем выполняется в инструментальной среде проектирования виртуальных инструментов. Основные этапы модельного проектирования сенсорной системы отражены на рис. 3.

**Система сбора данных.** Отладка датчиков и электромеханической части системы производится подключением их к управляющему компьютеру через устройства сбора данных: плату сбора данных NI-6251, защищенный коннекторный блок SCB-68 и драйвер для шагового электродвигателя. После отладки прототипа сенсорной системы коннекторный блок отключается, и вместо него используется встраиваемая система управления на базе микроконтроллера. В качестве среды проектирования и моделирования сенсорной системы выбрана NI LabVIEW 2012 с модулями расширения.

LabVIEW содержит набор подпрограмм, которые позволяют организовать работу устройства сбора данных [2] (DAQ, англ. Data Acquisition – сбор данных) и обмениваться с ними информацией, т. е. осуществлять сбор и выдачу данных для управления внешними устройствами в НПЛ-процессе. Одно такое устройство может поддерживать множество функций – аналого-цифровое преобразование, цифроаналоговое преобразование, цифровой ввод-вывод, счетчики и таймеры.

Прежде чем компьютерная система измерений сможет измерить реальный физический сигнал (в случае с дальномером – расстояние), сенсор или датчик должен преобразовать физический сигнал в информацию, представленную в виде величины напряжения, тока или частоты колебаний. Поэтому устройство DAQ – это только часть системы измерений, а не вся система. Фактически, DAQ выступает посредником между исследуемой системой и компьютером, преобразуя данные в удобную для обработки форму.

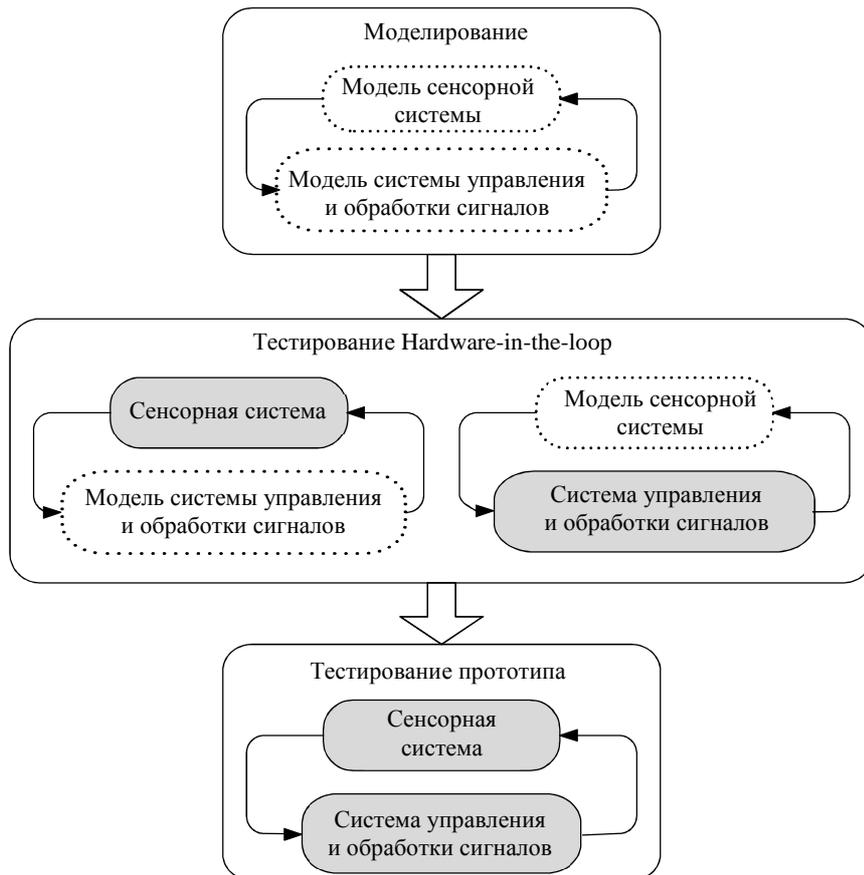


Рис. 3

### Визуализация данных сенсорной системы.

Данные, получаемые от ультразвукового дальномера в виде массива значений дальности, являются одномерной величиной. Отображение информации об окружающей среде в виде простого графика является недостаточно информативным. Более совершенной формой визуализации является круговая диаграмма, отражающая зависимость измеренной дистанции от угла поворота излучателя. Это позволяет получить картину окружающего пространства в графическом виде, при этом в центре диаграммы находится объект управления. Создадим виртуальный прибор для обработки и отображения получаемой информации. Изображение сканируемого сенсорной системой пространства реализовано в полярных координатах, где радиальной координате присваивается значение расстояния, полученного от дальномера, а угловой координате – значение угла поворота вала шагового электродвигателя. Разработанный графический индикатор виртуального прибора представлен на рис. 4. Используется компьютерная модель датчика для имитации входного сигнала с заданной погрешностью.

### Обработка сигналов ультразвукового сонара.

Согласно документации, поставляемой с дальномером LV-MaxSonar-EZ3, зависимость между

расстоянием до объекта измерения и выходным напряжением аналогового сигнала линейна. Для получения значения расстояния нужно умножить значение уровня напряжения на коэффициент, который указан производителем датчика.

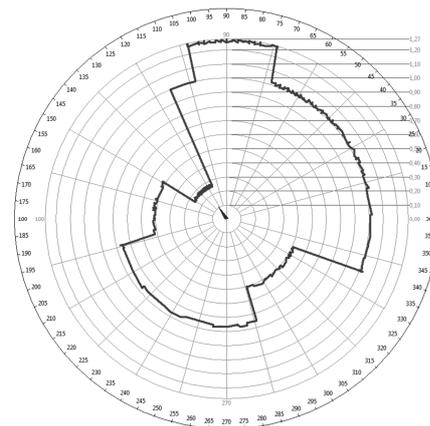


Рис. 4

На рис. 5, а изображен индикатор сенсорной системы, на рис. 5, б представлена схема пространственной сцены окружающей среды, полученная в ходе тестирования прототипа сенсорной системы.

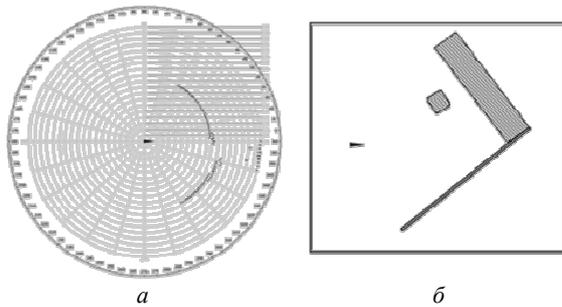


Рис. 5

Видно искажение показаний сенсорной системы при сканировании поверхностей с большими изменениями угла отражения. Удалось определить расстояние до небольшого детектируемого объекта, однако его контуры не различимы. Поверхность за ним не просматривается. Исследуем измеренный сигнал и определим способы коррекции погрешности измерений, построив виртуальный прибор для калибровки датчика.

На рис. 6 изображен график зависимости расстояния от времени для виртуального прибора калибровки при расстоянии до объекта измерения 63,8 см. В левой части графика (до момента времени 150 с) приведен сигнал, идущий в обход системы обработки. Видно, что разброс полученных значений расстояния составляет от 61,8 до 65,8 см.

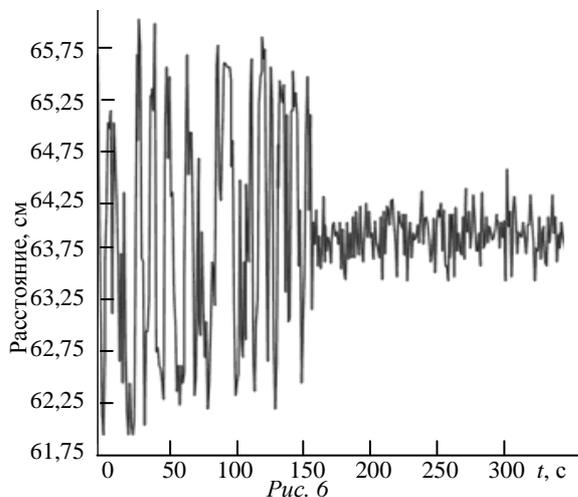


Рис. 6

Для уменьшения погрешности показаний в состав сенсорной системы введена подсистема цифровой обработки сигналов на основе медианного фильтра. Медианная фильтрация применяется для устранения аномальных значений в массивах данных, уменьшения выбросов и импульсных помех. Медианные фильтры могут сохранять без искажений резкие границы объектов, подавляя некоррелированные и слабокоррелированные помехи и малоразмерные детали. При аналогичных

условиях алгоритмы линейной фильтрации неизбежно "смазывают" резкие границы и контуры объектов. В правой части графика (после момента времени 150 с) разброс значений расстояния сократился до интервала от 63,3 до 64,4 см. Применение системы обработки сигналов более чем в 3 раза уменьшило разброс значений, который не превысил заявленной производителем инструментальной погрешности датчика (2,54 см).

Применение медианного фильтра не решает проблемы, связанные с широкой диаграммой направленности дальномеров ультразвукового типа. Для дальнейшей коррекции показаний сенсорной системы в ее состав был включен инфракрасный датчик Sharp GP2Y0A02YK, обладающий более узкой диаграммой направленности. Целесообразно совместно использовать датчики обоих типов, так как их свойства взаимно дополняют друг друга: например, более темные объекты хуже обнаруживаются оптическим дальномером, менее плотные – ультразвуковым.

На рис. 7, а показан индикатор комбинированной сенсорной системы с применением подсистемы цифровой обработки сигналов, на рис. 7, б – схема пространственной сцены окружающей среды в ходе тестирования прототипа.

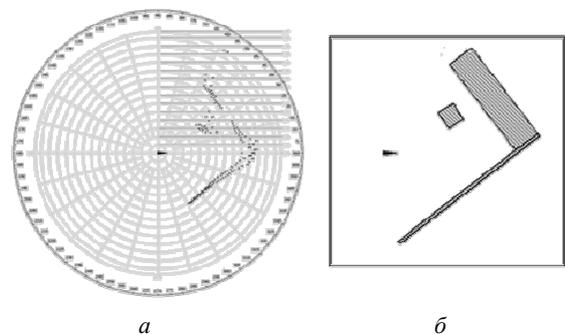


Рис. 7

Результаты сканирования, полученные с помощью комбинации датчиков различного типа и с использованием подсистемы обработки сигналов (рис. 7), являются более точными по сравнению с рис. 5. На индикаторе виртуального прибора можно различить контуры объектов пространственной сцены. Однако по-прежнему наличествуют искажения результата при измерении в углах, показания после двух циклов сканирования сенсорной системы несколько разнятся, что свидетельствует о возможности дальнейшего улучшения работы системы.

Таким образом, в статье рассмотрено применение технологии модельного проектирования на примере разработки прототипа сенсорной подсистемы. Проведен анализ свойств ультразвуковых датчиков-дальномеров. Разработана система визуализации данных сенсорной подсистемы на основе технологии виртуальных приборов. Определены способы коррекции погрешности ультра-

звукового датчика с помощью медианного фильтра и дополнительного оптического дальномера. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы" (контракт 14.В37.21.1240).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутусов Д. Н. Автоматизация проектирования встраиваемых систем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ "ЛЭТИ". СПб., 2012. 16 с.

2. Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2011.

---

V. S. Andreev, D. N. Butusov, V. Yu. Ostrovsky

### DIGITAL SIGNAL PROCESSING SYSTEM OF ULTRASONIC SONAR

*This article discusses an approach to the development of robotic sensory systems based on ultrasonic sensors and virtual instrumentation technology. Development is performed with the NI LabVIEW. The authors provide recommendations for the development of the sensor system configuration, data processing and visualization. The effectiveness of an ultrasonic sensor Maxbotix LV-MaxSonar-EZ3 has been evaluated. A method of error correction using digital signal processing system and additional IR sensor has been proposed.*

**The sensory system, ultrasonic sensor, digital signal processing, median filter, virtual instrument, robotics**

---

УДК 681.3.06 (075.8)

Е. С. Новикова

## Инфографика событий системы мобильных денежных переводов для выявления в ней аномальной активности

*Представлены первые результаты исследования, посвященного разработке методик визуализации событий системы мобильных денежных переводов, позволяющих выявить в ней аномальную активность. Системы мобильных денежных переводов получили широкое применение для совершения различных финансовых операций. Практика показала, что они могут быть использованы для совершения различных незаконных финансовых операций, что объясняется быстротой выполнения электронных операций.*

### Визуальный анализ данных, мобильные денежные переводы, обнаружение аномалий, интерактивная визуализация данных

В настоящей статье представлены результаты исследования, посвященного разработке методик визуализации данных систем мобильных денежных переводов, позволяющих выявить в ней аномальную активность. Свойства объектов системы мобильных денежных переводов (СМДП) кодируются с помощью графических атрибутов элементов графа, из них формируется стандартная модель поведения пользователя системы. В работе показано, что анализ интенсивности и характера контактов пользователей позволяет выявить

группы пользователей, которые, возможно, совершают неправомерные действия.

Технологическое развитие устройств мобильной связи обусловило появление нового механизма реализации денежных переводов между физическими лицами – систем мобильных денежных переводов, которые могут быть использованы для выполнения различных финансовых операций, таких, как пополнение счета на мобильном телефоне, перевод денежных средств на мобильный счет другого пользователя, а также для получения