электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

 # 03, март 2016

УДК 629.052

Эволюция студенческих креативных проектов подводных аппаратов. Часть 2

***Стрельницкий А.С.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»

***Алещенко А.С.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»

***Семенюк И.С.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»

Научный руководитель: Северов С.П., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Подводные роботы и аппараты»
ivan-remizov@bmstu.ru

Введение

Компьютерное зрение — теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов.

Как научная дисциплина, компьютерное зрение относится к теории и технологии создания искусственных систем, которые получают информацию из изображений. Видеоданные могут быть представлены множеством форм, таких как видеопоследовательность, изображения с различных камер или трехмерными данными, например с устройства Kinect или медицинского сканера.

Система технического зрения подводного робота

Исходные условия, предпосылки и основные проектные параметры СТЗ представлены выше. Как следует из дальнейшего, алгоритмы и макеты устройств наземного визуального одометра – системы для определения пройденного пути известны. Показано, что при усложнении алгоритмов и аппаратной части функциональные

возможности прототипов можно поднять до уровня СТЗ подводного робота, предназначенного для выполнения сложных подводных технических операций

Функциональное описание системы

Базовая структурная схема полученной системы изображена на рисунке 1. На рисунке 1 показаны типы основных элементов предлагаемой системы и обобщенные информационные связи между ними.

Первая подсистема, во многом определяющая параметры системы в целом – видеокамера. Она снимает видео и передает его на следующий элемент. Видеосигнал при этом должен соответствовать требованиям ТЗ.

Следующие два элемента – передатчик и приемник видеосигнала. Требуется передать информацию на значительное расстояние, и решить как, и какие устройства смогут выполнить эту задачу. После приемника следует устройство видеозахвата, которое преобразует полученный видеосигнал в цифровой вид, воспринимаемый цифровым вычислительным устройством. И наконец, вычислительное устройство (в частности, компьютер), выполняющее обработку полученного видеосигнала и все вычисления, требуемые для выполнения конкурсных задач, а также осуществляющее вывод информации на экран.

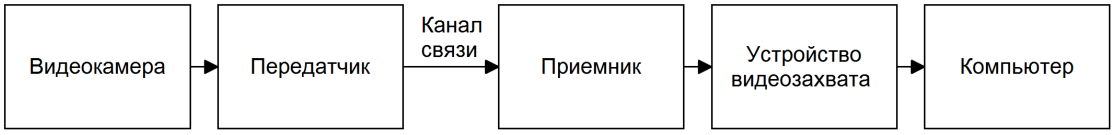

Рис. 1. Базовая структурная схема предложенной СТЗ

Выбор видеокамеры

В процессе предварительной разработки первоначально рассматривалась цифровая камера. Однако с такой камерой не удалось обеспечить передачу информации с нее на берег по каналу USB. Рассматривались преобразователи USB в Ethernet и обратно для передачи на большие (до 200 метров) расстояния, но эти преобразователи стоили по 20000 рублей. Из-за высокой цены этот вариант был отклонен.

Так же рассматривалась возможность обработки сигналов с видеокамер на борту аппарата встроенным вычислителем. В таком случае на берег передается только необходимая информация. Однако такой подход предполагает установку на борту

высокопроизводительных вычислителей малых габаритов, энергопотребления и тепловыделения, и разработки специализированного ПО для этих встраиваемых вычислителей. Объем работ, необходимый для реализации и отладки такой системы, слишком велик, и было решено не рисковать разработкой всего аппарата ради одной системы. Однако выгоды от такого подхода очевидны, и разработка будет продолжена.

Выбор приемопередатчиков

Для передачи сигналов частот радиодиапазона (к которому относятся частоты видеосигнала) обычно используется коаксиальный кабель. Однако, по технологическим причинам нередки случаи, когда целесообразна передача высокочастотного сигала по витой паре.

Способ передачи видеосигнала по витой паре на дистанции 500...2000 м при сравнении с коаксиальным кабелем дает преимущество в защите сигнала от внешних электромагнитных помех за счет перевивки проводов в паре. Эта особенность витой пары, а также использование симметричных передатчиков и приемников видеосигнала, позволяет обеспечить качество изображения, значительно менее зависимое от длины линии связи и внешней электромагнитной обстановки. Особенно успешно подавляются магнитные составляющие внешних полей в низкочастотной области спектра.

Длина связующего кабеля между аппаратом и пультом управления составляет 50 метров. Видеосигнал в формате PAL, в котором его выдают видеокамеры, невозможно передать на такое расстояние по коаксиальному проводу без существенных потерь. Это обусловлено высокими наводками от силового кабеля. Поэтому требуется использовать пару устройств, преобразующих PAL-сигнал в дифференциальную форму для передачи по витой паре, и обратно уже в пульте управления. Для этого были выбрана пара приемопередатчиков AVD311T/R. Эти приемопередатчики предназначены для передачи цветного или черно-белого видеосигнала по витой паре (UTP, ТППэП, П-274 и др.) на расстояния до 1500 метров. Кроме того, они обеспечивают защиту линии питания камеры по напряжению и обеспечивают надежную защиту видеоканала от электромагнитных импульсов аппарата, индустриальных помех и грозовых разрядов.

Выбор устройства видеозахвата

Полученный на выходе приемника сигнал PAL необходимо преобразовать в вид, совместимый с цифровым вычислительным устройством. Для этого требуется выбрать совместимое устройство видеозахвата, с учетом требований к простоте и цене.

Видеозахват - процесс преобразования видеосигнала от внешнего источника в цифровой видеопоток при помощи персонального компьютера и запись его в видеофайл с целью последующей обработки, хранения или воспроизведения. Внешним источником могут выступать видеокамеры, магнитофоны, DVD-проигрыватели, ТВ-тюнеры, ресиверы цифрового телевидения и другие устройства.

Процесс захвата видео может включать в себя преобразование аналогового видеосигнала в цифровой поток при помощи видеокарты или устройства видеозахвата, в таком случае иногда применяют термин “оцифровка”. В зависимости от требуемого качества сигнала и возможностей устройства видеозахвата аналоговое видео может передаваться через композитное, S-Video и компонентное соединения. Цифровой сигнал может передаваться по интерфейсам IEEE 1394, SDI, USB или по HDMI.

Несжатое видео имеет большой поток данных (270 Мбит/с для SDTV или до 2,970 Гбит/с для HDTV), для его уменьшения применяют сжатие при помощи видеокодеков. Для разных целей настройки параметры кодеков могут сильно отличаться: для передачи видеопотока в интернет поток данных может составлять несколько сотен кбит/с, для целей телевещания или последующего монтажа достигать десятков Мбит/с. В случае последующей обработки, основной целью видеозахвата является передача видео с максимальным качеством, при этом предпочтительно использовать алгоритмы сжатия, в которых применяется внутрикадровое кодирование без межкадрового кодирования, что упрощает доступ к каждому отдельному кадру.

Учитывая вышеуказанные требования, было выбрано устройство EasyCap DC60. Это устройство представляет собой несколько аналого-цифровых преобразователей и сигнальных процессоров, на аппаратном уровне осуществляющих захват аналогового сигнала формата PAL или NTSC и сжатие его по стандарту MPEG2. Далее по интерфейсу USB сжатое видео передается на компьютер

Выбор вычислительного устройства СТЗ

Полученный цифровой видеопоток требует программной обработки. Выберем компьютер для разработки и выполнения программы. В выборе будем опираться на два основных принципа: доступность и производительность.

Принцип доступности означает, что выбирать следует из компьютеров, уже имеющихся в наличии, либо из дешевых и легко доступных на рынке.

Требование к производительности сильно ограничивает выбор. Обработка изображений, особенно видеопотока – задача, требующая значительной вычислительной

мощности системы обработки. Для выполнения тяжелых алгоритмов, типа алгоритма нахождения опорных точек «SUR» (Speeded Up Robust Features) или распознания геометрических форм в режиме реального времени, иногда недостаточно мощностей ведущих современных процессоров. Для решения таких задач предлагается параллелизация. Есть два способа реализации параллельных вычислений: средствами графических ускорителей (языки CUDA и OpenCL) и используя многоядерность современных процессоров (библиотека TBB, Threading Building Blocks). Следовательно, к выбираемой системе предъявляются требования наличия графического ускорителя, поддерживающего CUDA или OpenCL, а также многоядерность процессора.

В итоге был выбран ноутбук, Sony Vaio VPCEB2Z1R. Он оснащен четырехядерным процессором Intel Core i5-430M с тактовой частотой ядра 2,26 ГГц, что удовлетворяет требованиям к производительности и многоядерности. Процессоры Intel поддерживают библиотеку TBB, что делает возможным использование параллелизации. Кроме того, ноутбук оснащен графическим ускорителем ATI Mobility Radeon HD 5650 с поддержкой OpenCL, поэтому для большего ускорения вычислений можно использовать и его. Ноутбук имеет оперативную память объемом 4ГБ, что достаточно для обработки потокового видео, и несколько USB-портов для подключения устройства захвата.

Описание полученной аппаратной части СТЗ

Структурная схема полученной системы изображена на рисунке 2. На ней показаны элементы системы и связи между ними. И первый элемент, во многом определяющий параметры системы в целом – видеокамера.

На носу аппарата в герметичном боксе установлена видеокамера MDC 3220FDN. Из нее выходят 2 пары проводов: по одной паре передается сигнал в формате PAL, а по другой камера получает питание. Обе пары подключаются к приемопередатчику AVD311T/R. Этот приемопередатчик осуществляет защиту и фильтрацию питания камеры, сам он при этом запитывается от сети аппарата. Приемопередатчик так же преобразует сигнал из аналоговой формы в дифференциальный вид.

От приемопередатчика отходит витая пара проводов, по которой передается сигнал с камеры. Эта пара выводится из бокса через герметичный разъем, после чего вводится в основной прочный корпус аппарата. Там эта пара вводится в основной соединительный кабель и в составе него приходит на берег к пульту управления.

На берегу эта пара подключается к второму приемопередатчику AVD311T/R. Он преобразует сигнал из дифференциальной формы обратно в аналоговую.

Далее эта пара подключается к композитному входному разъему устройства видеозахвата EasyCap DC60. Это устройство осуществляет захват аналогового сигнала, его преобразование в цифровой вид и сжатие его по стандарту MPEG2.

Оцифрованный видеопоток передается на компьютер по интерфейсу USB. Питание устройства захвата так же производится по USB. Компьютер с предустановленными драйверами устройства видеозахвата воспринимает его как подключенную видеокамеру и имеет прямой доступ к получаемому видеопотоку. Следовательно, компьютер может приступить к обработке получаемой информации. Достаточно написать программу.

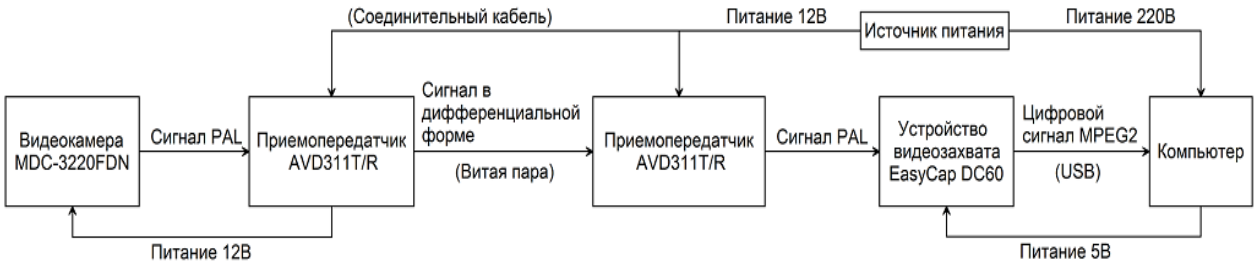

Рис. 2. Структурная схема системы технического зрения

Аппаратная часть системы технического зрения была установлена на аппарат, что частично продемонстрировано на рисунке 3. Видны 2 камеры, установленные на поворотной платформе, и два приемопередатчика.

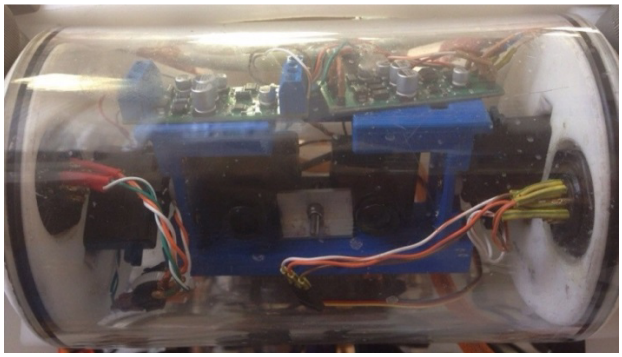

Рис. 3. Фотография корпуса камер аппарата «Акватор-4»

Выбор ПО разработки и отладки

Выбор программного обеспечения для разработки и отладки основывается на выборе операционной системы вычислительного устройства. Выбранное устройство является ноутбуком, архитектура его процессора – x64. Устройство не является

встраиваемым. Выбор операционной системы (ОС) ограничен драйвером устройства видеозахвата – он поддерживает только ОС семейств Windows и MacOS. Исходя из отсутствия других специальных требований или ограничений на выбор ОС, а также из соображений простоты и доступности, принимаем предустановленную ОС Windows 7.

Исходя из принципа простоты программирования, был выбран язык C++, как самый распространенный. Требованием технического задания является создание удобного и понятного графического пользовательского интерфейса. Поэтому средой разработки предлагается использовать QtCreator.

Среда разработки QtCreator включает в себя редактор кода, справку, графические средства QtDesigner и возможность отладки приложений. QtCreator может использовать GCC или Microsoft VC++ в качестве компилятора и GDB в качестве отладчика.

Одним из весомых преимуществ проекта Qt является наличие качественной документации, в отличие, например, от wxWidgets. Статьи документации снабжены большим количеством примеров. Исходный код самой библиотеки хорошо форматирован, подробно комментирован и легко читается, что также упрощает изучение Qt.

Программный отладчик GDB - GNU Debugger - переносимый отладчик проекта GNU, который работает на многих UNIX-подобных системах и умеет производить отладку многих языков программирования, включая C, C++, Pascal, Basic, Ada и Fortran. GDB предлагает обширные средства для слежения и контроля за выполнением компьютерных программ.

Так же для реализации функций обработки изображений предлагается использовать открытую библиотеку OpenCV. Это библиотека из более чем 500 функций компьютерного зрения, оптимизированных под выполнение в реальном времени.

Для увеличения производительности можно подключить к библиотеке OpenCV дополнительные библиотеки для параллелизации вычислений с помощью графического ускорителя OpenCL и использованием многоядерности процессора Intel TBB

OpenCL (от англ. Open Computing Language - открытый язык вычислений) - средство для написания компьютерных программ, связанных с параллельными вычислениями на различных графических (англ. GPU) и центральных процессорах (англ. CPU), а также FPGA. OpenCL обеспечивает параллелизм на уровне инструкций и на уровне данных и является реализацией техники GPGPU. OpenCL является полностью открытым стандартом, его использование не облагается лицензионными отчислениями.

Intel Threading Building Blocks (также известная как TBB) - кроссплатформенная библиотека шаблонов C++, разработанная компанией Intel для параллельного программирования. Библиотека содержит алгоритмы и структуры данных, позволяющие

программисту избежать многих сложностей, возникающих при использовании традиционных реализаций потоков, таких как POSIX Threads, Windows threads или Boost Threads, в которых создаются отдельные потоки исполнения, синхронизируемые и останавливаемые вручную.

Итак, выбрана операционная система разработки. Для нее выбраны средства разработки и отладки, а также комплект программных библиотек. Теперь можно приступить к разработке. Но начать разработку нужно с постановки задач перед программой.

Разработка ПО СТЗ

Разработка программного обеспечения проводилась на том же компьютере, на котором оно и будет выполняться. Это упростило разработку и отладку программы. В первую очередь на компьютер был установлен компилятор Microsoft VS2012. Он необходим, так как QtCreator не оснащен своим компилятором и использует внешние. После этого был установлен и настроен QtCreator. Следующим шагом нужно пересобрать библиотеку OpenCV для ее подключения к QtCreator, также как и других компонентов системы. Об этом было упомянуто в предыдущем пункте.

Постановка задачи измерения

Обломки затонувшего судна имитируются установленной на дне макетной конструкцией, показанной на рисунке 4. Габариты этих обломков требуется измерить с точностью не менее 5 сантиметров. Высота обломков при этом измеряется с помощью датчика глубины – как разность глубин на дне и на верхней плоскости обломков. Остается измерить длину и ширину. Измерения будут проводиться оптически. Зная угол оптического расхождения объектива камеры и дальность до поверхности, на которой производится измерение, составим формулу для этого измерения.

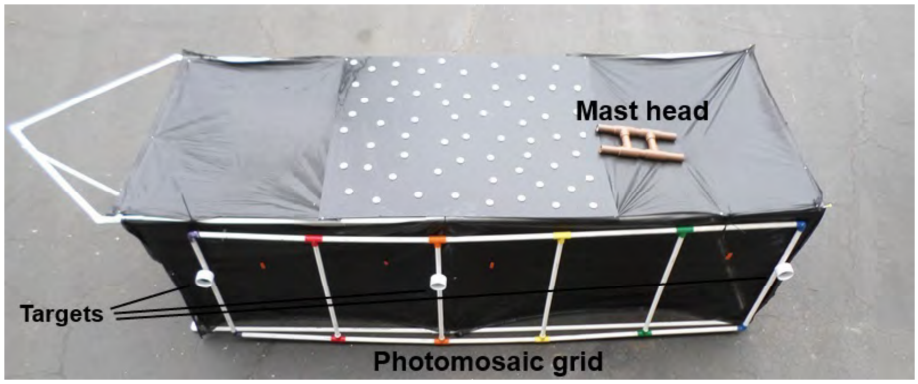

Рис. 4. Вид обломков судна

Искомая формула должна сопоставлять 1 пиксель длины на кадре соответствующему расстоянию на реальной плоскости. Пусть расстояние до измеряемой плоскости равно 1 метру и угол расхождения объектива равен 60 градусам, а ширина кадра равна 640 пикселям. Тогда половина кадра охватывает расстояние, равное $L_к$:

$$L_к = H \cdot \tan(\alpha), \quad (1)$$

где H – расстояние до измеряемой плоскости, H = 1 м, α – половина угла расхождения объектива, α = 30 град. Половине кадра соответствует 320 пикселей. Следовательно, на расстоянии в 1 метр при угле расхождения объектива 60 градусов одному пикселю соответствует *l* длины:

$$l = \frac{H * tan(\alpha)}{320} = \frac{1 * tan(30)}{320} = \frac{0{,}58}{320} = 0{,}0018 \text{ м} = 1{,}8 \text{ мм}. \quad (2)$$

Общая формула для вычисления реальной длины из пиксельной, имеет вид:

$$L = L_{пк} * l = \frac{L_{пк} * H * \tan(\alpha)}{0{,}5 * W_к}, \quad (3)$$

где $L_{пк}$ – пиксельное расстояние, измеряемое в пикселях, $W_к$ – полная ширина кадра в пикселях. Эту формула реализована в программе. При этом величины угла расхождения объектива и дальности до поверхности будут задаваться оператором через графический интерфейс.

Программы измерения

Блок-схема реализованного модуля показана на рисунке 5. На ней показана логика работы модуля. Вызов подпрограммы измерения осуществляется при каждом обновлении интерфейса при условии, что модуль включен. Включается модуль в слоте, вызываемом по сигналу нажатия кнопки «Включить режим измерения».

При вызове подпрограммы захват новых изображений останавливается, видеопоток «ставится на паузу». Это сделано для большего удобства измерения. Последнее захваченное изображение передается в подпрограмму.

Далее происходит проверка выбора пользователем первой точки измерения. Выбор происходит кликом по изображению на экране. При клике генерируется сигнал, поступающий в слот обработки клика по дисплею. Эта подпрограмма получает и

сохраняет координаты точки клика. Наличие таких сохраненных координат и провеет подпрограмма измерения.

Если клик по экрану имел место, то программа извлекает координаты клика и отрисовывает метку по месту клика. Если нет – то подпрограмма выходит, возвращая измененный кадр с отрисованными метками в UpdateGUI для вывода на экран.

Далее проверяется, была ли выбрана вторая точка для измерения, аналогично с первой. Если нет – то выход из подпрограммы, если да – отрисовывается метка и линия между метками. Далее производится вычисление пиксельного расстояния между этими точками. Вычисление производится как стандартное определение расстояния между двумя точками с известными координатами:

$$L = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}\,, \qquad (4)$$

где X_1, Y_1, X_2, Y_2 – пиксельные координаты соответственно первой и второй точек.

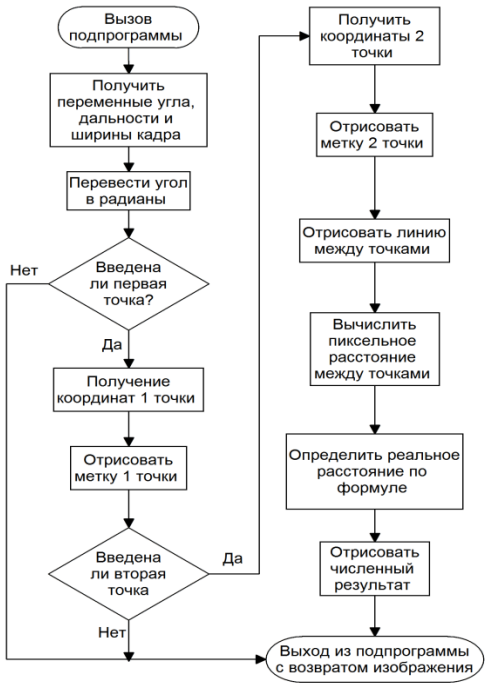

Рис. 5. Блок-схема модуля измерения

Постановка задачи сшивки фотомозаики

Вторая задача – сшивка пяти кадров обломков судна, сделанных бортовой камерой, в фотомозаику (рисунок 6).

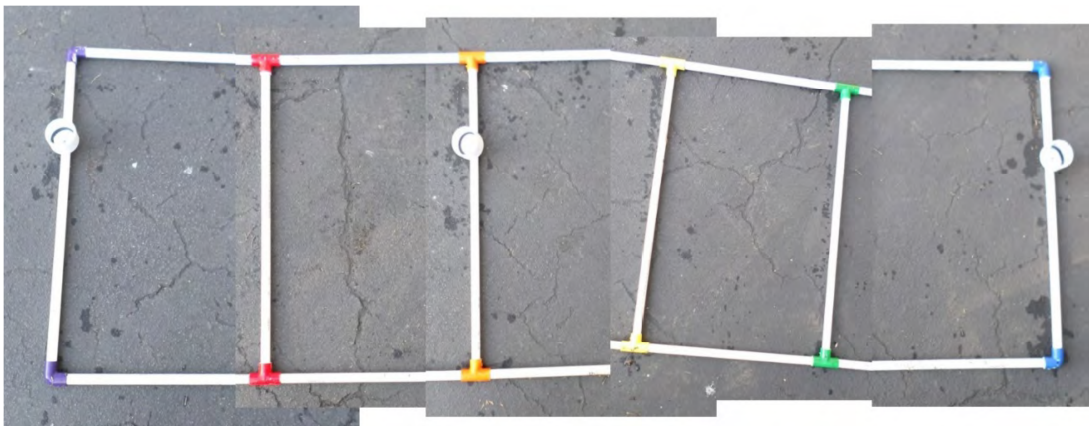

Рис. 6. Пример полученной фотомозаики

Задача – реализовать программный модуль, на вход которого последовательно поступает пять изображений, а так же текущее изображение из видеопотока. Модуль должен отрисовывать на текущем изображении интерфейсные метки для оператора. По нажатию на кнопку «Сшить» модуль должен сшить поступившие изображения в фотомозаику. На выход модуль должен выдавать изображение с нанесенными на него метками, а также сохранять полученную фотомозаику на диск.

Разработка подпрограммы сшивки фотомозаики

Для реализации сшивки фотомозаики воспользуемся средством OpenCV – классом Stitcher. Этот класс реализует сложный конвейер сшивки, включающий в себя множество действий над поступившими изображениями, такие как компенсация сдвигов, масштаба, баланса белого, компенсация искажений объектива, свертка изображений, коррекция швов.

После передачи настроек в класс, вызывается его функция Stitch. На нее подается вектор с кадрами. Если сшивка пройдет неудачно, функция вернет на вывод программы номер и описание ошибки, а так же очистит вектор с кадрами. Если сшивка пройдет успешно, то функция выдаст новую картинку Frame Stitched. Далее эта картинка сохраняется на диск, и вектор с кадрами так же очищается от кадров, готовясь к новой сшивке.

Для проведения испытаний на дне бассейна были размещены конструкции донного оборудования, повторяющие по своим параметрам используемые в соревнованиях. Фотографии испытаний представлены на рисунках 7 и 8. Следует рассмотреть подробнее функционирование программы в условиях испытаний.

На рисунке 16 представлен кадр, сохраненный непосредственно из модуля измерения с помощью разработанного графического интерфейса пользователя. На этом

кадре видно нанесенную масштабную сетку и измерение длины квадрата, лежащего на платформе с кружками, с помощью инструмента графического интерфейса «Линейка». Видно, что модуль определил длину стороны квадрата как 50 сантиметров, что точно соответствует действительности. Функционирование модуля подтверждено испытаниями.

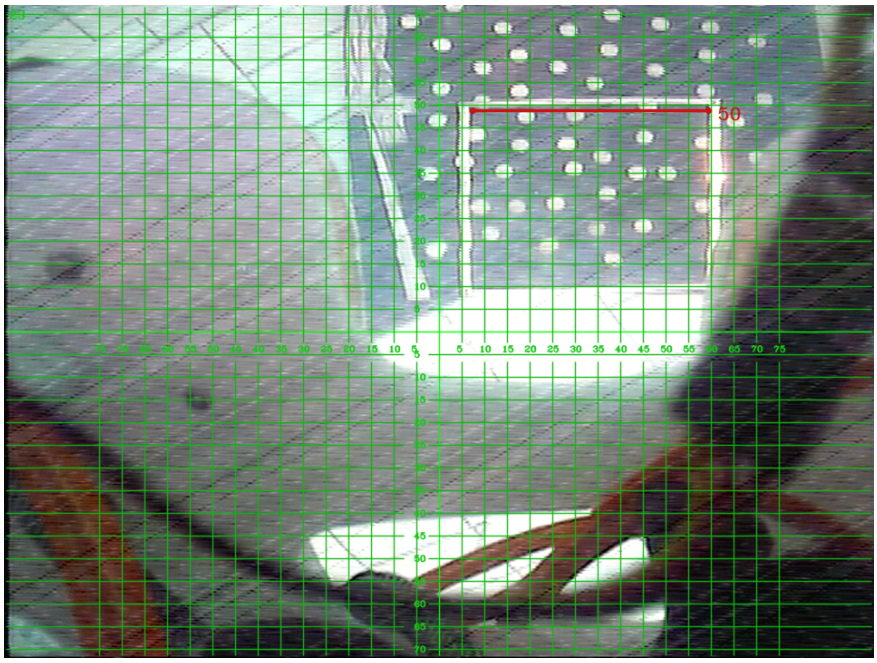

Рис. 7. Работа модуля измерения на испытаниях

Рис. 8. Сшитая фотомозаика на испытаниях

Выводы

В результате проделанной работы была разработана система технического зрения аппарата «Акватор-4».

Были выбраны и закуплены компоненты аппаратной части системы. Компоненты были установлены на аппарат. Было выбрано программное обеспечение для разработки и отладки. Произведена разработка программного обеспечения СТЗ, проведена его отладка. Были произведены испытания СТЗ в условиях, имитирующих реальные. Во время испытаний с помощью системы были выполнены конкурсные задачи.

Результаты испытаний показали, что разработанная СТЗ требует доработки. Требуется переработать канал связи между аппаратом и берегом, а также доработать программное обеспечение СТЗ с целью обеспечить надежную работу модуля сшивки. Несмотря на это данная система выполнила свое назначение на соревнованиях MATEC 2014,что стало одним из основных факторов попадания команды МГТУ им. Н.Э. Баумана в тройку лидеров.

Заключение

В данной работе был проведен анализ проектной эволюции соревнований MATEC и инженерной эволюции разработок УНМЦ «Гидронавтика» на типичных примерах проектирования АДК и СТЗ для ТНПА « Айсберг» и «Акватор – 4» в соревновательных целях.

Список литературы

[1]. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. 780 с.

[2]. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. М: Моркнига, 2012. 506 с.

[3]. Северов С.П. Инновационные технологии профессиональной подготовки инженеров подводной робототехники и морской индустрии в России // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. № 10. 2011. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/233419.html (дата обращения 21.10.2015).