



Бортовые вычислительные сети автономных подводных роботов

Александр Инзарцев, Олег Львов

В статье рассматриваются программные и аппаратные архитектуры систем управления многоцелевыми автономными подводными роботами. Показаны особенности аппаратной организации бортовой локальной вычислительной сети. Сформулированы основные критерии выбора бортового компьютера, в соответствии с ними обосновано применение одноплатных компьютеров формата PC/104 фирмы Lippert. Описана программная среда управления, использующая возможности ОС реального времени QNX; представлены состав и назначение каждого из уровней программного обеспечения.

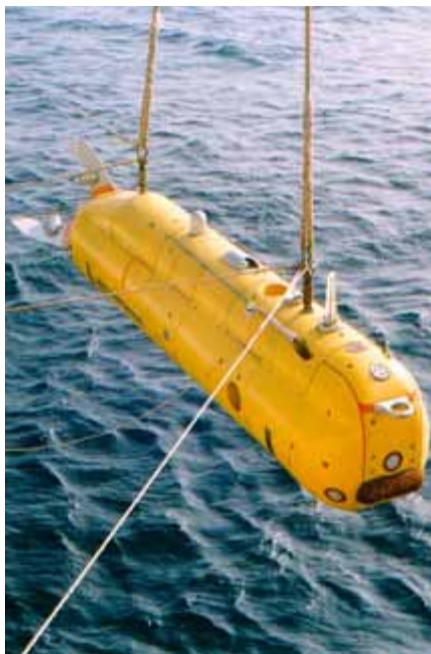
ВВЕДЕНИЕ

Разработка автономных подводных роботов (АПР) является одним из направлений деятельности Института проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН) [1]. Если отвлечься от экзотических случаев использования АПР (например, обследования склонов подводных вулканов на больших глубинах), то основная область применения подводных аппаратов приходится на морские районы, имеющие хозяйственное значение. Это, в первую очередь, шельфовые зоны (нефтегазовые месторождения, объекты марикультуры) и районы с глубинами до 2 км (рыболовство и крабоволовство).

АПР применяются для обследования морского дна, сбора океанографической информации с целью планирования маршрутов прокладки подводных коммуникаций, для инспекции и обслуживания подводных трубопроводов, кабелей и связанных с ними сооружений. Сбор информации предполагает обзор дна в районе предполагаемого выполнения работ и связан с изучением вопросов батиметрии, состава и строения морского дна, сейсмологии, наличия течений, а также с выявлением локальных особенностей приливов и отливов. Обзор включает съёмку рельефа дна посредством батиметрического локатора и гидролокато-

ра бокового обзора (ГБО), а также исследование характера грунта с помощью профилографа.

Задачами для инспектирования являются прослеживание и уточнение местоположения трубопровода или кабеля, оценка состояния и обнаружение повреждений, обнаружение утечки транспортируемых веществ и выявление других нештатных ситуаций, например появления затонувших или намеренно установленных объектов ря-



Модернизированный АПР МТ-98 перед погружением для выполнения поисково-спасательных работ

дом с коммуникациями. АПР при этом должен выходить к заданному объекту и уточнять его местоположение с относительно большой точностью (не менее 5 метров).

Широкое применение АПР получили в спасательных и поисковых операциях. При проведении обзорно-поисковых операций АПР должен двигаться по строго заданной сети траекторий, покрывающей район поиска. Смещение относительно заданной траектории может привести к тому, что некоторые участки дна в районе поиска будут пропущены.

Для решения указанных задач АПР должен быть оснащён системой технического зрения (СТЗ), включающей видеосистему, гидролокаторы бокового и переднего (секторного) обзора, акустический профилограф, а также магнитометрические и электромагнитные датчики. На основе получаемой информации СТЗ должна выделять трубопровод или кабель, а система управления (СУ) — обеспечивать движение вдоль указанного объекта. При этом могут также использоваться датчики для определения концентрации различных примесей в воде.

К этим задачам тесно примыкает задача экологического мониторинга водной среды в районах прокладки нефтепроводов или нефтегазовых промыслов, которая предполагает регулярный анализ воды на наличие нефте-

продуктов, метана и других примесей. На аренду судов для осуществления мониторинга ежегодно тратятся огромные средства. Применение малогабаритных АПР (рис. 1) позволяет использовать для этих целей маломерные суда, а в некоторых случаях — и вовсе обойтись без них, работая с берега.

Эффективность использования АПР по сравнению с другими (буксируемыми) системами достигается за счёт его маневренности и точности движения по маршруту и возрастает с увеличением глубины проводимых работ. Например, опыт подводных работ АПР Hugin 3000 в проектах Mad Dog, Crazy Horse, Holstein и Na Kika показал, что по сравнению с использованием буксируемой системы затраты снижаются на 40–60% [2].

Резюмируя сказанное, можно перечислить требования, предъявляемые к системам АПР при решении перечисленных задач:

- система управления движением должна обеспечивать минимальное рысканье по курсу и дифференту (особенно при осуществлении съёмки с помощью ГБО), а также движение на

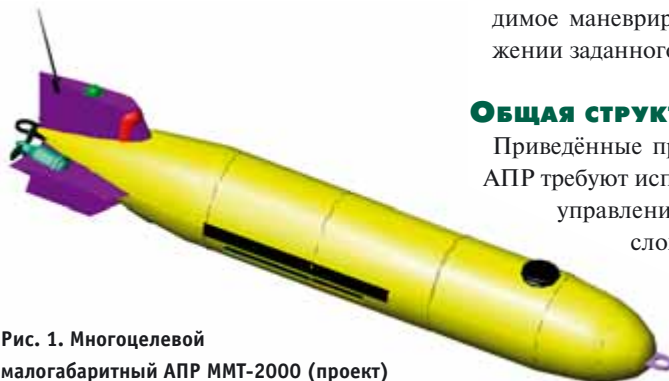


Рис. 1. Многоцелевой малогабаритный АПР ММТ-2000 (проект)

заданном отстоянии от грунта или заданной глубине;

- навигационная система должна позволять двигаться по маршруту, выходить к заданному объекту и определять местоположения объекта с точностью до нескольких метров;
- система технического зрения должна обеспечивать распознавание заданных объектов (кабель, нефтепровод), находящихся на дне, и определение их ориентации в горизонтальной плоскости;
- система планирования поведения должна обеспечивать реализацию заданной траектории, а также необхо-

димое маневрирование при обнаружении заданного объекта.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА СУ АПР

Приведённые примеры применения АПР требуют использования системы управления, обеспечивающей сложное и адаптивное поведение. Система управления выполняет в составе АПР следующие функции:

- организует работу бортовой аппаратуры в соответствии с заданием;
- контролирует состояние бортовых устройств и корпусной системы АПР, а также условия внешней среды для обеспечения безопасности робота под водой;
- осуществляет сбор и накопление информации;
- производит предстартовое тестирование бортовых устройств и проверку загруженной миссии (программы задания);
- взаимодействует с судовым вычислительным комплексом поста управления АПР.

Система управления современного подводного аппарата строится на базе локальной вычислительной сети (ЛВС). В общей структуре ЛВС можно выделить базовые системы, обеспечивающие функционирование АПР как носителя аппаратуры, а также поисковые и измерительные системы (рис. 2).

Организирующим ядром базовых систем является ведущий компьютер (автопилот), обеспечивающий управление движением, контрольно-аварийные и поисковые функции. Для формирования управления используется набор пилотажных датчиков и эхолотационная система (ЭЛС), а для обеспечения безопасности служат аварийные датчики. Движение организуется с помощью движительно-рулевого комплекса. Дистанционное изменение миссии АПР может осуществляться при наличии гидроакустической системы связи. Данная система также используется для оперативного получения данных о текущем состоянии АПР. Система поиска АПР необходима для обнаружения АПР на поверхности после окончания выполнения работ.

Важную роль играет навигационная система. Точность определения координат достигается за счёт использования бортовой навигации, включающей инерциальную навигационную систе-

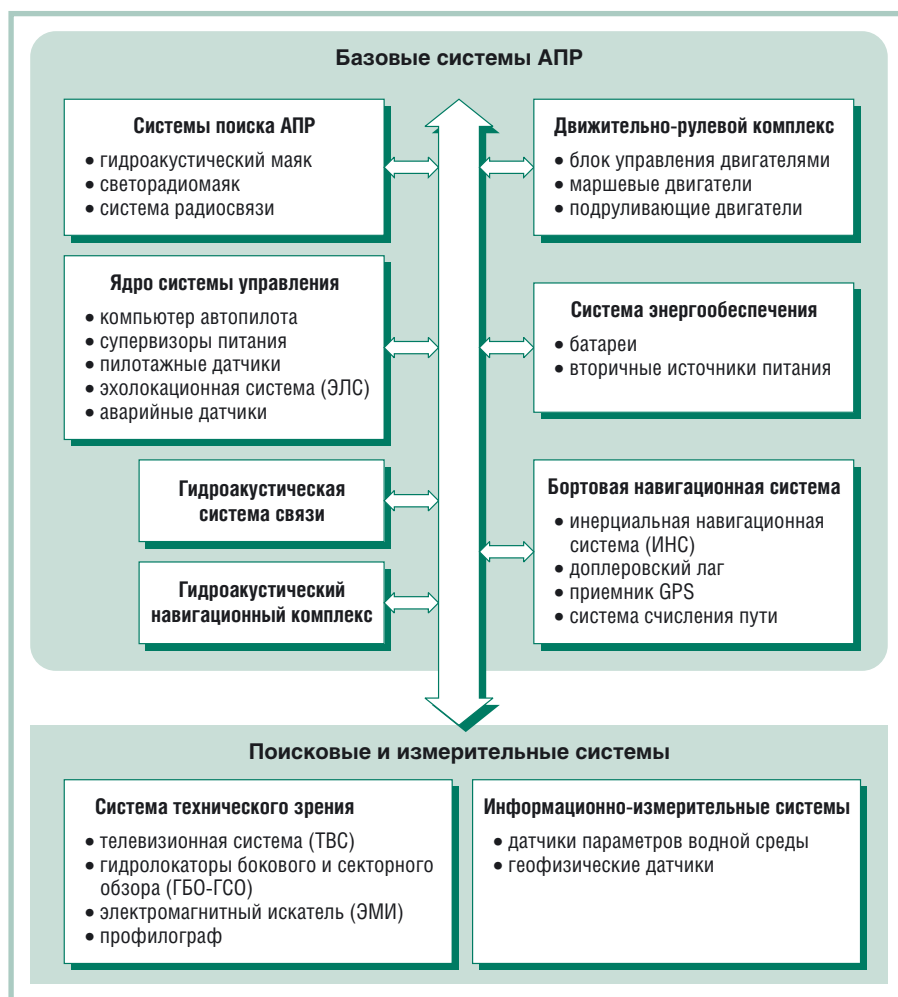


Рис. 2. Общая структура ЛВС АПР

му (ИНС) и доплеровский лаг. При работе АПР в базе гидроакустических маяков накапливающаяся ошибка счисления пути может быть ликвидирована за счёт комплексирования данных бортовой системы навигации и принимаемых на борту откликов маяков длиннотной гидроакустической навигационной системы (ГАНС-ДБ). Для этих же целей также может быть использована информация о дальностях и пеленгах, получаемая от гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой (УКБ ГАНС).

Поисковые системы, входящие в состав системы технического зрения, по способу получения данных можно разбить на несколько групп. К акустическим системам относятся высокочастотные (ВЧ) и низкочастотные (НЧ) гидролокаторы бокового и секторного обзора (ГБО и ГСО соответственно), а также профилограф. Данные устройства обычно подключаются к отдельному компьютеру для анализа, обработки и записи информации. Токпроводящие предметы могут быть обнаружены с использованием электромагнитного излучателя (ЭМИ). Обработку изображений осуществляет телевизионная система (ТВС). Помимо фото- и видеока-

мер в её состав входит компьютер, осуществляющий выделение изображений. Эти данные могут использоваться как для навигации, так и для обнаружения объектов.

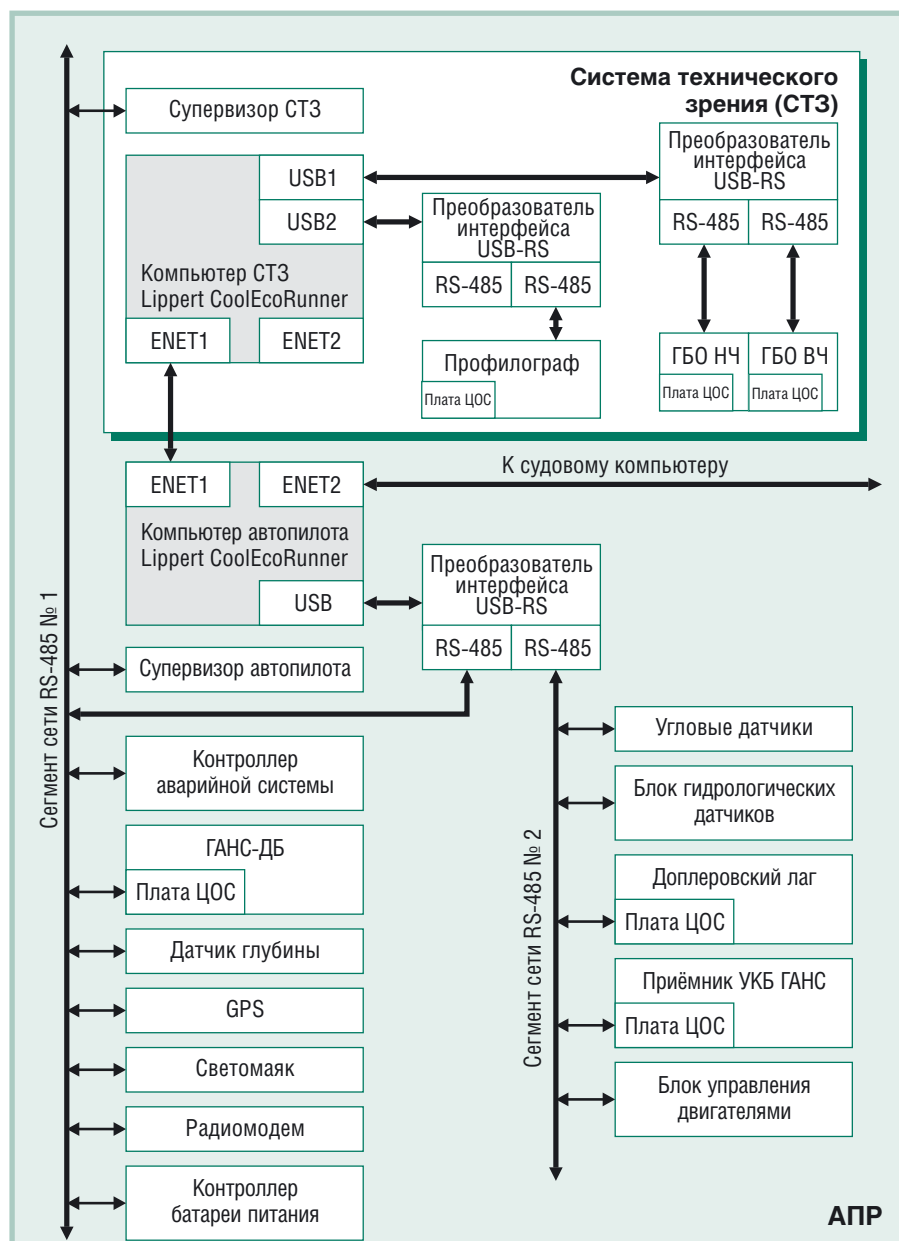
Информация от датчиков, входящих в состав информационно-измерительных систем, обычно накапливается и затем используется для построения разнообразных карт исследуемой акватории (экологических, геофизических и т.п.). При необходимости эта информация может быть использована в реальном времени, например для оконтуривания роботом места загрязнения или участка с аномальной температурой.

ЛВС АПР создаёт единую структуру, состоящую из компьютеров автопилота, системы технического зрения, а также различных бортовых устройств, функционирующих на базе микроконтроллеров различных типов. Сеть обеспечивает скоростной обмен информацией между компьютерами СУ и «прозрачный» информационный доступ любого из компьютеров к любому из бортовых устройств. Для организации сети используются как высокопроизводительные каналы обмена (Ethernet), так и относительно низкоскоростные последовательные каналы.

Аппаратная организация ЛВС АПР

Существует много общего в архитектуре и аппаратном обеспечении ЛВС АПР и малых космических аппаратов [3]. Однако в большинстве случаев для АПР нет необходимости в многократном резервировании систем. Во-первых, это значительно увеличивает стоимость СУ АПР. Во-вторых, АПР, в отличие от космических аппаратов, в случае выхода из строя системы управления всплывает на поверхность и может быть восстановлен. Поэтому для АПР вполне достаточно наличие развитой системы диагностики, которая принимает адекватные решения об изменении (упрощении) или завершении миссии робота. Аппаратное резервирование бортовых устройств АПР необходимо прежде всего для систем обеспечения живучести и поиска на поверхности.

Многофункциональный АПР состоит из ряда прочных контейнеров, в которых размещаются бортовые системы и исследовательская аппаратура. Для организации информационного взаимодействия в торцах контейнеров расположены герметичные разъёмы (ГР), к которым изнутри подключают-



Условные обозначения:

ГБО НЧ — гидролокатор бокового обзора низкочастотный; ГБО ВЧ — гидролокатор бокового обзора высокочастотный; ГАНС-ДБ — гидроакустическая навигационная система длиннобазовая; УКБ ГАНС — гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой; ЦОС — модуль цифровой обработки сигнала; ENET — порт Ethernet.

Рис. 3. Структурная схема ЛВС малогабаритного АПР ММТ-2000

ся бортовые системы. Снаружи ГР соединены между собой внешними (забортными) электрическими цепями, образуя таким образом вычислительную сеть робота. Выбор конкретной топологии сети связан с конструктивными ограничениями (габариты АПР, заданный объём прочных контейнеров), лимитированным количеством электрических выводов в ГР, а также требованиями к обеспечению надёжности и живучести АПР. Например, АПР должен по возможности сохранять работоспособность в случае попадания забортной воды в отдельные контейнеры.

С точки зрения обеспечения требуемой надёжности, топология ЛВС типа «звезда» для подводных аппаратов наиболее предпочтительна. Однако для многоцелевого АПР, начинённого большим количеством бортовых систем, принцип централизации, заложенный в основу «звезды», накладывает ограничение на количество узлов, подсоединённых к концентратору сети. Это связано, в основном, с ограниченным количеством выводов герморазъёмов прочного контейнера, содержащего концентратор. Альтернативой такому решению может быть подключение всех бортовых устройств к еди-

ному последовательному каналу обмена. При этом количество забортных цепей радикально сокращается, однако выход из строя одного контроллера связи может в некоторых случаях парализовать работу всей сети.

Компромиссным решением является организация взаимодействия по двухпроводной линии обмена типа RS-485, образующей сегмент, который подключается через преобразователь RS-485/RS-232 или RS-485/USB к стандартному последовательному порту бортового компьютера. Таких сегментов, группирующих бортовые устройства по функциональным признакам и интенсивности взаимодействия, может быть несколько. Таким образом, организация взаимодействия бортовых устройств с центральным компьютером АПР по стандартному последовательному каналу обмена создаёт предпосылки к выделению компьютера в физически законченный функциональный модуль с ограниченным числом внешних связей. Благодаря использованию стандартного последовательного канала обмена разработка бортового компьютера становится инвариантной к выбору конкретной процессорной платформы.

Комбинирование последовательных каналов обмена в АПР приводит к созданию гибридных информационных структур управляющих систем, сочетающих в себе свойства топологий «звезда» на базе интерфейсов Ethernet-TP, USB, RS-232 и «магистраль» на базе интерфейсов RS-485, CAN. Использование подобных каналов связи позволяет наладить эффективное межпроцессорное взаимодействие и при необходимости осуществлять обмен большими массивами данных в режиме реального времени. В качестве примера гибридной архитектуры приведена структурная схема ЛВС разрабатываемого малогабаритного аппарата ММТ-2000 (рис. 3).

Обработка информации таких бортовых устройств, как видеосистема, обзорные и батиметрические гидролокаторы и т.п., требует применения скоростных вычислителей и накопителей информации с объёмом памяти несколько десятков гигабайтов [4], которые представлены накопителями на жёстких магнитных дисках (НЖМД) электромеханического типа и твердотельными флэш-дисками различного исполнения. Требуемая надёжность применения НЖМД в составе борто-

вой аппаратуры обеспечивается выбором накопителя с одним номиналом питающего напряжения, а также использованием нагревательного элемента и специальных амортизаторов.

При компоновке бортовой аппаратуры в разработках ИПМТ ДВО РАН широко применяется унифицированный модуль цифровой обработки сигналов (ЦОС), созданный на базе сигнального процессора [5]. Плата ЦОС предназначена для обработки сигналов в режиме реального времени и может быть основой

для разработки бортовых систем АПР, таких как гидролокаторы, устройства акустической навигации, управления двигателями и т.п.

В состав платы ЦОС входят (рис. 4):

- сигнальный процессор ADSP-218x/L/M/N с фиксированной точкой и производительностью до 80 миллионов команд в секунду;
- микроконтроллер ATMEL ATmega16L, который используется для организации взаимодействия сигнального процессора с бортовым последовательным каналом обмена RS-485, обеспечивая передачу данных со скоростью до 1 Мбод;
- двухканальный сигма-дельта АЦП-ЦАП AD7729 с частотой дискретизации до 200 кГц.

На плате предусмотрено место для размещения электронных схем обслуживаемого платой устройства (рис. 5).

Для решения задач нижнего уровня (сопряжение с датчиками, управление исполнительными устройствами) применяются микроконтроллеры с различной степенью функциональной интеграции, производительностью, объемом встроенной памяти.

Модули вторичных преобразователей напряжения питания, как гальванически изолированных, так и без изоляции, позволяют реализовать концепцию распределённого питания систем АПР непосредственно от бортовой батареи. Для питания бортового компьютера применяются DC/DC-преобразователи NFC15-48S05 и CXA20-48S05 фирмы Artesyn Technologies, а для питания бортовых устройств с цифровой обработкой сигналов —

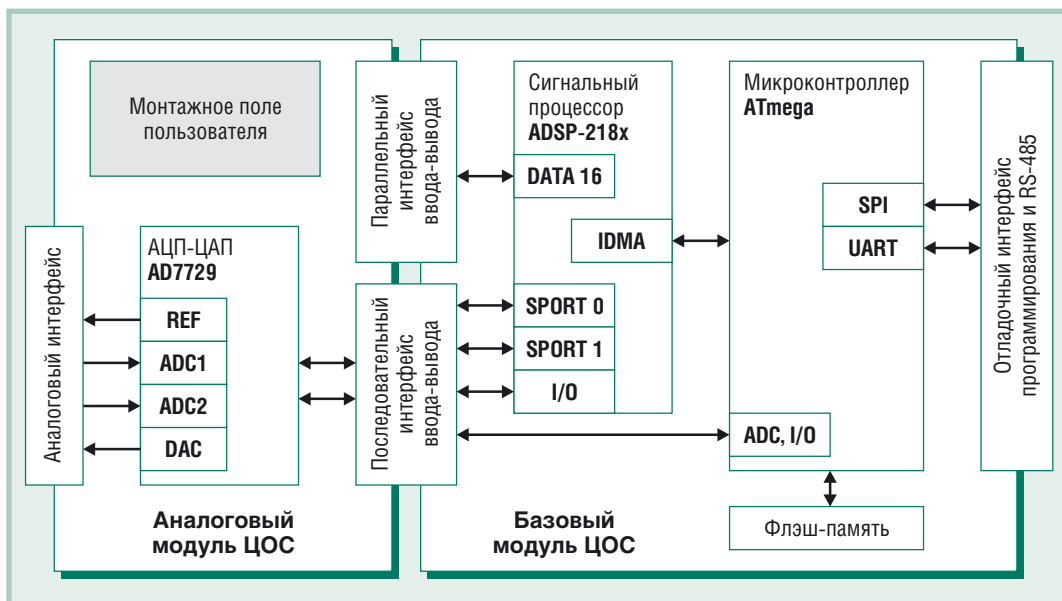


Рис. 4. Структурная схема платы ЦОС

DC/DC-преобразователи Трасо TEN 4-2411. Все перечисленные преобразователи подтвердили свою высокую надёжность.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ БОРТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

При построении ядра системы управления АПР важен выбор одноплатных бортовых компьютеров (ОК). Условия эксплуатации и практический опыт разработки АПР в ИПМТ ДВО РАН позволяют сформулировать основные требования к выбору ОК и его комплектующих при создании новых и модернизации существующих роботов [4, 6].

Малые габариты важны для минимизации объема устройства с целью оптимального размещения в стандартных прочных контейнерах с внутренним диаметром (D) 150 мм и длиной (L) 400 мм. Приведём размеры малогабаритных одноплатных компьютеров, соответствующих различным промышленным стандартам:

- 114×124 мм для плат MicroPC;
- 146×102 мм для плат формата Biscuit 3,5" (сопоставимы с размерами 3,5" НЖМД для ПК);
- 90×96 мм для плат PC/104.

Пониженное энергопотребление улучшает тепловой режим работы бортового компьютера и повышает в целом надёжность устройства. Центральный процессор как наиболее энергоёмкое устройство бор-

тового компьютера должен эксплуатироваться в заданных условиях с пассивным охлаждением (основной теплоотвод — через радиатор). Питание желательно напряжением одного номинала, например +5 В.

Условия эксплуатации определяют в качестве основных требования по устойчивости к температурным изменениям, влажности, ударам и вибрации:

- расширенный диапазон рабочих температур –20...+70°C, функционирование в замкнутом объёме, напряжённый тепловой режим (опыт эксплуатации двух бортовых компьютеров Octagon Systems 5066 с процессором AMD 5x86/133 МГц в контейнере с внутренним диаметром 230 мм показал, что перегрев процессора — температура замерена на радиаторе — по отношению к температуре внешней среды может составлять 50...55°C);
- повышенная влажность до 95% без конденсации влаги (оперативный ремонт в морских условиях);
- вибрация/удары до 5/20g.

Функциональная завершённость достигается интеграцией на одной плате



Рис. 5. Внешний вид конструкции платы ЦОС

всех необходимых узлов, что уменьшает габариты устройства, количество разъёмов и, как следствие, повышает его надёжность. В состав ОК должны входить следующие функциональные узлы:

- интерфейсы жёсткого (EIDE) и гибкого магнитных дисков;
- оперативная память не менее 128 Мбайт;
- скоростной канал обмена Ethernet 10/100Base-T для передачи большого объёма накопленной информации с целью организации оперативного анализа;
- интерфейс для ввода в реальном времени больших объёмов данных (параллельный порт LPT или шины ISA, PCI);
- последовательные порты RS-232 и USB для подключения двухпроводной ЛВС;
- программируемый сторожевой таймер;
- часы реального времени с автономным питанием от литиевой батареи;
- интерфейс PS/2 клавиатуры и мыши для наладки компьютера.

Актуальна также поддержка ОС QNX.

Кроме того, ОК должен обладать **ремонтпригодностью** и иметь **надёжность**, характеризующуюся средним временем безотказной работы (MTBF) не менее 100000 часов.

Перечисленным требованиям в максимальной степени удовлетворяют одноплатные компьютеры формата PC/104 или PC/104+, среди которых в силу низкого энергопотребления выделяются компьютеры серий CoolRoadRunner, CoolSpaceRunner и CoolEcoRunner фирмы Lippert. Данные ОК, в основном различающиеся периферийными узлами, находят применение во многих практических приложениях, например [7], и хорошо вписываются в используемые в ИПМТ ДВО РАН типоразмеры прочных контейнеров. Так, модуль бортового компьютера (рис. 6), состоящий из ОК Lippert CoolSpaceRunner-II, платы 2,5" НЖМД с нагревательным элементом, платы DC/DC-преобразователя и супервизора питания (выполняет функции коммутации цепей питания бортовых устройств, контроля напряжения питания и температуры НЖМД), имеет диаметр 150 мм и длину 60 мм. Представленный модуль был применён на мо-

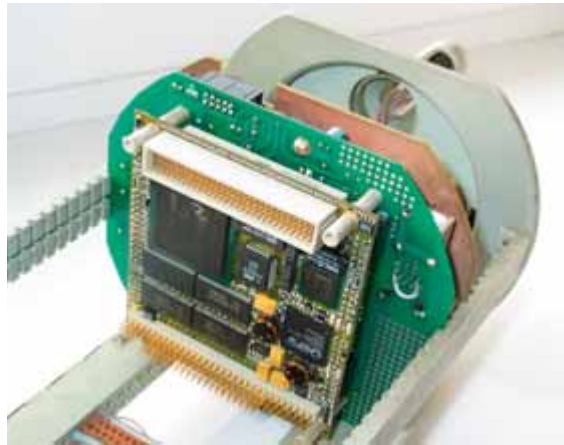


Рис. 6. Модуль бортового компьютера, выполненного на базе ОК Lippert CoolSpaceRunner-II, в шасси системы технического зрения модернизированного АПР МТ-98

дернизированном АПР МТ-98 для накопления и обработки изображений, поступающих в реальном масштабе времени от цифровой фотокамеры.

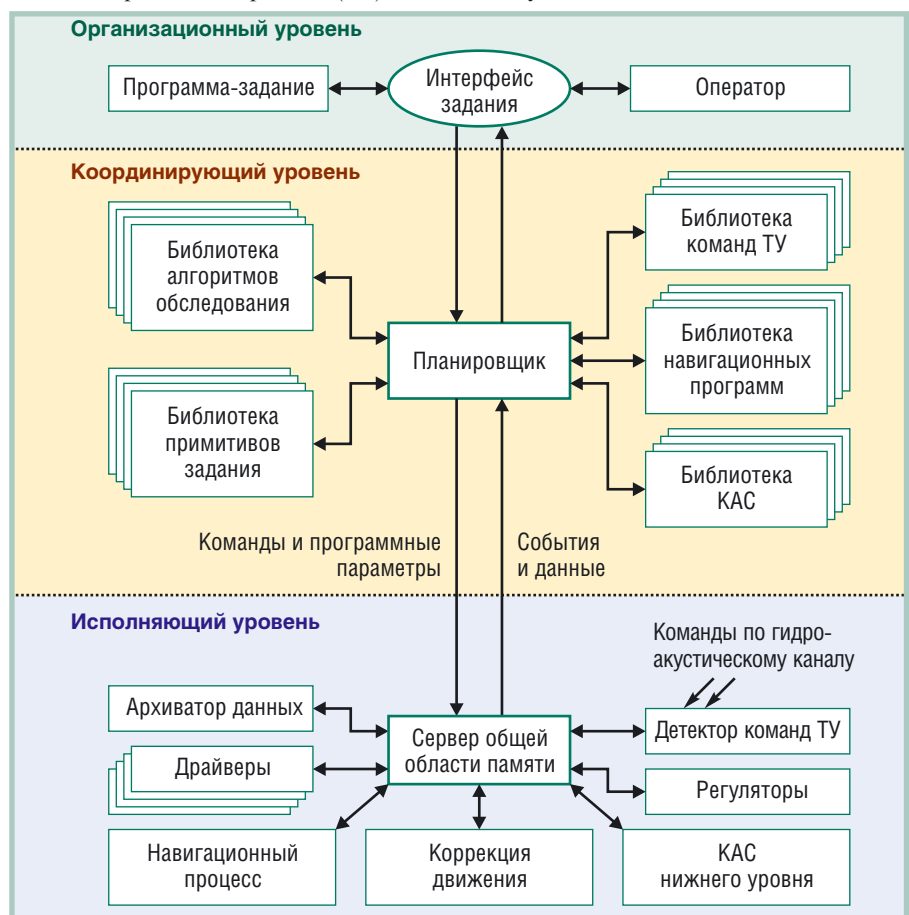
РАСПРЕДЕЛЁННАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА УПРАВЛЕНИЯ

Описанная аппаратная организация находит своё отражение в программном обеспечении (ПО) СУ. Распределённая структура СУ требует применения ОС реального времени (РВ) с се-

тевой поддержкой. Основные критерии выбора операционной системы для АПР подробно рассматривались в [1]. В наибольшей степени перечисленным ранее характеристикам и требованиям удовлетворяют ОС РВ семейства UNIX. В частности, в АПР ИПМТ используется ОС QNX.

Архитектура программной среды управления, применяемая в аппаратах ИПМТ ДВО РАН, ориентирована на специфику задач, решаемых АПР, поэтому должна соответствовать следующим ключевым требованиям:

- обеспечивать возможность задания и реализации основной (обзорно-поисковой) части миссии аппарата;
- обследовательские части миссии должны иметь возможность прерывать выполнение основной части и активизироваться в случае обнаружения специфицированных объектов;
- средства обеспечения безопасности робота также должны иметь возможность изменения хода миссии;
- при необходимости оператор на обеспечивающем судне должен иметь возможность вмешаться в работу АПР с использованием гидроакустического канала связи.



Условные обозначения: КАС — контрольно-аварийная система; ТУ — телеуправление.

Рис. 7. Иерархия программного обеспечения

ПО АПР имеет 3 уровня иерархии (рис. 7).

Нижний (исполняющий) уровень обеспечивает рефлекторные функции аппарата. Для этого он содержит полный набор регуляторов, драйверы бортовых устройств, а также описания процессов навигационной системы и контрольно-аварийной системы (КАС) нижнего уровня. КАС нижнего уровня должна обеспечивать безопасность АПР при непосредственной угрозе (появление воды в контейнерах, аварийное состояние бортового питания, наличие препятствий и т.п.). Эта система также содержит модель аппарата для диагностики СУ (выявления выхода из строя измерительных элементов навигационной системы или двигателей аппарата). Совместное функционирование программ нижнего уровня обеспечивает движение АПР в установленном режиме и заданную работу бортовых устройств.

Уровень реализован как множество параллельно выполняющихся процессов, обменивающихся необходимой информацией через общую область памяти. Драйверы уровня обеспечивают получение данных со всех бортовых устройств ЛВС АПР, а механизм межпроцессных взаимодействий QNX (IPC) делает возможным «прозрачный» обмен данными между подзадачами, находящимися как на одном, так и на различных узлах сети. Таким образом, драйверы бортовых устройств становятся инвариантными по отношению к изменению размещения бортовых устройств на сегментах ЛВС АПР.

Средний (координирующий) уровень служит для непосредственного управления режимами и целями нижнего уровня. Основная его задача заключается в согласовании потока команд, целей и запросов на получение данных от верхнего уровня и запросов на действия, поступающих от нижнего уровня. Обработка запросов заключается в идентификации ситуации и выборе заранее написанных правил обработки, которые составляют библиотеку обработчиков среднего уровня. Для координации действий обработчиков все они объединены в расслоенную структуру, или «управляющую структуру с подавлением» [8]. Состав структуры для каждого момента времени определяется планировщиком данного уровня.

Верхний (стратегический) уровень иерархии представлен программой-заданием (миссией), содержащей цели за-

пуска, либо человеком-оператором. Программа-задание содержит описание последовательности действий робота и режимов движения. Помимо этого, здесь также может быть описание обработки запросов нижних уровней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные программные и аппаратные решения неоднократно испытывались в морских экспедициях (в том числе и в поисково-спасательных [9]) с участием АПР [10]. В ходе экспедиций аппараты, в которых были реализованы эти решения, продемонстрировали такие характеристики, как

- высокая надёжность системы управления (время непрерывной работы ограничивается возможностями энергоустановки АПР и может составлять сутки и более);
- низкое энергопотребление;
- простота задания миссии и возможность её перегрузки по каналу радиосвязи во время нахождения аппарата на поверхности;
- высокая точность воспроизведения заданной траектории и навигационной привязки собранной информации;
- возможность осуществления поиска и обследования объектов в автоматическом режиме;
- возможность модификации миссии по гидроакустическому каналу связи (что актуально при решении поисковых задач).

Применение компьютера Lippert CoolSpaceRunner-II (300 МГц) в составе системы технического зрения позволило организовать обработку изображений, сделанных цифровой фотокамерой в реальном масштабе времени. Это дало возможность осуществлять автоматический поиск заданных объектов при движении АПР на крейсерской скорости. Кроме того, за счёт решения на единственном ОК фирмы Lippert всех задач управления (в том числе и навигационной) были снижены габариты и энергопотребление автопилота.

Использование стандартных последовательных каналов обмена и компоновка бортовой аппаратуры из стандартных модулей одноплатных компьютеров, унифицированных плат ЦОС с выходом на последовательный канал обмена и преобразователей интерфейсов RS-485/RS-232 (RS-485/USB) с функциями контроллера позволили существенно снизить сроки разработки

СУ АПР для различных типов аппаратов, особенно на этапе создания макетных образцов.

В плане дальнейшей миниатюризации АПР в ИПМТ ДВО РАН осуществляется переход с ОС QNX версии 4.25 на версию 6.3. Это позволит использовать на борту АПР не только компьютеры с архитектурой x86, но и компьютеры с предельно низким энергопотреблением, например, выполненные на базе процессора ARM. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваулин Ю., Инзарцев А. Применение ОС QNX в подводной робототехнике// Современные технологии автоматизации. — 2002. — № 3.
2. "AUV 'savings' could be \$772 million...". International Ocean Systems, 2001 Jan/Feb1:5.
3. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов// Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 4.
4. Львов О.Ю. О выборе бортового компьютера для автономного необитаемого подводного аппарата// Сб. «Морские технологии»/ Владивосток: Дальнаука, 2001. — Вып. 4. — С. 32-43.
5. Львов О.Ю., Сидоренко А.В., Хмельков Д.Б. Унифицированная плата цифровой обработки сигналов с поддержкой сетевого обмена. // Сб. «Морские технологии»/ Владивосток: Дальнаука, 2003. — Вып. 5. — С. 63-73.
6. Кругляк К. Одноплатные компьютеры для встраиваемых систем// Современные технологии автоматизации. — 2003. — № 4.
7. Грибов В. и др. Новые средства автоматизации в неразрушающем контроле рельсов// Современные технологии автоматизации. — 2004. — № 1.
8. R.A. Brooks. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot. IEEE Transactions on Robotics and Automation 1986; 2 (1).
9. Поиск и подъём вертолета Ка-27ПС. Март-апрель 2003 года. Тихоокеанский флот// Морской сборник. — 2004. — № 5. — С. 55-63.
10. Киселев Л. В., Инзарцев А. В., Матвиенко Ю. В., Ваулин Ю. В. Навигация и управление в подводном пространстве// Мехатроника, Автоматизация, Управление. — 2004. — № 11.

Авторы — сотрудники

ИПМТ ДВО РАН

Телефоны: (4232) 4326-47/74

Факс: (4232) 4324-16