



Применение ОС QNX в подводной робототехнике

Юрий Ваулин, Александр Инзарцев

В статье рассматриваются особенности применения операционной системы реального времени QNX для реализации вычислительной среды системы управления автономными подводными роботами.

Что такое АПР?

Общепризнано, что наиболее безопасным и эффективным способом исследования глубин океана является использование автоматизированных технических средств, обеспечивающих выполнение определенных работ без непосредственного присутствия человека под водой. Важную роль в этом играют автономные подводные роботы (АПР). С помощью АПР в настоящее время выполняются обзорно-поисковые работы на больших глубинах и в условиях сложного рельефа дна, подлёдные работы, прокладка оптических кабелей, обследование заполненных водой многокилометровых тоннелей, водоводов и многое другое. Выполнение этих работ с помощью других средств крайне затруднительно или просто невозможно.

АПР представляет собой автоматический самоходный носитель исследовательской аппаратуры, способный погружаться в заданный район океана на предельные глубины, двигаться по заданной траектории, выполнять требуемые работы и по окончании программы возвращаться на обеспечивающее судно или береговую базу. В качестве исследовательской аппаратуры на носителе обычно устанавливаются измерители параметров среды, фотовидеоаппаратура, обзорные гидролокаторы, геофизическая аппаратура (магнитометр, акустический профилограф, гравиметр).

Основным режимом работы АПР является движение на небольшом расстоянии от дна (от 1,5 до 10 метров) с выполнением необходимых измерений. Система управления (СУ) в совокупности с эхолотационной системой обеспечивает движение в условиях достаточно сложного рельефа дна (например, на склонах гайотов — подводных вулканических гор) со средним уклоном 40–50 градусов.

АПР работает под водой автономно, без связующего кабеля. Время непрерывной работы под водой зависит от типа аппарата и его энергоисточника и может составлять от единиц до нескольких десятков часов и даже суток.

В настоящее время в АПР размещаются достаточно мощные вычислительные системы. В круг задач, решение которых потенциально возможно с помощью АПР, вошли обследовательские работы, инспекция протяженных объектов (подводных трубопроводов, кабелей), мониторинг океана, геологоразведка, спасательные операции и др.

Особенности вычислительной системы АПР

Традиционно автономные подводные роботы Института проблем морских технологий (ИПМТ) Дальневосточного отделения (ДВО) РАН проектируются для работы на максимальных глубинах, что находит отражение в их механической конструкции. Бортовая электроника размещена в прочных контейнерах диаметром около полутора десятков сантиметров, электрически связанных между собой. Это обстоятельство серьезно ограничивает размеры конструктивов для размещения бортовых процессоров и контроллеров. В зависимости от назначения и размеров АПР состав СУ может меняться и содержать от одного до нескольких процессоров, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС). Для передачи большого количества информации во время работы используется бортовая сеть Ethernet, а для связи с бортовыми специализированными контроллерами — канал двунаправленной последовательной передачи данных RS-485.

ЛВС АПР строится, как правило, из готовых процессорных модулей промышленного назначения. В качестве базовой в настоящее время выбрана архитектура x86 (в первую очередь из-за относительной дешевизны и распространенности соответствующих процессоров), а в качестве изготовителей — фирмы Octagon Systems и WinSystems. Выбор объясняется небольшими размерами процессорных модулей данных фирм.



Автономно-привязной подводный аппарат TSL перед погружением

ТРЕБОВАНИЯ К ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Особенности СУ АПР определяются мощностью используемых процессоров, условиями их функционирования, а также характером решаемых задач. После проведения анализа среди большого числа современных операционных систем реального времени (ОС РВ) в качестве базовой системы была выбрана QNX.

При выборе операционной системы для ЛВС АПР принималось во внимание множество факторов. Рассмотрим некоторые из них.

Минимальные требования ОС к вычислительным ресурсам

Одно из основных требований к ЛВС АПР — минимальный уровень используемых вычислительных ресурсов. Данное требование имеет под собой следующие основания:

- 1) необходимость рассеяния тепла в замкнутом объеме при отсутствии конвекции не позволяет использовать мощные процессоры;
- 2) для того чтобы увеличить время непрерывной работы АПР, требуется минимизировать энергозатраты, в том числе за счет меньшего потребления СУ (это требование особенно важно для аппаратов с малой ёмкостью энергисточника);
- 3) косвенной экономии электроэнергии можно добиться за счет выбора меньших габаритов прочных контейнеров для размещения процессоров, что влечет за собой уменьшение затрат на движение и, следовательно, увеличение автономности АПР;
- 4) маломощные микрокомпьютеры имеют существенно меньшую стоимость.

Из перечисленного в пунктах 1-4 следует:

- а) сравнительно небольшой размер оперативной памяти таких микрокомпьютеров (единицы мегабайт);
- б) их невысокая производительность.

Обладая быстродействующим микроядром, ОС QNX полностью удовлетворяет этим требованиям.

Поддержка распределенных вычислений

В зависимости от назначения АПР система управления может иметь ЛВС различной конфигурации. Требуется обеспечить простоту взаимодействия подзадач, выполняющихся на различных процессорах. Кроме того, при сме-

не оборудования отдельные устройства могут переключаться с одного процессора на другой, что должно гибко отслеживаться системой управления. QNX благодаря встроенному механизму IPC обеспечивает «прозрачное» взаимодействие процессов, динамически размещаемых в различных узлах сети.

Поддержка модифицируемости ЛВС

СУ АПР должна легко наращиваться и модифицироваться по мере добавления к аппарату новых сенсоров или появления новых задач. QNX полностью удовлетворяет этому требованию (см. предыдущий пункт).

Поддержка механизма приоритетов и системных таймеров

Время работы разных модулей СУ различно. Время работы алгоритмов управления нижнего уровня (например, таких как управление движением) измеряется десятками миллисекунд, поэтому каждый цикл управления должен быть четко привязан к временным меткам, а рабочий цикл более высоких уровней управления может занимать секунды и даже минуты и потому не требует столь точной привязки ко времени и является фоном для задач нижнего уровня. Кроме того, немаловажное значение имеет такой параметр, как время переключения контекста задач (желательно, чтобы оно было минимальным). QNX обеспечивает поддержку 32 приоритетов задач, а время переключения контекста минимально среди всех известных нам ОС РВ.

Надежность и предсказуемость системы

Поскольку АПР функционирует автономно и вмешательство оператора во время выполнения задания невозможно,

то надежность системы имеет определяющее значение. По опыту нашей работы с другими операционными системами QNX обладает этими свойствами в наибольшей мере.

Простота реализации и широта использования

СУ должна быть реализована существующими средствами программирования на доступных в АПР вычислительных ресурсах. Поставляемая с QNX среда разработки обеспечивает реализацию любой управляющей системы реального времени. Имеется опыт построения СУ АПР на единственном процессоре i386 с ОЗУ 4 Мбайт; при этом полностью поддерживаются все возможности QNX, включая графический интерфейс оператора.

Первоначально в разработках ИПМТ ДВО РАН использовалась ОС QNX 4.11, а в настоящее время — QNX 4.25E. В качестве средств разработки применяются Watcom C 10.6 и Application Builder 1.14. Используемая первоначально графическая оболочка QNX Windows затем была заменена на Photon.

QNX В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ АПР

ОС QNX с успехом применяется в различных типах АПР. Далее описаны особенности использования.

АПР МТ-98

Аппарат предназначен для работы на глубинах до 6000 м и ориентирован на использование в условиях сложного рельефа (рис. 1). Он имеет движительную установку, обеспечивающую произвольные режимы движения (в том числе движение боком, зависание и

т.п.). При перемещении вблизи препятствий используется многоканальная эхолотная система, позволяющая различать препятствия впереди по ходу движения, а также контролировать положение аппарата относительно дна в диапазоне высот от 0,8 до 50 м.



Рис. 1. Автономный подводный робот МТ-98

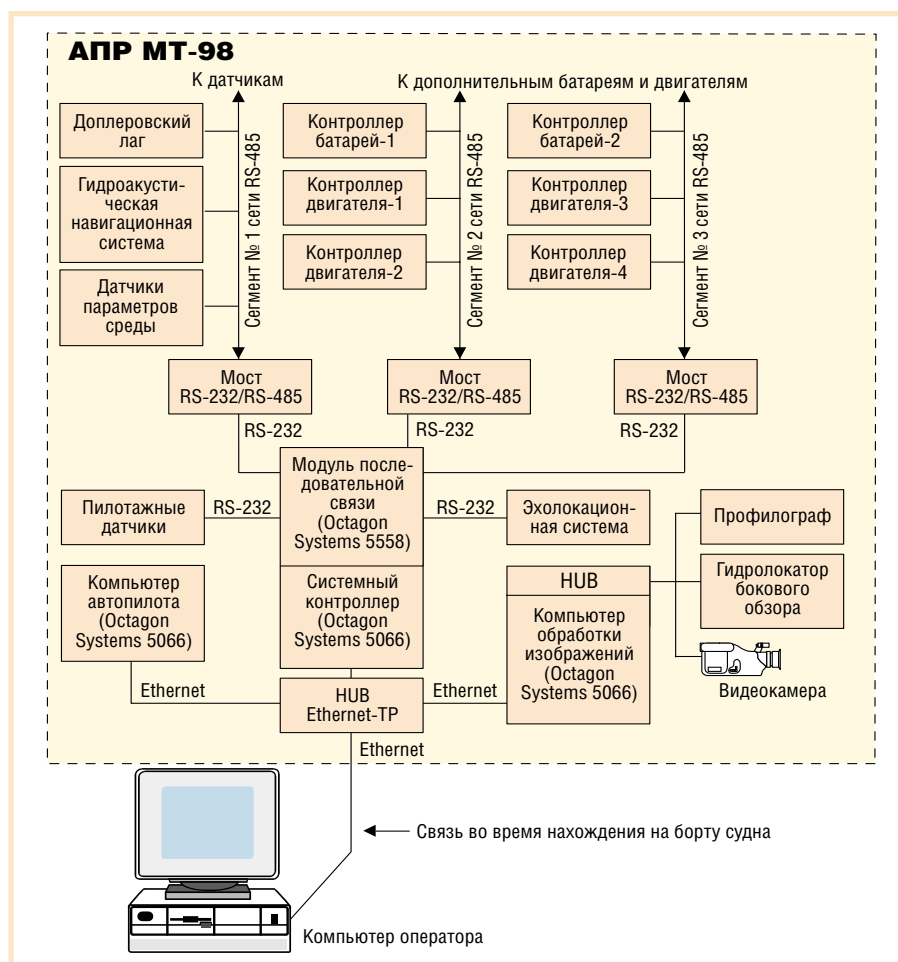


Рис. 2. Структура системы управления АПР МТ-98

Для слежения за работой АПР под водой используется гидроакустическая навигационная система. Кроме того, эта же система позволяет осуществлять супервизорный контроль работы АПР (ограниченную коррекцию выполняемой миссии). При нахождении аппарата на поверхности для связи применяется радиомодем. С его помощью можно получить по радиоканалу ключевые наборы данных для анализа, загрузить новую миссию, управлять перемещением аппарата по поверхности воды. Источником питания являются аккумуляторы, обеспечивающие около 20 часов эффективной работы в погружённом состоянии. Вес аппарата составляет примерно 1000 кг и зависит от оснащения дополнительной аппаратурой.

Система управления состоит из нескольких компьютеров на базе модулей центрального процессора Octagon 5066, выполняющих различные функции и объединенных в локальную вычислительную сеть Ethernet. Работа этой сети организуется с использованием ОС QNX. К этой же сети подключается компьютер оператора, когда АПР находится на борту судна (рис. 2). Компьютеры связаны между собой стандартным FLEET-протоколом (внутренний протокол ОС QNX), что обеспечивает высокую скорость и надёжность передачи данных. Распределенная структура СУ предполагает следующее разделение функций между компьютерами ЛВС: автопилот и системный контроллер составляют основу системы управления и обеспечивают выполнение введенного задания, координацию работы бортовой аппаратуры и контрольно-аварийные функции, а компьютер обработки изображений служит для выделения объектов и прецизионной навигации.

Характерной особенностью ЛВС МТ-98 является наличие наряду со скоростным каналом Ethernet-TP нескольких каналов обмена RS-485. На последовательных каналах размещается бортовое оборудование, оснащенное микроконтроллерами, которые обеспечивают функции предварительной обработки данных и самодиагностики, поэтому информационный обмен с ними сведен к минимуму. Оборудование группируется вокруг каналов таким образом, чтобы выход из строя одного из них не приводил к потере работоспособности всего аппарата.



Рис. 3. Солнечный АПР на поверхности во время подзарядки аккумуляторов

Солнечный АПР

«Солнечный» (использующий энергоустановку на основе солнечных батарей) автономный необитаемый подводный аппарат (САНПА) предназначен для проведения длительных многосуточных океанографических измерений в океане. В процессе выполнения программы-задания аппарат периодически всплывает на поверхность для осуществления связи с оператором посредством спутниковой системы связи Oceanographic Data Link (ODL) и сети Интернет для передачи накопленных данных и возможной модификации программы-задания. В ночное время аппарат выполняет активную часть программы-задания, а в светлое время он всплывает на поверхность для зарядки аккумуляторов от расположенных на нем солнечных панелей (рис. 3). Находясь на поверхности, аппарат определяет свои координаты с помощью GPS. Суточный пробег аппарата в средних широтах составляет 20–40 км и зависит от интенсивности солнечного излучения. Предельная рабочая глубина погружения САНПА равна 1000 м, а время непрерывной работы в режиме чередования активного цикла и цикла подзарядки аккумуляторов определяется только ресурсами ходовой части и бортовой аппаратуры.

Система управления включает экономичный IBM PC совместимый промышленный компьютер Epson CARD 486-HB и набор микроконтроллеров, связанных между собой сетью на основе канала обмена RS-485.

Бортовой компьютер выполняет функции верхнего уровня системы управления. Он также обеспечивает расчет

местоположения САНПА на основе GPS-информации и показаний датчиков бортовой системы счисления, выполняет сохранение собранной сенсорными системами аппарата информации, осуществляет информационный обмен с компьютером оператора и бортовыми микроконтроллерами. Компьютер функционирует на основе ОС QNX.

Связь бортового компьютера с компьютером оператора осуществляется с



Рис. 4. Автономно-привязной аппарат TSL

помощью радиомодема или акустического модема. При этом компьютер аппарата является удаленным узлом сети QNX. Система автоматически выбирает наиболее скоростной канал из доступных в данный момент для связи с САНПА.

Набор микроконтроллеров реализует систему управления нижнего уровня. Данная система включает систему зарядки аккумуляторов от солнечных панелей, систему энергообеспечения, блок управления маршевым двигателем и двигателями рулей высоты.

САНПА проходил испытания в заливе Петра Великого летом и осенью 2000 и 2001 годов. Во время испытаний были выполнены несколько миссий продолжительностью от 3 до 5 суток. Проблем с функционированием системы управления не возникало.

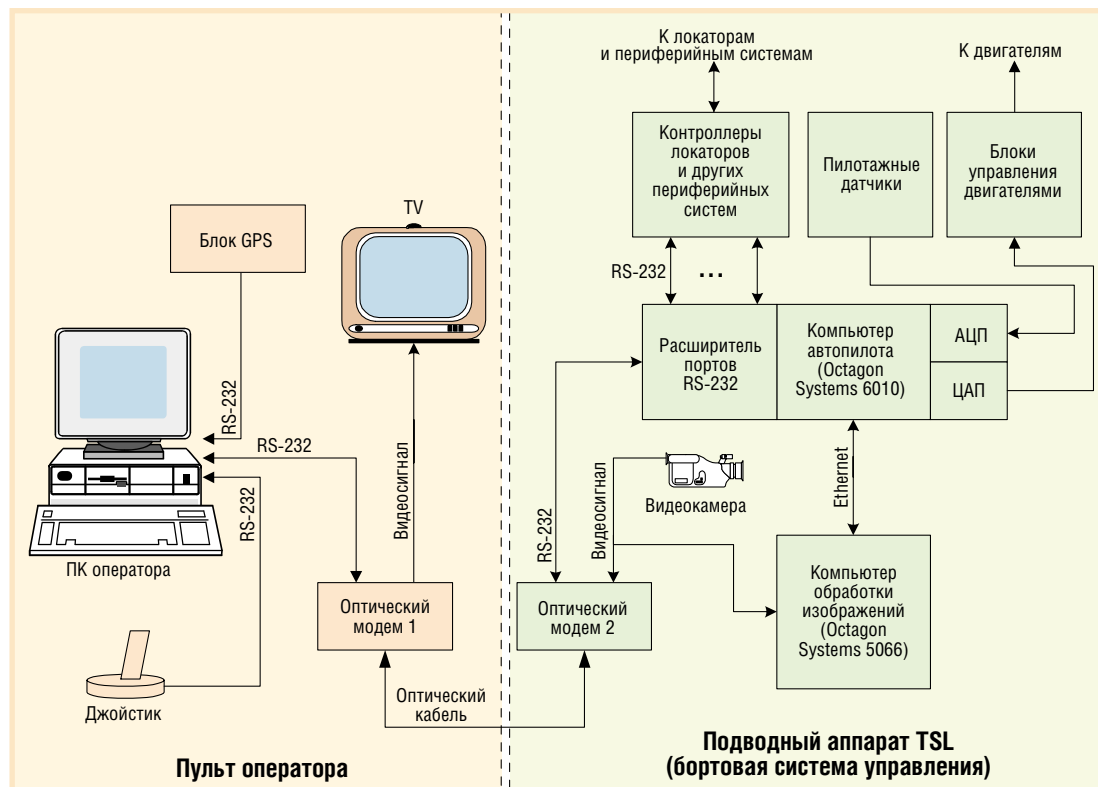


Рис. 5. Структура системы управления подводным аппаратом TSL

Автономно-привязной аппарат TSL

Подводный аппарат TSL (рис. 4) проектировался для выполнения обзорно-поисковых работ на шельфе на глубине до 200 метров, визуального обследования подводной части причальных сооружений, донных конструкций или затонувших объектов, протяженных водозаполненных тоннелей или емкостей, а также для инспектирования подводных трубопроводов.

Аппарат имеет на борту аккумуляторы и энергетически автономен. Его

«изюминкой» является способность функционировать не только в автономном, но и в супервизорном режиме, когда оператор имеет возможность управлять аппаратом и наблюдать телевизионное изображение от бортовой видеокамеры, в реальном масштабе времени. Связь между компьютером оператора и вычислительной системой аппарата TSL в этом случае осуществляет-

ся через оптоволоконный кабель (поддерживается канал обмена RS-232). Кабель располагается на специальной катушке в корме аппарата и по мере движения свободно разматывается (максимальная длина кабеля до 5 км). Управление аппаратом осуществляется командами, поступающими с пульта оператора. Следует отметить, что набор этих команд стандартизован и используется также в СУ автономных аппаратов САНПА и МТ-98.

В автономном режиме работы TSL волоконно-оптическая



Рис. 6. Примеры окон интерфейса оператора подводного аппарата TSL

связь отсутствует, а источником команд является загруженная в автопилот программа-задание.

Система управления TSL является распределенной и включает бортовую систему управления на основе автопилота и пульт управления оператора. Компьютер оператора и бортовые компьютеры объединены в сеть на базе ОС QNX (рис. 5). Обмен данными между процессами производится с использованием встроенного механизма обмена сообщениями QNX.

Ввод управляющей информации осуществляется оператором посредством разработанного для этих целей интерфейса пользователя с помощью клавиатуры, мыши или джойстика. В основном окне интерфейса пользователя выводятся данные измерений пилотажных датчиков, осуществляется ввод целевых значений параметров движения подводного аппарата, а также производится переключение режимов работы бортового оборудования. Результаты измерений отображаются в цифровом виде, а также в виде шкал, временных разверток (осциллограмм) и стрелочных указателей. Программа работает в графической оболочке Photon 1.14 и была разработана с помощью Photon Application Builder 1.14. На рис. 6. в качестве примера показано несколько окон интерфейса пользователя (оператора) подводного аппарата TSL.

TSL прошел первые морские испытания в 1994 году. В 1998 году он был модернизирован. В 1999 году TSL использовался для отладки системы автоматического отслеживания протяженных объектов на основе обработки визуальной информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОС QNX используется в ИПМТ ДВО РАН с 1994 года. Применение ОС QNX позволяет строить надежные и компактные системы. Достаточно сказать, что за время использования этой системы в качестве базы для функционирования СУ АПР не было отмечено ни одного сбоя по вине QNX. Система допускает установку как в миниатюрных, так и в больших глубоководных АПР. Дальнейшие разработки в ИПМТ планируется вести с использованием QNX RTP. ●

**Авторы — сотрудники
ИПМТ ДВО РАН**

Телефон: (4232) 22-6459

Факс: (4232) 22-6451