

семафора), в версии RTAI-22.2.4 зависят от числа балластных задач.

Примечательно, что одно и то же свойство ОС (отсутствие упорядоченного списка готовых задач) проявляется в трех разных типах характеристик быстродействия системы.

Заключение

Применение описанных методов измерения параметров быстродействия ОС позволяет оценивать временные характеристики ОСРВ, которые предоставляют возможность проводить сравнительную оценку быстродействия различных модификаций ОС Linux с целью поддержки задач РВ. Как показано выше, построение двухъядерной ОСРВ на базе ОС Linux позволяет добиться значительного улучшения характеристик системы по сравнению с базовой версией ОС Linux. Заметим, однако, что базовая версия ОС Linux разрабатывалась для решения задач, не связанных с требованиями реального времени, поэтому ее сравнительно невысокое быстродействие не следует расценивать как показатель низкого качества системы. Вместе с тем, приведенные выше результаты показывают, что использование дополнительного ядра реального времени позволяет добиться значительного улучшения характеристик быстродействия ОС

для задач, которые не нуждаются в полном наборе сервисов, предоставляемых ядром Linux, но жестко ограничены по срокам выполнения. Сочетая в себе эти качества, модификации ОС Linux позволяют строить программные системы, требующие функциональности полноценной ОС, с одной стороны, и отвечающие требованиям реального времени, с другой. Такое сочетание открывает возможность использования ОС Linux в системах, которые ранее могли работать только под управлением специализированных ОСРВ.

Литература

1. **Kopetz H.** Real-Time Systems. Design Principles for Distributed Embedded Applications. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
2. **Cloutier P., Mantegazza P., Papacharalambous S., Soanes I., Hughes S.** DIAPM-RTAI position paper. (<http://www.rtai.org>).
3. **Никифоров В. В., Гуцалов Н. В.** Методы измерения реактивности систем реального времени // Программные продукты и системы. — 2001. — № 4.
4. **Straumann T.**, Open Source Real Time Operating Systems Overview. (<http://www.slac.stanford.edu/econf/C011127/WEB1001.pdf>).
5. **Dejan Bucar** Reducing Interrupt Latency using the Cache, Royal Institute of Technology. — Sweden. — 2001.

УДК 681.325.5

ПРИМЕНЕНИЕ ШИНЫ CAN-BUS В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

С. Т. Хвоц,

д-р техн. наук

А. В. Луковкин,

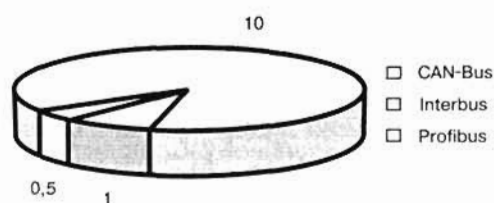
инженер

А. Г. Лютов,

инженер

ЗАО «Электронная компания «ЭЛКУС»

Рассматриваются характеристики типовых, серийно выпускаемых CAN-узлов для реализации систем реального времени, в том числе бортовых с распределенным энергоснабжением, а также встраиваемых. Рассматриваются и описываются аппаратные средства сопряжения интерфейса CAN с MIL-STD-1553B и другими специализированными шинами и магистралями информационно-управляющих систем.



■ Рис. 1. Соотношение количества проданных устройств со встроенными средствами подключения к сетевым протоколам в промышленной автоматике (млн шт.)

В настоящее время CAN-интерфейс широко применяется во многих информационно-управляющих системах, в том числе аэрокосмического профиля, требующих обеспечения сбора и обработки информации в реальном масштабе времени. Как показывает практика, в аэрокосмической области CAN-интерфейс (или CAN-Bus) чаще всего используется как связующее звено между центральной магистралью (обычно MIL-STD-1553B) и множеством вспомогательных датчиков, исполнительных механизмов и т. п., подключение которых к центральной магистрали не всегда целесообразно.

Протокол CAN, разработанный фирмой Bosch, изначально проектировался для нужд автомобильной промышленности. Однако с развитием электронной промышленности автомобиль стал представлять собой сложную систему, датчики и механизмы которой необходимо объединить в сеть, учитывая при этом, что сам автомобиль является источником различного рода серьезных помех и эксплуатируется в различных, порой крайне неблагоприятных для электроники погодных условиях. В результате в 1991 г. появилась CAN-спецификация фирмы Bosch, представленная на текущий момент последней версией 2.0.

Разработанный протокол оказался настолько удачным, что в настоящее время не только применяется в автомобильной отрасли, но и получил широкое распространение в информационно-управляющих системах промышленной автоматизации, в робототехнике, аэрокосмической и многих других отраслях. Представленное на рис. 1 соотношение количества проданных устройств со встроенными средствами подключения к сетевым протоколам в промышленной автоматике отражает популярность CAN-Bus, заключающуюся, в основном, в преимуществе его основных технических характеристик.

Основные характеристики CAN-Bus

На этапе проектирования выбор основных решений относительно организации информационно-управляющей системы во многом определяет конечные ее параметры. Ввиду предпочтений разработчиков, отдаваемых сетевому протоколу CAN-Bus и многообразию встраиваемых средств его поддержки, рассмотрим его основные характеристики.

Максимальная скорость передачи по CAN-Bus составляет 1 Мбит/с при длине линии до 40 м или 40 Кбит/с при длине линии 1000 м. При этом прак-

тически любой CAN-контроллер допускает программирование скорости обмена от 1 Мбит/с до 10 Кбит/с. График зависимости скорости обмена от длины линии передачи представлен на рис. 2, откуда следует, что для локальных (по геометрии) информационно-управляющих систем обеспечивается высокая постоянная скорость обмена данными.

Арбитраж в CAN-Bus организован таким образом, что не увеличивает время реакции системы на более приоритетные сообщения, что важно при построении систем реального времени.

Отсутствие ограничения в протоколе на количество CAN-узлов позволяет интегрировать в системы практически любое необходимое количество устройств, датчиков, исполнительных механизмов. Сообщения могут передаваться одному или одновременно нескольким узлам, настроенным на прием одних и тех же параметров. Адресная информация (номер параметра) содержится в сообщении и совмещена с его приоритетом. Количество байтов данных является настраиваемой величиной и изменяется в пределах от нуля до восьми.

В части реализации требований к надежности проектируемых на основе CAN-Bus информационно-управляющих систем, спецификацией на интерфейс предусмотрены:

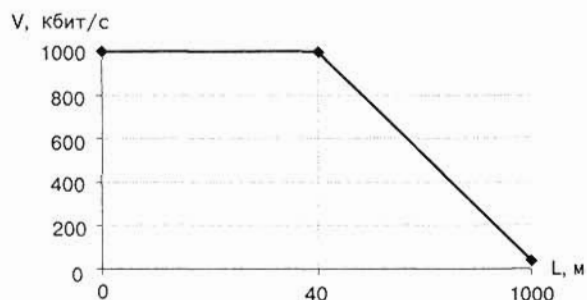
- динамическое отключение от шины отказавших узлов;
- признание сообщения ошибочным для всех узлов сети, которым оно адресовалось, если хотя бы один из них принял это сообщение с ошибкой;
- осуществление подавления синфазных помех дифференциальным приемопередатчиком.

Используются стандарты: ISO-DIS 11898 — для высокоскоростных и ISO-DIS 11519-1 — для низкоскоростных приложений.

При организации среды распространения сигналов рекомендуется делать шлейфы минимальной длины (обычно реализация отводов производится непосредственно на разъемах подключения абонентов).

На рис. 3 приведен пример организации сети с тремя наиболее типичными структурами CAN-узла:

- 1) микроконтроллер (со встроенным CAN-контроллером) + CAN-трансивер;
- 2) микроконтроллер (без встроенного CAN-контроллера) + внешний CAN-контроллер + CAN-трансивер;
- 3) CAN-контроллер + CAN-трансивер.



■ Рис. 2. График зависимости скорости обмена по CAN-Bus от длины линии передачи

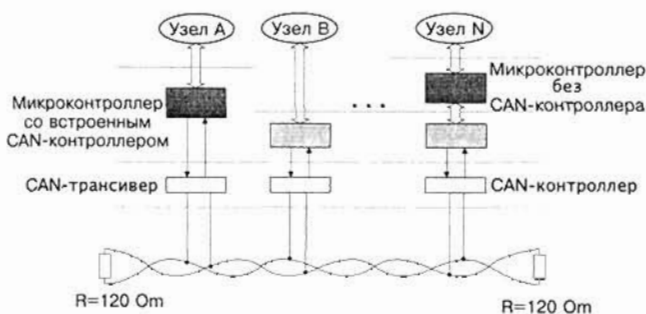
Первая и вторая структуры применяются в так называемых модулях с «интеллектом». Такие модули имеют в своем составе микроконтроллер, осуществляющий, например, сбор и предварительную обработку данных с датчиков и способный самостоятельно передать эти данные и результаты несложных вычислений по CAN-Bus. Третья структура используется для плат без «интеллекта», в которых обмен данными невозможен без управления CAN-контроллером извне.

Среда передачи данных в CAN-спецификации не определена. Понятно, что помехоустойчивость обмена по шине повышается при использовании терминального сопротивления R , выбираемого в зависимости от типа шины. Как видно из приведенной на рис. 4 диаграммы, наилучшая помехозащищенность достигается при использовании экранированной витой пары с волновым сопротивлением 120 Ом.

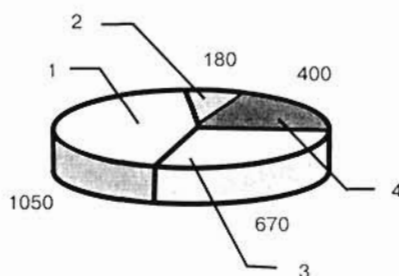
Популярность и широкое применение CAN-Bus привели к тому, что на сегодняшний день все ведущие мировые производители электронных компонентов для построения информационно-управляющих систем, а именно Intel, Philips, Siemens, Motorola и многие другие, уже выпускают широкий спектр микросхем для организации обмена данными по протоколу CAN. Спектр выпускаемой продукции действительно очень широк — от простейших CAN-контроллеров с одним буфером на передачу и двумя на прием до мощных 16-разрядных микроконтроллеров со встроенным (а иногда и не одним) CAN-контроллером.

Обзор продукции только одного из основных производителей, фирмы Infineon (Siemens), показывает, что сегодня разработчикам предлагается целый спектр микросхем для построения информационно-управляющих систем на основе протокола CAN. Это простейшие CAN-контроллеры SAE81C90 и SAE81C91, ориентированные на подключение к микроконтроллерам семейства C500 (8-разрядные) или C166 (16-разрядные) фирмы Infineon (хотя в простейшем случае наличие микроконтроллера не обязательно).

Микроконтроллеры семейства C500 (C505C, C505CA, C515C), являющиеся развитием семейства 8-разрядных микроконтроллеров MCS51 фирмы Intel, имеют встроенный CAN-контроллер, включающий 15 буферов для обмена данными. 14 буферов настраиваются на прием или передачу дан-



■ Рис. 3. Возможные способы организации сети на основе CAN-Bus



■ Рис. 4. Число искаженных кадров (на 20 000 переданных сообщений) при использовании различных сред передачи информации:

1 — неэкранированный параллельный кабель; 2 — экранированная витая пара; 3 — неэкранированная витая пара; 4 — параллельный экранированный кабель

ных, а один буфер работает только на прием данных.

Микроконтроллеры семейства C166 (C164C, C167CR, C167CS) — высокопроизводительные 16-разрядные RISC-микроконтроллеры — также оснащены модулями CAN-Bus. Наиболее мощный на сегодняшний день микроконтроллер этого семейства C167CS-LM имеет два встроенных CAN-контроллера, каждый из которых включает 15 буферов (14 для приема/передачи данных и один только для приема).

В настоящее время «Электронная компания «ЭЛКУС»», отечественный производитель электронного оборудования для построения информационно-управляющих систем различного назначения, производит несколько серий плат с рассматриваемым CAN-интерфейсом. Основные их параметры приведены в таблице.

Самые простые — платы серии CAN-200. Изделия этой серии не имеют «интеллекта» и предназначены для создания простейших CAN-узлов, которые используются для работы в системах без интенсивного обмена данными. Для построения более сложных систем предназначена серия плат CAN-505, которые уже содержат 8-разрядный микроконтроллер C505C фирмы Infineon, полностью совместимый с семейством микроконтроллеров MCS-51 фирмы Intel. Плата CAN-505PC104 является улучшенной модификацией плат CAN-505MP и CAN-505PC. Поэтому в приведенной таблице ее характеристики представлены отдельно.

Сопряжение интерфейсов CAN и MIL-STD-1553B

CAN-интерфейс чаще всего используется как связующее звено между центральной магистралью и множеством вспомогательных датчиков. В связи с этим возникает вопрос о сопряжении магистрали обмена по протоколу CAN с другими специализированными шинами и магистралями информационно-управляющих систем. В первую очередь возникает необходимость сопряжения интерфейса CAN с широко применяемым в нашей стране и за рубежом мультиплексным каналом MIL-STD-1553B (ГОСТ 26765.52-87).

Одной из последних разработок «Электронной компании «ЭЛКУС»» является модуль C167-3U, основ-

■ Таблица. Основные параметры CAN-плат производства ЗАО «ЭЛКУС»*

Характеристика	CAN-200PC CAN-200MP CAN-200PC104	CAN-505PC CAN-505MP	CAN-505-6U	CAN-505PC104	C167-3U
Число CAN-каналов	2	2	4	1	2
Максимальная скорость обмена по CAN	1 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s
Гальваническая развязка от шины CAN	+	+	+	+	+
Центральное вычислительное ядро	—	2 × C505CA	4 × C505CA	C505CA	C167CS-LM
CAN-контроллер	2 × 82C200	Встроенный	Встроенный	Встроенный	Встроенный
CAN-трансивер	2 × 82C250	2 × 82C250	4 × 82C250	82C250	2 × 82C250
Интерфейс RS232	—	—	+	+	+
Шина	ISA 8	ISA 8	VME	ISA 8	—
Число занимаемых портов ввода/вывода	32	8	64	4	—
Память программ	—	8Кб ПЗУ (EPROM) + 24Кб ОЗУ	32Кб ПЗУ (FLASH) + 32Кб ОЗУ или 64Кб ПЗУ (FLASH)	32Кб ПЗУ (FLASH) + 32Кб ОЗУ или 64Кб ПЗУ (FLASH)	256Кб ПЗУ (FLASH) + 256Кб ОЗУ
Память данных	—	32Кб ОЗУ	32Кб ОЗУ	32Кб ОЗУ	
Диапазон температур	-40 + +85 °С	-40 + +85 °С	-40 + +85 °С	-40 + +85 °С	-40 + +85 °С
Конструктив	PC, MicroPC, PC 104	PC, MicroPC	Евромеханика	PC104	Евромеханика 3U
Дополнительные характеристики	—	—	64-разрядный регистр разовых команд	—	MIL-STD-1553B (оконечное устройство), питание +27 В, RTC, АЦП

* Фото плат CAN-200PC, CAN-505PC104, CAN-505-6U, C167-3U представлены на обложке журнала.

ное назначение которого — сопряжение интерфейса CAN с указанным мультиплексным каналом.

На рис. 5 представлена упрощенная структурная схема преобразования CAN ↔ MIL-STD-1553B. Для примера показан случай с двумя CAN-каналами и одним мультиплексным каналом.

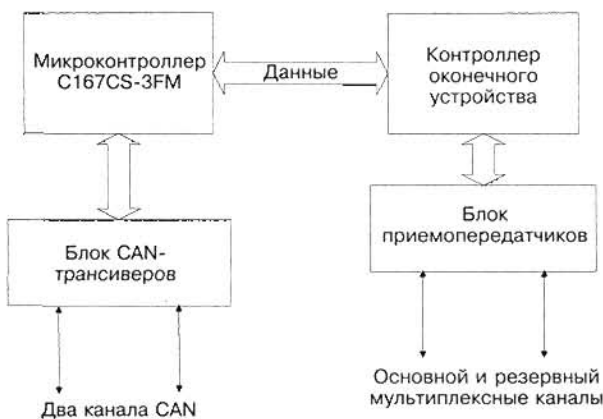
Контроллер оконечного устройства, предназначенный для подключения шины к микроконтроллеру или простейшим устройствам (регистрам и т. д.), разработан на основе микросхемы программиру-

емой логики фирмы XILINX. Непосредственно преобразование данных осуществляется программно 16-разрядным высокопроизводительным микроконтроллером. Дать какие-либо рекомендации по выбору алгоритма преобразования достаточно трудно, так как устоявшегося на сегодняшний день алгоритма преобразования нет, а его структура в значительной степени зависит от требований к конкретным проектируемым информационно-управляющим системам.

Питание модуля осуществляется от одного источника +27 В. Реализация поддержки удаленного включения/выключения питания модуля делает его идеальным для применения в различных бортовых системах с распределенной системой энергоснабжения.

Кроме приведенных в таблице отметим следующие характеристики модуля C167-3U:

- наличие гальванических развязок от шины CAN и интерфейса RS-232 (напряжение изоляции 1000 В) и от линии питания +27 В (напряжение изоляции — 1500 В);
- возможность программного изменения скорости передачи;
- возможность подключения согласующего сопротивления 120 Ом, в случае, если устройство расположено в конце линии;
- наличие стартового (Bootstrap loader) загрузчика, позволяющего загружать программу по интерфейсу RS-232 в память контроллера (ОЗУ или FLASH память);
- реализация функций оконечного устройства для резервированного мультиплексного канала по ГОСТ 26765.52-87.



■ Рис. 5. Структура устройства для сопряжения интерфейса CAN и мультиплексного канала MIL-STD-1553B

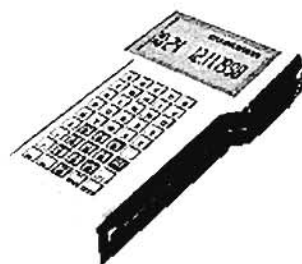
Указанные характеристики, а также наличие в составе модуля 16-разрядного высокопроизводительного RISC-микроконтроллера и возможность удаленного включения/выключения питания делают привлекательным его для применения в составе систем реального времени самого разнообразного назначения, в том числе и для встраиваемых приложений.

Вспомогательные средства контроля и отладки систем на основе CAN-Bus

В настоящее время (июнь 2002 г.) для поддержки разработок информационно-управляющих систем (для их контроля и отладки) на основе рассмотренных выше интерфейсных модулей предлагается переносной прибор, представленный на рис. 6.

Основные характеристики прибора следующие. Прибор построен на базе 16-разрядного RISC-микроконтроллера C167CS-LM и имеет два канала обмена данными по протоколу CAN v2.0 (part B-active) с максимальной скоростью передачи данных 1 Мбит/с. Стартовый загрузчик позволяет загружать в память контроллера программу по интерфейсу RS-232. Память — 1 Мб – 256 Кб FLASH (организация 128К×16) и 768 Кб ОЗУ (3 банка по 128К×16). Имеются часы реального времени (RTC), выполненные на DS1305.

Гальванически прибор развязан с шиной CAN (напряжение изоляции 1000 В), с интерфейсом



■ Рис. 6. Внешний вид переносного прибора для контроля и отладки систем на основе CAN-Bus

RS-232 (напряжение изоляции 1000 В). Имеется возможность подключения согласующего сопротивления 120 Ом.

Прибором аппаратно выполняется мониторинг всех напряжений питания, которое может осуществляться как от аккумуляторов, так и от внешнего источника.

Управление прибором осуществляется с помощью 45-кнопочной мембранной клавиатуры, отображение информации осуществляется на LCD-дисплее разрешением 160×80 точек с возможностью подсветки.

Прибор выполнен в пыле- и влагозащитном корпусе Arteb-865 фирмы Vorla с габаритами 240×120×40 мм. Рабочий температурный диапазон: -10 °С ... +70 °С. Степень защиты — до IP65.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ВЫПУСКАЕТ В СВЕТ

Астапкович А. М.

МИКРООПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Книга посвящена проблеме разработки программного обеспечения для многоканальных систем управления реального времени, ориентированных на применение во встраиваемых приложениях. Отличительной особенностью этого класса систем управления является их закрытость от возможности изменения алгоритма управления в процессе эксплуатации системы и требование к возможности функционирования устройств в необслуживаемом режиме в течение длительных интервалов времени.

Монография содержит системный анализ ситуации, сложившейся в этой области, с целью выработки практически значимых рекомендаций для инженеров-разработчиков. Базовой направленностью монографии являлась разработка основ теории операционных систем реального времени, применительно к классу встраиваемых многоканальных систем программного управления реального времени, которые получили название микрооперационные системы. Анализ существующего положения дел проводится по нескольким направлениям, каждому из которых посвящена отдельная глава.

Книга адресована прикладным программистам и инженерам-разработчикам микропроцессорных систем программного управления, научным работникам соответствующего направления, а также менеджерам проектов в области электронного инжиниринга.