

Новая электроника поездов Московского метрополитена

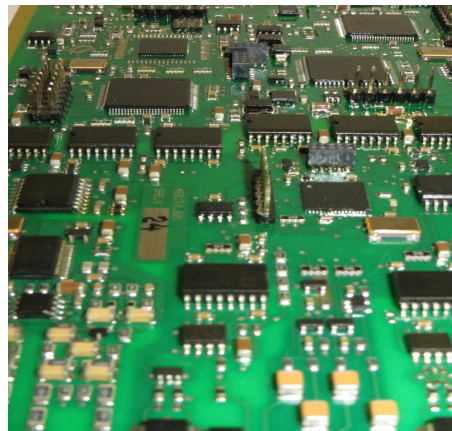
Кирпичников А.П., Фокин А.В., AUTEX Ltd.

В эти дни заканчивается большая работа по испытанию системы управления на новых вагонах 81-760, и первые 48 составов метро уже можно увидеть на линиях депо Новогиреево и Варшавское (желтая и серая ветки). Это результат напряженного труда кооперации более чем десятка предприятий со всей России (помимо Московского региона – Мытищинский завод, НИИП, ИПУ РАН, AUTEX Ltd. – Чебоксары, Санкт-Петербург, Ростов...) и действительно серьезный успех внедрения современной электроники. Очень многое здесь «впервые» (в том числе, возможность безопасного и полностью автоматизированного управления составом без машиниста в непростых условиях московского метро с его напряженным графиком), и по степени сложности эта многопроцессорная система на базе ЦОС – редкий пример внедрения изделия такого уровня в гражданской технике.

В наше время, когда космонавтика уже мало кого впечатляет, и есть ощущение, что с помощью нового iPad можно решить самые сложные задачи, трудно удивить кого-либо успехами в управлении поездом. К тому же, в эпоху одноразовых вещей, когда давно исчезли служившие по 20 лет ботинки или лампочки, не говоря уже об автомобилях – безотказные поезда со сроком службы 30 лет – анахронизм, противоречащий главному тренду современной цивилизации: обновить, выбросить, стимулируя «экономику потребления». При этом и электроника системы управления поезда, рассчитанная на 10 лет исправной работы в тоннеле и на морозе, выглядит странно рядом с недолговечными гаджетами, проживающими хотя и яркую, но, в среднем, двухлетнюю жизнь, наполненную «зависаниями» и сбоями (причем большинство этих сбоев пользователю почти не заметны, так как работа идет не в реальном времени). В стороне от этого процесса «принудительного обновления» пока остались поезда и, пожалуй, самолеты. Рассмотрим, что же такое поезд метро.



Вагон типа 81-760 с новой системой управления (открытый аварийный выход)



Одна из плат многопроцессорного блока управления (разработка AUTEX Ltd.)

Поезд – это прежде всего – доверие (к тем, кто проектировал, к тому, кто ведет, и к тем, кто обслуживает) – так же, как с самолетом: если вы сели в него, то от вас уже почти ничего не зависит. При этом в поезде, в отличие от самолета, на одном квадратном метре может находиться до 8 (!) человек, и каждый поезд московского метро в час пик по количеству пассажиров (более 2000) – это как восемь самолетов Боинг 757, мчащиеся в тоннеле, вдогонку за другими восемью «Боингами». Общая масса этих двух «снарядов», плотно начиненных жизнями – почти 1000 тонн, и проблема, что в авариях, в отличие от самолетов, они любят участвовать попарно. На скорости 80 км/ч тормозной путь уже длиннее самого состава, а каждые 0,9 сек задержки срабатывания автоматики – это добавление расстояния к тормозному пути размером ровно в один вагон, что немаловажно, поскольку при таком «соприкосновении» сталь рвется как бумага. Энергетика огромна, и при экстренном торможении каждая пара «колесо-участок рельса» испытывает такое же воздействие, как при обстреле в 850 (!) выстрелов из АКМ (калибр 7.62).

Для обеспечения нужного уровня безопасности в условиях воздействия внешних факторов и помех многопроцессорная распределенная система управления, обслуживаемая более чем 700-ми датчиками, содержит специализированные блоки сверхвысокой надежности. В частности, компанией AUTEX Ltd. был разработан интеллектуальный блок безопасности «БАРС». Он представляет собой 6-процессорную систему на базе DSP (с фиксированной точкой), архитектурно выполненную в виде двух двоек автономных каналов (2x2), защищенных гальваническим барьером 10kV30pF с изолированным и распределенным питанием, а также многочисленными цепями самодиагностики. Заданная вероятность опасного отказа около 10^{-14} с⁻¹ достигается целым рядом методов: от «пилотирования» (когда вместе с основным сигналом одновременно обрабатывается «пилот», результат по которому известен и этим поверяется

система) до применения различающейся алгоритмики в дублирующих каналах и дополнительной рассинхронизации процессов – для исключения однотипного влияния внешнего фактора (помехи). Следует заметить, что наиболее «ответственная» элементная база в двух автономных каналах также различна.

Вся диагностическая информация по каждому каналу и системе в целом используется в реальном времени. При обработке рассматриваются интервалы по 20 мс, объединенные для «голосования» по пять (т.е. темп 10.0Гц). Вместо общепринятого мажорирования используется сложное многоступенчатое голосование, когда сначала каждый из пяти интервалов в каждой части канала дополняется диагностической информацией, определяющей вес его «голоса», а потом результирующие веса определяют общий уровень достоверности для суммарного интервала в 100 мс. Следует отметить, что многие функции управления составом оперируют куда большими временами, чем 0.1 секунды, и это дает дополнительный запас по достоверности и безопасности. При этом постоянно учитывается самая разная диагностическая информация – от уровня внешних помех и вибрации до температуры в блоке, токов потребления, стабильности питания и параметров обмена по цифровым шинам. В общей системе управления участвует информация с четырех блоков «БАРС», поскольку этих блоков в каждой голове состава стоит два, причем в нормальном режиме второй комплект тоже работает, а не просто используется как «горячий резерв».

Система построена так, чтобы при любых отказах деградация была поэтапной и контролируемой – с максимальным приоритетом безопасности. Для этого в конструкцию «БАРС» заложен целый ряд автономных датчиков, не зависящих от остальной системы и ее интерфейсов. Кроме этого, блоки наделены исключительными полномочиями и, даже в случае выхода из строя всей остальной системы, любой из них может осуществить безопасное торможение путем снятия специальных сигналов непосредственно с управления тормозной системы – минуя все интерфейсы.

Все приложения ЦОС в данном блоке также имеют своей целью повышение безопасности, и ввиду этого требования ко всей алгоритмике и программной реализации – робастность и контролируемость деградации. Здесь следует отметить специальную структуру фильтров, методы контроля памяти и верификации данных. Из дополнительных функций следует упомянуть применение ЦОС для оригинального контроля тормозной системы в реальном времени: блок безопасности, помимо слежения за эффективностью торможения, при недостатке информации может сам инициировать «микроторможение» и подтверждать эту эффективность, выделяя характерный ритмический рисунок из вибрационного фона. Обсуждаемые здесь инновационные решения уже защищены четырьмя патентами РФ.

Отдельного разговора заслуживает то, как выбираются компоненты для таких систем. В современной ситуации с контрафактами, откатами, недобросовестным снабжением, задача обеспечения надежности в ситуации, когда на кону жизнь людей, стоит особенно остро.

Здесь большую роль сыграл опыт AUTEX Ltd, который снабжает своих клиентов и, конечно же, своё производство в основном прямыми поставками от производителей, а в остальных случаях, не доверяя сертификатам, проводит глубокий входной контроль компонентов (кстати о последних результатах такого контроля будет рассказано в том числе на семинаре 28 марта в рамках DSPA-2013). Ситуация усугубляется ещё и тем, что в последние годы даже у ведущих мировых производителей, ввиду экономического кризиса и замены кадров на молодёжь, стали появляться проблемы с контролем качества сложных изделий. По-видимому, это только начало процесса, который разработчикам придётся дополнительно учитывать при создании изделий ответственного применения.

В отношении испытаний поездов московского метро: основным вопросом остается тестирование системы управления и подтверждение (численное) ее параметров надежности и безопасности при практической эксплуатации. Для этого, помимо общей записи в «черный ящик» системы управления ведется дополнительная критериальная запись одиночных диагностических событий (их вероятность 10^{-6} ... 10^{-9}) в технологический «черный ящик» каждого блока «БАРС» – откуда мы и надеемся получить хорошие новости!



AUTEX Ltd.

DSPA

Официальный дистрибьютор компании ANALOG DEVICES, Inc. с 1993 года

- Сигнальные процессоры и микроконтроллеры ANALOG DEVICES Inc.
- Консультации специалистов по всей продукции ANALOG DEVICES Inc.
- Разработка специальных алгоритмов и программ по проектам заказчика.
- Решение сложных задач выделения и обработки сигналов в реальном времени.
- Создание сверхнадёжных электронных устройств для ответственных приложений.
- Полный цикл производства - от изготовления прототипов до выпуска серии.

www.autex.ru

117997, Москва, Профсоюзная ул., 65,
Тел: (495)334-9151, 334-7741 Факс: (495)334-8729, 234-9991

Международная научно-техническая конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применение - DSPA" отвечает целям и задачам консолидации и поддержки отечественных ученых и специалистов, работающих в области передовых информационных технологий реального времени, расширения международных научных связей и содействия внедрению высоких наукоемких технологий XXI века.

Организаторы: РНТОРЭС им. А.С. Попова, AUTEX Ltd., ИПУ РАН, ИРЭ РАН РГПУ г. Рязань, ЗАО ИНСИС, МГУСИ, МГТУ им. Баумана

www.dspa.ru

Тел: (495) 621-16-39 Факс: (495) 621-06-10