

Автоматизация многоканальных физиологических измерений
в авиационно-космической медицине при нагрузочных пробах.
Сударев А.М., Кадин И.Л., Исаев И.А., Чистов О.В.

Резюме

Настоящая статья посвящена вопросам автоматизации исследований в авиационно-космической медицине. Проводится обзор основных особенностей предметной области, описан опыт автоматизации стандов. Обсуждены перспективные направления. Работа поддержана грантом РФФИ № 03-07-90350

Введение

Авиационно-космическая медицина - область медицины, традиционно интенсивно развивавшаяся в нашей стране и имеющая ряд отличительных черт. В качестве методов исследования в ней широко распространены так называемые функционально-нагрузочные пробы [1]. Диапазон применяемых проб варьируется в зависимости от условий и целей обследования. В основном они призваны имитировать различные факторы полета. При проведении исследований одновременно решаются задачи диагностики, отбора летного состава, определения профпригодности, а также задачи тренировки и обучения.

В частности, в условиях стационара применяются исследования в гипобарической барокамере, на центрифуге большого радиуса вращения, проба с декомпрессией нижней половины тела, постуральная проба, вестибулярные исследования и др. Они предназначены также для врачебно-летней экспертизы. При предполетном оперативном медицинском контроле в условиях аэродрома чаще используются экспресс-методики.

Перечень традиционно применяемых инструментальных методов для оценки физиологического состояния испытуемых включает такие методы как: измерение артериального давления по Савицкому (тахоосциллография), ЭКГ, ЭЭГ, реоплетизмография (РПГ), реоэнцефалография (РЭГ), спирометрия, пульсоксиметрия и капнометрия, биохимический анализ крови и т.д.[2, 3] Эти методы в первую очередь направлены на контроль сердечно-сосудистой и дыхательной системы. Кроме того, используются различные методы контроля психофизиологического состояния.

Аналогичные методы применяются и при научных исследованиях, в частности, при изучении фундаментальных механизмов регуляции центральной и церебральной гемодинамики в условиях измененной газовой среды, постуральных воздействий и т.п. Это необходимо для разработки современных методов диагностики заболеваний и оценки работоспособности человека в экстремальных условиях труда, а также при оценке защитных эффектов спецснаряжения лиц опасных профессий [4, 5].

Особенностью исследований является комплексная, часто одновременная регистрация различных физиологических параметров в режиме реального времени, обработка многоканальных сигналов как «на лету», так и апостериори, синхронизация с управляемыми воздействиями. Для этого требуется создание информационной системы, способной интегрировать данные от различных источников информации комплексного физиологического эксперимента.

Применение такой системы эффективно в том случае, когда удастся объединить единой методологией и информационной поддержкой все стороны натурального и вычислительного моделирования.

В течение последнего десятилетия специалистами Института радиотехники и электроники РАН и компании «КОНСТЭЛ» велась работа по последовательной автоматизации стандов авиационно-космической медицины в РГНИИ ЦПК им. Ю.А.Гагарина, ГНЦ РФ ИМБП РАН, 7 ЦВКАГ и др. [6, 7]

Эти работы включали построение на основе имеющихся и вновь разработанных аппаратных средств автоматизированных систем регистрации, анализа и хранения сигналов,

использующих в качестве ядра персональные компьютеры. Было создано соответствующее программно-алгоритмическое обеспечение [8].

Техническое построение измерительного комплекса.

Для одновременной многоканальной регистрации различных физиологических параметров (сигналов) возможно использование специализированных приборов с необходимыми разнородными измерительными каналами. В качестве примера можно привести выпускавшиеся в нашей стране и применявшиеся на борту космических орбитальных станций комплексы «Гамма», «Мимоза». В них была заложена возможность полуавтоматизированного проведения функционально-нагрузочных проб и многоканальной регистрации физиологических параметров. Однако, в этих приборах отсутствовали средства цифровой регистрации и анализа сигналов. Так же, из-за узкоспециализированного применения и несколько устаревшей конструкции их параметры уступают современным средствам физиологических измерений, предназначенным для конкретных видов обследований (ЭКГ, РПГ, РЭГ и др.).

В течение последнего десятилетия разными производителями разработана и выпускается обширная номенклатура приборов, способных регистрировать в сумме необходимый набор физиологических сигналов и имеющих тот или иной интерфейс с компьютером.

В связи с вышесказанным, актуальной является задача построения аппаратно-программного комплекса поддержки функциональных нагрузочных экспериментов на основе разнородных, первоначально не предназначенных для совместной работы друг с другом приборов различных производителей, подключенных к персональному компьютеру (Рис. 1).

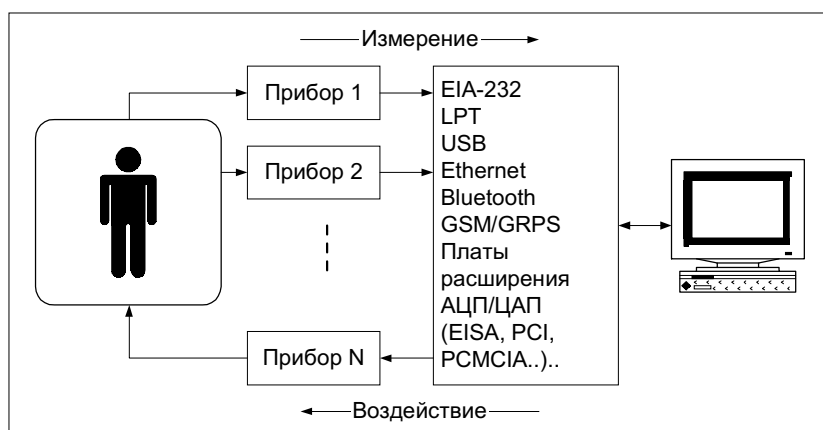


Рисунок 1

Рассмотрим основные соображения, касающиеся выбора интерфейсов и задач, встающих при регистрации сигналов.

Выбор типа интерфейса осуществляется при разработке нового прибора и при проектировании комплексной системы измерений.

Существует большой спектр интерфейсов для связи медицинских приборов с персональным компьютером. Целесообразность использования того или иного интерфейса определяется: его пропускной способностью, расстоянием прибора от компьютера, стоимостью реализации интерфейса, распространенностью и др.

Основные используемые на сегодня типы интерфейсов это: RS232, RS422/485, LPT, USB, Ethernet, Bluetooth, GSM/GRPS, HP-IB, платы расширения АЦП/ЦАП для стыковки с аналоговыми выходами и входами (EISA, PCI, PCMCIA..).

Для определения пропускной способности можно оценить поток данных:

$D = N_{ch} \times N_{byte} \times f \times Compr$, где: D – объем данных в единицу времени, N_{ch} – число каналов, N_{byte} – размерность оцифрованного сигнала в байтах на канал, f – частота опроса, $Compr$ – коэффициент аппаратного сжатия данных в приборе. Частота дискретизации определяется

исходя из верхней значимой частоты измеряемого сигнала по известной теореме Котельникова.

Так, при записи 12-и канальной электрокардиограммы (среднего качества, без аппаратного сжатия) $D = 12$ каналов \times 2 байта/канал \times 1000 Гц = 24 кбайт/сек, что превышает, например, пропускную способность стандарта RS232. Для измерения же артериального давления по Савицкому интерфейс RS232 удобен, т.к. в этом случае $D = 1$ канал \times 2 байта/канал \times 200 Гц = 0.4 кбайт/сек.

Таким образом, оценив поток данных за секунду, можно получить представление об ограничениях на пропускную способность интерфейса для регистрации сигналов.

Кроме этого при выборе интерфейса следует учитывать, является ли он шиной, на которой можно объединять несколько приборов (USB, HP-IB) или требуется несколько аналогичных интерфейсов (RS232).

Одним из самых важных требований является выполнение стандартов безопасности (ГОСТ Р 50444, ГОСТ Р 50267.0, ГОСТ Р МЭК601-1-1). Для тех методов измерений, где осуществляется гальванический контакт электрического прибора с испытуемым, требуется гальваническая развязка, реализация которой существенно удобнее в интерфейсах с последовательной передачей данных однонаправленного типа (RS232) или в беспроводных интерфейсах. Гальваническая развязка может быть организована внутри прибора и тогда это ограничение несущественно.

При необходимости бесконтактной регистрации удобно использовать современные беспроводные интерфейсы (IrDA, BlueTooth). Интерфейсы GPRS, GSM удобны лишь в полевых условиях и не для мониторинга в реальном времени.

Наиболее распространенными интерфейсами для связи с компьютером у современных приборов являются последовательный порт (RS232), последовательная шина USB, а также аналоговые входы-выходы.

Последний случай очень характерен и при решении задач стыковки со старым первичным измерительным оборудованием. Для решения такой задачи нами были использованы платы расширения с разрешением 12-16 бит на шине EISA (в задачах автоматизации стендов медико-биологической подготовки космонавтов в РГНИИ ЦПК им. Ю.А.Гагарина). Так, нам удалось автоматизировать стенды гипобарической барокамеры СБК-80, ортостол для пассивных постуральных проб и стенд велоэргометрии. При этом список измеряемых сигналов и приборов включал распространенные ранее приборы: Mingograf (ЭКГ), реоплетизмограф 4РГ-2М, реоэнцефалограф, пульсоксиметр и тахоосциллоскоп СКАД-1.

Кроме того, в процессе автоматизации стендов нами были разработаны первичные измерительные приборы: измеритель артериального давления по Савицкому СКАД-1, а затем его новое поколение - СКАД-2, измеритель тахоосциллограммы для центрифуги ЦФ-18.

Измеритель артериального давления по Савицкому СКАД-2 выпускается серийно и применяется также при исследованиях центральной гемодинамики. Прибор стыкуется с компьютером с помощью интерфейса RS232.

Кроме того, впоследствии в качестве измерителей ЭКГ были использованы компьютерные приставки КАРДи разных поколений с интерфейсами PCMCIA, EISA и USB.

Для автоматизации стендов были разработаны: устройство интерфейсное Унилаб-812 (выносной микропроцессорный 8-канальный АЦП с последовательным интерфейсом и гальванической развязкой), а также ряд устройств для обеспечения психофизиологических исследований (тангента, устройство индикации для методики «устного счета»).

Одновременно с физиологическими сигналами необходимо регистрировать технические параметры и (или) режимы воздействия: давление в противоперегрузочном костюме «Чибис», положение ортостола, нагрузку велоэргометра. При этом используются сигналы с аналоговых и дискретных датчиков.

Для измерения дискретных сигналов и подачи управляющих сигналов на исполнительные устройства (цифровое устройство индикации) использовались цифровые входы-выходы плат расширения, или интерфейсы параллельного типа (LPT).

При развитии измерительных комплексов мы пришли к необходимости связывания отдельных комплексов в локальную сеть и подключения ее к локальной сети учреждения. Таким же образом решена задача построения одного комплекса на несколько рабочих мест оператора. (Рис. 2)

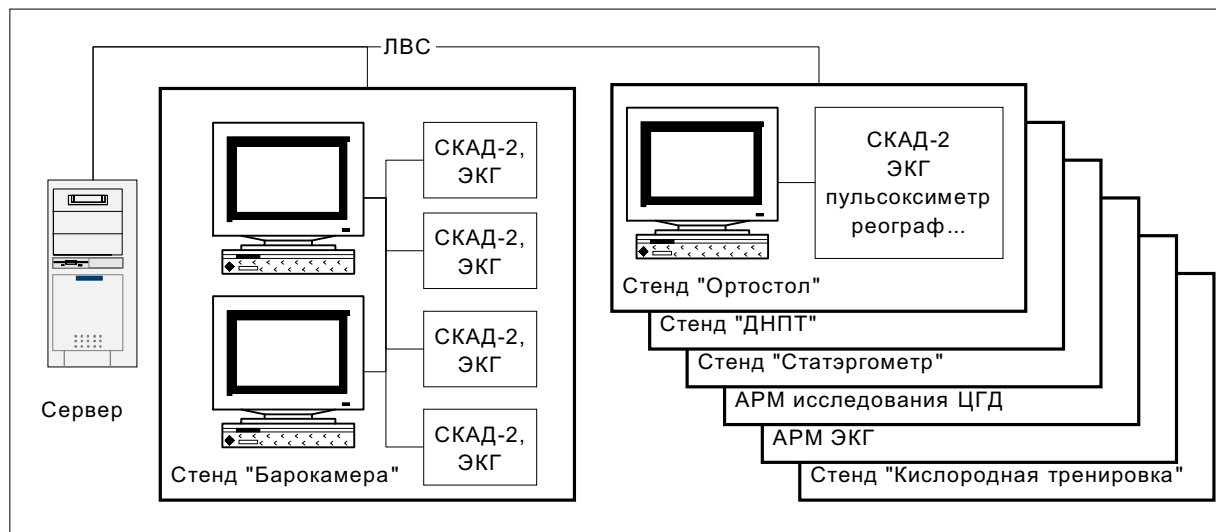


Рисунок 2

Программно-алгоритмическое обеспечение

Программно-алгоритмическое обеспечение комплексов, основанных на множестве разнородных приборов, работающих совместно и управляемых компьютером должно обеспечивать:

1. Настройку на номенклатуру измерительных приборов, заданную методикой проведения функционально-нагрузочной пробы.
2. Синхронную регистрацию многоканальных сигналов от измерительных приборов и их управление через поддерживаемые приборами интерфейсы. Помимо собственно сигнальной информации регистрируемый поток данных должен включать синхронизированную с ним по времени информацию от датчиков состояния, маркеры внешних событий, таких как ухудшение самочувствия обследуемого, появление различных тревожных симптомов, и т. д.
3. Визуализацию сигналов и параметров на дисплее.
4. Гибкую настройку профилей обследования согласно выбранной методике проведения функциональной нагрузочной пробы. Профиль обследования включает в себя управление началом и окончанием регистрации соответствующих физиологических сигналов по расписанию согласно выбранной методике, управление состоянием нагрузочных стендов (давления в барокамере, угла наклона ортостола и. п.). Профиль также подразумевает особую схему реагирования на возникновение критических ситуаций (резкое ухудшение самочувствия обследуемого, обморок и т. п.), например, немедленную регистрацию давления, ЭКГ, подачу кислорода, досрочное прекращение нагрузочной пробы.
5. Сохранение в базе данных как информации об обследовании, так и самого нативного сигнала.

В ходе выполнения работ по автоматизации комплексов были разработаны две концепции организации сбора и обработки физиологических данных.

Первая концепция была внедрена и успешно функционирует в РГНИИИ ЦПК им. Ю.А.Гагарина (программное обеспечение DARTLab). В этом пакете программ в качестве

механизма передачи данных физиологических сигналов используются стандартные сообщения Windows. Они удобны тем, что механизм остается неизменным во всех версиях MS Windows, включая и версию 3.x. (Рис. 3)

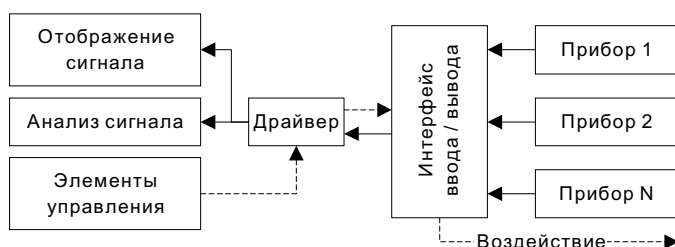


Рисунок 3

В ходе эксплуатации системы были выявлены следующие недостатки:

- концепция подразумевает одновременную работу только с одним устройством (как правило, платы АЦП).
- механизм сообщений Windows функционирует достаточно медленно.

С учетом этих недостатков была разработана вторая концепция. Она основана на использовании распределенного доступа к общей памяти. (Рис. 4)

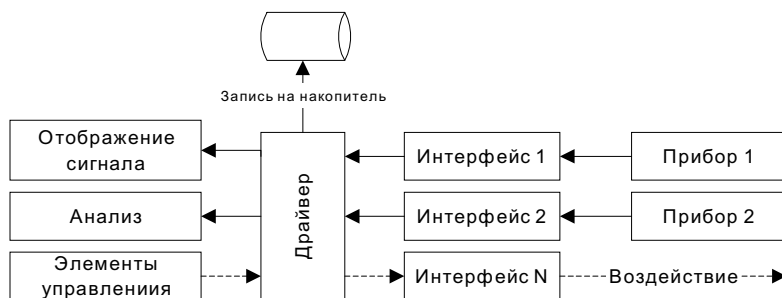


Рисунок 4

Она подразумевает в себе одновременную работу с приборами, имеющими разнородные интерфейсы, запись полученного физиологического сигнала на накопитель в реальном времени. Последнее заметно повышает устойчивость систем к различным системным сбоям. За счет использования общей памяти была повышена скорость передачи данных, что позволяет решать более сложные алгоритмические задачи и производить сбор данных и большего количества приборов одновременно.

Объем данных, получаемых в одном исследовании можно оценить следующим образом: $V = N_{ch} \times N_{byte} \times f \times T_{rec}$, где: N_{ch} – число каналов (в среднем до 16), N_{byte} – размерность оцифрованного сигнала в байтах на канал (чаще всего 2), f – частота опроса (500 или 1000 Гц), и T_{rec} – время записи (обычно от 10 мин до 1 часа), что дает величины порядка 100 Мбайт сигнальной информации за одно обследование.

Такой значительный объем информации, сохраняемой на жестких дисках комплекса в процессе проведения продолжительных функциональных нагрузочных проб, обуславливает необходимость применения мощных высокопроизводительных систем управления базами данных (СУБД). По этой же причине следует уделить особое внимание разработке алгоритмов сжатия сигнала в режиме реального времени, процедурам архивации накопленных данных и их переноса на постоянные носители для последующего долговременного хранения и т.п.

Лечебное (исследовательское) учреждение, специализирующееся на проведение функциональных нагрузочных проб, как правило, использует несколько стендов, связанных методикой проведения обследований. Так, например, процедура врачебно-летней экспертизы предусматривает несколько видов обследований, проводимых на разных стендах.

Это делает целесообразным объединение соответствующих аппаратно-программных комплексов локальной вычислительной сетью с размещением единой базы данных на выделенном сетевом сервере, с дальнейшей интеграцией в сеть медицинского учреждения.

Так, на базе 7-го Центрального военного клинического авиационного госпиталя нами был создан сетевой программно-аппаратный комплекс автоматизации врачебно-лётной экспертизы, обеспечивающий проведение функциональных нагрузочных проб:

Обследования в барокамере на переносимость гипоксии и перепадов давления;

Гипобарической интервальной гипокситерапия;

Обследования переносимости дыхания кислородом под избыточным давлением;

Обследования переносимости декомпрессии нижней половины тела;

Обследования переносимости пассивной постуральной пробы;

Обследования переносимости мышечных статических нагрузок.

В процессе проведения каждой пробы выполняется постоянный мониторинг 3-х отведений ЭКГ и периодическая (в соответствии с методикой проведения пробы) регистрация тахоосциллограммы, автоматически измеряется частота сердечных сокращений, артериальное давление (диастолическое, систолическое, среднее, боковое). По окончании пробы формируется и печатается протокол обследования. Проба «Обследование в барокамере на переносимость гипоксии» предусматривает одновременное обследование до 4 человек.

Все стенды врачебно-лётной экспертизы объединены локальной вычислительной сетью и реализованы в архитектуре клиент-сервер. Единая база данных всех стендов располагается на выделенном сетевом сервере и использует СУБД MS SQL Server 2000.

В заключение следует сказать, что разработанная концепция автоматизации, аппаратное и программное обеспечение успешно применяется в различных авиационно-космических медицинских учреждениях, а также отделениях функциональной диагностики медицинских учреждений общего профиля.

Список литературы

- [1] Комендантов Г.Л. Специальная функциональная диагностика как проблема авиационной медицины. Вопросы авиационной медицины. -М. МГА, 1966, с. 32-35.
- [2] Авиационная медицина. Руководство. /Под ред. Н.М.Рудного, П.В.Васильева, С.А.Гозула. -М., Медицина, 1986
- [3] П.М.Суворов, В.Н.Карлов, К.А.Сидорова. Специальная функциональная диагностика врачебно-лётной экспертизы. -М., Фирма «Слово», 1996
- [4] Тренажерные системы. В.Е.Шукшунов и др. -М., Машиностроение, 1981
- [5] Автоматизированные обучающие системы автоматизированной подготовки операторов летательных аппаратов. Демин Л.С. и др. Под ред. В.Е.Шукшунова. -М., Машиностроение, 1986
- [6] Автоматизация тренажных средств медико-биологической подготовки космонавтов. Елизаров С.Ю., Сударев А.М., Чистов О.В., Рыбенков А.В., Кадин И.Л. Труды третьей международной научно-практической конференции “Пилотируемые полеты в космос”, Звездный городок, 1997, стр. 340
- [7] Программно-аппаратный комплекс для функциональной диагностики сердечно-сосудистой системы. Величко А.Д., Сударев А.М., Кадин И.Л., Исаев И.А., Материалы Третьей Научно-практической конференции “Неинвазивное мониторирование состояния сердечно-сосудистой системы в клинической практике”, -М, 2001, стр. 160-163
- [8] Аппаратно-программные средства для авиационной и космической медицины. Сударев А.М., Кадин И.Л., Исаев И.А. Чистов О.В. Труды 5 международной научно-практической конференции “Пилотируемые полеты в космос”, Звездный городок, 2003, с. 372