

Б.Е. Панченко, Д.А. Печенюк

Каркасный анализ способов коммутации видеосигналов

Проведен каркасный анализ специализированной предметной области невычислительного характера – способов коммутации сигналов с пакетной дискретно-периодической структурой. Предложено новое техническое решение – автоматизация процесса цифровой буферизации выбранного сигнала и его синхронизации только относительно предыдущего. На основании концепции каркасного анализа о степени связей независимых сущностей-объектов «многие ко многим» предложено решение для многопользовательского режима работы.

Framework analysis of a specialized non-computing subject domain has been carried out – method of signal commutation with a packet periodically-discreet structure. A new technical solution is suggested – automatization of the process of digital buffering of only the chosen signal on the previous one. Under the concept of framework analysis about the degree of relations of independent entity-objects «many-to-many», a solution for the multi-user mode of the work of the methodics and the corresponding devices is offered.

Проведено каркасний аналіз спеціалізованої предметної області необчислювального характеру – способу комутації сигналів з пакетною періодично-дискретною структурою. Запропоновано нове технічне рішення – автоматизацію процесу цифрової буферизації лише вибраного сигналу відносно попереднього. На підставі концепції каркасного аналізу про ступінь зв'язку незалежних сутностей-об'єктів «багато до багатьох» запропоновано рішення для багатокористувачького режиму роботи.

Введение. Современные потребности пользователей медийных пространств ставят перед организаторами телевизионного производства [1] задачу увеличения числа одновременно обрабатываемых источников сигналов. Сегодня прямые трансляции событий, обслуживаемые значительным числом видеокамер [2], – признак не только телеканалов, но и интернет-сервисов. Поэтому вопрос снижения себестоимости таких технологий очень актуален.

Предложенный в [3] метод анализа предметных областей (ПрО) был хорошо апробирован при разработке промышленных приложений баз данных (БД) [4, 5] и решении задач автоматизации бизнес-процессов. Однако этот подход может успешно применяться и для исследования ПрО невычислительного характера. Методом каркасного анализа нами исследована существующая технология (и серия соответствующих устройств) коммутации аналоговых или цифровых сигналов с пакетной, т.е. дискретно-периодической структурой [6] (в дальнейшем – просто сигналов). Такой тип сигналов используется в области связи, в телевизионных и видео сетях, в системах видеонаблюдения и компьютерных сетях. Как из-

вестно [1, 6], существующая технология коммутации отличается значительной трудоемкостью и высокой себестоимостью.

Каркасный анализ позволил обнаружить и предложить новый способ [7] автоматизированной цифровой многопрограммной мульти-сигнальной коммутации, обеспечивающий групповое синхронизированное переключение аналоговых или цифровых сигналов от значительного числа источников (50, 100, 1000 и т.д.). Рассматривается ситуация, когда возможность предварительной синхронизации сигналов отсутствует. Это обусловлено потребностью одновременной работы разнообразных источников сигналов от различных производителей.

Постановка задачи

Рассмотрим входящие сигналы, в каждом из которых моменты начала движения пакетов, имеющих постоянные характеристики, происходят по случайному принципу, т.е. начало существования этих сигналов не синхронизировано. Тогда во время переключения с одного входящего сигнала на иной критической есть целостность пакетов, так как при несинхронизированном переключении разрушаются первые пакеты сигнала, включаемого в выходящий.

Типичными примерами служат сигналы, выходящие из видеокамер, *VGA*-сигнал компьютера или сигнал телевизионной трансляции, в

Ключевые слова: каркасный анализ предметной области, способ коммутации сигналов, автоматизация буферизации выбранного сигнала, многопользовательский режим коммутации, телевизионные сигналы, ПТС, ПТС-тренажер.

которых пакет – это видеокадр. Разрушение видеокадров во время переключения таких сигналов явление недопустимое.

Известно [1, 6], что для устранения этого дефекта коммутации наибольшее распространение получили *три технических решения* – полная предварительная синхронизация всех коммутируемых сигналов на уровне источников, полная синхронизация на уровне коммутации, а также синхронизация лишь выбранных сигналов на уровне коммутации. Наиболее распространен *первый подход*. Однако как будет показано далее, именно этот способ есть самыми избыточным.

Второй подход заключается в одновременной цифровой буферизации пакетов всех входящих сигналов. В буферах памяти моменты начала хода пакета всех входящих цифровых сигналов синхронизируются. А после этого за время паузы, т.е. перехода на следующий пакет, обеспечивается синхронизированное переключение. На этом принципе построены устройства для коммутации телевизионных сигналов – широко известные коммутирующие видеопульты.

Третий подход заключается в цифровой буферизации пакетов только *выбранных* входящих сигналов.

Общеизвестно, что первый подход технологически неприменим в ситуациях, когда перед пользователем стоит задача коммутации смешанной группы сигналов, т.е. такой, в состав которой входят источники, не имеющие интерфейса для управления синхронизацией. Как правило, это подавляющее большинство ситуаций на так называемом «среднебюджетном» и «малобюджетном» рынках потребителей.

В сфере телевизионных услуг к категории таких источников относятся малобюджетные видеокамеры, в том числе и устаревшей конструкции, которые могут передавать только аналоговый видеосигнал, а также цифровой сигнал низкого разрешения, бытовые видеоплееры, компьютеры и т.д. Данная задача особенно актуальна для передвижных телевизионных студий (ПТС). Поэтому для решения этих за-

дач широкое распространение получил второй подход.

Как будет показано, наименее избыточным является третий подход. Однако третий способ коммутации сегодня имеет ограниченное распространение. Причина в том, что в нем использована ручная регистрация выбранного входящего сигнала для его дальнейшей синхронизации.

При этом все подходы имеют общие недостатки – линейную связь между числом входящих сигналов и себестоимостью синхронизации, а также отсутствие многопользовательского режима коммутации.

Таким образом, цель статьи – выявление и устранение всех типов технологической избыточности в методике коммутации аналоговых или цифровых дискретно-периодических сигналов.

Каркасный анализ и схема ПрО

Как и в [5], под каркасным анализом ПрО понимаем формализацию описания ПрО так, что каждой сущности-объекту соответствует актуальная ячейка реляционного каркаса [5]. Тогда неформально каркасный анализ – это формирование каркасной схемы реляционной БД исследуемой ПрО таким образом, чтобы приложение БД, синтезируемое на данной схеме, моделировало бы функционирование исследуемой ПрО.

Такой подход может применяться и в том случае, когда разработка самого приложения БД не планируется. А каркасная схема БД используется как формальный прототип ПрО для выявления в ней тех или иных аномалий или противоречий. Исследовав связи между сущностями-объектами, можно сделать вывод о месте и причинах избыточности существующих технических решений.

Рассмотрим первый тип синхронизации как более распространенный – полная предварительная синхронизация всех сигналов на уровне источников посредством управляющего сигнала. Следуя идеям [4, 5], выпишем из описания ПрО [1] все сущности-объекты, используемые в принятых методах и устройствах коммутации аналоговых или цифровых сигналов с

дискретно-периодической структурой. Как указывалось в [5], особенностью каркасного анализа есть непротиворечивость модификаций искомой схемы БД: если в результирующей схеме будут временно упущены некоторые сущности-объекты, ее дальнейшие модификации не приведут к противоречиям.

Имеем следующие отношения (многочесные предикаты [5]):

ВХОДНЫЕ СИГНАЛЫ (*КодСигнала*, ...) – атомарная сущность-объект;

СИНХРОНИЗАТОРЫ (*КодСинхрон*,...) – атомарная сущность-объект;

УСТРОЙСТВА ЦАП–АЦП (*КодЦП*, ...) – атомарная сущность-объект;

УСТРОЙСТВА КОДИРОВАНИЯ–ДЕКОДИРОВАНИЯ (*КодКодераДек*, ...) – атомарная сущность-объект;

СПЛИТТЕРЫ СИГНАЛОВ (*КодСплит*, ...) – атомарная сущность-объект;

ПОЛЬЗОВАТЕЛИ-РЕЖИССЕРЫ (*КодПользов*, ...) – атомарная сущность-объект;

УПРАВЛЯЮЩИЕ СИГНАЛЫ (*КодПользов*, *КодУпрСигн*, ...) – слабая сущность-объект;

ВЫХОДНЫЕ ПРОГРАММЫ (*КодСигнала*, *КодСинхрон*, *КодЦП*, *КодКодера*, *КодУпрСигн*, *КодПользов*, ...) – составная сущность-объект.

На рис. 1 показана каркасная диаграмма исследуемой ПрО.

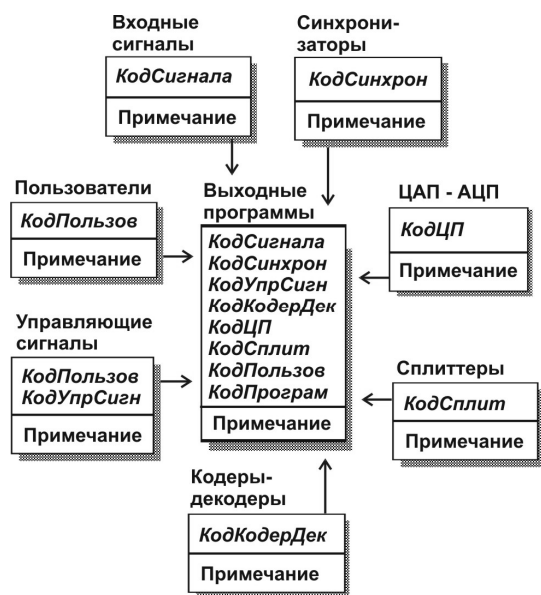


Рис. 1

В [5] доказано условие, при котором каркасное отношение может быть отнесено к безаномальной форме [8] – отсутствие в нем ограничений, которые не следуют из особых ограничений [5]. Однако технологическое ограничение исследуемой ПрО, заключающееся в обязательной предварительной синхронизации каждого источника коммутируемого сигнала, вносит дополнительную функциональную зависимость (ФЗ) в атрибут отношения *ВЫХОДНЫЕ ПРОГРАММЫ*.

Эта ФЗ $КодСигнала \leftrightarrow КодУпрСигн$ не следует из ограничений на домены и ключи отношения. Более того, такая зависимость будет еще и взаимной [9] (ВФЗ). Эта транзитивность приводит к снижению нормальности формы отношения, что означает, что данная ФЗ избыточна. В теории БД такое отношение должно быть декомпозировано на два отношения, что исключит из него один из зависимых атрибутов.

Неформально это означает, что в классической технологии коммутации не учтено, что входящие и управляющие сигналы – это взаимно-независимые сущности-объекты со степенью связи между ними «многие ко многим». И то, что разработчики технологии внесли дополнительное ограничение, привело к значительной избыточности устройств.

Однако, как указывалось в [5], такая избыточность может быть исключена внесением изменений не в модель, а в ПрО. При этом результат каркасного анализа воспринимается как рекомендации к реинжинирингу ПрО.

Аналогичный недостаток присущ и второму типу синхронизации – буферизации всех предварительно несинхронизированных сигналов на уровне коммутации. В этом подходе существует искусственная ВФЗ между входящим сигналом и буфером памяти в коммутирующем устройстве: $КодСинхрон \leftrightarrow КодСигнала$.

Этот недостаток приводит к существенному увеличению стоимости устройств коммутации, что особенно критично, если пользователь вынужден обслуживать значительное число входящих сигналов, в том числе сигналов от смешанных типов источников, формировать многопользовательский режим, а также транспорти-

ровать на значительные расстояния некоторую часть высоко-потовых 3G-SDI [6] сигналов.

Таким образом, наименее избыточной есть только синхронизация выбранных сигналов на уровне коммутации.

Однако недостаток существующих устройств, основанных на третьем подходе, – отсутствие системы автоматизации управления коммутацией. При ручной технологии пользователь вынужден осуществлять лишнее движение – для регистрации входящего сигнала активизировать устройство коммутации дополнительной клавишей. А после завершения времени регистрации осуществлять переключение.

Это приводит к значительному повышению инертности системы, когда существенно ограничиваются возможности пользователя при создании результирующих программ в реальном времени – лишние движения «накапливаются» в сознании пользователя, что приводит к его преждевременной усталости. Поэтому значительно возрастает количество ошибок, когда пользователь обрабатывает увеличенное число входящих сигналов – более 10.

На упомянутой разновидности способа синхронизации профессиональные коммутаторы и микшерские пульта с увеличенным числом входов (более 10) не выпускаются. А это существенно ограничивает потребности пользователей.

Уточненная постановка задачи

Прототип предложенного в [7] нового способа коммутации, основанного на автоматизированной выборочной синхронизации, описан в [10]. Здесь также получен новый технический результат, который заключается в автоматизированной синхронизированной коммутации неограниченного числа предварительно несинхронизированных источников. Но это – совершенно иной технический результат, так как синхронизация осуществляется благодаря потере одного–двух пакетов сигнала. Сдвиг промежутка времени, на который отличаются входящие сигналы один относительно другого, компенсируется в прототипе благодаря замене нескольких несинхронизированных пакетов инородными, например, черными полями. Но это

приводит к потере целостности и входящего, и результирующего сигналов.

В случае, например, видеосигнала такой способ неприемлем для использования в профессиональных ПТС для монтажа программ в режиме прямой трансляции. Описанное техническое решение [10] условно применимо лишь в бытовой сфере, например, в пультах переключения телеканалами приемников телевизионных программ.

Задача исследования – разработка нового подхода к автоматизированной цифровой коммутации, который обеспечивает синхронизированное переключение аналоговых или цифровых сигналов от значительного числа предварительно не синхронизированных источников на уровне коммутации. Причем так, чтобы целостность входящего и результирующего сигналов при этом не нарушалась, т.е., чтобы в структуре входящего и результирующего сигналов не было никаких инородных пакетов, не предусмотренных потребностями пользователя. А также поддерживался неизбыточный автоматизированный многопользовательский режим.

Новое техническое решение

Отличие нового метода заключается в том, что коммутация сигналов осуществляется благодаря выборочной *автоматизированной* оцифровке входящих аналоговых сигналов и выборочной автоматизированной буферизации цифровых сигналов. Именно процесс автоматизированной буферизации выбранного входящего сигнала и предоставляет возможность управлять моментом начала считывания пакета из буфера, синхронизируя его со считыванием пакета из другого входящего сигнала. Причем, в каждый момент на одном тракте, т.е. во время коммутации одной группы отрезков сигналов – одной программы, происходит буферизация лишь двух входящих сигналов – только что заказанного и предварительно заказанного. Здесь под программой, по аналогии с телевизионным вещанием, понимается вся последовательность коммутированных временных отрезков входящих сигналов, избранных пользователем на протяжении конкретного времени.

Этот процесс существенно отличается от синхронизации, описанной в прототипе [10]. Другое отличие от известных решений – достаточность единственной активации выбора того или иного входящего сигнала благодаря его номеру, отражающемуся на клавиатуре или ином аналогичном устройстве. Такой процесс отличается от способа ручного перенаправления заказанного сигнала на свободный буфер памяти, используемый во многих упомянутых микшерских пультах.

После одноразового указания пользователем номера выбранного входящего сигнала – нажатия соответствующей клавиши или иного аналогичного действия на другом устройстве управления (прикосновения пальцем, прикосновения инородным предметом, направления светового или лазерного луча, голосового указания, иного способа указания, в дальнейшем обобщенно *нажатия клавиши*), клавиатура или иное устройство управления с управляемыми позициями пересылает соответствующий управляющий сигнал системе автоматизированного управления коммутацией. Этого управляющего сигнала достаточно, чтобы заказанный входящий сигнал автоматически попадал на вход свободного буфера памяти для синхронизации. Пользователь не осуществляет никаких избыточных действий с целью регистрации избранного входящего сигнала на свободном буфере памяти. После завершения переключения буферизация предварительно заказанного сигнала прекращается.

Такой подход поддерживает неограниченную последовательность синхронизированных переключений сигналов, а общее число входящих сигналов теоретически не ограничивается: от минимально двух до произвольного количества – 100, 1000, 100 000 и так далее, в зависимости от технологии реализации указанного метода.

Временем задержки между моментом нажатия клавиши и моментом начала записи первого пакета вновь заказанного входящего сигнала в буфер памяти для его синхронизации относительно предыдущего сигнала можно пренебречь, поскольку это время обусловлено

лишь инертностью системы управления, т.е. спецификой конкретной реализации способа.

В случае видеосигнала это время теоретически измеряется миллисекундами. Для так называемой *жесткой склейки*, когда, начиная с некоторого видеокadra, ожидается бесподрывная замена следующим входящим видеосигналом предыдущего входящего видеосигнала, после завершения синхронизации можно также пренебречь и временем самого переключения. Теоретически задержка между моментом нажатия клавиши с выбранным номером и моментом переключения программы на сигнал с этим номером равняется лишь продолжительности одного–двух пакетов, т.е. продолжительности самой синхронизации. А это в случае коммутации видеосигнала – один–два кадра, т.е. не больше 1/12 секунды.

Многопользовательский режим

На базе описанного построен и многопользовательский способ коммутации. Он отличается тем, что благодаря использованию принципа автоматизированной синхронизации каждый входящий аналоговый или цифровой сигнал сплиттируется (размножается) не предварительно, а лишь *согласно запросу* пользователя. Причем в каждый момент общее число одновременно размноженных входящих сигналов равняется лишь числу заказов пользователей этого промежутка времени. Такое решение может быть реализовано исключительно благодаря наличию в схеме системы автоматизированного управления процессом коммутации.

При многопользовательской автоматизированной схеме коммутации посредством выборочной буферизации сигналов в пределах одного тракта процедура синхронизации осуществляется благодаря освободившемуся от сигнала во время предыдущего переключения буферу памяти, который, ради оптимизации загрузки, освобождаясь от входящего сигнала, становится общим для всех трактов. Причем автоматизированной системой управления коммутацией отслеживается последовательность запросов пользователей. Отслеживается также и очередь запросов, что исключает заклинивание, если случайно возникает ситуация парал-

лельного и почти одновременного заказа, когда промежуток времени между заказами при параллельном запросе пользователей становится *меньшим*, чем промежуток времени синхронизации.

Промежуток времени синхронизации не превышает длительности двух пакетов, например, $2/25$ с для видеосигнала, где пакетом является кадр и его продолжительность равняется $1/25$ с. Тогда время максимальной задержки при выполнении такого одновременного заказа между первым и последним пользователем равняется $2Lt$, где L – количество одновременных заказов, а t – средняя продолжительность пакета. Причем, количество отделенных процессов синхронизации равняется количеству пользователей K , т.е. количеству отделенных программных трактов.

Минимально необходимое количество буферов памяти для пакетной синхронизации равняется $K + 1$, т.е. количество буферов на единицу больше, чем количество отделенных программных трактов. Тем не менее, как уже отмечалось, в зависимости от статистики синхронизации, в процессе коммутации можно использовать дополнительные буферы памяти.

Если используется минимально необходимое число процессов буферизации, то для описанного подхода имеется возможность сплитирования каждого входящего сигнала в количестве от единицы до $K + 1$, где K – число пользователей. Если же дополнительно (вне минимально необходимого числа) будут использоваться буферы памяти в количестве J , то каждый сигнал может быть максимально размноженным до $K + J + 1$ экземпляров. Очевидно, что ситуация максимального копирования конкретного сигнала может возникнуть лишь тогда, когда все пользователи закажут именно некоторый конкретный сигнал. В этот момент другие сигналы размножению не подлежат.

На рис. 2 приведена схема, обобщенно иллюстрирующая описанный подход, где показана последовательность процессов и расположение устройств, используемых в алгоритме метода.

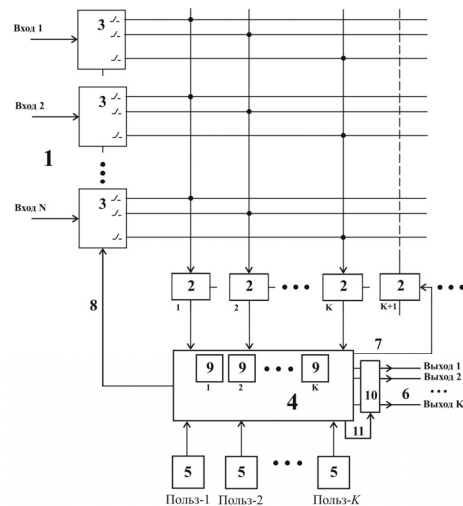


Рис. 2

- 1 – N входящих сигналов;
- 2 – буферы памяти от 1-го до $K + 1$, каждый из которых имеет вход и выход для сигнала, который синхронизируется, а также вход для управляющего сигнала, причем на рисунке показана ситуация, когда можно ожидать следующий заказ одного из пользователей, поэтому текущий $(K + 1)$ -й буфер памяти пуст, а свободный от входящего сигнала канал для синхронизации условно показан пунктирной линией; возможность дальнейшей установки новых буферов памяти показана многоточием;
- 3 – процесс входящего предварительного или лишь заказанного размножения N входящих сигналов;
- 4 – объединены система управления коммутацией и процесс цифровой коммутации входящих сигналов;
- 5 – клавиатуры пользователей;
- 6 – выходящие программы, количество которых равняется K ;
- 7 – управляющий сигнал, обеспечивающий автоматизированную подачу выбранного входящего сигнала на вход свободного буфера памяти для синхронизации, здесь для снижения загрузки рисунку стрелка условно показана только к свободному от входящего сигнала буферу памяти;
- 8 – управляющий сигнал, который обеспечивает автоматизированное управление процессом размножения входящих сигналов;

9 – специализированные носители памяти для фиксации последовательности пар «номер входящего сигнала – продолжительность выбранного входящего сигнала в программе», количество которых равняется количеству пользователей K (на рисунке показано в составе системы управления коммутацией);

10 – процесс агрегации выходящих сигналов;

11 – управляющий сигнал, обеспечивающий автоматизированное управление процессом агрегации выходящих сигналов.

Как видно из схемы, наращивание числа каналов и рабочих мест пользователей осуществляется дополнительным копированием сигналов и добавлением буферов памяти. На схемах эти тракты условно показаны линиями к клавиатурам 5. При этом не накладывается никаких теоретических ограничений на расстояния между пользователями и системой автоматизированного управления коммутацией. В качестве входящих, выходящих и управляющих каналов могут быть использованы любые коммуникации, в том числе локальные или глобальные компьютерные сети (Интернет и т.д.). Благодаря этому, например, способ позволяет организовать принцип дистанционного обучения в реальном времени группы режиссеров во время видеотрансляции событий, удаленных от консультанта–преподавателя.

Частные случаи методики

Описанный метод обладает несколькими уникальными частными случаями, которые могут быть использованы самостоятельно.

• *Независимая поочередная* буферизация входящих сигналов, когда процесс буферизации осуществляется постоянно циклически с некоторым минимальным шагом. Причем процесс такой буферизации не зависит от выбора пользователем номера входящего сигнала. Это существенно упрощает (и тем самым – повышает надежность работы и снижает стоимость) систему автоматизированного управления. Однако вносит в процесс выбора значительные задержки и ограничения на число входящих сигналов. Отличие такого способа заключается в том, что синхронизированная коммутация вхо-

дящих сигналов осуществляется благодаря *поочередной* оцифровке аналоговых сигналов и поочередной буферизации цифровых сигналов.

• *Собственные источники.* Многопрограммная коммутация произвольного числа предварительно несинхронизированных входящих сигналов на сигналы от собственных пользовательских управляемых источников – компьютеров, стримеров, магнитофонов, флеш-магнитофонов и т.д., называемых в дальнейшем *собственными сигналами*. При этом способ позволяет осуществить буферизацию не входящих сигналов, а общую предварительную буферизацию теоретически неограниченного множества всех собственных сигналов в одном общем буфере или группе буферов памяти. Или осуществить выборочную буферизацию любой последовательности групп собственных сигналов. Эти действия могут использоваться для упрощения процесса управления синхронизированным стартом собственного сигнала относительно синхроимпульсов любого входящего сигнала – процесс буферизации существенно упрощает этот раздел системы автоматизированного управления, отвечающий за логические операции по синхронному старту произвольной (т.е. сколь угодно сложной) совокупности групп собственных сигналов.

• *Полуавтоматический режим* как выборочной, так и поочередной буферизации, когда пользователь осуществляет нажатие клавиши с номером выбранного входящего сигнала дважды, т.е. для еще большего снижения стоимости реализации описанных частных случаев система автоматизированной коммутации может быть выполнена с упрощенной логикой. Отличие описанного решения от общеизвестного заключается в том, что в этом частном случае для двух операций одним пользователем используется одна и та же, т.е. единственная клавиша с номером выбранного входящего сигнала. При первом нажатии осуществляется регистрация на входе свободного от буферизации буфера. А при втором – стартует процесс коммутации. При этом дальнейшее исключительно формальное утроение или более множественное

нажатие клавиши уже не приводит к синтезу новых технических решений.

• *Агрегация* входящих, собственных и выходящих сигналов. Возможность агрегации произвольного типа и произвольных форматов входящих сигналов предоставляется пользователю ради того, чтобы можно было управлять временем коммутации благодаря подключению любых дополнительных внешних устройств (блока эффектов, внешних пультов, компьютера или совокупности параллельных компьютеров и т.д.), выполняющих вспомогательные процедуры обработки входящих или собственных сигналов, которые должны предшествовать синхронизации. Таким образом, эти процессы могут проходить как в самих же буферах памяти для синхронизации, так и во внешних устройствах, в зависимости от того, где они будут проходить быстрее. Поэтому число и тип таких внешних устройств ничем не ограничены.

Известно, что существует значительное число дополнительных процессов, существенно отклоняющих параметры типизированных сигналов от общепринятых форматов. К ним относятся: отсутствие синхроимпульсов или изменение их характеристик, изменение частоты хода пакетов (даже в динамическом режиме – во время транспортировки к месту коммутации), изменение одного из линейных размеров пакета или пропорций всех его линейных характеристик, изменение плотности цветов, применение алгоритмов предварительной компрессии перед транспортировкой сигналов к месту коммутации, динамическое изменение алгоритмов компрессии во время транспортировки и т.д. Как правило, все эти процессы делают невозможной непосредственную синхронизацию, а вынуждают пользователя прежде применять процесс агрегации, т.е. сведение всех значительных для синхронизированного переключения параметров входящих сигналов к единому унифицированному набору.

Поэтому именно агрегация позволяет применять методики эффективной транспортировки высокопоточковых цифровых сигналов (типа *3G-SDI*) от источников до места коммутации – оптимально использовать алгоритмы компрес-

сии и декомпрессии входящих сигналов в виде, удобном для пользователя, – от алгоритмов с малым коэффициентом сжатия (без потерь информации) до более усложненных процедур. Причем для корректной коммутации может декомпрессироваться только выбранный сигнал в процессе его буферизации, а не избыточно все одновременно.

Такой подход стимулирует пользователя создавать собственные библиотеки программных кодов разнообразных алгоритмов цифровой обработки входящих сигналов – от полного преобразования их свойств до цифровых эффектов-переходов с одного входящего сигнала на другой. Например, в случае коммутации видеосигнала классические плавный, или как его еще называют, «кросс-переход», «шторка», «картинка в картинке» или иные алгоритмы.

Отдельным видом агрегации в описанной методике есть возможность любому пользователю заказать копирование – сплиттирование – любого *выходящего* программного сигнала иного пользователя и использовать его в качестве собственного сигнала – осуществлять синхронизированное переключение с любого входящего или собственного сигнала на этот размноженный выходящий. Предоставляется также возможность гибкой ручной дополнительной «плаг-плей»-установки необходимого числа буферов памяти для одновременной синхронизации необходимого числа входящих сигналов относительно любого, изначально выбранного, не только для коммутации, а и для процедуры агрегации выходящих сигналов.

Причем каждый из объединенных выходящих сигналов может иметь произвольный результирующий вид в зависимости от использованного алгоритма объединения – от классического многоарного – бинарного, квартарного (или как его еще называют «квадраторного»), октарного – до какой-либо произвольной суперпозиции сигналов, которая строится на каких-либо результирующих пропорциях каждого входящего сигнала. Причем, сигналы могут агрегироваться без изменения пропорций размеров начального пакета, а могут и изменять эти пропорции.

При одновременном получении общей единой программы, распределенной по всем выходным трактам, ее характеристики могут также отличаться от характеристик начальных входящих сигналов – частотой хода пакетов, методикой компрессии или кодирования цветности, пропорцией пакетов и т.д. Например, общая результирующая выходная телевизионная программа может быть пропорционально распределена на 10 выходящих трактов, иметь вид круговой замкнутой панорамы, сформированной сцеплением один с другим кадрами из 10 входящих сигналов, пропорции длины и высоты каждого из которых преобразованы единым алгоритмом. А в каждом из них может быть заключено по принципу *картинки в картинке* еще некоторое произвольное число входящих сигналов. И каждый из этих вложенных входящих сигналов может также иметь свои пропорции кадра.

Во время проведения тех или иных событий такую результирующую единую агрегированную панораму можно транслировать благодаря специализированному многоходовому и многолучевому проектору, совокупности плазменных панелей, замкнутых по круговой поверхности, иной системе экранов или использовать иным образом. Этот же агрегированный выходящий сигнал может быть компрессирован для дальнейшей транспортировки или преобразован в формат *3G-SDI*. Таким образом, способ теоретически не предусматривает никаких ограничений относительно алгоритмов агрегации и характеристик выходящих пакетов в результирующих программах.

На рис. 3 приведена схема, иллюстрирующая один из частных случаев методики – синхронизацию и коммутацию входящих и собственных сигналов с любого на любой.

1 – объединено: N входящих сигналов, N одинарных буферов памяти и процесс последующего полного или постзапросного размножения входящих сигналов;

2 – собственные сигналы от 1-го до M -го, где M – число собственных сигналов;

3 – общий единый буфер или группы независимых буферов памяти;

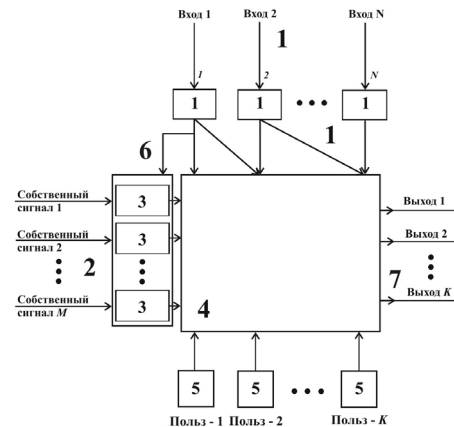


Рис. 3

4 – объединено: система автоматизированного управления коммутацией и процесс цифровой коммутации сигналов;

5 – клавиатуры пользователей, количество которых равняется K ;

6 – процесс выделения и направления синхроимпульсов для управления стартом собственных сигналов в общем буфере или группе буферов памяти;

7 – результирующие программы, количество которых равняется K .

Также, как и известные, данный подход подразумевает наличие дополнительных пользовательских трактов всех входящих и собственных сигналов для их мониторинга и визуального контроля.

Новые направления использования

Транспортировка больших потоков. Поддержка транспортировки сигнала *3G-SDI* в компрессированном формате на значительные расстояния с последующим автоматизированным декодированием лишь выбранного. Это особенно актуально для таких высокопоточковых цифровых сигналов, как *HD-SDI* и *3G-SDI*. Как известно [6], процесс декодирования должен предшествовать синхронизации. В описанном подходе автоматизированный процесс декодирования выбранного сигнала осуществляется также выборочно и в том же буфере памяти.

Но имеются некоторые ограничения. Если для транспортировки сигналов на большие расстояния (более 150 м) используются компрессирующие алгоритмы стандарта *MPEG-2* (и тем

более – MPEG-4), описанный подход вносит определенные временные задержки при декодировании сигналов. Причина заключается в том, что между моментом выбора сигнала и моментом доставки в синхронизирующий буфер ключевого кадра возможен определенный промежуток времени. Для некоторых событий этот показатель не есть критическим, а для некоторых – да. В последнем случае необходима избыточность – установка декодеров на каждом входящем тракте. И в случае если у пользователя таких событий ощутимо меньше, методика и соответствующие устройства коммутации позволяют более гибко использовать ресурсы – принимать решение по ситуации. Ощутимым преимуществом есть то, что в существующих решениях подобный выбор отсутствует.

Но при использовании профессиональных кодеков типа *Dirac Pro* [11] такая задержка будет сведена к минимуму – к одному–двум кадрам. Алгоритмы типа *Dirac Pro* используют только внутрикадровое сжатие, т.е. поток содержит только I-кадры [11]. В кодеке применяется упрощенное статистическое кодирование, пригодное для декодирования в реальном времени при очень высокой скорости потока. Степень сжатия – от 2:1 до 16:1. Но при большей степени сжатия усложняются вычисления и увеличивается время декодирования.

При передаче сигналов стандарта 1080p/50 [11] вместо требуемых каналов *Dual Link HD-SDI* (две линии по 1,5 Гбит/с) или полного *3G-SDI* (3 Гбит/с) возможно применять *HD-SDI* (1,5 Гбит/с) [11]. В таком случае коэффициент компрессии составляет 2,5:1. А сигналы 1080i/50 могут быть сжаты и переданы со скоростью 600 Мбит/с по общеизвестной гигабитной *Ethernet* сети. Также в случае применения сжатия для передачи сигналов 1080i/50 по каналу *SDI* возможно уменьшение потока до 270 Мбит/с. Коэффициент компрессии при этом будет 5:1.

Наличие таких кодеков в сочетании с описанным способом автоматизированной выборочной декомпрессии и синхронизации позволяет применять бюджетные решения для транспортировки *3G-SDI* на значительные расстояния (до 300 метров) в форме *HD-SDI* (1,5 Гбит/с)

без потери качества [6, 11], т.е. с последующим полным восстановлением сжатой информации при декодировании в буфере памяти.

Малобюджетные тракты. Описанный подход позволяет применить противоположное техническое решение для транспортировки сигнала на значительные расстояния. Как известно [2, 12], для качественного монтажа результирующей программы от значительного числа источников в реальном времени важно правильное управление группой операторов. Для формирования подавляющего большинства телевизионных версий событий для последующей трансляции в записи качество режиссерских решений определяется именно этим фактором. Объем дальнейшего перемонтажа (*чистки*) при этом существенно снижается [2].

В такой ситуации транспортировка сигнала к месту коммутации нужна, прежде всего, для мониторинга операторов, а процесс коммутации – для их управления посредством обратной связи (тали-сигнализаторы, переговорные устройства и обратная транспортировка программы [2]). Тогда сама запись по трансляции – это протокол не только события, но и режиссерских решений. Наличие у пользователя значительного числа малобюджетных и малогабаритных профессиональных цифровых записывающих накамерных устройств, а также малобюджетной низкопоточковой (или аналоговой, что еще более приемлемо для транспортировки сигналов на значительные расстояния) системы выборочной коммутации позволяет существенно снизить затраты на решение таких задач.

Удаленное управление врезкой. Основной особенностью каркасного анализа Про есть выявление многосторонних связей сущностей-объектов степенью *многие ко многим* [5]. На этом принципе описанный способ позволяет реализовать взаимодействие всех основных сущностей-объектов: *СИГНАЛОВ ТЕЛЕКАНАЛОВ, ВРЕЗОК-КОММУТАЦИЙ* (иностраных отрезков телепрограмм), *МОМЕНТОВ УДАЛЕННЫХ СТАРТОВ ОТРЕЗКОВ, ТЕРРИТОРИЙ ВЕЩАНИЯ, ЗАКАЗЧИКОВ ВРЕЗОК-КОММУТАЦИЙ, ВЛАДЕЛЬЦЕВ ПРАВ НА ТЕЛЕКАНАЛЫ* и т.д. Особенность избыточной коммутации – мо-

дифицируемость, которую способ унаследовал от безаномальной схемы ПрО [5]: если пользователь в процессе эксплуатации обнаружит новую сущность-объект (новую совокупность признаков), не учтенную до эксплуатации, поддерживается ее естественная интеграция.

Данный подход апробирован и внедрен в региональном филиале одного из национальных телеканалов Украины. У авторов имеется соответствующий акт внедрения.

Обучение стажеров. Важное свойство описанной методики – возможность миниатюризации соответствующих устройств коммутации с целью минимизации затрат на проведение обучения операторов–стажеров и режиссеров–стажеров на ПТС-тренажере, а также возможность применения этого технического решения в сфере, для которой до настоящего времени не производилось специализированное оборудование. Однако именно полигонное обучение навыкам профессии [2, 12] в сфере телевидения [13] и не только [14] – преобладающий фактор качества специалиста. Предложенный ПТС-тренажер позволяет решить эту проблему [15, 16].

Результаты тестовых испытаний

Описанный подход позволил собрать и неоднократно протестировать на значительном числе съемочных площадок, подобных [15, 16], специализированное устройство многокамерной многопрограммной коммутации видеосигналов.

Апробация проводилась на 12–16 профессиональных видеокамерах. Тестирование показало высокую надежность устройства. Эксплуатация подтвердила серию новых конкурентных преимуществ.

В течение многих лет объектом пристального внимания авторов и их партнеров является процесс обучения телеоператорскому искусству [13–16]. При этом основные особенности многокамерной съемки [2] существенно влияют на скорость обучения и позволяют использовать передвижную телевизионную студию как эффективный ПТС-тренажер, который также апробирован и всесторонне тестирован. В процессе многолетней практики [13–16] по формированию профессиональных навыков у бо-

лее чем 50 стажеров–телеоператоров и режиссеров система показала высокую надежность и эргономичность, что для процесса обучения очень важно.

Заключение. Математические подходы к семантическому анализу тех ПрО, которые традиционно принято относить к «нематематическим» (техническим или технологическим), позволяют выявить в них противоречия и аномалии и подготовить новые решения, основанные на математических моделях и вычислительных алгоритмах.

Результаты каркасного анализа способов коммутации дискретно-периодических сигналов позволили предложить решение, поддерживающее не только автоматизированный, но многопользовательский режим коммутации. Такое обобщение позволяет нескольким пользователям одновременно работать в реальном времени на единой системе источников. В случае видеосигналов построение такой многопользовательской ПТС эффективно решает техническую задачу многопрограммной агрегации значительного числа входящих видеосигналов.

Предложено также эффективное решение классической задачи телевещательного объединения множества признаков: сигналов телеканалов, инородных отрезков телепрограмм, моментов времени удаленных стартов каждого из отрезков, территорий вещания, заказчиков врезок–коммутаций, владельцев прав на телеканалы и т.д. При этом если пользователь в процессе эксплуатации обнаружит новую совокупность множеств признаков, не учтенную до эксплуатации, способ подразумевает естественную интеграцию этих новых признаков.

Описанная концепция апробирована при организации значительного числа прямых телевизионных трансляций, телемостов и моментального многокамерного видеообслуживания событий, видеоотчеты о которых опубликованы на том же ресурсе и под теми же рубриками, что и [15, 16]. Полученные результаты позволяют предлагать методику к широкому внедрению.

1. *Джаскония В.Е., Гоголь А.А., Друзин Я.В.* Телевидение. Учебник для вузов. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2007. – 616 с.
2. *Тетерин В.С.* Особенности режиссуры телевидения при многокамерном методе съемок. – М.: ВГИК, 1971. – 105 с.
3. *Патент Украины № 92248.* Способ обобщенного размещения данных с учетом модифицируемости структуры хранилища / Б.Е. Панченко. – Оpubл. 11.10.2010.
4. *Панченко Б.Е.* Об алгоритме синтеза реляционного каркаса. Постановка задачи и формализация // Компьютерная математика. – 2012. – № 1. – С. 84–93.
5. *Панченко Б.Е.* Исследования доменно-ключевой схемы реляционной базы данных // Кибернетика и системный анализ. – 2012. – № 6. – С. 157–172.
6. *Мамчев Г.В.* Особенности радиосвязи и телевидения: Учебн. пособие для вузов. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2007 – 416 с.
7. *Патент Украины № 103313.* Способ автоматизированной цифровой многопрограммной мультисигнальной коммутации / Б.Е. Панченко, Д.А. Печенюк. – Оpubл. 15.09.2010.
8. *Fagin R.A.* Normal Form for Relational Databases That Is Based on Domains and Keys // ACM Transactions on Database Systems. – 1981. – 6, N 3. –P. 387–415.
9. *Филиппович А.Ю.* Принципы взаимных функциональных зависимостей // Интеллектуальные технологии и системы: Сб. ст. 4. – М.: Изд-во МГУП, 2002. – С. 222–241.
10. *Nobuyuki Murakami,* Video switcher and video switching method / Patent US 2009/0109334 A1, Apr. 30.2009.
11. *Уилсон П., Борер Т., Дэвид Т.* Семейство систем цифрового сжатия DIRAC расширяется.– М.: Ж. «625», 2007. – № 3. – С. 63–67. – <http://rus.625-net.ru/625/2007/03/dirac.htm>
12. *Соколов А.Г.* Монтаж: телевидение, кино, видео. – Там же, 2001 – 207 с.
13. *Кривомаз Л.С.* Многокамерная прямая трансляция как эффективный тренажер для формирования профессиональных навыков телеоператоров и телережиссеров / Инновационное развитие общества в условиях кросс-культурных взаимодействий: Тез. докл. 3-й междунар. конф., 26–29 апреля 2010. Сумы. – 2010. – Т. 2. – С. 169–171.
14. *Панченко Б.Е., Кривомаз Л.С.* Многокамерная прямая трансляция как метод эффективного дистанционного обучения / Инновационное развитие общества в условиях кросс-культурных взаимодействий: Тез. докл. 2-й междунар. конф., 27–30 апреля 2009. Сумы. – 2009. – Т. 3. – С. 18.
15. *Федоришин В.И., Кривомаз Л.С.* М.Ф. Колесса – сын столетия, видеOVERсия концерта / Ютуб, 2007. – http://www.youtube.com/watch?v=8ky_4y-qDT4
16. *Федоришин В.И., Кривомаз Л.С.* Украинская музыка в мировой культуре, видеOVERсия концерта / Ютуб, 2009. – <http://www.youtube.com/watch?v=BPoTin46UBQ>

Поступила 22.04.2013
Тел. для справок: +38 044 526-3603 (Киев)
E-mail: pr-bob@ukr.net
© Б.Е. Панченко, Д.А. Печенюк, 2013

Внимание !

**Оформление подписки для желающих
опубликовать статьи в нашем журнале обязательно.**

В розничную продажу журнал не поступает.

Подписной индекс 71008