



НОВІ ЗАСОБИ КІБЕРНЕТИКИ, ІНФОРМАТИКИ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Б.Е. ПАНЧЕНКО, Д.А. ПЕЧЕНЮК

УДК 004.519.6, 621.397

МАРШРУТИЗАЦИЯ И КОММУТАЦИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ЧИСЛА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ НА БОЛЬШИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Аннотация. Предложен и исследован способ автоматизированной многопрограммной выборочной маршрутизации цифровых сигналов в связи с их коммутацией. Структура сигнала — дискретно-периодическая (пакетная). Рассматривается также ситуация, когда возможность предварительной синхронизации источников отсутствует. Это обусловлено потребностью использования источников с произвольными параметрами структуры сигналов (частоты хода пакетов, длительности пакетов и т.п.), а также от разных производителей. Обеспечивается и многопользовательский режим маршрутизации. После выборочного синхронизированного переключения цифровых сигналов от значительного числа источников (от 1000 и более) обеспечивается выборочная маршрутизация для последующей транспортировки.

Ключевые слова: коммутация телевизионных сигналов, маршрутизация, многопользовательский режим, SDRAM-буферизация, ПТС, ПТС-тренажер, тракт.

ВВЕДЕНИЕ

Для современного телевидения [1] особенно важными являются технические решения, поддерживающие значительное число одновременно обрабатываемых источников телевизионных сигналов (в дальнейшем — просто сигналов), работающих на обширных территориях, поскольку такие события, как расширенные спортивные соревнования, мега-выставки с числом участников, превышающим десятки тысяч, дни городов, массовые «парковые» фестивали, реконструкции исторических батальи и т.п., имеют максимальный зрительский эффект. Именно прямые трансляции событий, обслуживаемых тысячами профессиональных телевизионных камер [2] с использованием перемещаемых телевизионных студий (ПТС), а также малогабаритных ПТС-тренажеров, должны быть показателем не только телеканалов, но и интернет-сервисов.

Поскольку зрители требуют не только качественного изображения и чистоты звука, но и особых эмоциональных впечатлений, позволяющих быть сопричастными событиями, современный сервис «доставка впечатления» заменяет привычную «доставку контента» [3]. Это означает, что онлайн-эмоции и переживания, обусловленные прямыми трансляциям, особо востребованы [4]. В настоящее время пользователь рассматривает телекоммуникации как средство построения собственной развлекательной системы. В этом процессе главным предназначением систем связи, использующих сверхвысокую четкость и сети передачи данных [5], должна стать доставка персонализированных ощущений и впечатлений [6].

© Б.Е. Панченко, Д.А. Печенюк, 2017

К сожалению, таких технических решений на рынке крайне мало, а промышленно внедренных и повсеместно апробированных — вообще не существует. Причина проста — очень высокая себестоимость процесса транспортировки и коммутации значительного числа высокопоточковых профессиональных сигналов. Поэтому актуальность проведенных исследований вытекает из потребности существенного снижения себестоимости этих процессов.

Как известно, сигнал имеет пакетную, т.е. дискретно-периодическую структуру [7]. Поэтому основной технической проблемой коммутации является нарушение целостности нескольких пакетов (нескольких кадров) включаемого сигнала [8, 9]. Причем эта проблема касается сигналов как полнопоточковых аналоговых или цифровых, так и компрессированных. Например, в стандарт MPEG-2 была введена специализированная функция, обеспечивающая коммутацию [10]. Коммутация в терминалах MPEG называется склеиванием. Возможны два вида склеивания: безразрывное и с прерыванием [8]. Но несмотря на то, что синтаксис стандарта MPEG-2 обеспечивает возможность склеивания сигналов, его весьма общий характер не гарантирует строгого сопряжения потоков [11]. Поэтому традиционные задачи коммутации следует дополнить управлением буферной памятью данных, идентификацией точек склеивания и другими практическими нормативами, которые необходимо разработать в будущем [10].

Для исключения брака коммутации (или синхронизации склеивания в MPEG) существуют три технических решения: принудительная предварительная синхронизация всех источников сигналов [12, 13], переключение через инородный пакет («черный кадр») [14] и синхронизация только нескольких выбранных сигналов относительно предыдущего сигнала в момент переключения [15]. Все остальные решения являются следствиями перечисленных.

Для практики важны технические решения, когда возможность предварительной синхронизации источников отсутствует. Это обусловлено необходимостью одновременного использования различных типов источников от разных производителей. При этом системы коммутации должны поддерживать и многопользовательский режим [15]. В работах [16–18] также предложены решения для многопользовательского режима, однако при этом применяется централизованный процесс синхронизации сигналов, как и в [12, 13].

Как изложено в [15], цифровые сигналы синхронизируются посредством FIFO-режима [19] работы кадрового буфера памяти, когда запись и чтение строк кадра осуществляются независимо. При этом контролируется отрезок времени между началом записи и началом чтения одного и того же набора строк кадра. Таким образом осуществляется синхронизация. Идея использования бюджетных RAM-чипов обсуждается в [20, 21]. В [20] рассмотрена архитектура контроллера памяти SRAM, обеспечивающего необходимую пропускную способность для нескольких гигабитных каналов коммутирующего устройства, а в [21] разработан контроллер памяти, который направлен на снижение латентности доступа SDRAM с помощью локального FIFO для временного хранения данных из буфера памяти. В [22] также описано FIFO-решение на базе SDRAM.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Востребованными являются технические решения, которые позволяют в промышленных системах минимизировать затраты на:

- производство и эксплуатацию систем коммутации, рассчитанных на десятки тысяч источников;
- производство и эксплуатацию оптоволоконных камерных каналов;
- быстрое конфигурирование (разворот) и переконфигурирование базового блока системы на 500–1000 камер на локации в 2–5 км².

Решения должны также минимизировать габариты системы коммутации. Если сравнивать имеющиеся на рынке системы со средними габаритами $1,5 \times 0,5$ м на 50–60 источников, то размеры новых систем, рассчитанных на 500–1000 источников, не должны превышать $0,5 \times 0,4$ м. Таким образом, размеры систем коммутации и оптоволоконных камерных каналов не должны зависеть от числа обслуживаемых источников.

НОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Как отмечено выше, в телевидении применяют три способа синхронизации: принудительная синхронизация всех источников синхроимпульсами [13], одновременная цифровая буферизация пакетов всех сигналов [12] на устройстве коммутации и автоматизированная выборочная буферизация лишь выбранного сигнала относительно предыдущего [15]. В последнем случае синхронизируются моменты начала хода пакета аналоговых или цифровых сигналов один относительно другого, а за время паузы, т.е. за время перехода на следующий пакет, обеспечивается синхронизированное переключение.

Указанные способы имеют один существенный недостаток — ограниченное число сигналов, которые подлежат маршрутизации с последующей коммутацией. Во всех перечисленных способах существует линейная зависимость себестоимости синхронизации от числа сигналов. Поэтому принципы коммутации, положенные в основу указанных устройств, не дают возможности независимо масштабировать число источников, сигналы от которых поддерживают эти устройства.

Прототипом нового технического решения является принцип коммутации, предложенный в [15], где также получен новый технический результат, который заключается в синхронизированной коммутации неограниченного числа предварительно несинхронизированных источников. Но в этом случае не показано, каким образом осуществляется маршрутизация значительного числа сигналов к устройству коммутации. Без решения этого вопроса промышленная эксплуатация способа-прототипа осложняется.

Задачей нового технического решения является разработка альтернативного способа автоматизированной выборочной маршрутизации значительного числа цифровых сигналов, который одновременно обеспечивает: автоматизированную маршрутизацию к точке коммутации сигнала, выбранного из произвольного числа сигналов; синхронизированное переключение цифровых сигналов от произвольного числа заранее несинхронизированных источников; многопользовательский режим работы; неограниченное масштабирование системы источников (увеличение или уменьшение их числа) во время эксплуатации; произвольную топологию расположения источников. Важно также обеспечить возможность ситуативного и краткосрочного изменения расположения источников на значительной территории, когда несмотря на продолжительную эксплуатацию системы такие замены схемы расположения источников могут происходить часто.

В основу нового технического решения положена идея выборочной маршрутизации сигнала сначала к локации коммутации, а после переключения — к локации пользователя. Все известные устройства коммутации, например коммутаторы телевизионных сигналов, рассчитаны на небольшое число источников. Поэтому процесс визуализации и процесс выбора сигнала локализованы в одном месте — на пульте коммутации. Концепция является неприемлемой, когда число сигналов превышает 100, а тем более — 1000 источников.

Некоторые упомянутые методы синхронизации сигналов дают возможность отделить в пространстве расположения источников процесс выбора сигнала от процесса коммутации. Однако одновременное осмысливание пользователем со-

держания даже 50 сигналов в реальном времени является практически невозможным. Поэтому часто решения принимаются с учетом естественного упорядочения групп источников в соответствии с топологией события, которое обслуживается. Практика обслуживания числа источников, превышающего 50, доказывает, что их обзор и осмысливание осуществляется только по группам. Такие группы пользователь создает в соответствии с признаком их естественного расположения на мониторе — по 4 или по 9 источников на каждом. Любая такая группа обрабатывается или последовательно на протяжении определенных отрезков времени продолжительности события, или параллельно несколькими пользователями.

Таким образом, для решения поставленной технической задачи рассматриваются лишь два подхода к синхронизации сигналов: либо постоянная искусственная синхронизация всей системы источников благодаря синхроимпульсам из системы коммутации [13], либо автоматизированная выборочная синхронизация выбираемого сигнала относительно предыдущего благодаря автоматизированной буферизации только этих двух сигналов [15]. Причем только эти методы дают возможность построить также и многопользовательскую концепцию работы упомянутой системы. Однако первый подход не может быть использован в ситуации, когда необходимо объединять в одной системе источники, имеющие интерфейс внешней синхронизации, с источниками, которые такого интерфейса не имеют. Подобная задача часто возникает при необходимости объединения совокупности видеокамер внешнего наблюдения со сниженными характеристиками сигнала с профессиональными телевизионными камерами. Для синхронизации таких систем источников безальтернативным является способ выборочной автоматизированной буферизации.

Новое техническое решение отличается от известных тем, что благодаря системе автоматизированного управления коммутацией (САУК), которая установлена на системе устройств коммутации (УК) или в иерархической топологии системы на центральном устройстве коммутации (ЦУК), процессы коммутации и маршрутизации в пространстве расположения источников разделяются. К пользователю транспортируется лишь выбранный им сигнал, который в момент выбора заменил предыдущий сигнал. Причем такая транспортировка осуществляется лишь благодаря одной логической линии тракта (ЛЛТ), т.е. логического проводника сигнала. Описанное техническое решение было предложено в [23].

Такой подход позволяет строить более эффективные схемы маршрутизации сигналов, исключая избыточность трактов [9], существенно минимизировать загрузку тракта и использовать топологию соединения всех источников сигналов и УК (рабочего места пользователя) исходя из двух известных принципов: сетью или (в частном случае) иерархией в виде дерева. В случае использования дерева начало ориентировано на ЦУК, а ветви и листва — на источники. В случае использования сети ЦУК не определяется.

Устройства коммутации — это удаленные от пользователя коммутаторы, минимально достаточные для выполнения запросов пользователей. В соответствии с этими запросами, а также управляющими сигналами от САУК устройство коммутации осуществляет следующие процессы: включение–отключение любой ЛЛТ, которая соединена с УК (состояние ключа-семафора), автоматизированную буферизацию и синхронизацию выбранного сигнала относительно предыдущего сигнала (в случае, когда невозможно использовать общую искусственную синхронизацию всех источников), коммутацию выбранного сигнала относительно предыдущего и размножение (сплитирование) сигнала источника.

Таким образом, многопользовательский режим работы системы поддерживается размножением сигналов в соответствии с запросами пользователей, а так-

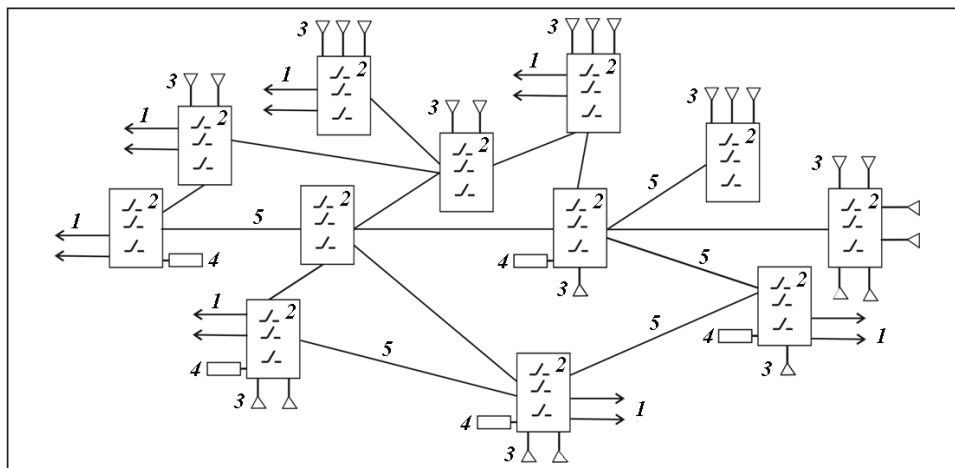


Рис. 1

же их транзитом сквозь УК (если это необходимо) в зависимости от управляющего сигнала. Это происходит благодаря ЛЛТ, объединенных в один физический канал (ФК) тракта, который присоединен к УК по схеме «вход-выход».

На рис. 1 приведена схема, которая иллюстрирует маршрутизацию сигнала с топологией «сеть» и расширенным многопользовательским режимом работы. Цифрой 1 обозначены результирующие программные сигналы, число которых равно K ; 2 — УК и маршрутизации, которые показаны как однотипные; 3 — источники сигнала; 4 — клавиатуры пользователей, число которых равно K ; 5 — тракты.

Во избежание загроможденности чертежа показано лишь несколько трактов, при этом имея в виду все возможные комбинации. Также не показаны направления прохождения сигналов, управляющих сигналов и запросов пользователей, поскольку это очевидно.

ПРИНЦИП РАБОТЫ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Устройство коммутации непосредственно (или находится близко) подсоединяется к одному или к нескольким источникам сигналов (по схеме «звезда») либо к свободным узлам пересечения ветвей в иерархической схеме расположения источников или звеньев в сети (если в этих узлах по определенным соображениям не размещены источники). После поступления от пользователя к САУК соответствующего запроса на сигнал определяются локация коммутации и маршрут выбранного сигнала к локации коммутации. Коммутация (или предваряющая коммутацию автоматизированная буферизация и синхронизация относительно предыдущего сигнала) может осуществляться или на УК, которое непосредственно соединено с предыдущим источником, или на УК, которое непосредственно соединено с выбранным источником (в зависимости от расположения источников, находящихся ниже по каскаду, если они расположены на одной линии), или на линии пересечения соответствующих путей, т.е. на «узловом» УК. Коммутация может осуществиться лишь в состоянии УК «открыто». В этом же состоянии должны находиться и все другие УК на отрезке пути к текущему пользователю. Эту последовательность действий на протяжении относительно малого промежутка времени по сравнению с паузой в ходе пакетов (например, не более 1–2 мс для видеокadra стандарта PAL) отслеживает САУК. В частном случае в некоторых узлах сети размещаются иные устройства — так называемые маршрутизаторы, которые обладают свойством только ключа-семафора, а не коммутации.

Развитие описанного подхода представляется расширенной конфигурацией УК. На таком УК может быть установлен клон САУК. И поэтому на любом из таких УК в произвольный момент времени работы системы может быть создано рабочее место нового пользователя. Поскольку теоретически число пользователей ничем не ограничено, решающим фактором является разрешающая способность реализации такого способа маршрутизации. К любому пользователю, который расположен в произвольной локации пространства системы, по его текущему запросу на протяжении всего времени работы доставляется лишь запрошенный сигнал. Эта концепция предоставляет возможность коммутации любого зарегистрированного в системе сигнала на любой иной сигнал. Так осуществляется расширенный многопользовательский режим работы системы. Поэтому при расширенном режиме ЦУК и УК имеют лишь условное (логическое) различие.

На каждом УК, который удален от пользователя, включаются дополнительные опции клона САУК, которые предоставляют возможность пользователю осуществлять во время коммутации не только замену одних отрезков сигналов другими («жесткую склейку»), но и в соответствии с управляющим сигналом загружать определенные выполняемые программные коды переходов от предыдущего сигнала на текущий сигнал с определенным цифровым эффектом, а также дистанционно управлять параметрами такого перехода, например продолжительностью выполнения. При этом в зависимости от ресурсов УК, благодаря которым обслуживаются запросы множества пользователей (число ЛЛТ, которые входят в УК и выходят из него, число буферов памяти для синхронизации и т.д.), ЛЛТ могут использоваться и как каналы для коммутации с цифровым эффектом не только двух сигналов по схеме «предыдущий — следующий», а большого числа следующих сигналов, агрегированных по схеме «несколько картинок в картинке».

Маршрутизация к пользователям выбранных коммутируемых относительно предыдущих сигналов осуществляется благодаря одной ЛЛТ сигнала, а непосредственная доставка любого сигнала к любому пользователю по любому ФК осуществляется после регистрации источников и их топологии расположения благодаря распределению ЛЛТ, автоматизированному мультиплексированию и управлению состоянием ключей-семафоров на каждом ЛЛТ. Когда возникает потребность изменения конфигурации носителей ЛЛТ, то САУК отрабатывает переопределение этого распределения в режиме реального времени или сообщает пользователю об исчерпании в текущей реализации возможностей добавления новых пользователей без физического расширения тракта, а также без расширения резервов ключей-семафоров на новых ЛЛТ и на каждом УК будет невозможно обслужить новых пользователей. САУК также определяет и отображает необходимость в установлении дополнительных звеньев сети, если возникает локальная перегрузка тракта.

В частном случае УК могут располагаться в соответствии с иерархической топологией, когда к каждому УК, на котором размещено рабочее место пользователя, подсоединено несколько источников. Тем не менее, это УК имеет такой клон САУК, который управляет только сигналами от источников, непосредственно подсоединенных к нему: пользователю УК нет необходимости выбирать иные сигналы. Пользователи ЦУК, которое подсоединено к началу иерархии системы источников, имеют возможность выбора сигнала от любого источника. Этим поддерживается режим групповой многопрограммной маршрутизации и коммутации.

На рис. 2 приведена схема, иллюстрирующая маршрутизацию сигнала с топологией «иерархия» и групповой многопользовательский режим работы.

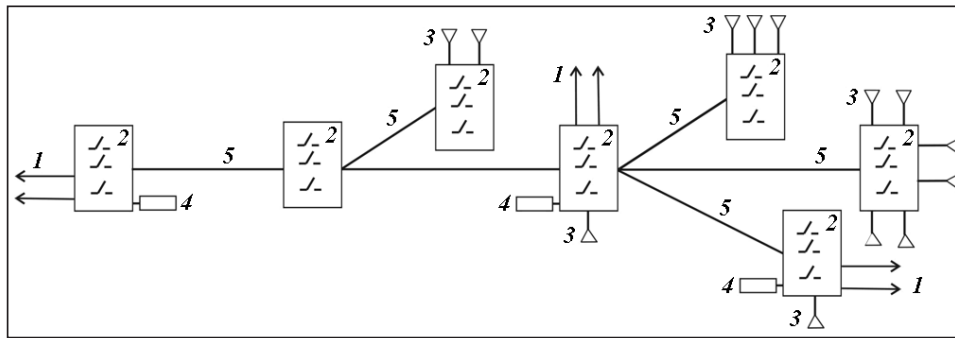


Рис. 2

В качестве топологии соединения УК и источников могут быть использованы несколько деревьев, соединенных между собой несколькими ветвями. Пользователи УК не имеют возможности выбирать сигналы от источников, подсоединенных к другим УК, а пользователи ЦУК, которые подсоединены к началу каждого дерева, имеют возможность выбирать сигнал от любого источника. Очевидно также, что несколько источников могут соединяться непосредственно с любым УК в соответствии с топологией «звезда».

Отдельная задача описанного способа маршрутизации и коммутации — визуализация выбираемых сигналов. Если пользователя не устраивает, что наблюдаемое событие на мониторе состоялось некоторое время ранее момента наблюдения и потому выбор сигнала в момент наблюдения не приводит к появлению переключения с предыдущего сигнала на последующий в программе в этот же момент события, то режим реального времени для принятия решения относительно выбора источника является критичным. Поэтому для принятия в реальном времени решения относительно выбора сигнала из большого числа сигналов использованы комбинированные тракты и комбинированные ЛЛТ. Для маршрутизации в реальном времени к рабочему месту пользователя выбранных для результирующей программы сигналов использованы полнопоточковые форматы сигнала 3G, 6G, 12G и т.д., а для одновременной визуализации значительного числа сигналов использованы компрессия, аналоговый формат транспортировки или другие способы мультиплексирования.

Для одновременного осмысливания пользователем содержания события при исследовании использован принцип группировки сигналов с незначительным числом сигналов в группе, которое естественным образом можно расположить на мониторах (по четыре или по девять) и осуществить маршрутизацию к пользователю для визуализации лишь нескольких групп.

Для систем со средним числом источников, которые можно обслужить, например, с помощью 3–5 оптоволоконных трактов (как правило, это 50–100 сигналов на каждом ФК), с целью одновременной визуализации целесообразно использовать такие алгоритмы компрессии, которые работают лишь в реальном времени на сжатие и восстановление сигнала.

Для одновременной маршрутизации до рабочего места пользователя значительного числа сигналов в целях их одновременной коллективной визуализации (от 1000 и выше) целесообразно использовать алгоритмы глубокой компрессии, которые предоставляют возможность значительно уплотнить тракт и одновременно транспортировать увеличенное число сигналов, но со значительным превышением реального времени на процесс сжатия и восстановления сигнала. Для компенсации утраченного реального времени используются буферы памяти.

На каждом УК установлен буфер памяти для постоянной записи некоторого конечного отрезка времени сигнала по принципу FIFO (для буферизации одно-, трех-, десятиминутного отрезка сигнала или более), систематического удаления этого отрезка, если он остался не востребованным, и замены его новым. Во время выбора события, которое состоялось за некоторое время до момента его визуализации (тем не менее, оно доступно в буфере), в управляющем сигнале используются соответствующие временные маркеры выбранного пакета сигнала. Кроме того, используется свойство управляющего сигнала, который подается к месту коммутации в реальном времени. Поэтому коммутация на выбранный и записанный в буфере сигнал осуществляется от выбранного пакета. При дальнейшем воспроизведении выбранного сигнала из буфера памяти уже не будет происходить процесса его изъятия вплоть до момента переключения на другой сигнал, который воспроизводится из другого буфера.

Таким образом, формирование итоговой программы осуществляется по принципу отложенного времени. При этом появляется возможность накопления запросов от значительного числа удаленных пользователей, например из сети Интернет в отдельном хранилище, установленном на каждом УК. Этим создается расширенный многопользовательский режим с отложенным временем формирования программ.

Как правило, в системе одновременной визуализации сигналов от большого числа источников для осуществления выбора нет возможности вводить на клавиатуре соответствующий номер сигнала со значительным числом цифр, которым оперирует САУК (пользователь не в состоянии успевать вводить цифры). Также нельзя использовать клавиатуру с увеличенным числом клавиш. Достаточно визуально выбрать клавишу, поскольку в нее вмонтировано устройство визуализации (мини-экран), и активизировать ее нажатием. Причем во избежание ошибки клавиша выполнена не в стиле «легкое прикосновение», а в стиле «пиано» — нажатие с определенным усилием. Также предусмотрена загрузка в клавишный мини-экран текущей группы сигналов для мониторинга, а в дальнейшем — удаление этой группы и загрузка иной.

Важным свойством описанного подхода к маршрутизации и коммутации является возможность на каждом УК выполнять дополнительные операции. К ним относятся: преобразование аналогового сигнала в цифровой, компрессия с учетом реального времени, глубинная компрессия цифрового сигнала, фильтрация высокочастотного сигнала и соответственно преобразование его в низкочастотный без компрессии, мультиплексирование группы сигналов с добавлением нового сигнала к ней и дальнейшая ретрансляция обновленной группы, эмуляция внешней синхронизации с использованием буферизации для тех источников, которые не имеют интерфейса внешней синхронизации, коррекция синхроимпульса для использования синхронизации всех источников методом принудительной общей синхронизации в случае его затухания по причине отдаленного расположения источников.

СИНХРОНИЗАЦИЯ КОММУТАЦИИ

Как видно из рис. 1 и 2, в схеме маршрутизации основными устройствами являются пользовательские УК. Но, как следует из литературных данных, наиболее распространенным способом синхронизации источников сигналов является централизованная предварительная синхронизация всей системы в целом. Очевидно, что в описанной постановке такой способ не является эффективным, поскольку ввиду обслуживания значительных территорий требуется использование сложного алгоритма поддержания синхронизации самих управляющих сигналов и постоянный учет искажений точности на значительных расстояниях. В данной ситуации взаимная синхронизация выбранных сигналов по факту коммутации является бо-

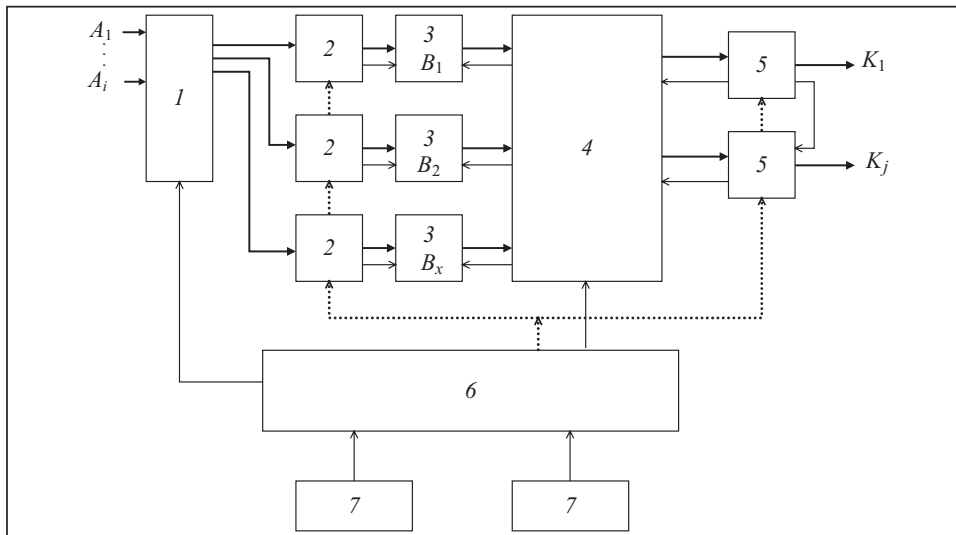


Рис. 3

лее перспективной. При этом производство кадровых буферов, работающих по принципу FIFO, может осуществляться на основе минимально достаточных бюджетных SDRAM-решений.

Объектом исследования проблемы синхронизации в описанном техническом решении является динамическая память с произвольным доступом SDRAM, на базе которой может осуществляться бюджетная синхронизация высокопоточкового сигнала. Задачей исследования является разработка и апробация технического решения (принципиальной схемы и соответствующего устройства), полученного в развитии способа [23], для использования его в системе коммутации [15].

Для проведения исследований был разработан специализированный испытательный стенд, который собран на элементной базе, доступной на рынке. Для проведения исследований выбрана динамическая память K4S641632C-TC/L60 с организацией $1\text{M} \times 16\text{Bit} \times 4\text{Banks}$ SDRAM и возможностью работы на частоте до 166 МГц. Реализация управления динамической памятью и коммутацией цифровых потоков выполнена на микросхеме программируемой логики ACEX EP1K30TC144-3N, которая имеет в составе 24576 bit RAM, что исключает необходимость использования дополнительных микросхем памяти/регистров для работы контроллера SDRAM. Оцифровка сигнала выполняется на базе микросхем SAA7113.

На рис. 3 приведена функциональная схема устройства коммутации, обобщенно иллюстрирующая описанный подход. Показаны последовательность процессов и расположение устройств, которые используются в алгоритме метода. Сплошной линией обозначен информационный тракт, сплошной тонкой линией показан управляющий тракт, пунктирной линией показана шина управления I2C. На схеме обозначены следующие элементы: 1 — несинхронизированный коммутатор входящих сигналов (например, 16×3), 2 — АЦП сигнала, 3 — память SDRAM, 4 — программируемая линейная матрица (ПЛМ) коммутации, 5 — ЦАП сигнала, 6 — схема управления, 7 — клавиатуры.

Как указывалось в [9], большое число тестовых испытаний стенда позволяет утверждать, что приведенные выводы достоверны. В результате испытаний получена схема контроллера памяти, приведенная на рис. 4.

Входные цифровые видеоданные с частотой следования 27 МГц и шириной шины 8 бит записываются в соответствующие входные буферы памяти

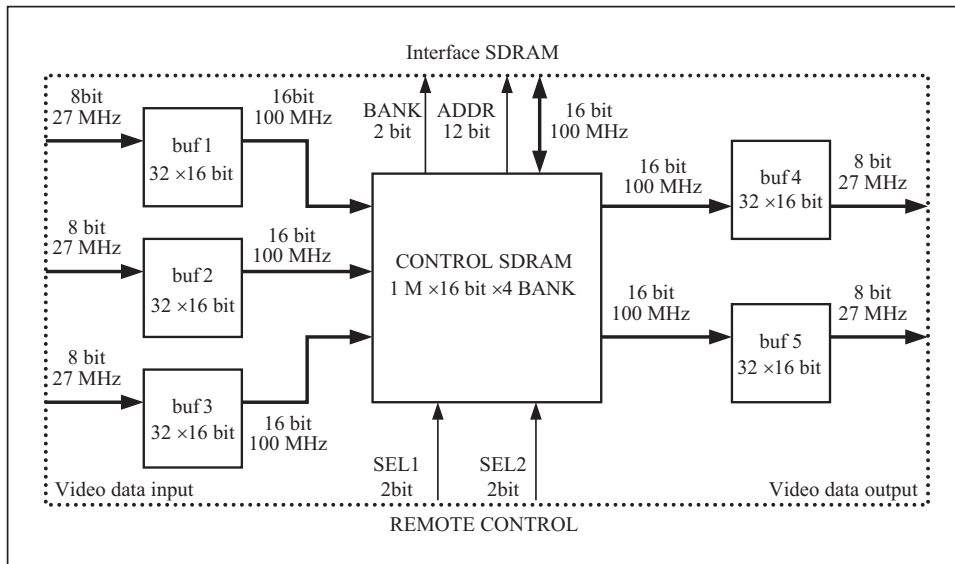


Рис. 4

32 × 16 бит, реализованные в самой ПЛИМ. Выходные буферы соответственно преобразовывают данные с контроллера 16 бит 100 МГц в формат видео 8 бит 27 МГц. Входные и выходные буферы памяти имеют два независимых интерфейса для чтения и записи данных (принцип FIFO), что позволяет работать чипу на частоте 100 МГц, а АЦП/ЦАП сигнала — на частоте 27 МГц.

Для реализации коммутации данных выбран полностраничный режим памяти SDRAM с пакетной записью и чтением. Выбранный чип имеет четыре банка памяти. В первый банк записываются данные первого сигнала, во второй — второго сигнала, в третий банк — третьего сигнала. Четвертый банк памяти в данном решении не задействован. Объем каждого банка выбран так, что в нем может быть размещен один полный кадр сигнала. В итоге в банке хранится по одному кадру сигнала. Обновление каждого банка происходит с частотой кадров сигнала (25 кадров/с), что соответствует 40 мс. Такой режим обновления данных позволяет исключить циклы регенерации памяти SDRAM с периодом 64 мс.

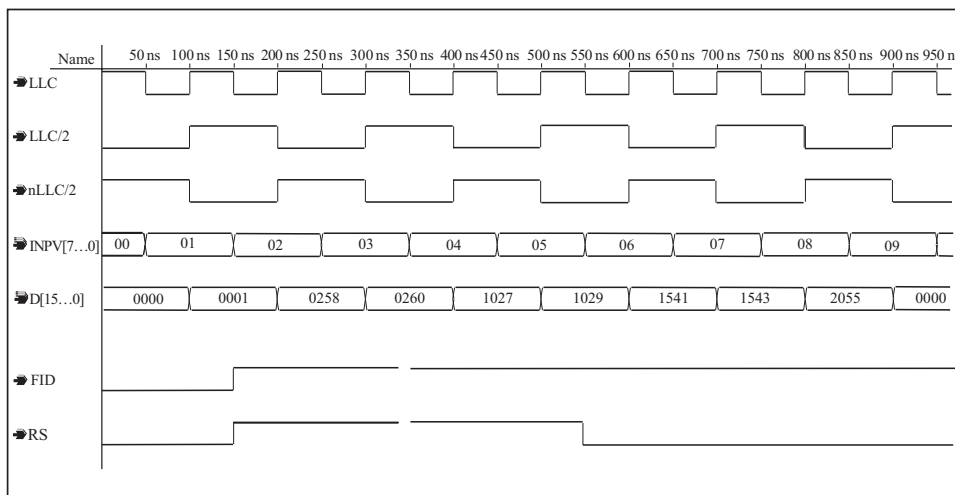


Рис. 5

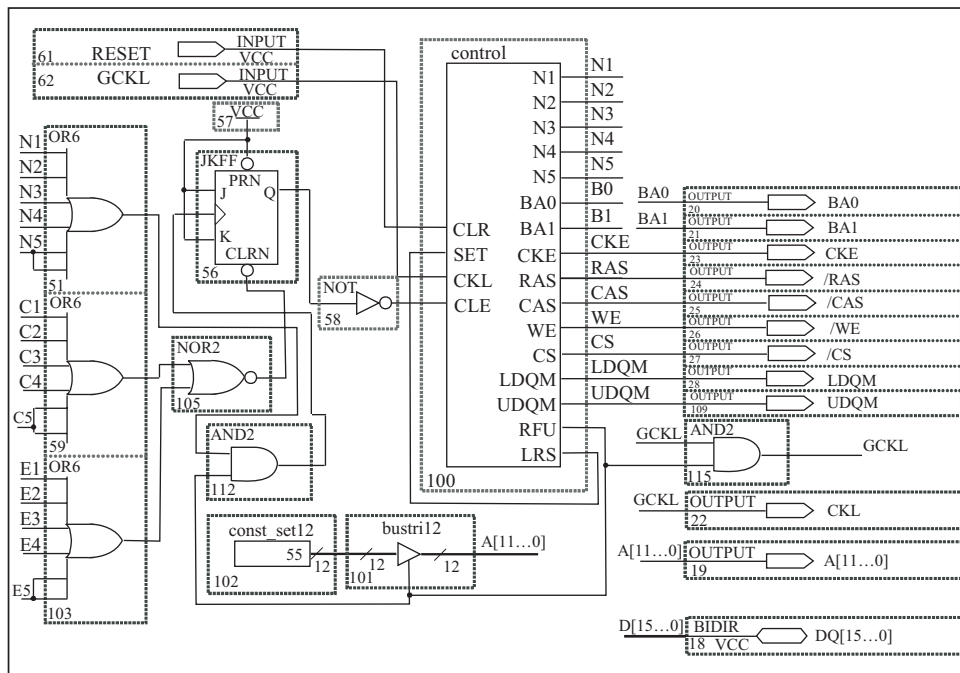


Рис. 6

Выбор выходных данных (переключение) происходит при подаче номера входного канала по шинам SEL1 и SEL2 соответственно для первого и второго выхода.

Временные диаграммы работы входного блока видеоданных приведены на рис. 5.

Схема основного блока контроллера памяти и коммутации приведена на рис. 6. Блок состоит из счетчика команд и постоянной памяти ROM (64 слова на 16 бит) на 54 команды. Из них первые 18 команд — инициализация микросхемы памяти. Три блока по 8 команд осуществляют запись в память и два блока по шесть команд — чтение из памяти. Таким образом, из 64 команд контроллера выбрано 54. Для дальнейших изменений имеем 10 команд, которые оставлены в резерве. Данный блок имеет следующие входные сигналы: CLR — сигнал сброса счетчика команд, SET — установка счетчика команд на начало обработки первого входного буфера (процесс инициализации памяти при этом пропускается), CKL — сигнал тактовой частоты (переход на следующую команду), CLE — разрешение тактовой частоты (перевод контроллера в режим ожидания). Выходные сигналы блока 100: N1... N5 — сигналы выбора одного из пяти буферов для работы памяти с ним, BA [1... 0] — выбор банка памяти, CKE — сигнал разрешения тактирования памяти, RAS и CAS — соответственно сигнал указания выбора адреса строки и столбца памяти, WE — сигнал записи памяти, CS — выбор микросхемы памяти, LDQM, UDQM — сигналы для маскировки данных памяти.

Для синхронизации сигналов с дискретно-периодической структурой применяются решения на базе дорогостоящих специализированных FIFO-буферов, число которых строго соответствует числу источников. В профессиональных системах коммутации они устанавливаются на выходных устройствах самих источников или на входной части системы коммутации. Первое решение не позволяет интегрировать в систему источники, которые не снабжены подобной поддержкой. Это значительно «сдерживает» пользователя в применении сигналов от

широкого круга зрителей-операторов, обладающих не столь профессиональными источниками. Второй тип решения также не позволяет расширять число обслуживаемых источников, так как не поддерживает оперативного расширения входных устройств.

Для решения технической задачи, описанной в настоящей статье (большое число источников, большое число одновременных пользователей-режиссеров, большое число зрителей-операторов, имеющих собственные источники, значительные территории обслуживания и регулярный редизайн схемы коммутации), такие методы либо значительно удорожают систему коммутации, либо вообще не позволяют целостно обслуживать события. Предложенное и техническое решение является перспективной альтернативой. Не исследованным к настоящему моменту является влияние увеличенного потока данных сигнала (более 3 Гб/с) на стоимость альтернативной системы.

Исследования проведены для некомпьютеризованного цифрового сигнала с потоком данных 216 Мбит/с. Для повышения потока данных до 3 Гб/с (сигнал формата HD-SDI) необходимо распараллеливание буферизации, что приводит лишь к незначительному росту стоимости. Для буферизации компрессированного потока необходимо использование DSP процессора или аппаратного кодера/декодера либо иного подхода управления памятью. В настоящей работе такие исследования не проводились.

ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ ПРИ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ РЕЖИМЕ

Пусть число входных сигналов (на рис. 3 позиция A) составляет n , число выходных сигналов (на рис. 3 позиция K) составляет m , а число буферов для синхронизации сигналов B составляет x . Предположим, что $x = 2, \dots, n$. Тогда при выбранном методе синхронизации число буферов x определяется следующим образом:

$$x = m + 1, \quad m < n; \quad x = n, \quad m \geq n. \quad (1)$$

Общее время задержки переключения сигнала вычисляется по формуле

$$t_{\text{пер.}} = t_{\text{реак.}} + t_{\text{ф.к.}} + t_{\text{синх.}} \quad (2)$$

Здесь $t_{\text{реак.}}$ — время реакции системы, которое определяется аппаратной частью. Данный показатель является постоянной малой величиной по сравнению с временем самого кадра и поэтому в расчетах не учитывается; $t_{\text{ф.к.}}$ — время фазы коммутации, т.е. случайная величина, зависящая от момента переключения и текущей фазы кадра. Этот параметр удовлетворяет условию $0 \leq t_{\text{ф.к.}} \leq t_{\text{кадр.}}$, где длительность кадра $t_{\text{кадр.}}$ для видеосигнала PAL с частотой 50 Гц составляет 1/50 с или 20 мс; $t_{\text{синх.}}$ — время синхронизации выбранного сигнала перед его коммутацией. Тогда

$$t_{\text{синх.}} = M \cdot r \cdot t_{\text{кадр.}} \quad (3)$$

где M — величина вероятностного совпадения выбираемых источников сигналов; r — коэффициент, выбираемый для установки стабильной работы АЦП при использовании аналогового сигнала. Для видеосигнала PAL выбираем его в пределах 10...20 кадров, а для цифровых входных сигналов $r = 1$. В работе реального устройства это время дискретно и равно нулю при выборе заранее синхронизированного сигнала, когда система сама принимает решение заранее о его синхронизации. Время синхронизации составляет $r \cdot t_{\text{кадр.}}$, когда выделенный буфер свободен для синхронизации, и составляет $2 \cdot r \cdot t_{\text{кадр.}}$, когда вы-

деленный буфер для синхронизации занят другим процессом. И далее коэффициент M из (3) соответствует набору $3, 4, \dots, m$. Для анализа среднего времени ожидания переключения воспользуемся приведенными зависимостями.

Для нахождения M определим T_j — среднее время продолжительности выбранного (любого из n) сигнала на j -м выходе на интервале N выборок. Тогда для j -го выхода при $n=1, N$ имеем

$$T_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (4)$$

где t_i — время, в течение которого на i -м выходе удерживается сигнал. Тогда среднюю частоту переключения j -го выхода получим в виде

$$F_j = 1/T_j. \quad (5)$$

С учетом частоты переключений (5) запишем выражение для M :

$$M = \sum_{j=1}^m (t_c \cdot F_j), \quad (6)$$

где $t_c = 2 \cdot r \cdot t_{\text{кадр}}$ — время, для которого переключение сигналов нежелательно.

При учете вероятностного выбора сигналов (в реальной работе существуют сигналы, которые выбираются наиболее часто) заблаговременно буферизуем вероятный сигнал. Тогда с учетом этого формула (6) принимает вид

$$M = P \cdot \sum_{j=1}^m (t_c \cdot F_j). \quad (7)$$

Для нахождения общей вероятности совпадения переключений по времени находим вероятности выбора каждого входного сигнала P_i . После сортировки их по убыванию выбираем $m+1$ наибольших сигналов. Получаем $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{m+1}$ — максимальные вероятности. С учетом этого имеем

$$P = \sum_{j=1}^{m+1} ((1 - P_j) \cdot P_j). \quad (8)$$

Тогда время синхронизации сигналов для нескольких пользователей получаем в следующем виде:

$$t_{\text{синх.}} = \sum_{j=1}^{m+1} ((1 - P_j) \cdot P_j) \cdot \sum_{i=1}^m (t_c \cdot F_i) \cdot r \cdot t_{\text{кадр}}. \quad (9)$$

Данный способ коммутации предполагает уменьшение этого времени до минимального, в идеальном устройстве оно равно нулю. Это может быть выполнено при условии, что $x = m$ из (1).

На рис. 7 приведен график зависимости времени задержки от средней частоты переключений для $n=16$, $m=3$ и $x=4$. Из графика видно, что при частоте переключений меньше 0,3 Гц средние времена задержки на синхронизацию сигналов составляют 13,2 мс, что меньше 0,1 с. Такой задержкой можно пренебречь. Увеличение частоты переключений сигналов до 1,25 Гц приведет к ощутимым задержкам в 0,8 с. Дальнейшее увеличение частоты приведет к «захлебыванию» синхронизатора, что будет проявляться в выпадении некоторых выбранных сигналов. Однако реальная частота переключений сигналов на типовой съемочной

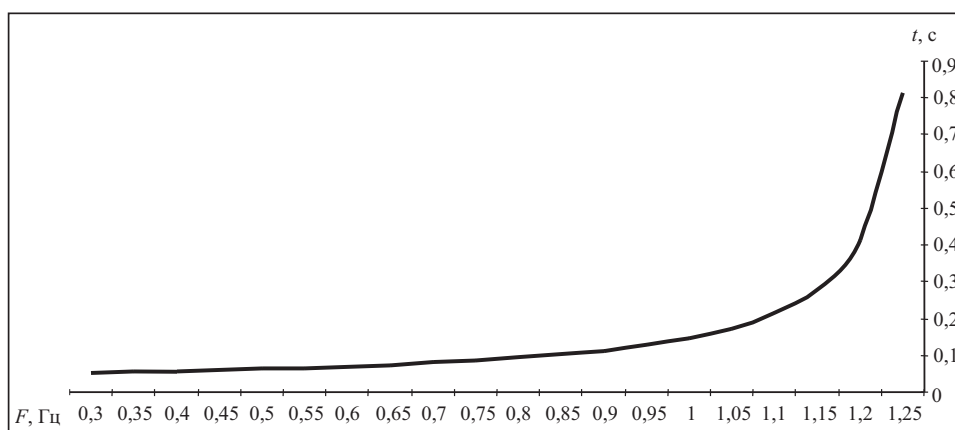


Рис. 7

площадке, как правило, не превышает 0,3 Гц, т.е. длительность «склейки» составляет приблизительно 3 с. Это позволяет использовать данный подход к синхронизации сигналов на реальных событиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Способы и система устройств, представленные в статье, позволяют оптимизировать затраты на конфигурацию и регулярную переконфигурацию (редизайн) системы в случае, когда расположение источников на значительной территории может ситуативно и на протяжении короткого времени изменяться. Таким образом, несмотря на длительную эксплуатацию системы, такие изменения расположения источников могут происходить часто. Это важно при обслуживании таких событий, как современные выставки, спортивные соревнования и иные масштабные мероприятия. Предложенная архитектура контроллера памятью обеспечивает максимальное использование памяти SDRAM при сохранении непрерывной коммутации цифрового сигнала. Именно такое техническое решение позволяет распространить многопользовательский режим на теоретически неограниченное число удаленных пользователей, например предоставление зрителям интернет-трансляции работы выставок отдельной услуги — управление обособленной площадкой и создание собственной программы через всемирную сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джакония В.Е., Гоголь А.А., Друзин Я.В. Телевидение. Учебник для вузов. Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. 616 с.
2. Тетерин В.С. Особенности режиссуры телевидения при многокамерном методе съемок. Москва: ВГИК, 1971. 105 с.
3. Бутенко В.В. Цифровое телевизионное вещание. Везде и всегда. Для всех и для каждого. Москва: Научно-исследовательский институт радио, 2014. 481 с.
4. Гласман К. Конференция IBC2006. Журнал «625». 2006. № 10. С. 66–71.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. С.-Петербург: Питер, 2001. 672 с.
6. Bau N.D. Experience delivery networking: the network ahead. Global Telecoms Business. 26.09.2011. URL: <http://www.globaltelecomsbusiness.com/article/2907010/Experience-delivery-networking-the-network-ahead.html>.

7. Мамчев Г.В. Особенности радиосвязи и телевидения. Учебное пособие для вузов. Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. 416 с.
8. Baron S.N., Krivocheev M.I. Digital image and audio communication: Toward a global information infrastructure. New York: Van Nostrand Reinhold, 1996. 288 p.
9. Панченко Б.Е., Печенюк Д.А. Каркасный анализ способов коммутации видеосигналов. *Управляющие системы и машины*. 2013. № 5. С. 53–64.
10. Зубарев, Ю.С., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. Москва: Научно-исследовательский институт радио, 2001. 548 с.
11. Соколов А.Г. Монтаж: телевидение, кино, видео. Москва: Изд-во «625», 2001. 207 с.
12. Rossmere D.L., Glenn R.S., Brown W.B., Carlucci J.B., Duffy R.W. Random access audio/video processor with compressed video resampling to allow higher bandwidth throughput. Patent US-6092119, 07-2000.
13. Ota K., Yamauchi T. Synchronous signal superimposing apparatus and synchronous signal superimposing method, which use constant current source. Publ. US 2003/0202123 A1, 04-2003.
14. Murakami N. Video switcher and video switching method. Publ. US 2009/0109334 A1, Apr. 30.2009.
15. Panchenko B.E., Pechenjuk D.A. Method of automated digital multi-program multi-signal commutation. Publ. US 2013/0294457 A1, 11-2010.
16. Shimizu H. Multiple channel image output device. Publ. JP 2007235454 A, 02-2006.
17. Liang N. Video signal synthesis controller. Publ. CN 200620016569, 01-2008.
18. Casper D.A., Krim M.J., Willis J.D. Dual use video mixer crosspoint matrix. Publ. US 2010/0103320, 04-2010.
19. Cummings C.E. Simulation and synthesis techniques for asynchronous FIFO design. Synopsys Users Group Conference, San Jose, CA, 2002, 22 p.
20. Араkelов А.А., Сидоров Е.А., Бобков С.Г. Архитектура контроллера интерфейса памяти SRAM для обеспечения максимальной производительности коммутирующего устройства. *Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем: Сборник научных трудов под ред. А.Л. Стемповского*. Москва: ИПИМ РАН, 2005. С. 229–234.
21. Sharma A.C., Ali Z. Construct high-speed SDRAM memory controller using multiple FIFO's for AHB memory slave interface. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2013. Vol. 3, Iss. 3. P. 907–916.
22. Панченко Б.Е., Печенюк Д.А. Использование SDRAM для синхронизированной коммутации телевизионных сигналов. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 4/2 (24). С. 63–68.
23. Панченко Б.Е., Печенюк Д.А. Способ автоматизированной цифровой многопрограммной выборочной маршрутизации цифровых сигналов в связи с их коммутацией. Заявка на изобретение № а2015-02982 от 31.03.2015, 10 с.

Надійшла до редакції 10.05.2016

Б.Є. Панченко, Д.А. Печенюк

**МАРШРУТИЗАЦІЯ І КОМУТАЦІЯ ЗНАЧНОЇ КІЛЬКОСТІ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ
НА ВЕЛИКИХ ТЕРИТОРІЯХ**

Анотація. Запропоновано та досліджено спосіб автоматизованої багатопрограмної вибіркової маршрутизації цифрових сигналів у зв'язку з їхньою комутацією. Структура сигналу — дискретно-періодична (пакетна). Розглянуто також ситуацію, коли можливість попередньої синхронізації джерел відсутня. Це зумовлено потребою використання джерел з довільними параметрами структури сигналів (частоти ходу пакетів, тривалості пакетів тощо), а також від різних виробників. Забезпечено й багатокористувацький режим маршрутизації. Після синхронізованого перемикання цифрових сигналів від великої кількості джерел (від 1000 і більше) гарантовано вибіркиму маршрутизацію для наступного транспортування.

Ключові слова: комутація телевізійних сигналів, маршрутизація, багатокористувацький режим, SDRAM-буферизація, ПТС, ПТС-тренажер, тракт.

B.E. Panchenko, D.A. Pechenyuk

**ROUTING AND SWITCHING OF A SIGNIFICANT NUMBER OF TELEVISION
SIGNALS COVERING LARGE AREAS**

Abstract. A method of automated multi-program selective routing of digital signals in relation with their switching is proposed and analyzed. The structure of the signal is discrete periodic (packet). The situation of absence of a possibility of preliminary source synchronization is also considered. This is due to the need to use sources with arbitrary properties of the signal structure (frequency of packet movement, packet duration, consistency of the period of packet movement, etc.) and from different producers. Multi-user routing mode is also provided. Selective routing for subsequent transfer is provided after the selective synchronized switching of digital signals coming from a significant number of sources (1000 and more) is carried out.

Keywords: switching of television signals, SDRAM-buffering, routing, multi-user mode, MTS, MTS-trainer, tract.

Панченко Борис Евгеньевич,

доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, e-mail: pr-bob@ukr.net.

Печенюк Дмитрий Андреевич,

аспирант Сумского государственного университета, e-mail: dimap@ukr.net.