

УПРАВЛЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В
ИНТЕГРИРОВАННЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Тищенко И.А., Лубяный В.З.

Постановка проблемы. Задачей данной работы является выбор наиболее оптимального при реализации на современной элементной базе подхода к выполнению коммутации в мини-АТС.

Анализ последних достижений.

Изменение аппаратного устройства АТС вызвало изменение требований к коммутационному полю. В современных цифровых АТС, вместо коммутации физических цепей, осуществляется коммутация синхронной информации, т.е. устанавливается логическое (виртуальное) соединение между двумя абонентами. Такая смена задачи существенно упростила реализацию коммутационного поля на цифровых ИС, поскольку емкость такого поля теперь в первую очередь зависит от быстродействия микросхем. Емкость полнодоступного неблокируемого коммутационного поля современных ИС порой достигает 10 тыс. каналов.

С применением современной элементной базы абонентская емкость увеличилась в 10-20 раз, или, другими словами, замена оборудования АТС высвобождает около 60-90% ранее занимаемой площади. Минимизация габаритов оборудования АТС позволила размещать их в «помещениях» площадью до 1 м² и эксплуатировать их в необслуживаемом режиме [1].

Преимущество таких «выносных» АТС ощутимо в случае их расположения в местах удаленного компактного размещения абонентов, что существенно снижает затраты на прокладку дополнительного кабеля и повышает качество связи, поскольку, длина абонентской линии, которая подвержена помехам в области тональных частот, становится минимизированной. Высвободившиеся кабельные пары абонентского кабеля вполне пригодны для транспортировки 30-канального телефонного потока непосредственно (для близких расстояний) с применением линейного кода HDB-3 (МЧПИ-3) или посредством xDSL модемов (для дальних расстояний) с применением линейного кода 2B1Q, QAM или других. Эффект также ощутим от замыкания внутреннего трафика в самой выносной АТС, что, в случае преобладания внутреннего трафика, резко сокращает количество отказов на предоставление соединения. Это объясняется тем, что для установления одной внутренней связи теперь не нужно занимать два канала связи в сторону опорной АТС, что, в свою очередь, позволяет использовать их по прямому назначению – для установления межстанционных связей. Функция распределения трафика возлагается на виртуальный анализатор кода станции, который фактически реализован в виде программного обеспечения и выполняется в центральном управляющем устройстве. Такая гибкость позволяет создать АТС с определенным индексом и неопределенным (по номеру) местонахождением абонента, что весьма удобно при создании больших корпоративных сетей связи.

Если такую «выносную» станцию организывает для себя фирма или предприятие это дает возможности для реализации некоторых полезных функций и такие станции называются офисные или мини-АТС. Именно в этом случае появляется возможность интеграции телефонных станций и компьютерной системы данной организации, что обеспечивает реализацию: записи телефонных переговоров, организацию конференций и автоматических диалоговых систем на основе синтеза и распознавания речи. Далее будет более подробно рассмотрен подход к выполнению коммутации в мини-АТС.

Изложение основного материала. В простейших мини-АТС коммутация сигналов осуществляется в аналоговой форме. Структура существующих аналого-

вых микросхем коммутации имеет вид решетки, обеспечивающей подключение любого из выводов группы X к любому из выводов группы Y. При построении мини-АТС на этих микросхемах рекомендуется [2] преобразовать каждый порт из двухпроводного в четырехпроводной, а затем подключать входы к группе X, а выходы к группе Y. Такая схема обеспечивает полную коммутацию. Недостатком ее является рост объема схемы коммутации пропорциональный квадрату числа портов, что вызывает большие затруднения при наращивании числа абонентов.

Нельзя забывать о том, что число портов мини-АТС определяется, как сумма:

- числа абонентов;
- числа линий, соединенных с городской АТС;
- количества участников, организуемой конференции;
- количества портов для выдачи и анализа служебных каналов;
- числа портов, необходимых для регистрации речи.

Для уменьшения объема схемы коммутации используется идея шнуровых комплектов, которая появилась еще на заре развития телефонии. В этом случае все порты подключаются к X выводам коммутатора, причем преобразование порта из двухпроводного в четырехпроводной не обязательно. А выводы Y рассматриваются как шнуровые комплекты.

Для организации разговора между двумя абонентами необходимо соответствующие порты подсоединить к одному и тому же шнуровому комплекту. То есть количество шнуровых комплектов определяет максимальное число одновременно ведущихся разговоров.

Для определения числа необходимых шнуровых комплектов рассмотрим математическую модель работы мини-АТС, представляющую из себя систему массового обслуживания (СМО) с отказами.

Данная задача была рассмотрена математиком Эрлангом. Но в отличие от классической теории Эрланга, где интенсивность поступления заявок λ остаётся постоянной величиной, в нашем случае λ пропорциональна числу незадействованных портов.

Для начала построим граф состояний, представляющий собой так называемую «схему гибели и размножения» [3]. Особенность этого графа в том, что все состояния системы можно вытянуть в одну цепочку, в которой каждое из средних состояний (S_1, S_2, \dots, S_{k-1}) связано прямой и обратной стрелкой с каждым из соседних состояний – правым и левым, а крайние состояния (S_0, S_k) – только с одним соседним состоянием.

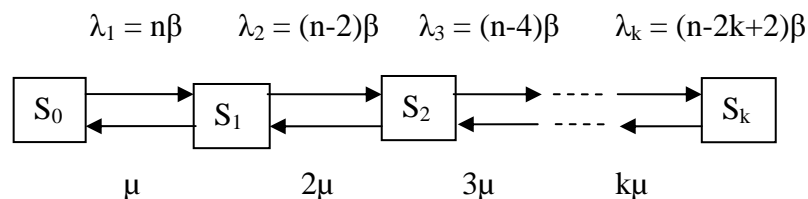


Рис. 1 Граф состояния для схемы гибели и размножения

Пользуясь графом, выведем уравнение вероятности отказа. Его существование вытекает из того, что из каждого состояния можно перейти в каждое другое, и число состояний конечно.

$$P_{отк} = P_k = \frac{n \cdot \beta \cdot (n-2) \cdot \beta \cdot (n-4) \cdot \beta \cdot \dots \cdot (n-2 \cdot k + 2) \cdot \beta}{\mu \cdot 2\mu \cdot 3\mu \cdot \dots \cdot k\mu} \cdot P_0 \quad (1)$$

где:

$P_{отк}$ – вероятность того, что пришедшая заявка получит отказ (не будет обслужена);

μ – интенсивность обслуживания;

n – количество портов;

k – число шнуровых комплектов;

β – интенсивность поступления заявок от одного порта;

$P_0, P_1, P_2, \dots, P_k$ – финальные вероятности состояний.

В числителе данной формулы стоит произведение всех интенсивностей, стоящих у стрелок, ведущих слева направо (с начала и до данного состояния S_k), а в знаменателе – произведение всех интенсивностей, стоящих у стрелок, ведущих справа налево (с начала и до S_k).

$$P_0 = \left(1 + \frac{n \cdot \beta}{\mu} + \dots + \frac{n \cdot \beta \cdot (n-2) \cdot \beta \cdot (n-4) \cdot \beta \cdot \dots \cdot (n-2 \cdot k + 2) \cdot \beta}{\mu \cdot 2\mu \cdot 3\mu \cdot \dots \cdot k\mu} \right)^{-1} \quad (2)$$

Для любого чётного n это выражение можно преобразовать к виду:

$$P_0 = \left(\sum_{m=0}^k \frac{\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^m \cdot \beta^m}{\left(\frac{n}{2} - m\right)! \cdot m! \cdot \mu^m} \right)^{-1} \quad (3)$$

Подставив в $P_{отк}$ значение P_0 получим:

$$P_{отк} = \frac{\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^k \cdot \beta^k}{\left(\frac{n}{2} - k\right)! \cdot k! \cdot \mu^k} \cdot \left(\sum_{m=0}^k \frac{\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^m \cdot \beta^m}{\left(\frac{n}{2} - m\right)! \cdot m! \cdot \mu^m} \right)^{-1} \quad (4)$$

В случае аналоговой коммутации происходит ограничение числа портов из-за необходимости увеличения количества микросхем и размера печатных плат, что приводит повышению уровня шума, вызванного электромагнитными наводками.

В настоящее время все мини-АТС, имеющие больше 15-20 портов, выпускаются с использованием цифровой коммутации сигналов. Сейчас вопрос преобразования звука в цифровой код и обратно решается всего одной ИС, а в ряде случаев $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{4}$ частью ИС, т.е. одна ИС поддерживает 2 или 4 дуплексных канала преобразования. Такие ИС в отечественной терминологии называются кофидеками или кодеками, поскольку содержат кодер (АЦП), декодер (ЦАП) и фильтры (входной полосовой фильтр и ФВЧ) [1]. Также кодек выполняет функцию цифрового компандирования сигнала, что позволяет сократить объем транспортируемой информации в 1,5 раза.

Применение в мини-АТС стандартных цифровых коммутаторов вряд ли целесообразно, поскольку их мощность намного превышает требуемую. Представляет интерес рассмотреть в качестве цифрового коммутатора микросхему коммутации конференций. В этом случае простой разговор двух абонентов рассматривается как конференция с двумя участниками. Такой подход дает следующие преимущества :

- организация ряда конференций с произвольным количеством участников;
- возможность коррекции характеристик индивидуальных телефонных аппаратов и соединительных линий путем введения управляемых коэффициентов передачи для входного и выходного сигнала по каждому порту.

Все эти функции может выполнить микросхема МТ8924 [4], которая:

- поддерживает до 10 независимых конференций для 32 портов;

- как и все цифровые коммутаторы, работает с шиной ST-BUS производительностью 2.048 МБ/с, с которой легко согласуются кофидеки;
- обеспечивает цифровую регулировку коэффициента усиления (0/-3/-6 децибел) в каждом канале;
- имеет параллельный канал обмена с микропроцессором для управления устройством;
- реализует программируемое подавление шума;
- имеет аналоговый вход для произвольного аналогового сигнала, который может подаваться на порты;
- обладает низким энергопотреблением, благодаря CMOS технологии.

В отличие от полнодоступного коммутатора использование такой схемы может вызвать отказ обслуживания, вероятность которого рассчитана с помощью приведенной выше математической модели и показана на рис. 2. Как видим, эта вероятность находится на приемлемом уровне.

В современных мини-АТС, как правило, устанавливают микросхемы DSP (Digital Signal Processing), которые используются для распознавания и синтеза тональных сигналов, а возможно и речи. Поэтому возникает вопрос: можно ли на DSP выполнить коммутацию программными средствами, не применяя отдельных микросхем коммутации.

Для примера рассмотрим возможности сигнальных процессоров семейства Blackfin, которые созданы на базе архитектуры MSA (Micro Signal Architecture. Архитектура MSA позволила создать класс сигнальных процессоров, которые оптимизированы не только для выполнения высокоскоростной цифровой обработки сигналов в режиме реального времени, но и функций управления/контроля, традиционно выполняемых классическими микроконтроллерами [5]. Кроме того, сигнальные процессоры Blackfin отличаются большим набором периферийных контроллеров (PCI, USB 1.1, SPORT, UART, SPI, I²S, PPI, универсальных таймеров и т. п.), обеспечивающих связь с "внешним миром", а также большим объемом встроенной памяти.

Процессорное ядро сочетает традиционные вычислительные устройства (MAC, ALU, DAG и другие), обычно применяемые в сигнальных процессорах, и, кроме того, его структура оптимизирована для выполнения RISC-подобных инструкций, характерных для микроконтроллеров.

Благодаря использованию языков высокого уровня (C/C++) в процессорах семейства Blackfin, по сравнению с сигнальными процессорами аналогичного класса, упростился процесс создания прикладных программ.

В контроллере порта SPORT реализован аппаратный компандер (А- или μ -закон) в соответствии с рекомендациями ITU (G.711). Через порт SPORT можно осуществлять многоканальную (до 128 каналов) передачу данных согласно протоколам, рекомендованным в стандартах H.100, H.110, MVIP-90 и HMVIP.

В этом случае рассмотренные выше функции, выполняемые микросхемой конференций, может выполнить модуль программного обеспечения DSP, причём с улучшенным качеством:

- количество портов увеличено до 128;
- поддерживается произвольное число конференций произвольного числа участников;
- обеспечивается расширенный диапазон и большую точность установки коэффициентов усиления.

Структурная схема такого программного модуля, осуществляющего расчёт отсчёта выходного сигнала для каждого порта, приведена на рисунке 2. Всего необходимо выполнить $\approx 10^6$ расчётов в секунду. Для реализации этого модуля требуется 10%-15% производительности DSP, что не мешает выполнению обычно возлагаемых на него задач. Микросхемы DSP в отличии цифровых коммутаторов и микросхем конференции производятся большими тиражами, а поэтому значительно дешевле последних, несмотря на их сложную структуру. Кроме того, исключается необходимость применения дополнительного микро-

процессора для осуществления логического управления мини-АТС.

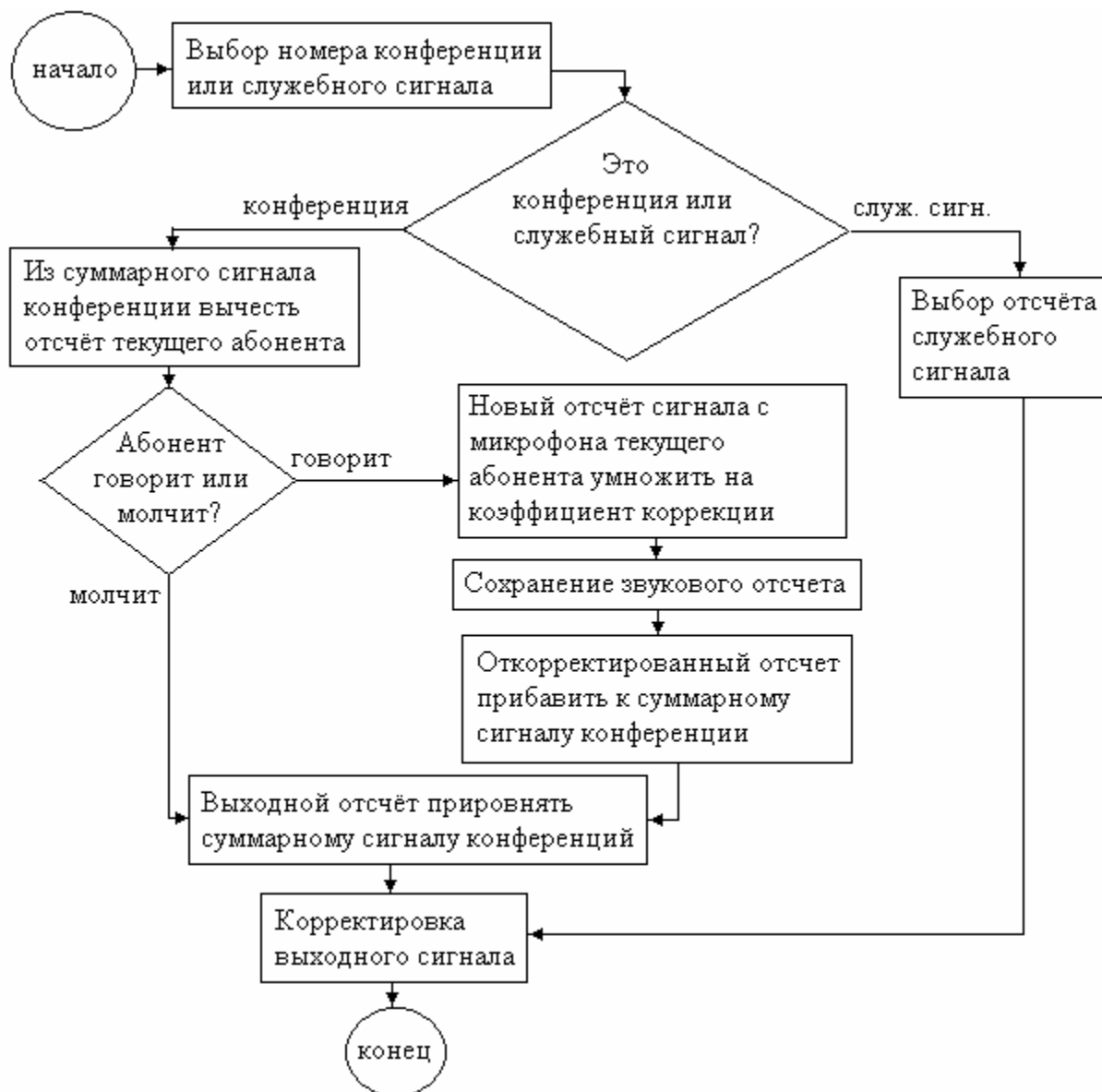


Рис. 2 Структурная схема модуля организации конференций на DSP

Связь между вероятностью отказа $P_{отк}$ и количеством портов n для классической задачи Эрланга ($k=6$) и модели мини-АТС ($k=6$ и $k=10$) показана на графике (рис. 3), построенном с помощью математического пакета MathCAD.

Выводы.

Таким образом на основе анализа трех подходов к выполнению коммутации в мини-АТС (аналоговая коммутация, цифровая коммутация на микросхемах конференций, цифровая коммутация на микросхемах DSP) можно сделать следующие выводы.

1. Переход к цифровой коммутации позволяет увеличить число абонентов и улучшить качество их обслуживания.
2. На основе математической модели мини-АТС рассчитана вероятность отказов в обслуживании, которая значительно отличается от величины получаемой по классической формуле Эрланга.

3. Аналоговая мини-АТС, имеющая 6 каналов коммутации может обслуживать до 20 абонентов, в то время как цифровая мини-АТС, построенная на основе схемы конференций легко обслуживает более 40 абонентов.

4. Показана целесообразность выполнения коммутации с помощью программного модуля организации конференций, входящего в состав программы работы цифрового сигнального процессора.



Рис. 3 Кривая зависимости между вероятностью отказа $P_{отк}$ и количеством портов n

Вероятностью отказа $P_{отк} = 0$ для цифровой коммутации на микросхемах DSP.

In clause methods of performance of commutation in office ATS are analyzed. The mathematical model of work office ATS, being system of mass service with refusals is considered. Communication between probability of refusal P_r and quantity of ports for office ATS which as shown considerably differs from classical problem Erlang is found. Curves of the given dependence are resulted on the schedule. Opportunities of realization of digital commutation of signals on microcircuits for realization of conferences and DSP are considered. The block diagram of the program module of the organization of conferences on DSP is offered.

1. И. Шостак «Этапы перехода к цифровой телефонии и их особенности», CHIP NEWS Украина, №8, 2004, с. 6.
2. Е.С. Вентцель «Исследование операций: задачи, принципы, методология», Москва: «Наука», Главная редакция физ.-мат. литературы, 1988.
3. Application of the MT8804A 8x4 Analog Switch Array. Application Note MSAN-101. – MITEL, July 1993.
4. MT8924 PCM Conference Circuit (PCC). Datasheets. – MITEL, April 1994.
2. В. Орхименко «Blackfin – сигнальные процессоры для мобильных приложений», Электронные компоненты и системы, №3, 2004, с.20.