

## 5

### Transmissão de Voz nos Modos CS e IMS

Este Capítulo descreve as diversas etapas de formação do sinal de voz no nível físico, para transmissão na interface aérea. São considerados os modos CS e IMS, para transmissão a partir da utilização do codec AMR operando no modo de 12,2 kbps. Em ambos os casos é aplicado o processo de otimização para o *Rate Matching*, descrito no capítulo anterior. Dessa forma, consegue-se obter uma comparação da eficiência dos dois modos, em termos de consumo de energia. Ressalte-se que aqui será considerado o caso da transmissão do sinal de voz concomitantemente ao tráfego de sinalização telefônica. Uma vez que para o modo IMS é considerada apenas a situação do tráfego de voz com compressão máxima constante (pacotes R-0), não é aplicável o conceito de otimização para o *padding*.

#### 5.1

##### Multiplexação *Uplink* do Sinal de Voz para o Modo CS

No caso mais geral de transmissão de voz na direção *uplink*, tem-se os canais de transporte, cada um com a sua especificação de QoS, que devem ser multiplexados e devidamente "acomodados" no canal físico, que deve ser totalmente preenchido. Os níveis superiores, que controlam os objetivos de QoS respectivos, devem enviar à camada física, em cada TTI (*Transmission Time Interval*), os valores dos *Rate Matching Attributes* (RMA) de cada canal. Em última instância, esses RMA irão definir os valores de  $\Delta N$  para cada canal.

Então, é apresentado o caso da transmissão de voz no modo CS a partir do sinal proveniente de um codec AMR operando na taxa de 12,2 kbps. É considerada a análise de um trecho da transmissão que envolve a transferência do sinal de voz conjuntamente com informações de sinalização. Tem-se, então, quatro canais, especificados a seguir<sup>[10]</sup>:

- **Canal #A:** Transporta os bits de informação mais sensíveis (81 bits), com Probabilidade de Erro ( $P$ ) de  $5 \times 10^{-4}$ . Utiliza CC3;

- **Canal #B:** Transporta os bits de sensibilidade média (103 bits), com  $P$  igual a  $1 \times 10^{-3}$ . Utiliza CC3;
- **Canal #C:** Transporta os bits menos sensíveis (60 bits), com  $P$  igual a  $5 \times 10^{-3}$ . Utiliza CC2;
- **Canal #D:** Possui a finalidade do transporte da sinalização (148 bits), com  $P$  igual a  $1 \times 10^{-4}$ . Utiliza CC3;

A Figura 21 mostra a formação dos quadros, na estrutura de multiplexação<sup>[33]</sup>.

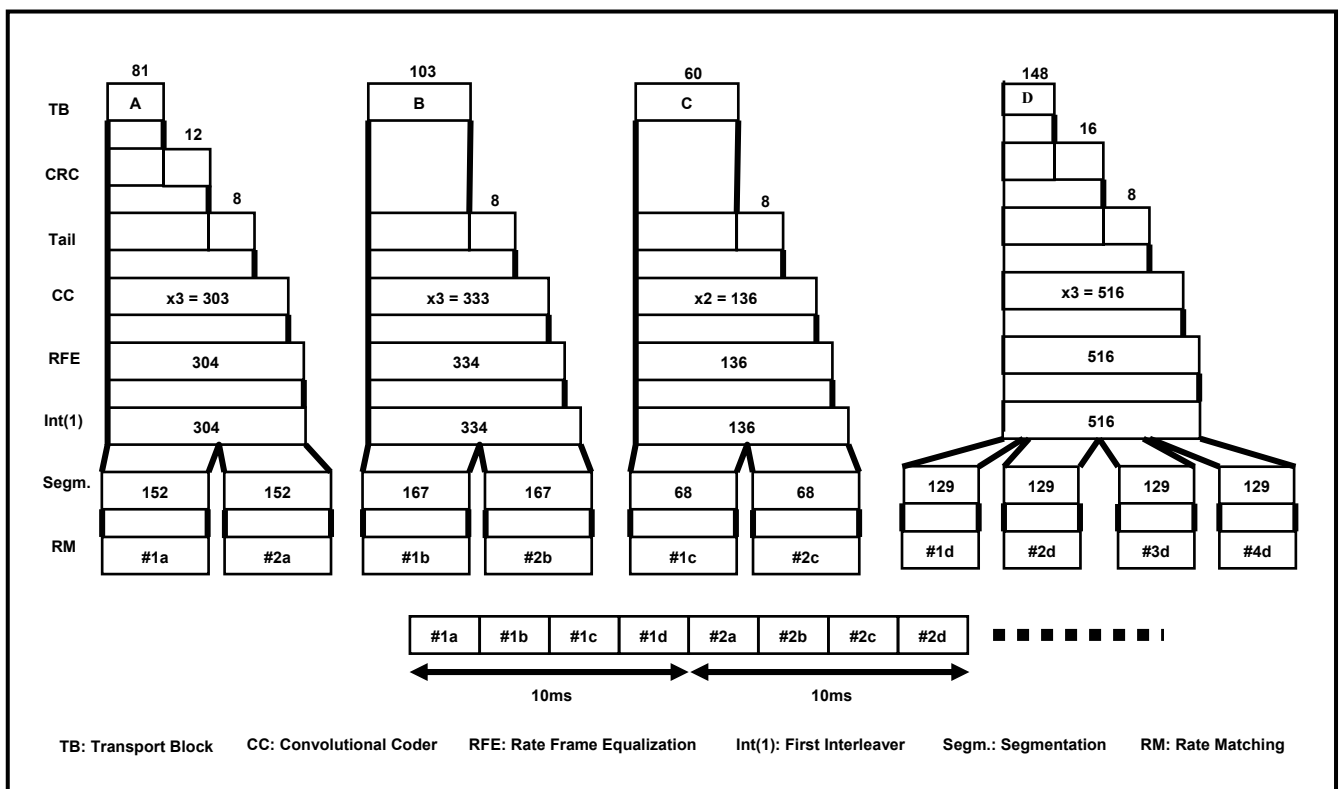


Figura 21 - Transmissão do Sinal de Voz (caso CS).

Nesta Figura pode-se observar a formação do quadro rádio (10ms) contendo a informação dos quatro canais. Os bits classificados por *Tail* são utilizados para a inicialização dos codificadores respectivos. É importante ressaltar que o número final de bits irá depender do *Rate Matching*.

## 5.2

### Aplicação do Processo de Otimização para o Modo CS

Então, ainda com base na Figura 21, suponha que será utilizado um SF (*Spreading Factor*) igual a 64, que resulta em um canal físico na taxa de 60 kbps. Com os quatro canais previamente definidos tem-se, antes do *Rate Matching*, um total de 516 bits (152+167+68+129) que deverão ser acomodados em um quadro rádio de 10ms. Considerando que a capacidade disponível em um quadro rádio de 10ms, nesta situação, é de 600 bits, tem-se uma disponibilidade de 84 bits (600-516) para repetição. Esses bits deverão ser distribuídos entre os canais, de forma a minimizar o valor máximo da razão Eb/No do canal multiplexado (CCTrCH).

Então, aplica-se o algoritmo de otimização, descrito na seção 4.4.3, para a distribuição desses bits de repetição pelos canais respectivos, objetivando a minimização do valor máximo da razão Eb/No do canal físico. O Quadro 1 sintetiza o resultado obtido.

Quadro 1 - Resultado do Algoritmo de Otimização - Caso CS.

Canal	Codif.	Bits	BER	Eb/No s/ otim	Rep [25]	Eb/No [25]	Rep c/ otim	Eb/No c/ otim
#A	CC3	152	$5 \times 10^{-4}$	2,218	+13	1,886	+14	1,876
#B	CC3	167	$10^{-3}$	1,983	+7	1,774	+3	
	CC2	68	$5 \times 10^{-3}$	1,738	+31	0,847	0	
#D	CC3	129	$10^{-4}$	2,756	+33	2,282	+67	
<b>Totais</b>		<b>516</b>	-	-	<b>+84</b>	-		-

A coluna "Eb/No s/ otim" refere-se aos valores de Eb/No que seriam obtidos para os diversos canais a partir das curvas de probabilidade de erro na situação  $\Delta N=0$ . Dessa forma, caso não se utilizasse o algoritmo de otimização, haveria necessidade de se dispor de um Eb/No igual a 2,756 dB para se realizar a transmissão com os valores de QoS requeridos para os diversos canais.

A coluna "Rep [25]" mostra a alocação de bits repetidos nos diversos canais, caso se considere a metodologia de cálculo desenvolvida na Referência [25]. A partir dos valores de RMA (*Rate Matching Attribute*) da citada Referência, aplicáveis para os diversos canais (174, 167, 233 e 202), calculam-se

os bits repetidos a partir da utilização dos conceitos da seção 4.2.7 da Referência [22]. A coluna seguinte ("Eb/No [25]") apresenta o resultado do cálculo dos novos valores de Eb/No para esta situação, obtidos mediante a aplicação dos conceitos da seção 4.4.2 sem considerar-se estratégias de otimização. Na verdade, este pode ser considerado como o procedimento "clássico" de operação do *Rate Matching*.

O processo de otimização forneceu a alocação de bits a serem repetidos nos canais: 14bits para o canal #A, 3 bits para o canal #B e 67 bits para o canal #D. Observe-se que o canal #C não foi contemplado com bits de repetição. Com este procedimento pode-se observar um decréscimo do valor de Eb/No (1,876 dB), que se traduz em uma economia de energia da ordem de 22,5% relativamente ao primeiro caso (sem otimização) e 9,8% em relação ao caso "clássico".

### 5.3

#### Formação do Quadro de Voz para o Modo IMS

O quadro de voz proveniente do codec AMR deve ser encapsulado conforme visto na Figura 22. Observe-se que o 3GPP recomenda a utilização do IPv6. A camada MAC é transparente para o transporte deste tipo de informação<sup>[34]</sup>, de modo que o nível 2 resume-se à camada RLC (ver a Figura 4). Os sub-itens seguintes descrevem cada cabeçalho, bem como o RTP *payload*. Essas informações são relevantes para o entendimento de algumas assertivas a serem colocadas adiante.

<b>RTP Payload</b>	<b>RTP Header</b>	<b>UDP Header</b>	<b>IP Header</b>	<b>NÍVEL2 Header</b>
--------------------	-------------------	-------------------	------------------	----------------------

Figura 22- Quadro de Voz no IMS.

#### 5.3.1

##### Cabeçalho de Nível 2

A Figura 23 ilustra a formação do cabeçalho do nível 2. O RLC<sup>[18]</sup> deve operar no modo sem reconhecimento (UM - *Unacknowledge Mode*). Na figura, observam-se os seguintes campos, com as dimensões respectivas:

- *Sequence Number* (SN): 7 bits
- *Extension* (E): 1 bit (se E=1, significa que o próximo campo é *Lenght Indicator* - LI)
- *Lenght Indicator* (LI): 7 ou 14 bits (indica o número de bytes do campo de dados)

A camada MAC<sup>[34]</sup> é transparente para a aplicação de transmissão de VoIP.

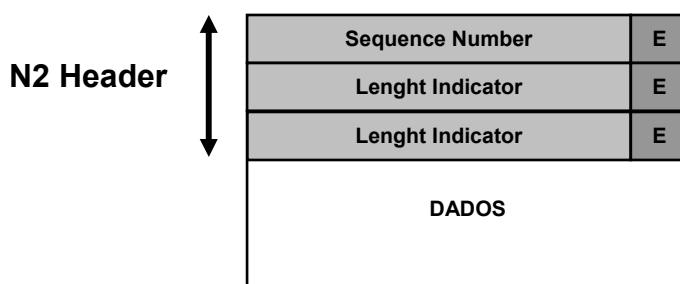


Figura 23 - Especificação do Cabeçalho de Nível 2.

### 5.3.2

#### Cabeçalho do IPv6

O 3GPP recomenda que seja utilizado o IPv6 no UMTS. A Figura 24 mostra o cabeçalho do IPv6. Podem ser vistos os seguintes campos:

- *Version* (4 bits): Indica a versão do protocolo;
- *Traffic Class* (8 bits): Define a prioridade do pacote;
- *Flow Label* (20 bits): Representa o fluxo ao qual o pacote pertence;
- *Payload Lenght* (16 bits): Mostra o comprimento do *payload*, em bytes;
- *Next Header* (8 bits): Indica o tipo do cabeçalho seguinte do IPv6 (se existir);
- *Hop Limit* (8 bits): Indica o número de roteadores que o pacote pode alcançar no seu trajeto;
- *Source Address* (16 bytes): Fornece o endereço IPv6 de origem;
- *Destination Address* (16 bytes): Fornece o endereço IPv6 de destino;

<b>Version</b>	<b>Traffic Class</b>	<b>Flow Label</b>	
<b>Payload Length (16 bits)</b>		<b>Next Header</b>	<b>Hop Limit</b>
<b>Source Address (16 bytes)</b>			
<b>Destination Address (16 bytes)</b>			

Figura 24 - Cabeçalho do IPv6.

### 5.3.3

#### Cabeçalho do UDP

A Figura 25 mostra o cabeçalho do UDP. Tem-se os seguintes campos:

- *Source Port* (16 bits): Indica a porta de origem;
- *Destination Port* (16 bits): Indica a porta de destino;
- *Length* (16 bits): Mostra o comprimento, em bytes, do cabeçalho mais o *payload*;
- *Checksum* (16 bits): O IETF (*Internet Engineering Task Force*) recomenda que este campo deva ser sempre utilizado, no caso do IPv6. Deve cobrir o *UDP Header*, o *Pseudo Header* e todo o *Payload*. O *Pseudo Header* é composto pelos seguintes campos do cabeçalho do IPv6: *Payload Length*, *Next Header*, *Source Address* e *Destination Address*;

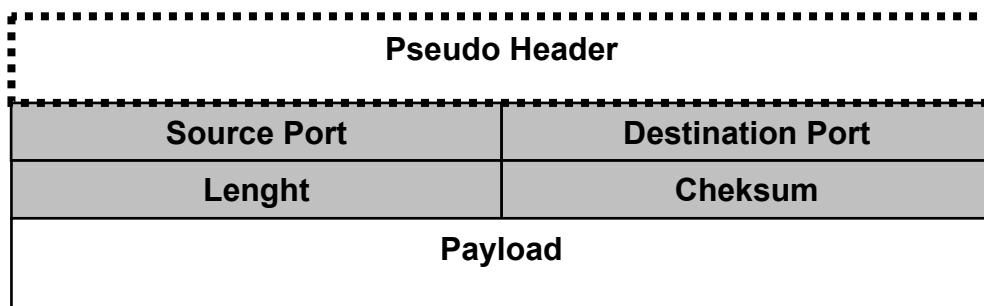


Figura 25 - Cabeçalho do UDP.

### 5.3.4

#### Cabeçalho do RTP

O cabeçalho do RTP tem a forma vista na Figura 26, cujos campos encontram-se descritos abaixo, para o caso da transmissão de informação de voz originária de uma única fonte:

- *Version* (VS): Tem o valor de 2;
- *Padding* (PAD): Tem o valor de 0;
- *Extension* (EXT): É igual a 0;
- *Contributing Source Counter* (CSRC): Tem o valor 0;
- *Marker*: É feito igual a 1 para o caso em que o *payload* contém o primeiro quadro de voz emitido após um período de silêncio. Assume o valor 0 em caso contrário;
- *Payload Type* (PT): Indica o tipo de codec utilizado (é igual a 97 para o codec AMR);
- *Sequence Number* (SN): É incrementado de uma unidade para cada pacote enviado;
- *Timestamp* (TS): Indica o instante de amostragem do primeiro byte do payload do RTP. Como os quadros de voz do codec AMR tem uma duração de 20ms, este parâmetro irá crescer deste valor em quadros RTP sucessivos;
- *Synchronization Source* (SSRC): É um número aleatório (fixo) usado para identificar a sessão RTP;

<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>16</b>
<b>VS</b>	<b>PAD</b>	<b>EXT</b>	<b>CSRC Cout.</b>	<b>MAR- KER</b>	<b>PAYLOAD TYPE</b>	<b>SEQ. NUMBER</b>
<b>TIMESTAMP (32 bits)</b>						
<b>SYNCRONIZATION SOURCE (SSRC) (32 bits)</b>						

Figura 26 - Cabeçalho do RTP (comprimento dos campos em bits).

### 5.3.5

#### **Payload do RTP**

O *payload* do RTP<sup>[35]</sup>, como mostrado na Figura 27, compõe-se de um cabeçalho (*P. Header*), de um campo denominado *Table of Contents* (TOC) e da informação de voz proveniente do codec.

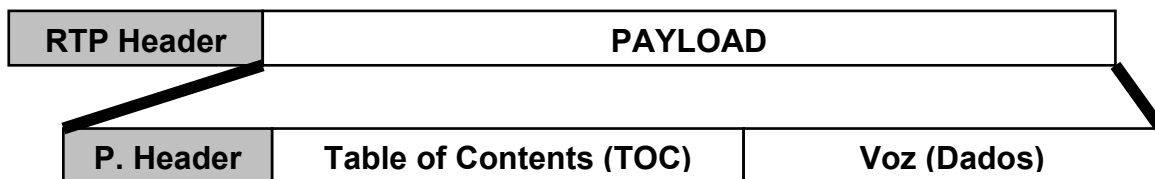


Figura 27 - Formação do RTP.

A constituição dos diversos campos é a seguinte:

- *P. Header* (4 bits) - Traz a informação de CMR - *Codec Mode Request*. O valor específico do CMR indica para o receptor do quadro de voz o modo que o envidador do mesmo está esperando receber (ver Apêndice 2);
- *Table of Contents* (TOC) - Para o caso aqui considerado, em que o payload do RTP irá carregar apenas um quadro de voz de cada vez, o TOC é composto dos seguintes sub-campos:
  - F (1 bit) - É sempre igual a 0 (transporte de um único quadro de voz);
  - FT - *Frame Type* (4 bits) - Define o modo do quadro de voz que está sendo transportado;
  - Q (1 bit) - É feito igual a 1 se o quadro de voz que está sendo transmitido não contém erros. Será igual a 0 em caso contrário;

O IETF definiu dois modos de operação para o RTP carregando quadros de voz: o modo denominado *Bandwidth Efficient* e o modo *Octet Aligned*. No presente trabalho estará sendo considerada somente a operação no modo *Bandwidth Efficient*, pois este se enquadra melhor nos propósitos aqui delineados,



relativamente à economia de potência de transmissão. A Figura 28 exemplifica a formação de um quadro RTP operando no modo *Bandwidth Efficient* e transportando um quadro de voz do codec AMR no modo de 12,2 Kbps. Está sendo suposto que o quadro não contém erros ( $Q=1$ ). O FT correspondente é 7 e o enviador está esperando receber um quadro também na taxa de 12,2 kbps ( $CMR=7$ ). Ressalte-se que, em 12,2 kbps, o quadro de voz contém um total de 244 bits. Todo o quadro deve ser um múltiplo de 8 bits, sendo esta a razão da inclusão de dois bits de *padding* (P) no final do quadro. Convém observar que, nestas condições, o quadro tem um total de 256 bits.

CMR=7	F=0	FT=7	Q=1	d(0)	.....
.....					
.....					
.....					
d(243) P P					

Figura 28 - Quadro RTP para o Codec AMR em 12,2 kbps (modo *Bandwidth Efficient*).

Alternativamente, para a transmissão de um quadro SID (*Silent Descriptor*) nas mesmas condições (ver Apêndice 2), tem-se o quadro representado pela Figura 29, que tem um total de 56 bits.

CMR=7	F=0	FT=8	Q=1	d(0)	.....
.....					
d(38) P P P P P P P P					

Figura 29 - Quadro SID (modo *Bandwidth Efficient*).

## 5.4

### Tipos de Quadros em uma Conexão de Voz no Modo IMS

Retornando à Figura 22, verifica-se que o comprimento total dos cabeçalhos de um pacote de voz é da ordem de 67 bytes, enquanto que o *payload* de voz para o modo AMR - 12,2 kbps é de 32 bytes (comprimento do quadro mostrado na Figura 28). Este fato mostra a conveniência de se utilizar mecanismos de compressão de cabeçalhos, como forma de se aumentar a eficiência na transmissão de informação.

O processo de compressão recomendado pelo 3GPP é o denominado ROHC - *Robust Header Compression*<sup>[36,37,38]</sup>, desenvolvido pelo IETF e sumarizado no Apêndice 5. Neste processo, pode-se variar de um estágio de compressão máxima, quando o cabeçalho tem um comprimento total de apenas 1 byte (e que constitui a grande maioria dos pacotes enviados durante uma conexão de voz) até um estágio de operação sem compressão, como no início da transmissão, em que as informações do cabeçalho são enviadas em sua forma original.

Adicionalmente ao envio de pacotes de voz (com e sem compressão) também devem ser incluídos:

- Pacotes, de comprimento variável, contendo a sinalização SIP (*Session Information Protocol*) e que ocorrem principalmente no início e no término da chamada;
- Pacotes de controle, também de comprimento variável, do RTCP (*Real Time Control Protocol*) que vem associados ao RTP. Ocorrem periodicamente, durante a realização da chamada. Está em curso no 3GPP uma ação no sentido de se recomendar a não aplicação deste protocolo na interface aérea;

A Figura 30 ilustra a transmissão dos diversos tipos de pacotes, durante a realização de uma conexão hipotética de uma chamada de voz.

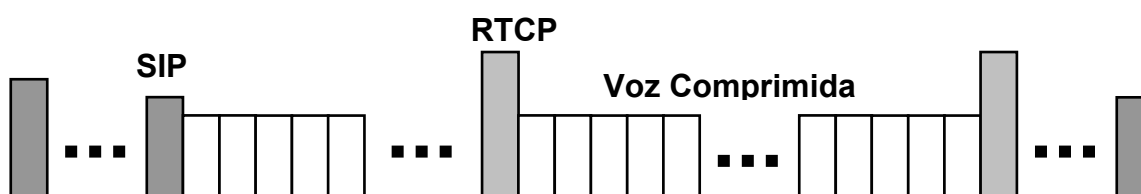


Figura 30 - Pacotes de uma Conexão VoIP.

O fato de se necessitar transmitir pacotes com diversos comprimentos durante uma conexão VoIP complica a operação da interface aérea, pois sempre ocorrem trocas de formatos de transporte (TF - *Transport Format*).

## 5.5

### Aplicação para a Transmissão de VoIP no IMS (codec AMR - 12,2 kbps)

Face ao que foi exposto na Seção 5.4, para a transmissão de VoIP no IMS há que se considerar a definição dos seguintes canais de transporte:

- TrCh A para o tráfego de pacotes de voz com e sem compressão de cabeçalho;
- TrCh B para o tráfego de sinalização RRC e NAS;
- TrCh C para o tráfego de pacotes RTCP;
- TrCh D para o tráfego de sinalização SIP;

A referência [39] define o seguinte RAB, para esta finalidade:

*"Conversational UL: 39,2 kbps DL: 39,2 kbps PS RAB for RTP + UL: 3,4 kbps DL: 3,4 kbps SRBs for DCCH + UL: 16 kbps DL: 16 kbps PS RAB for RTCP + UL: 16 kbps DL: 16 kbps PS RAB for SIP"*

Na nomenclatura do 3GPP, UL refere-se a *uplink*, DL a *downlink* e PS a *Packet Switch*. *SRBs for DCCH* representa os *Signaling Radio Bearers for Data Control Channel*, ou seja, está sendo feita referência ao canal para tráfego de sinalização RRC e NAS (TrCh B).

Para este RAB, ainda a referência [39] define o seguinte TFCS (*Transport Format Combination Set*):

{DCCH, 39,2 kbps for RTP, 16 kbps for RTCP, 16 kbps for SIP}

Os diferentes TBs associados aos TFs que compõem este TFCS são os seguintes:

- para DCCH: TF0=0 bits; TF1=148 bits
- para RTP: TF0=0 bits; TF1=320 bits; TF2=792 bits

- para RTCP: TF0=0 bits; TF1=336 bits; TF2=672 bits
- para SIP: TF0=0 bits; TF1=336 bits; TF2=672 bits

De acordo com o volume instantâneo de tráfego a ser cursado, a camada MAC aloca os TFs (*Transport Formats*) mais convenientes.

Para os propósitos desta seção, serão considerados os intervalos de tempo de transmissão que podem ser caracterizados pelo seguinte TFC (*Transport Format Combination*):

$$\{TF1, TF1, TF0, TF0\}$$

Isto significa que tem-se, naqueles intervalos, a preparação para a transmissão de pacotes de sinalização RRC/NAS (DCCH) associada a transmissão de pacotes de voz com compressão. Não há transmissão de RTCP ou SIP. Foi escolhida esta situação de forma a que se permita uma comparação, em bases efetivas, com o caso da transmissão de voz pelo CS, descrito na Seção 5.2.

O pacote de voz comprimido deve ter um total de 40 bytes (320 bits):

- *Payload* RTP de voz no modo *Bandwidth Efficient*: 32 bytes (Figura 28);
- Cabeçalho comprimido do pacote R-0 (ver Apêndice 5): 1 byte;
- Informação de retorno (ACK): 2 bytes;
- *Checksum* do cabeçalho do UDP (Figura 25): 2 bytes;
- Cabeçalho do Nível 2:
  - *Sequence Number* (SN): 1 byte;
  - *Lenght Indicator* (LI): 2 bytes;

Foi suposto o ROHC operando no Modo Confiável.

A Figura 31 descreve o processo de multiplexação para esta situação.

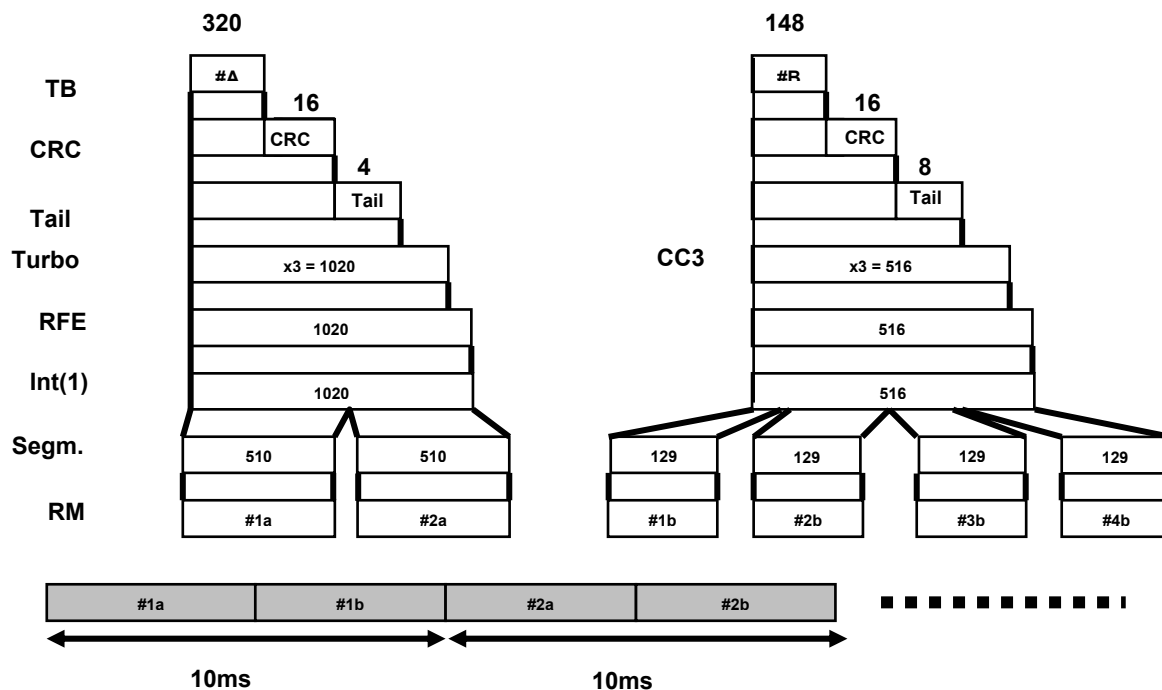


Figura 31 - Transmissão do Sinal de Voz (caso IMS).

Então, da figura anterior observa-se a necessidade de serem transportados um total de 639 bits (510 + 129) no quadro rádio de 10ms, antes do *Rate Matching*. Tem-se duas opções. A primeira é utilizar um SF de 32, o que corresponde a uma taxa de 120 kbps. Dessa forma, para acomodar 639 bits em um quadro de 10ms (1200 bits) haveria a disponibilidade de 561 bits (1200 - 639) para serem repetidos. A segunda opção é utilizar um SF de 64 (como no caso CS, tratado na seção 5.2), correspondendo a uma taxa de 60 kbps. Agora deve ser utilizado o mecanismo de supressão de bits, de forma a acomodar 639 bits em quadros rádio de 600 bits.

Escolhendo a segunda opção, como forma de se permitir uma comparação com o caso CS nas mesmas bases, e aplicando o algoritmo de otimização desenvolvido na seção 4.4.3, chega-se ao resultado mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultado do Algoritmo de Otimização - Caso IMS.

Canal	Coder	Bits	BER	Eb/No s/ otim	Rep/ Punct	Eb/No c/ otim
#A	TC3	510	$5 \times 10^{-4}$	1,742	- 45	2,529
#B	CC3	129	$10^{-4}$	2,756	+6	
Totais	-	639	-	-	- 39	-

Verifica-se que, neste caso, o algoritmo de otimização alocou 45 bits a serem suprimidos do canal A e 6 bits a serem repetidos no canal B. A economia em termos de gasto de energia foi de 0,227 dB (2,756 - 2,529) em relação à situação não otimizada.

Comparando esses resultados com aqueles obtidos para o caso CS (mostrados no Quadro 1), verifica-se que o IMS requer um acréscimo de dispêndio de energia de 0,653 dB (2,529 - 1,876), ou seja, um percentual de 16,2%. Então, torna-se necessária a adoção de procedimentos adicionais para o IMS, consubstanciados por uma redução do número de bits a serem enviados na interface aérea, de modo a torná-lo competitivo com o caso CS. Este é o objetivo principal do assunto do próximo capítulo.