

4 HSDPA

Neste capítulo, apresentaremos o padrão denominado HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), um sub-sistema do padrão UMTS/WCDMA proposto recentemente para transmissão de dados no enlace de descida. O HSDPA foi concebido de forma a se obter alta vazão na transferência de pacotes de dados com o auxílio das técnicas de adaptação de enlace, explicadas no capítulo 3.

Após uma breve introdução sobre o conceito do HSDPA, discutiremos os impactos causados pela sua implementação na arquitetura do WCDMA e descreveremos sua camada física, com base em [14] e [15].

4.1. Introdução

A idéia principal do HSDPA é aumentar a vazão dos pacotes de dados através de métodos já utilizados nos sistemas GSM/EDGE, incluindo adaptação de enlace e retransmissões automáticas.

As especificações atuais do WCDMA, como já mencionado no capítulo 1, satisfazem completamente os requisitos de taxas de transmissão do IMT-2000/UMTS, que são:

- 2 Mbps para locais fixos;
- 384 Kbps para usuários pedestres;
- 144 Kbps para usuários com alta mobilidade.

O HSDPA, que é considerada uma tecnologia de 3,5G, tem como principal objetivo proporcionar ao WCDMA taxas de transmissão de até 10 Mbps para serviços de melhor esforço, ou seja, até cinco vezes maior do que o proposto pelo padrão WCDMA.

No HSDPA, as duas características principais do WCDMA, que são o fator de espalhamento variável e o controle rápido de potência, são desativadas e

substituídas por modulação e codificação adaptativa, operações de códigos múltiplos extensiva (pode-se usar até 15 códigos paralelos no HSDPA) e uma estratégia de retransmissão rápida e espectralmente eficiente. O uso de codificações mais robustas, sistema de retransmissão híbrida e operações com códigos múltiplos tornam desnecessário o uso de fator de espalhamento variável.

No WCDMA, se um usuário estiver perto da ERB ou se a qualidade do canal for boa, ele poderá apenas ter sua potência reduzida. No entanto, ela não pode ser reduzida além de um valor mínimo e, de qualquer forma, se estiver abaixo de um limiar, o impacto da redução na capacidade do sistema será muito pequeno. Além disso, o usuário não se beneficia dessa boa qualidade do canal para obter um ganho em eficiência espectral. Com o HSDPA, esse mesmo usuário poderá aproveitar a maior disponibilidade de potência para transmitir em um modo de transmissão capaz de transformar o excesso de potência em maior vazão e isso sem custo adicional. Ou seja, não só a capacidade do sistema aumenta, como também a eficiência espectral do usuário cresce, se beneficiando da boa qualidade do canal.

Além das tecnologias de adaptação de enlace vistas no capítulo anterior (H-ARQ, técnicas MCA e MIMO), um outro mecanismo importante aplicado no HSDPA é o agendamento rápido. Agendamento rápido é o mecanismo que determina qual usuário irá transmitir em um determinado intervalo de tempo. É um elemento essencial no desenvolvimento de um sistema de pacotes de dados, uma vez que é ele quem determina o comportamento geral do sistema. Uma vazão máxima do sistema é obtida alocando todos os recursos de rádio existentes àquele usuário que estiver com as melhores condições do canal, embora um agendador realístico deva também incluir algum critério de equidade em sua escolha. Os operadores podem, inclusive, mudar o comportamento do sistema para suprir suas necessidades, apenas mudando o tipo de agendamento que está sendo realizado.

4.2. Impactos do HSDPA na Arquitetura da Rede

A atual arquitetura do WCDMA, explicada e ilustrada no capítulo 2, é ilustrada novamente na figura 14 (equivalente à encontrada em [13]), ao lado da arquitetura do HSDPA.

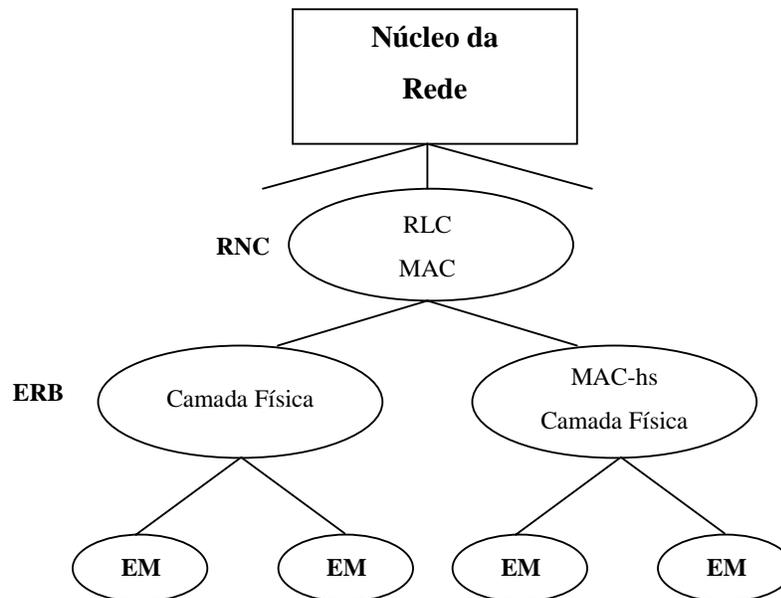


Figura 14: Arquitetura do WCDMA antiga e com a modificação do HSDPA.

Como se observa na figura 14, as RNCs são conectadas ao núcleo da rede, e cada RNC controla uma ou várias ERBs (*Node B*) que, por sua vez, se comunicam com as estações móveis (EMs). Agendamento, seleção do formato do quadro (parâmetros de codificação, modulação, etc.) e retransmissões são realizados pelo RNC.

Entretanto, as tecnologias de adaptação explicadas no capítulo anterior (modulação e codificação adaptativa, H-ARQ, MIMO), além do rápido agendamento dos usuários, necessitam de uma rápida adaptação às condições instantâneas do canal. Sendo assim, a adaptação do enlace deveria ocorrer mais próxima da interface aérea. Essa funcionalidade cria uma nova entidade na ERB, a MAC-hs (*Medium Access Control – high speed*), como mostrado na figura 14. No entanto, as atuais entidades do RNC como RLC e MAC ainda permanecem para

realizar uma série de funções, como cifragem de dados, *soft handoff*, etc. Dessa maneira, essas novas implementações na ERB não devem ser vistas como uma substituição às funções do RNC, mas como um complemento que possibilita um canal altamente confiável, com pequenos atrasos e altas taxas de transmissão.

4.3. Camada Física do HSDPA

Similarmente ao PDSCH (*Physical Downlink Shared Channel*), o HSDPA opera em conjunto com um canal dedicado (DPCH), que carrega serviços com exigências de atraso pequeno, como voz, por exemplo. Foram propostos três novos canais adicionais aos já existentes no WCDMA, e explicados no capítulo 2. São eles [11] [12] [13] [15]:

- HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*)
- HS-PSCCH (*High Speed Physical Shared Control Channel*)
- Uplink HS-DPCCH (*Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel*)

Nas próximas subseções detalharemos o funcionamento desses canais físicos.

4.3.1. HS-PDSCH

O HS-PDSCH será usado principalmente para pacotes de dados com QoS de melhor esforço e suportará todas as tecnologias de adaptação de enlace discutidas no capítulo anterior. Da mesma forma que o PDSCH, o HS-PDSCH corresponde a um recurso comum, compartilhado primeiramente no domínio do tempo entre vários usuários. A figura 15, [14], abaixo ilustra a parte da árvore de códigos que é separada para o HS-PDSCH.

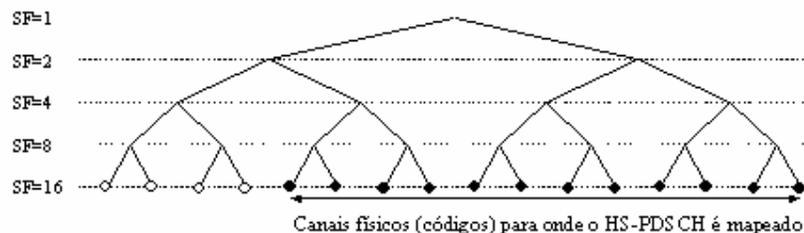


Figura 15: Códigos alocados para o HS-PDSCH.

Analisando a figura acima, vemos que 12 códigos de fator de espalhamento 16 (SF=16) são separados para o HS-PDSCH e apenas 4 códigos são atribuídos a outros canais. Na prática, esse número de códigos paralelos pode chegar a 15. Como já mencionado no item 4.1, o fator de espalhamento deste canal será fixo e igual a 16. Não se utiliza fator de espalhamento variável como no WCDMA.

A alocação de recursos de códigos compartilhados para diferentes usuários é feita para um intervalo de tempo de transmissão (ITT) do HS-PDSCH. Em [14] as propostas para o valor de ITT eram:

$$ITT = \begin{cases} 1 \times T_{slot} \\ 3 \times T_{slot} \\ 5 \times T_{slot} \\ 15 \times T_{slot} \end{cases}, \quad (4.1)$$

onde T_{slot} é o intervalo de uma janela de tempo do WCDMA e equivale a 0,667 ms e o ITT do WCDMA é $15 \times T_{slot}$, ou 10 ms. Em [15], ficou estabelecido que, para reduzir os atrasos na transmissão e facilitar o processo de adaptação ao canal variante no tempo, esse intervalo de tempo de transmissão do HSDPA seria fixado em 2 ms, ou $3 \times T_{slot}$.

A maneira inicial usada para se compartilhar os recursos de códigos do HS-PDSCH era apenas no domínio do tempo, isto é, teríamos apenas um usuário transmitindo em um ITT. No entanto, ficou estabelecido que poderia existir também multiplexação de códigos, isto é, mais de um usuário poderiam transmitir em um mesmo ITT, separados apenas pelos códigos de canalização. Esse processo está ilustrado na figura 16 abaixo.

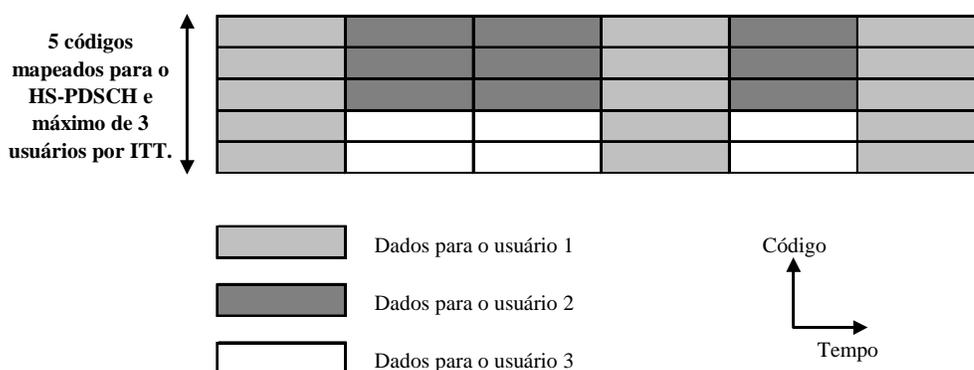


Figura 16: Compartilhamento do HS-PDSCH por multiplexação de códigos e de tempo.

Na figura acima, temos três usuários diferentes. Se um determinado usuário não puder preencher toda a capacidade do canal, outros usuários poderão ser agendados para usar este mesmo ITT. Em alguns ITTs da figura acima temos apenas um usuário transmitindo, mas em outros temos mais de um.

Apesar de podermos ter até 15 códigos paralelos para um único usuário, isso depende muito da capacidade do terminal. Existem terminais que suportam apenas 5, 10 ou, no máximo, 15 códigos paralelos.

No que se refere à modulação, inicialmente foram propostas as seguintes modulações: QPSK, 8-PSK, 16-QAM e 64-QAM. Entretanto, as modulações 8-PSK e 64-QAM foram descartadas por razões de performance e complexidade. Foi constatado que a modulação 8-PSK quase não acrescentava ganho de capacidade, enquanto que o 64-QAM era praticamente inviável devido a seus altos requisitos de qualidade. 16-QAM dobra a taxa de bit de pico se comparado à modulação QPSK e permite que o HSDPA atinja taxas de até 10 Mbps de pico com 15 códigos paralelos e fator de espalhamento igual a 16.

Contudo, o uso de modulações com maior eficiência espectral traz custos adicionais. No WCDMA, onde apenas o QPSK é usado, é necessário apenas um estimador da fase do sinal para o processo de demodulação. Com uso do 16-QAM, precisa-se também de um estimador da amplitude do sinal para separar os pontos da constelação. Mais ainda, informações mais precisas da fase são necessárias, uma vez que os pontos da constelação estão bem mais pertos uns dos outros do que no QPSK.

Enquanto que no WCDMA usa-se tanto códigos convolucionais como *turbo codes*, no HSDPA apenas *turbo codes* são usados, nas taxas $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$. As taxas de bit teóricas estão ilustradas na tabela 3, onde MT significa modo de transmissão.

MT	Modulação	Taxa de Código	Vazão Máxima (Mbps)
1	QPSK	1/4	1,8
2	QPSK	1/2	3,6
3	QPSK	3/4	5,3
4	16-QAM	1/2	7,2
5	16-QAM	3/4	10,7

Tabela 3: Taxas de bit máximas para 15 códigos paralelos.

O HS-PDSCH também suporta a técnica H-ARQ. Essa funcionalidade opera basicamente em duas maneiras diferentes. É possível mandar retransmissões idênticas, conhecido como técnica de combinação *Chase*, ou mudar os parâmetros e incrementar redundância, conhecido como técnica de redundância incremental [18] [19], explicadas no capítulo anterior.

A tabela 4 abaixo mostra as principais diferenças entre o HS-PDSCH, do HSDPA, e o PDSCH, do WCDMA.

Característica	PDSCH	HS-PDSCH
Fator de Espalhamento Variável	Sim	Não
Controle de Potência Rápido	Sim	Não
Modulação e Codificação Adaptativa	Não	Sim
Operação de Códigos Múltiplos	Sim	Sim, estendida
H-ARQ	Não	Sim

Tabela 4: Comparação entre HS-PDSCH e PDSCH.

4.3.2. HS-PSCCH

Além da transmissão de dados para o usuário no HS-PDSCH, é preciso também enviar sinalização de controle para este usuário, incluindo os códigos de canalização que ele deve desespalhar, o modo de transmissão utilizado e os parâmetros relacionados com H-ARQ. A informação é relevante apenas para o usuário que está recebendo dados através do HS-PDSCH e, por isso, pode ser transmitida em um canal de controle compartilhado.

Sendo assim, temos o HS-PSCCH (*High Speed Physical Shared Control Channel*), que carrega as informações necessárias para a demodulação do HS-PDSCH. A UTRAN tem que alocar um certo número de HS-PSCCHs, correspondente ao número máximo de usuários que serão multiplexados por códigos. Se nenhuma informação estiver sendo transmitida no HS-PDSCH, não há necessidade de transmitir um HS-PSCCH. Do ponto de vista da rede, pode haver vários HS-PSCCHs alocados, mas cada usuário só precisará considerar no máximo quatro HS-PSCCHs por vez.

Cada bloco HS-PSCCH tem a duração de três janelas de tempo ($3 \times T_{slot}$) e são divididos em duas partes. A primeira parte, correspondente à primeira janela de tempo, carrega todas as informações de tempo crítico que são necessárias para começar o processo de demodulação no tempo correto e evitar filas. Por sua vez, a segunda parte, que corresponde às outras duas janelas de tempo, contém parâmetros como CRC para checar a validade da informação do HS-PSCCH e informações do processo H-ARQ.

O HS-PSCCH usa fator de espalhamento igual a 128, acomodando 40 bits por janela de tempo, uma vez que não tem símbolo piloto ou bits de controle de potência nesse canal. Ele usa código convolucional de taxa $\frac{1}{2}$ e as duas partes são codificadas separadamente, já que as informações de tempo crítico precisam estar disponíveis imediatamente depois da primeira janela de tempo.

Na figura 17, vemos a relação de tempo entre os canais HS-PDSCH e HS-PSCCH.

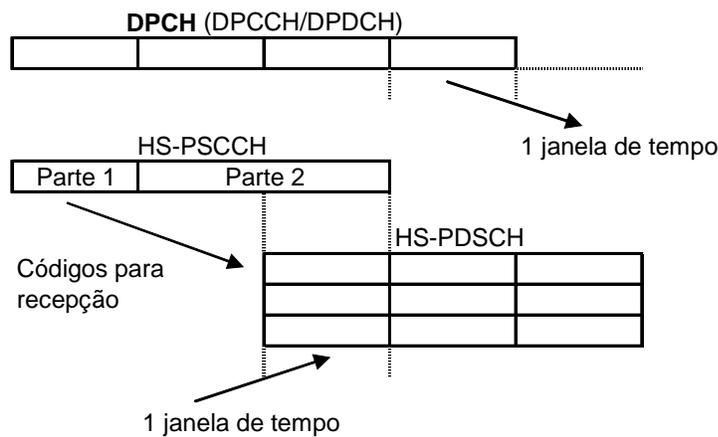


Figura 17: Relação de tempo entre os canais HS-PDSCH e HS-PSCCH.

Como podemos analisar na figura acima, o terminal tem uma única janela de tempo para determinar quais códigos do HS-PDSCH ele deve desespalhar. Quando existir dados no HS-PDSCH para o mesmo usuário em ITTs consecutivos, o mesmo HS-PSCCH deve ser usado. Vemos também que o tempo do canal dedicado, DPCH, não está amarrado ao tempo de nenhum dos dois canais HSDPA.

4.3.3. HS-DPCCH do Enlace de Subida

Além da sinalização no enlace de subida, através do HS-PDSCH, precisa-se também de sinalização de controle neste enlace. O enlace de subida tem que enviar as informações do H-ARQ, como as mensagens ACK e NACK, assim como a informação sobre a qualidade do canal, usada pela ERB para fazer a adaptação do enlace. O canal HS-DPCCH do enlace de subida (*Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel*) é dividido em duas partes:

- Transmissão de mensagens ACK/NACK
- Indicador da qualidade do canal no enlace de descida

A informação de realimentação sobre a qualidade do canal consiste em 5 bits. Um dos estados é reservado para o estado ‘sem transmissão’, quando o canal estiver muito ruim. Os outros estados representam qual modo de transmissão o usuário pode receber no momento. Esses estados, então, vão desde QPSK com um único código a 16-QAM com 15 códigos paralelos, como mostrado na tabela 3.