

Desempenho de Protocolo S-Aloha com Arranjos de Antenas Inteligentes e Cancelamento de Interferência

Ricardo R. De Araújo⁽¹⁾
rodrigues.ricardo@int-evry.fr

Francisco R. P. Cavalcanti⁽²⁾
rod@dee.ufc.br

João César M. Mota⁽²⁾
mota@dee.ufc.br

⁽¹⁾ Institut National des Télécommunications (França)

⁽²⁾ Universidade Federal do Ceará - Dept. de Engenharia Elétrica (Brasil)

Resumo

Neste trabalho é avaliado o uso de antenas adaptativas em redes de pacotes baseadas no protocolo de acesso ao meio *S-Aloha*. Mais especificamente é enfocado o uso do algoritmo de cancelamento sucessivo de interferência como forma de obter maior vazão da rede em condições de sobrecarga. São analisadas as variações de desempenho do algoritmo decorrentes de sua utilização em ambientes com grande ou pequeno grau de diversidade espacial disponível nas antenas do arranjo.

1. Introdução.

O desenvolvimento acelerado das comunicações sem fio tem permitido a criação e o melhoramento de várias aplicações e serviços antes só disponíveis em redes com fio. A crescente complexidade destas aplicações e serviços demanda taxas de transmissão de dados cada vez maiores. Por outro lado, a necessidade de reduzir os custos destes serviços e aplicações implica na utilização destes por um número cada vez maior de usuários, que por sua vez também colabora para o aumento do volume de informação a trafegar pelo sistema. Para suportar esta crescente taxa de informação, tendo em vista a limitação de recursos, sobretudo o espectro de frequência disponível, é necessário o uso de técnicas que aumentem a eficiência espectral do sistema. Uma das possíveis soluções para este problema seria a introdução da dimensão espacial, a qual pode ser obtida através do uso de antenas inteligentes ou adaptativas. Desta forma, vários usuários podem compartilhar os mesmos recursos de tempo e frequência desde que os referidos usuários sejam espacialmente separáveis pelo arranjo de antenas adaptativas.

Neste contexto, vários trabalhos têm sido dedicados ao uso de técnicas de antenas inteligentes. Mais especificamente, o uso de processamento espaço-temporal em redes de pacotes tem despertado interesse pelo incremento potencial na capacidade que pode ser obtido por meio destas técnicas. De fato, devido à habilidade de efetuar múltiplas capturas de um sistema de antenas inteligentes, grandes melhoramentos são alcançados em termos de aumento de vazão, diminuição do atraso médio de pacotes e aumento do número de usuários atendidos em redes de pacotes [1-4].

No entanto, a capacidade de múltiplas capturas com técnicas de processamento linear em arranjos de antenas é limitada pelo número de elementos do arranjo. Como o aumento da quantidade de elementos de recepção é muitas vezes inviável devido ao espaço físico requerido bem como ao custo de implantação dos equipamentos necessários, uma possibilidade para ampliar a capacidade de um sistema baseado em antenas inteligentes seria o emprego de algoritmos não-lineares para cancelamento de interferência. Tais métodos permitem ao sistema tratar um número maior

de usuários simultaneamente do que a quantidade de antenas que o compõem. Alguns destes algoritmos foram estudados em [5] e [6], no entanto não foi considerada, nestes trabalhos, a influência de algumas características do canal, tais como o espalhamento angular, sobre o desempenho dos algoritmos.

No presente trabalho são avaliados os ganhos obtidos pelo uso de antenas inteligentes e de métodos de cancelamento explícito de interferência em uma rede de pacotes baseada no protocolo de acesso ao meio *S-Aloha*. É discutida a influência do modelo de canal direcional adotado sobre o desempenho de tais algoritmos. Os resultados obtidos indicam que a característica de correlação espacial do canal influencia sensivelmente o desempenho. Observa-se que em ambientes com distâncias de coerência pequenas, a capacidade de métodos convencionais de antenas inteligentes para remover a interferência em situações de sobrecarga de usuários é limitada. Como forma de melhorar seu funcionamento nestas condições propõe-se o uso da técnica complementar de cancelamento sucessivo de interferência.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: uma descrição do modelo de rede usado é realizada na seção 2; nas seções 3 e 4 são apresentados o sistema de antenas e os canais espaciais usados no trabalho; em 5 é introduzido o método de avaliação do desempenho da rede; na seção 6 é descrito o algoritmo de supressão de interferência; em 7 são apresentados os resultados referentes ao uso de técnicas de supressão de interferência e finalmente na seção 8 são apresentadas as conclusões sobre os resultados obtidos.

2. Descrição do Protocolo de Acesso ao Meio

É considerada uma rede formada por uma única célula contendo infinitos usuários e uma estação central equipada com um arranjo de antenas inteligentes. A geração dos pacotes segue uma distribuição de Poisson. A coordenação das transmissões dos pacotes dos usuários obedece ao protocolo *S-Aloha*. Assim, o período de transmissão é dividido em intervalos e cada usuário possuidor de um pacote o transmitirá no início do intervalo subsequente à geração desse, não importando se outros usuários também realizam suas transmissões neste instante. Ao final de cada transmissão bem sucedida a estação central envia um pacote confirmando a recepção dos pacotes enviados. O não recebimento do pacote de confirmação por parte do usuário que efetuou a transmissão implica na retransmissão do pacote perdido, a qual será efetuada de acordo com uma determinada estratégia.

Os pacotes dos usuários possuem tamanho fixo, dada por um cabeçalho composto por uma palavra de código *Walsh* de 64 bits. Os cabeçalhos são atribuídos aos usuários de forma aleatória. Estes são utilizados na base central como sequência de treinamento pelo algoritmo de adaptação dos pesos das antenas.

3. Modelo de Sinal com Arranjos de Antenas

A recepção dos pacotes transmitidos é realizada na base central pelo arranjo de M antenas adaptativas que é capaz de capturar vários pacotes ao mesmo tempo. Isto é feito criando-se um feixe na direção do usuário de interesse e até $M-1$ nulos nas direções dos interferentes. Desta forma a interferência multi-usuário ou co-canal é fortemente atenuada permitindo a demodulação do pacote de interesse. O mesmo procedimento é feito para os demais usuários.

A formatação dos feixes é realizada através da atualização do vetor de pesos da antena \mathbf{w} . Neste trabalho a atualização dos pesos é feita segundo o critério do mínimo erro quadrático médio. Para este fim é usado o algoritmo DMI (*Direct Matrix Inversion*) [7].

A seguir é mostrado o modelo que descreve a transmissão e a recepção dos dados.

O vetor de sinais complexos representando os dados recebidos pelo conjunto de M antenas, o qual é constituído pela superposição dos sinais associados aos K usuários os quais se encontram uniformemente distribuídos no interior da célula que compõe a rede e que compartilham os mesmos recursos é representado pela expressão:

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{H}\mathbf{s}(n) + \mathbf{v}(n) \quad (1)$$

onde o vetor de recepção $\mathbf{x}(n)$ de dimensão $(M \times 1)$, o vetor de sinais transmitidos pelos K usuários $\mathbf{s}(n)$ e o vetor de ruído $\mathbf{v}(n)$ são dados por:

$$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_M]^T, \quad (2)$$

$$\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_K]^T, \quad (3)$$

$$\mathbf{v} = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_M]^T. \quad (4)$$

A matriz de ganhos do canal \mathbf{H} de dimensão $K \times M$ é constituída pelo conjunto de vetores de canal dos K usuários:

$$\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \ | \ \mathbf{h}_2 \ | \ \dots \ | \ \mathbf{h}_K], \quad (5)$$

cada vetor \mathbf{h}_k com $k \in \{1 \dots K\}$, descreve o ganho associado ao canal entre o usuário k e cada elemento do arranjo de antenas, possuindo o seguinte formato :

$$\mathbf{h}_i = [h_i^1 \ h_i^2 \ \dots \ h_i^{M_j}]^T, \quad (6)$$

onde cada componente h_i^m representa o ganho de canal entre o usuário k e o m -ésimo elemento do arranjo. Explicitamente, o vetor \mathbf{h}_k é dado pelo seguinte modelo em tempo contínuo para sua resposta ao impulso:

$$\mathbf{h}_k(t) = \sum_{j=1}^J \beta_j(t) \delta(t - \tau_j) \mathbf{d}(\theta_j) \quad (7)$$

Nesta equação o valor complexo β_j representa a atenuação e o desvio de fase devido ao j -ésimo percurso, enquanto que τ_j corresponde ao atraso referente ao referido múltiplo percurso. Neste trabalho o espalhamento de atraso é pequeno comparado ao período de cada símbolo e, desta forma, não é considerada a interferência inter-simbólica. A resposta do arranjo de antena na direção de chegada θ_j é representada pelo vetor $\mathbf{d}(\theta_j)$. É considerado que os usuários

se encontram distantes do arranjo de antenas, de tal forma que variações no ângulo de elevação são desprezíveis. Assim, leva-se em conta somente a dependência da resposta do arranjo com relação ao ângulo de azimute.

Na recepção, os coeficientes dos filtros espaciais são adaptados de acordo com o critério MMSE (*Minimum Mean Squared Error*) [8]. O vetor \mathbf{y} com a estimação dos sinais transmitidos é dado por:

$$\mathbf{y}(n) = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_K]^T = \mathbf{W}^H \mathbf{x}(n), \quad (8)$$

onde \mathbf{W} é a matriz formada pelos coeficientes dos filtros de todos os usuários dada por:

$$\mathbf{W} = [\mathbf{w}_1 \ | \ \mathbf{w}_2 \ | \ \dots \ | \ \mathbf{w}_K] = (\hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{H}}^H + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \hat{\mathbf{H}}. \quad (9)$$

$\hat{\mathbf{H}}$ representa uma estimação da matriz de transferência do canal obtida durante a fase de treinamento do algoritmo DMI, \mathbf{I} representa a matriz identidade e σ^2 é a potência do ruído.

Com relação à potência dos usuários, dois cenários são usados neste trabalho. No primeiro há um controle de potência, de forma que a potência média de cada usuários por antena é igual a 1. No segundo cenário o controle inexistente, sendo a potência dos usuários modelada por uma distribuição lognormal. Salvo menção em contrário, os resultados mostrados se referem a simulações com controle de potência.

Em todas as simulações será utilizada a modulação BPSK.

4. Modelos de Canal com Arranjos de Antenas

Neste trabalho são enfocados dois tipos de ambientes de propagação diferentes derivados à partir da eq.(7). No primeiro, a dispersão angular devido aos múltiplos caminhos é desprezível ou inexistente. Nesta situação as reflexões que originam os múltiplos percursos ocorrem nas proximidades do usuário e as distâncias que separam o referido usuário das superfícies refletoras são muito menores em relação à distância que os separa da estação central. Neste caso a distância de coerência é maior do que o espaçamento entre as antenas fazendo com que os sinais recebidos por cada elemento do arranjo estejam plenamente correlacionados. Estas considerações podem ser usadas para descrever uma rede que opere em uma macro-célula.

O segundo ambiente abordado representa o caso oposto, ou seja, o espalhamento angular é grande. Neste cenário as reflexões também ocorrem nas proximidades do arranjo fazendo com que os sinais cheguem às antenas provenientes de várias direções. Nesta condição a distância de coerência é pequena fazendo com que os sinais recebidos em cada elemento do arranjo de antenas sofram desvanecimentos independentes, o que proporciona maior diversidade espacial. Esta situação pode representar, por exemplo, uma rede implantada no interior de um edifício (pico-célula).

O primeiro caso será referido neste trabalho como ambiente sem diversidade enquanto que o segundo será chamado de ambiente com diversidade.

Em ambos os casos é utilizado um arranjo de antenas isotrópicas com acoplamento mútuo desprezível, dispostas de forma linear com elementos uniformemente espaçados entre si

de uma distância de $\lambda/2$, onde λ é o comprimento de onda da portadora do sinal. Este arranjo formado por $M=6$ elementos será utilizado em todas as simulações neste trabalho.

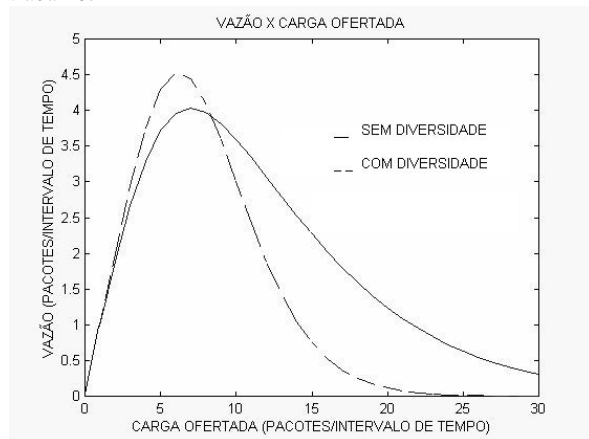


Figura 1. Curva de vazão X carga para os dois ambientes descritos.

5. Desempenho do Protocolo *S-Aloha* com o emprego de antenas inteligentes

Nesta seção é ilustrado o ganho de desempenho alcançado graças ao uso de antenas adaptativas em uma rede de pacotes que segue o modelo descrito na seção 2. Para fins de avaliação, é calculada a vazão da rede em função da carga ofertada. Para esta finalidade é usada a expressão analítica introduzida por Ghez em [9], que relaciona a vazão e a carga ofertada em uma rede com protocolo *S-Aloha* com uma estação central capaz de efetuar múltiplas capturas e onde é aplicado um mecanismo ótimo de retransmissão de pacotes perdidos. Esta expressão é mostrada abaixo.

$$S(g) = e^{-g} \sum_{p=1}^{\infty} \frac{g^p}{p!} C_p \quad (10)$$

Nesta equação C_p é o número médio de pacotes transmitidos com sucesso dado que p pacotes foram transmitidos pelos usuários em um dado intervalo de tempo. Neste trabalho C_p é obtido através de simulações de Monte Carlo.

Na figura 1 é mostrado os valores de vazão contra carga de uma rede operando nos dois ambientes descritos na sessão 5.

Neste gráfico é possível perceber a diferença de comportamento do sistema nos dois ambientes avaliados. Num primeiro momento quando o número de pacotes enviados por intervalo de tempo é menor do que o número de antenas o sistema simulado usando o canal com diversidade obtém melhores resultados. No entanto o desempenho deste sistema degrada de forma mais rápida do que o sistema simulado usando o canal sem diversidade quando o valor da vazão é maior do que o número de antenas.

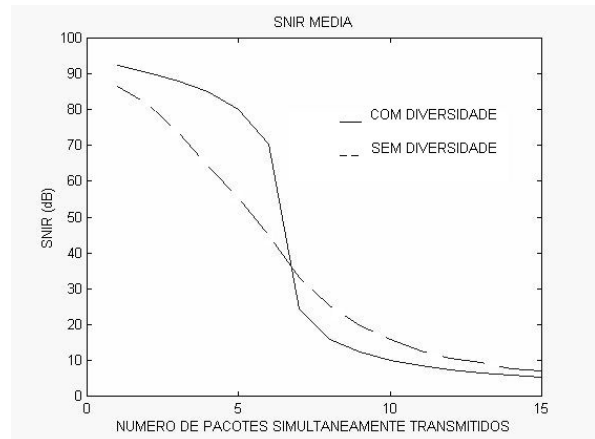


Figura 2. Curva de SINR média em função do número de pacotes simultaneamente transmitidos.

Este fenômeno pode ser explicado através da capacidade do sistema de antenas inteligentes de eliminar a interferência multi-usuário em cada um dos ambientes referidos. Esta diferença de capacidade é evidenciada na figura 2 que mostra as curvas de relação sinal ruído mais interferência média em função do número de pacotes simultaneamente transmitidos.

6. Mecanismo de supressão de interferência

Em um sistema convencional de antenas inteligentes com processamento linear e dotado de M elementos é possível capturar sinais proveniente de até M fontes diferentes [10]. Por este fato, quando a rede opera numa região de sobrecarga, isto é, mais usuários transmitindo do que o número de antenas, o número de pacotes perdidos aumenta e conseqüentemente a quantidade de retransmissões cresce o que acarreta numa perda de desempenho do sistema. Uma forma de aumentar a quantidade de múltiplas capturas e assim permitir à rede de trabalhar na região de sobrecarga, seria o uso de mecanismos não-lineares de supressão de interferência.

Entre os métodos de supressão de interferência mais utilizados [5] encontram-se os algoritmos MLSE (*Maximum Likelihood Sequence Estimator*), PIC (*Parallel Interference Canceler*) e SIC (*Successive Interference Canceler*). O primeiro algoritmo apresenta os melhores resultados, no entanto possui uma grande complexidade de cálculo, o que o torna proibitivo para aplicações em tempo real. Por outro lado, o algoritmo PIC apresenta um custo computacional bem inferior ao primeiro, em contrapartida, o seu desempenho é bastante inferior. A terceira opção representa uma solução intermediária em termos de complexidade e oferece resultados satisfatórios proporcionando assim um bom compromisso entre custo e desempenho. Por esta razão este algoritmo foi escolhido para ser usado neste trabalho.

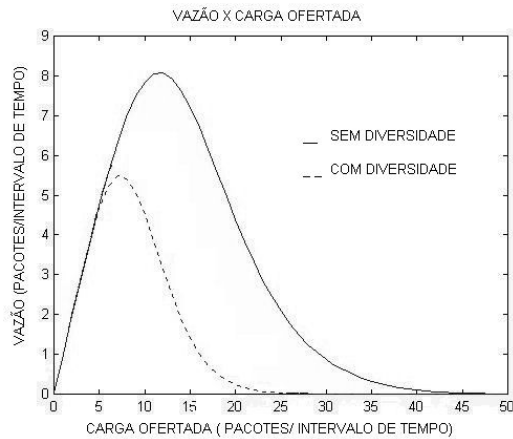


Figura 3. Curva de vazão X carga para sistema usando algoritmo SIC na recepção.

O algoritmo SIC possui um mecanismo de funcionamento que é descrito a seguir. A cada iteração o algoritmo extrai o sinal do usuário que possui a maior SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) de forma a minimizar a probabilidade de ocorrência de erro na demodulação dos símbolos. Após a recuperação dos dados do referido usuário, os mesmos são aplicados à função de transferência do canal, a qual é estimada durante o processo de treinamento do algoritmo DMI, e o sinal oriundo desta operação é subtraído do vetor de recepção \mathbf{x} . O procedimento é repetido até que todos os usuários tenham sido demodulados. Através deste mecanismo o sinal do usuário recentemente processado é eliminado proporcionando uma diminuição do nível de interferência multi-usuário a cada iteração.

Como a cada iteração a matriz \mathbf{H} de estimação da função de transferência do canal sofre uma redução de uma coluna, a inversão de matriz que ocorre na eq. 9 deve ser recalculada. Para evitar o custo computacional associado a esta operação pode-se fazer uso do Lema de inversão de matrizes [11], o que permite uma diminuição considerável na quantidade de cálculo requerido para esta tarefa.

7. Resultados

Os resultados da aplicação da estratégia de supressão de interferência descrita acima sobre a configuração de rede usada neste trabalho são vistos a partir da figura 3.

Neste gráfico é possível perceber que o algoritmo SIC proporciona desempenhos bastante distintos nos dois ambientes avaliados. Enquanto que no cenário sem diversidade houve um acréscimo em torno de 100% no pico de vazão obtido, apenas um tímido incremento é observado no caso com diversidade.

Para entender esta diferença de desempenho é preciso avaliar o comportamento da interferência multi-usuário nos dois cenários.

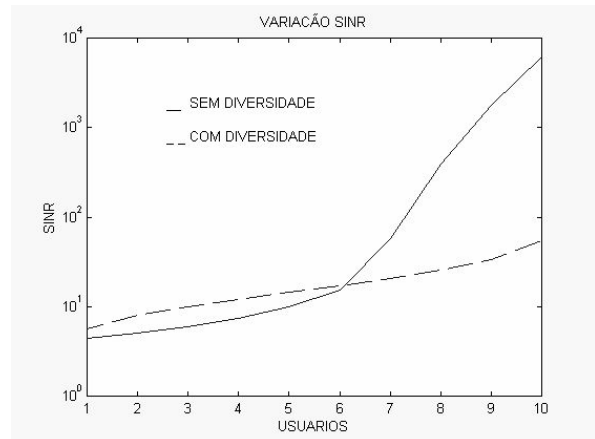


Figure 4. Curvas com os valores médios de SINR em ordem crescente para 10 usuários que transmitem simultaneamente.

No caso ambiente com diversidade observa-se uma queda abrupta da SINR média dos usuários quando o sistema passa da região de baixa carga para a de sobrecarga. Além da diminuição da SINR quando o número de usuários é maior do que a quantidade de antenas, outro fato marcante é a menor variância da SINR medida com relação ao caso ambiente sem diversidade. Em outras palavras, no primeiro cenário a diferença entre a maior SINR medida e a menor é pequena, enquanto que no segundo caso a maior SINR medida entre os usuários é muitas vezes superior à menor SINR (figura 4). Isto ocorre porque no ambiente com diversidade o sinal de cada usuário, devido aos múltiplos percursos, chega ao sistema de antenas proveniente de vários ângulos diferentes, não existindo uma direção preferencial. Desta forma os sinais de todos os usuários se encontram misturados. Nesta situação o filtro espacial atua como um separador de fontes em uma mistura. Os graus de liberdade do filtro são determinados pelo número de antenas no sistema. Com mais fontes do que antenas o filtro não pode separá-las perfeitamente, havendo sempre uma projeção de sinais interferentes no sinal do usuário de interesse. Isto causa uma degradação da SINR de todos os usuários. Por outro lado, num ambiente sem dispersão angular os sinais dos usuários atingem o sistema de antenas vindo de direções precisas. Neste caso o filtro espacial atua como um formador de feixes, criando um feixe na direção do usuário de interesse e até M-1 nulos na direção dos interferentes, onde M é o número de antenas. Desta forma até M sinais podem ser perfeitamente recebidos simultaneamente, desde que as fontes dos mesmo estejam separadas no espaço. Com mais usuários do que antenas torna-se impossível com este tipo de filtro (MMSE) separar todos os sinais. No entanto o usuário que se encontra numa posição favorável, isto é, longe dos demais interferentes pode ter seu sinal bem demodulado e apresentar uma boa SINR enquanto que os demais que não se encontram em posições privilegiadas terão perdidos os seus dados e apresentarão péssima SINR. Isto explica o comportamento anteriormente observado.

Como a SINR de todos os usuários, no ambiente com diversidade, sofre grande redução quando o sistema passa para uma condição de sobrecarga, mesmo o primeiro usuário a ser demodulado apresentará um baixo valor de SINR aumentando a probabilidade de ocorrência de erros no pacote. Estes erros são propagados aos demais usuários durante o processo de retirada do sinal deste usuário demodulado. A cada iteração o nível de interferência sofrido pelos usuários restantes diminui.

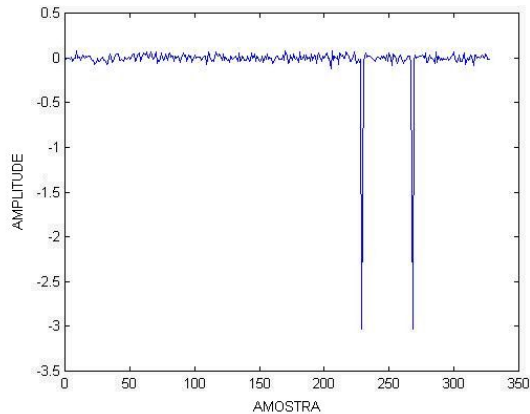


Figure 5. Valores do vetor de recepção de uma antena após a retirada do sinal de todos os usuários.

No entanto os erros ocorridos nos primeiros pacotes produzem picos de ruído no vetor de recepção, o que pode causar decisões erradas na demodulação dos demais usuários. Isto é ilustrado na figura 5, onde é apresentada uma seqüência de amostras x_1 proveniente do vetor de recepção x após a retirada dos sinais de todos os usuários. O valor residual corresponde ao ruído térmico introduzido mais o ruído gerado durante o processo de supressão de interferência devido a uma não perfeita estimação do canal e a erros de demodulação de símbolos. Os dois picos correspondem a erros de demodulação ocorridos no primeiro pacote tratado e que foram propagados para os pacotes seguintes. Neste caso havia 10 pacotes sendo transmitidos e um arranjo de 6 antenas. Todos os pacotes foram perdidos.

O mesmo comportamento não se manifesta no caso ambiente sem diversidade. Nesta situação os primeiros usuários tratados, na maioria dos casos¹, apresentam elevada SINR e por isto não têm seus *bits* demodulados incorretamente, não propagando erros aos demais usuários.

Uma forma de minimizar o problema provocado pela propagação de erros que ocorrem na demodulação dos usuários iniciais no caso ambiente com forte espalhamento angular seria o uso de códigos corretores de erro. Embora o emprego desta técnica implique num aumento do número de *bits* que não carregam informação "útil", o que levaria a uma diminuição da eficiência espectral, os resultados obtidos são interessantes como se pode ver a seguir. Na figura 6 são mostradas as curvas de vazão contra carga para um sistema utilizando o algoritmo SIC associado a um código corretor capaz de corrigir até 15 erros em um pacote de 255 *bits*.

Como pode ser visto a utilização de códigos corretores de erro proporciona um ganho de desempenho nos dois cenários observados, sobretudo no caso ambiente com espalhamento angular onde há um incremento no pico de vazão da ordem de 68% contra 35% no caso ambiente sem espalhamento.

¹ Isto é verdade até um certo valor de carga. Quando o número de pacotes transmitidos é muito elevado, mesmo o usuário com maior SINR não pode ser demodulado corretamente.

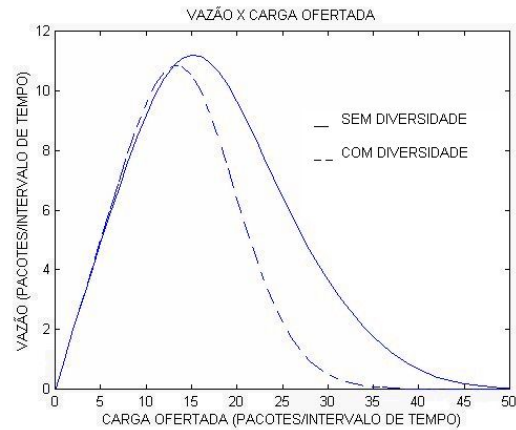


Figure 6. Curva de vazão X carga para um sistema usando um algoritmo SIC na recepção aliado a um código corretor.

Até então, as simulações foram feitas considerando-se que a potência média por antena do sinal recebido dos usuários é unitária. O uso de controle de potência é recomendável afim de se manter a equidade da rede, ou seja, para evitar-se que os usuários mais próximos da estação central sejam beneficiados no processo de captura o que caracterizaria um esquema de prioridade baseado na proximidade. No entanto a não utilização de um controle de potência proporciona, no caso ambiente com forte espalhamento angular, uma maior variância da SINR. Assim, num dado instante, mesmo que a SINR média seja baixa, o primeiro usuário a ser processado pelo algoritmo SIC pode apresentar um elevado valor de SINR o que diminui as probabilidades de ocorrência de erros. Caso o seu sinal possa ser corretamente eliminado do vetor de recepção os demais usuários não sofrerão com o elevado nível de interferência produzido por esse como ocorreria se não fosse usado um mecanismo de supressão de interferência. Isto minimiza o problema de não equidade da rede provocado pela falta de controle de potência.

Os resultados da figura 7 ilustram os benefícios de tal estratégia. Novamente são avaliados os dois ambientes anteriormente discutidos.

Pode-se observar na figura 7 que o não uso de um controle de potência no caso ambiente com forte espalhamento angular proporciona um ganho significativo de desempenho do algoritmo de supressão de interferência SIC. De fato, este mecanismo tem seu rendimento bastante afetado quando a probabilidade de ocorrência de erros nos primeiros usuários tratados é elevada, como ocorre na região de sobrecarga da rede no cenário anterior, onde é efetuado um controle de potência. No último cenário avaliado este problema é contornado pela existência de usuários com potência superior à média das potências de todos os integrantes do sistema, o que faz com que a maior SINR na primeira iteração do algoritmo SIC seja suficientemente elevada para que haja uma reduzida ocorrência de erros.

A não utilização do controle de potência além de proporcionar resultados superiores aos demais casos avaliados, não apresenta o inconveniente do aumento de *bits* que não transportam informação útil nem a complexidade adicional requerida pelo uso de códigos corretores de erro. Como desvantagem pode-se apontar a perda de equidade da rede. No entanto este problema só se manifesta em uma situação de carga ofertada muito elevada.

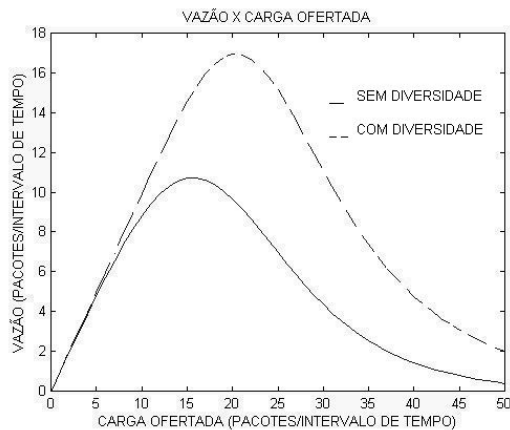


Figure 7. Curva de vazão X carga para um sistema usando um algoritmo SIC na recepção. Não é aplicado controle de potência neste caso.

8. Conclusões

Neste trabalho foi avaliado o uso do algoritmo de supressão sucessiva de interferência SIC em uma rede de pacotes baseada no protocolo de acesso ao meio *S-Aloha* dotada de um sistema de antenas adaptativas na estação central. Foram analisados os desempenhos deste algoritmo em ambientes com pequeno e com elevado grau de diversidade espacial. Foi observado que o algoritmo é penalizado em ambientes com grande espalhamento angular devido à ocorrência de erros nos primeiros usuários processados em virtude do baixo valor de SINR apresentados por estes. Como forma de diminuir este problema duas estratégias foram verificadas: o uso de códigos corretores de erros e o não emprego de controle de potência. A segunda estratégia apresentou melhor rendimento por seu maior desempenho associado a uma menor complexidade.

9. Referências

- [1] Chockalingan, A., Ramesh, R., "MAC Layer Performance with Steerable Multibeam Antenna Arrays". 9th PIMRC, IEEE, NY, vol. 3, pp. 934-937, 1998.
- [2] Razavilar, J., Rashid-Farrokhi, F., Ray Liu, K.J., "Traffic Improvements in Wireless Communication Networks Using Antenna Arrays", IEEE JSAC, vol. 18, No 3, March, pp. 458-471, 2000.
- [3] Zorzi, M., "Performance of a MAC Protocol with Smart Antennas in a Multicellular Environment", IEEE ICC 2000, vol. 1, pp. 402-407, 2000.
- [4] Stridh, R., Ottersten, B., "Packet Data Throughput for Wireless Systems with Smart Antennas", IEEE 50th VTC 1999, vol. 1, pp. 32-36, 1999.
- [5] Münster, M.; Hanzo, L. "Co-Channel Interference Cancellation Techniques for Antenna Array Assisted Multiuser OFDM Systems". First International Conference on 3G Mobile Communications Technologies, Conference Publication No 471, IEE, pp. 256-260, 2000.
- [6] P. Vandenameele, L.V. der Perre, "A Novel Class of Uplink OFDM/SDMA Algorithms for WLAN", IEEE Proc. Globecom'99, vol. 1, pp. 6-10, 1999.
- [7] Winters, J.H. "Signal Acquisition and Tracking with Adaptive Arrays in the Digital Mobile Radio System IS-54

with Flat Fading", IEEE Trans. Vehic. Tech., 42(4):377-384 1993.

[8] Winters, J. H. "Optimum Combining in Digital Mobile Radio with Cochannel Interference", IEEE Journal on Sel. Areas in Comm., pp. 528-539, 1984.

[9] Ghez, S.; Verdu, S., "Optimal Decentralized Control in the Random Access Multipacket Channel", IEEE Trans. On Autom. Control, vol. 34, no 11, pp. 1153-1163, Nov, 1989.

[10] Haykin, S. Adaptive Filter Theory. Prentice-Hall 3ed, 1996.

[11] Li, Y., Sollenberger, R., "Adaptive Arrays for OFDM Systems with Cochannel Interference", IEEE Trans. Comm., vol. 47, No 2, February, pp. 217-229, 1999.