Artigo: **On The Performance of Cognitive Full-Duplex Generalized Dynamic Network Coding**

Autores: **Samuel B. Mafra, Evelio M. G. Fernandez, Richard D. Souza, Joao L. Rebelatto and Samuel M. Sánchez**

**Simulação de probabilidade de interrupção em função do limiar máximo de interferência , dos esquemas direto, C-SDF, C-DNC, C-GDNC.**

**Explicação e metodologia do artigo.**

No artigo, os autores apresentam uma comparação de desempenho em termos de probabilidade de interrupção entre os esquemas SDF, DNC e GDNC em cenários cognitivos, em contraste com transmissão direta, protocolos cooperativos tradicionais e esquema de codificação de rede dinâmica generalizada em um ambiente de rádio cognitivo full-duplex.

Um dos esquemas propostos é a codificação de rede dinâmica (DNC), onde as combinações lineares transmitidas durante o CP são formadas a partir de um campo de Galois não-binário GF(q). Para um cenário com M usuários cooperativos, o esquema DNC pode alcançar um ganho de diversidade de 2M −1, superando os esquemas de codificação binária. Além disso, é proposto o esquema que generaliza o DNC, a codificação de rede dinâmica generalizada (GDNC). No esquema GDNC, os usuários podem transmitir vários pacotes no BP, bem como um número arbitrário de combinações lineares não-binárias no CP, resultando em uma ordem de diversidade alcançável maior do que o DNC.

Os resultados demonstram que o uso de comunicações cooperativas com codificação em rede pode oferecer ganhos significativos em termos de probabilidade de interrupção e ordem de diversidade, quando comparado a técnicas não cooperativas ou tradicionais.

No artigo, o esquema CFD-GDNC full-duplex cognitivo é proposto e comparado com os esquemas de codificação de rede half-duplex em termos de probabilidade de interrupção. O esquema proposto supera os métodos anteriores, mesmo na presença de auto-interferência.

Este trabalho incluirá a simulação da Figura 7 do artigo, que apresenta a probabilidade de interrupção em função do limiar máximo de interferência β, para os esquemas direto, C-SDF, C-DNC e C-GDNC. Serão detalhados o modelo do sistema e as funções de probabilidade de interrupção utilizadas na simulação dos diferentes esquemas.

**Modelo do sistema**

Para a simulação, o seguinte modelo foi levado em consideração, fig.1

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fig. 1. Modelo de sistema composto por um destino primário Dp e dois SUs, denotados por U1 e U2, que transmitem para um destino secundário Ds.

O sistema considerado no artigo é composto por dois usuários secundários (U1 e U2), um destino secundário comum () e um destino primário (). Existem canais de desvanecimento quasi-estáticos entre os transmissores e receptores, denotados por , onde i representa os usuários (1 ou 2) e j representa os destinos (1, 2, s ou p).

Assumimos que todos os canais sofrem desvanecimento independente de Rayleigh, assim segue uma distribuição exponencial com potência média . O poder médio de desvanecimento é:

E[ ] ≜ (1)

Onde:

: a distância normalizada entre os usuários i e j em relação a

: é o expoente de perda de caminho.

Um cenário simétrico também é considerado para a rede secundária. Todos os nós secundários estão aproximadamente à mesma distância dos nós primários.

O modelo inclui restrições de potência de transmissão dos usuários secundários devido à interferência máxima aceitável pelo destino primário. Devido ao ambiente de compartilhamento de espectro, o receptor primário tolera um nível máximo de interferência dado por . Supondo operação half-duplex, uma vez que apenas uma transmissão por slot de tempo, a potência de transmissão do usuário Ui é limitada como:

(2)

Interrupção é o evento em que a informação mútua entre os nós e é menor do que uma taxa de informação tentada . Assim, a probabilidade de interrupção é definida como:

(3)

Onde:

Probabilidade do evento

: Densidade espectral de potência de ruído unilateral

Taxa de transmissão (bpcu)

Taxa de informação tentada

: Taxa de código

Para o esquema não cooperativo usamos = 1

É considerado um cenário simétrico na rede secundária, temos que

(, onde é a probabilidade de interrupção de um link individual,

(4)

Onde:

A transmissão ocorre em duas fases: na fase de broadcast, a fonte transmite suas informações, e na fase cooperativa, se o relé decodificar corretamente a mensagem da fonte, ele a retransmite para o destino.

***Esquema C-SDF***

Esse esquema considera que a rede secundária opera de acordo com o protocolo de decodificação seletiva e encaminhamento (SDF), onde cada usuário primeiro transmite sua própria mensagem no BP. No CP, os usuários retransmitem as mensagens de seus parceiros, se corretamente decodificadas. Caso contrário, os usuários permanecem em silêncio.

A probabilidade de interrupção do SDF cognitivo (C-SDF) pode ser aproximada em uma alta relação sinal-ruído (SNR) como:

(5)

Onde é obtido de (4), com

***Esquema C-DNC***

O esquema de codificação de rede dinâmica (DNC) é um esquema cooperativo codificado em rede não-binária que permite que os nós transmitam combinações lineares de um campo de Galois não-binário GF(q) durante o CP, conforme ilustrado na Fig. 2

Tabla

Descripción generada automáticamente

Fig. 2. Pacotes transmitidos no esquema C-DNC, onde IP1 e IP2 são os pacotes de informações originais de U1 e U2, respectivamente.

Para avaliar a probabilidade de interrupção da rede de dois usuários apresentada na Figura 2, é considerado que o canal entre os nós cooperativos está livre de interrupções, de modo que o destino recebe quatro mensagens: , , + e +. Com esse conjunto de mensagens recebidas, o destino é capaz de decodificar e de qualquer uma das quatro mensagens recebidas.

Quando o canal entre usuários falha e o U2 não consegue decodificar a mensagem de seu parceiro, o U1 retransmite sua própria mensagem. Nesse cenário, ao receber duas cópias da mesma mensagem, o destino executa a combinação de seleção (SC) entre as mensagens. Finalmente, pode-se mostrar que a probabilidade de interrupção do esquema cognitivo DNC (C-DNC) de dois usuários, com , pode ser aproximada como

(6)

***Esquema C-GDNC***

O esquema C-GDNC considera que cada usuário é capaz de transmitir pacotes de informação durante o BP. Então, no CP, cada usuário transmite um número arbitrário de combinações lineares de suas próprias informações e das informações dos outros usuários , se corretamente decodificadas durante o PB. O funcionamento do esquema GDNC é ilustrado na figura 3.

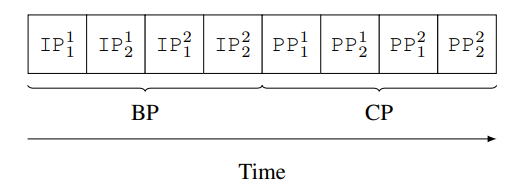


Fig. 3. Pacotes recebidos pelo destino no esquema C-GDNC.

A alta aproximação SNR para a probabilidade de interrupção do esquema cognitivo GDNC de dois usuários (C-GDNC) com = = 2 e taxa de código , pode ser escrita como

(7)

onde é o coeficiente binomial.

**Simulação de Monte Carlo**

1. Configuramos o modelo, identificamos as variáveis dependentes a serem previstos e as variáveis independentes (variáveis de entrada), que permitem a previsão. Assim como as variáveis constantes envolvidas.

**Variáveis constantes:**

**Variáveis independentes:**

1. **Geração de variáveis independentes**

Especificamos as distribuições de probabilidade das variáveis independentes. Usamos os dados predefinidos em um intervalo de valores prováveis e atribuímos pesos de probabilidade para cada um.

Como a variável independente beta tem uma unidade de medida em decibéis (unidade logarítmica), temos que linearizá-la, para isso aplicamos a seguinte fórmula:

Para a geração de variáveis aleatórias para o canal que passa pelo desvanecimento de Rayleigh, foi usada uma distribuição de Nakagami que gera N valores aleatórios. A distribuição de Nakagami é comumente usada para modelar a amplitude do sinal recebido em um canal de comunicação sem fio. Essa distribuição modela situações em que há vários caminhos de sinal e nenhuma linha de visão direta, como em ambientes urbanos densos.

A distribuição de Nakagami tem um parâmetro de forma e um parâmetro de escala Ω. Nesse caso, usamos = 1, o que corresponde a um desvanecimento Rayleigh, um caso especial de desvanecimento Nakagami.

À medida que m aumenta, a distribuição se torna mais concentrada em torno de sua média, indicando que a variabilidade do desvanecimento é menor.

O parâmetro de escala Ω é igual à variação do sinal recebido. Na simulação, supomos que a média da potência do sinal recebido é média= e, como a potência é proporcional ao quadrado da amplitude, a variação da amplitude será a raiz quadrada da média da potência. Portanto, multiplicamos a raiz quadrada da média pelos valores aleatórios da distribuição de Nakagami.

= r = np.sqrt(media)\*nakagami.rvs(1, size=N)

Onde:

1. Execute as simulações repetidamente para gerar valores aleatórios das variáveis independentes. Fazemos esse processo até reunirmos um determinado número de resultados que possam criar uma amostra representativa do número infinito de combinações possíveis.

As variáveis independentes serão aplicadas em modelos diferentes de acordo com o esquema que queremos representar. Usamos os modelos descritos acima.

**Resultados**

Conseguimos obter resultados muito bons na simulação dos esquemas Direto, C-SDF, C-DNC e C-GDNC (Fig. 4). Onde obtivemos valores muito próximos do gráfico proposto no artigo (Fig.5). Para verificar os resultados da simulação por monte carlo, comparamos a simulação dos mesmos esquemas na equação 4 (CDF) que representa a probabilidade de interrupção (Fig.6). Ambos os gráficos fornecem valores muito próximos um do outro.

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Fig. 4 Probabilidade de interrupção para diferentes esquemas em função do limite máximo de interferência β (Simulação por Monte Carlo)

Gráfico, Gráfico de dispersión

Descripción generada automáticamente

Fig. 5 Probabilidade de interrupção para diferentes esquemas em função do limite máximo de interferência β (Artigo)

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Fig. 6 Probabilidade de interrupção para diferentes esquemas em função do limite máximo de interferência β (Simulação CDF)

**Conclusões**

Para realizar uma simulação de Monte Carlo do gráfico "probabilidade de interrupção para diferentes esquemas em função do limite máximo de interferência ", foi necessário ter um modelo matemático que descrevesse cada um dos esquemas presentes no gráfico. Uma vez que o modelo estava disponível, era necessário identificar as variáveis dependentes a serem previstas, nesse caso a probabilidade de interrupção, e as variáveis independentes, que são as variáveis de entrada do nosso modelo, para permitir que fizéssemos essa previsão.

Também é importante considerar a distribuição de probabilidade das variáveis independentes, pois isso influenciará muito o comportamento do nosso gráfico e os resultados que podemos obter. Também devemos considerar os dados predefinidos em um intervalo de valores prováveis e atribuir pesos a cada um deles. Por fim, executamos as simulações repetidamente para gerar valores aleatórios para as variáveis independentes, até reunirmos resultados suficientes para criar uma amostra representativa do número de combinações possíveis.

A simulação de Monte Carlo é um método muito útil que nos permite obter resultados numéricos com base na repetição aleatória de experimentos. Este trabalho nos permitiu simular a probabilidade de interrupção de acordo com o modelo de diferentes esquemas propostos como uma função do limiar máximo de interferência.

**Link para simulação:** [**https://colab.research.google.com/drive/1CAMhq2n7-4x1z5wpBzDRMwkT29bPadjv#scrollTo=n9MEmnkMimSG**](https://colab.research.google.com/drive/1CAMhq2n7-4x1z5wpBzDRMwkT29bPadjv#scrollTo=n9MEmnkMimSG)