

# Comparação de Mecanismos de Cancelamento de Difusão

Rui Lima<sup>1</sup> \*, Carlos Baquero<sup>2</sup> e Hugo Miranda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Lusíada, CLEGI, V. N. Famalicão  
rml[at]fam.ulusiada.pt

<sup>2</sup> Universidade do Minho, HASLab / INESC tec, Braga  
cbm[at]di.uminho.pt

<sup>3</sup> Universidade de Lisboa, LaSIGE, Lisboa  
hmiranda[at]di.fc.ul.pt

**Resumo** A difusão de mensagens é uma primitiva de comunicação frequentemente usada pelos algoritmos de pesquisa de recursos em redes móveis sem infraestrutura. Quando uma pesquisa encontra o recurso que procura, esta deve ser interrompida, dado que a sua continuação representa um desperdício de energia, sobretudo em redes sem fios de grandes dimensões. Este artigo compara o mecanismo de cancelamento usado nos algoritmos BERS e BERS\* com uma nova abordagem em que o cancelamento é iniciado de imediato pelo nodo que detém o recurso. Quer a modelação matemática quer os resultados de simulações mostraram que sem prejudicar mais a latência apresentada pelo BERS\* foi possível diminuir o número de transmissões necessárias para travar o processo de difusão. O cancelamento com origem no recurso permitiu melhorar a eficiência energética da difusão, que é um fator crítico nos dispositivos móveis alimentados a baterias.

**Keywords:** Difusão, Descoberta de recursos, Redes móveis

## 1 Introdução

Uma das principais características das redes móveis é facto da mobilidade dos nodos impor alterações significativas à topologia da rede. Alguns protocolos de encaminhamento [2] tem vindo a ser propostos para este tipo redes, apresentando a capacidade de se adaptarem às variações na topologia da rede [11]. A estratégia mais usada é considerar que os nodos conhecem apenas os seus vizinhos mais próximos, já que não faz sentido recolher e armazenar informação sobre uma topologia que rapidamente fica desatualizada [4]. Um cenário mais adverso é colocado no contexto das redes MANETs (*Mobile Ad-hoc Networks*), onde para além da mobilidade dos nodos não existe uma infra-estrutura fixa de suporte às

---

\* O trabalho descrito neste artigo foi parcialmente suportado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal (PEst-OE/EME/UI4005/2011) e desenvolvido no âmbito do Centro Lusíada de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia e Gestão Industrial (CLEGI).

comunicações [13]. Nas MANETs o alcance de cada nodo é muito inferior à dimensão geográfica da própria rede. Uma solução para manter a conectividade da rede consiste em selecionar uma parte dos nodos para retransmitir as mensagens, de modo a assegurar que estas chegam ao respetivo destino. A difusão [3] é o principal modelo de comunicação em MANETs, fornecendo serviços básicos para o desenvolvimentos de novos protocolos de nível de rede e de aplicação [5]. As aplicações que efetuam pesquisas de recursos que se encontram distribuídos pelos nodos da rede móvel, são um exemplo típico de aplicações, em que as comunicações são asseguradas por difusão [15]. Por exemplo, recolher a temperatura usando redes de sensores sem fios.

As limitações (energia, memória, comunicações, etc) dos nodos da rede deram origem a mecanismos de pesquisa que limitam a difusão das mensagens de pesquisa [7], pois não há motivo para dar continuidade a uma pesquisa quando já se tem a resposta. Alguns mecanismos [6,9] limitam o alcance da propagação das mensagens de difusão, aumentando o tempo de resposta dos algoritmos. Uma estratégia para limitar o alcance de uma difusão é utilizar mensagens de cancelamento [16]. Neste trabalho apresentamos um novo mecanismo que permite iniciar o cancelamento da difusão de mensagens assim que o recurso é encontrado, propondo dois novos algoritmos que exploram a dicotomia existente entre eficiência energética e latência. Iniciar o cancelamento no local onde ocorreu a descoberta, tem ainda a vantagem de fazer com que o processo de pesquisa seja mais facilmente interrompido na vizinhança do nodo que detém o recurso, melhorando a disponibilidade dos nodos vizinhos.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. A secção 1 evidencia a importância dos mecanismos de comunicação por difusão e alerta para a ineficiência da sua utilização em redes moveis com recursos limitados. A secção 2 apresenta alguns mecanismos de cancelamento de difusão, usados para melhorar a eficiência energética de algoritmos de pesquisa em MANETs. Na secção 3 é proposto um novo mecanismo em que o cancelamento é iniciado no recurso, sendo apresentada uma modelação analítica para comparar os mecanismos de cancelamento. A avaliação final encontra-se na secção 4, onde se realiza a análise dos resultados obtidos utilizando técnicas de simulação. A secção 5 é dedicada às conclusões e perspectivas futuras.

## 2 Trabalho Relacionado

Os protocolos de pesquisa de recursos em MANETs são alvo de investigação considerável, dada a sua importância como prestadores de serviços aos protocolos das camadas superiores. Um exemplo prático é a sua aplicabilidade no desenvolvimento de novos protocolos de encaminhamento [1]. Variações introduzidas ao mecanismo tradicional de difusão total (*flooding*), permitem otimizar métricas relacionadas com consumo de energia e tempo de resposta desses algoritmos. Os mecanismos analisados neste artigo assumem que o nível de mobilidade dos nodos é reduzido face ao tempo que demora a execução de um processo de difusão, ou seja, entre o início e o fim de uma difusão a conectividade e a topologia

não se alteram. O nosso estudo anterior [5] mostrou que existem vantagens na utilização de mecanismos de cancelamento de difusão, face aos mecanismos que implementam pesquisas sucessivas (*ERS - Expanding Ring Search*), pelo que os mecanismos em que a limitação do alcance é conseguida à custa de otimizações do parâmetro TTL (*Time-To-Live*) não são abordados neste artigo.

**Pesquisa de recursos.** Numa rede de  $N$  nodos, o problema principal da pesquisa consiste em localizar um recurso detido por um ou mais nodos. Para que a pesquisa tenha sucesso é necessário que exista no mínimo um recurso num dos nodos, mas o problema pode ser generalizado e a existência de múltiplos recursos corresponde ao facto de existirem várias cópias do mesmo recurso em nodos distintos. O processo de pesquisa considera-se concluído assim que o nodo que iniciou a pesquisa recebe a primeira resposta positiva, ou seja, faz a descoberta de um dos nodos que detém o recurso. Considerando uma rede *multi-hop* em que a pesquisa é iniciada pelo nodo  $n_0$ , sendo  $n_H$  um nodo que detém a cópia do recurso mais próxima de  $n_0$ , localizado a  $H$  saltos (*hops*) de  $n_0$ . Como a topologia da rede é desconhecida, a operação de pesquisa é iniciada por  $n_0$  com a difusão de uma mensagem de pesquisa  $m_p$  que será propagada por todos os nodos. Ao receber  $m_p$ , o nodo  $n_H$  envia ponto-a-ponto uma mensagem de resposta  $m_r$  a  $n_0$ . Assume-se ainda que qualquer nodo pode em qualquer instante iniciar o cancelamento da propagação de  $m_p$  difundindo uma mensagem de cancelamento  $m_c$ . No processo de retransmissão de qualquer tipo de mensagens não se admite duplicações (os nodos tem memória).

**Cancelamento no mesmo Hop da descoberta.** Uma das técnicas desenvolvidas para melhorar a eficiência energética dos algoritmos de pesquisa é proposta pelo *Blocking Expanding Ring Search (BERS)* [6], representado na Fig. 1a. O BERS é um algoritmo de difusão, em que a mensagem  $m_p$  tem a sua retransmissão atrasada por cada nodo de um tempo igual ao dobro do número de saltos já realizados, ou seja:  $delay = 2 \times H$ . Assim que  $m_p$  encontra um recurso no nodo  $n_H$ , este envia uma mensagem de resposta  $m_r$  ao nodo iniciador da pesquisa  $n_0$ . A resposta  $m_r$  é propagada sem atrasos adicionais. Logo que  $m_r$  é recebida por  $n_0$ , este nodo inicia a difusão da mensagem de cancelamento  $m_c$ . A mensagem  $m_c$  é retransmitida sem atraso adicional por todos os nodos que estiveram envolvidos na difusão da mensagem  $m_p$ , limitando desta forma a difusão de  $m_c$  aos nodos que já realizaram a retransmissão de  $m_p$  e assegurando desta forma o fim do processo de descoberta de recursos. Como não há atrasos adicionais para a retransmissão das mensagens  $m_r$  e  $m_c$  e estamos a considerar redes *multi-hop*, as mensagens  $m_r$  e  $m_c$  têm tempos de propagação iguais, ou seja:  $t_r = t_c = H$ . O BERS ao impor um atraso de  $2 \times H$ , garante uma janela de tempo suficiente para permitir o cancelamento no mesmo Hop em que se deu a descoberta, pois  $delay = t_r + t_c$ .

**Cancelamento no Hop seguinte à descoberta.** Uma forma de melhorar a latência do BERS consiste em diminuir os atrasos introduzidos durante a propagação de  $m_p$ , sendo esta a estratégia adotada pelo *enhanced BERS (BERS\*)* [9]. O BERS\* tem um algoritmo muito semelhante ao BERS, apenas diferindo no tempo de atraso adicionado em cada salto da pesquisa, que passa a ser metade

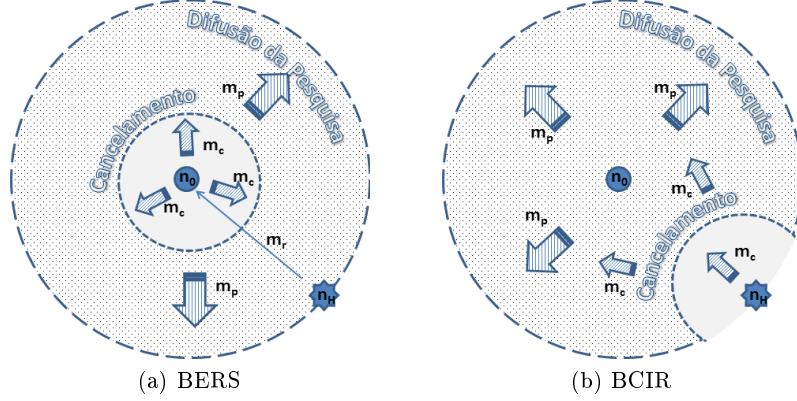


Figura 1: Limitar a difusão por cancelamento

do valor do BERS. As mensagens  $m_p$  passam a ter um atraso em cada nó de um tempo igual ao número de saltos já realizados,  $atraso = H$  de modo que a difusão da mensagem  $m_p$  seja mais rápida que no BERS. Esta diminuição no atraso introduzido tem consequências na eficiência energética, dado que o acelerar da retransmissão de  $m_p$  faz com que já não seja possível entregar  $m_c$  a tempo de cancelar no mesmo *hop*. A difusão da mensagem  $m_p$  vai continuar por mais um salto, i.e.  $H + 1$ , dado que a mensagem  $m_c$  será entregue apenas no salto  $H + 1$ . No BERS\* a difusão continua por mais um salto para além do salto onde ocorreu a descoberta, ou seja todos os nodos que se encontram à distância de  $H + 1$  vão retransmitir as mensagens  $m_p$  e  $m_c$ .

Ao comparar o desempenho de vários de mecanismos de difusão, onde o avanço da difusão é controlado pela introdução deliberada de atrasos na retransmissão das mensagens de pesquisa, verifica-se que o BERS apresenta maior eficiência energética que o BERS\*, enquanto que o BERS\* apresenta uma latência menor que o BERS. Esta dicotomia entre custo de transmissões e latência tem sido observada [8] e passou a ser considerada uma das principais características dos algoritmos do tipo ERS (Expanding Ring Search).

Uma característica partilhada pelo BERS e BERS\* é a utilização de uma mensagem de resposta  $m_r$ , que tem dois inconvenientes. Caso a mensagem  $m_r$  não seja entregue em  $n_0$  (ex: falha de conectividade) o mecanismo de cancelamento nunca será ativado e a difusão vai continuar e terá um impacto significativo na rede. Mais problemas podem surgir pelo facto de ser necessário esperar que  $m_r$  chegue à origem para se iniciar o cancelamento, pois ao atrasar o cancelamento a dinâmica da rede pode introduzir alterações significativas na conectividade e na topologia da rede inviabilizando o cancelamento. Em MANETs será preferível iniciar o cancelamento o mais brevemente possível.

### 3 Cancelamento nos Recursos (BCIR)

Em contraste com os mecanismos BERS e BERS\*, a nossa proposta inicia o cancelamento de imediato no local onde está o recurso. O *BCIR* (*Broadcast Cancel-*

*lation Initiated on Resource*) passa a ter impacto quase imediato na vizinhança de  $n_H$ . Na Fig. 1b podemos ver que a difusão da mensagem  $m_c$  tem início na periferia do anel de pesquisa, avançando sem adicionar atrasos. Nada impede que múltiplos recursos possam ser descobertos no mesmo número de saltos ( $H$ ), dando origem a múltiplas mensagens de cancelamento, que no seu conjunto podem baixar o tempo que demora a cancelar toda a difusão, contribuindo para uma maior operacionalidade da rede. O BCIR apresenta duas variantes: o BCIR em que o atraso deliberado na pesquisa é  $2 \times H$  e o BCIR\* com um atraso de  $H$ . Os diferentes atrasos da mensagem  $m_p$  entre estas duas variantes, permite aferir o comportamento do BCIR para diferentes tempos de reposta e as consequências para a eficiência energética. Para comparar os novos mecanismos de cancelamento (BCIR e BCIR\*) com o BERS e BERS\*, procedeu-se a uma modelação matemática usando duas métricas distintas: latência (T) e taxas de retransmissão (R). Com esta modelação queremos verificar como é que o cancelamento a partir da origem se relaciona com o cancelamento a partir do recurso. Nesta modelação é assumido que existe pelo menos um recurso em um dos nodos que não seja o  $n_0$ .

**Latência (T).** A latência  $T_H$  pode ser definida como o tempo que decorre entre o início da difusão da mensagem  $m_p$  de pesquisa pelo nodo  $n_0$  e o instante de tempo em que o nodo  $n_0$  recebe a mensagem de resposta a esse pedido  $m_r$ . Em redes *multi-hop* a latência será uma função de  $H$ , considerando que o tempo da propagação do sinal rádio é desprezável face ao atraso introduzido intencionalmente pelos nodos. Em ambos os mecanismos BERS e BCIR, um nodo  $n_H$  vai esperar um intervalo de tempo dado por  $2 \times H$ , pelo que, para uma rede *multi-hop* o tempo avança de acordo com a seguinte expressão recursiva:

$$t(H) = \begin{cases} 1, & H = 1 \\ t_{(H-1)} + 2 \times (H - 1) + 1, & \text{para } H \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

A expressão anterior resulta na seguinte sequência de tempos:

$H$	1	2	3	4	5	...
$t(H)$	1	4	9	16	25	...

Tabela 1: Tempo de propagação das mensagens  $m_p$  no BERS e BCIR

Aplicando interpolação polinomial à sequência anterior, obtemos a expressão para o instante de tempo em que  $m_p$  chega a um qualquer nodo pertencente ao *hop*  $H$ :

$$t(H) = H^2 \quad (3)$$

Então a expressão para a latência (T) dos mecanismos BERS e BCIR, será semelhante, mas adicionando o tempo de volta da mensagem  $m_r$  de  $n_H$  para  $n_0$ :

$$T_{BERS} = t_p + t_r = H^2 + H = T_{BCIR} \quad (4)$$

Analogamente, é possível determinar a latência para os mecanismos BERS\* e BCIR\*, mas sabendo que um nodo  $n_H$  vai esperar um intervalo de tempo dado por  $H$ . Para uma rede *multi-hop* o tempo avança de acordo com a seguinte expressão recursiva:

$$t(H) = \begin{cases} 1, & H = 1 \\ t_{(H-1)} + (H - 1) + 1, & H \geq 2 \end{cases} \quad (5)$$

A expressão anterior resulta na seguinte sequência de tempos:

multi-hop	$H$	1	2	3	4	5	...	$H$
	t	1	3	6	10	15	...	$t_H$

Tabela 2: Tempo de propagação das mensagens  $m_p$  no BERS\* e BCIR\*

Aplicando interpolação polinomial para a sequência anterior obtemos a expressão para o instante de tempo em que  $m_p$  chega a um qualquer nodo pertencente ao *hop*  $H$ :

$$t(H) = \frac{H^2 + H}{2} \quad (7)$$

A expressão para a latência nos mecanismos BERS\* e BCIR\*, resulta da adição a  $t(H)$  do tempo de volta da mensagem com a informação encontrada até ao iniciador  $n_0$ , ou seja  $H$ :

$$T_{BERS^*} = t_p + t_r = \frac{H^2 + H}{2} + H = \frac{H^2 + 3H}{2} = T_{BCIR^*} \quad (8)$$

A Fig. 2a compara a evolução da latência nos mecanismos de cancelamento, em função da distância do recurso a  $n_0$ . O gráfico da latência inicia-se para  $H = 1$ , dado que  $H = 0$  seria o caso do  $n_0$  ser detentor do recurso, não fazendo sentido iniciar a pesquisa. À medida que  $H$  aumenta, a densidade de recursos diminui, logo será necessário contactar mais nodos até encontrar o recurso, i.e. o recurso está mais longe de  $n_0$ . Os ganhos de latência dos mecanismos BERS\* e BCIR\* dilatam-se com a distância a que o recurso é encontrado e portanto serão mais vantajosos em cenários onde os recursos têm poucas réplicas e em redes de maiores dimensões.

**Taxas de retransmissão (R).** As taxas de retransmissão (R) correspondem à razão entre o número de transmissões necessárias até que todo o processo de pesquisa termine e o número total nodos existentes na rede. O processo de pesquisa pode originar retransmissões que ocorrem depois da descoberta do recurso, que têm de ser contabilizadas no cálculo de (R). Assumindo que a energia gasta em cada nodo é uniformemente distribuída em todos os nodos (N) da rede e que cada transmissão consome sempre a mesma quantidade de energia, então a energia consumida será proporcional às taxas de transmissão.

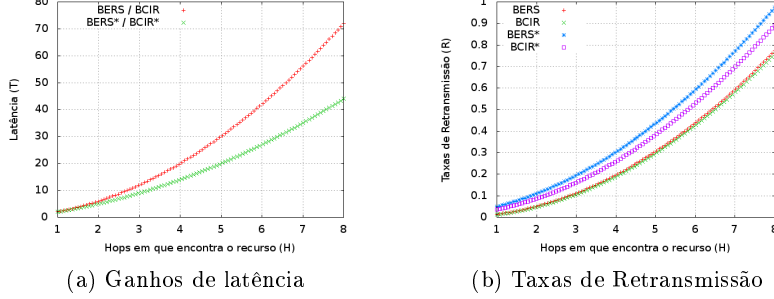


Figura 2: Observações resultantes da modelação

Usando o conceito de densidade ( $\sigma$ ) de nodos, que representa o número de nodos por unidade de superfície, podemos assumir que para uma densidade de nodos constante e para uma propagação omnidirecional, o número de nodos envolvidos na disseminação até ao *hop*  $H$  é dado por:

$$N_H = \sigma \times \pi \times H^2 \quad (9)$$

Se o número de retransmissões é proporcional a  $H^2$ , então a expressão para as taxas de retransmissão associada à difusão das mensagens pelos nodos contidos num anel de raio  $H$  é:

$$R_H = \frac{N_H}{N} = \frac{\sigma\pi H^2}{N} \quad (10)$$

As taxas de retransmissão para os algoritmos BERS, BERS\* e BCIR é assim dada pelas expressões seguintes, em que  $r_p$  são taxas de retransmissão na difusão da pesquisa,  $r_r$  são taxas de retransmissão da mensagem de resposta ponto-a-ponto e  $r_c$  são taxas de retransmissão da difusão do cancelamento.

$$R_{BERS} = r_p + r_r + r_c = \frac{\sigma\pi H^2}{N} + \frac{H}{N} + \frac{\sigma\pi H^2}{N} = \frac{2\sigma\pi}{N} H^2 + \frac{1}{N} H \quad (11)$$

$$R_{BERS^*} = r_p + r_r + r_c = \frac{\sigma\pi(H+1)^2}{N} + \frac{H}{N} + \frac{\sigma\pi(H+1)^2}{N} = \frac{2\sigma\pi}{N} (H+1)^2 + \frac{1}{N} H \quad (12)$$

$$R_{BCIR} = r_p + r_c = \frac{\sigma\pi H^2}{N} + \frac{\sigma\pi H^2}{N} = \frac{2\sigma\pi}{N} H^2 \quad (13)$$

No caso do BCIR\* é necessário determinar quantos são os nodos que estão dentro do anel  $H+1$  que não vão retransmitir a mensagens  $m_p$  e  $m_c$  pois já receberam pelo menos uma mensagem de cancelamento.

A Fig. 3 apresenta o efeito que o cancelamento do BCIR\* exerce sobre os nodos vizinhos de  $n_H$ . Este efeito de cancelamento antecipado não pode ser desprezado, dado que uma parte dos nodos que pertencem ao anel  $H+1$  já não vão transmitir a mensagem  $m_p$ , pois as retransmissões foram automaticamente canceladas. Todos os nodos que receberam a mensagem  $m_c$  antes do momento de proceder à retransmissão de  $m_p$  já não vão retransmitir as mensagens  $m_p$  e  $m_c$ . A

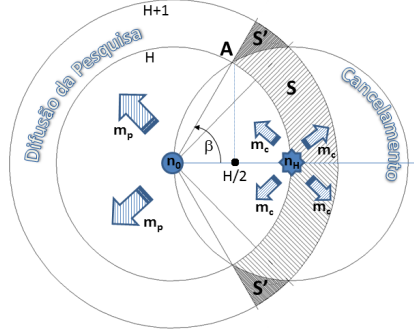


Figura 3: Cancelamento usando BCIR\*

Fig. 3 assinala a presença destes nodos na região  $S$ . A região  $S$  corresponde a um ganho nas taxas de retransmissão, pelo que será necessário estimar quantos nodos é que estão associados a esta área. Para simplificar a representação analítica vamos considerar o cálculo da área  $S_T = 2S' + S$ . A área  $S_T$  assinalada da Fig. 3 pode ser expressa em coordenadas cilíndricas de acordo com a expressão:

$$S_T = \int_H^{H+1} \int_{-\pi/3}^{\pi/3} r dr d\phi = \frac{\pi}{3}(2H + 1) \quad (14)$$

Sabendo que o ponto A tem coordenadas  $(\frac{H}{2}, \frac{\sqrt{3}H}{2})$  e que o ângulo  $\beta = \frac{\pi}{3}$ , i.e. constante e independente do valor de  $H$ .

A equação 14 evidencia um resultado importante que é a dependência linear da área de cancelamento ( $S_T$ ) em função do número de saltos ( $H$ ).

O número de nodos correspondentes à área de cancelamento também pode ser obtido pela expressão:

$$N_{S_T} = \frac{1}{3}(N_{H+1} - N_H) = \frac{\sigma\pi}{3}[(H+1)^2 - H^2] = \frac{\sigma\pi}{3}(2H+1) \simeq N_S \quad (15)$$

que está de acordo com a equação 14

Para o mecanismo de cancelamento BCIR\*, as taxas de retransmissão são obtidas usando a equação 13, mas agora considerando  $H+1$  hops e sabendo que os  $N_S$  não vão retransmitir as mensagens  $m_p$  e  $m_c$ , então é necessário retirar estas  $2N_S$  retransmissões, ou seja:

$$R_{BCIR^*} \simeq R_{BCIR_{H+1}} - 2\left(\frac{N_S}{N}\right) \quad (16)$$

Usando a equação 16 e a equação 14, obtém-se:

$$R_{BCIR^*} \simeq \frac{2\sigma\pi}{3N}(3H^2 + 4H + 2) \quad (17)$$

Usando as expressões das Eq. 12 e 17 pode-se obter uma expressão para o ganho de eficiência energética  $\Delta_R$  entre o BCIR\* e o BERS\*, fazendo a diferença



entre as respectivas taxas de retransmissão, ou seja:

$$\Delta_R = R_{BERS^*} - R_{BCIR^*} \lesssim \frac{2\sigma\pi}{3N}(2H+1) + \frac{1}{N}H \quad (18)$$

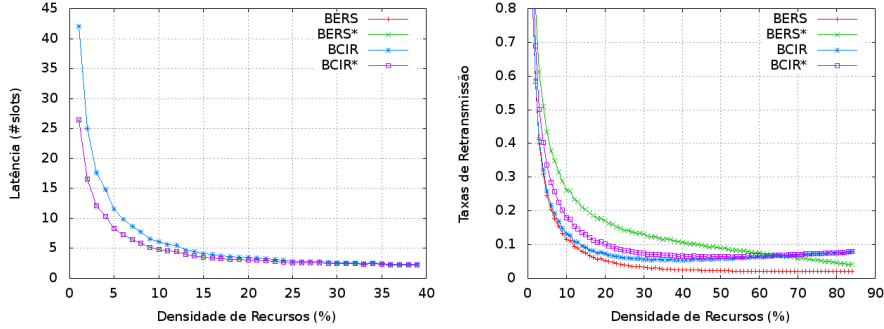
Fixando  $N$  e  $\sigma$ , podemos calcular as taxas de retransmissão usando as equações 11, 12, 13 e 17. A Fig. 2b compara as respectivas taxas de retransmissão para os mecanismos de cancelamento BERS, BERS\*, BCIR e BCIR\*. O gráfico da Fig. 2b encontra-se normalizado, em que uma taxa de retransmissões unitária, significa que a totalidade dos nodos da rede foram usados nas retransmissões.

Ao interpretar o gráfico da Fig. 2b é interessante observar que as taxas de retransmissão para o BCIR\* são inferiores ao BERS\*, mostrando que o BCIR\* vai poupar energia face ao BERS\*, mas mantendo os mesmos tempos de resposta (Fig. 2a) do BERS\*

## 4 Avaliação

O método usado para a avaliação dos algoritmos considerou as métricas definidas na Sec. 3 (Latência e Taxas de Retransmissão), sendo baseado em técnicas de simulação. O objetivo das simulações é perceber de que forma os resultados neste ambiente, que considera distribuições não uniformes dos dispositivos, se diferenciam dos resultados teóricos apresentados na secção anterior. Todos os cenários de simulação usam redes com a mesma dimensão, mantendo fixo o número total de nodos. Considerando cenários concretos de topologias de redes e variando o número de recursos existentes, eliminaram-se as principais assunções realizadas na Sec. 3, deixando de existir uma distribuição linear de nodos e permitindo múltiplos recursos com uma distribuição aleatória pela rede. Através de processos de contagem e avaliados os mecanismos de cancelamento iniciado pelo recurso (BCIR e BCIR\*) e comparados com o cancelamento a partir da origem (BERS e BERS\*).

**Ambiente de Simulação.** Foi desenvolvido um ambiente de simulação de alto-nível, que simplifica o modelo de comunicação das redes MANETs. O simulador cria um novo grafo da rede a cada operação de pesquisa, de modo a incluir uma dinâmica associada à mobilidade dos nodos. Assumindo que a duração de cada difusão é suficientemente pequena, é admissível que a topologia da rede se mantenha a mesma durante uma dada pesquisa. Das várias propostas para fazer a modelação das redes MANETs, optou-se por usar grafos da classe *random geometric* [10], por se distinguirem consideravelmente de topologias com distribuição uniforme dos nodos. As topologias *random geometric* assemelham-se à disposição expetável em alguns dos cenários de aplicação do BCIR, nomeadamente em redes de sensores em minas [14,12]. O alcance de uma transmissão rádio é modelado através da conectividade de um grafo  $G$ , de modo a obter uma distribuição espacial dos nodos, em que cada nodo tem o seu alcance limitado. Cada grafo  $G = (V, E)$  é definido por um conjunto de vértices  $V$  (que representam os nodos da rede), e por um conjunto de ligações entre os vértices  $E$  (que representam o alcance rádio de cada nodo).



(a) Tempo de resposta dos algoritmos (b) Impacto no consumo de energia  
 Figura 4: Resultados obtidos por simulação

**Resultados.** Os resultados apresentados nas Fig. 4a e 4b, apresentam valores médios obtidos após 2000 execuções, para simulações em que a percentagem de recursos existentes na rede é variável. Para melhorar a leitura do gráfico da Fig. 4a não são apresentadas densidades de recursos superiores a 40%, pois a probabilidade de encontrar o recurso logo na vizinhança do iniciador é elevada, ficando todas as curvas sobrepostas. A generalidade das previsões do modelo analítico são confirmadas pela simulação. Tal como esperado, BERS\* e BCIR\* apresentam latências significativamente mais baixas que o BERS e o BCIR, por introduzirem atrasos menores durante a fase de pesquisa. A análise dos gráficos das Fig. 4a e 4b, permite-nos concluir que o BCIR\* apresenta a mesma latência que o BERS\*, mas com uma penalização inferior no consumo de energia dado que realiza o mesmo tipo de tarefa com menor número de retransmissões. Este é o principal resultado obtido, já que na Fig. 4b a curva do BCIR\* está mais próxima das curvas do BERS e do BCIR, afastando-se da curva do BERS\*, ou seja, apenas com um custo marginal de retransmissões podemos manter um tempo de resposta igual ao do BERS\*.

A Eq. 18 mostra que a poupança de energia  $\Delta_R$  aumenta linearmente com  $H$  ao substituir-se o BERS\* pelo BCIR\*. Ou seja, para um dado  $\sigma$ , quantos mais saltos forem necessários para procurar um recurso, mais se justifica a introdução do novo mecanismo BCIR\*.

A interceção das taxas de transmissão para percentagens de recursos de 60% foi um resultado que não estava previsto pelo modelo analítico. Este desvio é atribuído ao aumento da densidade de recursos, a que corresponde um aumento da probabilidade de encontrar múltiplos recursos no mesmo salto ( $H$ ), o que por sua vez vai originar múltiplas ondas de cancelamento concorrentes. A difusão de múltiplas ondas de cancelamento pode originar, em função da topologia da rede, uma fronteira de interceção, onde BCIR pode introduzir uma duplicação de transmissões da mensagem de cancelamento, dado que os nodos não tem informação sobre o estado dos seus vizinhos. Para se compreender melhor este efeito podemos admitir um cenário em que  $n_0$  tem  $k$  nodos na sua vizinhança e que todos são detentores de uma cópia do recurso, mas que não se escutam

entre si. No caso do BERS vamos ter uma transmissão associada ao envio de  $m_p$  e  $k$  transmissões ponto-a-ponto de volta para  $n_0$ , que vai apenas dar origem a mais uma transmissão na difusão de  $m_c$ . No caso do BCIR, seriam iniciadas  $k$  difusões simultâneas em cada um dos nodos, originando um ligeiro aumento das taxas de transmissão relativamente a densidades de recursos inferiores e que resultarão num envio de mensagens acima do ideal.

O mecanismo BCIR\* mostrou-se bastante eficiente para redes com baixa densidade de recursos. Como se pode observar na Fig. 4b, a zona de maior ganho de energia corresponderá ao intervalo entre 10% a 40% de recursos na rede. Esta característica do BCIR\* confere-lhe potencialidade para se adaptar melhor a redes de grande dimensão, assumindo que nestes casos a densidade de recursos diminui. Confirmar estes resultados em redes com diferentes dimensões é relegado para trabalho futuro.

## 5 Conclusões

Neste trabalho fizemos a comparação entre os mecanismos de cancelamento de difusão BERS e BERS\*. Apresentamos duas variantes para um novo mecanismo de cancelamento de difusão, designadas por BCIR e BCIR\*. A análise dos mecanismos de cancelamento levou ao estabelecimento de uma modelação analítica, que permitiu encontrar as expressões para a latência e taxas de retransmissão. Estas métricas foram usadas em cenários de simulação, com modelos de distribuições não lineares e mais próximos da realidade, de forma a comparar o comportamento dos mecanismos de cancelamento de difusão.

A principal conclusão obtida é que algoritmo BCIR\* revelou-se mais eficiente que o BERS\*, no que respeita às taxas de retransmissões. A nossa proposta para o algoritmo BCIR, em que o cancelamento se inicia de imediato nos nodos onde se encontra o recurso, revelou-se mais adequada para redes MANETs, mostrando que é possível obter um tempo de resposta igual ao mecanismo mais rápido deste estudo, com um custo energético inferior.

A modelação matemática foi crucial para se compreender quais os limites deste tipo de problemas. As previsões recorrendo a este modelo permitem comparar as diferentes estratégias de cancelamento, servindo como base analítica para futuros desenvolvimentos. Contudo, a simulação apresentou comportamentos que ainda não estão evidenciados na modelação apresentada.

No futuro pretendemos avaliar o BCIR num simulador mais realista, por exemplo o ns2, de forma a contemplar modelos de propagação rádio e mobilidade dos nodos. Este simulador permitirá analisar o impacto de uma diminuição do atraso das mensagens de pesquisa, evoluindo para valores inferiores ao utilizado pelo BCIR\*, de modo a melhorar a latência e aferir as consequências no aumento da taxa de retransmissões.

## Referências

1. H. AlAamri, M. Abolhasan, T. Wysocki, and J. Lipman. On optimising route discovery for multi-interface and power-aware nodes in heterogeneous manets. *Wire-*

- less and Mobile Communications, *International Conference on*, 0:244–249, 2010.
2. A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M. Z. Ahmad, L. Bölöni, and D. Turgut. Routing protocols in ad hoc networks: A survey. *Computer Networks*, 55(13):3032–3080, Sept. 2011.
  3. Z. Cheng and W. B. Heinzelman. Flooding strategy for target discovery in wireless networks. *Wirel. Netw.*, 11:607–618, September 2005.
  4. A. Holzer, F. Vessaz, S. Pierre, and B. a. Garbinato. Plan-b: Proximity-based lightweight adaptive network broadcasting. In *Network Computing and Applications (NCA), 2011 10th IEEE International Symposium on*, pages 265 –270, aug. 2011.
  5. R. Lima, C. Baquero, and H. Miranda. Stopping ongoing broadcasts in large manets. In *Proceedings of the 1st European Workshop on Approaches to MObiq-uitous Resilience, ARMOR '12*, pages 4:1–4:5, New York, NY, USA, 2012. ACM.
  6. I. Park, J. Kim, and I. Pu. Blocking expanding ring search algorithm for efficient energy consumption in mobile ad hoc networks. In *WONS 2006 : Third Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*, pages 191–195, Les Ménuires (France), Jan. 2006. INRIA, INSA Lyon, IFIP, Alcatel. <http://citi.insa-lyon.fr/wons2006/index.html>.
  7. I. Park and I. Pu. Energy efficient expanding ring search. In *Modelling Simulation, 2007. AMS '07. First Asia International Conference on*, pages 198 –199, march 2007.
  8. I. Pu, J. Kim, and Y. Shen. Energy-time efficiency of two routing strategies with chase packets in expanding ring search. In *Telecommunications (ICT), 2010 IEEE 17th International Conference on*, pages 742 –747, april 2010.
  9. I. Pu and Y. Shen. Enhanced blocking expanding ring search in mobile ad hoc networks. In *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2009 3rd International Conference on*, pages 1 –5, dec. 2009.
  10. Y. Shang. Exponential random geometric graph process models for mobile wireless networks. In *Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, 2009. CyberC '09. International Conference on*, pages 56 –61, oct. 2009.
  11. S. Suman and Balkrishan. Enhanced aodv for wireless networks. In *Advance Computing Conference (IACC), 2010 IEEE 2nd International*, pages 246 –249, feb. 2010.
  12. Z. Sun, I. Akyildiz, and G. Hancke. Dynamic connectivity in wireless underground sensor networks. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, PP(99):1 –11, 2011.
  13. S. S. Tyagi and R. K. Chauhan. Performance analysis of proactive and reactive routing protocols for ad hoc networks, 2011.
  14. C. Wenqi and X. Zhao. Multi-hop routing for wireless network in underground mines. In *Wearable Computing Systems (APWCS), 2010 Asia-Pacific Conference on*, pages 337 –340, april 2010.
  15. M. B. Yassein, S. F. Nimer, and A. Y. Al-Dubai. A new dynamic counter-based broadcasting scheme for mobile ad hoc networks. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1):553 – 563, 2011. <ce:title>Modeling and Performance Analysis of Networking and Collaborative Systems</ce:title>.
  16. X. Zhang, T. Kunz, L. Li, and O. Yang. An energy-efficient broadcast protocol in manets: Design and evaluation. *Communication Networks and Services Research, Annual Conference on*, 0:199–206, 2010.