

Minimização de Potência para Redes *Ad-hoc* de uso Militar

Marcelo F. Vasconcelos e Ronaldo M. Salles

Resumo—As redes de computadores possuem além das aplicações conhecidas no mundo civil, diversas aplicações em ambientes militares de conflito e situações de defesa civil. Este trabalho investiga a minimização de potência para redes *ad-hoc* em um cenário de comando e controle (C2). É proposto um algoritmo para a minimização do consumo de energia dos nós de uma rede de C2, através da divisão da rede em *clusters*, minimizando o consumo total de energia.

Palavras-Chave—Redes Militares, Comando e Controle, Minimização de Potência, Redes *Ad-hoc*.

Abstract—Computer networks have beyond the known applications in the civilian world, many applications in military environments of conflict and civil defense situations. This work investigates the minimization of power for *ad-hoc* networks at a command and control (C2) environment. It is proposed an algorithm for minimizing the energy consumption of the nodes of a C2 network by dividing the network in clusters, while minimizing the total energy consumption.

Keywords—Military Networks, Command and Control, Minimizing Power, *Ad-hoc* Networks.

I. INTRODUÇÃO

As redes de computadores se tornaram uma ferramenta essencial para todas as pessoas. Além da utilização essencialmente pela população civil em situações de normalidade, as redes de computadores também desempenham um papel fundamental em situações de C2 para defesa civil e conflitos.

Esses casos de utilização das redes tem alguns fatores básicos em comum, como a demanda de tráfego variável, a distribuição em uma área geográfica definida e a necessidade de conexão em tempo real. A combinação entre a demanda de tráfego variável e a necessidade de conexão em tempo real, podem ser fundamentais para alcançar o objetivo desejado. Não atender a essas demandas no momento que elas ocorrem, pode significar uma situação de fracasso.

A busca por atender esses cenários levou a pesquisa de diversos temas, como: redes *ad-hoc* em [1]; minimização de consumo de energia [2], [3], [4] e [5]; *Mobile Crowd Sensing* (MCS); e redes em ambientes de C2 [7].

O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia para a minimização do consumo de energia em redes *ad-hoc* através da divisão em *clusters*. Considerando que os nós são elementos independentes, possuem uma fonte de energia limitada e, por conta disso, o consumo de energia é um item chave para o sucesso desse tipo de rede.

Para o desenvolvimento do algoritmo serão considerados a otimização do consumo de energia para as topologias de

interesse, as demandas de tráfego características de redes de C2 e o aumento da resiliência da rede.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção II faz uma revisão dos trabalhos relacionados. A seção III apresenta o algoritmo e a metodologia propostos. Os testes realizados são detalhados na seção IV. A seção V discute os resultados obtidos. O trabalho é concluído na seção VI onde são abordadas sugestões para trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Redes *wireless ad-hoc* são compostas por dispositivos transmissores de comunicação por rádio que formam uma rede sem qualquer infraestrutura especial [1]. Existem cenários importantes onde a infraestrutura para a construção de uma rede de dados com cabos metálicos ou fibra óptica não é viável, seja pela situação geográfica não favorável, o tempo necessário para implementação ou pelo alto investimento necessário. Nesses cenários podemos implementar uma rede *wireless ad-hoc*, que também apresenta um ganho adicional em permitir mobilidade aos nós da rede.

As redes *wireless ad-hoc* podem ser utilizadas em situações de desastres naturais, batalhas ou outros cenários com limitações de infraestrutura de comunicação de dados e infraestrutura elétrica [2]. Em tais situações, diversos dispositivos *wireless* podem formar uma rede temporária sem a necessidade de qualquer infraestrutura estabelecida e administração centralizada, e obrigando os nós a cooperar entre si a fim de viabilizar a comunicação entre nós distantes. Esta topologia é conhecida também como rede *wireless ad-hoc multi-hop* [8].

O consumo de energia dos nós é um fator crítico para as redes *wireless ad-hoc*. Os dispositivos desse tipo de rede geralmente são alimentados por bateria que possuem capacidade limitada. Em muitos cenários é difícil a substituição ou a recarga da bateria. Dessa forma, a redução do consumo de energia dos nós é geralmente a melhor maneira para estender o tempo de vida da rede. A desativação de um nó por falta de energia pode prejudicar o funcionamento de toda a rede.

Na subseção II-A são apresentados diversos resultados com o foco em minimização de potência em redes de conectividade simétrica, e na seção II-B, são apresentados trabalhos com foco em redes de C2.

A. MPSC - Min-Power Symmetric Connectivity

A energia consumida pela rede é o somatório das potências atribuídas a cada nó para manter a conectividade, esta deve ser minimizada e o problema é conhecido como *Min-Power Symmetric Connectivity*, conforme descrito em [3], [4] e [5].

Diversas soluções têm sido propostas na literatura para lidar com as questões citadas acima. Neste trabalho, serão apresentados mais precisamente as soluções envolvendo a questão da conservação de energia.

A potência de transmissão de um nó está relacionada ao consumo de energia. Quanto maior a potência de transmissão, maior será o alcance da rede e o consumo de energia do nó. O modelo considerado neste trabalho será o utilizado em [9], onde a atenuação da potência do sinal é proporcional a $1/r^k$ onde r é a distância até a antena do transmissor e k é uma constante real dependente do ambiente *wireless*, tipicamente entre 2 e 4.

Diferente das redes com cabo metálico ou fibra óptica, onde uma transmissão de um nó i geralmente pode alcançar somente o nó m . Em redes *wireless* com antenas omnidirecionais é possível chegar a vários nós com uma única transmissão. A facilidade de comunicação *Multicast* e *Broadcast* é uma das vantagens da rede *wireless*. A figura 1 mostra os nós j e k recebendo o sinal originado pelo nó i e direcionado ao nó m porque j e k estão mais próximos de i do que m , ou seja, eles estão dentro do alcance da transmissão do nó i para o nó m .

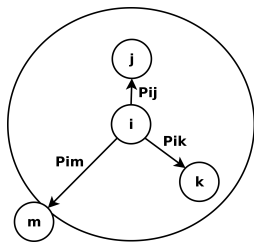


Fig. 1. Modelo de Comunicação

Considerando que cada nó possui a mesma eficiência de transmissão e o mesmo limite de sensibilidade de detecção, a potência necessária para estabelecer uma ligação do nó i para o nó j , separados por uma distância d_{ij} , conforme [5], é então dada por $P_{ij} = (d_{ij})^k$.

Analisando a figura 1, se o alcance de transmissão do nó k for suficientemente grande para alcançar o nó i , então haverá uma comunicação bidirecional entre os nós i e k , neste trabalho será considerado apenas enlaces bidirecionais. O custo $p(i, k)$ representa os requisitos de potência para ambos os nós i e k estabelecerem um enlace bidirecional entre i e k . Com este pressuposto, os requisitos de potência para estabelecer um enlace bidirecional entre dois nós u e v separados por uma distância r tornam-se $p(u, v) = p(v, u) = r^k$.

A rede *wireless ad-hoc* pode ser representada por um grafo $G(V, E, c)$, onde V é o conjunto dos nós da rede; E é o conjunto de enlaces; e c é o requisito de potência para o enlace bidirecional entre dois nós (custo).

A solução do problema MPSC de acordo com [5] é: Dado um conjunto de nós V e requisitos de potência simétricos $p(u, v) = p(v, u)$, u e $v \in V$; encontrar uma atribuição de alcance de transmissão $r : V \rightarrow R^+$ minimizando $\sum_{v \in V} r(v)$ sujeito as restrições que o grafo $(V, B(r))$ seja conexo.

A complexidade deste problema é NP-difícil, conforme apresentado em [10].

Em [11] são apresentadas duas outras formulações de Programação Linear Inteira Mista para o problema do MPSC. São consideradas diversas restrições para garantir os resultados exatos de acordo com as características de redes consideradas.

Uma metodologia para tentar minimizar o consumo de energia da rede é através da *minimum spanning tree*. Este tipo de algoritmo não garante a obtenção do MPSC, mas tem a vantagem de ser um método bastante rápido e servir de passo intermediário de heurísticas, como em [5].

Em [5], é apresentado um algoritmo eficiente que reduz o consumo de energia comparado com outros métodos, como o *Edge Switching*, e tendo como referência o algoritmo MST. O algoritmo começa calculando o MST do grafo conexo e é baseado na noção da decomposição *k-restricted* de uma árvore T. Existe então a definição de conjunto *Fork* (F), que são pares de enlaces que compartilham um nó comum. A diminuição do custo da potência da Árvore Geradora é obtido com a adição de enlaces " k " $\in F$ e a retirada de enlaces do MST.

O método proposto em [5] é comparado entre outros métodos, com um método de *Edge Switching*, onde o algoritmo procura um enlace, geralmente com o custo máximo ou que permita um ganho máximo; retira o enlace e reconecta o grafo com o aumento mínimo de custo de potência; repete o procedimento. Os resultados obtidos pelo método proposto, apresentam ganhos de no máximo 5,84% em relação a MST e no máximo 17,78% em relação ao ganho proporcional obtido com o ES. Os resultados ficaram limitados a topologias com 40 nós devido ao tempo de execução do método.

B. Utilização de redes em ambientes de comando e controle

O termo Comando e Controle (C2) é um termo militar utilizado para gerenciar pessoas e recursos [17]. O cenário de C2 possui algumas características específicas, que não fazem parte das preocupações levadas em conta em um projeto de redes. Uma rede de C2 possui como principal característica o fato de levar os dados coletados ao longo da rede para um ponto central a fim de serem processados virando informações para o auxílio na tomada de decisão.

Em [7] são apresentados diversos conceitos de interesse a respeito do uso de redes em ambientes de C2.

Outra característica importante é a imprevisibilidade do campo de batalha, onde equipamentos podem desaparecer e a rede deve se adaptar para manter o seu funcionamento. Este tópico específico é conhecido como resiliência e por si só já é um grande tópico de pesquisa em redes de computadores, conforme [18], [19], [20] e [21].

Em [2] é apresentada uma proposta de uma rede sem fio *multihop* composta dos próprios equipamentos dos usuários que se conectam a rede e ao mesmo tempo aumentam a cobertura, foram apresentados bons resultados para *streaming* de vídeo e voz para até sete saltos na topologia.

A proposta do uso de rádios cognitivos em veículos em situações de recuperação de desastres é apresentada em [22]. O uso do rádio cognitivo se justifica pela indisponibilidade de infraestrutura e a necessidade pelo consumo de banda.

III. MÉTODO PROPOSTO

Topologias de C2 precisam garantir o seu funcionamento pelo maior tempo possível, em ambientes hostis, sem a opção renovar os estoques de energia. Nesse contexto, qualquer diminuição no consumo de energia da rede pode trazer o benefício de manter a rede funcionando por mais tempo.

Levando em consideração a característica de centralização de redes de C2, todos os cálculos para a minimização de potência foram implementados para serem executados de forma centralizada. Todos os resultados apresentados neste artigo foram obtidos utilizando um computador com processador Intel Core i7 de 4GHz.

Para encontrar a solução exata para o problema, mesmo com a limitação do custo computacional, foi utilizada uma metodologia que calcula todas as possibilidades e apresenta a solução ótima.

Considerando que para qualquer número n de nós, o pior caso que seria uma topologia completamente conectada ou *full mesh*, as n^{n-2} combinações estariam presentes. Foi criado um pré processamento que para uma determinada quantidade de nós, já são calculadas todas as topologias possíveis. Este pré processamento gera arquivos com todas as combinações de topologias que foram armazenadas em arquivos texto, representando as topologias como matrizes de adjacências.

Uma previsão dos valores obtidos para $n = 10$ através dos resultados obtidos no pré processamento de topologias menores, apontam para tempo de processamento de 3,8 dias para o cálculo, devido a essa previsão, o cálculo do pré processamento para uma topologia com $n > 9$ foi descartado.

Após a criação dos arquivos com as topologias possíveis até $n = 9$, o cálculo da menor potência é feito através da comparação da matriz de capacidade com as possíveis matrizes de adjacências armazenadas e a verificação de conectividade da rede. O resultado obtido é a topologia de menor consumo de energia. Dentro dos testes realizados no pior caso o cálculo é feito em aproximadamente 4 minutos.

Foram feitos testes para comparar os resultados dos métodos força bruta e MST apresentados na tabela I, para topologias entre 4 e 9 nós. Para cada quantidade de nós foram geradas 100 topologias aleatórias e foi contabilizado a quantidade de topologias que apresentaram o mesmo resultado entre o MST e o método exato na coluna 2. A porcentagem média de melhora utilizando o método força bruta na coluna 3 e a melhora máxima individual comparando o método de força bruta com MST na coluna 4.

TABELA I
RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO FORÇA BRUTA

Nº de nós	Tot. Igual	Melhora Méd.	Melhora Máx.
4	93	5,53%	8,33%
5	77	4,93%	12,00%
6	66	5,82%	13,59%
7	50	5,41%	14,72%
8	44	5,95%	14,47%
9	48	5,49%	17,64%

Quanto maior o número de nós, maior o número de topologias onde o MST não apresenta o resultado de menor potência.

A melhora média, apresentada na coluna 3, indica resultados constantes e sempre próximos a 5%. Na coluna 4, a maior melhora individual foi obtida em uma topologia com 9 nós, alcançando 17.64%.

Os resultados indicam que o método de força bruta gera um ganho em relação a MST e o método proposto que utiliza a divisão de topologias maiores em topologias menores pode se beneficiar desse ganho.

O método proposto, chamado de Método de *Cluster* (MC), é apresentado no algoritmo 1 e consiste em utilizar o cálculo exato da topologia de menor consumo de energia, de forma distribuída, através de *clusters* de nós da rede e combinar esses *clusters* para obter uma topologia com menor consumo de energia.

Considerando topologias com 100 nós, é possível dividir em conjuntos menores através de *clusters* e obter a topologia de menor consumo para cada *cluster* considerado. Após esse cálculo, os *clusters* podem ser considerados como nós para efeito do cálculo das ligações restantes para se obter a rede conexa.

A divisão da topologia em *clusters* é feita utilizando o método proposto em [24], de forma a agrupar os nós que se encontram mais próximos fisicamente.

Algorithm 1 Divide Cluster(Entrada: $MPos, n$; Saída: $MCap_Min_Pot, Pot$)

```

1: for all  $i \in \{1, n\}$  do
2:  $C_i \leftarrow$  clusters
3: if Número nós em  $C_i < 9$  then
4: Calcule  $MCap_i$  para cada  $C_i$  com Força Bruta
5: else
6: Calcule  $MCap_i$  para cada  $C_i$  com MST
7: end if
8: end for
9: if Número clusters  $< 9$  then
10:  $MCap\_Min\_Pot \leftarrow$  ligação de todas  $MCap_i$  com Força Bruta
11: else
12:  $MCap\_Min\_Pot \leftarrow$  ligação de todas  $MCap_i$  com MST
13: end if
14: calcule Potência  $Pot$  para  $MCap\_Min\_Pot$ 
15: return ( $MCap\_Min\_Pot, Pot$ )

```

IV. TESTES REALIZADOS

Para verificação do método proposto foi utilizado um conjunto de 100 topologias aleatórias com grid de 100x100. Foram feitos dois testes: o primeiro para garantir que os resultados obtidos com MC não se alteram com o tamanho do grid e o segundo para verificar a eficiência do MC em relação a um dos métodos de comparação apresentados em [5].

Em [5], além do método principal proposto, um método de comparação foi o chamado *Edge Switching* (ES), apresentado na seção II. Este método foi implementado através do uso de matrizes esparsas, o que conferiu grande agilidade na execução do método, obtendo resultados de tempo muito próximos ao cálculo da MST, conforme o referido trabalho.

O primeiro teste para verificar a influência do tamanho do grid, foi realizado através da adição de linhas e colunas alternadas, de tal forma que a topologia resultante mantém a proporção entre as distâncias de todos os nós. Como a comparação é entre porcentagens, mesmo com o aumento do espaçamento do grid, os resultados são proporcionais e vão permanecer iguais. Na relação de porcentagem, os dois métodos estarão multiplicados por uma constante, apresentando a mesma proporção de melhoria.

O segundo teste em relação a melhoria apresentada pelo MC, foi realizada através do cálculo da topologia de menor potência, considerando três opções: MST, ES e MC.

Para o MC, em cada topologia considerada foram calculadas as topologias de menor consumo de energia, utilizando a quantidade de *clusters* variando de 2 a 50.

V. RESULTADOS OBTIDOS

O método de comparação utilizado para todos os testes é comparar a potência total obtida com o método (ES ou MC) em relação a MST, dessa forma, os resultados obtidos apresentam uma porcentagem de melhora em relação a MST.

O primeiro teste para verificação do tamanho do *cluster*, confirma o fato da implementação dos métodos ES e MC não serem afetados pelo tamanho do grid. Foram utilizadas 10 topologias do conjunto testado. Para cada uma dessas 10 topologias, o tamanho do grid foi aumentado para 200x200. Com esse aumento, os valores absolutos aumentaram, mas a relação de melhora de ES em relação a MST e MC em relação a MST permaneceram os mesmos.

O segundo teste calculando a topologia de menor potência para ES e MC apresentou uma melhoria em relação a MST de 1,16% de média enquanto MC apresentou uma melhoria em relação a MST de 1,69% de média. Comparando os dois métodos ES e MC, o MC diminuiu a potência 46,15% a mais que o ES. Em [5] o método proposto comparando com ES diminuiu a potência em no máximo 17,78% e ainda está limitado a uma topologia de no máximo 40 nós. O tempo de execução máximo apresentado em [5] foi de 4725 segundos, enquanto MC apresentou em média 107 segundos por *cluster* e 5277 segundos para as 49 opções de *cluster* (2 a 50).

Comparando os resultados, em 70% dos casos o método MC apresentou uma diminuição de potência maior que ES. Em 28% ES apresentou um resultado melhor que MC. Em 2% dos casos, o resultado foi igual.

Na tabela II estão apresentados os 5 melhores e os 5 piores resultados proporcionais, de acordo com a coluna 4. Na coluna 1 estão os índices das topologias que apresentaram esses resultados. Na coluna 2 a proporção de melhora obtida pelo ES em relação a MST. Na coluna 3 a proporção de melhora obtida pelo MC em relação a MST.

Esses resultados apresentam como o método MC em comparação com o ES pode apresentar uma melhoria mais significativa na redução de potência. No melhor caso, o método MC foi 4 vezes melhor. No pior caso o método MC não apresenta nenhuma melhoria em relação a MST. Cabe ressaltar que em [5], o melhor resultado com o método proposto em relação a ES foi de 17,78%.

TABELA II
RESULTADOS EXTREMOS PROPORCIONAIS

Topologia	ES/MST	MC/MST	MC/ES.
87	0,74%	3,81%	412,90%
67	0,40%	1,62%	306,25%
59	0,73%	2,82%	284,48%
99	0,53%	2,02%	282,93%
3	0,90%	3,29%	267,14%
89	2,10%	0,67%	-68,26%
17	1,30%	0,36%	-72,00%
2	0,71%	0,13%	-81,82%
11	1,03%	0,08%	-92,22%
40	0,78%	0,00%	-100,00%

Na tabela III estão o melhor resultado apenas para o MC na linha 2 e o melhor resultado para ES na linha 3. É possível verificar que o MC apresentou melhoria de até 4,97% enquanto o ES apresentou melhoria de até 3,44%.

TABELA III
MELHORES RESULTADOS ES E MC

Topologia	ES/MST	MC/MST	MC/ES.
86	2,06%	4,97%	141,32%
94	3,44%	1,49%	-59,14%

A figura 2 apresenta a soma das porcentagens de melhora proporcionados pelo MC em relação ao MST. Ao passar de 9 para 10 *clusters*, temos um ganho significativo na melhora média entre MC e MST, esse comportamento se justifica pois a partir de 10 *clusters*, o algoritmo utilizado tem uma maior probabilidade de apresentar *clusters* com 9 ou menos nós, utilizando assim o cálculo exato para encontrar a menor potência. Com o aumento do número de *clusters*, a tendência é que a melhora relativa diminua e no limite quando tivermos 100 *clusters*, o resultado deve ser igual ao MST.

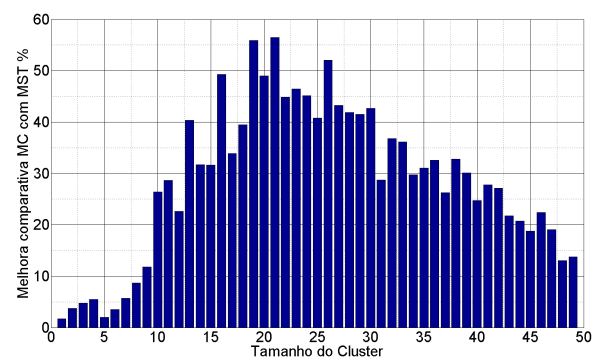


Fig. 2. Resultados Acumulados para 100 Topologias

Para identificar a melhor opção de divisão de *clusters*, foram consolidadas a quantidade de vezes em que um determinada quantidade de *clusters* apresentou o melhor resultado, conforme a figura 3. O somatório indica o valor de 110, pois em alguns casos a maior melhora foi obtida em mais de um *cluster* neste teste. Com esses resultados, a vantagem do uso do MC em relação a MST aparece apenas para mais de 10 *clusters*, onde o método de força bruta tem maior probabilidade de

atuar. Com o objetivo de testar várias opções de *clusters* para o uso em MC, podem ser selecionados entre 11 e 31 *clusters* e serão considerados 77% dos melhores resultados.

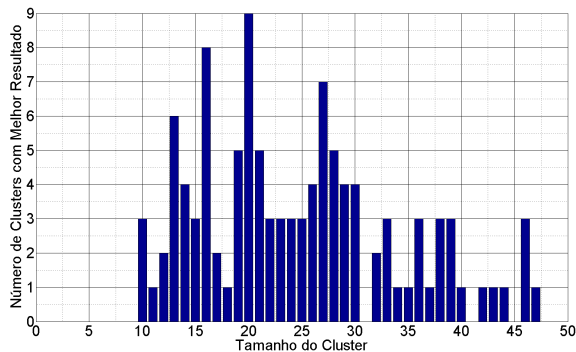


Fig. 3. Número de *Clusters* com Melhor Resultado

VI. CONCLUSÃO

O redução do consumo de energia em redes de C2 é um tema bastante atual e o método proposto é de implementação imediata, independente dos equipamentos utilizados e também de como eles são transportados, sejam em mochilas com baterias ou em viaturas fazendo uso da estrutura do veículo para garantir a energia.

Este trabalho apresentou um metodologia para dar suporte a decisão de ligações de uma rede *ad-hoc* voltada para atender a objetivos de C2, que leva em consideração a quantidade de nós da rede e como esses nós estão dispostos no terreno.

Foram utilizadas topologias aleatórias para representar redes reais de C2. O método proposto apresentou resultados importantes de diminuição do consumo de energia que podem ser utilizados para garantir o funcionamento mais eficiente para redes com as características apresentadas. O método proposto não tem um custo computacional elevado, apresentando um tempo de execução adequado para o cenário proposto e podendo ser expandido para redes com mais de 100 nós.

Para validar a proposta, foram feitas comparações com um método utilizado como referência e topologias aleatórias, o método proposto apresentou uma melhoria significativa em relação a redução do consumo de energia.

Os resultados estão em conformidade com outros trabalhos apresentados, indicando que a solução exata não é viável computacionalmente, porém métodos alternativos podem gerar ganho, principalmente em comparação ao MST.

Como trabalhos futuros, a consideração de um modelo de propagação mais realista, bem como um estudo de ocupação de canais, podem ser adicionados.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Militar de Engenharia.

REFERÊNCIAS

[1] Perkins, C. E. & Royer, E. M. *ad-hoc on-demand distance vector routing* Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA'99. Second IEEE Workshop on, 1999, 90-100

[2] Minh, Q. T.; Nguyen, K.; Borcea, C. & Yamada, S. On-the-fly establishment of multihop wireless access networks for disaster recovery Communications Magazine, IEEE, IEEE, 2014, 52, 60-66

[3] Blough, D. M.; Leoncini, M.; Resta, G. & Santi, P. On the symmetric range assignment problem in wireless ad hoc networks Foundations of Information Technology in the Era of Network and Mobile Computing, Springer, 2002, 71-82

[4] Călinescu, G.; Măndoiu, I. & Zelikovsky, A. Symmetric connectivity with minimum power consumption in radio networks Foundations of Information Technology in the Era of Network and Mobile Computing, Springer, 2002, 119-130

[5] Althaus, E.; Calinescu, G.; Mandoiu, I. I.; Prasad, S.; Tchervenski, N. & Zelikovsky, A. Power efficient range assignment for symmetric connectivity in static ad hoc wireless networks Wireless Networks, Springer-Verlag New York, Inc., 2006, 12, 287-299

[6] Ma, H.; Zhao, D. & Yuan, P. Opportunities in mobile crowd sensing Communications Magazine, IEEE, IEEE, 2014, 52, 29-35

[7] Holliday, P. SWARMM-a mobility modelling tool for tactical military networks Military Communications Conference, 2008. MILCOM 2008. IEEE, 2008, 1-7

[8] Broch, J.; Maltz, D. A.; Johnson, D. B.; Hu, Y.-C. & Jetcheva, J. A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, 1998, 85-97

[9] Rappaport, T. S. & others Wireless communications: principles and practice prentice hall PTR New Jersey, 1996, 2

[10] Clementi, A. E.; Penna, P. & Silvestri, R. On the power assignment problem in radio networks Mobile Networks and Applications, Springer-Verlag New York, Inc., 2004, 9, 125-140

[11] Montemanni, R. & Gambardella, L. M. Exact algorithms for the minimum power symmetric connectivity problem in wireless networks Computers & Operations Research, Elsevier, 2005, 32, 2891-2904

[12] Singh, S.; Woo, M. & Raghavendra, C. S. Power-aware routing in mobile ad hoc networks Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, 1998, 181-190

[13] Royer, E. M. & Toh, C.-K. A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks Personal Communications, IEEE, IEEE, 1999, 6, 46-55

[14] Feeney, L. M. & Nilsson, M. Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, 2001, 3, 1548-1557

[15] Wattenhofer, R.; Li, L.; Bahl, P. & Wang, Y.-M. Distributed topology control for power efficient operation in multihop wireless ad hoc networks INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, 2001, 3, 1388-1397

[16] Balaganesh, M. & Velan, A. Energy Efficient Routing in Wireless Ad Hoc Networks Energy, 2014, 3

[17] Alberts, D. S. & Hayes, R. E. Understanding command and control DTIC Document, 2006

[18] Sterbenz, J. P.; Hutchison, D.; Çetinkaya, E. K.; Jabbar, A.; Rohrer, J. P.; Schöller, M. & Smith, P. Resilience and survivability in communication networks: Strategies, principles, and survey of disciplines Computer Networks, Elsevier, 2010, 54, 1245-1265

[19] Salles, R. M. & Marino, D. A. Strategies and Metric for Resilience in Computer Networks The Computer Journal, 2011, 1-12

[20] Vasconcelos, M. F. & Salles, R. M. Resilience in computer network management NETWORKING 2012, Springer Berlin Heidelberg, 2012, 109-120

[21] Vasconcelos, M. F. & Salles, R. M. Emprego de resiliência na gerência de redes de computadores XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2012, 1, 100-114

[22] Sun, Y. & Chowdhury, K. R. Enabling emergency communication through a cognitive radio vehicular network Communications Magazine, IEEE, IEEE, 2014, 52, 68-75

[23] Ramrekha, T. A.; Talooki, V. N.; Rodriguez, J. & Politis, C. Energy efficient and scalable routing protocol for extreme emergency ad hoc communications Mobile Networks and Applications, Springer, 2012, 17, 312-324

[24] Lloyd, S. P. Least squares quantization in PCM Information Theory, IEEE Transactions on, IEEE, 1982, 28, 129-137