

A Influência de Sistemas de Comunicação no consumo de Energia de uma Micro Rede Ihada

Francisco Portelinha
Antônio Carlos Zambroni de Souza
Paulo Fernando Ribeiro
Diogo Marujo
Bruno de Nadai Nascimento
ISEE - Instituto de Sistemas Elétricos e de Energia
Universidade Federal de Itajubá
Itajubá, Brasil
portelinha@gmail.com

Denisson Queiroz Oliveira
IEE – Instituto de Energia Elétrica
Universidade Federal do Maranhão
São Luiz, Brasil.
dq.oliveira@ufma.br

Resumo— Dentro do contexto de Redes Elétricas Inteligentes, é motivo de estudo à influência das Redes de Telecomunicações e como a mesma irá interagir com o Sistema Elétrico. Espera-se que o sistema elétrico seja imune a falhas, possua controle e monitoramento constante e com fluxo bidirecional de informações. A capacidade de operação em modo ilhado de micro redes exige que a mesma sobreviva pelo máximo tempo possível até a restauração e reconexão com a rede principal. Estas micro redes ilhadas devem contar com um Sistema de Monitoramento de Energia (SME) confiável e robusto para monitoramento e controle de suas atividades. Neste sentido, as redes de telecomunicações desempenham um papel crucial. Entretanto, as Redes de Telecomunicações apresentam um consumo de energia considerável, que pode afetar o tempo de sobrevivência da mesma. Neste trabalho, será apresentado um sistema que, baseado nos requisitos acima uma rede de comunicação móvel será implementada para operação em tempo real e o impacto do consumo de redes de telecomunicações em microrrede ilhada será investigado. A metodologia será validada no sistema de 34 barras modificado do IEEE.

Palavras Chave - Redes Inteligentes, Redes de Comunicação, Consumo de Potência, Micro Redes ilhadas, Eficiência Energética.

I. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico atual conta com poucas ou nenhuma integração com modernas tecnologias da informação e comunicação [1]. Neste sentido, a comunicação se dá forma verticalizada e unidirecional, com a finalidade de gerenciar a geração e cortar, se necessário, parte da carga.

Neste contexto, foi apresentado o conceito das Redes Elétricas Inteligentes [2], que tem como características o fluxo bidirecional de energia e informações entre geração, transmissão, distribuição e o consumidor final.

O desenvolvimento das redes elétricas inteligentes pode ser alcançado por meio da integração de diferentes subsistemas chamados de micro redes, que podem operar conectados ao

sistema elétrico ou de maneira ilhada, ou seja, desconectados do sistema principal. No modo ilhado, uma microrrede irá operar de maneira independente da rede elétrica, sendo uma das principais características a alta penetração de fontes renováveis para [3-4].

Ao acontecer o ilhamento, o Sistema de Monitoramento de Energia (SME) deverá monitorar e controlar as fontes de energia renováveis e não renováveis, pois se tornam vitais para a sobrevivência da mesma [5-6]. Ademais, a microrrede irá depender de uma alta confiabilidade e robustez dos Sistemas de Telecomunicações, o qual tem um papel vital no funcionamento das mesmas [7-10]. Alguns requisitos dos sistemas de telecomunicações são a latência, largura de Banda e QoS (“Quality of Service”) e que variam de acordo com cada ação a ser executada [11].

Recentemente a influência do consumo de energia das redes de informação e de telecomunicações tem sido discutida [12]. Os custos operacionais de funcionamento destas redes de telecomunicações são altos. Pesquisas indicam que aproximadamente 4% da energia global produzida é consumida pelas Redes de telecomunicações e informação [13-16].

Esta informação é importante, pois se deve quantificar a eficiência energética de uma rede comunicações em um cenário de operação ilhada das microrredes, onde os recursos para produção de energia elétrica são escassos. Este artigo tem como objetivos quantificar o consumo total de energia dos Sistemas de Telecomunicação e a sua influência nas decisões do Sistema de Monitoramento de Energia para controle operacional da microrrede.

O artigo está estruturado da seguinte maneira: Na seção II é apresentada uma introdução sobre microrredes e o Sistema de Monitoramento de Energia implantado. Na Seção III discute-se o papel das Redes de Telecomunicações nas microrredes. Na seção IV apresenta-se a análise do consumo de redes celulares para comunicação na microrrede e, na

seção V, demonstra-se o cenário simulação e resultados obtidos. Finalmente, na seção VI, apresentam-se as devidas conclusões.

II. MICRORREDES

Na ocorrência de uma falha na rede elétrica, a microrrede irá operar no modo ilhado [17]. Este subsistema da rede de energia principal deve ter capacidade suficiente de geração distribuída e armazenamento de energia para suprir a demanda de suas cargas.

O conceito de resiliência se refere à capacidade de o sistema responder de forma rápida e eficiente durante eventos raros e de alto impacto que causam alterações no mesmo [18]. Apesar de existir uma alta capacidade instalada de recursos renováveis, não é possível afirmar que a microrrede irá suprir demanda de energia por meio da geração existente. Por isso, uma das funções dos SMEs propostos é maximizar o fornecimento de energia através de uma lista de ações de controle que incluem opções de gerenciamento de demanda e despacho de unidades de geração.

Em [20] é proposto uma nova metodologia para o gerenciamento e controle de microrredes ilhadas que visa maximizar o tempo funcionamento da rede. O sistema funciona de acordo com uma prioridade de cargas a serem alimentadas. Estas prioridades foram definidas através de um conjunto de regras estipuladas pelo operador.

De acordo com estas regras, o sistema irá automaticamente suprir cargas de maior prioridade pelo maior tempo possível, sempre buscando minimizar os custos de fornecimento de energia elétrica.

Ainda em [20], são definidos três modos de operação da microrrede: Emergência (E), Crítico (C) e de Sobrevivência (S). Cada um destes modos de operação possui uma lista de ações previamente definidas. Com o objetivo de maximizar o tempo de fornecimento de energia com o mínimo custo possível e atender as classes prioritárias, o SME determina o melhor modo de operação da micro rede, de acordo com as informações coletadas do sistema e organizadas em diferentes variáveis de controle usadas para a tomada de decisão. No entanto essa proposta não leva em consideração o impacto do consumo de energia em redes de telecomunicação.

Com o intuito de serem obtidos dados confiáveis, uma rede robusta de telecomunicações foi implementada. Variáveis como, dados de irradiação solar, vento, estado da rede, modo de operação, são necessárias para a tomada de decisão. Para isto, o tráfego em tempo real de dados com robustez e alta confiabilidade é necessário.

Nas próximas seções será analisado o impacto do consumo de energia de redes de telecomunicações celulares e o impacto das mesmas na gestão de energia das microrredes ilhadas.

III. O PAPEL DAS TELECOMUNICAÇÕES

As redes inteligentes devem oferecer sistemas de comunicação seguros, confiáveis e dinâmicos [21]. A quantidade de informações que irá trafegar na rede é alta e uma análise crítica de cada aplicação é necessária.

Segundo o NIST [22], se faz necessário que as Redes Elétricas Inteligentes possuam dispositivos e sistemas com interoperabilidade suficiente para interagir entre a rede elétrica do futuro e a rede elétrica existente. Em [22], um modelo conceitual foi desenvolvido para descrever como deve funcionar esta arquitetura do futuro. Este modelo é dividido em sete domínios, de forma a se identificar todos os agentes do sistema, como ilustrado na Figura 1.

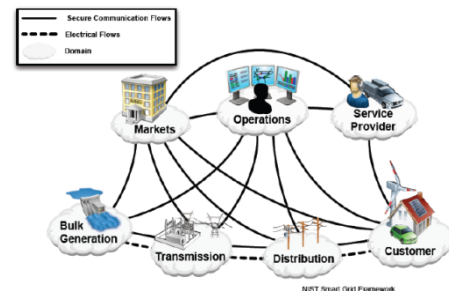


Figura 1- Modelo Proposto por NIST [22].

Percebe-se a interação entre todos os domínios do modelo. Essa interação é possível com a inserção de um novo modelo de infraestrutura denominado IMA (Infraestrutura de Medição Avançada) [23], o qual permitiu que as informações fluíssem não somente em um sentido, mas de forma bidirecional, aumentando o controle de demanda e distribuição de energia elétrica.

Ainda não existe um padrão de tecnologia para a implementação de comunicações em Redes Elétricas Inteligentes. Existem vários tipos de tecnologia [23-26], cada uma com a sua peculiaridade, que irão prover a necessidade em cada parte do sistema.

Não é intenção de este trabalho estudar os requisitos de cada cenário, nem qual tipo de tecnologia é mais pertinente. Para o estudo de caso apresentado, escolheu-se a tecnologia da 4ª geração celular, LTE (“Long Term Evolution”) [27]. Estudos indicam que esta tecnologia será altamente aplicada em sistemas inteligentes, principalmente em sistemas denominados de comunicação máquina para máquina (M2M, “Machine to Machine”) [28], onde nenhuma interação humana se faz necessária, além de apresentar uma alta taxa de dados e características de latência e consumo de energia dentro dos níveis procurados para a realização deste trabalho.

A. Rede de Comunicação Móvel para Micro Redes

Uma rede de telecomunicações é composta por três componentes principais [30]: as interfaces com a rede de externa e tarifação; por estações radio base que estabelecem a conexão entre a rede e os usuários e, por último, o usuário, que irá estabelecer a conexão com a rede para troca de dados e informações e acesso a internet. As Redes de Acesso são responsáveis pela maior parcela do consumo de energia, sendo as Estações Rádio Base (“ERB”) as maiores consumidoras [31].

B. Consumo de Energia de Estações Rádio Base

O consumo de energia em estações rádio base depende principalmente de dois fatores: a área de cobertura e o modelo de tráfego na área determinada. Existem vários tipos de implementação de rádio base, dependendo da área, do local, do modelo de tráfego, da frequência, do número de canais, número de antenas e etc. [32]. Neste trabalho, leva-se em conta somente fatores que serão relevantes para oferecer a maior área de cobertura possível, considerando o tráfego de dados constante entre os usuários.

O consumo de potência de uma estação rádio base pode ser modelado em duas partes distintas [33]. A primeira descreve a parte estática do consumo de potência, i.e., o consumo que irá existir mesmo que não houver nenhuma carga. E a parte dinâmica de consumo, que é totalmente dependente da carga. Neste caso, quando se menciona carga neste trabalho, refere-se ao tráfego de usuários na rede de telecomunicações ao longo do dia.

Os itens com maior impacto no consumo de potência de uma estação rádio base são: o amplificador de potência, que é levado em conta à perda dos seus alimentadores, e o sistema de ar condicionado.

Alguns dos equipamentos utilizados por setor de irradiação são o processamento digital de sinais (responsável pelo sistema de processamento e codificação), o amplificador de potência e o transceptor que é o responsável pela geração de sinais e a troca de envio e recebimento de mensagens entre as estações rádio base e o retificador.

O consumo de potência destes equipamentos tem de ser multiplicados pelo número de setores quando for determinado o consumo de potência de uma estação rádio base [34]. Nas estações rádio base existem equipamentos que são comuns a todos os setores de irradiação, como o ar condicionado e o link de micro-ondas (responsável pela comunicação com a rede externa).

O modelo apresentado em [35] é o considerado neste trabalho. O mesmo leva em conta o consumo dependente e não dependente da variação de carga. Portanto pode se definir alguns parâmetros importantes para o cálculo do consumo total.

A eficiência do amplificador é a relação entre a potência entregue na saída do amplificador e a potência entregue na entrada do amplificador, que podem ser relacionados por [35]:

$$\eta = \frac{P_{saída/amplificador}}{P_{entrada/amplificador}} \quad (1)$$

Sendo $P_{saída/amplificador}$, a potência de saída do amplificador e P_{TX} a de entrada de cada setor da antena.

De acordo com a equação (1), a potência consumida pelo amplificador de potência pode ser determinada como [35]:

$$P_{entrada/amplificador} = \frac{P_{TX}}{\eta} \quad (2)$$

No caso apresentado considera-se um ambiente com macro células, devido a sua extensa área de cobertura, tal que:

$$P_{erb} = \eta_{setor} * ((\eta_{TX} * P_{en/amplificador}) + P_{en/transceptor} + P_{en/processamento} + P_{en/retificador}) + P_{en/micro} + P_{en/air} \quad (3)$$

Onde

η_{setor} é o número de setores de uma célula;
 η_{TX} é o número de antenas transmissoras;

Onde

$P_{en/amplificador}$, $P_{en/transceptor}$, $P_{en/processamento}$, $P_{en/retificador}$, $P_{en/micro}$ e $P_{en/air}$

são, respectivamente, a potência do amplificador, do transceptor, do processamento digital de sinais, do retificador, do link de micro-ondas e do ar condicionado. Os valores das respectivas potências usados neste artigo podem ser encontrados em [36], e ilustrados na tabela abaixo.

Tabela I - Valores de Potência Equipamentos ERB

Componentes	Siglas	Valor (W)
Amplificador	$P_{en/amplificador}$	156
Transceptor	$P_{en/transmissor}$	100
Retificador	$P_{en/retificador}$	100
Microondas	$P_{en/micro}$	80
Ar Cond.	$P_{en/air}$	225

C. Número de Estações Rádio Base

Após o cálculo do consumo de potência de cada estação rádio base, deve-se agora calcular o número de estações rádio base necessárias para abranger a área desejada. Para isto, deve-se calcular o enlace de propagação [37] para esta determinada região.

O cálculo do enlace de propagação é a etapa principal do dimensionamento de uma rede comunicações móvel. Nesta etapa calcula-se a máxima perda do sinal para que todos os usuários tenham condições de captar o sinal.

Em seguida, considerando o sistema IEEE 34 barras modificado, deve-se calcular o número de estações rádio base necessárias. Primeiramente devem ser definidos os parâmetros do sistema tais como, área de cobertura, largura de banda, potência de emissão e em qual frequência iremos trabalhar. Uma análise detalhada do local onde será implementada, como características topográficas, sensibilidade e potência de recepção e transmissão foram realizadas.

De posse destes parâmetros calcula-se o enlace de propagação, onde todos os ganhos e perdas de transmissão e recepção são levados em conta, o modelo de propagação, que têm como objetivo prover estimativas de perda de propagação considerando a distância entre receptor e emissor, alturas de

antenas e etc. No estudo de caso apresentado foi utilizado o modelo de Okumura-Hata [38].

De posse de todos os parâmetros, e dados retirados de manuais de fabricantes [39], define-se o raio de cobertura de cada célula e, com a área de cobertura definida, o número de estações rádio base necessárias:

$$N^{\circ} ERB = \frac{\text{Área}}{\pi * \text{Raio}^2} \quad (4)$$

Não faz parte do escopo deste artigo descrever como o cálculo do enlace de propagação foi realizado. Informações precisas são encontradas nas referências.

IV. RESULTADOS E SIMULAÇÕES

O sistema simulado foi o IEEE 34 barras. O mesmo possui uma alta penetração de fontes renováveis, sistemas de bateria para armazenamento e rede de comunicação robusta. Para maiores informações de geração de fontes renováveis, cargas de bateria e as devidas barras, podem ser consultadas em [20].

Este trabalho não considera as ações de controle propostas em [20], já que o intuito deste trabalho é mostrar a influência do consumo energético das redes de telecomunicações, principalmente em casos de ilhamento, onde há uma escassez de recursos para geração de energia elétrica.

A Figura 2 ilustra o sistema simulado. O mesmo foi dividido em duas áreas devido a sua grande extensão. Ressalta-se que a divisão não ocasionará problemas de comunicação entre as duas áreas.

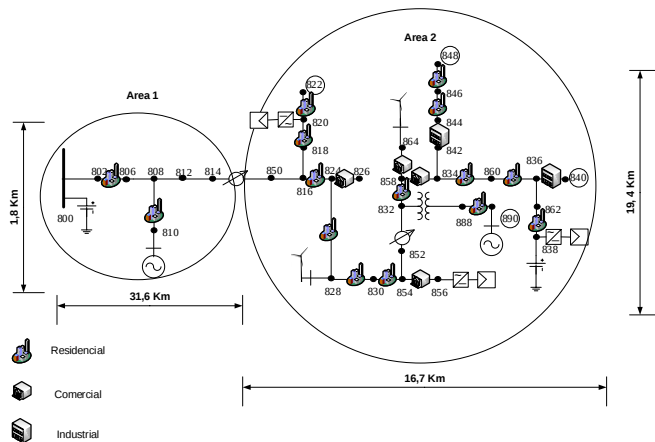


Figura 2 - Modelo IEEE 34 Barras

Como se pode observar na Figura 2, a área de cobertura um tem uma área total de aproximadamente 56 km² enquanto a área de cobertura dois possui uma área total de 324 km². De acordo com o cálculo de enlace, chega-se a um raio de aproximadamente 1,5 km². Utilizando uma configuração de macro células, um raio total de cobertura de 5,7 km² é obtido. Desta maneira, de acordo com a equação quatro, são necessárias 12 estações rádio base para cobrir a primeira área e 57 estações rádio bases para a segunda.

Com os valores da Tabela I e utilizando o três setores e um antena transmissora, teremos o consumo total de cada estação rádio base de 1683 W. As estações rádio base foram distribuídas de acordo com a área de cada barra de acordo com o raio de cobertura.

Com o intuito de analisar o efeito da implementação de um sistema de comunicações robusto e que abrange 95% da área de cobertura, a Figura 3 ilustra o tempo máximo de suprimento de energia com a rede de telecomunicações implementada.

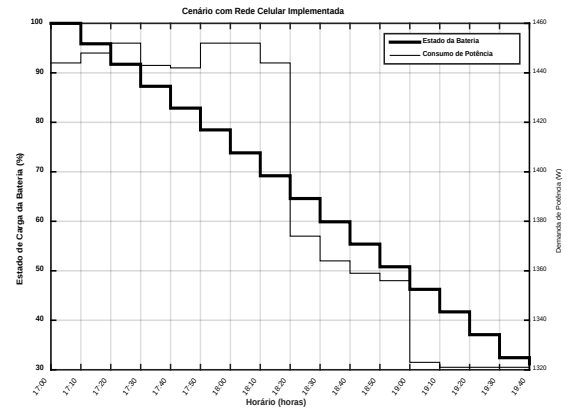


Figura 3 - Cenário com a Rede de Telecomunicações

A Figura 4 ilustra o caso sem a rede de telecomunicações implementada.

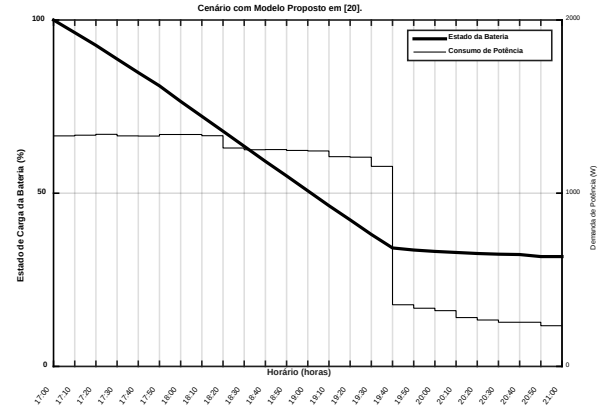


Figura 4 - Cenário Sem Redes de Telecomunicações

Comparando as duas figuras, pode-se observar uma grande diferença no tempo de sobrevivência da rede ilhada. No cenário de simulação com redes de telecomunicações, o sistema consegue ser suprido até às 19h40min, havendo corte de carga súbito a partir das 18h20min. Devido ao alto consumo das redes de telecomunicações, é visível que o corte é feito subitamente, devido à prioridade da demanda dos serviços de telecomunicações. Na Figura 4, o sistema é abastecido até às 21h00min, ou seja, 70 minutos a mais que um sistema sem controle em tempo real. Neste sentido, não considerar o consumo do sistema de comunicação pode levar a conclusões precipitadas.

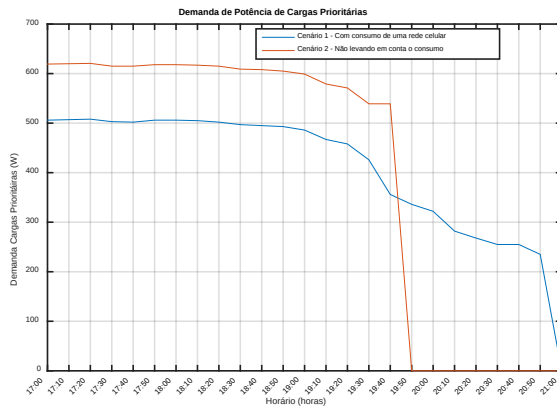


Figura 5 - Demanda de Cargas Prioritárias

Pode-se observar na claramente na Figura 5 o aumento de demanda de potência devido à inserção da potência consumida pelos equipamentos de telecomunicações. É importante ressaltar ainda que com o corte de cargas no cenário com rede de telecomunicações implementada às 19h20min, o sistema migra do estado emergência para crítico e após apenas alguns minutos para o estado de sobrevivências. No cenário sem controle em tempo real, observa-se que o suprimento de energia das cargas é feito por mais tempo, e a transição entre estados crítico e emergência de forma mais tranquila. Pode-se observar a importância de manter as cargas prioritárias sempre supridas durante o maior tempo possível.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado uma solução para a implementação de sistemas de telecomunicações para microrredes ilhadas. Foi implementada uma rede de telefonia celular de quarta geração para garantir a cobertura de toda a área do sistema ilhado.

Foi ilustrado o problema do alto consumo das redes de acesso ao usuário e, com a tendência de cada vez mais equipamentos de medição e controle serem inseridos na rede, o este problema tende a torna-se mais preocupante, já que maior será o número de estações necessárias.

Um estudo detalhado de cada item e seu consumo foram realizados. De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que as redes de telecomunicações influenciam consideravelmente no consumo de energia. Essa influência deve ser investigada e medidas devem ser tomadas para que as mesmas sejam desligadas ou se mantenham desligadas de acordo com a necessidade de sua no momento.

REFERÊNCIAS

[1] <http://www.oe.energy.gov/1165.htm>, (2010). The Smart Grid: An Introduction, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, U.S. Department of Energy.

[2] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE Power and Energy*, vol.8, no.1, pp. 18-28, 2010.

[3] A. Amin. A Smart Self-healing grid: In Pursuit of a More Reliable and Resilient System. *IEEE Power and Energy Magazine*, V. 12, No. 1, pp. 110-112, 2014.

[4] Z. Wang, J. Wang. Self-healing Resilient Distribution Systems Based on Sectionalization Into Microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*. DOI: 10.1109/TPWRS.2015.2389753.

[5] Z. Wang, J. Wang. Self-healing Resilient Distribution Systems Based on Sectionalization Into Microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*. DOI: 10.1109/TPWRS.2015.2389753.

[6] A. Khodaei. Resiliency-Oriented Microgrid Optimal Scheduling. *IEEE Transactions on Smart Grid*, V. 5, No. 4, pp. 1584-1591, 2014.

[7] C. L. Moreira, F. O. Resende, J. A. Peças Lopes. Using Low Voltage MicroGrids for Service Restoration. *IEEE Transactions on Power Systems*, V. 22, No. 1, pp. 395-403, 2007.

[8] C. M. Colson, M. H. Nehrir, R. W. Gunderson. Distributed multi-agent microgrids: a decentralized approach to resilient power system self-healing. In: *4th International Symposium on Resilient Control Systems*, pp. 83-88, 2011.

[9] Palma-Behnke, R.; Reyes, L.; Jimenez-Estevéz, G., "Smart grid solutions for rural areas," *Power and Energy Society General Meeting*, 2012 IEEE , vol., no., pp.1,6, 22-26 July 2012

[10] Gungor, V.C.; Sahin, D.; Kocak, T.; Ergut, S.; Buccella, C.; Cecati, C.; Hancke, G.P., "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards," *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* , vol.7, no.4, pp.529,539, Nov. 2011.

[11] J V. K. Sood, D. Fischer, J. M. Eklund and T. Brown, "Developing a Communication Infrastructure for the Smart Grid," *IEEE on Electrical Power & Energy Conference (EPEC)*, Montreal, 22-23 October 2009, pp.1-7. doi:10. 1109/EPEC.2009.5420809

[12] Erol-Kantarci, M.; Mouftah, H.T., "Energy-Efficient Information and Communication Infrastructures in the Smart Grid: A Survey on Interactions and Open Issues," in *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* , vol.17, no.1, pp.179-197, Firstquarter 2015.

[13] M. Pickavet, W. Vereecken, S. Demeyer, P. Audenaert, B. Vermeulen, C. Develder, D. Colle, B. Dhoedt, and P. Demeester, "Worldwide Energy Needs for ICT: the Rise of Power-Aware Networking," in *2008 IEEE ANTS Conference*, Bombay, India, December 2008, pp. 1-3.

[14] Baliga, J.; Ayre, R.W.A.; Hinton, K.; Tucker, Rodney S., "Energy consumption in wired and wireless access networks," in *Communications Magazine, IEEE* , vol.49, no.6, pp.70-77, June 2011.

[15] Lange, C.; Kosiankowski, D.; Weidmann, R.; Gladisch, A., "Energy Consumption of Telecommunication Networks and Related Improvement Options," in *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of* , vol.17, no.2, pp.285-295, March-April 2011.

[16] S. Lambert, W. Van Heddeghem, W. Vereecken, B. Lannoo, D. Colle, and M. Pickavet, "Worldwide electricity consumption of communication networks," *Opt. Express* **20**, B513-B524 (2012).

- [17] Z. Wang, J. Wang, Self-healing Resilient Distribution Systems Based on Sectionalization Into Microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*. DOI: 10.1109/TPWRS.2015.2389753.
- [18] A. Amin, A Smart Self-healing grid: In Pursuit of a More Reliable and Resilient System. *IEEE Power and Energy Magazine*, V. 12, No. 1, pp. 110-112, 2014.
- [19] A. Zidan, E.F. El-Saadany, A Cooperative Multiagent Framework for Self-Healing Mechanisms in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, V. 3, No. 3, pp. 1525-1539, 2012.
- [20] Oliveira, D.Q.; Zambroni de Souza, A.C.; Almeida, A.B.; Santos, M.V.; Lopes, B.I.L.; Marujo, D., "Microgrid management in emergency scenarios for smart electrical energy usage," in *PowerTech, 2015 IEEE Eindhoven*, vol., no., pp.1-6, June 29 2015-July 2 2015.
- [21] Maqousi, A.; Balikhina, T.; Basu, K.; Ball, F., "Towards an open architecture for Smart Grid communications: Possible pointers from multiservice network research," Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems (IT-DREPS), 2013 1st International Conference & Exhibition on the , vol., no., pp.114,118, 29-31 May 2013.
- [22] G. Jingcheng, et al. "A Survey of communication/networking in Smart Grids", *Future Generation Computer Systems*, 2012.
- [23] Hauser, C.H.; Bakken, D.E.; Bose, A., "A failure to communicate: next generation communication requirements, technologies, and architecture for the electric power grid," *Power and Energy Magazine*, IEEE , vol.3, no.2, pp.47,55, March-April 2005.
- [24] Parikh, P.P.; Kanabar, M.G.; Sidhu, T.S., "Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications," *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, vol., no., pp.1,7, 25-29 July 2010.
- [25] Galli, S.; Scaglione, A.; Zhifang Wang, "For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid," *Proceedings of the IEEE*, vol.99, no.6, pp.998,1027, June 2011.
- [26] Takagiwa, Kenichi; Kubo, Ryogo; Ishida, Shinichi; Inoue, Koichi; Nishi, Hiroaki, "Feasibility study of service-oriented architecture for smart grid communications," *Industrial Electronics (ISIE), 2013 IEEE International Symposium on*, vol., no., pp.1,7, 28-31 May 2013.
- [27] LTE: 3rd generation partnership project: technical specification group radio access network: evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA): user equipment (.UE) radio transmission and reception (TS 36.101 v9.1.0 Release 9) 3GPP, September 2009.
- [28] Fadlullah, Z.M.; Fouda, M.M.; Kato, N.; Takeuchi, A.; Iwasaki, N.; Nozaki, Y., "Toward intelligent machine-to-machine communications in smart grid," in *Communications Magazine, IEEE*, vol.49, no.4, pp.60-65, April 2011.
- [29] International Telecommunication Union, "Worldwide mobile cellular subscribers to reach 4 billion mark late 2008," Press release, 2008.
- [30] Arnold, O.; Richter, F.; Fettweis, G.; Blume, O., "Power consumption modeling of different base station types in heterogeneous cellular networks," in *Future Network and Mobile Summit, 2010*, vol., no., pp.1-8, 16-18 June 2010.
- [31] "Alcatel-Lucent demonstrates up to 27 percent power consumption reduction on base stations deployed by China Mobile." Press release, Mobile World Congress, Barcelona, February 17, 2009.
- [32] F. Richter, A. J. Fehske, and G. P. Fettweis, "Energy efficiency aspects of base station deployment strategies in cellular networks," in *Proceedings of the 70th Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, September 2009.
- [33] Deruyck M, Tanghe E, Joseph W, Martens L. *Modelling and Optimization of Power Consumption in Wireless Access Networks*, Vol. 34. Elsevier Computer Communications: Oxford, United Kingdom, November 2011. 2036–2046.
- [34] Deruyck, M., Vereecken, W., Tanghe, E., et al.: 'Power consumption in wireless access networks'. European Wireless Conf., 2010, Lucca, Italy, April 2010, pp. 924–931.
- [35] Deruyck, Margot, Wout Joseph, and Luc Martens. 2014. "Power Consumption Model for Macrocell and Microcell Base Stations." *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies* 25 (3): 320–333.
- [36] Aris, A. M., Shabani, B., Arnold, O., Richter, F., Fettweis, G. P., Blume, O., Louagie, F. (2011). Model for Power Consumption of Wireless Access Networks. *IEEE Wireless Communications*, 18(5), 1–5.
- [37] S. Saunders, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*. Wiley, 1999.
- [38] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 317–325, August 1980.
- [39] *Wireless Communications, Principles & Practice*, Theodore S. Rappaport, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1999. UMTS.