

Autoconfiguração de redes sem fio

M. Amirijoo, da Ericsson (Suécia), R. Litjens, da TNO ICT (Holanda), K. Spaey, da IBBT (Bélgica), M. Döttling, da Nokia Siemens (Alemanha), T. Jansen, da TU Braunschweig (Alemanha), N. Scully, da Vodafone (Reino Unido), U. Türke, da Atesio (Alemanha)

Os métodos de autoconfiguração são um conceito promissor para automatizar o projeto, a implantação e a otimização das redes de acesso sem fio. O artigo apresenta métricas e exemplos de referência que permitem uma comparação dos algoritmos desenvolvidos para diferentes casos de uso e uma avaliação dos ganhos da autoconfiguração em relação às tradicionais operações manuais da rede.

Como reconhecido pela entidade de padronização 3GPP - 3rd Generation Partnership Project [1] e pela iniciativa de operadoras NGMN - Redes Móveis de Próxima Geração [2], as futuras redes de acesso sem fio, tais como o acesso via rádio LTE - Long Term Evolution do 3GPP, exibem um grau significativo de autoconfiguração. O principal objetivo das funcionalidades de uma rede auto-organizadora (SON - *self-organising network*) é reduzir os custos associados às operações da rede, ao mesmo tempo em que melhora o desempenho.

Neste artigo os termos auto-organização e autoconfiguração são usados de forma equivalente.

Ao superar a eficácia das ações manuais nas tarefas operacionais da rede, são esperadas significativas reduções dos gastos operacionais (Opex), ao mesmo tempo em que, por conta da melhor adaptação às características e falhas na rede em constante mudança, os recursos SON deverão aperfeiçoar a capacidade, a cobertura e a qualidade de serviço da rede.

Antes de iniciar com o trabalho técnico detalhado e os métodos de desenvolvimento de SON para as futuras redes de acesso sem fio, é essencial que se realize um exercício de fixação de conceitos, para

identificar os mecanismos para os quais a auto-organização é prevista como efetiva. Somente dessa forma pode se obter uma visão clara sobre os requisitos (não) técnicos impostos às soluções SON e definir os critérios que podem ser usados para avaliar a viabilidade e o desempenho dos métodos SON desenvolvidos.

Todo o material apresentado foi desenvolvido dentro do projeto de pesquisa europeu FP7 Socrates (Auto-otimização e Auto-configuração em Redes sem Fio, do inglês Self-Optimisation and self-Configuration in wireless networks) [3,4]. Um dos seus principais objetivos é fornecer soluções SON dedicadas, ou seja, métodos e algoritmos, como um passo na direção da implantação de funcionalidade SON nas futuras redes de acesso sem fio, onde o padrão Enhanced UTRAN (E-UTRAN) do 3GPP, que é o acesso via rádio 3GPP LTE, foi selecionado como a tecnologia principal.

Casos de uso e requisitos para redes de acesso auto-organizadoras

Casos de uso são meios estabelecidos de descrever o que a solução de um problema particular deve atender. No escopo do projeto Socrates,

foram identificados mais de 25 casos que se focam na auto-organização do 3GPP E-UTRAN. Eles incluem, por exemplo, os casos de autoconfiguração com “seleção inteligente de locais” e “geração automática de parâmetros padrão para inserção de elementos de rede”; os casos de uso com “otimização de esquema de pacotes”, “coordenação de interferência”, “otimização de parâmetros de controle de admissão” e “equilíbrio de carga”; e o caso de uso de autorreparação “gerenciamento de interrupção de célula” [5].

A classificação dos casos de uso nas três categorias, ou seja, autoconfiguração, auto-otimização e autorrestabelecimento, está de acordo com as previsões do projeto Socrates, com relação ao uso de métodos de auto-organização nas futuras redes via rádio [3, 4]. Os NEs (elementos de rede) recém-acrescentados como, por exemplo, estações base (eNodeBs), autoconfiguram-se no modo *plug-and-play*, enquanto os NEs existentes realizam a auto-otimização contínua de seus algoritmos e parâmetros operacionais em resposta a mudanças na rede, no tráfego e nas condições ambientais. As adaptações

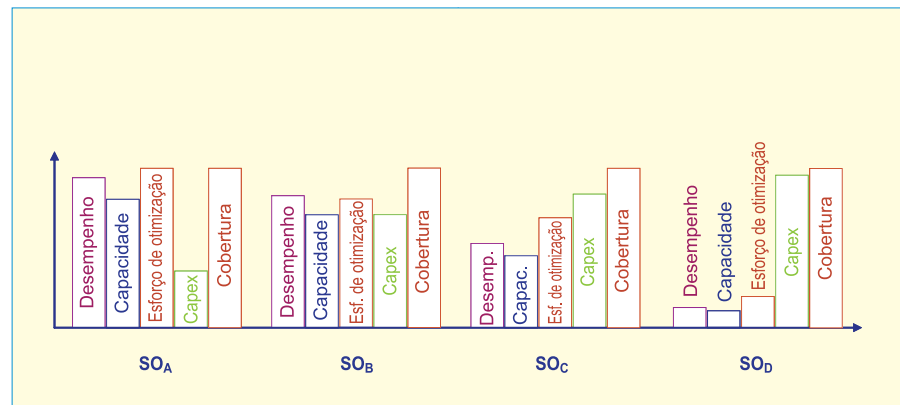


Fig. 1 - Exemplos de valores de métricas obtidas

são realizadas para fornecer ao serviço desejado as condições de disponibilidade e qualidade da forma mais eficiente possível. No caso de falha de uma célula ou local, os métodos de autorrestabelecimento são acionados para aliviar os efeitos sobre o desempenho, devidos à lacuna resultante da cobertura/capacidade defeituosas, por meio do ajuste adequado dos parâmetros de rádio nos sites vizinhos. Em geral, o envolvimento humano somente deve ser acionado quando absolutamente necessário, por exemplo, quando são necessários reparos manuais.

Para o sucesso do desenvolvimento de funcionalidades SON, vários

requisitos técnicos precisam ser considerados. Em [6], apresentamos várias categorias de requisitos técnicos: desempenho e complexidade, estabilidade, robustez, *timing*, interação, arquitetura e escalabilidade e *inputs* (contadores e medições de desempenho). Como os mesmos princípios aplicam-se a muitos casos de uso, enquanto os detalhes variam, discutem-se essas categorias de requisitos em geral, mas também em detalhes nos casos de uso identificados.

Como as soluções tecnicamente boas podem não necessariamente satisfazer os requisitos comerciais, é também importante levar em

consideração esses requisitos. Eles compreendem requisitos de baixo custo (por exemplo, as soluções SON devem reduzir os custos de investimento de capital e operação, Opex e Capex) e requisitos de implantação de LTE (por exemplo, deve-se apressar a operação de redes LTE, novos serviços devem ser facilmente implantados e o usuário final deve se beneficiar) [6].

Critérios de avaliação para redes de acesso auto-organizadoras

No futuro, o Socrates desenvolverá métodos e algoritmos de auto-organização. Uma avaliação adequada dos benefícios de métodos de auto-organização desenvolvidos requer um conjunto de métricas bem definidas e casos de referência (*benchmark*) apropriados. Com relação aos casos de referência, de um lado,

Tab. I – Comparação de algoritmos de auto-organização com algoritmos manuais

	Ganhos de Capex				Ganhos de Opex				
		SO _A	SO _B	SO _C	SO _D	SO _A	SO _B	SO _C	SO _D
Operadora orientada a qualidade	MO _A	0	-	--	---	++++			
	MO _B	+	0	-	--	+++			
Operadora orientada a custo	MO _C	++	+	0	-	++			
	MO _D	+++	++	+	0	+			

diferentes algoritmos de auto-organização podem ser comparados entre si, enquanto, de outro, um ‘caso de referência manual’ apropriado precisa ser definido para permitir uma avaliação dos ganhos da auto-organização, com relação às redes contemporâneas manualmente operadas.

Métricas

As métricas relevantes na avaliação dos métodos de auto-organização são [7]:

- Métricas de desempenho: expressam a experiência do nível do serviço do ponto de vista do usuário e incluem as métricas de GoS - grau de serviço, por exemplo, proporção de bloqueio de chamadas, proporção de interrupção de conexão e métricas de QoS - qualidade de serviço, por exemplo, estatísticas de atraso de pacotes, proporção de perda de pacotes, estatísticas, opinião e equidade.
- Métricas de cobertura: existem várias, como, por exemplo, a

cobertura de serviço, ou seja, a fração de área onde um serviço pode ser suportado com uma adequada qualidade de serviço e a cobertura de taxa de dados, ou seja, a fração de área onde um usuário pode ter, pelo menos, alguma taxa de dados especificada.

- Métricas de capacidade: não há uma definição não-ambígua de capacidade da célula (ou rede) e, na literatura, aplicam-se diferentes perspectivas sensatas, como o número máximo de chamadas simultâneas, carga máxima suportável de tráfego e eficiência espectral.

- Capex: em geral, os Capex englobam os investimentos necessários à criação de benefícios futuros, incluindo, por exemplo, rádio e elementos do núcleo da rede. Uma abordagem que propomos para estimar o Capex é determinar o número de elementos de rede necessários para cobrir uma certa área de serviço, com requisitos pré-especificados de GoS e QoS, e multiplicar pelos custos correspondentes. Dada uma certa demanda de serviço por km², o número necessário de elementos de rede pode ser determinado maximizando-se o raio da célula, de forma que a demanda de tráfego por célula e a capacidade sejam suficientemente bem equilibradas para satisfazer os requisitos de GoS e QoS. Um aspecto adicional a se considerar é que a introdução dos próprios recursos de auto-organização pode levar a um aumento do custo de equipamentos (por unidade). É difícil estimar esses Capex adicionais, mas dependem da natureza e complexidade do algoritmo de auto-organização, dos requisitos de largura de banda da transmissão – que podem ser mais altos devido à maior sobrecarga de sinalização – e dos custos adicionais relativos aos equipamentos necessários àquele local, por exemplo, polarização elétrica de antena e circuito adicional para economizar energia.

- Opex: os custos associados às operações de rede e, em particular, à redução desses custos devido à

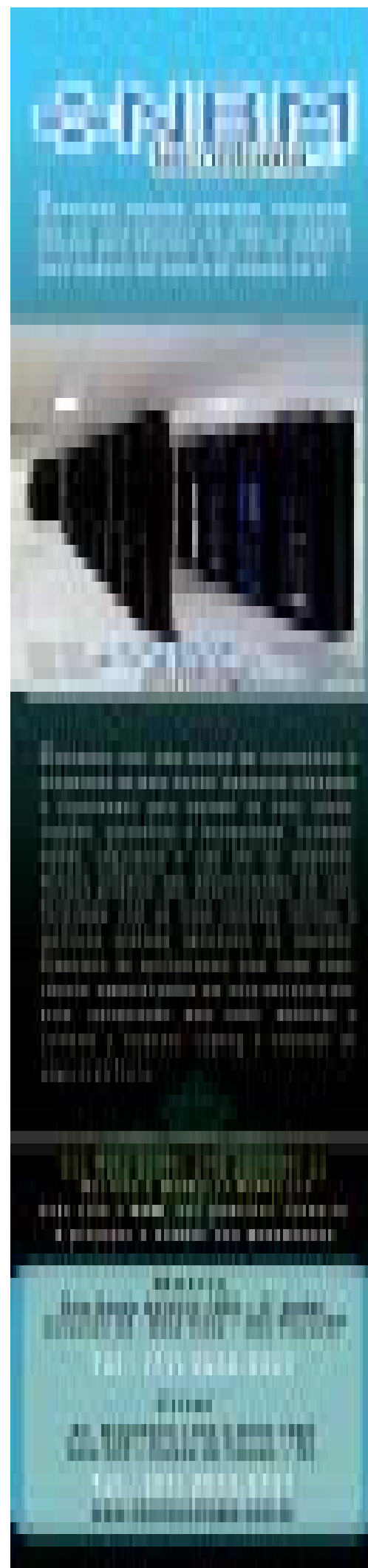
introdução de funcionalidades de auto-organização, são bastante difíceis de se avaliar. Sabendo-se que as reduções reais de Opex dependem do grau de auto-organização implantado, numa implementação extrema todo Opex relativo ao ajuste manual de uma dada configuração (associado com um caso de uso) é eliminado. Para se desenvolver uma abordagem de avaliação do nível de Opex, fazemos uma distinção entre três fases principais na realização dos ajustes de parâmetros, ou seja, coleta de dados de entrada, por exemplo, por meio de contadores de desempenho; determinação de novas configurações de parâmetros usando algumas combinações de ajustes e/ou ajustes com ajuda de computador via ferramentas de projeto ou modelos avançados de simulação; e a aplicação de novas configurações de parâmetros, que pode ser feita a distância ou no local.

Dependendo dos métodos aplicados, o operador pode fazer uma estimativa, com base no caso de uso, da ação humana (homens/hora) envolvidas nas três fases distintas. Multiplicando-se pelo custo por hora de especialista, pelo número de vezes ao ano em que é necessário o ajuste do parâmetro e por um fator que reflita o número de células (ou classes de células) para as quais há necessidade de ajustes de parâmetros separados, chega-se aos Opex por ano para o caso de uso considerado.

No caso de serem aplicadas as funcionalidades de auto-organização, o seu impacto específico sobre os componentes mencionados, que contribua para o Opex, deve ser avaliado com base nas propriedades das soluções desenvolvidas. Note-se que para alguns componentes a ação humana requisitada é significativamente reduzida, embora para outros permaneça sem mudança.

Benchmarking

Um objetivo fundamental no desenvolvimento de métodos para a auto-organização é fazer uma



comparação quantitativa de diferentes métodos desenvolvidos para um dado caso de uso e comparar o desempenho, a capacidade e o custo alcançados com um caso com operação de rede manual. Descrevemos, abaixo, uma abordagem para esse *benchmarking*. A abordagem é esboçada a partir da perspectiva de um caso de uso de auto-otimização, embora seja prontamente convertida para também cobrir casos de uso de autoconfiguração e autorrestabelecimento.

O ponto inicial é um cenário específico em termos de, por exemplo, ambiente de propagação,

alcançar os menores Capex, mas para se chegar a isso, é necessário um grande esforço de otimização. Em contraste, o algoritmo SO_D é significativamente menos complexo, mas conseqüentemente tem pior desempenho e Capex.

Em geral, é difícil comparar diferentes esquemas de auto-otimização devido aos objetivos conflitantes de desempenho. Uma abordagem possível para reforçar um estrito *ranking* geral é pesar/combinar as diferentes medidas em alguma função de ponderação e dar posições aos algoritmos com base nos valores obtidos com o uso dessa função.

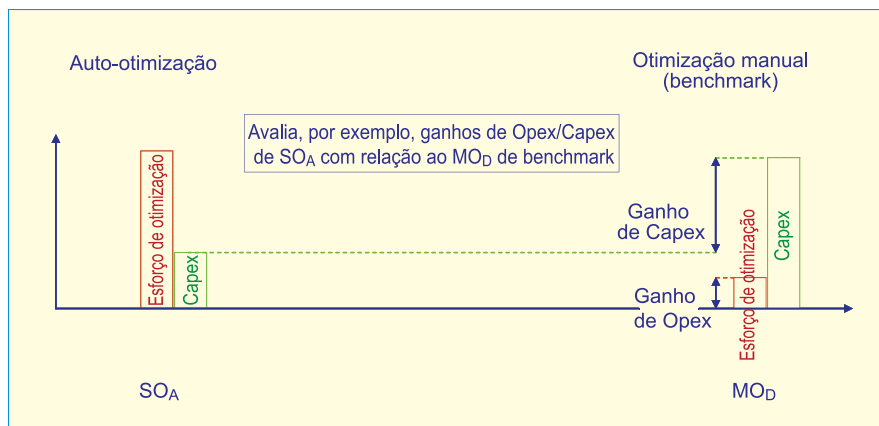


Fig. 2 - Comparação de SOA com relação a benchmark MO_D

misto de serviços, características e distribuição espacial do tráfego. Nesse cenário, a realização de diferentes algoritmos de auto-otimização pode ser expressa em termos das métricas mencionadas anteriormente, incluindo uma estimativa da ação de otimização que se baseia no número observado de ajustamentos automáticos de parâmetros por unidade de tempo. Note-se que se as otimizações fossem feitas manualmente, isso indicaria o nível de referência de Opex.

A figura 1 mostra os valores de exemplo das métricas, obtidos no final dos estudos de simulação. Observe-se que, por exemplo, o algoritmo de auto-otimização SO_A alcança o maior desempenho, o que pode ser explorado no sentido de

Apesar de a discussão delinear uma abordagem para comparar diferentes algoritmos de auto-otimização, um desafio ainda mais difícil é comparar um algoritmo de auto-otimização com um caso de otimização manual. Num caso extremo, pode-se supor que um ‘operador manual’ congela configurações permanentes de seus parâmetros de rádio, os quais devem então ser escolhidos de forma que o desempenho geral de um dado cenário seja otimizado. Na prática, no entanto, uma operadora de rede ajusta os parâmetros de rádio mediante a observação das necessidades ou sensibilidade. Dependendo da política da operadora, isso pode acontecer com maior ou menor frequência: uma operadora

orientada à qualidade provavelmente fará ajustes mais frequentes que uma operadora com orientação para custos. Para modelar isso de forma razoável, propomos definir ‘algoritmos de otimização manual’ de MO_A até MO_D (continuando o exemplo acima), de forma que eles ajustem manualmente os parâmetros de rádio ao mesmo tempo e para os mesmos valores dos algoritmos de auto-otimização correspondentes com o mesmo rótulo. A figura 2 mostra um exemplo de comparação de SO_A com MO_D , concentrando-se em medidas relativas ao Capex e Opex.

Supondo-se que a auto-otimização reduz o Opex a zero (o que pode ser muito extremo, mas é adequado para propósito ilustrativo), os ganhos de Opex e Capex estão indicados na figura 2. Note-se que o ganho de Opex é determinado pela ação de otimização que se aplica no caso manual. Continuando essa abordagem para diferentes combinações de SO_x e MO_y poderíamos gerar tabelas como a tabela I, onde os ‘+’, ‘-’ e ‘0’s são apenas indicadores qualitativos. Os valores numéricos reais devem ser determinados por meio de simulações. A introdução da auto-otimização na rede de uma operadora com orientação para a qualidade provavelmente estabelece os maiores ganhos de Opex, mas os menores ganhos de Capex.

Conclusão

Neste artigo identificamos casos de uso, requisitos e critérios de avaliação para as futuras redes de acesso auto-organizadoras via rádio. Dentro do projeto Socrates, formarão a base de uma estrutura para o desenvolvimento de métodos e algoritmos de auto-organização, que descreve, entre outras coisas, a relação e as dependências entre diferentes componentes de SON. Como trabalho futuro, serão

desenvolvidos os algoritmos SON para os casos de uso, ao mesmo tempo em que os requisitos identificados serão levados em consideração. Os critérios de avaliação propostos serão então usados para avaliar os algoritmos e soluções desenvolvidos. Como nesse estágio preliminar do desenvolvimento de LTE ainda não é possível um teste de campo dos algoritmos SON desenvolvidos, a comparação e avaliação reais das diferentes soluções SON serão feitas com a realização de estudos de simulação. O trabalho futuro também inclui a integração das soluções SON desenvolvidas, para garantir um comportamento consistente quando os algoritmos desenvolvidos forem operados simultaneamente.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP TR 32.816: *Telecommunication Management; Study on Management of Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) and Evolved Packet Core (EPC) (Release 8)*. v1.3.1. 2007.
- [2] NGMN: *Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO*. www.ngmn.org. 2006.
- [3] Socrates Project. www.fp7-socrates.eu.
- [4] Van den Berg, J.L., Litjens, R., Eisenblätter, A., Amirijoo, M., Linnell, O., Blondia, C., Kürner, T., Scully, N., Oszmianski, J., Schmelz, L.C.: *Self-Organisation in Future Mobile Communication Networks*. ICT Mobile Summit 2008. Suécia.
- [5] Socrates deliverable D2.1: Use cases for self-organising networks. www.fp7-socrates.eu.
- [6] Socrates deliverable D2.2: *Requirements for self-organising networks*. www.fp7-socrates.eu.
- [7] Socrates deliverable D2.3: *Assessment criteria for self-organising networks*. www.fp7-socrates.eu.

Artigo originalmente publicado no *Self-Organizing Systems. Anais do Third International Workshop IWSOS 2008. Viena, Austria. 10-12 de dezembro de 2008. Com autorização da Springer Science+Business Media.*