

A Systematic Mapping Study on Quality of Service in Service-Oriented Computing

Danilo Filgueira Mendonça¹, Genáina Nunes Rodrigues¹,
Rodrigo Bonifácio¹, Aletéia Favacho¹, Maristela Holanda¹

¹Department of Computer Science – University of Brasília (UnB) – Campus Darcy Ribeiro
70910-900, Brasília, DF, Brazil

dfmendonca@gmail.com, {genaina, rbonifacio, aleteia, mholanda}@cic.unb.br

Abstract. *In the last years, the field of service oriented computing (SOC) has received a growing interest from researchers and practitioners, particularly with respect to quality of service (QoS). For instance, searching for terms regarding QoS in the context of SOC in major digital libraries (e.g. IEEExplore and ACM Digital) we find more than 700 contributions only in the last four years. In such a massive field, a mapping study is paramount to identify trends and research opportunities, guide research efforts and avoid redundant contributions. This paper presents a mapping study to aggregate literature in this field. Our major findings show that, with respect to SOC contributions dealing with QoS properties, most of them concentrate on monitoring and adaptation, while very few focus on coordination and communication. Regarding quality attributes, a vast majority the papers use generic models, so that the proposed solutions are independent of the particularities of a quality attribute. Nevertheless, we find that availability and performance were the major highlights, differently from cost models, scalability and security. With respect to research type, most of the reviewed studies propose new solutions, instead of evaluating and validating existing proposals— a symptom of a field that does not follow established research paradigms.*

1. Introdução

SOC, SOA, *Web Services*, SOAP, REST, Orientação a Serviços, Computação em Nuvem. Nos últimos anos esses e outros acrônimos tornaram-se frequentes na tecnologia da informação. O surgimento de um novo paradigma, impulsionado pelo amadurecimento da internet e pela proximidade crescente entre negócios e TI, criou novos caminhos e oportunidades para trabalhos de desenvolvimento e pesquisa. Nesse sentido, um grande número de estudos foram e vem sendo conduzidos com foco nos diversos aspectos da computação orientada a serviços, tais quais arquitetura, modelos, métodos, processos, ferramentas diversas, frameworks, métricas, problemas solucionados e ainda vigentes. Desta forma, a intenção daqueles interessados em iniciar suas atividades na área fica comprometida pela dificuldade em se obter informações claras sobre o atual estado da arte, os desafios e os temas mais abordados e aqueles com deficit de pesquisas. Esses dados são cruciais para que esforços sejam bem direcionados e para que a ciência caminhe em cooperação e com eficiência.

Um mapeamento sistemático de estudos visa classificar de forma sistemática e ampla um conjunto de estudos. Dada a grande quantidade de publicações no escopo da

orientação a serviços, sua metodologia ágil e que permite a análise de um maior número de estudos justifica sua escolha em detrimento de outras metodologias, como o *Systematic Literature Review* [?]. Essa última exige uma análise minuciosa e detalhada de cada publicação, o que requer um esforço considerável e inviabiliza a inclusão de um grande número de publicações num quadro de poucos pesquisadores. Assim, dados os fatos citados e o interesse em se obter uma classificação ampla e significativa da ciência relacionada à orientação a serviços, de caráter inicial e que irá servir de subsídio a outros estudos, este trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Redes de Comunicação realiza um mapeamento sistemático de estudos abrangendo a orientação a serviços.

Segundo [?], devido ao crescente acordo na implementação e gerência de aspectos funcionais de serviços, tal qual a adoção de WSDL para a descrição, SOAP para troca de mensagens, ou WS-BPEL para a composição, os interesses de pesquisadores estão se voltando aos aspectos não funcionais de aplicações orientadas a serviços. Visando essa constatação, nosso mapeamento irá concentrar-se na questão de qualidade, ou aspectos não funcionais, sobretudo a qualidade de serviços, termo aqui empregado de forma literal e posterior ao termo QoS, uma vez que os principais agentes do paradigma em questão são, coincidentemente, denominados serviços. Ademais, o ambiente proposto pelo SOC está sujeito a condições particulares diferentes daquelas já estudadas e conhecidas em outros paradigmas, havendo variáveis que elevam a complexidade da análise de parâmetros de qualidade, tanto na fase de planejamento quanto em fase de execução por meio do monitoramento e da gerência dos serviços, sendo esse um obstáculo sólido à adoção de arquiteturas como o SOA. Nesse sentido, o presente estudo visa mapear as publicações relacionadas a essas questões, contemplando cenários com ou sem o uso de SOA, proporcionando uma redução da incerteza quanto ao atual estado de desenvolvimento da ciência contribuinte ao tema abordado e quanto aos desafios e avanços já conquistados.

No que tange a trabalhos relacionados, este trabalho possui características inéditas dentro do campo de QoS em SOC. Dentre as referências atuais e mais relevantes no que concerne modelos de QoS em SOC pode ser encontrado em [?], produzido pelo projeto europeu S-CUBE [?]. Esta, além desse citado, produziu uma coletânea de outros relatórios e trabalhos que analisam publicações em praticamente todas as eferas do SOC. Entretanto, trata-se de trabalhos de Systematic Literature Review, visto que analisam profundamente as publicações envolvidas na área e as restringe àquelas com maior qualidade e aceitação, indicando as vantagens e limitações das propostas analisadas. Em contraste, o MS proposto abrange um número maior de estudos, trazendo informações em categorias mais amplas e que possibilitam a melhor análise geral da pesquisa relacionada. São dados amplos mas sensíveis para a compreensão do estado da ciência envolvida com os aspectos qualitativos do SOC.

Em geral, o resultado de um estudo de mapeamento é um mapa visual classificando os resultados obtidos. Em particular, acreditamos que esse mapeamento pode beneficiar o estado da arte e da prática em Computação Orientada a Serviços identificando tendências e oportunidades para transferência de conhecimento. Considerando também o tamanho e abrangência dessa área outros objetivos do presente mapeamento de estudos são também esclarecer o paradigma da orientação a serviços no contexto de qualidade de serviços (QoS) por meio de uma classificação ampla e sistemática, obtendo informações sobre frequências de publicações, áreas e tópicos de pesquisa, enfoques, tipos de con-

tribuições de pesquisa dadas, os agentes e fóruns envolvidos.

As demais seções desse artigo estão organizadas da seguinte forma: Seção ?? Seção ?? Seção ?? Finalmente, na Seção ?? apresentamos um resumo das nossas descobertas e provemos também algumas discussões finais.

2. Método do Estudo

Este artigo apresenta os resultados de um mapeamento sistemático de estudos. Um MS tem por objetivo classificar informações acerca de uma área de pesquisa de forma ampla e menos minuciosa que a tradicional revisão sistemática de estudos. Uma vez constatada a vasta quantidade de publicações no campo de SOC, escolheu-se esta metodologia visando a viabilidade da tarefa de se classificar um número elevado de artigos. A metodologia adotada seguiu as diretrizes propostas em [?].

2.1. Protocolo do Estudo

Um mapeamento sistemático de estudos, assim como outras revisões literárias, estabelece o uso de um protocolo que irá documentar as etapas do mapeamento de modo a garantir sua replicação e diminuir possíveis erros por parte dos pesquisadores. Nele estão definidas as questões de pesquisa, os fóruns científicos onde as publicações serão buscadas, a *string* de busca utilizada e os critérios de inclusão e exclusão de artigos.

2.2. Questões de Pesquisa

As questões de pesquisa foram organizadas de acordo com a motivação desse estudo, que é investigar e categorizar as contribuições de pesquisa em computação orientada a serviço no contexto de qualidade de serviço. Esse estudo tem como objetivo responder às seguintes perguntas:

- **QP1** Qual o interesse de pesquisa da comunidade científica no tema nos últimos anos?
- **QP2** Quais áreas de SOC são mais frequentemente pesquisadas no contexto de qualidade de serviços?
- **QP3** Quais atributos de qualidade são frequentemente considerados nos estudos abordados
- **QP4** Quais são os estudos existentes que mais tem impulsionado QoS em SOC?
- **QP5** Qual o foco da contribuição de pesquisa realizada?

A QP1 almeja identificar o estado da pesquisa relacionada a SOC no contexto de qualidade de serviços em termos quantitativos, ou seja, apontar o número de contribuições por ano. A QP2 tem como objetivo trazer uma perspectiva do cenário das pesquisas em Computação Orientada a Serviço com foco em QoS atualmente. Para responder a essa pergunta, primeiramente definimos quais são as áreas que melhor caracterizam as diversas contribuições de pesquisa em SOC. Uma vez definidas essas áreas e realizamos então a classificação. Com relação à QP3, pretendemos obter com esse estudo quais são os atributos de QoS mais frequentemente explorados em SOC. Em outras palavras, considerando que QoS, nesse contexto, envolve atributos como disponibilidade, confiabilidade, desempenho, segurança, escalabilidade, custo e SLA, quais desses atributos estão de fato em foco. Com relação à QP4, pretendemos também obter quais são os grupos que mais

tem contribuído ao contexto desse estudo. Por fim, a QP5 almeja elucidar quais tipos de pesquisa são mais frequentes e inferir conclusões acerca de sua maturidade. Vale ressaltar aqui, que não pretendemos avaliar o mérito da pesquisa em si. Está fora do escopo desse estudo avaliar tal questão.

2.3. Estratégia de Busca

Nossa estratégia de busca consistiu essencialmente na busca eletrônica nas seguintes bibliotecas digitais: ACM Digital Library, ScienceDirect, IEEE Xplore e SpringerLink. Essas estão entre as bibliotecas mais relevantes para a Ciência da Computação. Para formular os termos de busca para a base de dados eletrônica, usamos a abordagem sugerida por Kitchenham[1]. A estratégia deriva os termos de busca a partir das questões de pesquisa usando uma composição com os operadores OR e AND. Para evitar a tendenciosidade quanto a quais comunidades de pesquisa mais atuantes no contexto desse estudo, assim como obter um tamanho real do volume das contribuições, resolvemos não adotar técnicas como *snow-balling* onde outros trabalhos relacionados podem ser encontrados a partir das referências dos trabalhos extraídos automaticamente [1].

Tabela 1. Termos de Busca utilizados para pesquisa de publicações

((“web service” OR “web services” OR “service oriented” OR “service-oriented” OR SOA OR SaaS OR PaaS OR “service orientation” OR “service-oriented computing” OR “service oriented computing” OR SOC) AND (“quality of services” OR “quality of service” OR QOS))

2.4. Critério de Inclusão e Exclusão

Para filtrar os artigos coletados, utilizamos os seguintes critérios para inclusão e exclusão. Incluímos artigos publicados em workshops, conferências e periódicos nas bibliotecas digitais, conforme descrito na Seção 2.3. Artigos considerados como *grey literature*, i.e. relatórios técnicos e *white papers*, foram excluídos. No que tange às contribuições em SOC, foram consideradas somente aquelas que lidavam com níveis de abstração acima do sistema operacional, e.g. relativas a middleware ou plataformas de distribuição. Contribuições que lidavam com SOC, mas que não lidavam com nenhum aspecto de QoS foram excluídas. Também foram excluídos artigos que poderiam ser considerados como resumos estendidos, em geral, aqueles com número de páginas igual ou inferior a cinco. Por fim, para se ter uma perspectiva mais recente do panorama atual, e para tornar o estudo viável em virtude do volume de publicações, avaliamos os artigos publicados a partir de 2009 até a data da extração. O ano foi escolhido com base no histórico numérico de publicação nos últimos cinco anos, conforme a Figura ???. Percebemos que houve um ápice no ano de 2010. Daí então resolvemos fazer uma avaliação que compreendesse um período representativo para o mapeamento.

2.5. Seleção do Estudo

Inicialmente foram feitas consultas manuais em cada uma das bibliotecas digitais mencionadas em 2.3. Verificou-se ao todo o número de 1034 publicações a serem analisadas. Para atender a esse número elevado, a coleta dos resultados de busca foi automatizada por um *crawler* capaz de se comunicar com os sítios e persistir num banco de dados local os metadados das publicações resultantes das buscas nas diferentes bibliotecas.

2.6. Extração de Dados e Análise

Dada a dificuldade de se trabalhar cooperativamente com planilhas digitais e visando uma maior eficiência e ubiquidade de trabalho, desenvolveu-se uma ferramenta de apoio capaz de facilitar a extração de dados e gerar resultados em tempo real. Esta consiste num ambiente disponível em nuvem, com interfaces disponíveis para a listagem das publicações coletadas automaticamente pelo do *crawler* ou de forma manual pela interface de registro de novas publicações.

No ambiente dessa ferramenta, cada publicação pode ser classificada por meio de interface apropriada que contém os metadados do artigo, campos de anotações e marcações dos itens de classificação definidos para o mapeamento de estudos em questão. O uso dessa ferramenta foi de grande importância para a viabilidade do MS diante da quantidade inicial de publicações coletadas. Além disso, tal ferramenta permite a realização do mapeamento de forma colaborativa onde os artigos são compartilhados entre diferentes grupos de usuários em suas respectivas sessões autenticadas.

A partir da distribuição automática de artigos para cada um dos pesquisadores, foram excluídas manualmente as publicações que não se adequaram aos critérios definidos. Tal processo, assim como a classificação, foi realizado individualmente, tendo havido frequente discussão para eliminar quaisquer dúvidas e inconsistências de interpretações quanto aos critérios de inclusão, exclusão e facetas de classificação.

Os artigos foram classificados de acordo com as categorias:

- **Contribuição:** composição, coordenação e comunicação, descoberta e seleção, ciclo de vida, monitoramento e adaptação, modelos de QoS e linguagens. As definições usadas para as facetas de contribuição são definidas conforme [?]. Em particular, a categoria *modelos de QoS e linguagens* engloba publicações que definem extensões ou novos modelos de QoS por meio de linguagens, especificações e ontologias a serem utilizadas em sistemas baseados em serviços e na definição de contratos de serviços que incluam garantias de QoS
- **Contexto:** disponibilidade, desempenho, confiabilidade, escalabilidade, segurança, SLA, custo, outros)... (EXPLICAR EM PARTICULAR SLA).
- **Pesquisa:** solução, avaliação, validação e experiência pessoal. Em particular, diferenciamos a característica *avaliação* de *validação* conforme [?]. Artigos classificados em avaliação são aqueles que Enquanto que os artigos avaliados em validação são aqueles que No entanto, vale ressaltar que artigos classificados como solução podem também serem mapeados como validação ou avaliação, caso estas façam parte da contribuição do trabalho estudado.

3. Resultados

3.1. Questão de Pesquisa 1

Qual o interesse de pesquisa da comunidade científica no tema nos últimos anos?

3.2. Questão de Pesquisa 2

Quais as áreas de SOC são mais frequentemente pesquisadas no contexto de qualidade de serviços?

Para responder a essa pergunta primeiramente identificamos as principais características de SOC. Encontramos no projeto europeu S-Cube a fundamentação mais clara para definir tais características [?] e, portanto, o adotamos como referência para definição da faceta da contribuição. Visando atender ao foco desse estudo, no entanto, adaptamos a estrutura definida no projeto S-Cube. Tal classificação buscou classificar partes relevantes de SOC que agrupassem trabalhos de pesquisa cujas áreas de contribuições sejam correlatas. A estrutura proposta foi validada a medida em as publicações puderam ser mapeadas em no mínimo um desses atributos, não havendo exceções.

A Figura ?? apresenta o diagrama ilustrando a distribuição dos artigos no eixo de SOC, a faceta da contribuição. Assim como os resultados observados nas outras facetas, vale ressaltar que os atributos mapeados não são mutualmente excludentes, mas sim complementares, visto que representam partes de SOC. Por exemplo, o artigo [?] lida com os composição, modelos de QoS & linguagens assim como monitoramento & adaptação. Existe dentre eles alguma sobreposição, notavelmente entre composição & coordenação. No entanto, notou-se que o termo coordenação tem um significado mais amplo que a própria coordenação de serviços e também envolve aspectos da comunicação entre provedores e consumidores de serviços em geral, independente de composição de serviços. Dessa forma adotamos, em conjunção a coordenação, o termo comunicação.

O resultado desse mapeamento mostra que a maior parte dos trabalhos publicados lida com monitoramento e adaptação (34.94%), seguida de modelos de QoS (33.73%), descoberta & seleção (28.11%), composição (27.31%), ciclo de vida (14.46%) e finalmente coordenação com 9.64%.

Tais resultados indicam a relevância do monitoramento e adaptação em sistemas baseados em serviços, sobretudo quando aspectos não funcionais ou de qualidade são dinâmicos e podem sofrer variações não só na camada de transporte, mas também devido ao acesso concorrente, visto que diferentes clientes podem compartilhar dos mesmos serviços, sobretudo quando a provisão desses é delegada a terceiros. Este modelo de terceirização de serviços é amplamente utilizado pela Computação em Nuvens [].

3.3. Questão de Pesquisa 3

Quais atributos de qualidade são frequentemente considerados nos estudos abordados?

Para responder a essa pergunta, olhamos a distribuição dos artigos no eixo de QoS, a faceta de contexto. A Figura ?? apresenta o diagrama ilustrando essa distribuição. Vale ressaltar que, como cada artigo pode tratar de múltiplos atributos de QoS, a soma total do número de artigos mapeados em cada um dos atributos não totalizará o número total de artigos incluídos no mapeamento. Por exemplo, o artigo [Calinescu et al. 2011b] lida com os atributos de disponibilidade, desempenho e confiabilidade.

O mapa mostra que SLA (90% dos artigos) é o que predomina, seguido de desempenho (59.2% dos artigos), disponibilidade (49.6% dos artigos) e confiabilidade (38% dos artigos). Os atributos menos observados são custo (19.6% dos artigos), segurança (16.4% dos artigos) e escalabilidade (13.2% dos artigos). Os atributos que não se enquadraram especificamente em nenhum desses foram classificados em outros (9.2% dos artigos) como aqueles que envolvem outros atributos de qualidade como, por exemplo, [Wang et al. 2011] que define um critério de seleção de serviço conforme sua reputação.

A partir desses resultados, pode-se notar que, no contexto de SOC, os termos mais relacionados a QoS são SLA, desempenho, disponibilidade e confiabilidade, com bastante ênfase em SLA. No entanto, observamos muitas vezes que os trabalhos mencionavam QoS sem explicitar qual atributo em particular estava em questão. Nesses casos, com base nas métricas utilizadas, classificamos como SLA por ser a opção mais próxima naquele contexto. Dessa forma, considerando essa classificação do SLA como possível lacuna de clareza nos trabalhos avaliados, os dados gerais nos induzem a concluir que desempenho, disponibilidade e confiabilidade são prioridade como atributos de QoS em SOC. No entanto, o mesmo não pode ser concluído para segurança, escalabilidade e custo.

3.4. Questão de Pesquisa 5

Quais são os estudos existentes que mais tem impulsionado QoS em SOC?

Identificamos quatro principais grupos de pesquisa que mais contribuíram com pesquisas em SOC no contexto de QoS. Classificamos esses grupos conforme segue:

Grupo S-Cube – Identificamos que dos quatros grupos que mais se contribuíram no âmbito desse estudo estão pesquisadores cuja afiliação está inserida direta ou indiretamente no contexto do grupo europeu S-Cube *iteSCube*. No período do nosso estudo, o grupo S-Cube contribuiu com 10 publicações relevantes para esse contexto. São os seguintes autores Schahram Dustdar (Vienna University of Technology) e Raffaella Mirandola (Politecnico di Milano) com seus colaboradores Valeria Cardellini e Emiliano Casalicchio ambos de (Università di Roma “Tor Vergata”). Em particular, percebemos que o Mirandola e seus colaboradores mais tem contribuído em pesquisas relacionadas monitoramento e adaptação no contexto de confiabilidade, disponibilidade e desempenho como pode ser percebido com as publicações [Cardellini et al. 2009b, Calinescu et al. 2011a, Ardagna and Mirandola 2010a, Cardellini et al. 2012, Cardellini et al. 2009a]. Quanto a Dustdar e seus colaboradores, tem mais contribuído em composição de serviços em ambientes dinâmicos no escopo de SLA, com destaque para o VRESCO (*Vienna Runtime Environment for Service-Oriented Computing*) [Michlmayr et al. 2010]. Em particular, uma observação na IEEE Xplore mostra que essa contribuição recebeu até o momento desse estudo, em torno de 42 citações desde Setembro de 2010.

Daniel Menasce et al. – Menascé e seus colaboradores têm tradicionalmente contribuído com pesquisas relativas a QoS, em particular no âmbito de desempenho, incluindo os diversos fóruns da área [Menascé 2004, Menascé et al. 2003, Menascé and Goma 2000, Menasce and Almeida 2001].

No período do nosso estudo, Menascé et al. contribuiu com 6 publicações e destacaram-se no contexto de SLA nas áreas de descobrimento & seleção e monitoramento & adaptação [Menasce et al. 2011][Menascé et al. 2010][?]. Em [Menasce et al. 2011], Menascé et al. contribuem com o SASSY, um arcabouço que gera automaticamente arquiteturas de software candidatas e seleciona aquela que melhor se adequa ao objetivo de QoS. Em [Menascé et al. 2010], eles apresentam um algoritmo que encontra a solução de otimização na busca de provedores de serviço, sujeito a restrições de custo tempo de execução, sem ter que explorar todo o espaço de soluções. Vale ressaltar que esse trabalho teve 39 citações até o momento desse estudo e foi realizado em cooperação com Casalicchio, que também teve colaborações com o grupo do S-Cube.

Kwei-Jay Lin et al. – O grupo de Lin (University of Irvine) tem contribuído essencialmente no contexto de SLA no âmbito de composição (dinâmica) e adaptação de serviços. Particular destaque para a contribuição [Lin et al. 2010] que lida com reconfiguração de serviços devido a falhas, com restrições de QoS fim-a-fim no contexto de SOA [?].

Jie Xu et al. - University of Leeds

3.5. Questão de Pesquisa 5

Qual o foco da contribuição de pesquisa realizada em SoC e relacionada com qualidade de serviço?

Com o intuito de responder a esta questão, foi feita uma avaliação da distribuição dos artigos em relação ao tipo de pesquisa (conforme discutido na Seção 2). Os *bubble plots* nas Figuras ?? e ?? apresentam tal distribuição, novamente sendo importante ressaltar que o número total de artigos nos gráficos é superior ao número total de artigos analisados— uma vez que alguns artigos apresentam contribuições tanto em termos de uma nova solução proposta quanto em termos de avaliação e/ou validação. Por exemplo, Huang et al. propõe um modelo estocástico para representar e raciocinar sobre dependabilidade em um ambiente de SoC, ao mesmo tempo que valida formalmente tal proposta por meio de provas de teoremas [Huang et al. 2011].

Esta investigação revelou que 21 artigos (como por exemplo [Jeong et al. 2009, Ardagna and Mirandola 2010b]) contribuem com uma nova solução para lidar com qualidade de serviço em SoC ao mesmo tempo que apresentam uma investigação tanto em termos de avaliação quanto em termos de validação. Além disso, 80 artigos são propostas de soluções que apresentam avaliações em termos de estudos de casos mais simples, não compreendendo uma validação da(s) técnica(s) proposta(s). Entre esses artigos podemos citar [Filieri et al. 2012, Pernici and Siadat 2011, Nascimento et al. 2011]. Finalmente, 27 artigos apresentam, além de uma nova solução relacionada à qualidade de serviços em SoC, uma sólida validação (e.g. [Huang et al. 2011, Schröfer et al. 2009]). Por outro lado, 102 artigos (aproximadamente 40% do total) propõem novas soluções sem apresentar avaliação ou validação consistentes ([Balfagih and Hassan 2009, Fiadeiro et al. 2011, Khazankin et al. 2011]). Enquanto que apenas 4 artigos focam na avaliação e/ou validação de propostas existentes [Voelz and Goeb 2010, Al-Moayed and Hollunder 2010, Cavallo et al. 2010, Banerjee et al. 2011].

Esses números revelam que a área de pesquisa de qualidade de serviço em SoC ainda está em uma fase de amadurecimento, onde um percentual significativo das contribuições simplesmente apresentam novas abordagens ou fazem comparações envolvendo a própria técnica proposta— o que pode levar a conclusões tendenciosas. A quantidade de artigos que visam avaliar ou validar técnicas existentes, algo recomendado antes de se iniciar a concepção de uma nova solução, é praticamente insignificante.

4. Conclusão

4.1. Threats to Validity

4.2. Discussion

Referências

- Al-Moayed, A. and Hollunder, B. (2010). Quality of service attributes in web services. In *Software Engineering Advances (ICSEA), 2010 Fifth International Conference on*, pages 367–372.
- Ardagna, D. and Mirandola, R. (2010a). Per-flow optimal service selection for web services based processes. *J. Syst. Softw.*, 83(8):1512–1523.
- Ardagna, D. and Mirandola, R. (2010b). Per-flow optimal service selection for web services based processes. *Journal of Systems and Software*, 83(8):1512 – 1523. Performance Evaluation and Optimization of Ubiquitous Computing and Networked Systems.
- Balfagih, Z. and Hassan, M. (2009). Quality model for web services from multi-stakeholders' perspective. In *Information Management and Engineering, 2009. ICIME '09. International Conference on*, pages 287 – 291.
- Banerjee, S., Srikanth, H., and Cukic, B. (2011). Challenges for creating highly dependable service based systems. In *Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing Workshops (ISORCW), 2011 14th IEEE International Symposium on*, pages 264–273.
- Calinescu, R., Grunske, L., Kwiatkowska, M., Mirandola, R., and Tamburrelli, G. (2011a). Dynamic qos management and optimization in service-based systems. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 37(3):387–409.
- Calinescu, R., Grunske, L., Kwiatkowska, M. Z., Mirandola, R., and Tamburrelli, G. (2011b). Dynamic qos management and optimization in service-based systems. *IEEE Trans. Software Eng.*, 37(3):387–409.
- Cardellini, V., Casalicchio, E., Grassi, V., Iannucci, S., Presti, F. L., and Mirandola, R. (2012). Moses: A framework for qos driven runtime adaptation of service-oriented systems. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 38:1138–1159.
- Cardellini, V., Casalicchio, E., Grassi, V., Lo Presti, F., and Mirandola, R. (2009a). Architecting dependable systems vi. chapter Towards Self-adaptation for Dependable Service-Oriented Systems, pages 24–48. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Cardellini, V., Casalicchio, E., Grassi, V., Lo Presti, F., and Mirandola, R. (2009b). Qos-driven runtime adaptation of service oriented architectures. In *Proceedings of the the 7th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering, ESEC/FSE '09*, pages 131–140, New York, NY, USA. ACM.
- Cavallo, B., Di Penta, M., and Canfora, G. (2010). An empirical comparison of methods to support qos-aware service selection. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Principles of Engineering Service-Oriented Systems, PESOS '10*, pages 64–70, New York, NY, USA. ACM.

- Fiadeiro, J. L., Lopes, A., and Bocchi, L. (2011). An abstract model of service discovery and binding. *Form. Asp. Comput.*, 23(4):433–463.
- Filieri, A., Ghezzi, C., and Tamburrelli, G. (2012). A formal approach to adaptive software: continuous assurance of non-functional requirements. *Form. Asp. Comput.*, 24(2):163–186.
- Huang, J., Lin, C., Kong, X., and Zhu, Y. (2011). Modeling and analysis of dependability attributes of service computing systems. In *Services Computing (SCC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 184–191.
- Jeong, B., Cho, H., and Lee, C. (2009). On the functional quality of service (fqos) to discover and compose interoperable web services. *Expert Syst. Appl.*, 36(3):5411–5418.
- Khazankin, R., Schall, D., and Dustdar, S. (2011). Adaptive request prioritization in dynamic service-oriented systems. In *Services Computing (SCC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 9–15.
- Lin, K.-J., Zhang, J., Zhai, Y., and Xu, B. (2010). The design and implementation of service process reconfiguration with end-to-end qos constraints in soa. *Serv. Oriented Comput. Appl.*, 4(3):157–168.
- Menasce, D., Gomaa, H., Malek, S., and Sousa, J. (2011). Sassy: A framework for self-architecting service-oriented systems. *Software, IEEE*, 28(6):78–85.
- Menascé, D. A. (2004). Performance and availability of internet data centers. *IEEE Internet Computing*, 8(3):94–96.
- Menasce, D. A. and Almeida, V. (2001). *Capacity Planning for Web Services: metrics, models, and methods*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 1st edition.
- Menascé, D. A., Almeida, V., Riedi, R. H., Ribeiro, F., Fonseca, R. C., and Jr., W. M. (2003). A hierarchical and multiscale approach to analyze e-business workloads. *Perform. Eval.*, 54(1):33–57.
- Menascé, D. A., Casalicchio, E., and Dubey, V. K. (2010). On optimal service selection in service oriented architectures. *Perform. Eval.*, 67(8):659–675.
- Menascé, D. A. and Gomaa, H. (2000). A method for design and performance modeling of client/server systems. *IEEE Trans. Software Eng.*, 26(11):1066–1085.
- Michlmayr, A., Rosenberg, F., Leitner, P., and Dustdar, S. (2010). End-to-end support for qos-aware service selection, binding, and mediation in vresco. *Services Computing, IEEE Transactions on*, 3(3):193–205.
- Nascimento, A. S., Rubira, C. M. F., and Lee, J. (2011). An spl approach for adaptive fault tolerance in soa. In *Proceedings of the 15th International Software Product Line Conference, Volume 2, SPLC '11*, pages 15:1–15:8, New York, NY, USA. ACM.
- Pernici, B. and Siadat, S. (2011). Selection of service adaptation strategies based on fuzzy logic. In *Services (SERVICES), 2011 IEEE World Congress on*, pages 99–106.
- Schröfer, C., Binshtok, M., Shimony, S., Dayan, A., Brafman, R., Offermann, P., and Holschke, O. (2009). Introducing preferences over nfps into service selection in soa. In Nitto, E. and Ripeanu, M., editors, *Service-Oriented Computing - ICSOC 2007*

Workshops, volume 4907 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 68–79. Springer Berlin Heidelberg.

Voelz, D. and Goeb, A. (2010). What is different in quality management for soa? In *Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), 2010 14th IEEE International*, pages 47 –56.

Wang, S., Sun, Q., Zou, H., and Yang, F. (2011). Reputation measure approach of web service for service selection. *Software, IET*, 5(5):466 –473.