

QoS em Sistemas de Comunicação: Desafios, Aproximações e Capacidades Desejáveis¹

Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida

Departamento de Engenharia Informática, Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra, Portugal.

{quadros, edmundo, boavida}@dei.uc.pt

Resumo

Diversas propostas têm sido feitas para suportar a construção de sistemas de comunicação capazes de fornecerem qualidade de serviço (QoS) aos seus utilizadores. O seu principal objectivo é sistematizar um conjunto de soluções para os problemas que se levantam quando é necessário garantir às aplicações, fim-a-fim, determinadas condições de desempenho.

As propostas referidas são de natureza diversa. Algumas são essencialmente conceptuais, ou seja, não estão relacionadas com nenhuma tecnologia em particular; outras, mais pragmaticamente, são incorporadas em novas tecnologias de comunicação, ou são pensadas para dotar as que já existem de capacidades de fornecimento de QoS. Por outro lado, algumas delas têm um âmbito restrito, como seja o de um determinado nível do sistema de comunicação, outras foram construídas para responder aos desafios vendo esse sistema como um todo.

Este artigo sistematiza uma parte significativa do esforço de investigação que têm sido feito pelas comunidades de investigação e normalização a trabalharem neste domínio. Compara diversas propostas, realçando parte dos problemas relacionadas com a construção de sistemas de comunicação com capacidades de fornecerem QoS. Conclui que um desafio importante merecedor de atenção, é o desenvolvimento de uma forma flexível e eficiente de medir qualidade de serviço. Por fim, e no sentido de ajudar a responder a esse desafio, apresenta uma proposta de métrica de QoS para sistemas de comunicação baseados no paradigma da comutação de pacotes, resultante do trabalho que neste domínio tem vindo a ser realizado na Universidade de Coimbra.

1. INTRODUÇÃO

Falar em qualidade de serviço é falar do desempenho das tecnologias de informação e do seu impacto em quem as utiliza. Neste artigo dirigiremos a nossa atenção especificamente para os serviços de comunicação, designadamente tecnologias dos subsistemas de comunicação e redes.

O grande desafio associado à construção de sistemas de comunicação de alto débito é uma consequência das características diversas do tráfego produzido pelas aplicações que os utilizam, que, grosso modo, podem ser divididas em *aplicações de processamento distribuído* ou *aplicações interactivas distribuídas* [1]. O tráfego isócrono produzido por aplicações multimédia, por exemplo, tem requisitos ao nível do *jitter* (variação do atraso de trânsito). O tráfego impulsivo, como seja o produzido por aplicações geradoras de vídeo comprimido, necessita de largura de banda disponível no sistema. A inter-actividade entre utilizadores humanos, implica limites

humanos, implica limites no atraso de trânsito dos dados. Por outro lado, o tráfego que tipicamente tem fluído nos sistemas de comunicação, tem rigorosos requisitos de fiabilidade.

O sistema de comunicação terá, então, de suportar convenientemente tráfego de natureza diversa. Consoante o caso, deverá disponibilizar diferentes desempenhos, ao nível, por exemplo, do atraso de trânsito, largura de banda, fiabilidade, recuperação de falhas, e tempo de estabelecimento de sessões [2]. Tal, saliente-se, utilizando tecnologias que permitam um eficiente aproveitamento dos recursos disponíveis, designadamente as baseadas em *comutação de pacotes*.

A construção de sistemas de comunicação com capacidades de fornecerem qualidade de serviço, implica a resolução de diversos problemas. Na secção seguinte é sintetizada uma comparação de diferentes modelos de QoS propostos para construir tais sistemas, e realçadas algumas características importantes que esses devem possuir. É ainda sublinhada a importância de monitorar a qualidade de serviço de facto fornecida e, nesse sentido, de conceber uma métrica de QoS. A última secção apresenta uma proposta de métrica de qualidade de serviço desenvolvida na Universidade de Coimbra.

2. COMPARAÇÃO de MODELOS DE QoS

Os modelos apresentados nesta secção são os seguintes: *ISO/IEC QoS framework* [3], *ISWG Integrated Services (IS)* [4], *QoS Architecture (QoS-A)* [5], *ATM Traffic Control and Congestion Control* [6], *modelo UC-QOS* [7], e *Tenet group QoS model* [8].

Qualquer sistema de comunicação capaz de fornecer QoS tem obviamente de providenciar uma forma das aplicações explicitarem os seus requisitos de QoS e as características do tráfego que irão gerar. Tal é feito com base no conceito de *fluxo* (de dados), geralmente definido como a produção, transmissão, e eventual consumo, de uma sequência de dados resultante de uma actividade singular e regulada por uma determinada especificação de qualidade de serviço [5]. Toda a informação que transita no sistema de comunicação é organizada em fluxos.

Um aspecto fundamental para esses sistemas é o interface através do qual o seu utilizador especifica a desejada QoS, sendo, portanto, interessante comparar a riqueza e flexibilidade do *contrato de serviço* que através dele é possível estabelecer entre a rede e o seu utilizador (o conjunto final de valores que especificam as características do tráfego a transportar e os seus requisitos de QoS). As tabelas que a seguir se apresentam sintetizam essa comparação. A tabela I sumaria o que é possível especificar através do interface com o sistema de comunicação nos diversos modelos, a tabela II, algumas importantes características dessa especificação.

¹ Trabalho apoiado pela JNICT, programa PRAXIS XXI.

Refira-se que todos os interfaces comparados situam-se no nível do transporte, exceptuando o referente ao ATM. A análise feita para o modelo IS é também uma excepção; ela refere-se a serviços que são invocados localmente em cada elemento de rede (as características do interface de transporte

dependem do protocolo utilizado para efectuar essa invocação).

Por fim, a tabela III sintetiza algumas características gerais dos modelos, através das quais é possível adquirir sensibilidade acerca do seu comportamento no que diz respeito ao fornecimento de qualidade de serviço.

	ATM 3.1	IS	QOS-A	UC-QoS	ISO/IEC	TENET RMTP	TENET CMTP
Débito	Pico Sustentado Tamanho rajada <i>CDVT</i>	Pico Sustentado Tamanho rajada	Pico Sustentado Tamanho rajada	Qq. tipo	Qq. tipo	Pico Sustentado Tamanho rajada	Pico Sustentado Tamanho rajada
Atraso	Máximo Médio	Débito & <i>Slack Term</i> Classe	Máximo	Qq. tipo	Qq. tipo	Máximo Probabilidade de violação	Máximo
<i>Jitter</i>	Máximo (referencia 1 ou 2 pontos)	Não especificado	Máximo	Qq. tipo	Qq. tipo	Máximo	Não especificado (implícit/ controlado)
Perdas	Max. % células não recebidas correctamente	Implícito ao serviço escolhido	Máximo por janela de tempo	Qq. tipo	Qq. tipo	Probabilidade devido a congestão	Granularidade Probabi. devido a congestão ou atraso Padrão de bits p/ substituição de erros
MTU ?	Não aplicável	Sim	Sim	Possível	Possível	Sim	Sim
mTU ?	Não aplicável	Sim	Não	Possível	Possível	Não	Não
Outras especs. além do acima?	Não	Não	Não	Não aplicável	Não aplicável	Não	Sim

Tabela I - Características de tráfego e de QoS especificáveis (MTU, mTU - unidade de transporte de informação de tamanho máximo e mínimo, respectivamente)

	ATM 3.1	IS	QOS-A	UC-QoS	ISO/IEC	Tenet Scheme2
Possibilidade de especificar não só valores objectivos mas tb. limites?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de explicitamente especificar requisitos estatísticos?	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de especific. acções a despoletar por degradação de QoS?	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Possibilidade de especificar o Tipo de Serviço - TS	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de especificar o TS ortogonalmente	Ñ.A.	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de negociar o Contrato de Serviço - CS	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Possibilidade de especificar a antecipação do estabelecimento do CS	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela II - Características das especificações de QoS (N.A. - não se aplica).

	ATM 3.1	IS	QOS-A	UC-QoS	ISO/IEC	Tenet Scheme2
<i>Conexões simplex e multicast</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Conexões multicast c/ QoS não uniforme possíveis?	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
QoS estabelecida dinamicamente [D], ou estaticamente [S]	S	D	D	D	D	D
Modelo implementa política de custos?	E.E.	E.E.	E.E.	E.E.	E.E.	E.E.
Modelo implementa mecanismos de segurança?	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Associação de prioridades a conexões possível?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
Métrica integrada para avaliar QoS?	Não	Não	Não	Sim	Não	Não

Tabela III - Características do sistema de comunicação relacionadas com QoS (E.E - em estudo).

Especificado o contrato de serviço, o sistema de comunicação necessita de descobrir um caminho para o fluxo - o que torna conveniente a utilização de protocolos de encaminhamento baseados em QoS -, e verificar se pode fornecer o que lhe está a ser solicitado - controlo *de admissão* - sem empenhar compromissos já assumidos (o controlo do desempenho passa a ser uma actividade *on-line* [9]). A aceitação de um fluxo de dados implica a *reserva* e atribuição dos recursos de comunicação necessários para o seu conveniente suporte. É evidente a necessidade de monitorar continuamente o desem-

continuamente o desempenho do sistema de comunicação, para evitar o seu afastamento em relação ao desejado e, ao mesmo tempo, garantir uma utilização eficiente dos recursos de comunicação - para o que é importante a possibilidade do sistema se adaptar à dinâmica diversa do tráfego que por ele circula. Também nesse sentido essa monitorização é útil, quando utilizada para apoiar o funcionamento dos mecanismos relacionados com o processamento dos fluxos, como sejam, mecanismos de *disciplinamento*, *fiscalização*, *enformação*, ou *controlo de fluxos*.

2.1 Vantagens de uma métrica de QoS

O grande problema relacionada com o processo de monitorização de qualidade de serviço é a natureza diversificada dos objectos de medição. Parece evidente a utilidade de uma métrica que permita adquirir consistentemente informação acerca da QoS fornecida pelo sistema de comunicação, em resumo, a obtenção de medidas comparáveis sobre as diferentes *características de QoS*, como sejam, largura de banda, atraso de transito, ou variação desse atraso. Essa métrica deverá cobrir diferentes pontos de vista, do funcionamento do sistema de comunicação (por exemplo: funcionamento fim a fim ou funcionamento local - de algum equipamento de comunicação) e ainda o seu funcionamento macroscópico e microscópico.

A disponibilidade de uma métrica como a referida traria inúmeras vantagens, entre as quais se destaca, sem detalhar, a possibilidade de construir uma imagem significativa acerca do funcionamento do sistema de comunicação, fundamental para suportar as decisões do seu gestor relativas ao desenho da rede, aquisição de recursos e sua configuração; o suporte directo do funcionamento dos mecanismos relacionados com o seu funcionamento, e a conseqüente possibilidade de o manter mais finamente afinado; o apoio à implementação de determinadas políticas (como por exemplo de custos), ou à realização de comparações de tecnologias neste domínio.

Na Universidade de Coimbra tem vindo a ser realizado trabalho na definição de uma métrica deste tipo, destinada a ser utilizada em sistemas de comunicação funcionando segundo o paradigma de comutação de pacotes, que transportem a informação organizada em fluxos. Na secção seguinte apresentamos os conceitos gerais da nossa proposta.

3. PROPOSTA de MÉTRICA de QoS

A métrica proposta, e que é apresentada mais detalhadamente em documento interno da Universidade de Coimbra [10], surge na sequência de trabalho antes realizado [7], e baseia-se no princípio seguinte: a qualidade de serviço fornecida por um sistema de comunicação deve ser medida de acordo com o seu impacto nos utilizadores. Essa é a forma natural de medir qualidade de serviço e estabelece um critério para uniformizar, ou normalizar, as medidas de QoS. Assim sendo, o primeiro desafio é o desenvolvimento de uma forma de avaliar o impacto nos utilizadores de variações de qualidade de serviço. A ideia, é permitir que seja o próprio utilizador a especificar essa sensibilidade (tal como já especifica outras características de QoS).

A proposta assume a existência de um contrato de serviço para cada um dos fluxos de dados suportados, através do qual o utilizador especifica, para as diferentes características de QoS, as variações aceitáveis (o valor mínimo m , máximo M , e eventualmente um valor objectivo O). Para concretizar as medições de QoS são definidas aquém do mínimo m e além do máximo M , respectivamente, *zonas de degradação* e *zonas de excesso* de QoS.

A zona de degradação é definida através das especificações do utilizador e designada limiar de degradação, l_m ou l_M (conforme a degradação aconteça para valores da característica aquém de m ou além de M). A métrica assume que a sensibilidade do utilizador a variações de uma dada característica de QoS varia linearmente desde um valor mínimo i (em m ou M) até um valor máximo I (em $m-l_m$ ou $M+l_M$), passando por um valor nulo (em O). Note-se que isso corresponde a uma aproximação da realidade, que nos parece razoável fazer, e que simplifica o processo de medição. A sensibilidade referida é quantificada através de um índice, o *índice de sensibilidade*, que voltará a ser referido mais à frente.

A figura 1 exemplifica o que foi referido. Representa a evolução do índice de sensibilidade de uma característica de QoS em função do seu valor, para o caso em que essa degradação ocorre para valores aquém de m (como acontece, por exemplo, para a característica débito). A figura explicita ainda as diversas zonas utilizadas na métrica (zona normal, de degradação e excesso de QoS).

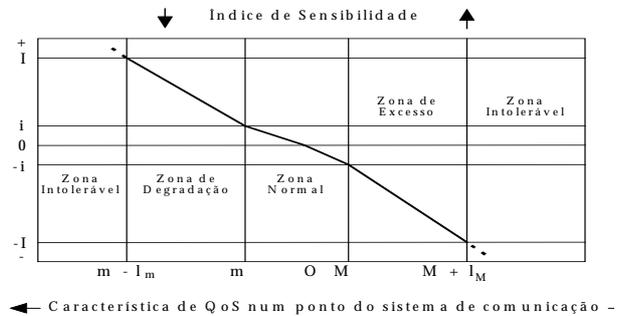


Figura 1 - Evolução do índice de sensibilidade da característica débito, nas diferentes zonas de funcionamento.

A zona de excesso de QoS permite a quantificação do impacto no sistema de comunicação de fornecimento de qualidade de serviço para além do que é necessário. Esta zona é definida a partir da zona de degradação especificada pelo utilizador. A adopção dessa estratégia resulta do facto do impacto referido estar directamente relacionado com o custo dos recursos desperdiçados, o que, por sua vez, está relacionado com a importância que eles têm para os utilizadores (reflectido na zona de degradação por eles especificada). De novo com o objectivo de não aumentar a complexidade, foi decidido estabelecer os limiares de excesso para cada característica de QoS, iguais aos limiares de degradação especificados pelo utilizador. Também neste caso parece razoável tal simplificação.

A métrica assenta em dois conceitos fundamentais. O já referido *índice de sensibilidade* (I_s), e o *índice de congestão* (I_c). Através deles quantifica-se, normalizadamente, tudo o que é passível de ser medido, no que diz respeito à qualidade de serviço. Designadamente, o desvio das características do tráfego em relação ao esperado (I_s), e a contribuição do sistema de comunicação, ou parte dele, para tal (I_c).

A medida de granularidade mais fina, ou elementar, é a que diz respeito à característica de QoS. A partir delas são cons-

construídas medidas mais abrangentes, que permitem fazer quantificações da QoS dos fluxos segundo diversas características em simultâneo (eventualmente todas).

O índice de sensibilidade pode ser calculado nos diversos pontos do sistema de comunicação. Tal implica que, a partir das especificações de QoS feitas pelo utilizador (m, M, l_m e l_M) que têm significado fim-a-fim, sejam calculados valores locais. Ou seja, é necessário calcular para cada ponto p do sistema de comunicação onde se deseja medir, e para cada característica de QoS, os valores $m_p, M_p, l_{m_p}, l_{M_p}$, para que nesses pontos seja possível calcular os correspondentes índi-

ndices de sensibilidade. A proposta de métrica responde a essa necessidade, determinando, consoante o tipo de característica de QoS em causa, a forma como tal deve ser concretizado.

O índice de congestão de uma determinada parte do sistema de comunicação, ou módulo, é determinado a partir dos índices de sensibilidade à sua entrada e saída.

A figura 2 resume os vários tipos de medidas propostos pela métrica, tendo como referência um módulo do sistema de comunicação. Em [10] pode ser encontrada uma explicação detalhada sobre essas medidas.

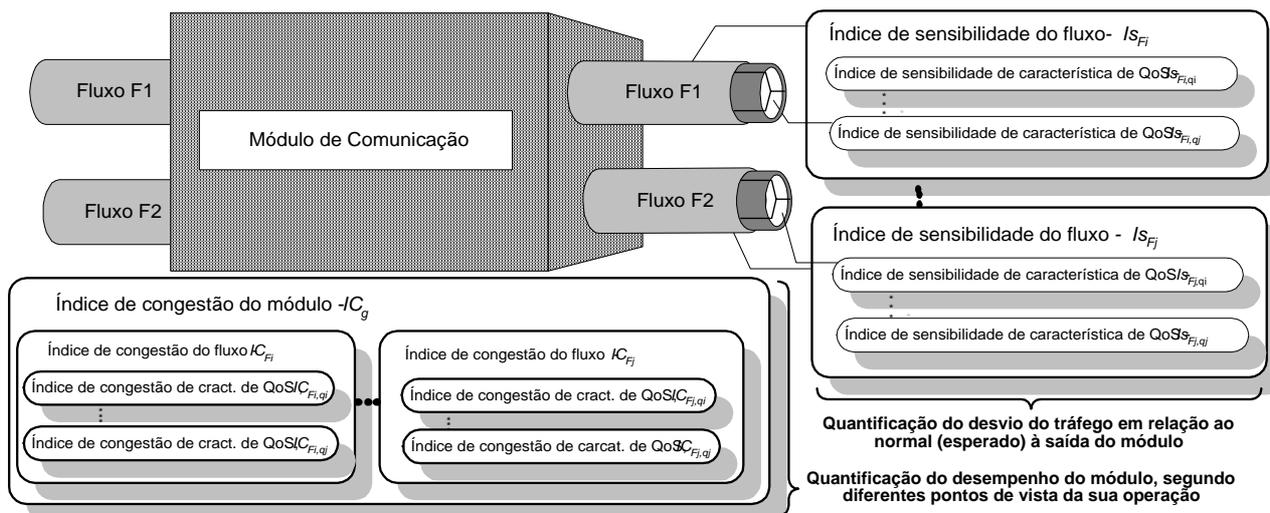


Figura 2 - Resumo dos índices associados à métrica proposta, e seu significado.

4. CONCLUSÃO e TRABALHO FUTURO

Este artigo apresenta e compara diversos modelos de qualidade de serviço propostos para dotar os sistemas de comunicação de capacidades de fornecimento de qualidade de serviço. Realça, por outro lado, algumas características fundamentais que qualquer sistema desse tipo deve possuir.

Identifica ainda, a área da monitorização de qualidade de serviço como merecedora de esforço de investigação e propõe, na expectativa de que tal é importante nesse domínio, uma métrica de QoS utilizável em sistemas de comunicação baseados no paradigma de comutação de pacotes.

Como trabalho futuro, é importante conceber a arquitectura, e implementar, um monitor que utilize a métrica proposta, para validar a proposta feita e a sua exequibilidade. A construção de um monitor a ser utilizado no modelo *Integrated Services* é um dos objectivos imediatos dos autores.

3. REFERÊNCIAS

[1] - Craig Partridge, "Gigabit Networking", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1994.
 [2] - Craig Partridge, "Protocols for high-speed networks: some questions and a few answers", *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 25, pp. 1019-1028, 1993.
 [3] - ISO/IEC JTC1/SC21 N9680, Open Systems Interconnection, data management and Open Distributed

Processing, "Information Technology - Quality of Service - Framework", Final CD, July 95.
 [4] - Bob Braden, Dave Clark, Scott Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", RFC 1633, *IETF - Networking Working Group*, May 94.
 [5] - Andrew Campbell, Geoff Coulson, David Hutchison, "Quality of Service Framework", *Computer Communication Review*, Vol. 24 (2), pp. 6-27, Abril 94.
 [6] - "ATM User Network Interface Specification, v3.1", *ATM Forum*, Sept. 94.
 [7] - Edmundo Monteiro, "Controlo de Congestão em Sistemas Intermediários de Camada de Rede", Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 95.
 [8] - Domenico Ferrari, Anindo Banerjea, Hui Zhang, "Network Support for multimedia, A discussion of the Tenet Approach", *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 26 (10), pp. 1267-1280, July 94.
 [9] - Jim Kurose, "Open Issues and Challenges in Providing Quality of Service Guarantees in High Speed Networks", *Computer Communication Review*, Vol. 23 (1), pp. 6-15, January 93.
 [10] - Gonçalo Quadros, "Métrica de QoS para Sistemas de Comunicação Baseados no Paradigma de Comutação de Pacotes", Dep. Eng^a Informática, *Draft de Relatório Técnico*, Universidade de Coimbra, Janeiro 1997.