

Encaminhamento com QoS para Redes Ad Hoc com rotas estáveis

Tiago Coelho
Centro Algoritmi
Univ. Minho, Portugal
a44048@alunos.uminho.pt

António Costa
Centro Algoritmi & DI
Univ. Minho, Portugal
costa@di.uminho.pt

Joaquim Macedo
Centro Algoritmi & DI
Univ. Minho, Portugal
macedo@di.uminho.pt

M. João Nicolau
Centro Algoritmi & DSI
Univ. Minho, Portugal
joao@dsi.uminho.pt

Resumo—Devido às características próprias das redes móveis ad hoc (*Mobile Ad hoc Network - MANET*), dotar este tipo de redes de garantias de qualidade de serviço (QoS) no tráfego fim a fim torna-se um desafio. Este artigo apresenta um protocolo de encaminhamento com QoS para redes ad hoc, que se designa por *Ad hoc QoS Multipath Routing with Route Stability (QMRS)*, que tem como objectivo suportar aplicações com requisitos de qualidade de serviço, nomeadamente requisitos no atraso fim a fim. Este protocolo tem a possibilidade de encontrar até três rotas de nós disjuntos que cumpram o requisito de QoS. Adicionalmente e com o objectivo de garantir a estabilidade do processo de encaminhamento, usa a potência de sinal das ligações entre nós vizinhos para eleger a rota mais estável, rota essa que passa a ser usada para o reenvio do tráfego. Quando se verifica a existência de rotas com uma estabilidade idêntica, dá-se preferência à rota com menor atraso fim a fim. O protocolo detém também um mecanismo de manutenção, recuperação e verificação de incumprimento do requisito de QoS nos caminhos encontrados. Os resultados obtidos na simulação realizada permitem verificar, que o protocolo QMRS implementado, reduz o atraso fim a fim e aumenta a taxa de entrega de pacotes no destino, comparativamente com protocolo Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV).

Palavras-chave—Ad hoc; QoS; Encaminhamento com QoS; Encaminhamento Ad hoc

I. INTRODUÇÃO

As redes móveis ad hoc são compostas por nós móveis que têm a capacidade de autonomamente, criar uma rede de comunicações entre eles sem assistência de um ponto de acesso, contrariamente às redes de infra-estrutura. A comunicação é sem fios e ocorre directamente entre os nós vizinhos localizados no mesmo raio de alcance. Os nós da rede são simultaneamente sistemas terminais e encaminhadores já que participam no processo de encaminhamento (multi-hop) para que os pacotes possam ser transmitidos desde a fonte até ao destino, passando por vários nós intermédios. O aumento da diversidade e capacidade dos dispositivos móveis sem fios e simultaneamente a evolução das aplicações multimédia, criou a necessidade de propor e avaliar formas deste tipo de redes oferecer garantias de Qualidade de Serviço (QoS) ao tráfego fim a fim, de forma a cumprir os requisitos de QoS solicitados por este tipo de aplicações (largura de banda, atraso fim a fim, variação do atraso, etc). Devido à mobilidade dos nós, a

topologia de rede é dinâmica e imprevisível, ocorrendo frequentes quebras nas rotas. Além disso, o meio de comunicações sem fios é partilhado entre os nós vizinhos. Estes factores levam a que o encaminhamento de tráfego com requisitos de QoS constitua um desafio ainda maior do que fazê-lo nas redes fixas.

II. TRABALHO RELACIONADO

Os protocolos de encaminhamento são normalmente classificados em duas categorias: proactivos (table-driven) ou reactivos (on-demand). Os protocolos de encaminhamento proactivos (p.e. Optimized link state routing protocol – OLSR [2]) têm como objectivo, manter a informação actualizada das tabelas de encaminhamento. Estes protocolos têm baixa latência, mas necessitam de trocar mensagens de controlo constantemente para actualizar todas as rotas entre os nós pertencentes à rede, mesmo sem que algum nó pretenda transmitir. Com a mobilidade dos nós e as limitações ao nível da energia típica dos dispositivos que utilizam este tipo de redes, estas características são vistas como possíveis limitações. Nos protocolos reactivos (p.e. Ad hoc on demand distance vector – AODV [1]) as rotas são obtidas a pedido do nó fonte, ou seja, apenas quando um nó pretende transmitir para determinado destino e não contém uma rota válida na sua tabela de encaminhamento é que se inicia o processo de descoberta de rota. Desta forma há menos tráfego de controlo a transitar na rede, permitindo assim, aos dispositivos que utilizam a rede, poupar recursos de processamento e essencialmente energia. Entre os protocolos de encaminhamento reactivos, o protocolo AODV é normalmente o mais referenciado, no entanto durante o processo de descoberta de rota apenas permite encontrar uma única rota para o destino, ou seja, quando ocorre uma quebra de ligação entre nós pertencentes a essa rota, é necessário iniciar novamente o processo de descoberta de rotas. Para colmatar este problema, de forma a diminuir a frequente necessidade de descobrir novamente uma rota para o destino, foram implementados alguns protocolos de múltiplos caminhos, por exemplo o protocolo Ad hoc on-demand multipath distance vector - AOMDV [3]. No entanto, nesta variante do protocolo AODV, as diferentes rotas alternativas que são descobertas não oferecem nenhuma garantia de qualidade de serviço.

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do Projeto: FCOMP-01-0124-FEDER-022674.

Em contrapartida, existem várias propostas de protocolos de encaminhamento para fornecer garantias de QoS em redes móveis ad hoc.

Y Hwang and P varshney propõem o protocolo designado por An Adaptive QoS Routing Protocol with Dispersity for Ad-hoc Networks (ADQR) [4], que consiste num algoritmo de descoberta de rotas que permite encontrar vários caminhos disjuntos. Com base nas informações da largura de banda obtidas durante a descoberta de rotas este protocolo procede à reserva de recursos nestes caminhos. A transmissão de dados é efectuada em todos os caminhos reservados. O protocolo ADQR monitoriza a rede na tentativa de detectar mudanças na topologia e com o objectivo de actualizar as rotas antes que as mesmas fiquem indisponíveis. Com os processos de descoberta e manutenção de rotas utilizados no protocolo, o ADQR procura melhorar significativamente o desempenho da rede e dar suporte de QoS fim a fim em redes ad-hoc. A principal desvantagem encontrada é o facto de não resolver o problema da reordenação dos pacotes, inerente ao balanceamento do tráfego pelos vários caminhos. Além disso, para processar o pedido de rota, o mecanismo de encaminhamento proposto, necessita de armazenar em cada nó as informações de estado da topologia da rede. Por outro lado, a monitorização proactiva necessária para o seu funcionamento dá origem a uma sobrecarga de pacotes de controlo na rede, que pode ser excessiva.

Qi Xue e Aura Ganz propõem o protocolo AQOR [7]. É um protocolo de encaminhamento com QoS baseado no AODV com reserva de recursos. O protocolo para fornecer QoS incorpora as seguintes características: estimativa da largura de banda disponível e medição do atraso fim-a-fim, reserva da largura de banda e recuperação de rota. Para não ter que lidar com a libertação dos recursos reservados em cada nó da rede quando ocorre uma quebra de ligação, a reserva dos recursos é efectuada apenas temporariamente. O processo de recuperação de rota inclui, a detecção de quebra de ligações, verificação de incumprimento de QoS e recuperação de rota no destino.

Nityananda Sarma e Sukumar Nandi [6] propõem o protocolo SMQR para redes ad hoc. Este protocolo possibilita encontrar múltiplas rotas de nós disjuntos com maior estabilidade. Permite obter rotas que cumpram os requisitos de atraso fim a fim máximo e taxa de transferência efectiva mínima, para dar suporte de QoS a aplicações de tempo real nas redes móveis ad hoc. Segundo os autores, os resultados obtidos na simulação, indicaram melhorias comparativamente ao protocolo AODV em termos de taxa de entrega de pacotes, atraso médio fim-a-fim, variação no atraso máximo e taxa de transferência efectiva.

Shun Liu e Jian Liu propõem o protocolo DMSR [8]. É um protocolo de encaminhamento de múltiplos caminhos, que utiliza o atraso fim a fim para fornecer suporte de QoS a aplicações multimédia de tempo real em redes ad hoc. O protocolo obtém a informação local e realiza o cálculo do atraso verificado no nó, utilizando-o como métrica para selecção do caminho. A métrica tem em conta o número de nós vizinhos dos nós de encaminhamento, o tempo de contenção e o número de pacotes na fila de espera. O protocolo DMSR

pretende desta forma reduzir o atraso fim a fim e atender aos requisitos de serviço de aplicações multimédia em tempo real.

III. AD HOC QoS ON-DEMAND MULTIPATH ROUTING WITH ROUTE STABILITY

Nesta secção, descreve-se o protocolo Ad hoc QoS On-Demand Multipath Routing with Route Stability (QMRS) proposto. Este protocolo é um protocolo de encaminhamento reactivo. Inicialmente foi baseado no protocolo AODV, onde foram implementadas as alterações necessárias para o modificar de forma a torna-lo um protocolo de encaminhamento de múltiplos caminhos, tendo-se depois procedido à implementação final do protocolo proposto, de forma a atender aos requisitos de QoS sem comprometer a estabilidade do processo de encaminhamento.

O protocolo QMRS possibilita a descoberta de até três rotas de nós disjuntos que cumpram o requisito de atraso fim a fim. Entre as rotas encontradas é seleccionada a rota mais estável para iniciar a transmissão no nó fonte para o destino, ficando as restantes como rotas alternativas, desta forma pretende-se diminuir a possibilidade de uma quebra de rota durante a transmissão. Apenas no caso de serem encontradas rotas com uma estabilidade idêntica é seleccionada a rota com menor atraso fim a fim.

A descoberta de múltiplas rotas de nós disjuntos alternativas permite que, quando se verifica uma falha na rota principal devido à movimentação de algum nó pertencente a esta, o nó fonte reaja à notificação dessa quebra, procedendo à comutação para uma rota alternativa. A probabilidade de existir uma rota alternativa válida é elevada graças ao algoritmo utilizado para a descoberta de rotas. Este algoritmo considera como rotas alternativas apenas aquelas em que entre a fonte e o destino não existe um mesmo nó intermédio. Se os caminhos encontrados fossem de ligações não disjuntas, com a movimentação de apenas um nó poder-se-iam quebrar logo todas as rotas alternativas entre a fonte e o destino, tendo o nó fonte que iniciar novamente o processo de descoberta de rota. Neste sentido, com a solução proposta, diminui-se o tráfego de controlo na rede e verifica-se um menor atraso fim a fim, durante a transmissão do fluxo de dados. A Figura 1 ilustra o conceito de rotas disjuntas. Com a topologia apresentada, durante o processo de descoberta de rotas, seria possível obter três caminhos de nós disjuntos (fonte-A-D-destino; fonte-B-destino; fonte-C-E-destino), ou seja, o mesmo nó intermédio só poderá pertencer a um dos caminhos entre a fonte e o destino, nunca poderá pertencer a outro dos caminhos encontrados e armazenados na tabela de encaminhamento.

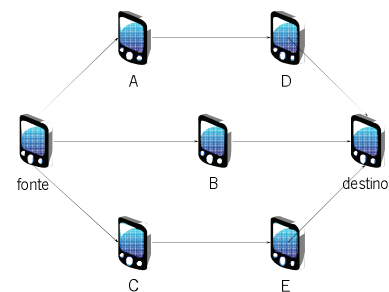


Figura 1 - Caminhos de nós disjuntos

Uma vez descobertas as rotas de nós disjuntos entre a fonte e o destino que cumpram o requisito de QoS, o QMRS utiliza, a potência de sinal recebido para determinar a rota mais estável e o atraso fim a fim em caso de empate, para seleccionar a melhor rota para transmissão. Sobre todos caminhos encontrados entre o nó fonte e o destino, é realizado o mecanismo de manutenção de rotas, que verifica periodicamente se o cumprimento de QoS se mantém, assim como, efectua uma actualização da potência do sinal mínima do caminho e do atraso fim a fim. Com base na actualização das métricas, poderá ocorrer uma comutação de rota. Com os mecanismos utilizados o protocolo proposto possibilita assim efectuar uma transmissão de dados eficiente oferecendo garantias de QoS.

A. Manutenção da informação de estado entre vizinhos

Entre os nós da rede localizados dentro do alcance de transmissão, ocorrem trocas periódicas de mensagens “Hello” que indicam que os vizinhos estão disponíveis e acessíveis (no seu raio de alcance), informação essa que é necessária para o procedimento de descoberta e manutenção das rotas. Para além da acessibilidade, através das mensagens “Hello” é mantida a informação para cada vizinho da potência do sinal recebido e do atraso ocorrido (desde que o pacote é colocado na fila de espera do vizinho até que chega ao respectivo nó e que inclui o tempo gasto na fila de espera, o tempo de contenção no acesso ao meio, o tempo de transmissão e o tempo de propagação). Isto é necessário para manter os valores das métricas actualizadas e dar possibilidade aos nós intermédios de responder aos pedidos de rota por parte de uma fonte em que o destino é um dos seus vizinhos. A troca das mensagens de “Hello” é periódica e no caso de não ser recebida uma mensagem de um vizinho durante um determinado intervalo de tempo é desencadeado o processo de recuperação de rota. A potência do sinal na recepção é obtida directamente na camada física através de uma interacção cross-layer.

B. Descoberta de Rota

O processo de descoberta de rotas foi implementado com base no protocolo AODV. Foi necessário efectuar alterações significativas ao algoritmo e introduzir mecanismos adicionais, para permitir a descoberta de múltiplos caminhos de nós disjuntos que cumpram determinado requisito de atraso fim a fim máximo. Além disso para cada caminho encontrado o algoritmo do QMRS determina a potência de sinal (métrica côncava que resulta do cálculo do mínimo valor da potência de sinal recebido nas várias ligações que constituem o caminho), e o atraso fim a fim (métrica aditiva que resulta do somatório de todos os atrasos obtidos nas diferentes ligações e nós que constituem o caminho).

Um nó da rede quando pretende transmitir para determinado destino e não contém na sua tabela de encaminhamento uma rota válida para o mesmo, terá de iniciar o processo de descoberta de rotas. Este processo consiste no envio de um pacote Route Request (RREQ) em *broadcast* para os nós vizinhos, pacote esse que contém a informação do nó fonte (*Origin Address, sequence number*) e a informação do nó destino (*dst Address, dst sequence number*). O campo designado por *sequence number* diz respeito a um número inteiro que vai sendo incrementado, para permitir durante a

descoberta de rota verificar se a informação relativa a determinado nó contida na tabela de encaminhamento está actualizada ou já está obsoleta, em relação à informação que o nó que fez o envio do pacote detém sobre esse mesmo nó. Os campos mencionados, juntamente com o campo request ID e o endereço IP são essenciais para permitir distinguir pedidos sucessivos e evitar ciclos no encaminhamento. A Tabela I e Tabela II apresentam a estrutura dos pacotes RREQ e Route Reply (RREP).

TABELA I - RREQ

RREQ ID
Destination IP Address
Destination Sequence Number
Originator IP Address
Originator Sequence Number
hopCount
firstHop
RxSSPath
delayAcc
delayPath
delayReq

TABELA II - RREP

Destination IP Address
Destination Sequence Number
Originator IP Address
hopCount
firstHop
RxSSPath
RxSSPathToDst
delayPath
delayReq

Os nós vizinhos ao receberem o RREQ, incrementam o campo do pacote de número de saltos (hopCount) e inserem o seu endereço IP num campo designado de firstHop, este campo é utilizado para verificar se o caminho encontrado é de nós disjuntos. No caso de o nó não conter uma rota para o destino, retransmite o pacote em *broadcast*. Desta forma sempre que um nó recebe o pacote RREQ pela primeira vez (verificado pelo campo request ID e Origin Address, campos que permitem identificar unicamente o pacote) e não contém informação de rota para o destino, retransmite o pacote que é assim difundido pela rede até chegar ao nó destino, ou então a um nó intermédio que possua uma rota válida para esse destino. A rota só é considerada válida, no caso de o nó intermédio conter na sua tabela de encaminhamento uma rota com um *dst sequence number* igual ou superior ao contido na mensagem RREQ recebida. No caso de ser um nó intermédio a responder ao pedido do nó fonte, terá de enviar um pacote designado por *gratuitous Route Reply* para informar o destino da rota para o nó fonte.

Os nós intermédios ao receberem um pacote RREQ verificam se o *sequence number* do nó fonte contido no pacote é superior ou igual ao da tabela de encaminhamento. No caso de ser igual, além de ser verificado se o caminho é de nós disjuntos, também é verificado se o número de rotas contidas na tabela é inferior a três (o protocolo armazena no máximo até três caminhos de nós disjuntos). Após serem executadas estas verificações, é criada ou actualizada a entrada na tabela de encaminhamento referente à rota para o nó fonte. Após a retransmissão do pacote RREQ, o nó intermédio fica um período de tempo à espera de receber uma resposta ao pedido efectuado, ou seja, espera pela recepção de um pacote Route Reply (RREP) para validar a rota para o destino. No caso de o *sequence number* do nó fonte contido do pacote RREQ ser superior ao da tabela, as rotas para o nó fonte são removidas, e é inserida na tabela de encaminhamento a nova rota encontrada.

Durante a descoberta de rota, é utilizado um mecanismo de controlo de admissão, sempre que se verifique o não cumprimento do atraso fim a fim máximo requisitado pela aplicação (delayReq), ou seja o pacote é descartado, permitindo encontrar outras rotas que cumpram o requisito de QoS.

Para verificar se o requisito de QoS está a ser cumprido durante a descoberta de rota, um nó ao receber o pacote RREQ, calcula o atraso que ocorre no nó e acrescenta-o ao atraso acumulado até ao momento contido no pacote RREQ (delayAcc), efectua-se depois a comparação entre o atraso acumulado e o atraso fim a fim máximo requisitado, em que o atraso acumulado terá de ser inferior ao atraso requisitado (delayAcc < delayReq). Sempre que não se verifique esta condição de controlo, o pacote é descartado.

No caso de o caminho percorrido até ao momento cumprir o requisito de QoS, são colocados no pacote RREQ a informação sobre o atraso acumulado (delayAcc) e a potência do sinal recebido mínima (RxSSPath) do caminho até ao momento. A potência do sinal é uma métrica côncava, obtida directamente da camada física, através de uma interacção cross-layer. O valor obtido da potência do sinal na recepção no nó (RxSSPath) é comparado com o valor contido no pacote RREQ, apenas no caso em que o valor lido seja inferior ao contido no pacote, é que se altera o campo RxSSPath do pacote RREQ por esse valor lido, caso contrário mantém-se o valor previamente existente no pacote RREQ da potência do sinal na recepção mínima do caminho percorrido até ao momento (1). Com a informação das métricas actualizadas o pacote RREQ é retransmitido em *broadcast*, para continuar a procura de uma rota para o destino.

$$RREQ.RxSSPath = \min(RREQ.RxSSPath, RxSSRead) \quad (1)$$

A resposta ao pedido de rota, quer seja feita no nó destino, ou por um nó intermédio que detém uma rota válida para o mesmo, a informação contida no pacote RREQ, actualizada no nó durante a sua retransmissão nos nós intermédios no caminho percorrido, contém no final, a informação do atraso fim a fim (delayPath) e a potência do sinal recebido mínima (RxSSPath) do caminho encontrado. Essa informação vai contida na resposta (pacote RREP) directamente em *unicast* para o nó fonte pelo percurso inverso ao percorrido pelo pacote RREQ recebido. Desta forma, os nós intermédios validam a

entrada da tabela de encaminhamento para o nó destino, e retransmitem o pacote RREP para o nó fonte. A informação do atraso fim a fim e da potência do sinal recebido mínima, é também inserida no caminho encontrado e validado nos nós intermédios para o nó destino, desta forma se estes nós receberem algum pedido de rota de outro nó fonte para esse destino, podem verificar se o atraso fim a fim pode ser cumprido, assim como informar da estabilidade deste caminho.

C. Seleção do caminho

Entre os caminhos encontrados de nós disjuntos que cumpriram o requisito do atraso fim a fim, com a informação da estabilidade de cada caminho, baseada na potência do sinal recebido mínima de cada caminho, é eleita a rota mais estável para transmissão. Apenas quando é verificada a existência de caminhos com uma estabilidade idêntica, dá-se preferência ao caminho com menor atraso fim a fim.

D. Manutenção das Rotas

A topologia neste tipo de redes é dinâmica e imprevisível, com a frequente mobilidade dos nós, podem ocorrer a qualquer momento quebras nos caminhos encontrados.

Após a descoberta de rota desencadeada pelo nó fonte, todos os nós pertencentes a este caminho, armazenam na sua tabela de encaminhamento a respectiva informação das rotas para o nó fonte e destino. Quando um nó intermédio pertencente à rota, verifique que o nó de próximo salto utilizado para atingir o destino já não se encontra no seu alcance de transmissão, ou seja, detecta a quebra de ligação para o nó vizinho, terá de enviar um pacote Route Error (RERR) de forma a notificar o nó fonte, que aquele nó utilizado para atingir determinado destino ficou indisponível. Este pacote percorre os nós intermédios utilizados neste caminho, que fazem a remoção da entrada da tabela de encaminhamento para o destino que utiliza como próximo salto o nó de quem enviou o RERR, e depois retransmite-o para que este possa chegar ao nó fonte. O nó fonte ao receber o pacote RERR remove também da sua tabela de encaminhamento a rota correspondente, e caso esta rota esteja definida como rota principal, caso existam rotas alternativas, procede à comutação para a rota alternativa mais estável entre as existentes. Se não existir nenhuma rota alternativa terá de iniciar o processo de descoberta de rota. Caso a notificação de quebra de ligação seja sobre uma rota alternativa, apenas é realizada a remoção dessa entrada da tabela de encaminhamento, mantendo-se a rota principal para transmissão.

Nos caminhos encontrados durante o processo de descoberta de rota, executa-se uma verificação de incumprimento do requisito de QoS. São utilizados os pacotes InspectPath e ReplyInspectPath, transmitidos por esses caminhos, de forma a verificar se o requisito de atraso fim a fim continua a ser cumprido. O procedimento utilizado para esta verificação é semelhante à utilizada no processo de descoberta de rota, em que é verificado se o atraso acumulado é inferior ao atraso fim a fim requisitado durante a retransmissão do pacote nó a nó. Quando é verificado que o requisito de QoS não está a ser cumprido, é enviado um pacote RERR para notificar o nó fonte que aquele caminho não poderá ser utilizado, visto que não cumpre o requisito de atraso fim a fim. Os nós intermédios na recepção do pacote RERR, executam o

procedimento anteriormente descrito na recepção deste tipo de pacotes, fazem a remoção da entrada na tabela de encaminhamento para o destino que utilize como próximo salto o nó que enviou o pacote e retransmitem-no. Durante o encaminhamento dos pacotes InspectPath nó a nó ao percorrerem os caminhos encontrados durante a descoberta de rota, é realizada também a actualização das métricas utilizadas para seleccionar a rota principal, do atraso fim a fim e a potência do sinal mínima de cada caminho.

IV. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta secção, são apresentados os resultados das simulações realizadas ao protocolo QMRS. Foi utilizado o simulador NS-3 [9] para implementação e realização dos testes ao protocolo proposto.

Para a realização dos testes e análise do desempenho ao protocolo proposto, utilizou-se o protocolo AODV incluído no simulador, para servir de referência para uma comparação dos resultados obtidos com os mesmos parâmetros de simulação, de forma a verificar o desempenho do protocolo em relação ao atraso fim a fim, taxa de transferência efectiva e a taxa de pacotes entregues no destino.

A. Simulação

De forma a obter resultados fiáveis, realizaram-se 60 simulações para cada um dos protocolos, sendo apresentados os resultados nos gráficos seguintes (Figura 2,3 e 4) em que se indica para cada velocidade, a média e o intervalo de confiança de 95% correspondente. A simulação efectuada consistiu em dispor 80 nós de forma aleatória e com uma movimentação aleatória, utilizando o modelo de mobilidade random waypoint. Os nós deslocam-se a velocidades máximas entre 0 e 10m/s, num local com uma dimensão de 600m x 1500m. Todos os nós da rede têm um alcance de transmissão de 160m. A Tabela III indica os parâmetros utilizados nas simulações realizadas.

Durante o tempo de simulação de 200s, são transmitidos no total 15 fluxos de dados, em que são seleccionados aleatoriamente o nó fonte e o destino. É usado o protocolo UDP para gerar tráfego Constant Bit Rate (CBR), os pacotes de dados foram definidos com um tamanho de 64bytes e são transmitidos a uma taxa de transferência de 2Kbps.

TABELA III - PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Parâmetros	Valor
Dimensão	600m x 1500m
Número de nós	80
Modelo de Mobilidade	Random Waypoint
Posição dos nós	Aleatório
Alcance transmissão	160m
Tipo de tráfego	Constant Bit Rate (CBR)
Tamanho dos pacotes	64 bytes
Número de fluxos	15
Taxa de transmissão	2Kbps
Especificações Wifi	IEEE 802.11b, freq. 2.4Ghz Taxa de transf. até 2Mbps
Tempo de simulação (s)	200

B. Análise dos resultados

Para verificar o desempenho dos protocolos, são utilizadas como meio de comparação as métricas de atraso fim a fim, taxa

de entrega de pacotes no destino e a taxa de transferência efectiva.

1) Atraso fim a fim

Relativamente ao atraso médio verificado durante a transmissão dos fluxos de dados entre a fonte e o destino, pode-se constatar ao analisar a Figura 2, para as velocidades máximas entre 0 e 10m/s apresentadas, o protocolo proposto consegue dar garantias do requisito de atraso fim a fim para os vários fluxos transmitidos, pode-se observar um atraso fim a fim médio entre 0 e 250 milissegundos. Enquanto para o protocolo AODV, verifica-se um atraso médio muito superior durante a transmissão dos pacotes até ao nó destino. Como anteriormente descrito, o protocolo AODV não oferece quaisquer garantias de qualidade de serviço, em que o caminho usado na transmissão poderá estar congestionado, com o acréscimo de ter de iniciar o processo de descoberta de rota sempre que ocorre uma falha numa ligação entre nós pertencentes à rota usada para transmitir, verifica-se desta forma nos resultados obtidos apresentados na Figura2 um atraso significativo nos pacotes até serem entregues no destino. Enquanto com as garantias que o protocolo QMRS oferece, os caminhos encontrados e utilizados na transmissão dos dados, são caminhos pouco congestionados que cumprem o atraso requisitado, com um número menor de quebra de rotas, uma recuperação de rota mais rápida e os mecanismos de manutenção de rotas e verificação de incumprimento de QoS utilizados, permitem obter um atraso fim a fim significativamente inferior ao protocolo AODV.

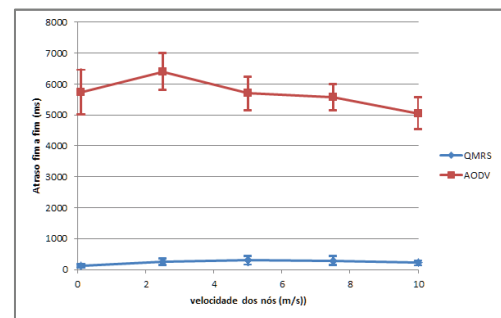


Figura 2 - Atraso fim a fim

2) Taxa de Entrega de Pacotes e Taxa de Transferência

Pode-se observar na Figura 3, durante as simulações realizadas para as diferentes velocidades máximas entre 0 e 10 m/s que a taxa de entrega de pacotes no destino no protocolo QMRS mantém-se entre os 70% e 80%, verificando-se para o protocolo AODV taxas de entrega de pacotes muito inferiores, entre os 10% e 20%.

Relativamente à taxa de transferência efectiva, pode-se observar na Figura 4 quanto aos resultados obtidos nas simulações realizadas, que a média da quantidade de dados transferidos entre a fonte e o destino, para o protocolo QMRS para as velocidades máximas entre 0 e 10m/s apresentadas, mantém-se nos 2Kbps, enquanto para o protocolo AODV verificam-se valores inferiores a 1Kbps.

O protocolo proposto, que tem por objectivo garantir a estabilidade do processo de encaminhamento, na selecção que faz da rota para transmissão com ligações estáveis entre os nós, e com o mecanismo de descoberta de rota utilizado, que verifica o cumprimento do requisito de atraso fim a fim, os nós que constituírem o caminho durante a transmissão, serão nós da rede com filas de espera pouco congestionadas. O inverso é verificado no protocolo AODV, como apenas possibilita a descoberta de uma rota, não sendo realizada qualquer verificação durante a sua descoberta ou manutenção, o caminho utilizado poderá conter ligações de tal forma congestionadas, que os nós não conseguem ter acesso ao meio e encaminhar os pacotes todos, ocorrendo congestão nas filas de espera, que ao atingir a capacidade máxima, grande parte dos pacotes acabam por ser descartados, originando os resultados observados na Figura 2 para as diferentes velocidades máximas entre 0 e 10 m/s, de taxas de entrega no destino entre 10% e 20%, e na Figura 3 de taxas de transferência efectiva inferiores a 1Kbps.

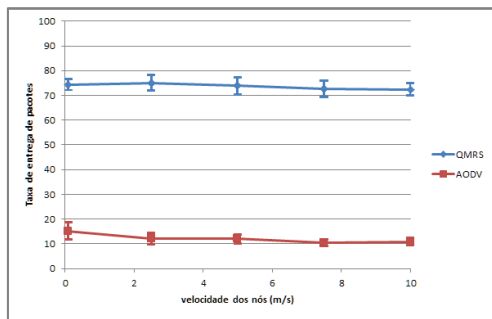


Figura 3 - Taxa de entrega de pacotes no destino

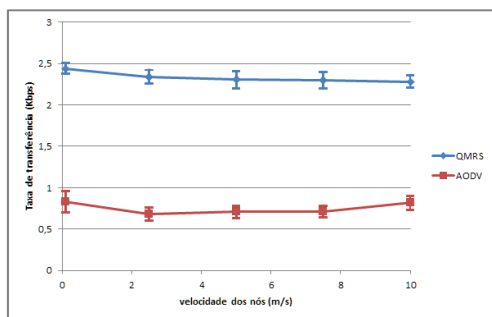


Figura 4 - Taxa de transferência efectiva

3) Conclusão da Análise dos resultados

O protocolo QMRS, com os mecanismos existentes de descoberta, manutenção, recuperação de rotas e verificação de incumprimento do requisito de QoS nos caminhos encontrados. Permite aumentar a probabilidade de seleccionar rotas para transmissão que se prolonguem por mais tempo disponíveis. Com a selecção da rota mais estável e que cumpra o requisito do atraso fim a fim, o caminho utilizado para transmissão conterá nós da rede com as suas filas de espera e ligações menos congestionadas. Com o mecanismo de recuperação de

rota rápida, que efectua a comutação para uma rota alternativa sempre que se verifique o incumprimento do requisito de QoS, ou sempre que é detectada uma quebra no caminho principal. O protocolo proposto consegue obter, segundo os resultados apresentados, um desempenho superior comparativamente ao protocolo AODV e oferecer garantias de QoS.

V. CONCLUSÃO

O protocolo proposto, Ad hoc QoS Multipath Routing with Route Stability (QMRS) tenta dar suporte a aplicações com requisitos de qualidade de serviço nas redes móveis ad hoc, nomeadamente requisitos no atraso fim a fim.

Este protocolo possibilita encontrar múltiplos caminhos de nós disjuntos que cumpram o requisito de QoS, durante o processo de descoberta de rota e durante o mecanismo de manutenção das rotas, que verifica a estabilidade de cada caminho, e ao seleccionar para transmissão o caminho mais estável entre os existentes, permite assim, reduzir o numero de falhas nas rotas principais usadas para transmissão, e no caso de se verificar que o caminho principal deixe de ser executável, permite efectuar uma rápida recuperação de rota, através da comutação para um caminho alternativo, não sendo necessário iniciar novamente o processo de descoberta de rota.

O protocolo QMRS com os mecanismos existentes de descoberta, manutenção, recuperação de rotas e verificação de incumprimento do requisito de QoS nos caminhos encontrados, segundo as simulações realizadas, permitem ao protocolo proposto, obter resultados com melhorias significativas, comparativamente ao protocolo Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV), no que diz respeito ao atraso fim a fim, taxa de entrega de pacotes no destino e taxa de transferência efectiva.

REFERÊNCIAS

- [1] Perkins, Charles, E. Belding-Royer, and Samir Das. "Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing (RFC 3561)." IETF MANET Working Group (August. 2003) (2003).
- [2] Clausen, Thomas, et al. "Optimized link state routing protocol (OLSR)." (2003).
- [3] Marina, Mahesh K., and Samir R. Das. "Ad hoc on-demand multipath distance vector routing." ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review 6.3 (2002).
- [4] Y Hwang and P varshney, An Adaptive QoS Routing Protocol with Dispersy for Ad-hoc Networks, proc of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03), 2003
- [5] X. Li and L. Cuthbert, " Multipath QoS routing of supporting Diffserv in Mobile Ad hoc Networks," Proc. of SNPD/SAWN.'05,2005.
- [6] N. Sarma, S. Nandi, "A Route Stability based Multipath QoS Routing (SMQR) in MANETs," First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008
- [7] Qi Xue, Aura Ganz, Ad hoc QoS on-demand routing (AQOR) in mobile ad hoc networks, Journal of Parallel and Distributed Computing, Volume 63, Issue 2, February 2003
- [8] Liu, Shun, and Jian Liu. "Delay-aware multipath source routing protocol to providing QoS support for wireless ad hoc networks." Communication Technology (ICCT), 2010 12th IEEE International Conference on. IEEE, 2010.
- [9] NS-3, <http://www.nsnam.org/>