

Avaliação de Desempenho em Canal de Retorno de TV Digital baseado em Redes Mesh IEEE 802.11

Samuel C. M. Neves, Edson M. da Silva
PPGEE – UFPa
{samuel.neves, edson.marques}@ifpa.edu.br

Dr. Raimundo Viégas Jr
PPGCC – UFPa
rviegas@ufpa.br

Resumo— O Sistema Brasileiro de TV Digital faz uso de um canal de retorno para o envio de informações do usuário para a emissora de TV. A escolha desse canal de retorno é muito importante para a implementação de soluções interativas funcionais, devendo adequar-se à região e aproveitar-se da infraestrutura favorável a determinada tecnologia de acesso. Nesse contexto, as redes *Wi-Fi* destacam-se pelo seu baixo custo e fácil escalabilidade. Por isso neste trabalho é feita uma análise do uso da tecnologia IEEE 802.11 em topologia *mesh* como infraestrutura para canal de retorno levando-se em consideração os protocolos de roteamento utilizados e seu desempenho quanto à qualidade de serviço.

I. INTRODUÇÃO

As facilidades proporcionadas pela informática, principalmente após o advento da Internet, ajudaram a popularizar o acesso à informação. No entanto, uma parcela significativa da população ainda encontra-se à margem desse processo devido à dificuldades de acesso aos meios de comunicação digital. Verifica-se também que uma quantidade expressiva de domicílios brasileiros possui aparelho televisor [9]. Com base nesses indicadores, o Projeto do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) vem buscando a democratização da informação por meio do acesso à tecnologia digital através da TV [3].

Nesse contexto, é fundamental o provimento de interatividade entre os usuários do SBTVD e um sistema que permita o fornecimento de serviços e aplicações, ou seja, um sistema em que cada usuário possa interagir individualmente, encaminhando ou recebendo informações e solicitações às emissoras. Assim, surge o conceito de Canal de Interatividade, que é a denominação para o sistema constituído pela conexão entre as redes de telecomunicações da televisão e da Internet [2].

A interatividade pode ocorrer em diferentes níveis. Na interatividade local, o conteúdo é transmitido para usuário final de uma só vez. Nesse ponto o usuário pode interagir livremente com o conteúdo que fica armazenado em seu receptor. Outro nível de interatividade é a interatividade plena, onde o telespectador poderá emitir sua opinião através, por exemplo, de enquetes e votações. Outra possibilidade é o comércio através da TV, bem como aplicações bancárias. O canal de interatividade pode ser dedicado ou não, sendo que o mesmo deve ser definido possibilitando que as informações cheguem com segurança até às emissoras [1].

Esse trabalho propõe o estabelecimento de um canal de interatividade via redes *mesh* sem fio, baseado no padrão 802.11, como alternativa às regiões onde não há estrutura cabeada. Para tanto, é utilizado o simulador de redes *Network Simulator* (NS-2) [11], para avaliar os impactos da utilização de protocolos de roteamento na qualidade de

serviço do tráfego, de modo a medir o desempenho desta tecnologia, através do uso de modelos de geração de tráfego que consideram aplicações que enviam dados, voz e vídeo, simulando um nível de interatividade para o usuário da rede *mesh* sem fio como solução de canal de retorno de TV digital.

O trabalho está organizado como descrito a seguir. Na seção II é apresentada a fundamentação teórica necessária para o entendimento do problema contextualizado, onde serão abordados conceitos do canal de interatividade, redes *mesh* e protocolos de roteamento para redes *mesh*. Na seção III é feita a descrição das simulações realizadas neste trabalho, bem como apresentado o cenário onde tais simulações foram realizadas. Na seção IV são apresentados os resultados obtidos a partir dos dados gerados pelas simulações. Na seção V são feitas as considerações finais, bem como direcionamentos a trabalhos futuros.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. O Canal de Interatividade

Conforme ilustrado na Figura 1, a comunicação das emissoras de TV para os usuários é estabelecida pelo chamado canal de descida, constituído pelos canais de radiodifusão, ocorrendo na maioria das vezes por meio de uma comunicação em *broadcast* aberta e disponível a todos os usuários. Ainda conforme a Figura 1, para que o usuário consiga fazer o envio de informações às emissoras, é necessário um canal de retorno, também chamado de canal de interatividade, composto por alguma tecnologia de redes de acesso que permita a comunicação entre usuários do SBTVD e as emissoras ou outro provedor de informações e serviços [7]. O equipamento responsável pela recepção do sinal da emissora pelo canal de difusão e pela interatividade do usuário com a emissora é designado como *set-top box*. Nele as funções de nó de rede devem ser implementadas. Daí a importância da correta modelagem do canal de retorno, pois dependendo das aplicações a serem utilizadas no processo de interatividade, diferentes requisitos devem ser levados em consideração na implementação desse canal, já que as aplicações de rede possuem requisitos variáveis de banda passante, latência e confiabilidade [6].

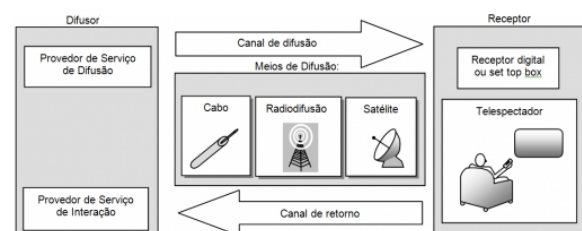


Figura 1. Esquema do canal de retorno [5].

B. Redes Mesh.

Dentre as diversas tecnologias de rede de acesso que podem ser utilizadas no canal de retorno [7], as redes *mesh*, ou *Wireless Mesh Networks* (WMN), tem ganhado importância, pois disponibilizam uma tecnologia que proporciona longa duração de conectividade de rede em qualquer lugar, a qualquer momento, com simplicidade e baixo custo [1]. Desta maneira, desempenha um papel importante dentro da próxima geração da Internet. As WMN são um caso especial de redes *ad hoc*, onde os nós tem posições fixas e se comunicam com a Internet através de um ou mais *gateways* [2]. A Figura 2 mostra a estrutura da rede *mesh* sem fio utilizada neste trabalho para provimento do canal de retorno, onde cada nó opera não só como um *host*, mas também como um roteador, encaminhando os pacotes em nome de outros nós que podem não estar dentro do alcance direto de transmissão sem fio de seus destinos. É mostrado, ainda, o *gateway*, que tem a função de receber os dados de todos os nós da rede *mesh* e encaminhá-los através da rede pública de telecomunicações.

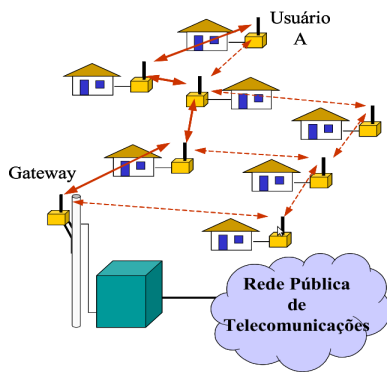


Figura 2. Exemplo de Rede Mesh sem fio [2].

C. Protocolos de Roteamento em Redes sem fio.

Para prover uma comunicação dentro de uma rede *mesh*, onde os nós constituintes têm características simultâneas de *host* e roteador, o uso de um protocolo de roteamento é requisito indispensável. Esses protocolos são classificados em pró-ativos e reativos.

Nos protocolos pró-ativos, a atualização das informações de roteamento para todos os nós é mantida em cada nó. As principais desvantagens de tais algoritmos é a quantidade de dados para manutenção e a reação lenta em reestruturação e em falhas [2], [6]. Exemplos desse tipo de protocolo são: DSDV (*Destination-sequenced Distance Vector Routing Protocol*), OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*), HSR (*Hierarchical State Routing Protocol*).

Nos protocolos reativos, somente quando uma fonte quer enviar para um destino é que os mecanismos de descoberta de rota são invocados para encontrar a melhor rota. As principais desvantagens de tais algoritmos são o tempo de latência alto na busca de rotas e inundações em excesso, que podem levar ao congestionamento da rede [2], [6]. Os protocolos AODV (*Adhoc On-Demand Distance Vector*), DSR (*Dynamic Source Routing*) e BSR (*Backup Source Routing*) são exemplos desse tipo de roteamento.

Em WMN, onde a mobilidade dos nós é muito pequena ou inexistente, os protocolos reativos tem uma escalabilidade

melhor que os protocolos pró-ativos, sendo esse um dos motivos do uso dos protocolos reativos DSR e DSDV nas simulações realizadas neste trabalho. Considerou-se ainda, um protocolo pró-ativo, o AODV, para comparação e validação dos resultados esperados. Outros fatores para a escolha dos protocolos foram a grande quantidade de literatura existente, que avalia o desempenho desses protocolos, possibilitando a comparação com os resultados obtidos [10], [14], [16], bem como as implementações dos mesmos em versões embarcadas de sistemas operacionais de rede, como os dos projetos *OpenMesh* [12] e *OpenWRT* [13], que favorecem a implementação de *testbeds* e a implantação de redes *mesh* a um baixo custo.

1) **DSDV**: tem como base o algoritmo de roteamento de Bellman-Ford. Os principais compromissos deste protocolo são manter a simplicidade de Bellman-Ford e evitar o problema de *looping*. Cada estação móvel mantém uma tabela de roteamento que lista todos os destinos disponíveis, o número de saltos para alcançá-los e o número de ordem atribuído ao nó de destino. Um sequenciamento é usado para distinguir rotas obsoletas de novas e, desse modo, evitar a formação de *loops*. Periodicamente as estações transmitem suas tabelas de roteamento para seus vizinhos imediatos. A estação também transmite a sua tabela de roteamento se uma mudança significativa ocorrer a partir da última atualização enviada. Assim, a atualização é tanto orientada ao tempo quanto a eventos [15], [16].

2) **AODV**: é um protocolo de roteamento reativo capaz de realizar roteamento *unicast* e *multicast*. Utiliza um algoritmo sob demanda, o que significa que ele constrói rotas entre os nós apenas quando desejado pelos nós de origem. Ele mantém essas rotas, desde que sejam necessárias para as fontes. O protocolo AODV usa números de sequência para garantir a atualização das rotas, é *loop-free*, tem auto-partida e é escalável para um grande número de nós móveis. O AODV descobre rotas ativas através da construção de uma base por meio de um processo que se inicia no nó de origem de dados com o envio de mensagens de requisição de rota em *broadcast* para então retornar uma resposta de rota. São utilizadas mensagens *hello* para notificação de falhas em nós adjacentes. O AODV usa tabelas de roteamento tradicionais, com uma entrada por destino. Desta forma, o protocolo AODV depende das entradas presentes na sua tabela para propagar uma resposta de rota à origem, e, posteriormente, para encaminhar pacotes de dados para o destino [15], [16].

3) **DSR**: é um protocolo de roteamento simples e eficiente, que permite os nós descobrirem dinamicamente uma rota a partir de determinada origem através de múltiplos saltos para qualquer destino através de anúncios na rede. O DSR torna a rede totalmente auto-organizável e auto-configurável, sem necessidade de qualquer infraestrutura ou administração de rede existente. O protocolo é composto de dois mecanismos: descoberta de rota e manutenção de rota, que trabalham juntos para permitir aos nós descobrir e manter rotas para destinos a partir de uma fonte arbitrária na rede *ad hoc*. O uso de roteamento baseado na origem permite que o encaminhamento dos pacotes seja *loop-free*, evitando a necessidade de atualizar informações de roteamento nos nós intermediários através dos pacotes que são encaminhados, uma vez que todos os aspectos do protocolo operam inteiramente sob demanda, permitindo que o esforço de roteamento de pacotes do DSR utilize, automaticamente, apenas o que precisa para reagir a mudanças nas rotas atualmente em uso [15], [16].

III. DESCRIÇÃO DA SIMULAÇÃO E CENÁRIOS

Utilizou-se simulação para o desenvolvimento do trabalho, pois é uma solução de baixo custo que possibilita a flexibilidade necessária para os testes. Utilizou-se a ferramenta NS-2 para a realização das simulações.

No cenário proposto os dados gerados pelos *set-top boxes* são encapsulados e transmitidos em pacotes via rede sem fio até um nó receptor. Este nó envia esses dados, através da Internet, para a emissora de TV Digital para que uma resposta acerca da situação da qualidade do serviço em uma determinada região seja gerada.

Para isso foi gerado um cenário com 20 *set-top boxes* distribuídos aleatoriamente numa área de 500 x 500 metros. O objetivo da distribuição aleatória dos nós é tornar o cenário mais próximo de uma situação real, em que os domicílios não estejam dispostos regularmente. Os nós são considerados fixos devido ao fato de os *set-top boxes* estarem nas casas dos usuários sem nenhuma mobilidade, o que também garante que não haja problemas de limitação por consumo de energia. Os parâmetros utilizados na simulação são mostrados na Tabela I.

Tabela I
PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Parâmetros	Valores
Protocolos de Roteamento	DSR, DSDV, AODV
Camada MAC	802.11
Área de Simulação	500 x 500 m
Nº de nós	20
Tipo de Tráfego	TCP e CBR
Nº Máximo de Saltos	3
Raio de cobertura dos nós	250 m
Tempo de Simulação	50 s
Modelo de Propagação	Two-ray ground reflection

O tratamento dos dados gerados pelo NS-2 foi feito utilizando-se o Awk e o Matlab® [8] para a geração dos gráficos e análise dos resultados.

As métricas utilizadas para a avaliação de desempenho nesta simulação foram: perda de pacotes, vazão média, *overhead* de roteamento e atraso médio fim-a-fim.

IV. RESULTADOS

Os resultados foram gerados submetendo-se a rede *mesh* sem fio a diversos tráfegos concorrentes que foram incrementados a cada nova simulação até o máximo de 15 fluxos TCP com o intuito de avaliar a qualidade de serviço sob os diferentes protocolos de roteamento testados. Após isso, foram incluídos 2 e depois 4 fluxos CBR respectivamente, objetivando-se avaliar a influência dos fluxos CBR concorrentes na simulação, pois o tipo de interatividade utilizada não prevê uma transmissão contínua de informação em UDP, no entanto, percebeu-se que o sistema não é levado ao limite utilizando-se apenas fluxos TCP devido às características intrínsecas deste protocolo de transporte como o controle de fluxo e o de congestionamento [6].

Na Figura 3, é apresentado o gráfico da vazão em relação ao número de tráfegos concorrentes utilizando os protocolos DSR, DSDV e AODV.

Percebeu-se que devido ao fato do TCP implementar um mecanismo de controle de congestionamento, sempre que o volume de carga dos tráfegos CBR é aumentado, atinge-se um ponto de saturação onde a vazão do tráfego TCP diminui bruscamente. Notou-se ainda, que, quando apenas um nó está transmitindo, a quantidade de dados enviada por ele é maior. À medida que outros nós iniciam a transmissão, a quantidade

de dados transmitida por cada nó passa a ser menor. Isso também é devido ao comportamento justo do protocolo TCP [6]. Verifica-se um melhor desempenho do protocolo DSR, principalmente quando o número de fluxos é aumentado, em detrimento do protocolo AODV que obteve um baixo desempenho na vazão.

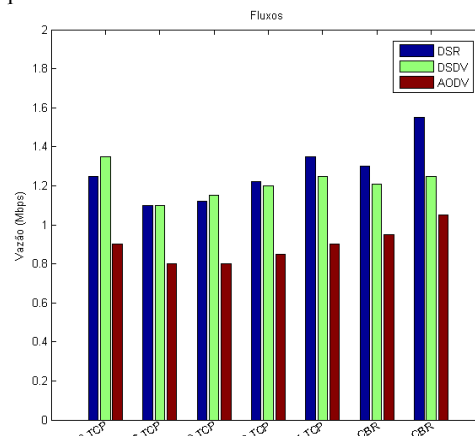


Figura 3. Vazão média da rede

Na figura 4, é mostrado o gráfico correspondente à perda de pacotes, utilizando-se os três protocolos avaliados, em função do número de fluxos concorrentes.

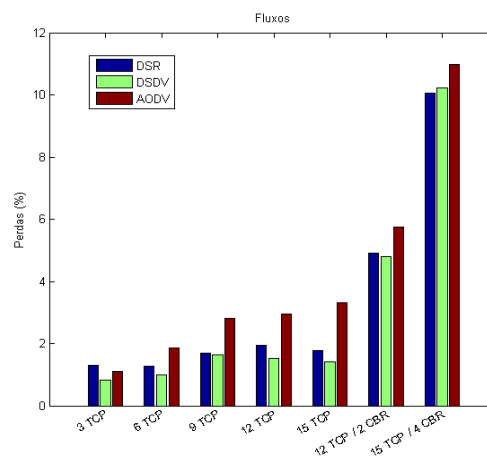


Figura 4. Perda de pacotes na rede

Observou-se, na Figura 4, que a perda de pacotes é relativamente pequena quando se utiliza apenas fluxos TCP, e cresce ao adicionarem-se os fluxos CBR, devido à fila do *buffer* dos roteadores ficar cheia, e grande parte dos pacotes CBR serem descartados. Como o fluxo de dados CBR é contínuo e o protocolo de transporte não é orientado a conexão, esses pacotes são perdidos definitivamente. Notou-se uma pequena vantagem dos protocolos DSR e DSDV sobre o AODV, pois estes apresentaram menores perdas.

Na Figura 5, é mostrado o *overhead* causado pelo envio de pacotes de controle utilizados nos protocolos de roteamento, em função do número de tráfegos concomitantes.

Os índices de *overhead* apresentados foram baixos durante as simulações, fato que se justifica pela ocorrência de poucas quebras de enlace, resultando em menos tráfego de pacotes de controle pela rede, além da falta de mobilidade dos nós, o que faria com que eles tivessem que se reorganizar à medida que se movimentassem.

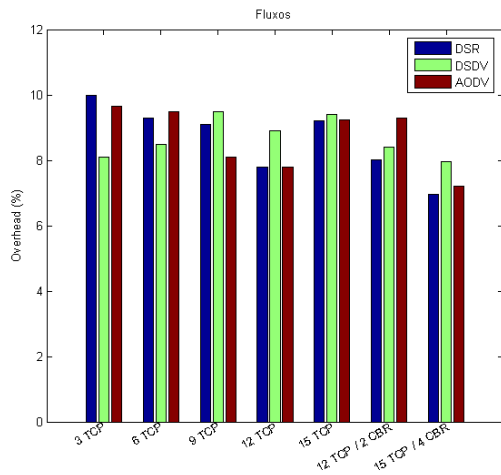


Figura 5. Overhead de pacotes de controle na rede

Notou-se ainda na Figura 5, que quando são incluídos os fluxos CBR, o *overhead* diminui, isso acontece porque o protocolo UDP minimiza a utilização de pacotes de controle em relação ao TCP. O protocolo DSDV manteve a média de *overhead* praticamente estável, isso pelo fato de ser um protocolo pró-ativo.

Na Figura 6 é mostrado o atraso médio fim-a-fim, sofrido pelos pacotes de dados durante a simulação.

Foi observado que os protocolos DSR e AODV sofrem um atraso maior, já que os mesmos são reativos, ou seja, a qualquer tentativa de se atingir um destino, sinalizações devem ser enviadas para determinação da rota, já o DSDV, pró-ativo, mantém uma cópia das tabelas de rotas e consegue quase que instantaneamente atingir o destino requerido, tendo por isso o menor atraso.

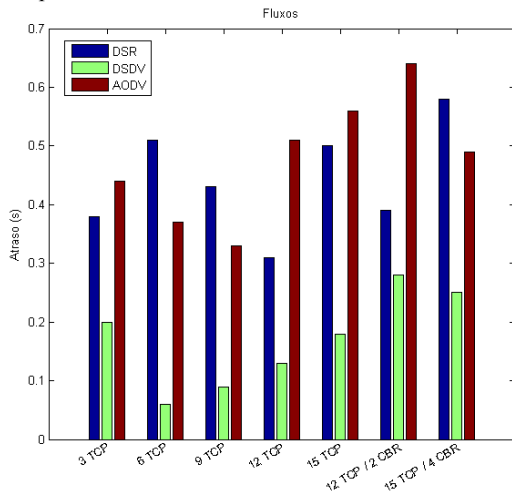


Figura 6: Atraso médio fim-a-fim.

V. CONCLUSÕES E DIREÇÕES FUTURAS

Os resultados obtidos nas simulações mostraram que os protocolos de roteamento tiveram um desempenho bastante próximo entre eles. Entretanto, o protocolo AODV teve um desempenho inferior aos demais protocolos por apresentar maior perda de pacotes, menor vazão e pelo fato de produzir algum *overhead*, já que é um protocolo reativo. Conforme ilustraram os resultados, os protocolos DSDV e DSR apresentaram um desempenho similar, já que o protocolo

DSR apresenta uma perda praticamente igual ao DSDV, mas possibilita maior vazão em quase todas as situações testadas.

Então, depreende-se que a implementação de canal de retorno utilizando redes *mesh* IEEE 802.11 com os protocolos de roteamento DSR, DSDV e AODV é adequada para a utilização em conjunto com um protocolo de transporte orientado à conexão, tornando o seu uso apropriado para aplicações cujo nível interatividade requeira, por exemplo, preenchimento de formulários, transferência de arquivos, mensagens de texto ou visualização de páginas, aplicações estas que necessitam de confiabilidade em nível de transporte [6].

Em um próximo trabalho será avaliado o desempenho, e dessa forma a viabilidade, em nível de acesso do protocolo 802.11s [14], o padrão das redes *mesh*, que usa como protocolo de roteamento o HWMP (*Híbrido Wireless Mesh Protocol*). Pode-se também considerar as perdas devido a obstáculos, utilizando-se outros modelos de propagação existentes, bem como realizar a inserção de novos modelos, adequados a uma determinada região, na suíte de protocolos do NS-2. Pode-se ainda realizar *testbeds* para comparação com os dados simulados.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] A.V.F. Ribeiro, "Uso de Redes Mesh como solução para canal de retorno da TV Digital Interativa", Dissertação Mestrado, UFF, 2007.
- [2] Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações, "Canal de Retorno com Redes AdHoc e Tecnologia 802.11b". Versão PD.30.12.34A.0001A/RT-03-AA. Disponível em: <http://sbtvd.cpqd.com.br/>.
- [3] Decreto Presidencial Número 4.901, 26/11/2003. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4901.htm. Acesso em Mar. 2012.
- [4] G.R. Hiertz, D. Denteneer, S. Max, R. Taori, J. Cardona, L. Berlemann, B. Walke, "IEEE 802.11s: The WLAN Mesh Standard", Vol. 17, No. 1, pp. 104-111, Feb. 2010.
- [5] iMasters. Disponível em: <http://www.imasters.com.br/>
- [6] J. F. KUROSE, K. W. ROSS, Redes de Computadores e a Internet: Uma abordagem Top-down. 5ª ed. Pearson, 2010.
- [7] M. A. R. Manhães, P. J. Shieh, A.C. Lamas, "Canal de Interatividade em TV Digital", Cad. CPQD Tecnologia, Vol. 1, No. 1, pp. 29-36, Jan/Dez. 2005.
- [8] Matlab, Disponível em: <http://www.mathworks.com>, Acesso em Jun. 2012.
- [9] Mídia Dados Brasil 2012. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://midiaDados.digitalpages.com.br/home.aspx>. Acesso em: Jun. 2012. pp. 328.
- [10] N. S. M. Usop, A. Abdullah, A. F. A. Abidin, "Performance Evaluation of AODV, DSV & DSR Routing Protocol in Grid Environment". International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 9, No. 7, pp. 261-268, Jul. 2009.
- [11] NS-2. Disponível em <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/>. Acesso em Abr. 2012.
- [12] OpenMesh, Disponível em: <http://www.open-mesh.com>. Acesso em Abr. 2012.
- [13] OpenWRT, Disponível em: <https://openwrt.org>. Acessado em: Abr. 2012.
- [14] S. Islam, N. Hider, T. Haque, L. Miah, "An Extensive Comparison among DSDV, DSR and AODV Protocols em MANET". International Journal of Computer Applications. Vol. 15, No. 2, pp. 22-24, Feb. 2011.
- [15] S. S. N. Rao, Y.K.S. Krishna, K. N. Rao, et al, "A Survey: Routing Protocols for Wireless Mesh Networks". International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks, Vol. 1, No. 3, pp. 43-47, Sep. 2011.
- [16] S. Upadhyay, P. Joshi, N. Gandotra, A. Kumari. "Comparison and Performance analysis os Reactive type DSR, AODV and proactive type DSDV routing protocol for Wireless Mobile Ad-hoc network, using NS-2 Simulator". Journal of Engineering and Computer Innovations . Vol. 2, No. 10, pp. 36-47. Mar. 2012.