

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA REDES
ORIENTADAS A PLANO DE DESLOCAMENTO CONTÍNUO
(CODPON-SIM)**

**CONTINUOUS DISPLACEMENT PLAN ORIENTED NETWORK
SIMULATOR DEVELOPMENT (CODPON-SIM)**

**MAURO MARGALHO COUTINHO, ISADORA MENDES DOS SANTOS, MICHELL
MATOS**

**CCET – UNIVERSIDADE DA AMAZÔNIA (UNAMA), AV. ALCINDO CACELA, 287 -
66060-902, BELÉM (PA)**

**margalho@unama.br,
{isadoramendes, michellmatos}@hotmail.com**

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA REDES ORIENTADAS A PLANO DE DESLOCAMENTO CONTÍNUO (CODPON-SIM)

Mauro Margalho Coutinho, Isadora Mendes dos Santos, Michell Matos
CCET – Universidade da Amazônia (UNAMA), Av. Alcindo Cacela, 287 - 66060-902,
Belém (PA)

margalho@unama.br, {isadoramendes, michellmatos}@hotmail.com

Resumo. Este artigo descreve as etapas de desenvolvimento do projeto de um simulador voltado a uma nova proposta de redes de computadores que viabiliza a inclusão tecnológica em regiões totalmente desprovidas de infraestrutura de comunicação. O foco, apesar de não se restringir a isso, são áreas da região amazônica onde a malha fluvial é o único meio de acesso ao mundo exterior. A propagação da transmissão pode ocorrer com base em contatos previsíveis ou oportunistas através de conexões *ad-hoc* baseadas em um plano de deslocamento contínuo.

Palavras-chave: Simulador. Redes. Wireless. Desempenho. Inclusão tecnológica.

Abstract. This article describes the development process of a new kind of network simulator. Such network provides technology access in areas without infrastructure for communication. The focus is not just that, but amazonic areas where the mesh river is the only access method with the external world. The transmission propagation can occur by predictable or opportunist contacts by *ad-hoc* connections based on a continuous displacement plain.

Keywords. Simulator. Networks. Wireless. Performance. Technological including.

1. Introdução

Diversas são as iniciativas para minimizar os índices de exclusão tecnológica¹ no Brasil e, em especial, na região amazônica. Todavia, vilarejos e até mesmo pequenas cidades situados em áreas remotas quase sempre ficam à margem dos programas governamentais, tanto pela baixa densidade demográfica quanto pelos custos elevados inerentes à interconectividade. A perspectiva da concepção de um modelo que permita a integração dessas áreas aos grandes centros urbanos, a um custo acessível, serviu de motivação para o desenvolvimento deste projeto, que foi inspirado em redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN). Embora a implementação seja totalmente diferente, alguns princípios básicos de

¹O termo exclusão tecnológica ou *digital divide* surgiu em 1990 para descrever o crescimento da lacuna entre aqueles que têm acesso às tecnologias de comunicação e informação e os que, por motivos sócio-econômicos ou razões geográficas, não o tem (WEFORUM, 2008).

DTN foram mantidos. Em especial destacam-se a possibilidade de envio de dados, mesmo diante da indisponibilidade temporária do *nó* destino e o uso das formas de contato previsível e oportunista (Oliveira et al 2007). Os contatos previsíveis são aqueles onde os nós podem fazer previsões sobre o horário e a duração dos encontros e os contatos oportunistas são os que ocorrem diante de encontros não previamente programados.

O cenário aplicado às redes CoDPON neste artigo remete à áreas isoladas tecnologicamente, ligadas apenas por uma malha hidrográfica. Por conseguinte, o transporte fluvial é o principal meio de deslocamento dos vilarejos entre si e destes com as grandes metrópoles.

Para melhor contextualização da proposta, o cenário encampou o arquipélago do Marajó, localizado no estado do Pará, onde, normalmente, esse tipo de transporte ocorre com uma periodicidade predefinida através de barcos administrados pelas prefeituras locais. Nesse ambiente, presume-se que cada *nó* CoDPON é equipado com um módulo básico de transmissão de dados chamado KED (ver seção 2 para entender a taxonomia CoDPON). Sempre que houver um *nó* ancorado em um porto, será estabelecida uma conexão com a base desse porto, chamada *peerBS*. Durante esse procedimento será atualizado o plano de deslocamento do *nó* que conterà a rota a ser percorrida entre a origem e o destino. Se um *nó* estiver navegando dentro da área de cobertura de outro *nó*, ambos irão interagir para verificar a possibilidade de agilizar a entrega dos dados no porto destino de cada aplicação. Isso poderá ser feito através de um sistema cliente servidor operando no KED acoplado no interior dos nós. Cada KED conterà ambos (cliente e servidor), descritos nas sessões 2.6 e 2.7, varrendo contínua e sistematicamente a área de cobertura no seu entorno em busca de outros nós com rota que inclua o destino dos dados transportados.

Para o perfeito funcionamento de uma rede CoDPON há necessidade de uma carga inicial em cada *PeerBS* com parâmetros como o plano de deslocamento dos nós inicialmente cadastrados, infra-estrutura alternativa disponível e tabela de priorização de aplicações. Por questões de segurança, e uma vez que as alterações não serão tão frequentes, a configuração de carga dos *PeerBSs* somente poderá ser realizada *in loco*. Futuramente, tecnologias emergentes como a TV Digital podem

ser usadas para a configuração remota de algumas *PeerBSs*, uma vez que os padrões existentes permitem o transporte de fluxos de dados (Montez, 2005).

1.1 Redes sem fio

O uso de redes sem fio no projeto CoDPON se deu em função da necessidade de mobilidade. As redes sem fio podem ser classificadas, quanto à sua infra-estrutura, como sendo independentes ou ad-hoc e infra-estruturadas. Em redes infra-estruturadas, a área de cobertura é dividida em regiões menores que possuem pontos de acesso (access points). Nesse caso, mesmo dois nós estando localizados a uma distância mínima um do outro, a transmissão entre ambos sempre se dará através do ponto de acesso. Geralmente os pontos de acesso são conectados por um backbone de alta velocidade. Como exemplo, pode-se citar a rede de telefonia celular, com as Estações Rádio Base ou ERBs. Já em redes ad-hoc, também referenciadas pelo IEEE como MANET (Mobile Ad-hoc NETWORK), nenhuma infra-estrutura é requerida. Uma vez que todos os nós movem-se livremente, existe a necessidade de um trabalho colaborativo para que as transmissões cheguem além dos limites impostos pelos dispositivos de hardware e modelos de propagação. Nesse caso, ora um nó pode atuar como sendo um transmissor, ora como um receptor, ora como um roteador.

2. O Projeto CoDPON

O Projeto CoDPON nasceu da iniciativa de um grupo de pesquisadores da Universidade da Amazônia e busca integrar comunidades onde o acesso é restrito e os recursos financeiros para o investimento em infra-estrutura de comunicação são limitados. Redes Orientadas a Plano de Deslocamento Contínuo são viabilizadas a partir de sete componentes básicos descritos nas seções 2.1 a 2.7.

2.1 Nó

São veículos móveis que possuem uma identificação única e se deslocam periodicamente entre os portos. No enfoque deste trabalho um nó é um barco de linha que opera com rotas, dias e horários preestabelecidos. Um nó hospeda, durante certo período de tempo, os dados pertencentes a uma determinada aplicação através de uma estrutura denominada Dados de Aplicação CoDPON em Trânsito (DACT). Tais dados recebem na fonte, ou seja, no *host* onde a aplicação de origem foi iniciada, um conjunto de identificadores que permitirão a entrega do mesmo à aplicação correta, no destino correto.

2.2 Portos

Portos são pontos fixos previamente identificados onde os nós (barcos, ônibus, etc.) fazem paradas programadas. Durante essas paradas um plano de deslocamento desses nós é atualizado. Todo porto mantém uma base fixa chamada *peerBS* que coordena a distribuição e atualização dos planos de deslocamento dos nós. O nó que não atualizar seu plano de deslocamento pode ser descredenciado da malha operacional. Isso é feito através de um *token* renovado a cada aportagem pelo *peerBS*.

Toda região de uma rede CoDPON possui um *peerBS* de referência chamado *peerBSMatriz*. No cenário apresentado neste artigo o *peerBSMatriz* é Belém. A partir dele é mantida uma tabela com a distância relativa (em saltos ou quilômetros) em relação aos demais *peerBS* da rede. Isso é importante uma vez que alguns *peerBS* podem ter infra-estrutura de comunicação que encurte o caminho para o destino. Por exemplo, considerando que a transmissão deverá ser feita entre o *PeerBSB* e o *PeerBSG*, ilustrados na Figura 1 e, supondo a existência de um enlace de linha telefônica (LPCD) entre o *PeerBSB* e o *PeerBSA*, seria muito mais rápido usar o atalho via *link* telefônico para o *PeerBSA* e de lá embarcar os dados em um nó em trânsito para a *PeerBSG* do que embarcá-la desde o nó de origem.

Todavia, é importante saber quando ocorrerá o encurtamento do caminho e é para isso que os *peerBSs* mantêm uma tabela, que pode ser expressa em saltos ou quilômetros, com a distância relativa ao *peerBSMatriz*. No exemplo, ao constatar a presença de um *link* telefônico entre o *PeerBSB* e o *PeerBSA*, será realizado um comparativo para a verificação das distâncias relativas. Como o *peerBSB* (origem) está localizado a 340 Km do *peerBSMatriz* e o *peerBSA* está localizado a 240 Km,

subintende-se que o *peerBSA* está mais próximo e, portanto, o repasse via *link* telefônico deve ocorrer. Mesmo assim, o nó aportado no *PeerBSB* continuará transportando os dados, que serão descartados no destino quando da constatação de sua duplicação.

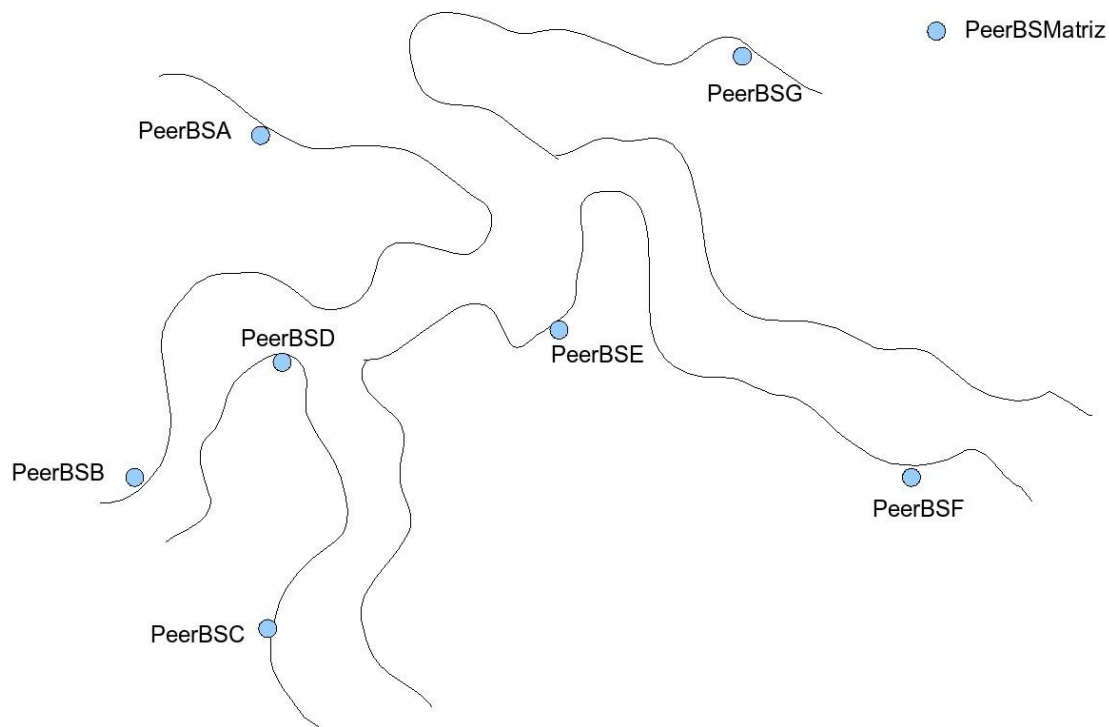


Figura 1. Região coberta por uma rede CoDPON

Todas as vezes que um barco ancorar em um porto destino e descarregar os dados em trânsito, será gerado um registro de confirmação de recebimento que será encaminhado ao porto de origem através do mesmo processo. A partir do recebimento desse registro as bases (*peerBS*) serão capazes de inferir se a entrega dos dados ocorreu com sucesso e, quando for o caso, proceder a retransmissão.

Tabela 1. Estrutura do Registro

PeerBS de Referência	Distância em Km em relação à peerBSMatriz
PeerBSA	240 Km
PeerBSB	340 Km
PeerBSC	350 Km
PeerBSD	290 Km
PeerBSE	270 Km

PeerBSF	330 Km
PeerBSG	200 Km

2.3 Plano de deslocamento

Constitui uma relação (tabela) de portos onde os nós farão escala. É composto basicamente pela identificação do nó origem, do nó destino, das escalas (organizadas na ordem em que estão programadas para ocorrer) e da estimativa de tempo em cada trecho do percurso, conforme ilustrado na tabela 2. O plano de deslocamento também inclui os tempos previstos de ancoragem e viagem associados a cada porto da rota. O tempo de viagem equivale ao tempo estimado entre a *PeerBS* de saída e a *PeerBS* de chegada. Já o tempo de ancoragem equivale ao tempo previsto para o barco ficar parado no *peerBS* de chegada. Isso permite ao sistema estimar o tempo para entrega do dado no destino, mesmo que no pior caso. Não havendo confirmação de chegada dos dados dentro do limiar calculado com base na somatória de todos os tempos de ancoragem, de viagem e mais um recurso de folga, haverá retransmissão. Ressalta-se, porém, que a única forma desse limiar ser extrapolado é quando o nó, que embarcou os dados na *peerBS* origem, apresentar algum problema que o impeça de prosseguir viagem e, durante seu percurso, não tiver repassado os dados a outro nó.

Tabela 2. Plano de Deslocamento

Origem	Destino	Saída de	Chegada em	Tempo estimado de ancoragem	Tempo estimado de viagem
PeerBS A	PeerBS M	PeerBS A	PeerBS B	24 horas	7 horas
PeerBS A	PeerBS M	PeerBS B	PeerBS E	12 horas	5 horas
PeerBS A	PeerBS M	PeerBS E	PeerBS G	3 horas	4 horas
PeerBS A	PeerBS M	PeerBS G	PeerBS M	5 horas	4 horas

2.4 DACT (Dados de Aplicação CoDPON em Trânsito)

É o nome dado à parte das aplicações que se encontra em trânsito entre o porto origem e o porto destino. A estrutura da DACT é composta por identificadores do *PeersBS* origem/destino, da aplicação, do registro, da prioridade de repasse, da operação, por um número de referência do campo e pelo conteúdo, conforme exemplo ilustrado na tabela 3. Os campos são separados pelo caractere especial ‘;’ e o final de registro é identificado por um ‘*’.

Tabela 3. Estrutura do Registro

Conteúdo Plano					Conteúdo Criptografado						
Nó	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	cn
001	879	001	001	201	o	A	0	123456789	02	Mauro Margalho	*
							1	0			
002	938	001	023	819	p	I	0	221213245	02	Thomas Coutinho	*
							1	31			

Nó – Identifica o nó hospedeiro da DACT. Quando ocorre um repasse para outro nó, o campo é atualizado.

c1 – Identificador do PeersBS origem.

c2 – Identificador do PeersBS destino.

c3 – Identificador da Aplicação.

c4 – Identificador Único de Registro.

c5 – Identificador de prioridade de repasse {o-ouro; p-prata; b-bronze; n-normal}.

c6 - Operação [I-Inclusão; A-Alteração; C-Consulta; E-Exclusão).

c7 – Número de referência do campo. Ex. '01' que equivale a código do paciente.

c8 – Conteúdo. Ex: 1234567890.

c9 – Número de referência do campo. Ex. '02' que equivale a nome do paciente.

c10 – Conteúdo. Ex: Mauro Margalho.

...

cn – O caractere '*' marca o fim do registro.

Cada DACT é armazenada em um arquivo de texto e repassada em contatos oportunistas ou em *PeerBSs* com infra-estrutura alternativa que encurte o caminho. A DACT permanece embarcada no nó que a hospedou desde a origem até

o destino, durante todo o percurso, mesmo que tenha havido o repasse de uma cópia para algum outro nó em transito. Trata-se de uma garantia de que ela chegará ao destino. Um identificador de prioridade de repasse é associado ao serviço olímpico para prover qualidade de serviço. As DACTs com a marcação “ouro” serão priorizadas nos repasses ocorridos durante os contatos oportunistas.

2.5 Kit Embarcado de Deslocamento (KED)

As Redes Orientadas a Plano de Deslocamento Contínuo pressupõem que todos os nós móveis envolvidos no processo (barcos em sua maioria) sejam dotados de um Kit Embarcado de Deslocamento. Basicamente, um KED contém um microcomputador com disco de estado sólido SSD² para garantir o armazenamento persistente e maior robustez, uma distribuição aplicada de um sistema operacional aberto e uma rede sem fio ajustada para comunicação em modo *ad hoc*, composta por rádio transmissor e antena omnidirecional. Com exceção da antena, o KED é acomodado em uma caixa hermética que o protege das variações climáticas freqüentes na região amazônica, conforme ilustrado na figura 2.

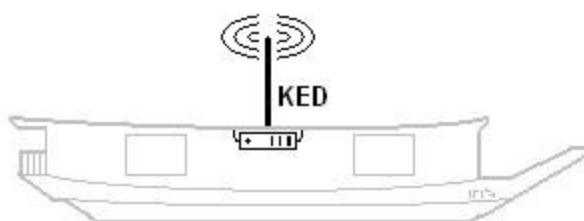


Figura 2. Kit Embarcado de Deslocamento

2.6 Módulo Servidor

Tem a incumbência de ficar escutando em uma porta pré-determinada à espera de solicitações de conexão de clientes que estejam na mesma área de cobertura. No processo de interação, o servidor irá comparar o número do *peerBS* de destino com o plano de deslocamento do nó. Se houver um caminho mais curto ao destino, a DACT é repassada. Mesmo havendo o repasse com sucesso, o barco

²Um disco de estado sólido ou SSD (Solid State Disks) é um HD que utiliza chips de memória flash no lugar de discos magnéticos.

continuará transportando a DACT, que só será descartada no destino após verificação de replicação.

2.7 Módulo Cliente

Tem a incumbência de ficar emitindo, continuamente, solicitações de conexão ao Módulo Servidor. Ao obter sucesso, repassa uma relação com os *peerBSs* destino de todas as DACTs a bordo. Se alguma entrada coincidir com um dos destinos do nó, inicia-se o repasse ao Módulo Servidor. O processo de transferência é criptografado, o que cria um nível lógico de segurança no sistema.

3. Modelagem do Simulador CoDPON

Simulação de sistemas é parte da abordagem da análise de desempenho conhecida como modelagem. Modelar um sistema implica representar o sistema de maneira simples. Modelando um sistema pode-se ter uma idéia de como seria o seu desempenho caso fosse implementado. Com a modelagem os parâmetros do sistema podem ser mudados, testados e analisados e essa técnica ainda pode diminuir custos. Para modelar um sistema algumas simplificações são requeridas. Tipicamente existem duas formas de se modelar um sistema: a modelagem analítica e a modelagem via simulação(Issariyakul, 2009). A opção foi desenvolver a modelagem do sistema CoDPON via simulação. Para tanto se utilizou uma técnica baseada em discretização de tempo chamada *time-driven simulation*. Para modelar o sistema os seguintes elementos foram identificados:

3.1 Entidades

Entidades são objetos que interagem um com o outro em um programa de simulação para causar algumas mudanças no estado do sistema. No contexto de uma rede CoDPON são entidades as *peerBS* (portos), os fluxos de DACT e o SiMClock. O SiMClock é um contador que controla o tempo de simulação definido pelo usuário conforme descrito no algoritmo 1. As unidades de tempo de um SiMClock são medidas em unidades de simulação. Todavia, para fins didáticos essas unidades podem ser associada a segundos (Fujimoto, 2007). No início da simulação o usuário informa, através de um arquivo de configuração, o tempo de

simulação, as PeerBSs, os planos de deslocamento, os nós e suas respectivas posições e as aplicações com os tempo de início e fim.

Inicialização

Simclock:= tempo de inicio da simulação;

Enquanto {Simclock < tempo total de simulação}

 coleta de dados estatísticos no estado corrente;

 execução de todos os eventos que ocorrerem durante o instante;

 SimClock:= Simclock + incremento;

Fim enquanto

Algoritmo 1 – Funcionamento do SimClock

3.2 Recursos

Recursos em geral são limitados e precisam ser compartilhados entre certo conjunto de entidades. Exemplo de recursos de uma rede CoDPON são os nós (barcos). Um nó nem sempre estará disponível para transportar os dados de uma aplicação (DACT).

3.4 Atividades e Eventos

De tempos em tempos entidades executam algumas atividades. Isso cria eventos e gatilhos que mudam o estado do sistema. Exemplo de evento no simulador CoDPON é o movimento dos nós em um eixo cartesiano chamado FlatGrid. Um exemplo de gatilho ocorre quando dois nós (barcos) estão em uma mesma área de cobertura. Nesse caso existe a verificação para o repasse da DACT. Outros exemplos de eventos são:

dn – desloca nó. Acionado para movimentar os nós.

ed – embarca DACT. Usado pelas aplicações para enviar dados.

rd - repassa DACT. Usado para repassar a DACT de um barco para outro.

dd – desembarca DACT. Usado para entregar a DACT no destino.

Todos os eventos gerados no simulador são gravados em um arquivo de saída chamado *trace file*. A análise no arquivo de *trace* permite obter diversos dados estatísticos como taxa de utilização, tempo de resposta, vazão fim a fim, atraso fim a fim e probabilidade de bloqueio.

3.5 Escalonador

O escalonador CoDPON mantém uma lista de eventos e seus tempos de execução e os executa. Como exemplo pode-se escalonar uma aplicação para ser transmitida entre os instantes 1 e 5 de simulação.

3.6 Gerador de Números Aleatórios (RNG)

Um RNG é requerido para introduzir randomicidade no modelo de simulação. Um RNG precisa iniciar pegando números a partir de diferentes localizações (semente) na mesma sequência pseudo-randômica predefinida.

Pretende-se, ao final do projeto, disponibilizar o simulador CoDPON-SIM assim como todo o código fonte para que a comunidade científica possa contribuir de forma mais efetiva.

5. Conclusões

O uso de uma infra-estrutura sem fio pode viabilizar, a um custo bastante reduzido, diversos projetos que requeiram mobilidade. Trata-se de uma tecnologia que vem sendo disseminada, cada vez mais, em todo o mundo. A proposta de aplicá-la a um dos mercados mais populares do Brasil, o Ver-o-peso, pode, se for concretizada, servir de estímulo para que outros segmentos sejam beneficiados, como por exemplo, os pólos portuários. A avaliação de desempenho realizada apresenta um claro indicativo de viabilidade da proposta a partir do comportamento dos gráficos de vazão, atraso e jitter, obtidos via simulação.

5. Referências

- Oliveira, C., Moreira, M., Rubinstein M., Costa, L., Duarte, O. (2007) “Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões”, Minicurso apresentado no SBRC 2007, Belém (PA).
- Weforum. World Economic Forum. Disponível em: <<http://www.weforum.org>>. Acesso em: 01 dez. 2008.
- Tanenbaum A. S. Computer Networks. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. ISBN: 0-13-349945-6.
- Montez C., Becker V., TV Digital Interativa: conceitos, desafios e perspectivas para o Brasil”, 2. ed. ver. e amp. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.
- SBTVD. Modelo de Referência do SBTVD. Disponível em: <<http://sbtvd.cpqd.com.br/>>. Acesso em: 03 dez. 2008.
- Warthman, F. [Delay-Tolerant Networks \(DTNs\): A Tutorial v1.1](http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf). Disponível em: <<http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2008.
- Tanenbaum A. S. Computer Networks. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. ISBN: 0-13-349945-6.
- Fujimoto, R; Perumalla, K; Riley, G. Network Simulation. Morgan & Claypool Publishers. ISSN: 1598291106. 2007.
- Issariyakul, T.; Hossain, E. Introduction to Network Simulator NS2. Springer. ISSN: 978038771759-3. 2009.