

Serviços Diferenciados Baseado na Tecnologia MPLS em Redes Heterogêneas

Roberto Alexandre Dias

Gerência de Tecnologia de Informações - Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina

Av. Mauro Ramos, 950 – Centro – Florianópolis – SC – Brazil

CEP. 88020-300

roberto@cefetsc.rct-sc.br

***Abstract.** Quality of Service (QoS) management is one of the essential requirements for the multimedia applications. The objective of this thesis is to study the problems involved in the interoperability among networks with heterogeneous technologies (Ethernet, ATM, Frame Relay) that support DiffServ (Differentiated Services) using the MPLS (Multiprotocol Label Switching) technology that comes as an emergent platform of fast forward of IP packages, tends as proposal the development of a "framework" that makes possible the differentiation of services in heterogeneous IP networks. To validate the proposal simulation models and a prototype implementation will be used.*

Resumo. Gerenciamento de Qualidade de Serviço (QoS) é um dos requisitos essenciais para as aplicações multimídia. O objetivo desta tese é estudar os problemas envolvidos na interoperabilidade entre redes com tecnologias heterogêneas (Ethernet, ATM, Frame Relay) que suportem o DiffServ (Serviços Diferenciados) utilizando a tecnologia MPLS (Multiprotocol Label Switching (MPLS) que apresenta-se como uma plataforma emergente de encaminhamento rápido de pacotes IP, tendo como proposta o desenvolvimento de um “framework” que possibilite a diferenciação de serviços em redes IP em heterogêneas. Para validar a proposta serão utilizados modelos de simulação e a implementação de um protótipo.

1. Introdução

A evolução da tecnologia proporcionou um novo paradigma para aplicações distribuídas, principalmente aplicações multimídia e em tempo real, como vídeo sob demanda, videoconferência, voz sobre IP, computação em grupo de trabalho (controle de fluxo de trabalho, tele-medicina). Para estas novas aplicações, novos requisitos são exigidos para que o usuário final usufrua os recursos compartilhados em rede, da mesma forma que estivessem executando as aplicações localmente.

O protocolo IP apresenta algumas limitações, fruto de suas simplicidade original, que limitam a implementação de QoS nas redes baseadas neste protocolo. Entre elas podemos citar [Ferguson 1998]:

- É um protocolo sem conexão, não havendo mecanismos de controle de admissão;

- A rede só fornece serviço do tipo “melhor esforço”, sem haver nenhum tipo de classificação, priorização e reserva de recursos;
- É adotado o esquema de roteamento implícito, onde cada pacote é inspecionado e analisado individualmente em cada nó de roteamento, acarretando uma sobrecarga na transmissão dos mesmos.

Como em todas as tecnologias emergentes, o esforço de pesquisa e desenvolvimento dos muitos fabricantes levou a criação de um grupo de trabalho para propor uma arquitetura de suporte ao encaminhamento de pacotes baseado em etiquetas (Label Based Switching – LBS), em plataforma aberta e interoperável. O *Internet Engineering Task Force* (IETF) tomou a iniciativa de criar um grupo de trabalho, numa plataforma LBS denominada Multiprotocol Label Switching – MPLS. A maior parte dos documentos gerados por este grupo de trabalho ainda se encontra em fase de “trabalho em progresso” sob forma de Internet Draft do IETF.

Dentro deste cenário, a arquitetura MPLS desponta como um emergente padrão em normatização pelo IETF. Entre as suas características mais notáveis podemos citar [Davie 2000], [Callon 1999]:

- A agilidade no encaminhamento de pacotes proporcionada pela inspeção de etiquetas no denominado roteamento explícito, onde os pacotes são analisados somente na borda de um domínio MPLS. As etiquetas são atribuídas na entrada de um domínio MPLS pelo dispositivo de borda, denominado “Label Edge Router” (LER) e associadas (a partir de algum critério, como endereço do host de destino, prefixo de sub-rede de destino, ou qualquer outra função de classificação que possa ser implementada no LER) a uma classe de equivalência de encaminhamento (Forward Equivalence Class – FEC). Com isso os comutadores MPLS interiores ao domínio, denominados “Label Switching Routers” (LSRs) só precisam inspecionar as etiquetas atribuídas aos pacotes e verificar a qual FEC são ligados para tomar a decisão de encaminhamento dos pacotes;
- Implementação de orientação à conexão em redes IP, onde a partir da ligação entre as etiquetas e as FECs os pacotes são encaminhados em “caminhos virtuais” denominados “Label Switched Paths” (LSP) que propicia a Engenharia de Tráfego;
- Suporte otimizado as arquiteturas de IP QoS como o IntServ e DiffServ;
- Simplificação na interoperabilidade de redes com tecnologias heterogêneas, como redes IP não ATM e redes IP ATM, possibilitando o mapeamento de requisitos IP QoS em rede IP sobre ATM, pois tanto em redes não ATM como em redes ATM o MPLS pode atuar como arquitetura única de encaminhamento de pacotes, o chamado modelo “peer” [Davie 2000].

O objetivo desta tese é estudar os problemas envolvidos na interoperabilidade entre redes com tecnologias heterogêneas (Ethernet, ATM, Frame Relay) que suportem o DiffServ baseado na tecnologia MPLS, tendo como proposta o desenvolvimento de um “framework” que possibilite a diferenciação de serviços em redes IP em redes heterogêneas. Para validar a proposta serão utilizados modelos de simulação e a implementação de um protótipo.

O trabalho é organizado da forma a seguir. No item 2 é apresentada a arquitetura básica da tecnologia MPLS, seus componentes e protocolos; no item 3 é apresentada uma revisão da literatura sobre as possibilidades de suporte do MPLS aos serviços

diferenciados; no item 4 é apresentada uma proposta de implementação do DiffServ no MPLS, através do desenvolvimento de um classificador na borda do domínio e de uma extensão do protocolo LDP; no item 5 são apresentadas as conclusões, destacando os elementos chave e defendendo-se a proposta da tese; finalmente o item 6 apresenta as referências bibliográficas.

2. Arquitetura MPLS

Como em todas as estruturas de encaminhamento de pacotes na camada de rede, a arquitetura MPLS é dividida em dois componentes básicos: **componente de controle** e **componente de encaminhamento** [DAVIE 2000].

A **componente de encaminhamento** é responsável pelo efetivo encaminhamento dos pacotes de uma dada entrada para uma dada saída de um roteador ou “switch”. Para enviar os pacotes, a componente de encaminhamento utiliza duas fontes de informação: (i) uma tabela de encaminhamento, mantida pelo componente de controle e (ii) a informação contida no próprio pacote. A **componente de controle** é responsável pela construção e manutenção da tabela de encaminhamento.

A componente de encaminhamento é composta dos seguintes elementos [Davie 2000]:

Label (etiqueta): como discutido anteriormente, a etiqueta é uma entidade de tamanho curto e fixo que serve como um índice para a tabela de encaminhamento. A etiqueta é inserida no cabeçalho do pacote, no dispositivo de entrada do domínio MPLS, e é a peça chave da componente de encaminhamento.

Label Switch Router (LSR): é o dispositivo que executa os algoritmos de encaminhamento e mantém as tabelas de encaminhamento. Os LSRs de um domínio MPLS comunicam-se através de um protocolo adequado (Label Distribution Protocol – LDP ou RSVP estendido), a fim de manter atualizadas as tabelas de encaminhamento do domínio.

Label Switch Edge Router (LER): é um LSR que além das funções de encaminhamento e controle, quando está na entrada de um domínio MPLS, é responsável pela inserção da etiqueta ao pacote e de atribuir os pacotes a uma classe de equivalência de encaminhamento (FEC). Este processo de ligação de pacotes a uma FEC, pode ser tão complexo quanto necessário, sem afetar o desempenho geral da arquitetura, pois é efetuado somente na admissão do pacote. Quando um LER está na saída do domínio MPLS, ele é responsável pela retirada da etiqueta, mantendo a semântica normal de um pacote IP, a fim de ser entregue a uma rede não MPLS.

Label Switching Forward Tables (tabelas de encaminhamento dos comutadores de etiquetas): estas tabelas são responsáveis pelo processo de encaminhamento de pacotes e são mantidas pelos LSRs. Elas consistem basicamente de um campo de índice que é preenchido pelo valor da etiqueta, uma ou mais entradas, contendo a etiqueta de saída, interface de saída e endereço IP do próximo salto (next hop address).

A etiqueta que é incluída no pacote pode ser obtida a partir de informações contidas na própria camada de ligação de rede no momento da admissão no domínio MPLS, em tecnologias como o ATM e Frame Relay. No ATM é utilizado o par

VPI/VCI do cabeçalho das células. No Frame Relay, a etiqueta pode ser obtida a partir do campo DLCI.

Nas tecnologias que não carregam rótulos, como o Ethernet, é inserido um pequeno campo adicional ao cabeçalho pacote, entre os cabeçalhos da camada de ligação e camada de rede, denominado “shim header”, cujo formato é apresentado abaixo.

Label (20bits)	Exp (3 bits)	Stack (1 bit)	TTL (8 bits)
----------------	--------------	---------------	---------------

Figura 1. Formato do “Shim Header”

A componente de encaminhamento utiliza um algoritmo de troca de etiquetas, semelhante ao processo de troca do pares VPI/VCI entre comutadores ATM. O princípio básico de funcionamento do algoritmo é descrito a seguir [Davie 2000]:

Quando um pacote entra num LSR, este analisa a etiqueta do pacote e a utiliza como um índice para pesquisar na sua tabela de encaminhamento. A partir deste índice (etiqueta de entrada), é pesquisada uma entrada na tabela de encaminhamento. Se a entrada for localizada a etiqueta é substituída pela etiqueta de saída, apontada na entrada da tabela de encaminhamento e o pacote é remetido pela interface de saída ao “next hop”.

De acordo com [Davie 2000], a **componente de controle** é responsável por (a) distribuir informações de roteamento entre os LSR que compõe um domínio MPLS e (b) os procedimentos (algoritmos) que estes roteadores utilizam para converter estas informações em tabelas de encaminhamento, que são utilizadas pela componente de encaminhamento, discutida anteriormente. Existe uma grande semelhança entre a componente de controle da arquitetura MPLS e a componente de controle de roteadores convencionais. No MPLS os algoritmos de roteamento convencionais (como BGP – Border Gateway Protocol, OSPF – Open Shortest Path First, PIM – Protocol Independent Multicast) podem ser incluídos na componente de controle, atuando como um subconjunto desta componente. Entretanto, o roteamento convencional é insuficiente para suportar a tecnologia de “Label Switching”. Existe a necessidade de algoritmos que proporcionem o mapeamento das etiquetas com o “next hop”, que são inseridos nas tabelas de encaminhamento utilizadas pela componente de encaminhamento.

Assim, além do roteamento convencional os seguintes procedimentos são executados por um LSR [Davie 2000]: (a) criação de ligações entre etiquetas e as Classes de Equivalência de Encaminhamento (FEC's) e (b) distribuição de informação para os demais LSR's destas ligações criadas;

Desta forma, o LSR utiliza os procedimentos (a) e (b) para construir e manter as tabelas de encaminhamento utilizadas pela componente de encaminhamento.

A fim de executar a distribuição das etiquetas foi proposto em [Callon 1999] um novo protocolo específico denominado “Label Distribution Protocol” (LDP), responsável em disseminar as informações que permitem criar e manter as tabelas de encaminhamento nos LSRs. As especificações existentes no IETF não restringem o uso do LDP como protocolo de distribuição de etiquetas, podem ser utilizados outros mecanismos (como o RSVP estendido). Citaremos aqui as principais características do

LDP, de acordo com [Davie 2000], por ter sido um protocolo especificamente definido para este fim pelo grupo de trabalho que estuda o MPLS, no IETF.

O LDP provê mecanismos de “descoberta (discovery)” que habilitam os LSRs a encontrar seus nós adjacentes e para estabelecer a comunicação. Para tanto define quatro classes de mensagens: (i) DISCOVERY – para que os LSRs se anunciem a sua presença no domínio aos demais LSRs; (ii) ADJACENCE – mensagens informando as sessões de inicialização, em atividade e “shutdown” entre os LSRs; (iii) LABEL ADVERTISEMENT – mensagens de notificação de estabelecimento de ligações de etiquetas, requisições de ligações, retirada de etiquetas e renovação de etiquetas; (iv) NOTIFICATION – mensagens para prover informações de consulta e sinalização de erro.

O LDP é executado sobre o TCP para prover entrega confirmada de mensagens (com exceção da DISCOVERY). Ele foi projetado para ser facilmente extensível, usando mensagens especificadas como uma coleção de objetos codificados no padrão TLV (type, length, value).

O processo de descoberta dos LSRs vizinhos (LSR neighbor Discovery) é executado sobre o UDP. Uma descrição do processo é apresentada a seguir [Davie 2000].

O LSR periodicamente envia uma mensagem multicast do tipo HELLO a uma porta UDP bem conhecida, para todos os LSR pertencentes ao grupo multicast. Todos os LSRs “ouvem” esta porta, esperando uma mensagem HELLO. Assim, descobrem os LSRs com os quais estão diretamente ligados e “aprendem” seus endereços. Ao conhecer o endereço de seus LSRs vizinhos, é estabelecida uma conexão TCP, a fim de se manter uma sessão LDP. Uma sessão LDP é bidirecional, de tal forma que qualquer nó da conexão pode requisitar e notificar ligações de etiquetas para o seu vizinho.

Além de mecanismos multicast de descoberta, é possível através de mecanismos de configuração, estabelecer a descoberta de LSRs que não estejam diretamente conectados, a partir de envio da mensagem HELLO a uma porta UDP bem conhecida, através de endereçamento unicast.

3. Suporte da Tecnologia MPLS à Arquitetura DiffServ

Um modelo que pode se adequar melhor a grandes redes IP como a Internet e que se pode ser adaptado à arquitetura MPLS é denominada **Serviços Diferenciados (DiffServ)** [Blake 1998]. A arquitetura DiffServ busca dividir o tráfego em um número limitado de classes, com diferentes níveis de QoS. Os pacotes são classificados a partir de uma informação denominada “Differentiated Services Codepoint” (DSCP) [Nichols 1998]. O DSCP é um campo de 6 bits que é uma diferenciação do campo TOS do cabeçalho do IPV4 (no IPV6 é usado o campo “traffic class”). Assim, a informação de classificação é inserida pelas aplicações no próprio pacote. Com isso o DiffServ pode prover até 64 diferentes classes de serviço. A componente de controle na entrada de um domínio DiffServ mapeia o valor contido no campo DSCP para um comportamento que deve ser atendido em cada nó intermediário entre a origem e o destino, denominado “per-hop behavior” (PHB). Com isso, os pacotes de uma dada classe terão um tratamento (enfileiramento, temporizações) de acordo com a classe de serviço correspondente.

A grande vantagem do DiffServ é a sua escalabilidade, uma vez que a classificação e mapeamento dos pacotes nos PHBs são feitos somente no nó de entrada do domínio DiffServ, aos nós intermediários cabe ler o DSCP e mapear para um PHB.

Na arquitetura MPLS, entretanto, não há uma análise de pacotes IP “hop-by-hop” (o que é uma de suas grandes vantagens, do ponto de vista de performance) [Davie 2000]. Para que o MPLS suporte o Diffserv, a definição do PHB que deve ser atribuído, pode estar contido na própria etiqueta que é inserida no pacote na entrada do domínio MPLS. Existem duas maneiras para que isto ocorra [Davie2000], [Le Faucher 2000].

A primeira, em tecnologias que exigem o encapsulamento de campos (“shim header”), como ocorre nas redes Ethernet, que possui um campo exp de 3 bits, que pode ser usado como suporte ao DiffServ, onde se poderia estabelecer até 8 classes de serviço (número inferior ao provido pelo campo DSCP). Segundo [Davie 2000], esta limitação não inviabiliza o suporte do DiffServ pois a arquitetura MPLS é uma tecnologia de “backbone” e 8 classes de serviço possibilitam um nível de diferenciação de serviço bastante razoável (atualmente a Internet dispõe somente do serviço “melhor esforço”). Nesta abordagem denominada E-LSP (exp-inferred-LSP), os caminhos virtuais (LSP) são formados a fim de agregar pacotes de uma mesma classe de serviço, a partir do mapeamento do conteúdo do campo Exp nos PHBs dos LSRs que compõe o domínio. Um único LSP pode suportar até oito classes de serviço, que são associados a seus respectivos PHBs.

A segunda abordagem ocorre nas redes em que devemos ter mais que oito classes de serviços, nas redes com “shim header” ou mais de duas classes de serviço e as etiquetas estão contidas na própria estrutura da camada de ligação de rede (como o ATM e o FRAME RELAY) onde não há encapsulamento (“shim header”), logo não existe o campo exp. No caso específico do ATM é utilizado o campo “cell loss priority” (CLP) do cabeçalho da célula como campo de diferenciação de serviços. Como o campo CLP é de um bit, no ATM são suportadas somente duas classes de serviço. Esta abordagem é denominada L-LSP (label-only-inferred-LSP). Os LSPs são formados a partir do mapeamento direto das etiquetas as FECs, efetuadas pelos LERs, levando-se em conta os PHBs que devem ser associados aos mesmos. Nesta abordagem é formado um LSP para cada classe de serviço. Evidentemente com isto se limita o espaço de etiquetas e aumenta-se a complexidade de gerenciamento por parte do LSRs.

Nesta última abordagem o mecanismo de distribuição de etiquetas deve permitir a ligação da etiqueta às FECs para um dado PHB. As implementações atuais dos protocolos de distribuição de etiquetas, como o LDP, fazem a ligação da etiqueta a uma FEC a partir do endereço ou prefixo de sub-rede do host de destino. Para a segunda abordagem, deve incluir o PHB, neste mapeamento. Assim, a ligação das etiquetas às FECs deverá feita levando-se em conta o par (prefixo de endereço, PHB) [Le Faucher 2000].

Entretanto, em ambas abordagens, o maior esforço computacional é feito somente no comutador MPLS da entrada do domínio (LER), com isso a informação de comportamento estará associada a FEC, e as ligações das etiquetas as FECs comporão as tabelas de encaminhamento que são montadas e distribuídas nos LSRs que compõe o domínio. Na E-LSP a utilização do espaço de etiquetas é mais otimizado. No L-LSP, como é criado um caminho virtual (LSP) para cada classe de serviço, aumenta-se o número de LSPs, aumentando-se o tamanho da tabela de encaminhamento e consumindo mais o espaço de etiquetas disponíveis (que pode ser restrito

principalmente em alguns comutadores ATM), onde o número de etiquetas está limitado ao número de pares VPI/VCI.

4. Proposta de Trabalho

O objetivo deste trabalho é propor um “framework” que possibilite a implementação de um domínio MPLS que suporte a diferenciação de serviços em uma rede IP heterogênea. Para tanto, deverá ser desenvolvido um módulo classificador a ser incorporado a um LER na entrada do domínio MPLS e que tenha as funções de:

(a) Se o número de classes de serviço for menor ou igual a oito (em redes com “shim header”), ou menor ou igual a dois em redes ATM/FRAME RELAY: (i) mapear o campo DSCP inserido pelas aplicações para o campo `exp`; (ii) inserir as etiquetas aos pacotes na entrada do domínio; (iii) associar estas etiquetas as FECs, a partir da informação contida no campo `exp`.

(b) Se o número de classes de serviço for superior a oito em redes com “shim header” ou maior que dois em redes ATM/FRAME RELAY: (i) mapear o campo DSCP diretamente a uma FEC e liga-la a uma etiqueta que será encaminhada em um LSP exclusivo para aquela classe de serviço.

A primeira alternativa é a mais simples de ser implementada, nenhuma alteração nos protocolos de distribuição de etiquetas propostos pelo IETF (LDP ou RSVP estendido) precisa ser feita. Na segunda alternativa é necessária a extensão dos protocolos acima. Existem propostas de extensão deste protocolos de distribuição de etiquetas [Le Faucher 2001]. A implementação de comutadores MPLS que suportem esta segunda abordagem, confere o fator de ineditismo a proposta de tese. A implementação deste classificador e a extensão do protocolo de distribuição de etiquetas poderão permitir a implementação da diferenciação de serviços no domínio MPLS, com heterogeneidade de tecnologias de camada de ligação (Ethernet, Frame Relay e ATM), atendendo os requisitos da RFC 2475 [Blake 1998].

A metodologia de implementação inclui uma etapa preliminar de prototipação e validação do classificador e da extensão do protocolo de distribuição de etiquetas a partir de implementação de uma extensão do simulador Network Simulator versão 2 [NS2], baseada nas extensões desenvolvidas por [Murphy 1999] para suporte do NS ao DiffServ e [Raonet 2000] para suporte do NS ao MPLS. Serão levantadas métricas de desempenho do sistema (vazão, atraso e variação de atraso) com DiffServ sem MPLS e com DiffServ sobre MPLS para comparação de resultados.

Completando o trabalho será implementado um protótipo, baseado numa plataforma de desenvolvimento de comutadores MPLS, desenvolvida pelo National Institute of Standards and Technology (NIST) dentro do “Programa NIST Switch” [NIST SWITCH]. Esta plataforma é aberta e de domínio público podendo ser executada em microcomputadores PC padrão, com sistema operacional freeBSD. Deverá ser incluído no software NIST Switch a implementação de um módulo classificador e estendido o protocolo de distribuição de etiquetas. A implementação dos serviços diferenciados será facilitada pela utilização do módulo ALQ (“Alternate Queuing”) para BSD desenvolvido pela Sony Computer Sciences Laboratory Inc [ALTQ], que já suporta o DiffServ e é compatível com a plataforma NIST Switch. Uma das modalidades de carga a ser utilizada nos testes serão acessos a Biblioteca Digital

Multimídia, projeto em desenvolvimento junto à Rede Metropolitana de Alta Velocidade de Florianópolis.

5. Conclusões

Como exposto neste trabalho, a necessidade de redes que suportem aplicações que são sensíveis aos requisitos de QoS exigirá a agregação de novas arquiteturas, para provimentos destes. Dentro deste cenário, desponta como arquitetura promissora para provimento de QoS, os Serviços Diferenciados (DiffServ), padronizada pelo IETF, devido a sua escalabilidade.

Pelas características de agilização no encaminhamento de pacotes e sobretudo a capacidade de conferir orientação à conexão em redes IP, facilitando a implementação de técnicas de Engenharia de Tráfego (capacidade de se definir os caminhos por onde serão encaminhados os pacotes, através de políticas de admissão ou ação de gerência) o MPLS desponta como uma tecnologia também promissora, no cenário dos grandes “backbones” de rede, como a Internet. A proposta de implementação do DiffServ sobre o MPLS, a partir do desenvolvimento de um algoritmo classificador em um dispositivo de borda (LER), bem como a extensão dos atuais protocolos de distribuição de etiquetas, a fim de que se possa estabelecer automaticamente os mapeamentos do campo DSCP em informações que possam ser tratadas pelos LSRs interiores ao domínio, dentro de um ambiente heterogêneo, credencia a proposta como tema de uma tese de doutorado, pela atualidade, relevância e ineditismo.

6. Referências

- Ferguson, Paul. Huston Geoff (1998) Quality of Service. Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks. John Wiley & Sons. Janeiro de 1998.
- Blake, S et all (1998). **An Architecture for Differentiated Services. RFC 2475. Dezembro de 1998.** <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
- Nichols, K et all (1998) **Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers.** RFC 2474. Dezembro de 1998. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt>.
- Callon, Ross. Rosen, Eric C.. Viswanathan (1999) **Multiprotocol Label Switching Architecture.** Internet Draft. Agosto de 1999. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-arch-06.txt>
- Le Faucheur, et all (2000). **MPLS Support of Differentiated Services. Internet Draft. Junho de 2000.** <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-diff-ext-05.txt>.
- Le Faucheur et al (2001) Extensions to RSVP-TE and CR-LDP for support of Diff-Serv-aware MPLS Traffic Engineering. Internet Draft. February of 2001. <http://ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-diff-you-reqts-00.txt>
- Davie, Bruce. Rekhter, Yakov. (2000). **MPLS. Technology and Applications.** Morgan Kaufmann Publishers. 2000.
- Murphy, Sean. (1999). **The ns MPLS/DiffServ patch.** <http://www.teltec.dcu.ie/~murphys/ns-work/mpls-diffserv/index.html>. November 1999.
- Raonet Networking (1999). **The MPLS Network Simulator.** <http://www.raonet.com/introduction.shtml>.
- NIST Switch Home Page.** <http://snad.ncsl.nist.gov/itg/nistswitch>.