

UMA PONTE HÍBRIDA PARA INTERCONEXÃO DE INTER-REDES IEEE 802.1

Jorge H. Rogoski e William F. Glozza

Área de Comunicação de Dados - DIS/DIN/EMBRAPA
CP 040.315 - CEP 70.770 - Brasília - DF

Grupo de Redes de Computadores - GRC/UFPb
CP 10.032 - CEP 58.100 - Campina Grande - PB

RESUMO - A disseminação e o uso de redes locais de computadores (RLs), com o conseqüente aumento das exigências a elas impostas, tende a exceder a capacidade de carga suportável por um único segmento de rede. Ademais, a instalação de RLs de forma isolada, geralmente não atende às necessidades e demandas por conectividade em ambientes reduzidos. Essa conjunção de fatores propiciou o surgimento de várias técnicas de interconexão de RLs, nem sempre compatíveis. Preocupado com a proliferação dos diferentes métodos emergentes, o comitê IEEE 802.1, após examinar diversas propostas, adotou como padrão universal para interconexão de RLs IEEE 802.1, a técnica de ponte transparente de árvore geradora, mas também endossou o método de ponte de roteamento na fonte, a ser desenvolvido pelo comitê IEEE 802.5. Estas duas tecnologias, todavia, são incompatíveis. Apresentamos neste trabalho, após uma breve introdução às pontes IEEE 802, a organização e a funcionalidade de uma ponte híbrida, cujo objetivo é possibilitar a utilização dos dois padrões na mesma inter-rede.

1. INTRODUÇÃO

A interconexão de RLs [1] pode ser desejável por uma variedade de razões, incluindo cobertura geográfica e capacidade aumentadas, desempenho melhorado (desde que cada segmento da rede contribua com sua própria banda passante), qualidade do sinal (comparado com a conexão de todas as estações a um único segmento), e disponibilidade (desde que a quebra de um dos segmentos não acarrete a perda de serviços por todas as estações de todos os segmentos), assim como simplesmente conectividade, quando RLs individuais já existem.

Pontes foram concebidas com o objetivo principal de prover interconexão entre (segmentos de) redes locais (RLs), similares ou não. Elas podem ser locais, quando interconectam RLs diretamente, ou remotas, se facilidades de comunicação (de alta velocidade) de longa distância forem utilizadas. Se uma ponte não conectar duas RLs diretamente, por problemas de distância ou praticidade, pode-se usar duas meias pontes, uma em cada rede, conectadas por um circuito ponto a ponto. Considerando os padrões para RLs definidos no Projeto IEEE 802, pontes operam na

sub-camada de controle de acesso ao meio (MAC), da camada de enlace de dados. Veja na fig. 1 como se dá o relacionamento entre as diversas camadas em uma inter-rede com pontes.

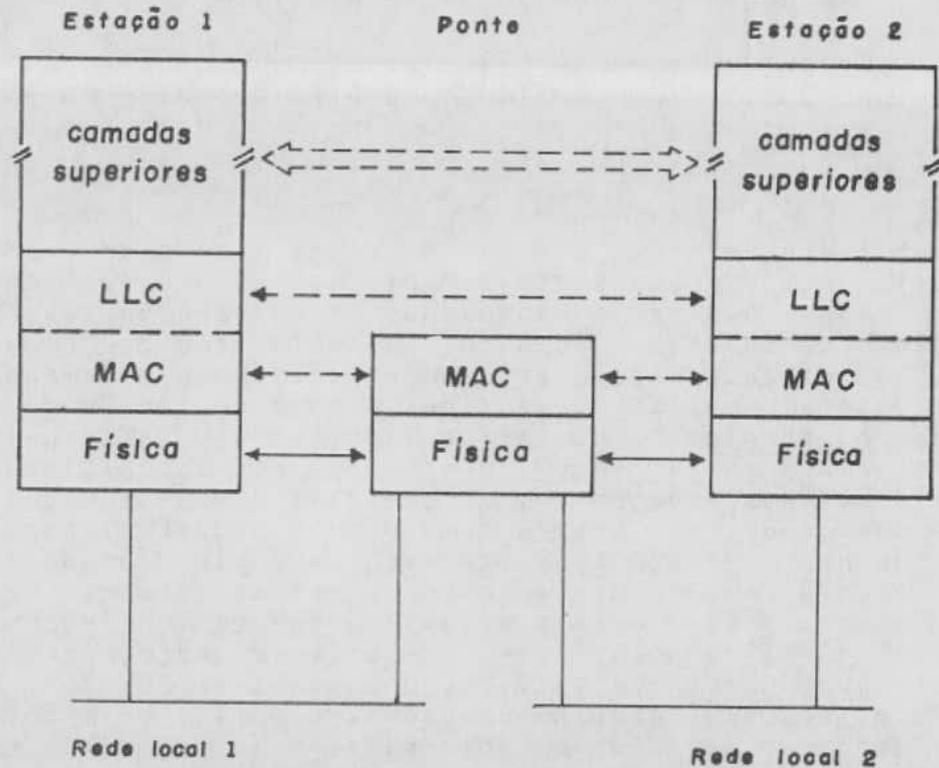


Fig. 1 - Interação entre as camadas com o uso de pontes.

Apresentaremos, brevemente, duas técnicas para implementação de pontes, que estão em vias de padronização pelo comitê 802 do IEEE [2]. São elas, ponte transparente de árvore geradora, desenvolvida pelo IEEE 802.1 como a arquitetura de ponte universal para RIs IEEE 802, e ponte de roteamento na fonte, adotada no âmbito do IEEE 802.5. Posteriormente, introduziremos o conceito de uma ponte híbrida, para ser empregada na interconexão de inter-redes baseadas em árvore geradora, com inter-redes baseadas em roteamento na fonte.

2. PONTES TRANSPARENTES DE ÁRVORE GERADORA

Uma ponte transparente é composta por portas para as RIs que ela está conectando, um banco de dados de encaminhamento (BDE), e uma unidade de processamento. Suas funções básicas são receber e reenviar quadros (roteamento), aprender o endereço e a localização das estações da inter-rede, e evitar os ciclos ("loops") existentes na topologia física da inter-rede [3].

O BDE contém t-uplas do tipo <endereço, identificador de porta, idade>. O encaminhamento, realizado apenas para quadros recebidos sem erro, é efetuado da seguinte maneira: se o endereço de destino do quadro constar no BDE, o quadro é roteado pela porta relacionada àquele endereço, desde que não seja a mesma porta por onde o quadro chegou (neste caso, o quadro é descartado). Se o endereço do destinatário não estiver no BDE, o quadro é reenviado por todas as portas diferentes da qual ele foi recebido, num processo conhecido como inundação.

O procedimento de aprendizagem também é realizado apenas para quadros recebidos sem erro. Checa-se, no BDE, a existência do endereço fonte presente no seu cabeçalho. Se já existir, é verificado se o identificador da porta por onde o quadro entrou é igual ao identificador da porta constante no BDE. Se forem diferentes, o valor no BDE é atualizado. Em ambos os casos, o campo "idade" da entrada do BDE é reinicializado. Caso o quadro recebido não tenha seu endereço fonte no BDE, é adicionada uma nova entrada no mesmo com este endereço, a identificação da porta de recepção do quadro, e a "idade" da informação.

Quando uma estação passa muito tempo sem gerar quadros, diz-se que a entrada no BDE com o seu endereço está envelhecida, e a mesma é descartada. O processo de envelhecimento previne o roteamento de quadros para estações que, por uma razão qualquer, tenham se tornado inativas, ou tenham mudado de localização na inter-rede.

Ciclos na inter-rede podem causar a falha total da mesma. Como as pontes reenviam todos os quadros com endereço de destino desconhecido, eles ficariam cruzando as redes indefinidamente. Adicionalmente, o processo de aprendizagem seria prejudicado, pois as pontes ficariam confusas quanto à direção correta para se atingir as estações. Para assegurar a não persistência de ciclos na topologia da inter-rede, um algoritmo distribuído, chamado algoritmo da árvore geradora, é executado em cada ponte.

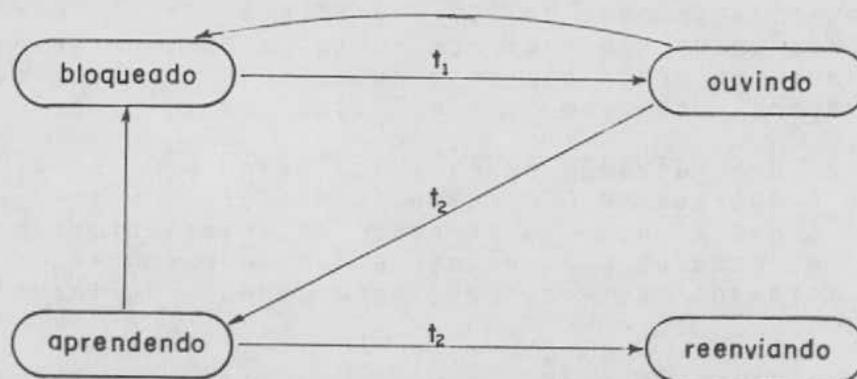
De acordo com a teoria dos grafos, uma árvore geradora é obtida através da eliminação dos ciclos de um grafo. Assim, considerando a topologia física da inter-rede como um grafo, através do algoritmo da árvore geradora, é possível obter uma topologia lógica acíclica, tal qual uma árvore geradora. Os quadros inter-redes são, então, roteados ao longo da árvore geradora.

Para que a operação do algoritmo seja correta, cada ponte deve ter um identificador único, que é composto por um campo de prioridade e outro, correspondente ao endereço da estação da ponte, garantindo a sua unicidade: em cada RL da inter-rede, deve haver um endereço de grupo único reconhecido por todas as pontes conectadas àquela RL; e cada porta, de uma ponte, deve ter um identificador único.

Na criação da árvore, primeiro é selecionada uma "ponte raiz" única, baseado na prioridade das pontes. A seguir, cada ponte decide qual é a sua "porta da raiz", ou seja, a porta que está mais perto (menor custo) da ponte raiz. O próximo passo é

escolher uma única "ponte designada" para cada RL. Esta ponte deve ser a que oferece o caminho de menor custo até a raiz. Se houver empate, escolhe-se a ponte com maior prioridade. Eventualmente, as portas da raiz e as portas conectadas às RLs para as quais a ponte é a designada, são colocadas no estado "reenviando". As demais são colocadas no estado "bloqueado". Neste ponto, a árvore já foi obtida.

Falhas que impliquem em mudanças na topologia podem fazer com que portas "bloqueadas" passem para o estado "reenviando", depois de atravessarem os estados "ouvindo" e "aprendendo", e desde que não chegue nenhuma mensagem que as impeça de completar a mudança (fig. 2).



t_1 - temporizador de idade máxima; quando expira, significa que alguma ponte que estava reenviando teve problemas.

t_2 - temporizador de retardo de reenvio; evita ciclos na topologia, durante a reconfiguração da mesma.

Fig. 2 - Diagrama de estados de pontes transparentes IEEE 802.1 simplificado.

Um protocolo de ponte providencia a troca de informações entre as pontes, para que o algoritmo possa ser executado. As informações são transportadas em Unidades de Dados do Protocolo de Ponte (BPDU's), com um intervalo médio de 2,5 seg. entre BPDU's consecutivas.

Na figura 3-a é mostrada a topologia física de uma inter-rede, e a figura 3-b mostra a mesma inter-rede após a execução do algoritmo.

O grande mérito do método da árvore geradora é a sua total transparência às estações fim, que se comunicam como se a inter-rede fosse composta por um segmento único. Por outro lado, como somente parte da topologia física é aproveitada, nem sempre a rota entre as estações comunicantes é a melhor. Apesar da exigência de que todas as pontes da inter-rede sejam identificadas distintamente, isso pode ser conseguido na fabricação dos compo-

nentes [2], [4].

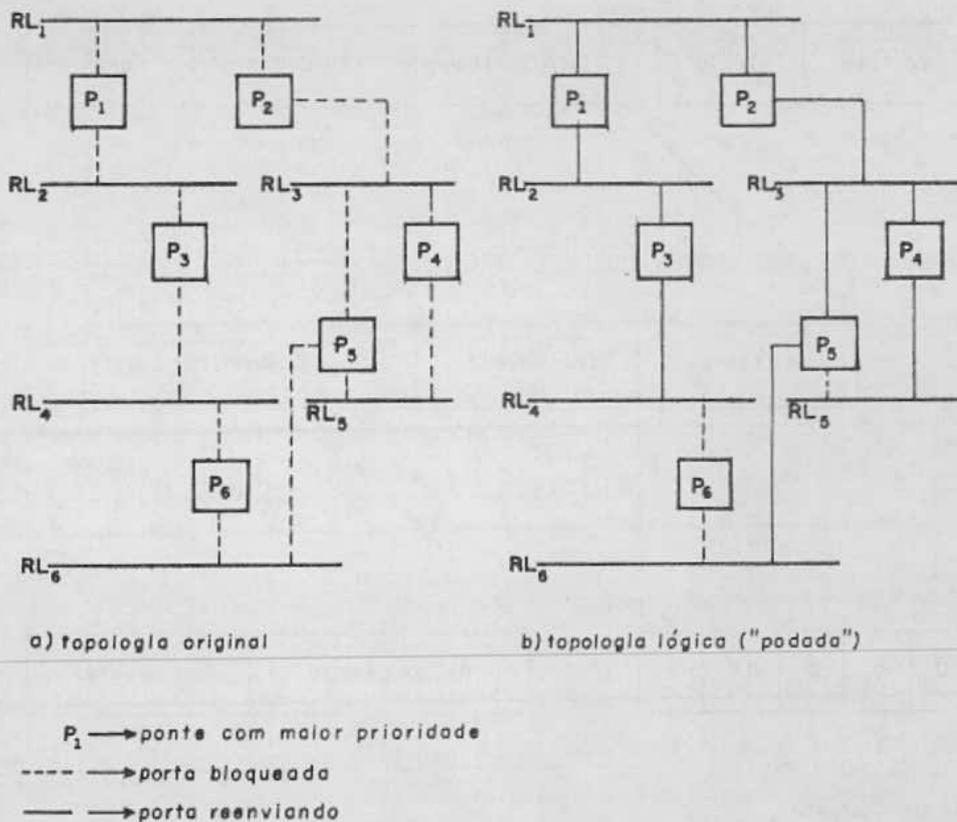


Fig. 3 - Efeito do algoritmo da árvore geradora.

3. PONTES DE ROTEAMENTO NA FONTE

Neste modelo, o transmissor do quadro especifica a rota que o mesmo deve seguir para chegar ao seu destino. Obviamente, deve haver algum mecanismo que permita à estação fonte descobrir a(s) rota(s) até a estação de destino. Caso existam várias rotas, uma delas deve ser escolhida. As pontes, por sua vez, não necessitam manter um banco de dados de encaminhamento, bastando verificar no próprio quadro por onde reenviá-lo. A contrapartida é a necessidade de envolvimento dos hospedeiros [5], [6].

A especificação de uma rota consiste em uma sequência de "descritores de rota" ("route designators"). Cada descritor de rota contém um número de RL, que deve ser único para cada RL da inter-rede, e um número da próxima ponte adjacente, que deve ser único somente para pontes entre as mesmas duas RLs. Os descritores de rota são incluídos no campo de informação de roteamento, juntamente com um sub-campo de controle de roteamento. O campo de informação de roteamento deve fazer parte do cabeçalho do quadro. Para denotar a presença de informação de roteamento, o bit mais significativo do campo de endereço da fonte, atualmente não utilizado, deve estar ligado. A fig. 4

mostra o formato provável do quadro a ser padronizado.

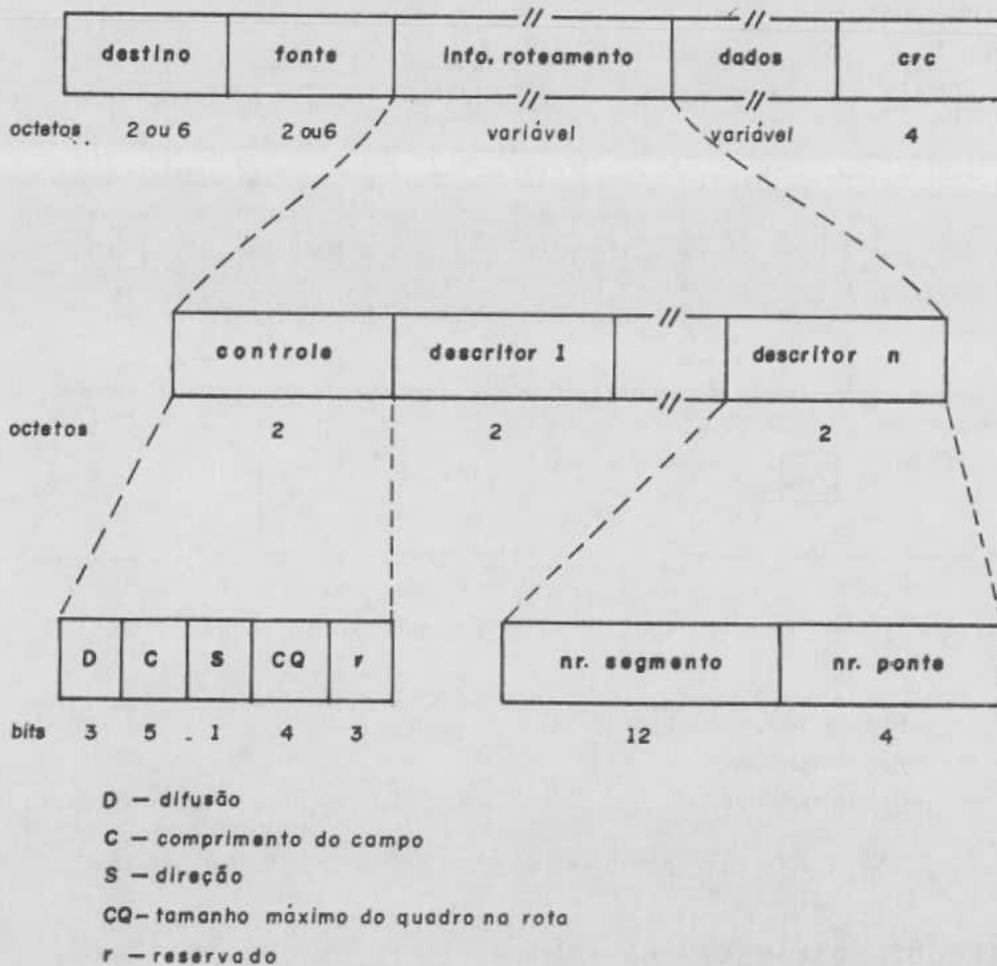


Fig. 4 - Formato do quadro para roteamento na fonte.

Funções de difusão desempenham um papel especial nesta técnica, por serem a base para o processo de descoberta de rota. Além de difusão total e parcial (de grupo), especificadas no campo de endereçamento de destino, e disponíveis em qualquer RL, o sub-campo de controle de roteamento, através dos três bits D, oferece as seguintes opções:

.transmissão sem difusão (D=000): o quadro passará somente pelas pontes e segmentos especificados nos descritores de rota;

.difusão por todas as rotas (D=100): o quadro atingirá todos os segmentos da inter-rede, por todas as rotas possíveis. Assim, a(s) estação(ões) destinatária(s) receberá(ão) tantas cópias do quadro, quantas forem as rotas existentes;

.difusão por rota única (ida), retorno com difusão por todas as rotas (D=110): resulta na passagem do quadro por todos os segmentos da inter-rede uma única vez, no caminho de ida, implicando na criação de uma árvore geradora, com um subconjunto

das pontes, para que os ciclos e as vias múltiplas sejam eliminados. O quadro de resposta será difundido por todas as rotas possíveis; e

.difusão por rota única (ida), retorno com transmissão sem difusão (D=111): idem ao anterior quanto ao caminho de ida do quadro, sendo que, o retorno se dará pela mesma rota.

Como os tipos de difusão indicados no endereço de destino são independentes dos indicados no sub-campo de controle de roteamento, são possíveis combinações entre eles. Vejamos alguns exemplos:

.difusão total ou parcial, sem campo de informação de roteamento: todas as estações, ou todos os membros do grupo, naquele segmento, receberão o quadro;

.difusão total ou parcial, com difusão por rota única ou com difusão por todas as rotas: todas as estações, ou todos os membros do grupo, em toda a inter-rede, receberão o quadro;

.endereço de destino especificando uma única estação, com transmissão sem difusão: a estação endereçada receberá o quadro se estiver em uma das RIs especificadas no campo de informação de roteamento.

A participação das estações engloba as seguintes funções:

- .desencadeamento do procedimento de descoberta de rota(s);
- .seleção de rotas;
- .associação (endereço-rota) e armazenamento de rotas;
- .inclusão de rotas em quadros a serem transmitidos; e
- .gerenciamento de rotas.

A primeira função é merecedora de algumas palavras adicionais. Um transmissor qualquer pode escolher uma dentre três estratégias, baseadas no campo de difusão - bits D - do sub-campo de controle de roteamento, para achar o caminho até um destinatário qualquer. A primeira delas consiste em transmitir o quadro de descoberta de rota com indicação de difusão por todas as rotas (D=100). O destinatário receberá, provavelmente, várias cópias do quadro, associará e armazenará as rotas, e emitirá igual número de respostas.

Na segunda opção, o quadro é transmitido com especificação de difusão por rota única, e o receptor responde utilizando difusão por todas as rotas (D=110). Ao receber os quadros de resposta, o transmissor seleciona, associa, e armazena uma ou mais rotas. A estação destinatária, por sua vez, associará e armazenará a rota, somente quando receber o próximo quadro proveniente da estação iniciadora do processo.

A última alternativa é efetivada através do envio do quadro de descoberta de rota com indicação de difusão por rota única, como na segunda opção, sendo que, no retorno, a transmissão será sem difusão (D=111). Nesta estratégia, ao receber o quadro, a estação de destino associa e armazena a rota, e a inclui no

quadro de resposta. A estação fonte, assim que receber este último quadro, fará o mesmo.

A operação das pontes, novamente, divide-se em três funções, quais sejam, descoberta de rota, encaminhamento de quadros, e prevenção de ciclos. As pontes identificam quadros de descoberta de rota através da codificação dos bits D, do sub-campo de controle de roteamento.

Se a indicação for de difusão por rota única, e a ponte estiver designada para encaminhar quadros com essa indicação, ela incluirá no campo de informação de roteamento a sua identificação e o número da próxima RL por onde o quadro passará. O comprimento do campo de informação de roteamento (bits C) e o tamanho máximo de quadros na rota (bits CQ) serão atualizados, o CRC recalculado, e o quadro retransmitido. Caso a ponte não esteja autorizada a rotear quadros de difusão por rota única, o mesmo será simplesmente descartado.

Se a especificação for de difusão por todas as rotas, a ponte atuará nos moldes descritos acima, retransmitindo o quadro pelas portas diferentes da de recepção do mesmo. No processo de descoberta de rota, caso o identificador da próxima RL já conste nos descritores de rota, o quadro não será reenviado, prevenindo, deste modo, a formação de ciclos.

O encaminhamento é realizado somente para quadros com indicação de transmissão sem difusão. Nessa modalidade, as rotas já foram determinadas, e o campo de informação de roteamento já está com seu conteúdo totalmente definido. A ponte pesquisa nos descritores de rota se há uma cadeia contendo a sua identificação ladeada pelos números das RLs que ela conecta. Se houver, o quadro será retransmitido no próximo segmento. Durante o roteamento de quadros, ciclos são evitados verificando se o número da próxima RL ocorre mais de uma vez nos descritores de rota.

A principal vantagem desta estratégia é a possibilidade de otimização do encaminhamento. Porém, o tráfego gerado durante o processo de descoberta de rota pode ser insuportável para a inter-rede. Sua maior desvantagem reside na necessidade de envolvimento das estações, que deverão participar ativamente na descoberta de rotas, além de terem que desempenhar funções de gerência das mesmas.

4. PROPOSTA PARA UMA PONTE HÍBRIDA

As duas tecnologias para interconexão de RLs, que foram apresentadas, são incompatíveis. O método da árvore geradora transparente, aprovado pelo comitê IEEE 802.1, deveria ser o único padrão. Contudo, frente à insistência do comitê IEEE 802.5, este último ficou encarregado da padronização do método de roteamento na fonte. Algumas exigências foram impostas para que o IEEE 802.5 pudesse levar adiante o seu trabalho, sendo a

principal, a criação de mecanismos que tornassem possível a convivência dos dois métodos na mesma inter-rede.

A ponte híbrida (PH) que ora propomos, fornecerá meios para que estações em inter-redes IEEE 802 diferentes, incompatíveis, possam se comunicar. É importante salientar que não estamos sugerindo mecanismos tais como os que deverão ser criados pelo IEEE 802.5; desenvolvemos um dispositivo misto de árvore geradora e roteamento na fonte, em contraposição à ponte de roteamento na fonte estendida, que deverá ser padronizada pelo IEEE 802.5.

Inicialmente, discutiremos os problemas que devem ser resolvidos no processo de conciliação dos dois esquemas. Posteriormente, abordaremos a arquitetura e a funcionalidade da ponte híbrida.

4.1. Questões Técnicas e Operacionais

As diferenças de concepção entre os dois métodos situam-se, basicamente, no formato dos quadros, e no grau de participação dos hospedeiros. No método de roteamento na fonte o cabeçalho dos quadros é acrescido de um campo de informação de roteamento, que deverá ser tratado apropriadamente - incluído ou excluído - dependendo do sentido em que os quadros estiverem trafegando. O campo de informação de roteamento, quando excluído, deverá ter seu conteúdo salvo para uso futuro. Quando incluído, alguns de seus campos estarão sujeitos a alterações para, por exemplo, atualizar o tipo de difusão. Em ambos os casos o CRC deverá ser recalculado.

No esquema da árvore geradora os hospedeiros permanecem totalmente alheios à presença de facilidades para interconexão de RLs. Desta forma, para que sejam preservadas intactas as características de cada método, as estações em inter-redes de árvore geradora (IRAG) deverão ser substituídas na execução das funções de descoberta, seleção e manutenção de rotas, quando em comunicação com estações em inter-redes de roteamento na fonte (IRRF).

Um último problema, geral para pontes, trata-se do controle de ciclos e de duplicação de quadros. As PHs não podem se valer de um algoritmo de árvore geradora, pois isso acarretaria níveis consideráveis de sobrecarga nas inter-redes participantes da inter-rede híbrida (IRH). E, como a IRH é formada a partir de outras inter-redes, qualquer tipo de sobrecarga, seja de processamento, seja de tráfego, é indesejável, uma vez que fatalmente implicaria no crescimento do tempo de resposta.

O esquema de prevenção de ciclos deve gerar o mínimo de tráfego extra possível, já que a sua implementação provavelmente estará calcada em quadros com conteúdos específicos, emitidos sob demanda. Qualquer outra opção para solucionar este problema, dependeria de modificações na estrutura dos quadros, como no método de roteamento na fonte, causando um impacto sensivelmente maior nas inter-redes interconectadas e na funcionalidade das PHs.

4.2. Componentes da Ponte Híbrida

Além de duas ou mais portas para as inter-redes que ela conecta, e de uma unidade de processamento, a PH possui um banco de dados de localização de estações (BDL), e uma lista temporária de estações a serem localizadas (LTE).

O BDL conterá t-uplas do tipo: <endereço, [estação desconhecida], identificação de porta, [rota selecionada], idade>. Cada entrada do BDL fornece informações sobre a localização de uma estação na IRH. O campo endereço a identifica. Identificação de porta situa a saída da PH que propicia o acesso à mesma. Caso a estação resida em uma IRRF, rota selecionada armazenará o campo de informação de roteamento a ser acrescentado ao cabeçalho dos quadros a ela endereçados. Caso contrário, terá valor nulo. O campo idade existe para efeito de envelhecimento de entradas do BDL, e será utilizado como seu homônimo do BDE.

Deixamos o campo estação desconhecida propositadamente por último, devido à sua singularidade. Ele será utilizado exclusivamente durante procedimentos de localização de estações, mantendo a PH informada sobre quem procura quem. O seu preenchimento se dará quando a estação detentora da t-upla desejar comunicar-se com um hospedeiro, cuja localização a PH ignore. Uma vez que a estação procurada seja encontrada, a mesma ganhará uma entrada no BDL, e o seu endereço, no registro da estação que a procurava, será substituído por um valor nulo.

Enquanto o BDL contém, entre outros, dados a respeito de pares fonte-destino que tentam se comunicar, a LTE armazena informações sobre as rotas que estão sendo formadas para viabilizar essas conexões. Durante a fase de busca, as LTEs registrarão os caminhos (PHs e portas) que estão sendo seguidos. Após a localização da referida estação, as LTEs auxiliarão a evitar a duplicação de quadros e vias, na fase de consolidação de rota.

Para tanto, as entradas da LTE terão os seguintes campos: <endereço de estação procurada, [endereço de PH, identificação de porta, idade]>. Os três últimos campos, chamados estrutura de predecessora, ocorrerão uma ou mais vezes em um único registro da LTE, e sempre em conjunto. Identificação de porta situa a saída para a respectiva PH, e idade registra o instante em que a mesma passou a fazer parte de uma das rotas em formação, entre a estação fonte e a estação procurada. Neste contexto, estação de destino e estação procurada possuem a mesma conotação.

Na fase de busca, uma PH saberá quais PHs são suas predecessoras imediatas, entre um par fonte-destino qualquer, através das estruturas de predecessoras que estiverem associadas àquele destino. Queremos crer que o termo predecessora imediata enseje esclarecimentos. Considere uma inter-rede, na qual uma estação X (fonte) deseja se comunicar com uma estação Y (destino); que entre elas existam seis pontes, P1, P2, P3, P4, P5 e P6; e que P2 e P3, sejam paralelas, da mesma forma que P5 e P6. Considere ainda, que todo quadro emitido por X, e endereçado a Y, encontra as pontes nesta sequência: P1, P2/P3, P4, P5/P6. Assim, no sentido X → Y, P1 precede todas as outras pontes, porém, é

predecessora imediata apenas de P2 e de P3. P2 e P3 precedem P4, P5 e P6, mas são predecessoras imediatas de P4, somente. Por fim, P4 é predecessora imediata de P5 e de P6.

Na fase de consolidação de rota, cada PH, a seu tempo, escolherá uma das suas predecessoras imediatas, normalmente a primeira a declarar-se predecessora, para compor a rota. Se houver empate entre duas predecessoras, a escolha recairá sobre a que ostentar a menor idade, ou seja, aquela que participa da rota a mais tempo. Outro aspecto interessante, é que na ocorrência de falhas, caso existam múltiplas predecessoras, a PH terá conhecimento delas e poderá utilizá-las. E, salientando a característica mais importante do procedimento de localização de estações, mesmo em se explorando todas as rotas na fase de busca, o retorno é realizado por apenas uma delas, eliminando as possibilidades de duplicações de vias e/ou quadros.

4.3. Quadros de Controle da Ponte Híbrida

Além dos componentes descritos acima, a proposta prevê a existência de um certo número de quadros de controle, que emprestarão a dinâmica necessária ao procedimento de localização de estações. Esses quadros são compreendidos e recebidos apenas por PHs, de modo que deve haver um endereço de grupo exclusivo, e reconhecido por todas as PHs de uma IRH. A propósito, toda PH deve ter identificação única, bem como as portas de cada PH.

O primeiro quadro de controle chama-se "batedor" (BR), e constitui-se na mola mestra da fase de busca de estações desconhecidas. O mesmo será utilizado sempre que uma PH receber um quadro, cujo endereço de destino não conste no seu BDL. Seu formato é o seguinte: <endereço de grupo das PHs, endereço da PH transmissora, tipo do quadro de controle, endereço da estação procurada, tamanho máximo de quadro na rota, idade>. O campo idade conterá o instante do recebimento, pela PH transmissora, do primeiro quadro proveniente da estação fonte.

A PH que receber um quadro BR, entenderá que a emissora do mesmo está tentando localizar determinada estação. É importante destacar que somente o primeiro quadro BR recebido por cada porta da PH será considerado. Quadros BR subsequentes, que reincidirem através de uma porta já usada, serão definitivamente descartados.

O segundo tipo de quadro, chamado "retorna bateador" (RB), será empregado na fase de consolidação de rota. A PH que localizar uma estação que estava sendo procurada, selecionará uma das PHs predecessoras associadas àquela estação. Por seu turno, a PH que receber um quadro RB, saberá se foi escolhida para fazer parte de uma nova rota, comparando o seu endereço individual com o constante no campo "endereço da PH predecessora". O quadro RB inclui os campos a seguir: <endereço de grupo das PHs, endereço da PH transmissora, tipo, endereço da PH predecessora, endereço da estação procurada, tamanho máximo de quadro na rota>.

O quadro "reconhecimento de retorno de bateador" (RRB),

confirma o recebimento do quadro RB por uma PH, e assegura a consolidação de estágios de uma rota. Formato: <endereço de PH, endereço da PH transmissora, tipo, endereço da estação procurada>.

O quarto quadro de controle, chamado "rota concluída" ou RC, tem a seguinte composição: <endereço de grupo das PHs, endereço da PH transmissora, tipo, endereço da estação procurada, endereço da estação fonte, idade>. Este quadro será utilizado por qualquer PH que, eventualmente, tenha desencadeado o procedimento de localização de estações. Ou seja, foi a primeira a transmitir um quadro BR com vistas a encontrar determinada estação. Ao receber informações sobre a estação procurada, essa PH difundirá um quadro RC na inter-rede que estiver na direção da estação fonte, que nem sempre será a inter-rede onde a estação fonte reside. Com isto, a PH almeja "fechar" a rota, quer dizer, deseja ser a única a retransmitir quadros entre aquela inter-rede, de um lado, e a estação encontrada, do outro.

O quadro RC faz-se necessário, para consolidar o último estágio de uma rota em formação. O quadro RB faz o mesmo, porém em estágios intermediários da rota, e em condições diferentes, pois existem uma ou mais PHs predecessoras conhecidas. No último estágio, podem existir várias PHs tentando fechar uma rota. Contudo, elas se ignoram mutuamente.

O campo idade, do quadro RC, servirá como critério de desempate entre duas ou mais PHs, e conterá o instante do recebimento do primeiro quadro proveniente da estação procurada. A PH que o recebeu antes, será a autorizada.

Antes de procedermos com a descrição do próximo quadro de controle, examinemos com cuidado como pode se dar a finalização da fase de busca, do procedimento de localização de estações. Já constatamos que, a procura de estações desconhecidas, invariavelmente acarretará duplicações tanto de quadros quanto de vias. E, igualmente, já oferecemos uma solução para este problema, perfazendo o caminho de retorno por apenas uma das rotas. Porém, surge uma consequência nociva quando a inter-rede da estação procurada está conectada externamente por mais de uma PH, pois a probabilidade de que várias delas consigam fazer chegar à estação destinatária, uma cópia do quadro transmitido pela estação fonte, se não é grande, ao menos existe.

Se estações em IRRFs tratam adequadamente a recepção de vários quadros, que cruzaram múltiplas rotas, o mesmo não acontece com seus pares em IRAGs. Com efeito, quadros repetidos, em geral serão ignorados. Todavia, as PAGs ficarão configuradas de acordo com o último quadro por elas retransmitido. E isso levará o quadro de resposta, eventualmente emitido pela estação destinatária, à última PH. Justamente a que introduziu o maior retardo.

Nossa solução para que a rota mais longa/lenta não seja consolidada, reside no quinto quadro de controle. Qualquer PH que receber um quadro de uma estação procurada, verificará se realmente pode providenciar o caminho mais expedito entre aquele

par fonte-destino. Caso não possa, o quadro proveniente da estação procurada será envelopado no quadro "redireciona retorno" (RR), que será encaminhado à PH que fornecerá a via mais rápida.

O quadro RR conta com os seguintes campos: <endereço de PH, endereço da PH emissora, tipo, comprimento, quadro emitido por hospedeiro>. O campo comprimento diz respeito ao número de octetos do campo seguinte. Este, por conseguinte, conterá um quadro de resposta transmitido por uma estação da inter-rede.

O quadro RR é confirmado com o quadro "reconhecimento de redirecionamento de retorno", ou RRR: <endereço de PH, endereço da PH emissora, tipo, endereço da estação fonte, endereço da estação localizada>. Os dois últimos campos servem para assegurar a corretude do reconhecimento.

4.4. Funcionalidade da Ponte Híbrida

As tarefas de uma PH não diferem, conceitualmente, das tarefas de pontes de árvore geradora e de pontes de roteamento na fonte. De fato, PHs incluem funções para encaminhar quadros, descobrir rotas, aprender a localização de estações, e resolver os ciclos da topologia física. As nuances mais significativas se encontram no esquema de prevenção de ciclos, e no procedimento para localização de estações. A única tarefa que não é comum para os três tipos de pontes apresentadas neste trabalho, trata-se da conversão de quadros.

O encaminhamento, a aprendizagem, e a conversão de quadros são as funções menos complexas. Um quadro é convertido do formato padrão para o formato de roteamento na fonte, através da inserção ou da eliminação do campo de informação de roteamento. E, a não ser nas situações em que a PH ainda não aprendeu a localização de determinada estação, o campo de informação de roteamento estará armazenado no seu BDL.

O roteamento, efetuado apenas para quadros recebidos sem erro, é realizado praticamente como em PAGs. Recupera-se do BDL a entrada com o endereço de destino desejado, e retransmite-se o quadro pela porta indicada (desde que não seja a mesma por onde ele chegou), após tê-lo convertido apropriadamente. Caso o BDL não contenha informações sobre a estação destinatária, é iniciado o procedimento de localização de estações.

É fundamental que se diferencie claramente o procedimento de aprendizagem (de endereço e localização de estações), do procedimento de localização de estações. O primeiro deriva do procedimento de mesmo nome executado por PAGs, e sua principal característica é a passividade. O segundo assemelha-se ao procedimento de descoberta de rotas, relativo ao esquema de roteamento na fonte, e é desencadeado explicitamente.

Todo quadro recebido sem erro por uma PH, é submetido ao procedimento de aprendizagem, independente de ser ou não retransmitido. Como acontece com BDEs, se a entrada referente a

certo endereço fonte já existir no BDL, a mesma terá seu campo de idade atualizado, e, caso a porta de entrada do quadro seja diferente da constante no BDL, esta informação será alterada, refletindo a situação atual. Se ainda não existir entrada com aquele endereço, um novo registro será criado e inserido no BDL. Esse registro conterá o endereço fonte, a identificação da porta de entrada, a idade, e um campo de informação de roteamento, caso o cabeçalho do quadro recebido carregue um.

É importante que se perceba o motivo do armazenamento de todo o campo de informação de roteamento. A estação transmissora pode enviar um quadro de descoberta de rota com indicação de difusão por rota única e retorno ou sem difusão (bits D=111), ou com difusão por todas as rotas (D=110). Nessas situações, a PH deve manter controle sobre como retransmitir o quadro de resposta. Outro dado necessário, é o tamanho máximo de quadro em determinada rota. A PH precisa ter meios para prover essa informação à estação fonte.

O diagrama de blocos da fig. 5 resume o funcionamento de uma PH.

4.5.0 Procedimento de Localização de Estações

Passaremos a descrever, daqui por diante, como as PHs localizam estações e previnem os ciclos na IRH. Essas duas funções são efetivadas pelo procedimento de localização de estações. Esse procedimento, como provavelmente já foi notado, é dividido em duas fases. A primeira, intitulada fase de busca, preocupa-se com procurar e encontrar uma estação. A segunda, chamada fase de consolidação de rota, se encarregará da instalação de rotas livres de ciclos.

Fase de Busca: Procurando uma Estação

Quando uma PH tiver em seu "buffer" um quadro cujo destinatário é desconhecido, ela transmitirá quadros BR por todas as portas diferentes daquela pela qual o "quadro fonte" (emitido pela estação fonte) chegou. Para cada quadro BR, e pelas mesmas portas, será retransmitida uma cópia do quadro fonte. Em seguida, depois da execução do procedimento de aprendizagem, a PH incluirá no seu BDL, na entrada da estação fonte, o endereço da estação de destino (estação desconhecida).

As retransmissões do quadro fonte, dependerão do tipo da próxima inter-rede, que poderá ser uma IRAG ou uma IRRF. Reenviar o quadro por uma IRAG é verdadeiramente simples, bastando que o campo de informação de roteamento seja retirado do cabeçalho. Sendo uma IRRF, surgem alguns complicadores. O cabeçalho do quadro deverá ser acrescido do campo de informação de roteamento, e uma das três alternativas de difusão, voltadas para descoberta de rota, terá que ser escolhida. A opção que propicia menor retardo é a de difusão por todas as rotas (D=100), pois o quadro cumpre o caminho mais rápido/curto tanto na ida quanto na volta. De qualquer forma, em termos práticos, acreditamos que isso deva ser um parâmetro selecionável pelo

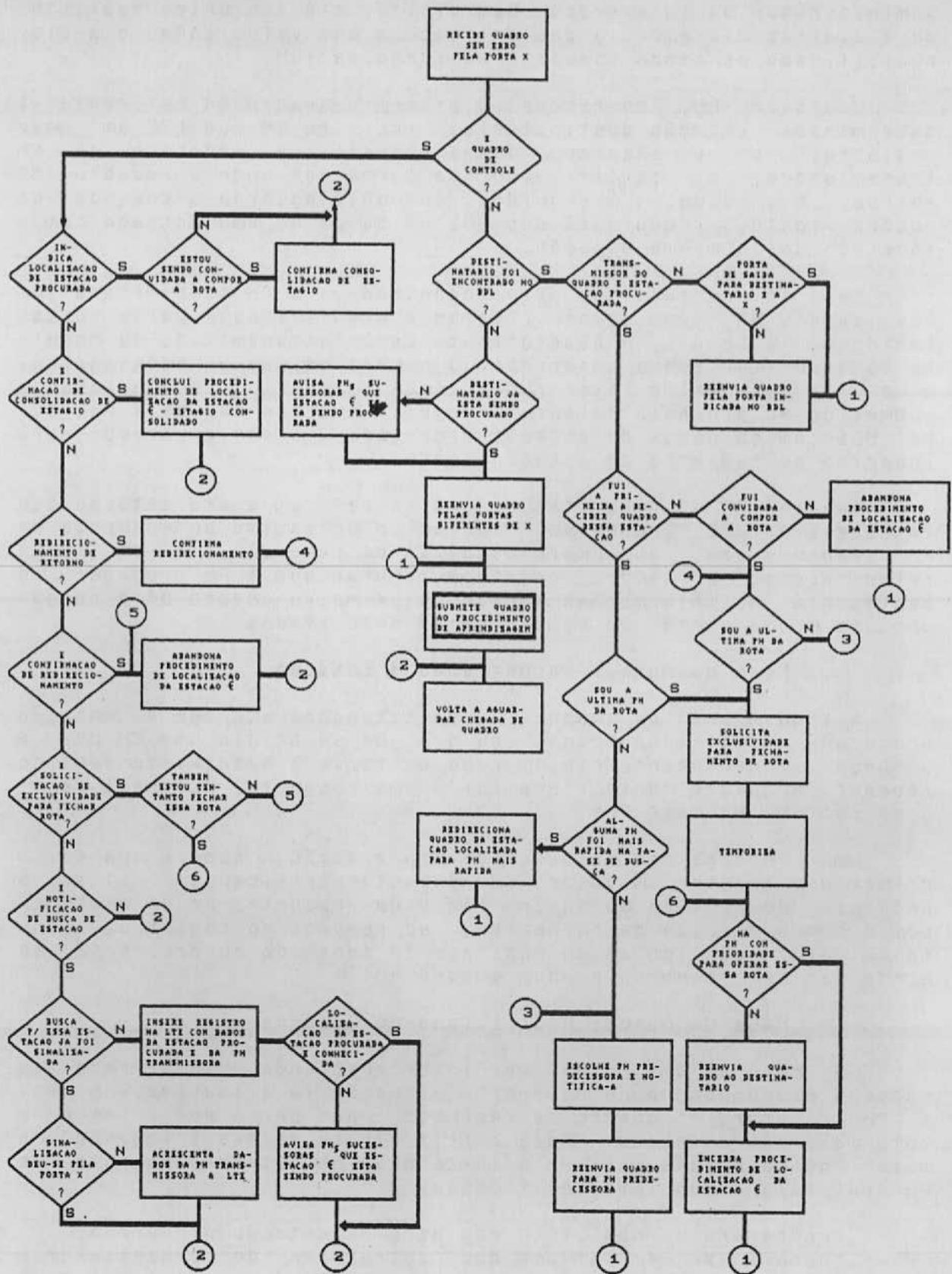


Fig. 5 - Encaminhamento de quadros e localização de estações por Pontes Híbridas.

administrador da inter-rede. Com efeito, ele é o único habilitado a avaliar a premência das aplicações por velocidade, e a disponibilidade de banda passante ao longo da IRH.

Qualquer PH, ao receber o primeiro quadro BR referente a determinada estação destinatária, incluirá em sua LTE um novo registro, com o endereço dessa estação, o endereço da PH transmissora, a identificação da porta por onde o quadro BR entrou, e a idade. Em seguida, enquanto aguarda a chegada do quadro fonte, pesquisará seu BDL em busca de uma entrada com o endereço dessa mesma estação.

Caso tal entrada não seja encontrada, a PH transmitirá um novo quadro BR, com dados próprios e atualizados, pelas portas restantes. A seguir, o quadro fonte será retransmitido da maneira já descrita, sendo observados o número de cópias necessárias, e o tipo da próxima inter-rede. Após o reenvio, o quadro será submetido ao processo de aprendizagem, e, caso não haja entrada no BDL com os dados da estação procurada, o seu endereço será inserido no registro da estação fonte.

Quadros BR subsequentes, caso se refiram a uma estação que já esteja na LTE, causarão, apenas, o acréscimo do endereço da PH transmissora, do número da porta de recepção, e da idade relacionados. É sempre oportuno lembrar que a PH receberá e registrará as informações apenas do primeiro quadro BR a chegar por uma mesma porta. Os demais serão descartados.

Fase de Busca: Encontrando a Estação

A transmissão de quadros BR se estenderá até que a estação procurada seja encontrada, ou até que se atinja uma PH que a conheça. Independente disso, cedo ou tarde a estação de destino receberá o quadro fonte, e emitirá uma resposta, que será recebida por uma ou mais PHs.

Uma PH engajada na busca de uma estação, saberá que foi a primeira a receber um quadro de resposta verificando: (1) se o endereço de destino do quadro recebido encontra-se no seu BDL, com o campo estação desconhecida, do respectivo registro, contendo valor idêntico ao do endereço da fonte do quadro; e (2) se ainda não foi recebido nenhum quadro RB.

Fase de Busca: Redirecionando Quadros

Se mais de uma PH estiver interconectando a inter-rede da estação procurada, pode ocorrer a situação já discutida, na qual a PH receptora do quadro de resposta, não ser a que fornece a rota mais rápida/curta. Para certificar-se de que é (ou não) a mais indicada para iniciar a instalação de determinada rota, a PH realizará a seguinte verificação:

- .recuperará na sua LTE o registro da estação procurada;
- .checará se em alguma das estruturas de predecessoras daquele registro, há uma identificação de porta igual à da chegada do quadro de resposta;
- .se houver, comparará a sua idade, armazenada no seu BDL,

com a idade da PH associada àquela identificação de porta; caso a idade presente na LTE seja menor que a sua, envelopará o quadro de resposta em um quadro RR, e o transmitirá à PH de direito, que deverá confirmar o redirecionamento com um quadro RRR; caso contrário, seguirá o procedimento normal.

Fase de Consolidação: Retornando a primeira Resposta

Ocorrendo ou não redirecionamento de tráfego, a PH que efetivamente for participar da rota, procederá com a difusão de um quadro RB, contendo o endereço da predecessora imediata escolhida. A seguir, o quadro de resposta será reenviado pela mesma porta, e o BDL será atualizado no registro da estação fonte, alterando-se o campo estação desconhecida para "nulo". Posteriormente, o quadro de resposta será submetido ao procedimento de aprendizagem, com a conseqüente inclusão de um novo registro no BDL, para a estação outrora desconhecida.

A PH que receber um quadro RB, comparará o seu endereço individual com o endereço da PH predecessora presente no quadro RB, examinando se foi selecionada para compor a rota. Caso positivo, será devolvido um quadro RRB à PH transmissora, confirmando a consolidação daquele estágio. Eventualmente, o quadro de resposta chegará, permitindo a atualização e a inserção da nova entrada, no BDL, conforme descrito no parágrafo anterior. A PH, provavelmente antes da chegada do quadro de resposta, verificará se ela compõe um estágio intermediário da rota, checando se o endereço da estação procurada, presente no quadro RB, consta na sua LTE. Se ela for uma PH intermediária, um novo quadro RB será emitido, seguido do reenvio do quadro de resposta.

Fase de Consolidação: Fechando a Rota

Caso a PH esteja no estágio final da rota, ela emitirá um quadro RC pela porta indicada na entrada da estação fonte, no BDL. Com o quadro RC, a PH estará informando às outras PHs que conectam determinada inter-rede externamente, que ela pretende fechar a rota que fornece o acesso a certa estação encontrada. Essa mesma PH disparará um temporizador para protelar a conclusão da rota, dando tempo necessário a outras PHs igualmente habilitadas, para reclamar o seu direito de fechamento de rota. Se durante esse período não chegar nenhum quadro RC pela mesma porta mencionada acima, a PH assumirá que a rota foi fechada, e retransmitirá o quadro de resposta na direção da estação fonte.

As PHs que receberem um quadro RC, certamente estarão envidando esforços no sentido de estabelecer a mesma rota. Porém, dificilmente o conseguirão, a não ser que ocorram falhas durante a fase de consolidação. De qualquer forma, aquelas PHs podem ou não encontrar-se na etapa de conclusão de rota. Caso não se encontrem, ou seja, caso não tenham recebido um quadro de resposta, abandonarão o procedimento de localização, e atualizarão os respectivos BDLs. O mesmo se dará, se, apesar de estarem na etapa de conclusão, ainda não tiverem transmitido quadros RC. Por outro lado, caso já tenham difundido seus quadros RC, teremos um empate, que será decidido em favor da PH detentora da

menor idade de recebimento do quadro de resposta. As comparações entre idades serão realizadas por cada PH isoladamente. Uma PH recuperará a sua idade em seu BDL, e obterá as idades das outras PHs nos quadros RC.

4.6.Exemplo de Operação

Nesta seção daremos um exemplo prático do funcionamento de PHs. Tomemos como base a inter-rede da fig. 6. Consideremos que a estação e1 esteja tentando iniciar conversação com a estação e4, e que nenhuma PH tenha conhecimento de qualquer das duas estações.

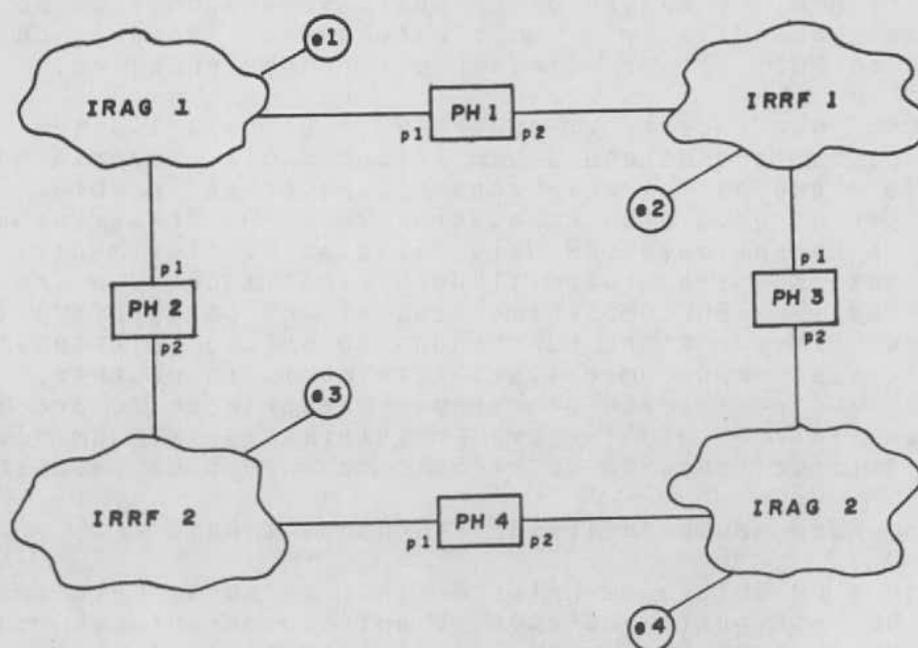


Fig. 6 - Exemplo de inter-rede híbrida.

A estação e1 transmitirá um quadro endereçado à estação e4. Esse quadro inundará a IRAG 1, e, eventualmente, atingirá a PH 1 e a PH 2. Elas transmitirão pelas portas p2, os seguintes quadros BR, respectivamente: <PHs,PH1,'br',e4,mq (maior quadro),idade.f1 (hora do recebimento do quadro fonte)> e <PHs,PH2,br,e4,mq,idade.f2>. Logo depois, o quadro fonte (e1-e4) será retransmitido, pelas mesmas portas, com indicação de difusão por todas as rotas. Ambas incluirão nos seus BDLs <e1,e4,p1,-,idade.f1> e <e1,e4,p1,-,idade.f2>, respectivamente.

Quando a PH 3 receber o quadro BR proveniente da PH 1, o registro <e4,PH1,p1,idade.f1> será inserido na sua LTE, e será transmitido um novo quadro BR - <PHs,PH3,'br',e4,mq,idade.f3> - pela porta p2. O quadro fonte, ao chegar, será retransmitido e submetido ao processo de aprendizagem, ocasionando a inclusão da

seguinte entrada no BDL da PH 3: <e1,e4,p1,rota PH1-PH3 selecionada,idade.f3>.

A PH 4 terá comportamento semelhante ao receber o quadro BR proveniente da PH 2. Sua LTE será acrescentada do registro <e4,PH2,p1,idade.f2>, e o quadro BR <PHs,PH4,'br',e4,mq,idade.f4> será enviado pela porta p2. Após a recepção, o reenvio, e a aprendizagem do quadro fonte, a entrada <e1,e4,p1,rota PH2-PH4 selecionada,idade.f4> será inserida no seu BDL.

A estação e4, eventualmente receberá as duas cópias do quadro fonte encaminhadas pelas PHs 3 e 4. A segunda cópia a chegar provavelmente será descartada. Vamos supor que a última cópia a chegar seja a retransmitida pela PH 4.

No intervalo entre o reenvio das cópias do quadro fonte pelas PHs 3 e 4, a recepção das mesmas pela estação e4, e a emissão do quadro de resposta, a PH 3 receberá o quadro BR transmitido pela PH 4, e a PH 4 receberá o quadro BR emitido pela PH 3. A PH 3 acrescentará os dados da PH 4 na entrada da LTE pertencente à estação e4, que ficará assim: <e4,PH1,p1,idade.f1,PH4,p2,idade.f4>. A PH 4 fará o mesmo com relação à PH 3, resultando no seguinte registro na sua LTE: <e4,PH2,p1,idade.f2,PH3,p2,idade.f3>.

Eventualmente, a estação e4 transmitirá um quadro de resposta. Esse quadro será recebido apenas pela PH 4, uma vez que ela foi a última a reenviar o quadro fonte para e4. Como o quadro de resposta foi recebido pela porta p2, a PH 4 comparará a sua idade, idade.f4, com a idade da PH 3, idade.f3, que está na sua LTE. Certamente, a idade da PH 3 será a menor, pois ela foi a primeira a retransmitir a cópia do quadro fonte para e4. Consequentemente, a PH 4 envelopará o quadro de resposta emitido por e4 no quadro RR <PH3,PH4,'rr',comprimento do quadro de resposta,quadro de resposta>, e o transmitirá pela porta relacionada. A PH 3, ao receber esse quadro RR, confirmará sua recepção com o quadro RRR a seguir: <PH4,PH3,'rrr', e1,e4>.

A PH 4 abandonará o procedimento de localização da estação e4, e a PH 3 iniciará a fase de consolidação de rota. Ela difundirá pela porta p1, o seguinte quadro RB: <PHs,PH3,'rb',PH1,e4,mq>. Depois, retransmitirá o quadro de resposta, com indicação de transmissão sem difusão, especificando a "rota PH1-PH3 selecionada" (que será interpretada no sentido oposto), obtida no seu BDL, no campo de informação de roteamento do quadro de resposta. Por fim, a entrada da estação fonte (e1) do seu BDL será atualizada: <e1,'nulo',p1,rota PH1-PH3 selecionada,idade.f3>. E o quadro de resposta será submetido ao procedimento de aprendizagem, causando a inclusão da entrada <e4,'nulo',p2,-,idade.r3 (idade da recepção do quadro de resposta)> no BDL.

A PH 1, ao receber o quadro RB da PH 3, emitirá o quadro RC <PHs,PH1,'rc',e1,e4,idade.r1> pela porta p1. A PH 2 não se manifestará, já que a PH 4 abandonou a fase de consolidação. Decorrida a temporização, o quadro de resposta, já recebido, será retransmitido pela porta p1, em direção à estação e1. A PH 1 atua-

lizará seu BDL na entrada da estação e1: <e1,'nulo',p1,-,idade.f1>. E, após o processo de aprendizagem ser aplicado ao quadro de resposta, seu BDL conterá mais uma entrada: <e4,'nulo',p2,rota PH1-PH3,idade.r1>.

4.7.Considerações sobre Desempenho

O desempenho de uma IRH deve ser analisado, primordialmente, à luz dos três aspectos listados abaixo:

- .sobrecarga de tráfego na IRH - decorre da filosofia empregada na fase de busca, do procedimento de localização de estações. Entretanto, como o tráfego inter-redes geralmente é bem menor que o intra-rede, o impacto resultante tende a ser reduzido;
- .sobrecarga de processamento nas PHs - é consequência da maior funcionalidade suportada por uma PH. De qualquer forma, é possível construir-se PHs velozes, capazes de suportar altas taxas de chegadas, com a tecnologia atualmente disponível; e
- .retardo na comunicação entre hospedeiros - depende do item anterior e do tamanho da IRH, e deve ser mantido aproximadamente nos mesmos níveis encontrados em RLs individuais. Constitui-se, provavelmente, na principal exigência imposta a inter-redes de modo geral, e, como uma IRH pretende ser formada a partir de outras inter-redes, seguramente este aspecto configura-se no mais crítico desafio a ser enfrentado.

É interessante salientar que roteadores, ou sistemas retransmissores da camada de rede, podem ser adotados como solução alternativa às PHs. Roteadores são mais complexos, pois encerram a camada de rede, e, por conseguinte, introduzem maior sobrecarga de processamento, assim como maiores retardos. Em contrapartida, oferecem maior funcionalidade e alcance, visto que podem interconectar redes, ou inter-redes, com as camadas física e de enlace de dados incompatíveis.

5.CONCLUSÃO

Tanto pontes transparentes de árvore geradora, quanto pontes de roteamento na fonte, podem interconectar qualquer tipo de rede local padronizada pelo comitê IEEE 802. Entretanto, elas são exclusivas, ou seja, não é possível implementar uma inter-rede valendo-se das duas tecnologias simultaneamente.

Os dois tipos de pontes possuem vantagens e desvantagens, e deverão ser escolhidas criteriosamente. Pontes transparentes, como o próprio nome diz, não acarretam modificações em hospedeiros. Porém, nem sempre propiciarão os melhores tempos de resposta. A técnica de roteamento na fonte, em contrapartida, oferece condições para que a via mais rápida entre dois nós possa ser explorada. Além disso, evita pesquisas em tabelas, que, even-

tualmente, podem tornar-se custosas. Contudo, obriga a participação das estações em várias funções.

Para possibilitar o aproveitamento de ambas as pontes na mesma inter-rede, apresentamos neste trabalho a especificação de uma ponte híbrida, que, se de um lado entende inter-redes de árvore geradora, do outro compreende inter-redes de roteamento na fonte. Com isso, problemas de interconexão específicos podem ser resolvidos com a técnica mais apropriada, sem que a conectividade global fique comprometida.

Além de incluir, onde justificável, novas soluções, a proposta da ponte híbrida engloba diversas funções dos dois esquemas de interconexão visitados. Assim, a ponte híbrida está habilitada a aprender o endereço e a localização das estações através de quadros recebidos, localizar estações quando necessário, converter o cabeçalho dos quadros, prevenir ciclos, e realizar roteamento. Adicionalmente, sua operação é totalmente transparente para as inter-redes que ela conecta, sem exigir qualquer tipo de adaptação ou modificação em estações ou em pontes já existentes.

Trabalhamos, atualmente, na especificação formal do algoritmo da ponte híbrida, a fim de facilitar a etapa de verificação de correção e testes. Com a conclusão desta última, pretendemos implementá-lo, e proceder com a realização de estudos de viabilidade.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] - W. F. Giozza, et al. "Redes Locais de Computadores: Tecnologia e Aplicações", McGraw-Hill, São Paulo, 1986.
- [2] - M. Soha e R. Perlman. "Comparison of Two LAN Bridge Approaches", IEEE Network Mag., vol. 2, nr. 1, pp. 37-43, jan. 1988.
- [3] - F. Backes, "Transparent Bridges for Interconnection of IEEE 802 LANs", IEEE Network Mag., vol. 2, nr. 1, pp. 5-9, jan. 1988.
- [4] - L. Zhang. "Comparison of Two Bridge Routing Approaches", IEEE Network Mag., vol. 2, nr. 1, pp. 44-48, jan. 1988.
- [5] - R. C. Dixon e D. A. Pitt. "Addressing, Bridging and Source Routing", IEEE Network Mag., vol. 2, nr. 1, pp. 25-32, jan. 1988.
- [6] - D. A. Pitt e J. L. Winkler. "Table-Free Bridging", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-5, nr. 9, pp. 1454-1462, dez. 1987.