



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - GTL

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS- GTL

O PROTOCOLO GOOSE NO PONTO DE VISTA DAS TELECOMUNICAÇÕES

**Luis Gustavo Coelho
ELETROBRAS - ELETROSUL**

**Daniel Kolm
ELETROBRAS – ELETROSUL**

**Marcos Romeu Benedetti
ELETROBRAS - ELETROSUL**

RESUMO

O presente trabalho demonstra a viabilidade técnica e precauções quanto ao uso do protocolo GOOSE através de sistemas de comunicação de baixas velocidades.

PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850, GOOSE, telecomunicações

1.0 - INTRODUÇÃO

O protocolo GOOSE, definido pela norma IEC 61850 (1), baseia-se em pacotes de dados multicast ou broadcast com tags de VLAN e QoS, buscando garantir a comunicação rápida e confiável entre equipamentos de uma subestação através de uma LAN. No entanto, dada a característica de transmissão de dados por rajadas necessária para adicionar confiabilidade em um meio não determinístico, tal como a rede Ethernet, a utilização do protocolo GOOSE através de links de dados de velocidades menores que 100 Mbps poderiam representar atrasos e/ou perda de pacotes que tornariam esta comunicação inviável no ponto de vista da confiabilidade.

No entanto, muitas vezes não há viabilidade técnica e/ou financeira para disponibilizar um canal de 100Mbps para o tráfego de pacotes GOOSE entre IEDs distantes um do outro.

Desta forma, este trabalho visa demonstrar, através de análise teórica (cálculos probabilísticos de tráfego de pacotes, com foco nos piores casos possíveis) e testes práticos em laboratório, a viabilidade técnica da utilização de links de baixa velocidade para comunicação de equipamentos entre subestações baseada em protocolo GOOSE.

2.0 - REDES ETHERNET E O PROTOCOLO GOOSE

O advento da norma IEC 61850 permite que em determinados arranjos, ocorra a redução da quantidade de IEDs instalados para desempenhar o papel de proteção tanto de máquinas em usinas, quanto de linhas de transmissão, barramentos e transformadores, bem como de esquemas especiais de proteção, tais como esquemas de cortes de carga e anti-ilhamento (2).

Por outro lado, os efeitos colaterais desta nova implementação nos arranjos de telecomunicações necessários, para atendimento a esta nova realidade, podem acabar resultando em um aumento de custos inadmissível, que inviabilize a utilização desta nova tecnologia.

Uma das características do protocolo GOOSE é a comunicação através de rajadas. Tal característica se faz necessária em um meio não determinístico, para que informações importantes cheguem ao seu destino de maneira mais rápida possível, levando em consideração que alguns pacotes podem ser perdidos. A rajada GOOSE consiste em uma sequência de pacotes Ethernet, com payload (carga útil) similar, onde o tempo entre cada pacote inicialmente é baixo, de modo que a eventual perda de um pacote não atrase significativamente a entrega da informação, e vai aumentando a cada pacote transmitido até que se atinja o tempo máximo entre pacotes, atingindo o estágio de keep-alive. Neste estágio, o último pacote é repetido apenas para indicar que o meio está ativo e em funcionamento.

Quando há quaisquer alterações no sistema em que um IED necessite enviar novas informações a outro IED na rede (uma alteração em um valor medido, ou uma mudança de estado, por exemplo), é iniciada uma nova rajada de pacotes, interrompendo a rajada anterior (esteja ela no estágio de keep-alive ou não). O tamanho de cada pacote da rajada varia de acordo com a quantidade de informações compartilhadas entre os IEDs envolvidos sendo em média 300 bytes.

A configuração padrão dos tempos máximos e mínimos entre pacotes é de respectivamente 1000 ms (milissegundos) e 4 ms. A razão padrão de aumento do tempo entre pacotes é 2, ou seja, a cada pacote enviado, o tempo do próximo pacote é duas vezes maior que o tempo anterior, até atingir o tempo máximo. Utilizando os valores padrão acima, após o pacote inicial serão transmitidos pacotes repetidos aos 4, 12, 28, 60, 124, 252, 508 e 1000 ms continuando a transmitir a cada 1000 ms que é o tempo máximo (keep-alive).

3.0 - O PONTO DE VISTA DAS TELECOMUNICAÇÕES

Numa época de redes convergentes, é natural imaginarmos a utilização de uma rede única, com requisitos de disponibilidade e jitter que atendam aos requisitos de uma rede que possa transportar tanto os pacotes GOOSE, quanto os pacotes de dados de operação (MMS), corporativos, voz e vídeo (Videoconferência e Circuito Fechado de TV), baseando-se na premissa de separação por VLANs.

Assim, para utilização deste protocolo sem a necessidade da implementação de uma rede física específica para ele, esta rajada de dados provocada pelo GOOSE deverá conviver com os demais serviços trafegando na rede, sem roubar para si toda a capacidade de banda da mesma nem degradar os demais serviços.

Ao mesmo tempo, tal rede deverá ser economicamente viável, não podendo demandar a implantação de uma capacidade muito superior ao requerido para os demais serviços, apenas para atendimento dos requisitos necessários ao transporte dos pacotes GOOSE.

Tendo em vista o crescente aumento do foco na competitividade necessária aos novos empreendimentos, e que o custo da implantação de infraestrutura de telecomunicações geralmente não depende do tamanho do empreendimento, e sim de sua distância ao backbone existente, o aumento de custo para atendimento destes novos requisitos tem impacto proporcionalmente maior em PCHs e sistemas de transmissão com RAP (Receita Anual Permitida) reduzida, uma vez que o custo total do empreendimento também é menor. E são exatamente estes tipos de empreendimento os considerados mais adequados para aplicação de esquemas especiais de proteção utilizando comunicação em multicast.

Em localidades remotas, onde não dispõe-se de rede óptica, de maior capacidade, as opções são enlaces de rádio ou canais alugados, que normalmente estão limitados a 2 Mbps (Megabits por segundo), que é a velocidade de um tributário G.703, amplamente utilizado neste tipo de implantação.

Em virtude dos equipamentos utilizados em enlaces de longa distância normalmente possuem buffers de transmissão, a redução da velocidade do link pode acarretar em atrasos consideráveis na entrega dos pacotes GOOSE.

Se considerarmos uma implantação de baixo custo de uma solução de proteção onde os relés comuniquem-se entre si através de GOOSE em canais de 64kbps (um timeslot) que é a velocidade largamente utilizada atualmente, por exemplo, pelo protocolo IEEE C37.94, há o grande risco de uma rajada ser em grande parte absorvida pelo buffer de transmissão dos equipamentos de rede envolvidos (switch, roteadores, conversores de mídia), visto que a taxa inicial de 600 kbps (calculada com os valores padrão de tempo mínimo entre pacotes de 4 ms e tamanho do pacote de 300 bytes) é quase 10 vezes maior que a velocidade de escoamento do link. Se por um lado, a recepção de apenas um dos pacotes GOOSE da rajada já é suficiente para que o IED remoto tome as devidas providências, no outro, a comunicação de mais de um IED no mesmo enlace de dados ou até mesmo a alteração consecutiva de valores em tempos muito próximos pode acarretar em uma segunda rajada sendo disparada enquanto o buffer de transmissão ainda está sendo ocupado pela rajada anterior.

Ainda temos que considerar que nas ocorrências mais graves, onde a atuação da proteção é mais crítica, vários eventos podem ocorrer em sequência, aumentando a probabilidade de geração de rajadas consecutivas, que

podem não alcançar seu destino em tempo hábil.

Para exemplificar, a tabela 1 demonstra os cálculos teóricos das taxas de transmissão necessárias para garantir que o buffer de transmissão esteja vazio quando o próximo pacote da rajada for transmitido. Esta tabela leva em consideração que o buffer esteja vazio no início da rajada, o que pode não acontecer. A tabela 2 apresenta o mesmo cálculo mas na pior situação possível, onde ocorre uma rajada no instante imediatamente seguinte a uma transmissão de keep-alive. Para ambas as tabelas, é considerado que há somente um IED utilizando o canal de comunicação, e que este canal é dedicado exclusivamente ao tráfego GOOSE.

TABELA 1 – Taxa de transmissão calculada (buffer vazio)

Tempo mínimo (ms)	Razão	Taxa inicial (kbps)	Tempo do 3o pacote (ms)	Taxa média 3o pacote (kbps)	Tempo do 4o pacote (ms)	Taxa média 4o pacote (kbps)
2	2	1200	6	1200	14	686
4	2	600	12	600	28	343
8	2	300	24	300	56	171
16	2	150	48	150	112	86
4	4	600	20	360	84	114
8	4	300	40	180	168	57
16	4	150	80	90	336	29
8	8	300	72	100	584	16
16	8	150	144	50	1168	8

TABELA 2 – Taxa de transmissão calculada (buffer vazio)

Tempo mínimo (ms)	Razão	Taxa inicial (kbps)	Tempo do 3o pacote (ms)	Taxa média 3o pacote (kbps)	Tempo do 4o pacote (ms)	Taxa média 4o pacote (kbps)
2	2	2400	6	1600	14	857
4	2	1200	12	800	28	429
8	2	600	24	400	56	214
16	2	300	48	200	112	107
4	4	1200	20	480	84	143
8	4	600	40	240	168	71
16	4	300	80	120	336	36
8	8	600	72	133	584	21
16	8	300	144	67	1168	10

Nas tabelas de 3, 4, 5 e 6, são demonstrados os tempos mínimos de atraso devido ao buffer, após a transmissão de, respectivamente, 1, 2, 3 e 4 pacotes. São consideradas no cálculo velocidades entre 64 kbps e 2048 kbps, normalmente disponíveis em sistemas PDH/SDH. Os tempos mostrados não levam em consideração o tempo de propagação do sinal no meio utilizado, o tempo de processamento da lógica do IED, tampouco os tempos perdidos na comutação/encaminhamento de pacotes pelos roteadores e switches.

TABELA 3 – Atraso calculado após transmissão de 1 pacote

Tempo mínimo (ms)	Razão	Velocidade do enlace (kbps)						Atraso mínimo após 1 pacote transmitido (ms)
		64	128	256	512	1024	2048	
2	2	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
4	2	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
8	2	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
16	2	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
4	4	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
8	4	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
16	4	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
8	8	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
16	8	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
8	8	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	
16	8	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	

TABELA 4 – Atraso calculado após transmissão de 2 pacotes

Tempo mínimo (ms)	Razão	Velocidade do enlace (kbps)						Atraso mínimo após 2 pacotes transmitidos (ms)
		64	128	256	512	1024	2048	
2	2	73,0	35,5	16,8	7,4	2,7	0,3	
4	2	71,0	33,5	14,8	5,4	0,7	-1,7	
8	2	67,0	29,5	10,8	1,4	-3,3	-5,7	
16	2	59,0	21,5	2,8	-6,6	-11,3	-13,7	
4	4	71,0	33,5	14,8	5,4	0,7	-1,7	
8	4	67,0	29,5	10,8	1,4	-3,3	-5,7	
16	4	59,0	21,5	2,8	-6,6	-11,3	-13,7	
8	8	67,0	29,5	10,8	1,4	-3,3	-5,7	
16	8	59,0	21,5	2,8	-6,6	-11,3	-13,7	

TABELA 5 – Atraso calculado após transmissão de 3 pacotes

Tempo mínimo (ms)	Razão	Velocidade do enlace (kbps)						Atraso mínimo após 3 pacotes transmitidos (ms)
		64	128	256	512	1024	2048	
2	2	104,5	48,3	20,1	6,1	-1,0	-4,5	
4	2	96,5	40,3	12,1	-1,9	-9,0	-12,5	
8	2	80,5	24,3	-3,9	-17,9	-25,0	-28,5	
16	2	48,5	-7,8	-35,9	-49,9	-57,0	-60,5	
4	4	88,5	32,3	4,1	-9,9	-17,0	-20,5	
8	4	64,5	8,3	-19,9	-33,9	-41,0	-44,5	
16	4	16,5	-39,8	-67,9	-81,9	-89,0	-92,5	
8	8	32,5	-23,8	-51,9	-65,9	-73,0	-76,5	
16	8	-47,5	-103,8	-131,9	-145,9	-153,0	-156,5	

TABELA 6 – Atraso calculado após transmissão de 4 pacotes

Tempo mínimo (ms)	Razão	Velocidade do enlace (kbps)						Atraso mínimo após 4 pacotes transmitidos (ms)
		64	128	256	512	1024	2048	
2	2	128,0	53,0	15,5	-3,3	-12,6	-17,3	
4	2	106,0	31,0	-6,5	-25,3	-34,6	-39,3	
8	2	62,0	-13,0	-50,5	-69,3	-78,6	-83,3	
16	2	-26,0	-101,0	-138,5	-157,3	-166,6	-171,3	
4	4	42,0	-33,0	-70,5	-89,3	-98,6	-103,3	
8	4	-66,0	-141,0	-178,5	-197,3	-206,6	-211,3	
16	4	-282,0	-357,0	-394,5	-413,3	-422,6	-427,3	
8	8	-514,0	-589,0	-626,5	-645,3	-654,6	-659,3	
16	8	-1178,0	-1253,0	-1290,5	-1309,3	-1318,6	-1323,3	

É importante salientar que estes valores de atraso são percebidos apenas quando há uma segunda rajada antes que se alcance o tempo máximo (keep-alive), mas que é grande a probabilidade desta ocorrência. Os valores negativos representam que o buffer já estava livre pelo tempo indicado antes da transmissão do pacote.

4.0 - DEMONSTRAÇÃO PRÁTICA

De modo a realizar um estudo prático sobre o atraso das rajadas provocado por buffers, um ambiente de teste (demonstrado na Figura 1) foi montado em laboratório, consistindo de uma interligação através de canal de velocidade ajustável (através de conversores G.703/Ethernet) de dois equipamentos de teleproteção conversando entre si através de protocolo GOOSE. Ambos os equipamentos foram configurados para transmitir uma variável que possui o valor 1 quando o valor recebido remoto fosse 2 e vice-versa, causando um loop de rajadas GOOSE. Inicia-se o processo e após alguns segundos em loop, já temos o pior caso possível que é a geração de uma nova rajada quando o buffer estiver cheio.

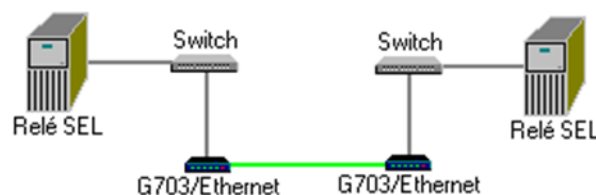


Figura 1 – Configuração do teste de atraso de buffer.

O tempo registrado entre uma mudança de variável e outra foi considerado como o atraso provocado pelo meio de transmissão (ida e volta), assim dividindo este valor por 2 temos o atraso em apenas um sentido da comunicação. As medições foram efetuadas no primeiro pacote (buffer vazio) e após estabilização do delay (buffer cheio). A velocidade do link foi variada entre 64kbps e 2048kbps, e os resultados do teste são demonstrados na tabela 7:

TABELA 7 – Atraso de transmissão medido.

Velocidade (kbps)	Delay com buffer vazio (ms)	Delay com buffer cheio (ms)
64	40	160
128	22	54
256	13	30
512	9	21
1024	8	16
2048	7	15
Relé-relé (ligação direta)	6	

O teste foi proposto para estudo de uma aplicação específica em um sistema de anti-ilhamento de 69kv na Usina Hidrelétrica Barra do Rio Chapéu, e o requisito de tempo era relativamente alto, 150ms. Dessa maneira, um link de 128kbps atenderia com folga esta aplicação.

Já para uma aplicação de teleproteção em rede básica, onde o requisito de procedimento de rede indica tempo total de 16 ms (incluindo o tempo de atuação do relé), é necessário banda mínima dedicada de 2mbps, considerando que o relé leva 6ms para processamento da sua lógica. Nesse caso específico, como o valor medido ficou muito próximo do limite exigido, é altamente recomendável a utilização de equipamentos de rede com buffers menores ou configuráveis, de modo a reduzir o tempo perdido transmitindo pacotes de rajadas anteriores, pois mesmo que o tempo fique abaixo do exigido, ainda há a possibilidade de haver um erro na transmissão dos pacotes.

Caso haja necessidade de compartilhamento de meio entre a rede GOOSE e outras redes (Voz sobre IP, CFTV, etc), há ainda que se certificar que os equipamentos de rede envolvidos façam um bom uso do sistema de filas, permitindo que um pacote GOOSE (sempre marcado com alta prioridade) seja encaminhado imediatamente, passando a frente de todos os outros pacotes. Além disso, se o requisito de tempo for muito baixo, pode-se também alterar o MTU dos roteadores envolvidos de modo a quebrar pacotes grandes em dois ou mais pacotes menores, para que entre uma fração e outra deste pacote seja possível transmitir um pacote GOOSE.

5.0 - CONCLUSÃO

Conclui-se que o GOOSE é tecnicamente viável no ponto de vista das telecomunicações quando se utilizam baixas velocidades e o requisito de tempo é alto. No entanto alguns cuidados devem ser tomados para aplicações mais críticas, tais como:

- O tempo mínimo entre pacotes da rajada deve ser alterado para que seja maior que o tempo de transmissão de 1 pacote goose no meio disponibilizado: dessa maneira é possível garantir que o buffer de transmissão estará sempre vazio para receber um novo pacote ou uma nova rajada.
- A taxa de erro do enlace deve ser levada em consideração, pois normalmente é bem maior que a de uma rede local.
- Os equipamentos de rede envolvidos devem ser testados quanto a capacidade de bufferização e priorização de pacotes, para evitar surpresas em caso de múltiplas ocorrências consecutivas.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, Communication networks and systems in substations IEC 61850, First edition.
- (2) INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, Use of IEC 61850 for Communication between substations IEC 61850-90-1/TR, First edition.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Nome: Luis Gustavo Coelho

Nascimento: 15 de Março de 1983

Graduação:

Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrônica/Telecomunicações

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – 2008

