**ESPECIFICAÇÃO FORMAL E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MULTIPONTO-A-MULTIPONTO E UMA APLICAÇÃO DE TEXTO-CONFERÊNCIA**

Marcos Tadeu von Lutzow Vidal

TESE SUBMETIDA AO CORPO DA COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Aprovada por :

_____

Prof. Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte, Dr. Ing.

(Presidente)

_____

Prof. Aloysio de Castro Pinto Pedroza, Dr.

_____

Prof. Jorge Lopes de Souza Leão, Dr. Ing.

_____

Prof. William Ferreira Giozza, Dr.Ing.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO de 1994

VIDAL, Marcos Tadeu von Lutzow

Especificação Formal e Implementação de um Protocolo de Comunicação Multiponto a Multiponto e Aplicação de Texto-conferência [Rio de Janeiro], 1994.

XV, 192 p. 29,7 cm ( COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Elétrica, 1994 )

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Protocolos de comunicação

2. Tele-conferência

3. Redes de computadores

I. COPPE/UFRJ II. Título ( Série ).

À minha "menina" e a meus pais.

# AGRADECIMENTOS

Aos professores Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte e Aloysio de Castro Pinto Pedroza, pela atenção, pelas sugestões valiosas e incentivo permanente durante a realização deste trabalho.

Aos professores Jorge Lopes de Souza Leão e William Ferreira Giozza pela participação na banca examinadora.

Aos colegas do GTA pelo auxílio no desenvolvimento da aplicação e geração e entrada das seqüências de teste.

À minha "menina" Merícia, pelo carinho e dedicação.

Aos meus pais Alkindar e Margareth pelo incentivo em meus estudos.

Aos meus amigos pelo incentivo e ajuda nos momentos difíceis.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

ESPECIFICAÇÃO FORMAL, VERIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MULTIPONTO-A-MULTIPONTO E UMA APLICAÇÃO DE TEXTO-CONFERÊNCIA

Marcos Tadeu von Lutzow Vidal

Setembro de 1994

Orientadores: Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte e

Aloysio de Castro Pinto Pedroza

Programa: Engenharia Elétrica

**RESUMO**

Este trabalho apresenta a concepção, especificação, validação e implementação de um protocolo para comunicações confiáveis multiponto-a-multiponto em ambientes de satélite ou de redes locais. Os serviços oferecidos correspondem às funcionalidades da camada Enlace e no ambiente de redes locais usam os serviços da camada MAC nas configurações ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto. O protocolo foi especificado formalmente na linguagem ESTELLE e submetido a um processo de verificação em um ambiente de CAD ESTELLE que incluiu a simulação com seqüências de testes geradas automaticamente. A implementação do protocolo, realizada em linguagem C, segue um modelo de arquitetura em camadas com mecanismos que visam alto desempenho. Uma aplicação de conferência em modo texto foi realizada, permitindo testes em condições reais de operação. O sistema como um todo contém mais de 30.000 linhas de código na linguagem C, operando normalmente sem erros e apresenta um bom desempenho.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.).

FORMAL SPECIFICATION, VERIFICATION AND IMPLEMENTATION OF A MULTIPOINT TO MULTIPOINT COMMUNICATION PROTOCOL AND AN TEXT-CONFERENCE APPLICATION.

Marcos Tadeu von Lutzow Vidal

September, 1994

Thesis Supervisors: Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte and

Aloysio de Castro Pinto Pedrosa

Department: Electrical Engineering

**ABSTRACT**

This work presents the design, specification, verification and implementation of a reliable multipoint-to-multipoint protocol well suited for satellite or LAN communications. Its offered facilities correspond to the Data Link Services functions and in a LAN environment use the services provided by the MAC layer. A formal description of this protocol, using the ESTELLE language is provided. The protocol was submitted to a verification process that was included. Its simulation in a CAD ESTELLE environment with an automatic generated sequence of tests. The protocol implementation coded in C language, considers a layered model with a high performance mechanism. A text-conference application was also conceived and implemented. The system consists of more than 30.000 lines of source code and shows a good performance.

# Sumário

CAPÍTULO I - Introdução ..... 1

CAPÍTULO II - Serviço e Protocolo Multiponto-a-Multiponto ..... 1
II.1. Serviço utilizado ..... 1
II.1.1. Ambiente de satélite ..... 1
II.1.2. Ambiente de rede local ou metropolitana ..... 3
II.2. Definição do serviço ..... 4
II.3. O serviço ..... 10
II.3.1. Estabelecimento da conexão ..... 10
II.3.1.1. MPDL_ESTABLISH.Request ..... 10
II.3.1.2. MPDL_ESTABLISH.Indication ..... 10
II.3.1.3. MPDL_ESTABLISH.Confirm ..... 12
II.3.2. Liberação da conexão ..... 14
II.3.2.1. MPDL_ABORT.Request ..... 14
II.3.2.2. MPDL_ABORT.Indication ..... 15
II.3.2.3. MPDL_ABORT.Confirm ..... 15
II.3.2.4. MPDL_RELEASE_PLEASE.Request ..... 18
II.3.2.5. MPDL_RELEASE_PLEASE.Indication ..... 18
II.3.3. Transferência de dados ..... 19
II.3.3.1. MPDL_DATA.Request ..... 19
II.3.3.2. MPDL_DATA.Indication ..... 19
II.3.4. Liberação de uma estação ..... 20
II.3.4.1. MPDL_INDIVIDUAL_ABORT.Request ..... 20
II.3.4.2. MPDL_INDIVIDUAL_ABORT.Indication ..... 20
II.3.4.3. MPDL_INDIVIDUAL_ABORT.Confirm ..... 21
II.3.4.4. MPDL_INDIVIDUAL_RELEASE_PLEASE.Request ..... 21
II.3.4.5. MPDL_INDIVIDUAL_RELEASE_PLEASE.Indication ..... 21
II.3.5. Gerência da conferência ..... 22
II.3.5.1. MPDL_TOKEN_PLEASE.Request ..... 22
II.3.5.2. MPDL_TOKEN_PLEASE.Indication ..... 22

II.3.5.3. MPDL_TOKEN_GIVE.Request ... 22
II.3.5.4. MPDL_TOKEN_GIVE.Indication ... 23
II.3.5.5. MPDL_STOP_TRANSMISSION.Indication ... 23
II.3.5.6. MPDL_STOP_TRANSMISSION.Response ... 24
II.3.5.7. MPDL_REPLY.Request ... 25
II.4. O Protocolo ... 26
II.4.1. Descrição e formato das PDUs ... 26
II.4.1.1. SMPARM - Set MultiPoint Asynchronous Response Mode ... 27
Enviando uma PDU SMPARM ... 28
Recebendo uma PDU SMPARM ... 28
II.4.1.2. MPARMAC - MultiPoint Asynchronous Response Mode ACcept ... 28
Enviando uma PDU MPARMAC ... 29
Recebendo uma PDU MPARMAC ... 29
II.4.1.3. MPDISC - MultiPoint DISconnect Command ... 29
Enviando uma PDU MPDISC ... 30
Recebendo uma PDU MPDISC ... 30
II.4.1.4. MPDISCAC - MultiPoint DISconnect Command ACcept ... 30
Enviando uma PDU MPDISCAC ... 30
Recebendo uma PDU MPDISCAC ... 30
II.4.1.5. MPRP - MultiPoint Release Please ... 30
Enviando uma PDU MPRP ... 31
Recebendo uma PDU MPRP ... 31
II.4.1.6. MPI - MultiPoint Information ... 31
Enviando uma PDU MPI ... 31
Recebendo uma PDU MPI ... 31
II.4.1.7. RR - Receive Ready ... 32
Enviando uma PDU RR ... 32
Recebendo uma PDU RR ... 32
II.4.1.8. SREJ - Selective REJect ... 33
Enviando uma PDU SREJ ... 33
Recebendo uma PDU SREJ ... 33
II.4.1.9. DISC - DISconnect Command ... 33
Enviando uma PDU DISC ... 33
Recebendo uma PDU DISC ... 34
II.4.1.10. DISCAC - DISconnect Command ACcept ... 34
Enviando uma PDU DISCAC ... 34
Recebendo uma PDU DISCAC ... 34
II.4.1.11. RP - Release Please ... 34
Enviando uma PDU RP ... 34
Recebendo uma PDU RP ... 34
II.4.1.12. PLIST - Present LIST ... 35
Enviando uma PDU PLIST ... 35
Recebendo uma PDU PLIST ... 35
II.4.1.13. TP - Token Please ... 35

Enviando uma PDU TP ....36
Recebendo uma PDU TP ....36
II.4.1.14. TG - Token Give ....36
Enviando uma PDU TG ....37
Recebendo uma PDU TG ....37
II.4.1.15. BM - Become Master ....37
Enviando uma PDU BM ....37
Recebendo uma PDU BM ....37
II.4.1.16. CM - Convocation to become Master ....38
Enviando uma PDU CM ....38
Recebendo uma PDU CM ....38
II.4.2. Os Temporizadores ....38
II.4.3. A Máquina de estados ....40
II.4.3.1. Os Estados ....40
CLOSED ....40
ESTABLISH ....40
ESTABLISH RECEIVER ....40
AWAITING RELEASE ....41
OPEN ....41
OPEN MASTER ....41
AWAITING UNIQUE RELEASE ....41
AWAITING TOKEN RECEIVE ....42
OPEN RECEIVER ....42
II.4.3.2. Predicados ....42
II.4.3.3. Ações ....44
II.5. Proteções em relação ao uso incorreto do serviço ....54
II.5.1. Primitivas de gerência enviadas em estados de recepção ....54
II.5.2. Pedido de ficha em estado de transmissão (Mestra) ....55
II.6. Comentários ....56

CAPÍTULO III - Especificação Formal e Validação .... 1
III.1. A Linguagem ESTELLE .... 2
III.2. Aspectos da formalização em ESTELLE do Protocolo Multiponto-a-Multiponto .... 5
III.2.1. Arquitetura da especificação .... 5
III.2.2. Descrição da especificação .... 5
III.3. Testes com geração automática de seqüências ....12
III.4. Comentários ....13

CAPÍTULO VI - Implementação .... 1
IV.1. Aspectos da implementação do Protocolo Multiponto-a-Multiponto. .... 2
IV.2. Arquitetura de implementação ....10
IV.2.1. Evolução ....10
IV.2.2. Estruturas de dados ....13

IV.2.3. Interfaces ..... 17
IV.2.4. Gerenciador de Memória ..... 19
IV.2.4.1. Modificações efetuadas ..... 22
IV.2.5. Escalonador de Tarefas ..... 24
IV.2.6. Gerenciador dos temporizadores ..... 25
IV.2.6.1. Modificações efetuadas ..... 26
IV.3. Comentários ..... 29

CAPÍTULO V - A Aplicação ..... 1
V.1. Para o usuário ..... 1
V.2. As rotinas ..... 3
V.3. A Máquina de estados da Aplicação ..... 5
V.3.1. Estados ..... 5
V.3.1.1. APL_CLOSED ..... 6
V.3.1.2. APL_TX ..... 6
V.3.1.3. APL_RX ..... 7
V.3.2. Predicados ..... 7
V.3.3. Ações ..... 8
V.3.4. Máquina de estados ..... 10
V.4. Aplicação x parâmetros do protocolo ..... 11
V.5. Comentários ..... 13

CAPÍTULO VI - Resultados e Conclusões ..... 1
VI.1 Medidas de Desempenho ..... 1
VI.2 Comentários finais ..... 9

APÊNDICE A - Especificação em ESTELLE do protocolo Multiponto-a-Multiponto

APÊNDICE B - Acompanhamento de uma sessão de simulação

APÊNDICE C - Seqüências de teste

APÊNDICE D - Manual de utilização do sistema de texto-conferência

# Índice de Figuras


II.1 Canais de comunicação no ambiente satélite .....2.2

II.2 Exemplo de configurações de utilização do ambiente satélite. .....2.3

II.3 Exemplo de utilização do meio de comunicação encontrado em redes locais. .....2.3

II.4 Estabelecimento de conexão bem sucedida, com resposta de todas as estações .....2.12

II.5 Pedido e confirmação de conexão de uma estação, em uma conexão já existente...2.12

II.6 Seqüência de primitivas e controle de tempo de um estabelecimento de conexão bem sucedido, com resposta de algumas estações, mas não de todas. .....2.13

II.7 Seqüência de primitivas e controle de tempo de um estabelecimento de conexão bem sucedido, com resposta de todas estações na segunda tentativa. .....2.14

II.8 Liberação incondicional da conexão multiponto, iniciada pelo usuário da atual estação transmissora (Mestra).....2.16

II.9 Envio de requisição de desconexão. Confirmação enviada por estouro de tempo (número máximo de tentativas igual a 1). .....2.16

II.10 Seqüência de primitivas e controle de tempo de uma tentativa frustrada de estabelecimento de conexão devido a, por exemplo, todas as demais estações estarem desligadas. .....2.17

II.11 Seqüência de primitivas e controle de tempo de uma tentativa frustrada de estabelecimento de conexão, devido a, por exemplo, perda dos quadros (erros). ...2.17

II.12 Desconexão iniciada pelo serviço devido à interrupção dos serviços do provedor..2.18

II.13 Pedido de desconexão multiponto (fim da conferência), feito por uma estação participante.....2.19

II.14 Difusão de dados do usuário. .....2.20

II.15 Desconexão de uma única estação. .....2.20

II.16 Pedido de liberação individual, feito por uma estação. .....2.21

II.17 Pedido de permissão para transmissão feito por uma das estações. .....2.22

II.18 Pedido para envio da ficha quando não existe nenhuma estação na fila de pedidos para transmitir (Fila de Espera). .....2.23

II.19 Envio da ficha de transmissão, por iniciativa da aplicação. .....2.24

II.20 Envio da ficha para a estação Rxi. Processo iniciado pelo serviço, devido ao estouro do Tempo Máximo de Transmissão (TMT). .....2.25

II.21 Envio da permissão de transmissão devido a chegada da primitiva MPDL_REPLY.Request. .....2.26

II.22 Efeito da primitiva MPDL_REPLY.Request quando a estação indicada no parâmetro da primitiva não se encontra na conexão.....2.26

II.23 Recebimento de uma primitiva de dados quando a estação não está habilitada a transmitir. .....2.55

II.24 Pedido da palavra quando esta já se encontra com a estação. .....2.55

III.1 Arquitetura da especificação do protocolo Multiponto-a-Multiponto. ..... 3.5

III.2 Relação entre a arquitetura da especificação e os tipos de módulos e canais utilizados. ..... 3.8

III.3 Seqüências de primitivas não especificadas em ESTELLE que foram detectadas pela seqüência de testes. .....3.13

IV.1 Exemplos da ocupação do array que implementa a fila de espera. ..... 4.3

IV.2 Informações entre Entidades Adjacentes representadas por estruturas de acesso direto.....4.11

IV.3 Informações entre Entidades Adjacentes representadas por estruturas de acesso indireto. .....4.12

IV.4 Adição de PCIs por recópia. .....4.12

IV.5 Adição de PCIs por encadeamento.....4.14

IV.6 Estruturas de dados utilizadas.....4.16

IV.7 Estrutura geral das interfaces do modelo OSI. .....4.18

IV.8 Divisão realizada pelo gerenciador de memória.....4.20

IV.9 Liberação do registro do topo da lista de livres, antes das modificações. .....4.23

IV.10 Liberação do registro do topo da lista de livres, após as modificações.....4.24

IV.11 Estruturas do gerenciador de temporização (simplificadas) .....4.28

VI.1 Efeito de acúmulo de quadros em avanço no buffer de recepção, quando duas estação transmitem e uma terceira apenas recebe. .....6.3

VI.2 Vazão em função da Janela de Emissão e do tempo de envio de reconhecimentos positivos (TACK).....6.4

VI.3 Variação do tempo de transmissão com o tamanho da mensagem e da vazão com o tamanho da mensagem.....6.5

VI.4 Vazão em função da probabilidade de perda de quadros na difusão e nos canais de retorno com três estações conectadas e apenas uma transmitindo. .....6.7

VI.5 Vazão em função da probabilidade de perda de quadros na difusão e nos canais de retorno com três estações conectadas e as estações.....6.8

VI.6 Vazão em função da probabilidade de perda de quadros na difusão e nos canais de retorno com três estações conectadas e as três estações transmitindo. .....6.9

# Índice de Tabelas


II.1 Resumo das primitivas do serviço multiponto-a-multiponto. .....2.11

II.2 Unidades funcionais.....2.27

II.3 Máquina de estados do protocolo (parte 1).....2.48

II.4 Máquina de estados do protocolo (parte 2).....2.49

II.5 Máquina de estados do protocolo (parte 3).....2.50

II.6 Máquina de estados do protocolo (parte 4).....2.51

II.7-A Máquina de estados do protocolo (parte 5-A).....2.52

II.7-B Máquina de estados do protocolo (parte 5-B).....2.53

II.8-A Máquina de estados do protocolo (parte 6-A).....2.53

II.8-B Máquina de estados do protocolo (parte 6-B).....2.54

V.1 .Máquina de estados de recepção da aplicação (recebimento de primitivas do provedor). .....5.11

V.2 Máquina de estados de transmissão da aplicação (tratamento de teclas do usuário e tratamento de medidas de vazão). .....5.12

VI.1 Vazão com três estações conectadas e todas com dados a transmitir. ..... 6.6