

Monitorização Automática e Atuação em Sistemas de Supervisão de Redes de Telecomunicações

Murilo Silva Monteiro
e-mail: murilo@dcc.ufmg.br

José Marcos Silva Nogueira
e-mail: jmarcos@dcc.ufmg.br

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
31.270-010 - Belo Horizonte - MG

Resumo

Este texto descreve a concepção e o desenvolvimento de um conjunto de peças de *software* para possibilitar a monitorização automática e atuação em uma planta de telecomunicações.

Um protocolo de comunicação para uso específico neste projeto foi especificado e implementado. Um teste de conformidade dinâmica para este protocolo foi implementado. Foi especificado, projetado e implementado um programa de monitorização automática de sub-sistemas de supervisão que utiliza o protocolo para se comunicar com sub-sistemas de supervisão. Para que se pudesse realizar testes sem conectar o sistema desenvolvido a um sub-sistema de supervisão real, foi especificado, projetado e implementado um simulador de sub-sistema de supervisão.

1 Introdução

A supervisão das plantas de telecomunicações, no Brasil, é feita utilizando-se uma grande diversidade de sistemas de supervisão. Cada um destes sistemas supervisiona um segmento distinto da planta e não existe qualquer integração entre eles, o que implica em sérias dificuldades para a operação e manutenção das plantas.

Para possibilitar a integração desses sistemas de supervisão, foi concebido o Sistema Integrado de Supervisão - SIS, aqui brevemente descrito[Mei91, NM91].

1.1 O Sistema Integrado de Supervisão - SIS

O SIS é um sistema que visa possibilitar a integração de toda a supervisão de uma planta de telecomunicações, estruturado em uma hierarquia operacional. Através

dele é possível a supervisão a partir de sub-regiões, de regiões que englobam sub-regiões e de um estado, que engloba todas as regiões. Os elementos lógicos que compõem o sistema se conectam segundo uma hierarquia que reflete as necessidades operacionais.

No nível inferior, nas folhas de uma árvore de hierarquia, estão os *sub-sistemas de supervisão* – SSS. Sua função é basicamente, por um lado, fornecer para o sistema dados coletados da planta e, por outro lado, executar comandos na planta. Um sub-sistema de supervisão consiste de elementos de supervisão próximos à planta, de uma rede física de transmissão de dados que os conecta e de uma interface que possibilita a integração com o resto do sistema.

No segundo nível, de baixo para cima, estão as *unidades centrais secundárias* – UCS, para a supervisão de uma sub-região da planta, com as funções de coletar dados e comandar ações nos sub-sistemas de supervisão, de gerenciar e manter atualizada uma base de dados com uma visão parcial da planta, de prover a operação da parte da planta através de uma interface gráfica amigável e de comunicar com as outras partes do sistema para atualização de dados e interação entre operadores.

No nível acima estão as *unidades centrais regionais* – UCR – que, além das funções de uma unidade central secundária, possibilitam a operação de uma região mais ampla composta de uma ou mais sub-regiões. É também sua função a configuração e reconfiguração da planta, em termos de sub-regiões, sub-sistemas de supervisão, estações, equipamentos, etc.

No nível mais alto está a *unidade central principal* – UCP – que permite a operação de toda a planta composta de regiões e sub-regiões.

Do ponto de vista físico, o SIS consiste de uma rede de computadores de longa distância que conecta redes locais. Os computadores das unidades centrais são estações de trabalho de alta capacidade. Os sub-sistemas de supervisão são variados, dependendo da especialidade supervisionada e de fabricantes.

O projeto está sendo desenvolvido em um convênio entre a TELEMIG, a UFMG-DCC e a FUNDEP. O término do desenvolvimento, com a instalação de um sistema mínimo inicial, está previsto para agosto de 1993.

2 Algumas Definições Iniciais

A seguir são apresentadas definições de alguns termos específicos da área de telecomunicações que são utilizados ao longo do presente texto [Mei89, NM92a]:

Supervisão: Acompanhamento e controle sistemáticos de um conjunto predeterminado de variáveis relacionadas à operação, manutenção e/ou administração de um sistema ou equipamento.

Telessupervisão: Supervisão remota de equipamentos ou sistemas, utilizando técnicas digitais e analógicas para a transferência e o processamento de informações.

Unidade-Terminal-Remota – UTR: Equipamento de supervisão instalado junto aos equipamentos e/ou sistemas telessupervisionados, destinado a recolher,

codificar e transmitir, bem como receber, decodificar e distribuir informações relativas à operação, manutenção e/ou administração da planta.

Telessinal: Informação enviada por uma unidade terminal remota, caracterizando uma entre duas situações operacionais possíveis, podendo ser classificado em *alarme* ou *indicação*, conforme a natureza da informação transmitida.

Alarme: Telessinal cuja ocorrência indica uma situação anormal em uma estação remota.

Indicação: Telessinal que representa um entre dois valores normais possíveis de uma variável em uma estação remota.

Telecomando: Informação enviada por uma unidade central para uma unidade remota, representando um entre dois valores possíveis de uma variável, com a finalidade de ativar, desativar ou modificar o funcionamento de um equipamento ou sistema telessupervisionado.

Telemidida: Informação enviada por uma unidade terminal remota, representando o valor de uma grandeza do equipamento ou sistema telessupervisionado.

Telerregulação: Informação transmitida por uma unidade central e destinada a ajustar o valor de uma grandeza do equipamento ou sistema telessupervisionado a um valor predeterminado.

Sistema Integrado de Supervisão - SIS: Sistema computacional para supervisão geral de plantas de telecomunicações, que integra subsistemas de supervisão.

Sub-Sistema de Supervisão - SSS: Equipamento ou conjunto de equipamentos interligados para prover supervisão de parte da planta, através da leitura de telessinais e telemidas e através da atuação por telecomandos e telerregulações. Cada SSS interliga-se ao SIS através de uma única interface.

Elemento Terminal de Supervisão - ETS : É um elemento lógico constituinte de uma UTR, que implementa telessinais, telemidas, telecomandos e telerregulações. Cada UTR pode conter um ou mais ETSs, cada um correspondendo a um endereço.

Interface Adaptadora de Comunicação - IAC: Equipamento que provê a interface do SIS com as UTRs de um SSS, conectadas a um barramento de comunicação, transformando as solicitações do SIS em comandos ou interrogações às unidades terminais, bem como fazendo conversões de protocolos.

3 Caracterização do Problema

3.1 A Planta Real do SIS

Entre os sistemas de telessupervisão hoje existentes, os equipamentos TIC 2 e TIC 100 constituem a base do atual sistema de telessupervisão da TELEMIG. Das

337 unidades terminais remotas instaladas até fevereiro de 1988, 238 eram TIC 2. Apesar de terem sido concebidos na segunda metade da década de 60 e instalados na TELEMIG a partir de 1974, estes equipamentos comprovaram ser robustos e confiáveis[Mei89].

3.2 O Problema

O SIS tem uma base de dados que contém todas as informações relacionadas com a planta supervisionada e, também, com a planta de supervisão.

Esta base de dados é utilizada por todos os processos do SIS. Por exemplo, quando um operador do SIS deseja saber a situação de algum equipamento da planta supervisionada, ele solicita esta informação através de um terminal gráfico. Em seguida, o processo responsável pela interação homem-máquina busca a informação solicitada na base de dados e a apresenta no terminal.

Para manter esta base de dados atualizada com relação aos dados da planta ou, mais especificamente, com relação aos valores dos telessinais e das telemedidas, e também para que telecomandos e telerregulações sejam enviados para os sub-sistemas de supervisão, é necessário que algum processo mantenha comunicação com estes sub-sistemas, coletando e enviando informações.

Visto de maneira mais resumida, fica assim colocado o problema: *como coletar dados da planta para manter a base de dados atualizada e como possibilitar o envio de dados para atuação na planta?*

4 Um Monitor para um Sub-Sistema de Supervisão

Para resolver o problema apresentado na seção anterior, foi especificado, projetado e implementado o *Monitor SSS* – Monitor de Sub-Sistema de Supervisão.

Existe um processo Monitor SSS para cada sub-sistema de supervisão existente no sistema. O Monitor SSS sempre reside em um módulo lógico UCS (unidade terminal secundária) que está num hospedeiro ao qual o sub-sistema de supervisão está fisicamente conectado.

As mensagens recebidas pelo Monitor SSS são traduzidas em termos de chamadas às funções de um módulo que fornece um serviço de comunicação com o sub-sistema de supervisão (SASC[Nog92, Cor92]), que providencia sua execução[NM92b].

4.1 Funções Básicas

O Monitor SSS tem as seguintes funções: (1) fazer a aquisição automática de dados do SSS, especificamente telessinais e telemedidas, de modo a possibilitar a atualização da base de dados do SIS, (2) fornecer serviços para outros processos do SIS e (3) armazenar dados para possibilitar estatísticas a respeito do estado da comunicação com o sub-sistema de supervisão.

4.2 Serviços Oferecidos

Os serviços oferecidos pelo Monitor SSS são os seguintes:

Envio de telecomando: envia um telecomando para o sub-sistema de supervisão.

Envio de telerregulação: envia uma telerregulação para o SSS.

Leitura de grupo específico: envia um pedido de leitura de um grupo específico de telessinais para o sub-sistema de supervisão.

Configura ETS: esta primitiva de serviço permite que se informe ao Monitor SSS os tipos de teleobjetos a serem monitorizados, de modo que ele saiba como atualizar a base de dados do SIS. Os tipos de teleobjetos são: telessinal, telemedida ou telemedida supervisionada.

Ativa configuração de ETSs: ativa a última configuração de ETSs recebida.

Ativa ETS: envia uma mensagem para o SSS de modo a tornar um ETS ativo.

Desativa ETS: envia uma mensagem para o SSS para desativar um ETS.

Interroga atividade: fornece informações a respeito de seu funcionamento, tais como *em operação* ou *fora de operação*, estado da comunicação com o sub-sistema de supervisão, etc.

Inicia operação: inicia o fornecimento de serviços de comunicação com o sub-sistema de supervisão e inicia a monitorização.

Termina operação: para de receber solicitações de serviço, para a monitorização do sub-sistema de supervisão e sai de funcionamento.

4.3 Estrutura do Monitor SSS

O Monitor SSS está dividido em três módulos, conforme apresentado na figura 1:

- O primeiro é responsável pela comunicação com os outros processos do SIS. Ele recebe mensagens contendo solicitações de serviço, executa o serviço solicitado (se necessário através de chamadas a funções de outros módulos), e envia uma mensagem contendo a resposta ao serviço solicitado.
- O segundo módulo é responsável pela contínua monitorização do sub-sistema de supervisão a ele conectado. Para esta monitorização, são utilizadas funções do módulo de comunicação com o sub-sistema de supervisão.
- O último é responsável pela comunicação com o sub-sistema de supervisão.

4.4 Comportamento do Monitor SSS

Após ser carregado, o Monitor SSS passa a aguardar um comando para *iniciar operação*.

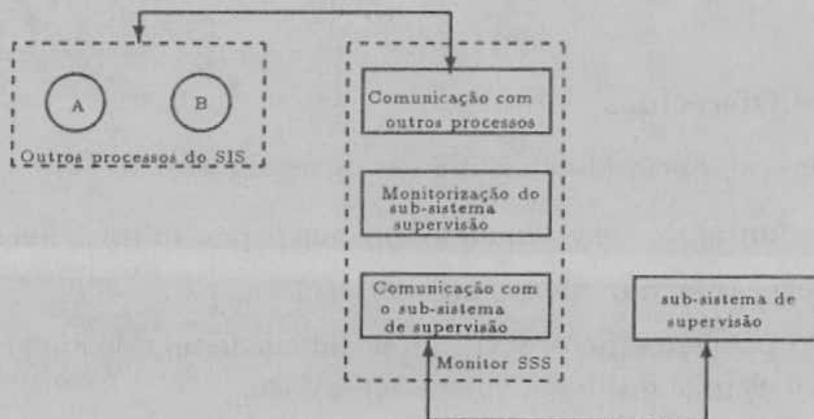


Figura 1: Estrutura do Monitor de Sub-Sistema de Supervisão

Em seguida, ele fica continuamente verificando a porta usada para comunicação com outros processos do SIS. Se chegar alguma mensagem, ela é lida e a solicitação de serviço nela contida é analisada, processada e uma mensagem de resposta é transmitida ao processo que solicitou o serviço. Se não tiver chegado nenhuma mensagem, é executado o ciclo de monitorização do sub-sistema de supervisão. As mensagens recebidas pelo processo MonitorSSS contêm telecomandos, teleregulações, pedidos de leitura de telessinais e de telemedidas ou comandos de reconfiguração.

Este processamento continua até que seja recebido uma mensagem contendo um comando para *terminar operação*.

O ciclo de monitorização do Monitor SSS consiste em saber, a todo instante, se algum telessinal do sub-sistema de supervisão sofreu variação de estado desde a última leitura de seu valor e, caso afirmativo, quais são os novos valores de cada um destes telessinais. Um sub-sistema de supervisão pode ter até 256 ETSs. Cada um destes ETSs pode ter até 4950 telessinais. Isto nos dá um total de $256 \times 4950 = 1.267.200$ telessinais. Se muitos deles variarem simultaneamente, a aquisição de seus valores atuais levará muito tempo, dado que a velocidade da linha de comunicação que interliga a UCS ao sub-sistema de supervisão é baixa. Surgiu, então, um complicador: como o Monitor SSS tem também que atender a solicitações de serviços de outros processos, esta demora pode comprometer o desempenho do sistema, pois isto faria com que os processos clientes do Monitor SSS esperassem um tempo muito grande.

Uma solução seria dividir o Monitor SSS em dois processos: um para fazer aquisição de dados do sub-sistema de supervisão e outro para atender solicitações de serviços de outros processos. Porém, como toda a comunicação com o sub-sistema de supervisão é feita utilizando-se um protocolo específico do tipo *Para-e-Espera*, e como a cada sub-sistema de supervisão corresponde um Monitor SSS, teríamos um problema que seria a sincronização destes dois processos.

A outra solução, que foi a adotada, consiste em fazer com que o Monitor SSS atenda às solicitações de serviços de outros processos entre um e outro acesso ao sub-sistema de supervisão. Para isto, o Monitor SSS foi modelado por duas *Máquinas de Estados Finitas*: uma geral e outra do ciclo de monitorização.

4.4.1 A MEF Geral do Monitor SSS

A figura 2 apresenta a MEF (Máquina de Estados Finita) geral do Monitor SSS. Ela está sempre em um dos seguintes estados:

- AGU-INIC-OP: aguarda comando para iniciar operação. Este é o estado inicial.
- VER-FILA-MSG: verifica se chegou alguma mensagem de outro processo.
- AGU-EXEC-CICLO: aguarda a execução de uma ação do ciclo de monitorização do sub-sistema de supervisão.
- AGU-EXEC-SERV: aguarda a execução de um serviço solicitado por um processo.

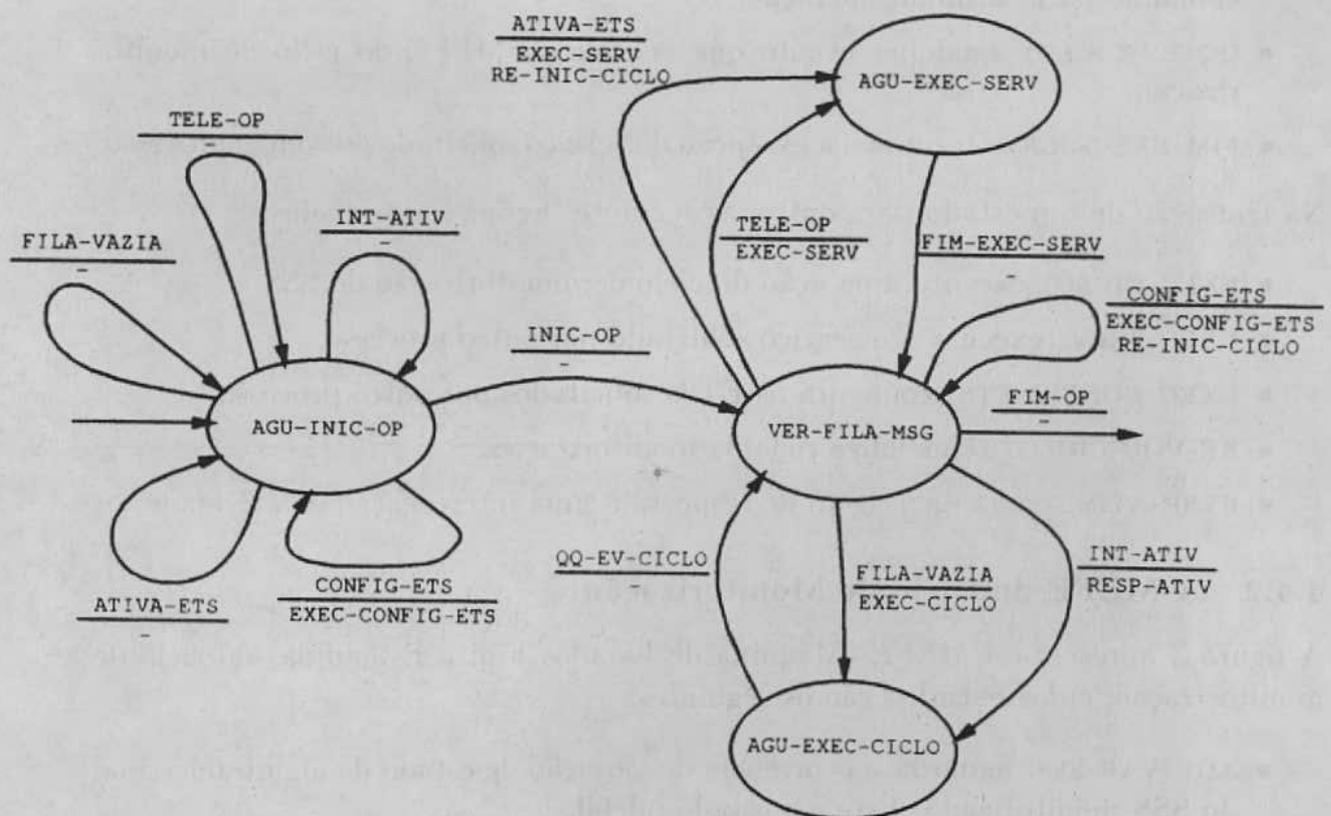


Figura 2: MEF geral do Monitor SSS.

Estando em um destes estados, os seguintes eventos podem ocorrer:

- INIC-OP: chegou uma mensagem enviada por outro processo contendo um comando para iniciar operação.
- FILA-VAZIA: a fila de mensagens enviadas por outros processos está vazia. Isto é, não tem nenhuma solicitação de serviço pendente.

- TELE-OP: chegou uma mensagem enviada por outro processo contendo uma das seguintes solicitações de serviço: envio de telecomando, envio de telerregulação, leitura de telessinais e/ou de telemedidas de um grupo específico.
- ATIVA-ETS: chegou uma mensagem enviada por outro processo contendo um comando que ativa ou desativa um ou mais ETSs.
- CONFIG-ETS: chegou uma mensagem enviada por outro processo contendo um comando que altera a configuração de um ou mais ETSs.
- INT-ATIV: chegou uma mensagem enviada por outro processo solicitando dados estatísticos da comunicação do Monitor SSS com o sub-sistema de supervisão;
- FIM-OPER: chegou uma mensagem enviada por outro processo contendo um comando para terminar operação.
- QQ-EV-CICLO: qualquer evento que ocorrer na MEFÉ do ciclo de monitorização.
- FIM-EXEC-SERV: terminou a execução do serviço solicitado por outro processo.

Na transição de um estado para outro, as seguintes **ações** são tomadas:

- EXEC-CICLO: executa uma ação do ciclo de monitorização do SSS.
- EXEC-SERV: executa um serviço solicitado por outro processo.
- EXEC-CONFIG-ETS: configura os ETSs solicitados por outro processo.
- RE-INIC-CICLO: reinicializa ciclo de monitorização.
- RESP-ATIV: envia mensagem de resposta a uma interrogação de atividade.

4.4.2 A MEFÉ do Ciclo de Monitorização

A figura 3 apresenta a MEFÉ (Máquina de Estados Finita Estendida) do ciclo de monitorização, cujos **estados** são os seguintes:

- AGU-VAR-SSS: aguarda a ocorrência de variação de estado de algum telessinal do SSS monitorizado. Este é o estado inicial.
- AGU-VAR-ETS: aguarda ocorrência de variação de estado de algum telessinal do ETS i do SSS monitorizado.
- AGU-VAR-SGR: aguarda ocorrência de variação de estado de algum telessinal do supergrupo j do ETS i do SSS monitorizado.
- AGU-EST-SGR: aguarda resposta de leitura dos telessinais do supergrupo j do ETS i do SSS monitorizado.

Estando em um destes estados, os seguintes **eventos** podem ocorrer:

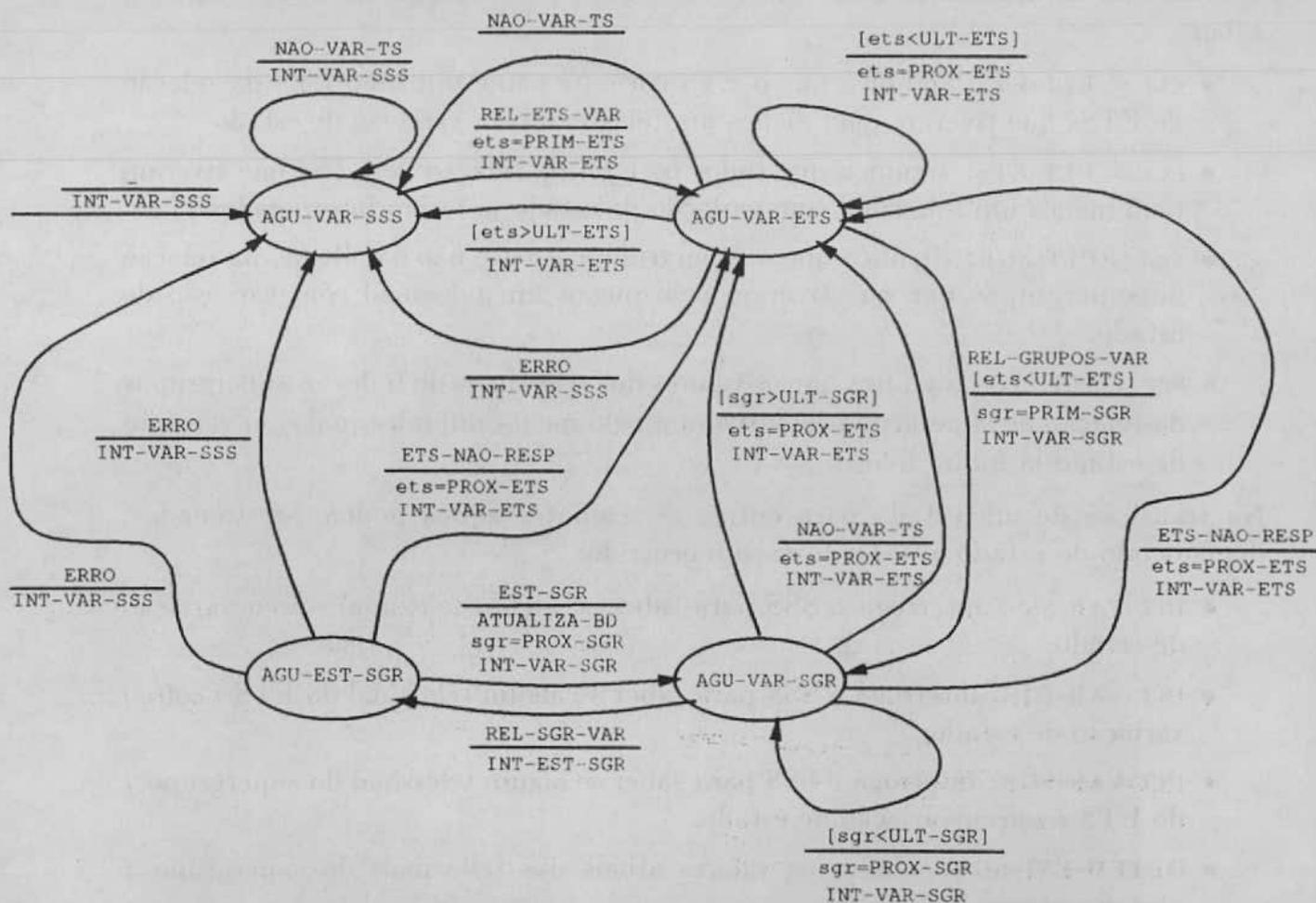


Figura 3: MEFE do ciclo de monitorização.

- REL-ETS-VAR: recebimento de uma relação dos ETSs de um sub-sistema de supervisão que sofreram variação de estado em pelo menos um telessinal.
- REL-GRUPOS-VAR: recebimento de uma relação dos grupos de um ETS que sofreram variação de estado em pelo menos um telessinal.
- REL-SGR-VAR: recebimento de uma relação de telessinais de um supergrupo que sofreram variação de estado.
- NÃO-VAR-TS: nenhum telessinal sofreu variação de estado.
- EST-SGR: recebimento de uma relação de valores de telessinais do supergrupo j do ETS i do SSS monitorizado.
- ETS-NAO-RESP: o ETS interrogado não enviou resposta ao Monitor SSS.
- ERRO: erro de comunicação com o SSS.

A transição de um estado para outro tem alguns **predicados de habilitação**, a saber:

- $ets \leq \text{ULT-ETS}$: significa que o ETS corrente não é o último ETS da relação de ETSs que tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado.
- $ets > \text{ULT-ETS}$: significa que todos os ETS da relação de ETSs que tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado já foram interrogados.
- $sgr \leq \text{ULT-SGR}$: significa que o supergrupo corrente não é o último da relação de supergrupos que tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado.
- $sgr > \text{ULT-SGR}$: significa que os valores dos telessinais de todos os supergrupos da relação de supergrupos que tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado já foram lidos.

Na transição de um estado para outro, as seguintes **ações** podem ser tomadas, dependendo do estado atual e do evento ocorrido:

- INT-VAR-SSS: interroga o SSS para saber se algum telessinal sofreu variação de estado;
- INT-VAR-ETS: interroga o SSS para saber se algum telessinal do ETS i sofreu variação de estado;
- INT-VAR-SGR: interroga o SSS para saber se algum telessinal do supergrupo j do ETS i sofreu variação de estado;
- OBTÉM-EST-SGR: obtém os valores atuais dos telessinais do supergrupo j pertencente ao ETS i ;
- ATUALIZA-BD: envia os valores dos telessinais e/ou telemedidas que sofreram variação de estado para o processo responsável pela gerência da base de dados.
- $ets = \text{PRIM-ETS}$: seleciona o primeiro ETS da relação de ETSs que tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado.
- $ets = \text{PROX-ETS}$: seleciona o próximo ETS desta relação.
- $sgr = \text{PRIM-SGR}$: seleciona o primeiro supergrupo de uma relação de grupos que tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado.
- $sgr = \text{PROX-SGR}$: seleciona o próximo supergrupo desta relação.

5 Comunicação com a Planta Supervisionada

A comunicação de uma unidade central secundária (UCS) com um sub-sistema de supervisão pode, em princípio, ser *direta* ou *indireta*.

A comunicação ocorre segundo um protocolo de supervisão específico[Nog92]. Caso uma UTR execute este protocolo, a comunicação é direta. Caso contrário, usa-se uma Interface Adaptadora de Comunicação - IAC[NM91]. Estes adaptadores têm a função de adaptar a comunicação das UTRs com a UCS e suas aplicações.

5.1 SASC – Serviço de Aplicação de Supervisão Convencional

O serviço oferecido ao usuário de supervisão, no caso o Monitor SSS, é do tipo *solicitação-resposta*, onde solicitações são transmitidas de um sítio (do lado do cliente – UCS) para outro sítio (do lado do servidor – IAC ou UTR) e as respostas correspondentes são transmitidas no sentido contrário.

Para execução deste serviço, são utilizados serviços da camada de enlace de dados do serviço de comunicação[Nog91a], que provê um serviço de transporte de mensagens na modalidade datagrama, ou sem conexão, onde existe verificação de correção, mas sem garantia de entrega.

A interface com o usuário é dada por algumas primitivas de comunicação específicas, relacionadas e definidas a seguir. As primitivas fazem referência a um sub-sistema de supervisão, definido aqui como um conjunto de ETSs. Em cada sub-sistema de supervisão as primitivas podem fazer referências a vários, a um ou a partes de um ETS.

Um ETS, quanto aos teleobjetos que implementa, pode ser dividido em partes, chamadas *supergrupo*. Um supergrupo, por sua vez pode ser dividido em *grupos*. Os grupos contêm telessinais e/ou telemedidas.

As primitivas são as seguintes:

- Primitiva de solicitação de estado de supergrupo: Provê o estado parcial de um ETS, apresentando os valores de todos os telessinais e telemedidas pertencentes a um supergrupo especificado.
- Primitiva de solicitação de estado de grupo: Provê o estado parcial de um ETS, através de um grupo específico de telessinais e telemedidas, com dados de tempo real.
- Primitiva de solicitação de relação de telessinais de supergrupo com variação de estado: Provê uma relação contendo todos os telessinais de um supergrupo de um ETS, com indicação daqueles que tiveram variação de estado desde a última leitura de estado destes telessinais.
- Primitiva de solicitação de relação de ETSs do sub-sistema de supervisão com variação de estado: Provê uma relação indicando quais ETSs de um sub-sistema de supervisão especificado tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado desde a última leitura de estado destes telessinais.
- Primitiva de solicitação de relação de grupos de um ETS com variação de estado: Provê uma relação indicando quais grupos de um ETS especificado tiveram pelo menos um telessinal com variação de estado desde a última solicitação deste tipo de relação.
- Primitiva de solicitação de envio de telecomando: Provê o envio de um telecomando para um ETS.
- Primitiva de solicitação de envio de telerregulação: Provê o envio de uma telerregulação.

- Primitiva de configuração de sub-sistema de supervisão: Provê o envio de uma relação de ETS para o usuário servidor. A relação é utilizada para indicar quais dos ETSs que fazem parte do sub-sistema de supervisão devem participar do ciclo de varredura para leitura de estado. A relação substitui, no lado do servidor, a relação vigente.

5.2 Teste do SASC

Para garantir que a implementação do SASC implementa todos os requisitos constantes da especificação de sua interface, foi projetado e implementado um *testador do SASC*[Mon92].

Uma implementação está em conformidade com o protocolo padrão quando satisfaz as *necessidades de conformidade estática e dinâmica*. O objetivo do teste é aumentar a probabilidade de que diferentes implementações sejam capazes de se comunicar[Nog91b].

5.2.1 Arquitetura de Teste

As implementações dos protocolos podem ser testadas considerando uma entidade com uma única camada ou uma entidade com múltiplas camadas. A entidade sob teste deve ser estimulada pelas camadas superior e inferior e as reações da implementação sob teste (IUT) devem ser observadas. O estímulo ou a observação são feitos pelo envio ou recebimento de primitivas de serviço N para uma entidade da camada i , por uma entidade chamada *testador*. Tais primitivas são também chamadas de *primitivas de serviço abstratas* (ASPs). Os *pontos de acesso a serviço* (SAPs) usados pelo testador com este objetivo são chamados de *pontos de controle e observação* (PCO).

Um testador pode ser funcionalmente dividido em dois módulos que são referenciados como *testador superior* (UT) e *testador inferior* (LT). O testador inferior é o meio de fornecer, durante a execução do teste, controle e observação no PCO apropriado, abaixo da IUT ou remotamente à IUT enviando e recebendo primitivas ASP($N - 1$). O UT é o meio de fornecer controle e observação no limite superior da IUT.

É necessário coordenar as ações entre os testadores superior e inferior para se alcançar os objetivos do teste. As regras para se alcançar tais objetivos são chamadas de *procedimentos de coordenação de teste* (PCT). Esta coordenação é feita através da troca de TMPDUs (*“Test Management Protocol Data Unit”*).

As arquiteturas de teste de protocolos podem ser *locais* ou *externas*, sendo estas referenciadas como distribuídas, coordenadas ou remotas. Associado com cada arquitetura de teste, tem-se um *método de teste* utilizado. Assim, há o método de teste local, o método de teste externo coordenado, etc.[Nog91b]

Este testador foi implementado segundo a arquitetura de teste externa distribuída. A figura 4 apresenta um esquema simplificado do testador e a imple-

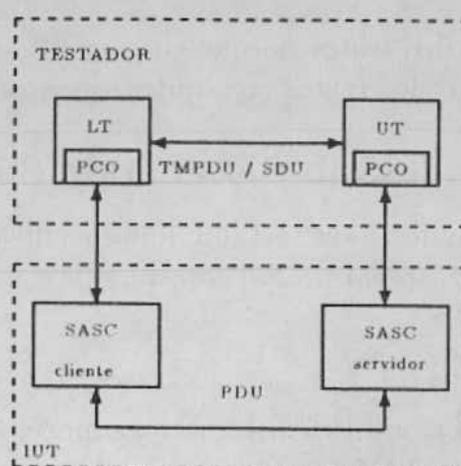


Figura 4: Esquema do testador e a implementação sob teste

mentação sob teste. Observe que temos dois PCOs: um situado na interface do LT com o SASC cliente e outro na interface do UT com o SASC servidor.

5.2.2 Cenário de Teste

Testar uma IUT envolve aplicar um ou mais *casos de teste* (ou, equivalentemente, sequências de teste), que são um conjunto completo de ações necessárias para se alcançar um objetivo específico. Um teste de conformidade é feito pela aplicação de um *cenário de teste*, definido como um conjunto de *grupos de teste* que são usados para fornecer uma ordenação lógica de casos de teste, tais como estabelecimento de conexão e transferência de dados. Um caso de teste, por sua vez, é estruturado como um número de eventos que são unidades indivisíveis do teste, tais como o recebimento ou o envio de uma PDU [Nog91b].

Casos de Teste

Os casos de teste foram projetados utilizando-se a notação *Tree and Tabular Combined Notation* – TTCN[ISO87, Nog91b] – que é uma notação semi-formal com semânticas definidas claramente, mas não formalmente, desenvolvida pelo subgrupo de teste de conformidade da ISO e projetada para alcançar os seguintes objetivos: (1) fornecer uma notação onde casos de testes abstratos e genéricos possam ser expressados em cenários de teste padrões; (2) fornecer uma notação que seja independente dos métodos de teste, camadas e protocolos; (3) fornecer uma notação que reflita a metodologia de teste abstrata definida pela ISO.

5.2.3 Resultados dos Testes

Durante os testes, foram encontrados erros na IUT que dificilmente seriam encontrados apenas por observação do programa fonte da IUT. A TTCN foi de grande

utilidade na especificação dos testes porque ela permite especificações sem ambiguidades e facilita a discussão dos testes com outras pessoas.

6 Um Simulador de Sub-Sistema de Supervisão

Para que o Monitor SSS pudesse ser testado, foi especificado, projetado e implementado o *Simulador de Sub-Sistema de Supervisão*, que é descrito a seguir.

6.1 O Modelo Geral

Para efeito deste simulador, um sub-sistema de supervisão consiste de um nodo de coleta de dados e atuação (NCA), um ou mais elementos terminais de supervisão e um meio físico de transmissão de dados, que interliga os componentes, conforme mostrado na figura 5.

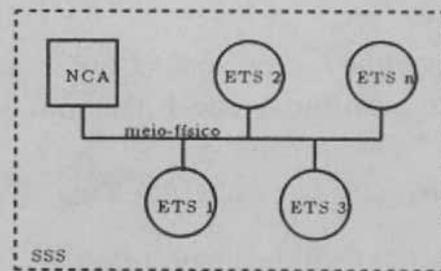


Figura 5: Modelo geral do sub-sistema de supervisão

O nodo de coleta de dados e atuação recebe solicitações de serviço do meio externo, sejam solicitações de coleta de dados, sejam de atuação, e faz a comunicação com os ETSs para executar o serviço.

A figura 6 apresenta o modelo de filas do sub-sistema de supervisão. Para fins de simulação, um sub-sistema de supervisão consiste de um *nodo de serviço* e uma *fila de solicitações*.

Uma solicitação chega do exterior e é colocada na fila. O nodo retira uma solicitação da fila e executa o serviço correspondente. O serviço tem uma *duração* ou *tempo de serviço*, que é função da taxa de transmissão do meio físico de transmissão e da quantidade de dados transmitidos para a comunicação entre o NCA e os ETSs.

O meio físico de transmissão é caracterizado pela sua velocidade de transmissão, expressa por uma *taxa de transmissão*, e pela sua qualidade, expressa em termos de uma *taxa de erros*.

Em função da qualidade do meio físico, uma parte das solicitações é executada com sucesso e outra parte sem sucesso.

A toda solicitação de serviço corresponde uma resposta ao solicitante, seja uma resposta de sucesso, possivelmente acrescida de dados coletados, seja uma resposta de insucesso.

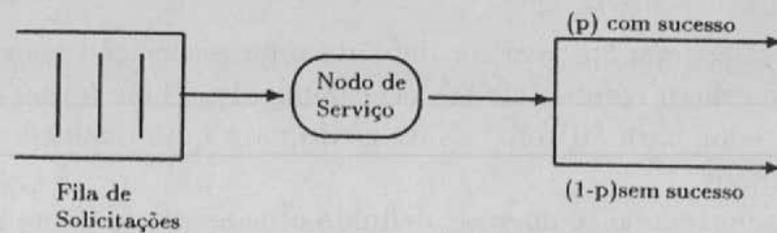


Figura 6: Modelo do Sub-Sistema de Supervisão

6.2 O Modelo do Nodo de Coleta de Dados e Atuação

Para efeito de simulação, um NCA modela um sub-sistema de supervisão mantendo uma estrutura de dados que representa a rede de ETSs e a linha de comunicação, tanto nos aspectos estáticos e estruturais, como nos aspectos dinâmicos.

O NCA, ao receber uma solicitação, deve se comportar de maneira semelhante ao sub-sistema de supervisão: se for uma solicitação que pode ser executada com os dados locais, ele a responde imediatamente; se for uma solicitação de leitura ou atuação que implique num acesso à linha física, ele simula a operação, inserindo atrasos e os erros do meio físico.

6.3 O Modelo do ETS

Um ETS implementa teleobjetos, especificamente, telessinais, telemedidas, telecomandos e telerregulações. Uma descrição detalhada se encontra em [Nog92].

Um ETS, para efeito de simulação, é representado por uma estrutura de dados que define uma configuração em termos de teleobjetos, do comportamento de cada teleobjeto e dos valores iniciais.

Para os telessinais existentes devem ser definidos os seus *comportamentos*, se estável, periódico ou intermitente. A cada mudança corresponde uma inversão do valor do telessinal. Para o comportamento periódico deverá ser provido como parâmetro o período em segundos. Para cada telessinal deve ser provido também seu valor inicial. Como "default" será assumido o valor "0" para cada telessinal. O valor de um telessinal pode ser alterado para um valor específico através de um telecomando, em adição ao comportamento usual. Um telessinal de comportamento intermitente faz com que o NCA se comporte da seguinte maneira: ele mantém o valor do telessinal estável; ao receber uma solicitação de variação de estado de um grupo de telessinais ao qual pertence um telessinal de comportamento intermitente, o NCA informa que houve variação de estado.

Para as telemedidas existentes o comportamento será estável ou incremental. Para o comportamento incremental deverá ser provido como parâmetro o período, em segundos, do incremento que deve ser circular e de uma unidade. Valores iniciais deverão ser providos. Como "default" para valor inicial de telemedidas será assumido o valor "0". Uma telemedida pode ter seu valor atualizado em consequência de execução de uma telerregulação ou telecomando.

Para telecomando deve ser definida uma associação com um telessinal ou uma telemedida, bem como o efeito correspondente. O efeito para um telessinal é atualizar seu valor para "0" ou "1". O efeito para uma telemedida é atualizar para seu valor "default".

Para telerregulação deve ser definida uma associação com uma telemedida, sendo o efeito possível a atualização do valor da telemedida para o valor da telerregulação.

6.4 Implementação

O programa simulador de SSS foi implementado em linguagem C e está dividido nos seguintes módulos:

- Módulo interface do simulador com o SIS: a sua função é prover uma interface entre uma aplicação e simulador, através de uma interface serial.
- Módulo configurador do simulador: para permitir que o simulador seja facilmente programável através de um arquivo de configuração, foi definida e implementada uma gramática de configuração do simulador. A implementação foi feita com a utilização das ferramentas *lex* e *yacc*[Bel79].
- Módulo simulador de ETSs: implementa a simulação do sistema físico ao qual o nodo de coleta de dados e atuação está conectado.
- Módulo de supervisão: implementa a simulação do nodo de coleta de dados e atuação, conforme descrito acima.
- Módulo simulador da linha de comunicação: implementa a simulação do meio físico que interliga o nodo de coleta de dados e atuação aos elementos terminais de supervisão.

7 Comunicação com Outros Processos

7.1 Arquitetura de Software do SIS

O software do SIS é composto de três tipos de módulos lógicos, correspondentes às unidades centrais principais (UCP), regionais (UCR) e secundárias (UCS).

Os módulos se relacionam em uma estrutura hierárquica. A relação de subordinação, do ponto de vista operacional, diz que um módulo UCS está subordinado a apenas um módulo UCR. Este, por sua vez tem um ou mais módulos UCSs a ele subordinados. Os módulos UCRs subordinam-se ao módulo UCP. Cada módulo é constituído de um conjunto de processos definido conforme a funcionalidade particularmente escolhida.

Os principais processos que compõem o SIS são: UCproc, Agenda, InterfaceBD, MonitorSSS e SISterm. Os processos UCproc e Agenda residem em todos os módulos lógicos. Os processos InterfaceBD podem residir em qualquer um dos módulos UCs. Um processo MonitorSSS deve residir em um módulo UCS que esteja em uma máquina na qual o SSS supervisionado estiver fisicamente conectado.

Os processos SISterm, quando existirem, residem em módulos que englobam a área supervisionada ou de interesse do operador.

A decisão da localização de cada instância desses processos é definida pelo instalador do sistema e armazenada no banco de dados.

Os processos acima referenciados são os processos principais, conhecidos no âmbito de todo o SIS. Podem existir outros processos que não precisam ser conhecidos desta maneira. A decisão de defini-los ou não é uma questão de implementação.

Os processos do SIS comunicam-se através de troca de mensagens, sendo a localização do processo destinatário de cada mensagem completamente transparente. As mensagens são sempre enviadas a portas de protocolo de comunicação associadas a processos. Os processos podem ser locais ou remotos[NDB92].

A comunicação é feita utilizando-se o protocolo TCP/IP. Para acessar os serviços de comunicação oferecidos pelo sistema operacional, foram utilizados, na implementação, os "sockets" do Unix BSD ("Berkeley Software Distribution")[Ste90].

7.2 Representação Externa de Dados

Para que a comunicação de dados entre os processos do SIS se desse de forma independente da arquitetura das máquinas hospedeiras, foi escolhida a representação de dados ASN.1[Ros89] ("Abstract Syntax Notation One"). Quando falamos de ASN.1, estamos falando de duas coisas:

1. "Abstract Syntax Notation": uma linguagem formal usada para definir os tipos de estruturas de dados;
2. "BER - Basic Encoding Rules": a forma em que uma dada instância de uma estrutura de dados é enviada de uma máquina para outra através de uma linha de comunicação de dados. É também conhecida como "Transfer Syntax Notation".

Na arquitetura OSI, a linguagem ASN.1 é usada para descrever tipos de dados. ASN.1 define um conjunto de tipos primitivos de dados e provê facilidades para construir novos elementos[Ros89]. Outras escolhas poderiam ter sido feitas[Sun90, Ros89]. Como ASN.1 é a representação de dados utilizada na TMN (Telecommunications Management Network[Mei92, CCI88]) e o SIS deve caminhar nesta direção, esta foi a solução adotada.

Portanto, para que uma mensagem seja transmitida de uma máquina (ou processo) para outra no SIS, ela passa por duas conversões: (1) do formato da máquina hospedeira que originou a mensagem para o formato ASN.1 e (2) do formato ASN.1 para o formato da máquina destinatária da mensagem. Para auxiliar na implementação das rotinas de conversão foi utilizado o ambiente *ISO Development Environment - ISODE*[ROR91, Ros89].

7.3 O "ISO Development Environment - ISODE"

O ISODE é um conjunto de ferramentas para desenvolvimento de aplicações no modelo OSI. Nesta fase inicial do SIS, nós utilizamos apenas dois compiladores:

- *pepy* - Presentation Element Parser (Yacc-based).
- *posy* - Pepy Optional Structure generator (Yacc-based)

O *posy* recebe como entrada um arquivo contendo a descrição das estruturas de dados em ASN.1 e gera, como saída, dois arquivos: um contendo a definição dos tipos de dados em linguagem C e outro contendo a definição das estruturas de dados em ASN.1 estendido ("augmented ASN.1"). O primeiro é utilizado juntamente com os outros módulos do Monitor SSS; o último será utilizado pelo *pepy* para gerar as rotinas de conversão de dados necessárias.

Os tipos de estruturas de dados gerados pelo *posy* não são muito "naturais". Isto é, não fosse a necessidade de generalização requerida por uma ferramenta deste tipo, dificilmente alguém codificaria (manualmente) da forma que o *posy* o faz. Para manipular estas estruturas de dados, a biblioteca do ISODE fornece um conjunto de rotinas. Para evitar que todos os integrantes da equipe de desenvolvimento do SIS tivessem que conhecer estas rotinas e a maneira de utilizá-las, nós optamos por definir, manualmente, um tipo de dados em C para cada estrutura de dados definida em ASN.1. Assim, os "clientes" do Monitor SSS manipulam estruturas de dados mais amigáveis que as geradas pelo *posy*, perdendo um pouco da eficiência mas ganhando na simplicidade de utilização das primitivas de serviço do Monitor SSS. Além disso, caso seja decidido utilizar uma outra ferramenta (diferente do *posy*), não será necessário modificar os módulos que se utilizam dos serviços do Monitor SSS.

8 Estágio Atual

O SASC foi inicialmente implementado como um processo que se comunicava com seus clientes (ou usuários) através de uma fila de mensagens, um recurso de comunicação entre processos (IPC) fornecido pelo Unix. Após a implementação do Monitor SSS, o código do SASC passou a ser ligado ao código do Monitor SSS, que é o seu cliente.

O programa de teste do SASC foi implementado para a primeira versão do mesmo. Depois que o SASC e o Monitor SSS passaram a ser um só programa, o testador não foi modificado.

O simulador de sub-sistema de supervisão está implementado conforme especificado. A sua comunicação com o Monitor SSS era, inicialmente, através de fila de mensagens. Depois da integração do Monitor SSS com o SASC, ele foi modificado para se comunicar com o Monitor SSSs da mesma maneira que um sub-sistema de supervisão: através de uma interface serial padrão RS-232C (um *tty* do Unix).

O Monitor SSS se encontra atualmente integrado aos outros processos do SIS. O processo SISterm se comunica com ele quando o operador solicita o envio de um telecomando ou de uma telerregulação. O Monitor SSS envia dados para o processo InterfaceBD para atualização da base de dados.

9 Conclusões

Conforme dito no início deste texto, este trabalho se insere dentro de um projeto de maior porte, o SIS, cuja equipe de trabalho é composta de professores orientadores e consultores, de engenheiros da TELEMIG, e de alunos de pós-graduação dedicados integralmente ao projeto.

A experiência do projeto SIS tem se mostrado muito positiva para a universidade, com a formação de pessoal, aplicação de conhecimentos na resolução de problemas concretos e práticos, integração com a comunidade, etc. Para a empresa o mesmo pode ser dito, com a resolução de seus problemas-fim, com o domínio tecnológico de seus sistemas, com o contato e uso de tecnologias avançadas, com a formação de seu quadro e, nada desprezível, o baixo custo das soluções encontradas.

Referências

- [Bel79] Bell Telephone Laboratories. *UNIX For Advanced Programmers*, seventh edition, January 1979.
- [CCI88] Principles for a telecommunications management network, 1988. (Recommendation M.30, Fascicle IV.1, Blue Book), Geneva.
- [Cor92] Patrícia Valéria Correa. Implementação da Interface entre o SIS e o Sub-sistema de Supervisão - Lado Cliente. RT SIS 2115, UFMG-DCC-ICEx, Belo Horizonte-MG, Junho 1992. Primeira Edição.
- [ISO87] ISO. *OSI Conformance Testing Methodology and Framework*, 1987. ISO/TC97/SC21, Part 2: Abstract test suit specification, Annex E: "The tree and tabular combined notation".
- [Mei89] Dilmar Malheiros Meira. Protocolos de Comunicação para um Sistema Integrado de Supervisão. Dissertação de mestrado, UFMG-ICEx-DCC, Belo Horizonte-MG, 1989.
- [Mei91] Dilmar Malheiros Meira. Supervisão e Gerência Integrada de Rede com o Sistema Integrado de Supervisão. RT SIS 2101, UFMG-DCC-ICEx, Belo Horizonte-MG, Julho 1991. Convênio TELEMIG-DCC-UFMG.
- [Mei92] Dilmar Malheiros Meira. As Funções de Gerência da TMN e o Sistema Integrado de Supervisão (SIS). Contribuição para o Plano Diretor de Gerência de Rede, Março 1992.

- [Mon92] Murilo Silva Monteiro. Um Testador para o SASC. RT SIS 2110, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Março 1992.
- [NDB92] José Marcos Silva Nogueira, João Eduardo R. Dantas, e Roberto da Silva Bigonha. Arquitetura de Software do SIS. RT SIS 2117, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Agosto 1992.
- [NM91] José Marcos Silva Nogueira e Dilmar Malheiros Meira. Definição da Arquitetura Básica do SIS. RT SIS 2102, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Novembro 1991.
- [NM92a] José Marcos Silva Nogueira e Dilmar Malheiros Meira. Especificação de Serviços de Supervisão e Protocolos de Comunicação da UTRacem. RT SIS 2134, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Outubro 1992.
- [NM92b] José Marcos Silva Nogueira e Murilo Silva Monteiro. Especificação de Serviço e Primitivas do MonitorSSS. RT SIS 2125, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Maio 1992.
- [Nog91a] José Marcos Silva Nogueira. Estrutura da Comunicação UCS-UTR e Protocolos de Níveis Inferiores. RT SIS 2103, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Novembro 1991.
- [Nog91b] José Marcos Silva Nogueira. Protocolos de comunicação: Conceitos, serviços, especificação e teste. Versão Preliminar Publicada para a V Escola Brasileiro-Argentina de Informática, Janeiro 1991.
- [Nog92] José Marcos Silva Nogueira. Especificação do Serviço de Aplicação de Supervisão Convencional - SASC. RT SIS 2105, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, Março 1992.
- [ROR91] Marshall T. Rose, Julian P. Onions, and Colin J. Robbins. *The ISO Development Environment: User's Manual*. Performance Systems International, Inc., July 18 1991. Version 7.0.
- [Ros89] Marshall T. Rose. *The Open Book - A Practical Perspective on OSI*. Prentice Hall, 1989.
- [Ste90] W. Richard Stevens. *UNIX Network Programming*. Prentice-Hall, 1990.
- [Sun90] Sun Microsystems. *Network Programming Guide*, March 1990. Rev. A.