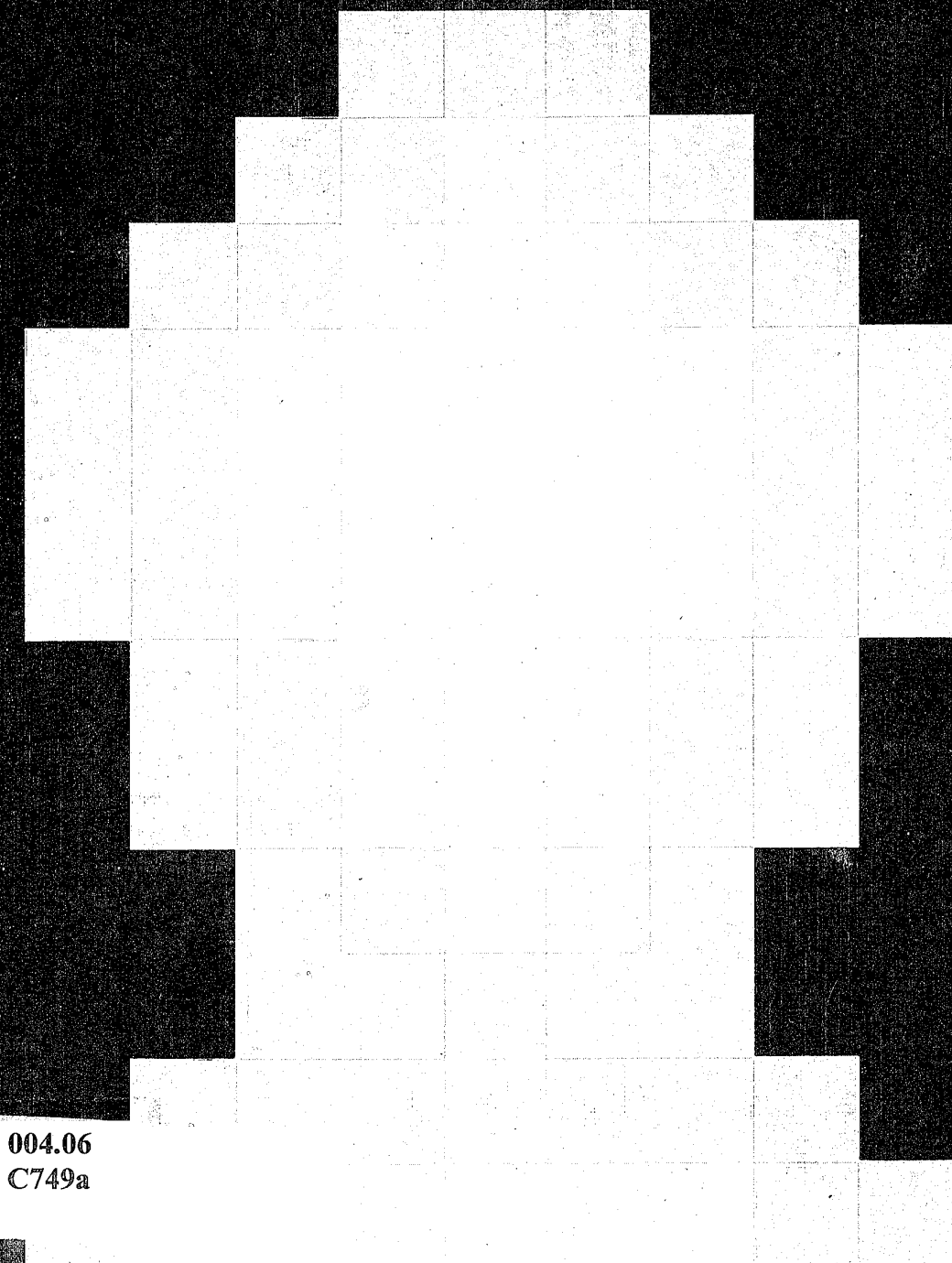


INFORMÁTICA 82

XV CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA
II FEIRA INTERNACIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIS



004.06
C749a



INFORMÁTICA 82

XV CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA
II FEIRA INTERNACIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIIS

“SOBRE A EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA DE CENTRAIS DE COMUTAÇÃO DE PACOTES”

Daniel A. Menascé e Luiz Fernando Gomes Soares
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ.

Palavras-chave: Comutação de pacotes, X.25, arquitetura de centrais de comutação de pacotes.

Desde o aparecimento das primeiras redes de computadores comutadas por pacotes, a arquitetura das centrais de comutações sofreu uma evolução bastante acentuada. O artigo inicia caracterizando as funções de uma central de comutação e depois apresenta um histórico da evolução das várias arquiteturas até as centrais implementadas em máquinas de arquitetura distribuída.

Exemplos das várias arquiteturas são apresentados. Os fatores tecnológicos que influenciaram as diversas arquiteturas são discutidos. Finalmente, o artigo conclui com a apresentação da arquitetura da central de comutação, CCPUC, da REXPAC (Rede Experimental de Pacotes da Telebrás), projetada na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro baseada em uma máquina de arquitetura distribuída com embarramento global. A arquitetura lógica da central é descrita bem como o mapeamento dos processos nos módulos da rede local. A especificação do hardware necessário à cada módulo é encontrada em outro artigo enviado a este Congresso.

1. INTRODUÇÃO

Diversos países contam hoje em dia com redes públicas e privadas comutadas por pacotes. A arquitetura das redes de hoje difere bastante das primeiras redes como a ARPANET. Este artigo apresenta um histórico da evolução da arquitetura de centrais de comutação salientando suas características principais.

A seção dois apresenta as diversas funções de uma central de comutação de pacotes. A seção três apresenta a evolução da arquitetura destas centrais. O artigo conclui com a apresentação das centrais de comutação da TELENET, da TRANSPAC e das desenvolvidas na PUC/RJ e na USP-SP.

2. FUNÇÕES DE UMA CENTRAL DE COMUTAÇÃO

Na descrição que se segue se assumirá uma rede que utiliza o X.25 como protocolo de acesso. As principais funções de um ECD são: comutação, gerência de circuitos virtuais, controle de linhas de acesso e troncos de redes, gerência de “buffers”, tarifação, supervisão, coleta de estatísticas, e implementação do protocolo interno da rede.

2.1 – Comutação

Um ECD recebe pacotes vindos de ETDs, através de linhas de assinantes, ou de outros ECDs, através de troncos

de rede. A função de comutação consiste em examinar os pacotes que chegam e determinar o enlace de saída apropriado para o pacote. Caso a central que recebe o pacote seja de destino, então, o procedimento de nível 3 do X.25 deve ser seguido com relação ao pacote. Caso contrário o pacote deve ser encaminhado ao próximo ECD no seu caminho. Se o encaminhamento for adaptivo, a tabela de encaminhamento é consultada (redes que operam em modo datagrama internamente). Se o encaminhamento for fixo durante a vigência do circuito virtual, a tabela de conexões indica o próximo ECD a ser visitado pelo pacote.

2.2 – Gerência de Circuitos Virtuais

O ECD é responsável pela tarefa de estabelecer e terminar circuitos virtuais, além de controlar o fluxo em cada circuito virtual. A gerência de circuitos virtuais inclui os procedimentos de “reset” e “restart” de circuitos virtuais.

2.3 – Controle de Linha

Uma central de comutação deve implementar o protocolo de controle de linha (nível 2) tanto nas linhas de acesso quanto nos troncos de rede que ligam duas centrais entre si. No caso de redes que implementam o X.25 como protocolo de acesso, o nível 2 de rede (ECD a ECD) é, em geral, igual ao nível 2 do X.25. Isto reduz o “software” da central já que o mesmo código é usado para o controle de

linhas que ligam a central a ETDs ou a outras centrais. Algumas redes, como TELENET, oferecem o BSC como alternativa de nível 2 de acesso, tendo em vista que grande parte dos computadores e terminais síncronos suportam BSC mas não HDLC.

2.4 – Gerência de “Buffers”

Um dos recursos mais críticos numa central de comutação é o espaço de memória devotado à “buffers”, pois dele depende fortemente o desempenho da central. Uma central necessita de “buffers” para o nível 2 e para o nível 3 do X.25. As necessidades de buffers para o nível 2 são mais fáceis de serem atendidas totalmente, pois cada enlace ligado à central necessita de no máximo 14 buffers, sete para a recepção e sete para transmissão. Quando o número de enlaces ligados a uma central não é muito grande é razoável alocar-se estaticamente os buffers necessários a cada enlace.

Por outro lado, o mesmo não pode ser dito com relação aos “buffers” para o nível 3. Cada circuito virtual pode necessitar de 14 buffers no máximo, considerando que cada um deles utiliza uma janela igual a sete pacotes. Como uma central pode suportar milhares de circuitos virtuais não é possível fazer alocação estática de “buffers”. Por exemplo, 4096 circuitos virtuais exigiriam aproximadamente 7M bytes de memória principal caso fosse feita alocação estática de “buffers” para todos os circuitos virtuais. Como este valor é muito grande e como nem todos os circuitos virtuais estão ativos simultaneamente e nem utilizando ao máximo suas janelas, a alocação de “buffers” é, geralmente, feita dinamicamente. Obviamente, a quantidade de memória total dedicada a “buffers” limita o número de circuitos virtuais que podem estar ativos simultaneamente.

2.5 – Tarifação e Coleta de Estatísticas

Redes públicas comutadas por pacotes cobram os seus serviços aos usuários de acordo com estruturas tarifárias que podem variar de rede para rede. Dentre os parâmetros comumente utilizados para a determinação da tarifa temos:

- . número de chamadas virtuais estabelecidas
- . duração da chamada
- . número de pacotes transmitidos

Os valores acima devem ser coletados pela central de comutação e periodicamente enviados ao centro de controle da rede, que coleciona estas informações para emitir as contas que devem ser enviadas ao usuário.

Além das informações acima, a central coleta outras informações que são usadas para produzir estatísticas sobre o funcionamento da central e da rede como um todo. Estas informações são usadas para avaliar o desempenho da rede, a confiabilidade e disponibilidade das centrais, e podem ser úteis para promover o redimensionamento da rede ou das centrais.

As informações de tarifação e estatísticas são coletadas em memória secundária: discos flexíveis ou discos rígidos.

2.6 – Supervisão

A confiabilidade e a disponibilidade das centrais de comutação são fatores extremamente importantes em redes públicas. Nestas redes, as centrais são, geralmente, providas de esquemas que permitem a reconfiguração da central em virtude da ocorrência de falhas. Para que isto seja possível,

estas centrais contam com vários tipos de redundância, seja no processador, memória, embarramentos, unidades de controle de linha, etc. Mecanismos de “hardware” e/ou de “software” supervisionam constantemente o funcionamento da central e ativam mecanismos de reconfiguração em caso de falhas. Exemplos destes mecanismos serão apresentados quando forem apresentadas algumas centrais de comutação na seção 4.

2.7 – Implementação do Protocolo Interno da Rede

Um ECD deve implementar o protocolo interno à rede. Por exemplo, se a rede operar internamente em modo circuito virtual, como é o caso da rede francesa TRANSPAC. A central deve cuidar de estabelecer, manter e terminar os circuitos virtuais internos à rede estabelecidos entre ECD de origem e ECD de destino de uma chamada virtual.

Vários protocolos internos à rede podem ser imaginados, e nesta área não existe nenhuma padronização.

3. EVOLUÇÃO DAS CENTRAIS DE COMUTAÇÃO

De acordo com Roberts [ROBERTS 77], desde o aparecimento da primeira rede comutada por pacotes, a ARPANET, três gerações de redes podem ser distinguidas. A arquitetura de cada geração de rede foi fortemente influenciada pelas características das suas centrais de comutação.

3.1 – Centrais de Primeira Geração

As Centrais de primeira geração, que apareceram por volta do fim da década de 1960, baseavam-se nos minicomputadores disponíveis na época. Aquelas máquinas além de serem relativamente caras tinham memória limitada e um “hardware” de comunicação de dados primitivo. Como exemplo de centrais deste tipo podemos citar o ECD da ARPANET, chamado de IMP (“Interface Message Processor”). Por exemplo, a primeira versão do IMP é um minicomputador Honeywell 516 com pouca memória e com um custo de aproximadamente US\$ 100 K.

As características das centrais de primeira geração podem ser resumidas da seguinte forma:

- i. **baixa conectividade**, isto é, o número de enlaces por central era bastante baixo. A conectividade média da ARPANET era de 2,75 enlaces por central em 1977, enquanto que a TeTYMNET é de 2,9 enlaces por central na mesma época [ROBERTS 77].
- ii. **pouca memória para “buffers”**. Os minicomputadores usados nas primeiras redes, como a ARPANET e a TYMNET, tinham em torno de 32K bytes de memória, dos quais 24K bytes eram usados pelos programas da central, o que deixava apenas 8K bytes para “buffers”.

Devido à pouca memória para “buffers”, as redes de primeira geração ofereciam o mínimo de serviços indispensáveis à sua operação. Por exemplo, a ARPANET e a CYCLADES oferecem um serviço de datagrama como protocolo de acesso já que serviços mais sofisticados como circuito virtual requerem mais memória para sua implementação.

3.2 – Centrais de Segunda Geração

Com a evolução da tecnologia digital e o barateamento

do “hardware” surgiram as centrais de comutação de segunda geração baseadas em minicomputadores mais potentes que os de primeira geração. Tais centrais se caracterizam por:

- i. **maior conectividade.** Centrais de segunda geração podiam suportar de 5 a 20 ETDs ao invés de 1 a 4 ETDs como era o caso com as centrais de primeira geração.
- ii. **mais memória.** Em 1974, memória principal era dez vezes mais barata do que em 1969 o que fez com que as centrais desta época tivessem uma capacidade de memória bem maior do que as primeiras centrais.

As centrais de segunda geração passaram a oferecer serviços mais sofisticados e vendáveis como é o caso do circuito virtual. Surgiram então, nesta época, as primeiras redes públicas em vários países, tais como E. U. A., França, Canadá e Espanha.

Estas redes públicas mantinham centros de comutação com várias centrais de comutação (vários minicomputadores) em operação e um minicomputador de reserva para entrar em operação em caso de falha de algum dos outros.

3.3 – Centrais de Terceira Geração

A tecnologia continuou o seu rápido avanço trazendo os microprocessadores, circuitos integrados para comunicação de dados e grandes quantidades de memória em uma pastilha de circuito integrado. Como resultado, as centrais de comutação de terceira geração passaram a apresentar uma arquitetura distribuída ao invés da arquitetura centralizada das suas predecessoras.

Uma central com arquitetura distribuída é composta de vários processadores (microprocessadores), com suas memórias locais, interligados através de algum sistema de interconexão. (veja figura 1).

Alguns exemplos de arquiteturas distribuídas estão ilustrados na figura 2. A figura 2. a mostra uma **arquitetura em anel** onde cada processador está ligado ao anel através da Interface do Anel (IA). Mensagens enviadas de um processador a outro circulam pelo anel, são recebidas e marcadas como tal pelo processador de destino e são retiradas do anel pelo processador que as enviou. Por questões de confiabilidade podem ser incluídos dois anéis em paralelo, um em cada sentido.

A figura 2. b mostra uma **arquitetura com embarramento global**. Os vários PMs se comunicam através de um embarramento, que pode ser um cabo coaxial ou um par trançado, que atua como um meio do tipo difusão (“broadcast”). Ou seja, todas as mensagens transmitidas por um PM são recebidas por todos os outros PMs. No entanto, se dois ou mais PMs transmitirem simultaneamente, haverá uma colisão com a consequente destruição das mensagens. Portanto, é preciso controlar o acesso ao embarramento. Este controle é implementado pela Interface do Embarramento (IE). O embarramento pode ser duplicado por questões de confiabilidade e desempenho.

A figura 2. c ilustra uma arquitetura com **memória partilhada**. Neste caso, além da memória local de cada PM, existe uma memória comum à todos os processadores que é usada para comunicação entre eles. Exemplos de centrais de comutação com as arquiteturas ilustradas na figura 2 serão apresentados na próxima seção.

As centrais de terceira geração têm as seguintes características:

- i. **maior confiabilidade a um custo menor.** A fim de tornar a central mais tolerante e falhas não é necessário duplicar todo um minicomputador, mas apenas deixar um PM (baseado em um microprocessador) de reserva para entrar em operação no caso de falha de outro PM.
- ii. **facilidade de expansão incremental.** A capacidade da central pode ser incrementalmente expandida de acordo com os requisitos de tráfego da região onde ela deverá operar, bastando para isto acrescentar mais placas de processadores e/ou de memória.
- iii. **família de centrais com arquitetura comum.** A mesma arquitetura básica pode ser usada para configurar centrais com capacidades diferentes e concentradores de terminais.

4. EXEMPLOS DE CENTRAIS DE COMUTAÇÃO

Esta seção descreve a arquitetura de quatro centrais de comutação: TP da TELENET, DPS-25 da SESA (usado pela TRANSPAC), CCP do LSD da EPUSP e o CCPUC da PUC/RJ.

4.1 – O TP da TELENET

A figura 3 mostra a arquitetura da central de comutação, TP, da TELENET. A arquitetura é do tipo memória partilhada. Os processadores são de dois tipos: LPUs (“Line Processing Units”) e CPUs (“Central Processing Units”).

Cada LPU tem um microprocessador de 8 bits, 8K bytes de RAM, 512 bytes de PROM, acesso mapeado à memória partilhada, além de conter o “hardware” e o “software” para gerenciamento de enlaces de comunicação de dados. O Nível 2 do X.25 é implementado nas LPUs.

Cada CPU tem um microprocessador de 8 bits, 16K bytes de RAM, 1K de PROM e acesso mapeado à memória partilhada. O Nível 3 do X.25 e a função de comutação são implementadas na CPU. Por questões de confiabilidade, um TP pode ter duas CPUs.

Um TP pode ter bancos de memória, e cada um pode conter de 1 a 8 módulos de 8K bytes. Assim a memória partilhada de um TP pode variar de 32 a 512K bytes, e é utilizada para “buffers” e para comunicação entre CPUs e LPUs. Maior confiabilidade é obtida através do uso de duas vias e dois árbitros para controlar o acesso à memória, que podem ser intercambiados rapidamente em caso de falhas.

4.2 – O DPS-25 da SESA

O DPS-25 da SESA é a central de comutação utilizada na rede pública francesa TRANSPAC e que será também utilizado na rede pública brasileira. Existem dois modelos desta central: um com arquitetura em anel e outro com arquitetura em embarramento global. A central constitui-se de vários módulos, denominados DATEMs, que se comunicam através ou do anel ou do embarramento global.

Cada DATEM tem a seguinte composição:

- i. Uma placa com um microprocessador de 8 bits e um relógio de tempo real.

- ii. Uma placa de memória dinâmica com até 256K bytes.
- iii. Uma ou mais placas de controle de linha (LCs). Cada placa tem um microprocessador de 8 bits, 64K bytes de memória e um integrado de controle de linha.
- iv. Uma placa contendo a interface com o meio de interconexão entre os DATEMs (anel ou embarramento).

A versão em anel da DPS-25 é usada para centrais de baixa ou média capacidade de comutação. O anel é serial e pode chegar a 100K bps. Já a versão em embarramento global é para centrais de média e alta capacidades de comutação. O embarramento é paralelo e pode chegar a 8M bps.

4.3 – A Central de Comutação CCP da EPUSP

A central CCP foi desenvolvida no Laboratório de Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo [RUGGIERO 80]. A arquitetura da central está mostrada na figura 4.

A central tem arquitetura em anel duplo. Cada módulo ligado ao anel é baseado em um microprocessador de 8 bits com memória local e em alguns casos com “hardware” de especialização, como por exemplo: controlador de disco flexível, controlador da TTY do operador, da impressora ou dos enlaces de acesso e troncos de rede da central.

Os módulos aos quais estão fisicamente ligados os enlaces de comunicação de dados (PMD4 à PMD9 na figura 4) implementam a parte do X.25 responsável pela gerência dos circuitos virtuais na fase de dados enquanto que a principal função do módulo PM3 é o estabelecimento, término, “reset” e “restart” de circuitos virtuais.

4.4 – A Central de Comutação CCPUC

A central de comutação CCPUC foi desenvolvida pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro [SOARES 81]. A arquitetura da central é do tipo embarramento duplo global conforme mostra a figura 5.

A CCPUC é composta de vários *módulos* que se comunicam via um embarramento serial duplo. A velocidade em cada embarramento pode chegar a 2M bps. O acesso ao embarramento tem controle distribuído e o protocolo de acesso ao embarramento é implementado pelo PC (processador de comunicação). Cada PC é baseado em um microprocessador de 16 bits, e tem 256Kb de memória RAM e 16Kb de EPROM. O PC se comunica com os módulos via DMA.

Cada módulo tem a mesma arquitetura básica, baseada em um microprocessador de 16 bits. Além da arquitetura básica, existem extensões de “hardware” que distinguem os diversos módulos. Existem três tipos de módulos:

- i. P3 (Processador de Supervisão). A este módulo estão ligados uma unidade de disco flexível para armazenamento de programas e coleta de estatísticas, um terminal de vídeo que serve de console do operador da central e uma impressora.
- ii. P2 (Processador de Nível 2). Os enlaces de assinante e troncos de rede estão ligados a processadores de nível 2.
- iii.

- iii. P3 (Processador de Nível 3). Estes módulos não têm nenhuma extensão de “hardware” além da arquitetura básica. O “software” deste módulo implementa parte do nível 3 do X.25 conforme será mostrado a seguir.

A arquitetura de “software” da CCPUC pode ser esquematizada em linhas gerais na forma ilustrada na figura 6.

O gerenciamento dos “buffers” de nível 3 para toda a central CCPUC é feita de uma forma distribuída, levando-se em conta a disponibilidade total de “buffers” em toda a central. Esta decisão é importante pois o desempenho da central é fortemente influenciado pelo seu número de “buffers”. Este tipo de consideração levou à arquitetura de “software” descrita acima em que o nível 2 e o nível 3 do X.25 estão em módulos diferentes.

5. CONCLUSÃO

Depois de apresentar as funções de uma central de comutação de pacotes, o artigo descreveu a evolução da arquitetura destas centrais, caracterizando três gerações de centrais. A terceira geração é a das centrais de arquitetura distribuída. Quatro exemplos de centrais deste tipo foram descritos.

Algumas das centrais descritas podem na verdade ser consideradas como *redes locais* de microcomputadores voltadas para uma aplicação específica, ou seja, comutação de pacotes. Uma rede local é uma rede que liga computadores e/ou terminais situados numa área relativamente pequena; por exemplo, uma sala, um edifício ou o campus de uma universidade. Considera-se 1km como sendo o limite máximo de distância entre dois computadores ligados através de uma rede local. Além disto, a taxa de transmissão em redes locais é tipicamente da ordem de 1 a 10 Mbps, enquanto que em redes geograficamente distribuídas é da ordem de 50 Kbps.

Hoje em dia, existe uma tendência de integrar diversos serviços tais como transmissão de voz, dados, vídeo, facsimile, etc. Assim, no futuro teremos PABX eletrônicos que serão capazes de comutar pacotes, circuitos, voz, vídeo, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [GOMES SOARES 81] Gomes Soares, L. F. e D. A. Menascé, “Realização de uma Central de Comutação de Pacotes em uma Máquina de Arquitetura Distribuída-REDPUC”, Relatório Técnico pl. 3, LESC-PUC/RJ, outubro de 1981.
- [ROBERTS 77] Roberts, L. G., “Packet Network Design – The Third Generation”, Proc. IFIP, North-Holland Publishing Co., 1977.
- [RUGGIERO 80] Ruggiero, W. V. e A. S. Barbosa Jr., “Implementação de uma Central X.25 de Comutação de Pacotes com uma Máquina de Arquitetura Distribuída Multimicroprocessadores”, Relatório Técnico LSD-USP, 1980.

Figura 1. Arquitetura Distribuída.

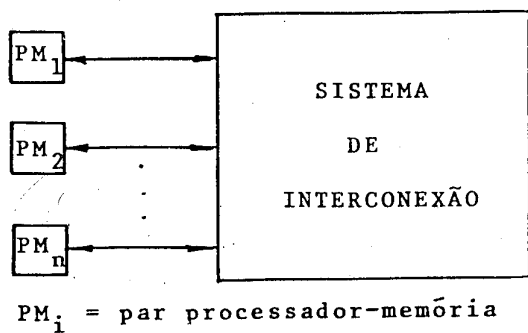


Figura 2. Exemplos de Arquiteturas Distribuídas.

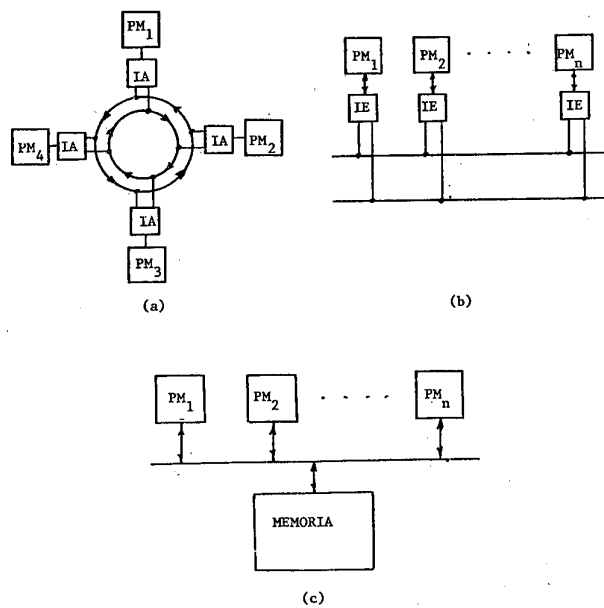


Figura 3. O TP da TELENET.

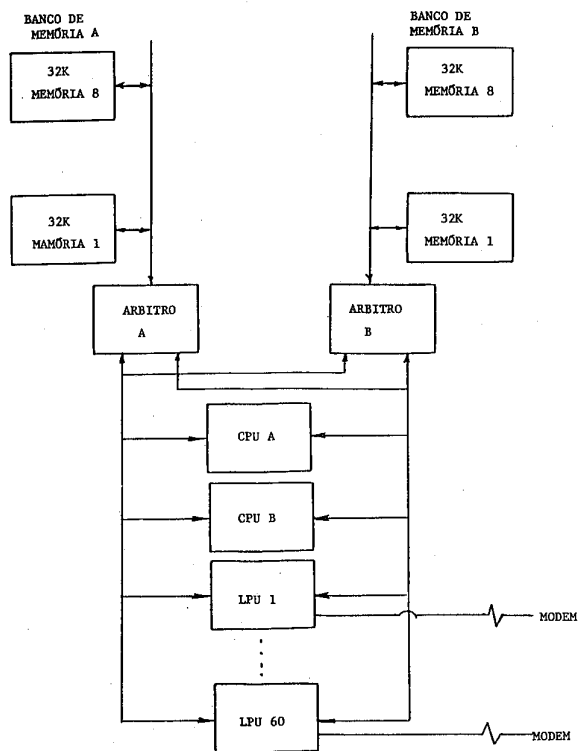


Figura 4. A Central CCP da EPUSP

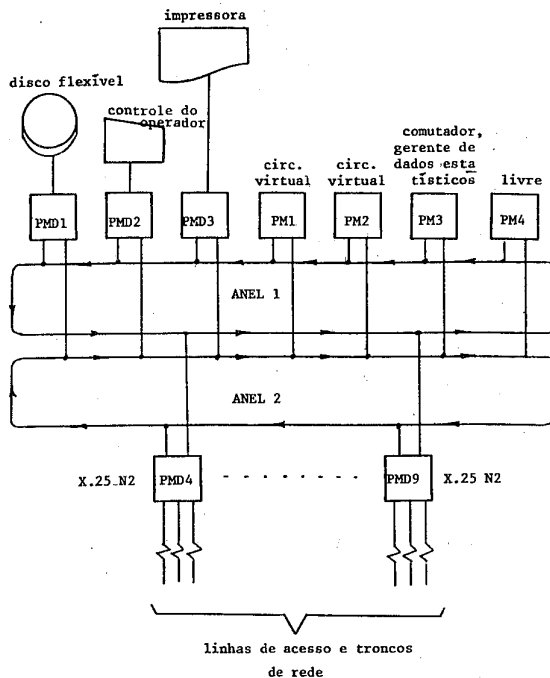


Figura 5. Arquitetura da CCPUC.

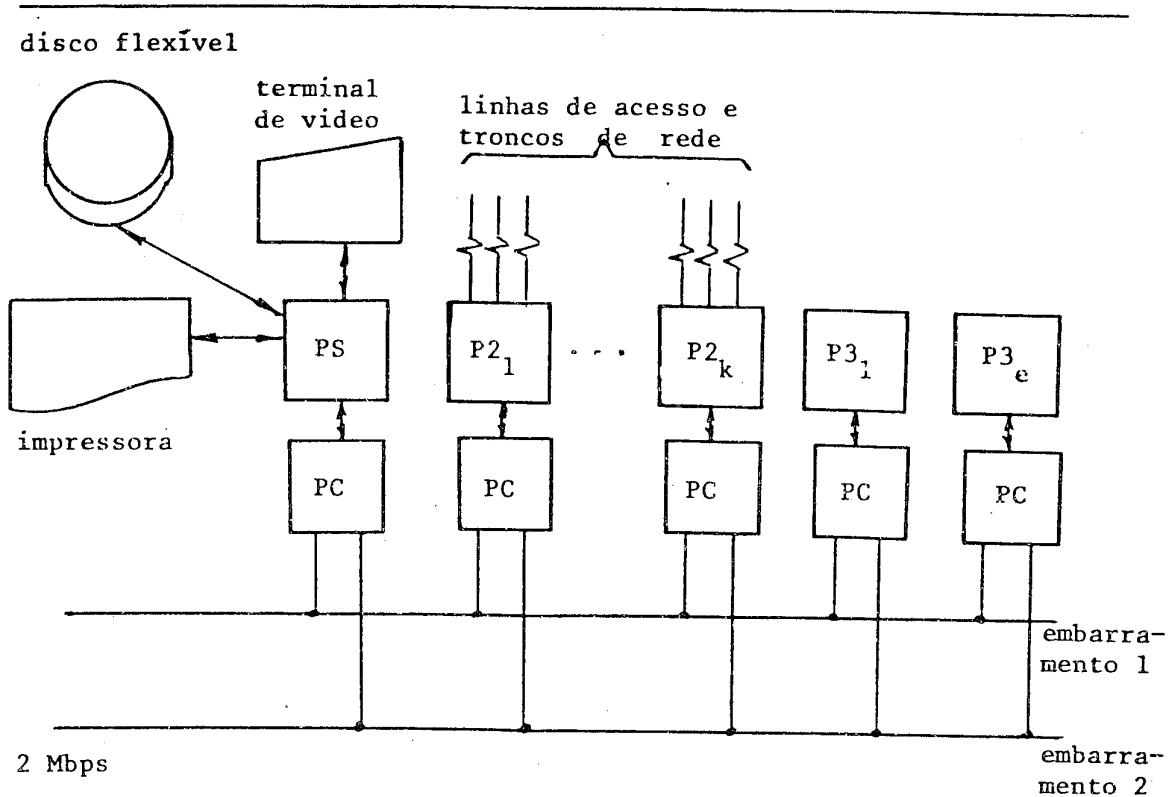


Figura 6. Funções dos Processadores da CCPUC.

TIPO DE PROCESSADOR	FUNÇÕES
PS	<ul style="list-style-type: none"> . estabelecimento e término de chamadas virtuais . processamento de "resets" e "restarts" . encaminhamento . controle de periféricos da central (disco, flexível, terminal de vídeo e impressora)
P2	<ul style="list-style-type: none"> . nível 2 do X.25 para enlaces de assinante e troncos de rede
P3	<ul style="list-style-type: none"> . gerência dos circuitos virtuais na fase de dados . implementação do protocolo interno da rede . gerência de "buffers" de pacotes