Ensinando redes de computadores e sistemas operacionais em conjunto

Aleardo Manacero Jr.
DCCE/Ibilce/UNESP
aleardo@dcce.ibilce.unesp.br

Resumo — Neste artigo descreve-se a operacionalização da disciplina "Fundamentos em Sistemas de Computação", que faz a junção dos conteúdos das matérias de sistemas operacionais e redes de computadores. Essa junção é feita para otimizar a grade curricular e permitir aos alunos uma melhor compreensão da forte conexão hoje existente entre essas matérias. Durante o artigo serão apresentados inicialmente os motivos que levaram a esta junção, passando-se a seguir para uma descrição detalhada de seu programa. Conclui-se com uma análise dos resultados obtidos com a sua aplicação nos últimos três anos.

Abstract — In this paper we describe the "Foundations on Computer Systems" course, which merges the contents of operating systems and computer networks courses. The goals of this merge are twofold: to enable a curriculum optimization and to give to the computer science students a better understanding about the strong connections between these two courses. Throughout this paper one will find the reasons that guided to this merge and a detailed descripition of its schedule. Some analysis about its application during the last three years is also found at the conclusions.

Palavras Chave — Sistemas operacionais, redes de computadores, ensino de graduação

1 Introdução

A estrutura curricular do curso de bacharelado em ciência da computação da Unesp, campus de São José do Rio Preto, apresenta na grade para o segundo ano um conjunto de disciplinas de fundamentos para as várias áreas de concentração em computação [5]. Essas disciplinas apresentam duas características básicas: servem para introduzir conceitos das diferentes áreas de computação aos alunos do curso, permitindo então que eles escolham uma linha de atuação, e integram os conteúdos de matérias relacionadas em uma única disciplina.

Com o funcionamento desse modelo de currículo tem havido um grande questionamento, pela comunidade externa ao curso, sobre como operacionalizar as junções de matérias de forma a não banalizar nem complicar excessivamente seus conteúdos. Este texto apresenta de forma detalhada como isso é feito dentro da disciplina de "Fundamentos em Sistemas de Computação", que é a mais questionada até o momento, principalmente por juntar duas matérias, sistemas operacionais e redes de computadores, que são consideradas densas.

Esta descrição começa por um breve histórico da estrutura curricular e da orientação assumida para as disciplinas de fundamentos. Passa-se então ao detalhamento de "Fundamentos em Sistemas de Computação", incluíndo-se quais tópicos são cobertos pela disciplina, sua sequência e carga horária. Encerra-se o artigo apresentando alguns dos resultados obtidos pela introdução desta disciplina e as conclusões que dali podem ser tiradas.

2 Junção de matérias no currículo

A criação das disciplinas de fundamentos com a estrutura indicada teve como objetivo principal a redução na carga horária dos alunos e, como resultado, permitiu que o currículo implantado em 1997 já antecipasse ao recomendado pelas diretrizes curriculares definidas pela Comissão de Especialistas de Ensino de Computação e Informática, CEEInfo, [1]. Isso ocorreu pelo fato dessa combinação possibilitar uma maior cobertura (em largura) das matérias tecnológicas de computação. Além disso, como essas disciplinas estão alocadas no segundo ano do curso, é fácil garantir uma cobertura em profundidade para algumas matérias nos períodos seguintes, o que é feito através de um conjunto de ênfases [5].

A concepção deste modelo de currículo foi baseada fundamentalmente na experiência do curso de engenharia elétrica e de computação da Universidade Carnegie Mellon [2]. Aquele currículo foi montado dentro do espírito de redução do tempo gasto em sala de aula e da flexibilização de conteúdos. Foram exatamente esses os conceitos aproveitados para a estruturação do modelo unespiano.

Adicionalmente aos princípios norteadores adotados de Carnegie Mellon, outros argumentos foram colocados para que a estrutura fosse aceita internamente. Eles se concentram basicamente no fato da computação ser um campo do conhecimento ainda em formação, que muda constantemente exigindo flexibilidade, e já muito amplo, o que dificulta o aparecimento de profissionais que atuem em todas suas áreas.

Esses últimos argumentos justificam o não aprofundamento dos alunos em todas as matérias, o que é, aliás, preconizado pelas diretrizes curriculares propostas pela CEEInfo. Entretanto, existe uma cobertura em largura de todas as matérias tecnológicas da computação através das disciplinas de fundamentos, como a que é tratada neste trabalho.

Com o avanço na elaboração da grade curricular do curso ficou evidente que o grande problema nas disciplinas de fundamentos era encontrar quais seriam os conjuntos de matérias a serem integrados, de modo a diminuir o número de disciplinas de fundamentos e manter uma cobertura máxima de matérias do chamado núcleo tecnológico.

A solução encontrada foi a de manter juntas as matérias que pudessem encontrar uma aplicação em que fossem simultaneamente necessárias. Dentro desse enfoque foi criada uma disciplina englobando essencialmente as matérias de sistemas operacionais e redes de computadores, que tem como aplicação motivadora os chamados sistemas de computação de alto desempenho de baixo custo (*clusters* de computadores), que levam à necessidade de sistemas distribuídos (juntando redes e sistemas operacionais) [4].

Além dessa aplicação alguns argumentos, que reforçam a necessidade dessa junção, devem ser listados aqui. Eles são:

- As duas matérias são complexas demais para serem ensinadas com profundidade para estudantes interessados em outras áreas da computação;

- Trabalhos práticos (nas disciplinas avançadas) são mais produtivos do que aulas teóricas;

- Sistemas operacionais e redes de computadores são semelhantes sob o ponto de vista de ambos proverem um ambiente virtual aos usuários finais;
- Os dois softwares tem vários problemas em comum, tanto em suas especificações como implementações.

Em particular, essa disciplina serve como ponto de partida para os alunos que queiram seguir dentro do que foi denominado **ênfase em sistemas de computação**[1]. Nessa linha os alunos ainda passariam por disciplinas específicas em projeto de sistemas operacionais, redes de computadores, sistemas de tempo-real, programação concorrente e arquiteturas e organização de computadores.

Como introdução para esta ênfase poderiam ser imaginados outros pares de matérias, tais como sistemas operacionais e arquitetura de computadores. Entretanto, combinações como essa pecam por tentar agrupar aspectos que, embora tenham muito em comum, são inerentemente distintos sob o ponto de vista dos alunos, que dificilmente enxergam, no segundo ano do curso, que hardware e software podem ser tratados de forma praticamente idêntica. Para as demais ênfases do currículo foram identificados grupos distintos de matérias, tais como paradigmas de linguagens de programação, compiladores e computabilidade para a ênfase em linguagens e teoria da computação por exemplo.

A grande diferença entre os currículos mais tradicionais e este é exatamente na forma em que as disciplinas listadas no último parágrafo são ministradas. Aqui todas partem do pressuposto que o conteúdo básico das matérias por elas abordadas já foi examinado em algum momento, o que permite, por exemplo, que na disciplina de projeto de sistemas operacionais seja realizado o projeto e implementação de um núcleo de um sistema operacional multitarefa em paralelo ao estudo de sistemas operacionais distribuídos, sem a necessidade de reforçar os conceitos de sistemas operacionais convencionais.

3 Fundamentos em Sistemas de Computação

A ênfase em sistemas de computação tem como base fundamental a disciplina "Fundamentos em Sistemas de Computação". Nela são vistos em conjunto os conteúdos de sistemas operacionais e redes de computadores, incluindo-se noções sobre sistemas distribuídos. O fluxo de tópicos abordados procura fazer o relacionamento entre tópicos semelhantes em sistemas operacionais e redes, com o objetivo de mostrar que as duas matérias podem ser examinadas a partir de uma ótica comum.

Desse modo, divide-se os tópicos abordados em três categorias. Uma que diz respeito aos mecanismos internos de um sistema operacional, outra que trata da organização da comunicação de dados em uma rede (basicamente seus protocolos) e uma última tratando de assuntos comuns às demais.

O fluxo entre essas categorias obedece ao critério de semelhança, isto é, tópicos semelhantes são tratados em sequência, independentemente da categoria a que pertençam. Embora isso possa parecer confuso (por misturar tópicos de redes com tópicos de sistemas operacionais), a sua aplicação tem gerado ótimos resultados na compreensão, por parte dos alunos, da interrelação entre essas matérias.

[1] Note-se que dentro do curso outras matérias, que oficialmente são tratadas como linhas de pesquisa em sistemas de computação tais como compiladores e bancos de dados, foram deixadas em ênfases mais dedicadas, como linguagens e teoria da computação ou sistemas de informação

Partindo desse princípio a disciplina é dividida em 14 seções, cobrindo um total de 60 horas-aula.

3.1 Programa detalhado

O programa apresentado aqui cobre os conteúdos clássicos de redes de computadores e sistemas operacionais. As referências bibliográficas também são as clássicas, como Tanenbaum [9, 10], Peterson, Silberschatz e Galvin [6] e Deitel [3] na área de sistemas e Tanenbaum [11], Peterson e Davie [7] e Stallings [8] em redes.

Por seguir um fluxo não linear, o programa da disciplina foi dividido em 14 seções, que cobrem (hoje) um total de 60 horas-aula. Deve-se notar ainda que as cargas horárias em cada seção se referem apenas ao trabalho desenvolvido em sala de aula. Nas aulas cada tópico é coberto rapidamente, centrando esforços nos conceitos e não nos detalhes. Além das horas indicadas existe um tempo adicional (já previsto pelo currículo do curso) destinado a pesquisas mais aprofundadas e desenvolvimento de projetos.

A seguir descreve-se o programa para cada uma das 14 seções, incluindo-se indicações sobre os pontos de relacionamento existentes entre elas:

1. **Computação de alto desempenho (CAD)/Computação distribuída** (4 h/a)

   Essa é a semente do curso, quando se mostra o que é CAD, para que serve, como pode ser obtida e, principalmente, CAD de baixo custo, que é obtida através de computação dsitribuída. Nesse ponto lança-se o gancho que liga redes e sistemas operacionais (SO), identificando a primeira como suporte de comunicação e a segunda como suporte de gerenciamento na obtenção de sistemas de computação distribuída;

2. **Redes, topologia, protocolos, camadas e serviços** (4 h/a)

   Constatada a necessidade de redes de comunicação para o funcionamento de um sistema distribuído passa-se ao estudo das mesmas. Nesse início o que se faz necessário é apresentar conceitos de topologia de redes (anel, barramento, etc.). Fala-se então da necessidade de definição de um protocolo para a comunicação entre máquinas distintas, com a apresentação do modelo OSI e de sua estrutura em camadas.

   Mostra-se que o fluxo da comunicação ao longo das camadas do protocolo é feito através da prestação de serviços por uma camada às suas vizinhas e que se existem vários processos de comunicação ocorrendo simultaneamente existirá concorrência por esses serviços, abrindo-se um gancho para o tratamento de concorrência na próxima seção;

3. **Concorrência** (8 h/a)

   Nesse ponto é possível apresentar os conceitos de processos e concorrência por acesso a recursos de um sistema. Na sequência mostra-se a necessidade de exclusão mútua para determinados recursos, discutindo-se então soluções para esse problema (essencialmente primitiva de Dekker e semáforos, além de soluções em hardware).

   Com a introdução dos semáforos passa-se ao problema de obtenção de sincronismo entre processos, com a apresentação de monitores e mecanismos de troca de mensagens (RPC). Discute-se também a ocorrência e tratamento de *deadlocks*;

4. **Processos e gerenciamento de processos** (4 h/a)

   Com a apresentação de processos feita é criada a percepção de que os processos irão também concorrer ao acesso à CPU (uma vez que essa executa apenas um programa por vez). Com isso são apresentados os mecanismos de um SO convencional para gerenciamento de processos, incluindo-se quais estados que um processo pode assumir (prontos, em espera/bloqueados, executando), o bloco de controle de processos (BCP) e algoritmos para o escalonamento da CPU;

5. **Gerenciamento de Entrada/Saída** (4 h/a)

   Após a descrição do gerenciamento de processos é mostrado que uma outra categoria de recursos é por eles disputada, que são os dispositivos de entrada e saída. Estuda-se então como o SO faz o gerenciamento de tais dispositivos, mostrando-se a divisão entre controle de E/S (*device management*) e controle de dispositivo (*device drivers*) e formas de se realizar E/S (por interrupção, DMA, etc.). Estuda-se também o gerenciamento de discos e seus algoritmos de escalonamento.

   A partir disso mostra-se a dificuldade em se manipular a entrada de dados em dispositivos de entrada não-controlada (como redes por exemplo) e quais estratégias são usadas para se fazer isso. Essa discussão faz o retorno ao assunto redes de computadores, que é tratado nas próximas seções;

6. **Camada física** (4 h/a)

   Aqui são apresentados os principais suportes físicos para comunicação, com alguns detalhes técnicos dos mesmos para uma comparação qualitativa. Discute-se também técnicas de codificação e modulação de sinais, embora isso seja feito de forma superficial em função da complexidade desses temas;

7. **Camada de enlace** (6 h/a)

   Dando continuidade ao estudo de protocolos, passa-se ao estudo dos serviços providos pela camada de enlace. Aqui mostra-se sua divisão entre as subcamadas de enlace lógico e de controle de acesso ao meio. Mostram-se então os serviços de detecção de erros de transmissão (CRC), protocolos de enlace de dados (com e sem *acknowledgement*, etc.) e mecanismos de controle de acesso (token, aloha, CSMA, etc.);

8. **Camada de rede** (2 h/a)

   Seguindo a estrutura de camadas do RM/OSI examinam-se os serviços da camada de rede, ou seja, roteamento e controle de tráfego. Introduz-se também os conceitos de datagrama e circuito virtual, estabelecendo-se as principais diferenças entre ambos;

9. **Camada de transporte e TCP/IP** (4 h/a)

   A próxima camada a ser examinada é a de transporte, com a qual são apresentados os conceitos de qualidade de serviço (QoS), endereçamento, e estabelecimento e fechamento de conexão. Neste ponto passa-se a discutir o protocolo TCP/IP, embora com brevidade, permitindo que os alunos entendam como é o processo de comunicação dentro da internet;

10. **Camada de aplicação** (2 h/a)

    Embora o RM/OSI ainda identifique as camadas de sessão e apresentação, as mesmas não são cobertas no curso, em função principalmente do protocolo TCP/IP. Assim, mostram-se os serviços da camada de aplicação, dando-se especial destaque aos problemas de garantia de segurança e privacidade;

11. **Segurança e privacidade** (2 h/a)

    Neste ponto é possível identificar que os problemas de segurança e privacidade existem tanto no contexto de redes de computadores quanto no de uma máquina isolada. Apresentam-se então as técnicas para obtenção de segurança e privacidade e os problemas para se fazer isso. Esse estudo é feito de modo a apresentar tanto os aspectos relativos à rede quanto aos sistemas operacionais, o que permite um retorno ao seu estudo;

12. **Sistemas de arquivos** (4 h/a)

    A partir do tratamento de segurança, que normalmente é função do sistema de arquivos dentro de um SO, passa-se a examinar outras funcionalidades do mesmo, tais como consistência de dados, organização de disco (diretórios) e mecanismos de acesso, levando ao estudo de abertura e carregamento de arquivos e, consequentemente, ao gerenciamento de memória, que é para onde são carregados os arquivos;

13. **Gerenciamento de memória** (8 h/a)

    Nesse ponto são examinados os conceitos de endereçamento (absoluto, relocação e segmentação) e alocação de espaço em memória. Disso parte-se para o exame de memória virtual, *swapping* e paginação, estudando-se algoritmos para paginação como FIFO, LRU, etc., e seus problemas (anomalia de Belady, *thrashing*, etc.);

14. **A ênfase de sistemas de computação** (4 h/a)

    Fecha-se a disciplina com um breve apanhado sobre a ênfase em sistemas de computação, mostrando conceitos gerais (incluindo problemas para sua obtenção) de sistemas de tempo-real, sistemas distribuídos/paralelos, análise/predição de carga, etc. Este desfecho visa fundamentalmente mostrar aos alunos o que mais eles deverão aprender caso optem por esta ênfase, ou ainda o que ela tem de interessante para os que não optem por ela.

Com o programa aqui descrito pode existir a impressão, falsa, de que há uma sobrecarga sobre o aluno. Não se nega que o volume de informações é alto. O que precisa ser percebido, entretanto, é que todo o conteúdo é passado de forma a representar um conhecimento geral da matéria e não um conhecimento profundo. Esse tipo de conhecimento virá posteriormente, mas apenas para os que desejarem seguir nessa área.

Em outras palavras, espera-se que no final do semestre o aluno seja capaz de reconhecer os conceitos envolvidos com cada tópico de sistemas operacionais e redes de computadores, inclusíve suas interações. Isso não deve significar, em hipótese alguma, que serão especialistas ou terão um conhecimento profundo nessas áreas. Essa capacidade virá depois, com a sua especialização através da ênfase.

A distribuição de horas-aula apresentada têm se mostrado adequada até o momento. Além das horas em sala de aula, existe também o desenvolvimento de pequenos projetos, tais como a implementação em alto nível das primitivas P e V de um semáforo contador, um escalonador de processos e um verificador de CRC, entre outros. Esses projetos mantém o interesse dos alunos na disciplina, sendo que parte deles vai ser integrada ao projeto do sistema multitarefa na disciplina “Projeto de sistemas operacionais”.

4 Resultados

Como dito anteriormente, essa disciplina já foi ministrada por três vezes, sendo que para a primeira turma toda a abordagem foi diferente daquela aqui mostrada pelas razões expostas a seguir. De sua aplicação alguns resultados bastante interessantes já podem ser tirados, o que será feito aqui.

Antes de apresentar resultados é preciso, entretanto, indicar o perfil do alunado nos três anos em que a disciplina já foi oferecida. Esse perfil foi bastante distinto em função de parte desse alunado ter optado pela mudança de estrutura curricular, exigindo portanto adaptações durante o processo.

Deste modo, o primeiro oferecimento contou com um total de 59 alunos, oriundos de duas turmas distintas. Uma delas era de alunos que estavam no terceiro ano do curso e optaram pelo currículo novo, mesmo com uma possibilidade de atraso na conclusão do curso. Outra era de alunos do segundo ano, mas que haviam cursado o primeiro ano ainda na estrutura antiga. Essa turma foi a mais complicada pela sua heterogeneidade e, principalmente, por que 40% dos alunos já haviam cursado uma disciplina de sistemas operacionais nos moldes do currículo antigo.

No segundo oferecimento foi possível ter uma turma que, em sua maioria, era composta por alunos que haviam cursado apenas disciplinas do currículo novo. A grande diferença dessa turma para aquela do terceiro oferecimento é que essa última cursou um primeiro ano já modificado pela identificação de algumas falhas na grade oferecida para a turma anterior. Nessas turmas se matricularam 37 e 34 alunos respectivamente.

A taxa de reprovação da disciplina cresceu bastante no último ano, passando de 10% nos dois primeiros oferecimentos para quase 40%. Esse aumento pode ser explicado, em parte, por uma decisão do conselho de curso em aumentar as exigências de aproveitamento por parte dos alunos, o que ocasionou um aumento generalizado de reprovações em quase todas as disciplinas do curso. Outra explicação encontrada está relacionada ao perfil da turma, que é inferior às anteriores segundo os docentes pelos quais ela já passou.

Mas mais importante do que as taxas de reprovação é o impacto causado pela disciplina junto aos alunos. Esse impacto pode ser medido de forma direta através das opções feitas por eles para as ênfases que seguirão. A tabela 1 mostra o quadro de opções para cada uma das três turmas que passaram pela disciplina. Dela se percebe claramente que apesar do número de reprovações exagerado, ainda houve uma tendência acentuada pela opção pela ênfase de sistemas de computação, o que indica o sucesso da disciplina nessa tarefa.

Da tabela 1 pode-se notar também uma exagerada diferença entre a primeira e demais turmas no que diz respeito à opção pela ênfase de sistemas de informação. Essa diferença é explicada em grande parte pelos alunos que haviam cursado dois anos do curso antigo antes de mudarem para o novo currículo, que em sua maioria preferiram aquela ênfase, o que não ocorreu com as demais turmas.

Outro dado revelador da eficiência da disciplina de fundamentos em sistemas de computação é o número de reprovados nas disciplinas de sistemas operacionais, tanto a sua versão antiga como a nova. A tabela 2 apresenta as porcentagens de reprovações histórica

Ênfase	Turma 97	Turma 98	Turma 99
Sist. de Computação	25	42	60
Sist. de Informação	63	40	37
Sist. de Automação e Controle Digital	12	9	3
Computação Científica	-	3	-
Linguagens e Teoria da computação	-	6	-

Tabela 1: Opções por ênfases (em porcentagem)

Disciplina	Histórica	Turma 98	Turma 99
Versão convencional	20	25	0
Versão pós-fundamentos	-	10	0

Tabela 2: Taxa de reprovações em sistemas operacionais

(no caso da versão convencional)[2] e por cada oferecimento (nas duas). Dela se observa que o número de reprovações caiu enormemente. Não existem dados para a última turma da disciplina de fundamentos (1999), que está cursando projeto de sistemas operacionais neste primeiro semestre de 2000.

Para a disciplina redes de computadores não pode ser feito este estudo comparativo pois a mesma era optativa para alunos do currículo antigo, não sendo oferecida com regularidade antes de 1998. De qualquer forma, a taxa de reprovação nela e em uma disciplina de tópicos que tem abordado os temas de administração de redes e segurança em redes, tem se mantido abaixo dos 10% em média, o que é um bom patamar.

Além desses resultados mais quantitativos existe um aumento na qualidade dos projetos desenvolvidos, que pode ser sentida pelos docentes responsáveis pelas disciplinas seguintes da ênfase. A cada turma esses projetos têm melhorado de qualidade e estão sendo realizados com menor dificuldade (mesmo sendo distintos em cada oferecimento). Isso permite concluir que a introdução de projetos, mesmo de pequeno porte, na disciplina de fundamentos permitiu um maior amadurecimento nos alunos, que se vêem em condições de desenvolverem projetos mais consistentes a partir do terceiro ano do curso.

5 Conclusões

Pelos resultados obtidos até o momento fica claro o sucesso da junção das matérias de sistemas operacionais e redes de computadores em uma única disciplina. Os motivos que permitem essa conclusão foram apresentados na seção anterior, mas em resumo são:

- Os índices de reprovação das disciplinas posteriores são menores do que aqueles obtidos sem a disciplina de fundamentos;
- O interesse pela ênfase em sistemas de computação tem aumentado ano a ano;

[2]Deve-se destacar que a versão antiga de sistemas operacionais era puramente teórica e abordava exclusivamente os sistemas multitarefa convencionais e foi oferecida pela última vez, para 5 alunos, em 1999.

- Os projetos desenvolvidos tanto na disciplina de fundamentos como nas seguintes têm melhorado continuamente de qualidade;
- A cobertura das matérias, oferecida pela disciplina, é ampla e permite um maior aprofundamento de seus conteúdos pelas disciplinas específicas da ênfase;
- A compreensão dos alunos sobre a interdisciplinariedade dessas matérias é mais perceptível do que com o seu oferecimento em disciplinas isoladas;
- Apesar da velocidade com que cada tópico é abordado não existem reclamações sobre o volume de informações transmitidas.

Claro que ainda existem pequenos problemas na administração dessa disciplina, como a escolha dos projetos a serem executados. Entretanto a evolução obtida até agorao faz crer que tais problemas devem diminuir sistematicamente em seus próximos oferecimentos.

Desse modo pode-se garantir que a junção dessas disciplinas é possível e permite aproveitar melhor o tempo dos alunos em sua progressão no curso, além de estimulá-los mais precocemente ao desenvolvimento de projetos reais nas áreas de sistemas operacionais e redes de computadores.

Referências

[1] Comissão de Especialistas de Ensino de Computação e Informática; "Diretrizes Curriculares de Cursos da Área de Computação e Informática", disponível no endereço *www.mec.gov.br/sesu/ftp/Computa.rtf* (abril de 2000).

[2] Dept. of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University; "Electrical and Computer Engineering at Carnegie Mellon - a new curriculum", 1995.

[3] Deitel, H.M.; "Operating Systems - 2nd Ed.", Addison-Wesley, 1990.

[4] Manacero Jr., A.; "Merging operating systems and computer networks: why and how", em *Proceedings of International Conference on Engineering Education*, ICEE'98, CD-ROM, Rio de Janeiro, 1998.

[5] Manacero Jr., A., Marranghello, N., Pereira, A.S. e Santos, R.R.; "Um modelo de currículo flexível para a ciência da computação", em *Anais do XIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, WEI'99, vol. 1, pp 493-504, Rio de Janeiro, 1999.

[6] Peterson, J. , Silberschatz, A. and Galvin, P.; "Operating Systems Concepts - 3rd Ed.", Addison-Wesley, 1991.

[7] Peterson, L.L. and Davie, B.S.; "Computer Networks: A systems approach - 2nd Edition", Morgan Kaufmann, 2000.

[8] Stallings, W.; "Local & Metropolitan Area Networks - 5th Ed.", Prentice-Hall, 1997.

[9] Tanenbaum, A.S.; "Modern Operating Systems", Prentice-Hall, 1992.

[10] Tanenbaum, A.S. and Woodhull, A.S.; “Operating Systems: Design and Implementation - 2nd Ed.”, Prentice-Hall, 1997.

[11] Tanenbaum, A.S.; “Computer Networks - 3rd Ed.”, Prentice-Hall, 1997.