
Plataforma reconfigurável para ensino e pesquisa em laboratório de sistemas digitais a distância

Veruska R. Moreira¹, Fabbryccio A. C. M. Cardoso¹, Dalton S. Arantes¹

¹Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas, SP – Brasil

{veruska,cardoso,dalton}@decom.fee.unicamp.br

Abstract. *This work presents a reconfigurable platform – REDLART – designed to support collaborative distance learning and research initiatives over distributed digital systems labs. The platform provides a real-time, flexible and generic laboratory environment for remote and regular (presential) practices. The proposed architecture for digital systems enables the development of new experiments by focusing on the algorithms and functionalities which are objects of study, instead of on the exhaustive details of implementing drivers and controllers in HDL (Hardware Description Language).*

Keywords: *remote laboratories, distance learning, distributed experiments, FPGA, REDLART.*

Resumo *Este trabalho apresenta uma plataforma reconfigurável de hardware – REDLART – aplicada ao ensino e pesquisa colaborativa em laboratórios de sistemas digitais. A plataforma proporciona um ambiente genérico e flexível em tempo real para prática de laboratório no modo remoto e presencial. A arquitetura proposta possibilita o desenvolvimento de novos experimentos em sistemas digitais, com foco na implementação das funcionalidades que se deseja investigar e não nos detalhes exaustivos de controladores e drivers que devem ser programados em HDL (Hardware Description Language).*

Palavras-Chave: *ensino a distância, FPGA, REDLART, laboratório remoto, laboratório distribuído.*

1. Introdução

No ensino a distância, um dos grandes desafios é sem dúvida a prática de laboratórios. Apesar de já existir tecnologia disponível para isto, ainda não há uma solução de software e hardware, aliada a uma metodologia eficiente de ensino, que possibilite uma experiência real e de fato produtiva no ambiente laboratorial. É importante observar que a experiência com o laboratório remoto deve ir além de explorar conceitos teóricos, mas principalmente deve familiarizar o aluno com equipamentos e procedimentos laboratoriais visando à formação de pessoal técnico capacitado para o mercado de trabalho.

Este artigo propõe o desenvolvimento de uma plataforma experimental de laboratório remoto para o ensino e pesquisa a distância denominada REDLART (*REconfigurable Digital Laboratory for Advanced Research and Teaching*). O objetivo da plataforma é proporcionar um ambiente genérico e flexível, através de hardware reconfigurável (FP-

Apoio Financeiro: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Projeto TIDIA / KyaTera, Processo N° 03/08264-5R e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

GA - *Field Programmable Gate Arrays*) que forneça uma arquitetura altamente paralelizável e que possibilite a execução de experimentos reais tanto no modo remoto quanto presencial. Essa proposta permite que alunos e pesquisadores programem os seus próprios experimentos digitais e os integrem à plataforma, aproveitando assim todos os benefícios de controle, monitoração e distribuição do experimento em *grid* que a arquitetura da plataforma oferece.

A plataforma foi projetada e desenvolvida para a prototipagem rápida de novos experimentos em sistemas digitais nas áreas de engenharia, telecomunicações, computação e afins. Exemplos de tais sistemas são módulos de compressão/descompressão de áudio e vídeo (MPEG, H264, MP3, etc.), sistemas de transmissão digital para TV Digital, redes sem fio (Wi-Fi, WiMAX, etc.), telefonia celular (CDMA, WCDMA, GSM, etc.), entre muitas outras aplicações. A arquitetura REDLART foi concebida em ambiente Matlab/Simulink, através da ferramenta System Generator e ambiente de desenvolvimento em HDL da Xilinx.

2. Ensino de laboratório à distância

A educação a distância é a modalidade educacional na qual a mediação didático-pedagógica nos processos de ensino e aprendizagem ocorre com a utilização de meios e tecnologias de informação e comunicação, com estudantes e professores desenvolvendo atividades educacionais em lugares ou tempos diversos. Essa definição está presente no decreto 5.622, de 19.12.2005 que regulamenta o Art. 80 da Lei 9394/96 (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional).

A implantação de um curso a distância, com grade curricular mais voltada para a área técnica, pode ser possível a partir do acesso remoto a laboratórios reais ou mesmo a partir da execução de laboratórios virtuais. Para alguns cursos, a possibilidade de acesso remoto é também uma solução para contornar situações onde há problemas logísticos ou condições perigosas de ambiente que tornam a prática de laboratório difícil [Bagnasco and Scapolla, 2003]. Ao prover acesso a experimentos remotos, pode-se suprir a necessidade de se introduzir práticas consideradas estado da arte na área de estudo e ainda preencher as expectativas do que é esperado no mercado de trabalho. Ao fornecer acesso a experimentos envolvendo equipamentos de custo elevado e algumas vezes sensíveis, pode-se ampliar a faixa de utilização desses equipamentos, o que de certo modo proporciona uma economia de escala [Schafer et al., 2003].

Segundo Casini et al., os laboratórios a distância dividem-se em duas classes: laboratórios virtuais e laboratórios remotos. Os laboratórios virtuais são sistemas que podem executar simulações remotamente ou presencialmente, com a possibilidade de animação do sistema controlado. Os laboratórios remotos, por sua vez, são laboratórios onde os estudantes e outros usuários podem interagir com experimentos reais via Internet ou via rede dedicada [Casini et al., 2003].

A aplicação de laboratório remoto é muito diversificada. Para permitir a integração de vários laboratórios remotos ou simplesmente para executar um único experimento de forma satisfatória, é importante que a rede de computadores, na qual o experimento está sendo distribuído, ofereça largura de banda e confiabilidade compatíveis com o baixo *atraso* e o baixo *jitter* (variação do atraso) necessários para a maioria dos experimentos. Esses requisitos permitem minimizar possíveis perdas e atrasos excessivos na transfe-

rência de dados. Algumas redes de alta velocidade já estão disponíveis para o ensino e pesquisa no Brasil, podendo-se destacar a Rede KyaTera/FAPESP e a Rede GI-GA/RNP.

A FAPESP define o Projeto KyaTera como um projeto cooperativo que consiste de uma rede de fibras ópticas projetada para a pesquisa e desenvolvimento de conexões de alta velocidade, integrando laboratórios de pesquisa que focam o estudo, desenvolvimento de *weblabs* e demonstração de tecnologia e aplicações da internet avançada. O conceito de *weblab* foi definido para aqueles serviços *web* cujo objetivo seja prover acesso remoto a experimentos de laboratórios reais geograficamente distribuídos [Projeto KyaTera].

Há um grande esforço da comunidade acadêmica nacional e internacional para viabilizar o desenvolvimento e implantação de laboratórios remotos para fins educacionais e de pesquisa colaborativa. Na Universidade de Genova, Itália, foi desenvolvido o ISILab. O ISILab é composto de um módulo de experimento virtual e um módulo de experimento remoto para o ensino de eletrônica [ISILab]. Na Universidade Estadual de Campinas, encontra-se disponível para acesso através da rede KyaTera, *weblabs* na área de óptica, fotônica, engenharia química e bioquímica. Para integrar os *weblabs* pesquisadores desenvolveram um *framework* bastante flexível que permite adicionar, remover ou atualizar os *weblabs* [Cruz, 2007].

3. Estrutura da proposta de laboratório remoto

A Figura 1 (a) mostra a estrutura básica do laboratório remoto. O usuário remoto ou local pode acessar a plataforma de hardware a partir de um servidor específico ou diretamente através de um aplicativo para fazer observações, realizar testes e coletar dados.

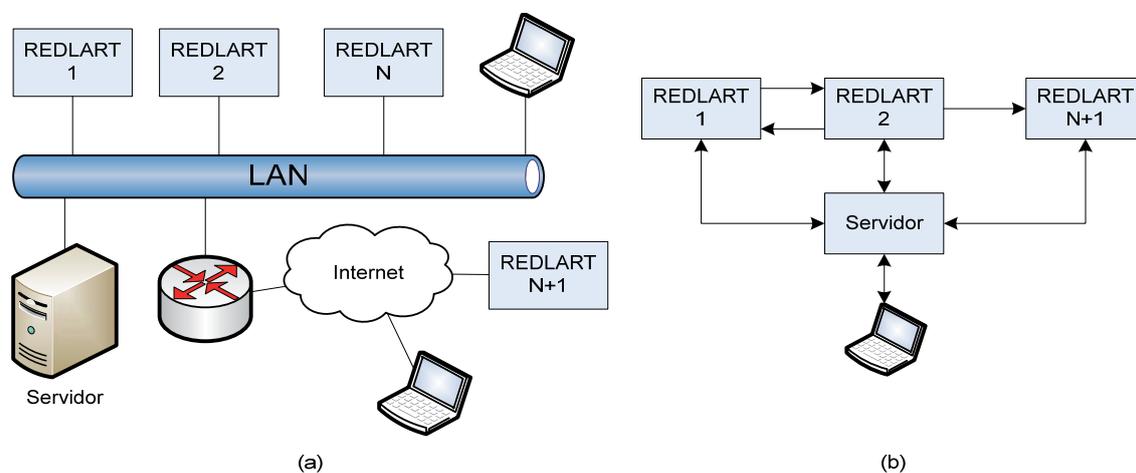


Figura 1: Diagramas físico (a) e lógico (b) de implantação de um experimento.

Em linhas gerais, as atribuições do servidor são controlar os equipamentos a ele interconectados, possibilitar o controle de acesso aos equipamentos, adicionar e integrar novos experimentos à plataforma. O *switch* ou roteador pode ser usado para conectar os computadores individuais e as plataformas de hardware que estão na rede local. Câmeras digitais permitem que o usuário tenha uma visão geral do que se passa dentro dos laboratórios reais. É importante que o usuário vivencie a experiência do laboratório remoto como se estivesse inserido em um laboratório real.

A Figura 1(b) representa um possível diagrama lógico de interconexão referente à Figura 1(a). Observe a escalabilidade e a distribuição em *grid* possibilitada pela plataforma. Nesta configuração cada nó do experimento pode interagir com outro nó para trocar fluxos de dados multimídia (*streaming*) pela rede de pacotes. Para dar suporte à troca de pacotes de monitoração, de controle e de fluxo de dados entre o servidor, os nós do experimento e o computador local ou remoto, foi desenvolvido um protocolo específico que denominamos de MCP (*Monitoring and Control Protocol*).

O protocolo MCP foi projetado para ser transportado dentro do *payload* do protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) ou do protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). É formado por um cabeçalho de 16 bits que contém o campo *tipo* (indica o tipo de pacote) e um campo variável que é definido de acordo com o campo *tipo*. A Figura 2(a) mostra a estrutura do protocolo. Além do protocolo MCP a plataforma utiliza os protocolos UDP, IP e Ethernet, para a transmissão e recepção dos dados, conforme mostrado na Figura 2(b).

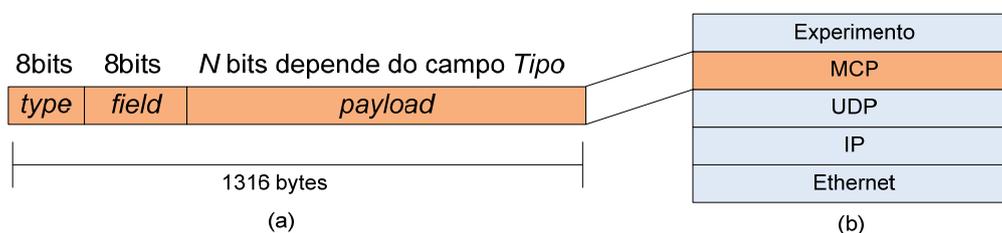


Figura 2: Estrutura do protocolo MCP (a) e pilha de protocolos (b) utilizados na plataforma REDLART.

O cabeçalho do protocolo MCP identifica o experimento e, por conseguinte, quais os parâmetros de monitoração e controle que estarão contidos no *payload*. Atualmente o protocolo MCP pode ser inserido apenas no *payload* do protocolo UDP. Foi escolhido o protocolo UDP porque, em princípio, os experimentos de laboratório remoto serão executados utilizando-se da infra-estrutura da rede KyaTera ou da rede GIGA, que possuem uma grande largura de banda, baixo *delay*, baixo *jitter* e pequena probabilidade de perda de pacotes. Além disso, a parte intensa do tráfego é gerada por pacotes de fluxo de dados que, por serem de tempo real, não há necessidade de serem orientados a conexão. A Figura 3 mostra a configuração sistêmica do laboratório remoto.

O módulo de *comunicação TCP/IP* é responsável por estabelecer a conexão e iniciar a troca de informações e dados entre o cliente e o servidor. O módulo *tratamento de dados* é responsável pela codificação e pela decodificação dos dados e dos comandos gerados ou recebidos pelo experimento. O módulo *interface de usuário* permite o acompanhamento das operações que estão ocorrendo no experimento. O módulo *comunicação UDP/IP* estabelece a comunicação entre o servidor e a plataforma. Quando um novo experimento é inserido ou atualizado, deve-se integrá-lo à plataforma, recompilando-o e fazendo o *download* para o chip FPGA. O módulo *download da plataforma* faz o *download* e descarrega o experimento na FPGA com o auxílio do cabo USB (*Universal Serial Bus*). O módulo *placa com FPGA Virtex II Pro* refere-se à placa de *hardware* com o chip FPGA no qual a plataforma REDLART será executada e fará uso do módulo *drivers e codecs*, onde se encontram o codec de áudio AC97 e o *driver* de interface ethernet. Codecs de vídeo serão implementados posteriormente.

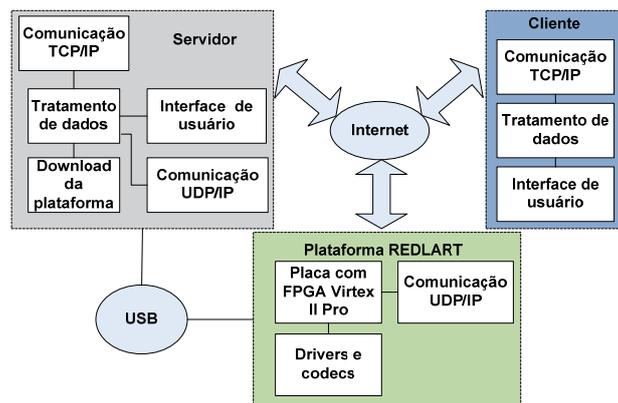


Figura 3: Configuração sistêmica básica do laboratório remoto.

4. Plataforma REDLART

O projeto da plataforma REDLART surgiu da prática de uma disciplina de pós-graduação oferecida na FEEC-UNICAMP, IE344B [Cardoso e Arantes], onde se constatou não ser necessário especificar uma arquitetura totalmente nova a cada novo projeto. O mais racional neste caso é reutilizar uma infra-estrutura básica que possa ser facilmente alterada através de um único componente funcional da arquitetura.

4.1 Características da plataforma

A plataforma utiliza uma placa de circuito impresso contendo, obrigatoriamente, uma FPGA e um dispositivo PHY Ethernet 10/100. Além destes dispositivos, também podem ser utilizados *codecs* de áudio AC97, memória *flash* e interface JTAG para configuração da FPGA. O *clock* do sistema é de 100 MHz (megahertz). Além disso, sugere-se a disponibilização de pinos de usuário, para expansão de funcionalidades, assim como *leds*, *switches* e *botões* para a interação com o usuário. As ferramentas utilizadas no desenvolvimento da plataforma foram o Matlab/Simulink [Mathworks], System Generator [Xilinx System Generator] e Project Navigator da Xilinx. O software Impact Xilinx foi utilizado para fazer o *download* da plataforma na FPGA. O padrão de desenvolvimento utilizado neste trabalho foi baseado no *Design Flow* da Xilinx, que é constituído basicamente pelas etapas de especificação, verificação, implementação e *debug* do sistema [Xilinx Design Flow].

4.2 Modelagem da plataforma

Em seu estágio atual, a plataforma REDLART é composta por três módulos principais: Módulo Controlador AC97, Tri-mode Ethernet MAC e Módulo Sysgen, conforme mostra a Figura 4.

O módulo AC97 é responsável pela captura e reprodução do *streaming* de áudio e disponibilização do áudio para a plataforma. O sinal de áudio pode ser então utilizado, através do módulo Sysgen, em diversos experimentos de processamento digital de sinais em tempo real como, por exemplo, filtragem, equalização, extração de características, síntese, entre outros. O áudio digital pode ser amostrado a uma taxa de até 48 kHz e ser quantizado em até 20 bits, em ambos os canais (esquerdo e direito). Entre o controlador AC97 e o módulo do usuário o *clock* do sistema é de 24 MHz e a taxa de dados é de 48 KHz.

O módulo Tri-Mode Ethernet MAC (*Media Access Control*) é responsável por transmitir e receber pacotes oriundos da internet ou da plataforma. Este módulo opera com clock de 100 MHz. Os pacotes recebidos da internet são armazenados em uma FIFO (*First In First Out*) e ficam disponíveis para o módulo Sysgen. De forma semelhante, os pacotes gerados pelo Módulo Sysgen são armazenados em uma FIFO de transmissão que serão lidos pelo controlador MAC e então transmitidos pela rede.

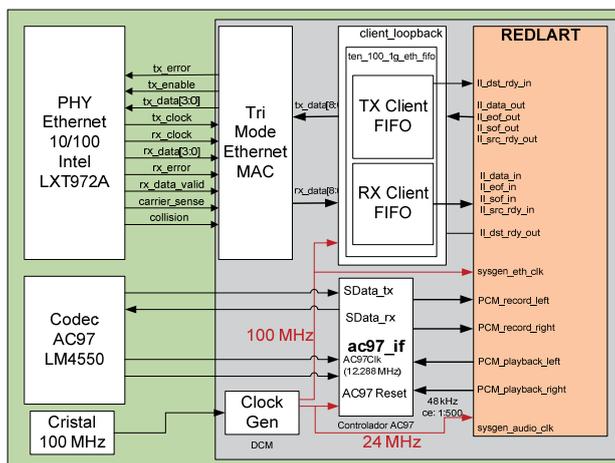


Figura 4: Visão geral da plataforma REDLART.

No módulo Sysgen está o núcleo da plataforma REDLART, que é composto dos módulos de empacotamento, desempacotamento, controle de leitura, controle de escrita e experimento. O módulo Sysgen está organizado em dois domínios de clock. O clock de 100MHz define os ciclos de operação dos módulos Tri-Mode Ethernet MAC e do próprio núcleo da plataforma REDLART. O clock de 24 MHz, por outro lado, possibilita a captura e reprodução de áudio do AC97. Para gerenciar esses domínios, utilizou-se o bloco *Multiple Subsystem Generator*, disponível no System Generator, que possibilita a transferência de dados entre múltiplos domínios de clock através de FIFOs assíncronas. A Figura 5 mostra o módulo Sysgen em detalhes.

O *empacotador* é responsável por enviar pacotes de monitoração (parâmetros do experimento) e de dados (fluxos de tempo real), quando há dados disponíveis na *FIFO empacotador*. Cada pacote de monitoração é marcado como do *tipo 0* no protocolo MCP e pode conter até 217 parâmetros do experimento. Caso o experimento possua mais de 217 parâmetros, poderão ser utilizados quantos pacotes forem necessários para varrer todos os parâmetros disponíveis. Os parâmetros do experimento são armazenados pelo par endereço (indica a posição na memória) e valor (o valor armazenado na posição de memória correspondente). O endereço é formado por 16 bits e o valor por 32 bits. Há dois cenários onde acontece o envio de pacotes de monitoração. No primeiro, o envio ocorre quando o módulo experimento indica que o empacotador deve enviar pacotes a cada 2 segundos (este período pode ser configurado). No segundo cenário, o empacotador é programado para enviar pacotes apenas quando houver uma requisição.

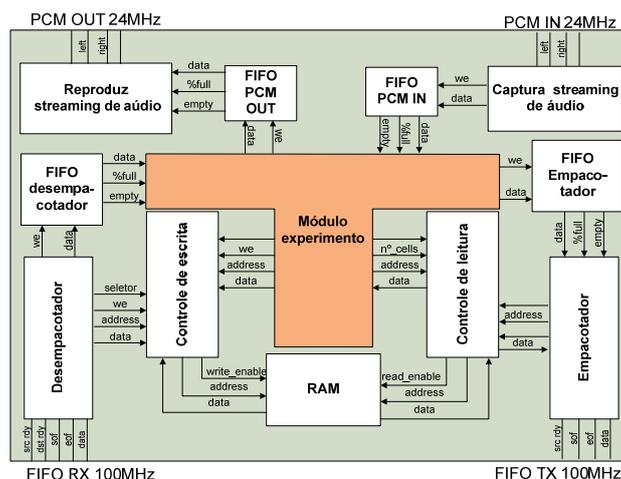


Figura 5: Detalhamento do Módulo Sysgen.

Os pacotes de dados são enviados com a marcação do *tipo 1* no protocolo MCP. Para esse tipo de pacote, há um campo específico no protocolo MCP que indica a quantidade de canais de áudio utilizada. No módulo *captura streaming de áudio* os canais são obtidos do respectivo controlador e encaminhados, através de um controle de fluxo apropriado, para o módulo do experimento. No Módulo Experimento, algum processamento pode ser feito nos sinais e, posteriormente, o sinal resultante pode ser reproduzido ou distribuído na rede através da FIFO Empacotador.

Para o empacotador enviar pacotes de monitoração, é necessário o acesso aos dados dos parâmetros armazenados na RAM. O controle de acesso a leitura na RAM é feito pelo módulo *controle de leitura*. Os módulos aptos à leitura da RAM são o módulo experimento e empacotador. Existe uma janela de tempo definida no módulo controle de leitura que faz o controle de acesso a RAM. Em linhas gerais, a cada 1 segundo é feita a troca de permissão de acesso a RAM.

O módulo RAM é composto de uma Dual Port RAM com profundidade de memória (número de endereços) que varia de 32K até 64K. O tamanho das palavras armazenadas é de 32 bits. A RAM possui duas interfaces distintas, uma para escrita e outra para a leitura. Os módulos aptos a fazerem a leitura e a escrita são o controle de leitura e o controle de escrita, respectivamente.

O *desempacotador* recebe os pacotes da FIFO Ethernet RX. Ao receber um pacote, verifica no cabeçalho UDP se a porta de destino especificada é compatível com a porta designada para o experimento. Caso seja diferente, o desempacotador descarta o pacote. Em seguida, verifica o cabeçalho MCP. Caso o protocolo MCP não seja identificado, o pacote também é descartado. O primeiro campo do cabeçalho MCP indica o tipo de pacote. Se o pacote for do tipo dados, é feita a concatenação dos dados de maneira que formem palavras de 32 bits. Essas palavras são armazenadas na FIFO Desempacotador e ficam disponíveis para o *Módulo Experimento*. No Módulo Experimento os dados devem ser tratados de acordo com a configuração do experimento. Em caso de sinal de áudio, o Módulo Experimento pode também encaminhar os dados para a FIFO PCM OUT para reprodução do sinal.

Outro tipo de pacote que pode ser tratado pelo Desempacotador é o de controle. Esse pacote indica que houve alterações nos parâmetros do experimento por parte do usuário

e, portanto, é necessário atualizar os dados dos parâmetros disponíveis na RAM. Para o Desempacotador poder escrever na RAM é necessário ter a permissão de escrita fornecida pelo módulo *controle de escrita*. O controle de escrita gerencia o acesso de escrita na RAM, fornecendo prioridade de escrita para o Desempacotador. Podem escrever na RAM o Módulo Experimento e o Módulo Desempacotador, porém de maneira não simultânea.

O módulo experimento deve ser projetado pelo desenvolvedor. Isso demonstra a flexibilidade da plataforma REDLART. O desenvolvedor pode utilizar todos os módulos disponíveis da plataforma, beneficiando-se da infra-estrutura que a mesma oferece. O trabalho do pesquisador ou do aluno é simplificado, pois é possível desenvolver um novo experimento apenas substituindo o Módulo Experimento da plataforma REDLART.

4. Resultados e considerações finais

Para validar a plataforma, foi desenvolvido um experimento remoto de processamento de áudio que, além de escolher o tipo de reprodução, pode também controlar o volume do áudio, controlar *leds* e interagir com a plataforma. Esse experimento foi desenvolvido apenas para testar as funcionalidades da plataforma. Nesse experimento o usuário pode escolher entre dois tipos de reprodução de áudio, com e sem reverberação. A reverberação é um fenômeno de prolongamento de um som após o fim da emissão, gerando um efeito de eco acústico.

O experimento foi implantado como mostrado no diagrama físico da Figura 6 e funciona da seguinte maneira. Um microfone pode ser conectado à plataforma através da entrada *mic in*. Simultaneamente, uma fonte de áudio estéreo, como um MP3 player, também pode ser conectada na entrada *line in*. O experimento é constituído por dois nós. Um dos nós, denominado de REDLART 1, captura a sobreposição de áudios do *line in* e *mic in*. Os sinais resultantes dos canais esquerdo e direito, multiplexados, são então enviados pela internet como um fluxo de dados sobre pacotes MCP/UDP/IP para um segundo nó do experimento, denominado de REDLART 2.

A plataforma REDLART 2 recebe os pacotes de dados, desempacota, processa o áudio e o reproduz de acordo com o modo de reprodução que o usuário escolheu. Paralelamente aos processos de captura, transmissão, recepção, processamento e reprodução do áudio, o usuário pode controlar o acendimento de *leds*. Por exemplo, se o usuário apertar o botão direito da plataforma 5 vezes, o *led 0* será acendido. Se ele apertar o botão esquerdo 15 vezes, o *led 1* ficará aceso e caso ele aperte o botão *reset* todos os contadores de botões voltam para o estado inicial e o *led 2* acenderá. O número de vezes que um botão é pressionado é armazenado na RAM e é utilizado como parâmetros do experimento, assim como o volume do áudio. Portanto, um usuário remoto pode monitorar tais parâmetros remotamente e controlar um deles, que é o volume. Também existe a possibilidade do usuário ouvir o que está sendo reproduzido no segundo nó quando este envia o fluxo de áudio sem compressão diretamente para o usuário remoto.

O laboratório remoto foi acessado através da internet banda larga convencional dentro da rede da Unicamp e o resultado foi muito satisfatório. Praticamente, a variação no atraso permaneceu estável e não se percebeu atrasos significativos. O nó REDLART 1 foi configurado para enviar pacotes de monitoração a cada dois segundos. Isso permitiu

testar o módulo empacotador. Foi utilizado o analisador de protocolos (*sniffer*) *Wire-shark* para verificar o envio e a recepção de pacotes tanto na plataforma quanto no servidor. Constatou-se que o módulo empacotador funcionou apropriadamente, enviando pacotes de monitoração precisamente a cada 2 segundos. O comportamento da rede foi bastante estável e não houve perda de pacotes. Entretanto, nesta fase não se testou o desempenho do experimento sob condições adversas de tráfego. O objetivo era verificar a funcionalidade dos módulos.

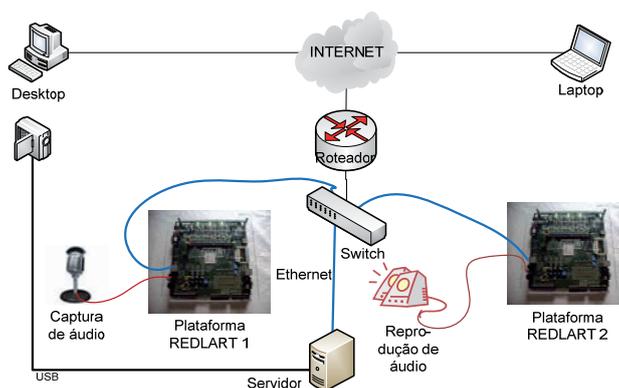


Figura 6: Diagrama físico de implantação do experimento teste.

O módulo desempacotador trabalhou de maneira muito eficiente na recepção de pacotes. Não houve congestionamento na rede, portanto não aconteceu descarte de pacotes pela FIFO TX. Os pacotes foram recebidos a uma taxa média de 48 kHz, com clock de 24 MHz, e processados em um domínio de clock de 100 MHz. Foi testado o sincronismo entre o desempacotador e o módulo de escrita. O resultado demonstrou que o controle de escrita otimiza o tempo de acesso da RAM, gerenciando de maneira satisfatória a janela de tempo disponível para o Desempacotador.

É importante destacar a simplicidade do experimento remoto. A proposta foi desenvolver um experimento simples, mas que de fato utilizasse todos os módulos da plataforma REDLART, de modo que permitisse verificar o seu pleno comportamento funcional, assim como testar o seu desempenho. Por fim, pôde-se comprovar o equilíbrio e robustez no funcionamento da plataforma, com todos os módulos operando de forma satisfatória. Outros testes deverão ser realizados no âmbito da disciplina IE-344B [Cardoso e Arantes] onde serão analisados os aspectos pedagógicos associados ao uso da plataforma. A plataforma será utilizada, ainda de forma presencial, com a interface de rede sendo aproveitada como interface de usuário no controle e na monitoração do experimento.

Por enquanto o servidor tem sido implementado usando Matlab/Simulink através de recursos de biblioteca para geração e recepção de pacotes UDP. Ainda não há escalabilidade e robustez do servidor, nem uma interface gráfica apropriada, para disponibilizar cursos remotamente. Em uma segunda fase do projeto, será utilizado o *framework* de software desenvolvido em [Cruz, 2007] para gerenciar usuários e o tempo de utilização do experimento. O resultado mais importante nos testes realizados até agora foi demonstrar a viabilidade de uma plataforma de hardware para o desenvolvimento de experimentos digitais distribuídos na rede e em tempo real, seguindo o conceito de laboratório remoto.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou, de forma resumida, o conceito de ensino de laboratório digital à distância e propôs uma plataforma reconfigurável de hardware para o desenvolvimento de laboratórios remotos. Foram apresentados os resultados iniciais de um laboratório remoto distribuído utilizando a plataforma REDLART. A arquitetura básica dessa plataforma disponibiliza um ambiente de sistema completo para o desenvolvimento e execução de experimentos de sistemas digitais em modo presencial e remoto.

Avaliações preliminares nas condições propostas do laboratório remoto demonstraram a funcionalidade, confiabilidade e flexibilidade da plataforma. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, o que demonstra a viabilidade do sistema proposto. A seqüência deste trabalho envolverá o desenvolvimento de experimentos complexos integrados à plataforma e a avaliação do laboratório remoto por um grupo de alunos. As informações obtidas serão referência para o desenvolvimento de futuras versões da plataforma e dos experimentos.

Referências

- Bagnasco A., Scapolla A. M. “A Grid of Remote Laboratory for Teaching Electronics”. 2nd International LeGE-WG Workshop on e-Learning and Grid Technologies, França, 2003.
- Casini M., Prattichizzo D. and Vicino A. “The Automatic Control Telelab: A User-Friendly Interface for Distance Learning”, *IEEE Trans. on Education*, Vol 46, Nº2, 2003.
- Schafer T., Seigneur J. M. and Donnelly A. “PEARL: A Generic Architecture for Live Experiments in a Remote Lab”. International Conference on Simulation and Multimedia in Engineering Education, ISBN: 1-56555-260-1, IEEE, 117-122, 2003.
- Projeto KyaTera, <http://kyatera.incubadora.fapesp.br/portal>, acessado em 22/07/2008.
- Universidade de Genova, ISILab, <http://www.unige.it>, acessado em 24/07/2008.
- Cruz, A. A. “Projeto e Implementação de um Framework para WebLabs baseado em Ajax e Padrões de Projeto”. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 2007.
- Cardoso, F. A. C. M., Arantes, D. S., Disciplina IE-344B – Simulação, Co-simulação e Prototipagem de Sistemas de Comunicações Digitais. <http://www.decom.fee.unicamp.br/~cardoso/ie344b.html>, acessado em 20/07/2008.
- Maxfield, C. M., *The Design Warrior’s guide to FPGAs – Devices, Tools and Flows*. Elsevier, ISBN: 0080477135, 2004.
- Xilinx Inc.; FPGA Design Flow Overview. http://toolbox.xilinx.com/docsan/xilinx7/help/iseguide/html/ise_fpga_design_flow_overview.htm, acessado em 22/07/2008.
- Xilinx Inc., System Generator for DSP, http://www.xilinx.com/support/sw_manuals/sysgen Ug.pdf, acessado em 28/07/2008.
- Mathworks, Matlab/Simulink <http://www.mathworks.com/products/simulink/>, acessado em 27/07/2008.
- Marchezan, A. R. ; Chella, M. T. ; Ferreira, E. C. (2004). “Laboratório Remoto aplicado ao Ensino de Engenharia Eletrônica”. In: I Workshop de Ciência da Computação e Sistemas da Informação da Região Sul - WORKCOMPSUL, Florianópolis, 2004.